

GTR-JÄRJESTELMÄN SOVELTAMINEN PASSIIVITALOISSA

Ilja Kristian Korsunov

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2014

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Korsunov, Ilja Kristian	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 18.5.2014
	Sivumäärä 51	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi GTR-JÄRJESTELMÄN SOVELTAMINEN PASSIIVITALOISSA		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Lähdesmäki, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Airmaker GTR Oü		
Tiivistelmä <p>GTR-järjestelmä on Airmaker GTR Oü kehittämä ja patentoima lämmitysjärjestelmä, jonka avulla voidaan saavuttaa passiivitalon ja lähes nollaenergiatalon vaatimukset. Järjestelmä käyttää hyödyksi lämmöntalteenottoa, lämpöpumppua, lämminvesivaraajaa ja maaperään varastoituvaa lämpöenergiaa. Laittekehityksen ansiosta on päädytty lämmitysjärjestelmään, jolla voidaan lämmittää rakennusta sekä pitää sisäilma puhtaana ja terveellisenä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä GTR-järjestelmän tekniikka ja verrata sitä muihin lämpöpumppujärjestelmiin. Työssä esiteltiin myös muut tämän hetken lämpöpumppujärjestelmät, niiden toimintatavat ja ominaisuudet. Vertailussa käytettiin suoraa sähkölämmitystä ja maalämpöpumppua, joka ominaisuuksiltaan ja toimintaperiaatteeltaan muistuttaa GTR-järjestelmää. Vertailun suorittamiseksi käytettiin 260 neliömetrin kaksikerroksista paritaloa, jonka rakenteet täyttivät passiivitalon vaatimukset. Vertailussa otettiin huomioon investointi, laitteiden sähkönkulutus ja takaisinmaksuaika.</p> <p>Työssä todettiin, että GTR-järjestelmä on halvempi ja maksaa nopeammin itsensä takaisin, kuin vertailussa käytetty maalämpöpumppu. Suora sähkölämmitys on halvempi investointi lyhyellä tähtämällä, mutta jatkuvan energiahinnan nousun takia GTR-järjestelmä maksaa itsensä noin 12 vuodessa. Opinnäytetyön päätteeksi pohdittiin, mitkä asiat vaikuttavat lämmitysjärjestelmän valintaan ja miksi GTR-järjestelmä on hyvä vaihtoehto rakennuksen ainoana lämmitysjärjestelmänä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) energiatehokkuus, lämmöntalteenotto, lämpöpumppu, maalämpö, passiivitalo		
Muut tiedot		



Author(s) Korsunov, Ilja Kristian	Type of publication Bachelor's / Master's Thesis	Date 18052014
	Pages 51	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title GTR heating and ventilation system in passive house		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) Lähdesmäki, Pekka		
Assigned by Airmaker GTR Oü		
Abstract <p>GTR heating and ventilation system is designed and patented by Airmaker GTR Oü for use in passive houses and near-zero-energy buildings. The patented part of the GTR is an earth-to-air heat exchanger device with earth tubes and a ground coupled heat exchanger. GTR is designed to be integrated with a heat pump, an air-to-air heat exchanger and a hot water boiler. With all these devices the GTR can be used as the primary heating and ventilation system of a passive house.</p> <p>The goal of this thesis was to introduce GTR and its functions. Also, the GTR was compared to other heating systems using heat pump and heat recovery. For the comparison a two-storey passive house for two families was used. Investment, repayment period and consumption of electricity were taken into consideration.</p> <p>The conclusion of the thesis was that GTR is more cost-efficient than other heating systems in the long run. The repayment period of the GTR is 12 years and it is shorter than a ground heat pump.</p>		
Keywords energy efficiency, ground heat, heat pump, heat recovery, passive house		
Miscellaneous		

Sisältö

KÄSITTEISTÖ	3
1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	4
1.1 OPINNÄYTETYÖN AIHE	4
1.2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA	5
1.3 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE	6
1.4 OPINNÄYTETYÖN RAJAUS.....	7
2 LÄMPÖPUMPPU	8
2.1 MIKÄ ON LÄMPÖPUMPPU?	8
2.2 LÄMPÖPUMPUN TOIMINTA	9
2.3 COP - LÄMPÖKERROIN	11
2.4 ILMALÄMPÖPUMPPU	12
2.4.1 YLEISESTI	12
2.4.2 ILM-ILMALÄMPÖ	12
2.4.3 ILM-VESELÄMPÖ	15
2.4.4 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU.....	16
2.5 MAALÄMPÖPUMPPU	18
2.5.1 YLEISESTI	18
2.5.2 MAALÄMPÖ PINTAMAASTA	19
2.5.3 MAALÄMPÖÄ PORAKAIVOISTA	20
2.5.4 MAALÄMPÖ VESISTÖSTÄ.....	21
2.6 LÄMMÖNTALTEENOTTO	21
3 GTR-JÄRJESTELMÄ.....	22
3.1 YLEISTÄ.....	22
3.2 HISTORIA	24
3.3 GTR-LAITTEISTO	25
3.3.1 MAA-ILMALÄMMÖNVAIHTO	26
3.3.2 MAA-ILMALÄMMÖNVAIHDON TOIMINTA	28
3.3.3. ILMANVAIHTOKONE	30
3.4 TERVEYSVAIKUTUKSET.....	31
3.5 LAITTEEN HUOLTO.....	32
4 VERTAILUSSA KÄYTETTÄVÄ KOHDE	32
5 LASKENTA	33
5.1 YLEISTÄ.....	33
5.2 TULOKSET	34
6 HINTAVERTAILUA	36
6.1 YLEISESTI.....	36
6.2 INVESTOINTI	37
6.2.1 SUORA SÄHKÖLÄMMITYS	37
6.2.2 MAALÄMPÖPUMPPU	38
6.2.3 GTR-JÄRJESTELMÄ	38
6.3 TAKAISINMAKSUAIKA	39
7 YHTEENVETO.....	40

8 POHDINTAA	41
LÄHTEET	43
LIITTEET	45
LIITE 1. RADONPITOISUUSSELVITYS.....	45
LIITE 2. PÄÄPERIAATTEELLINEN PIIRUSTUS GTR-JÄRJESTELMÄSTÄ.....	46
LIITE 3. SÄHKÖTEKNINENPIIRUSTUS GTR-JÄRJESTELMÄSTÄ	47
LIITE 4. MAALÄMPÖVARASTO MAANRAKENNUSVAIHEESSA	48
LIITE 5. POHJAPIIRUSTUS MALLIKOHITEESTA.....	49
LIITE 6. JULKISIVUPIIRUSTUKSET ETELÄN JA LÄNNEN SUUNNASSA	50
LIITE 7. JULKISIVUPIIRUSTUKSET POHJOISEN JA IDÄN SUUNNASTA	51

KUVIOT

Kuvio 1. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus pientaloissa vuonna 2006-2011.....	8
Kuvio 2. Ilmalämpöpumpun toiminta yksinkertaistettuna.	10
Kuvio 3. IVT Nordic ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikkö.....	13
Kuvio 4. Lämmöntalteenotto.	22
Kuvio 5. Havainnepiirustus GTR-järjestelmästä.	23
Kuvio 6. Iranilainen rakennus 900 jKr.....	24
Kuvio 7. Persialainen arkkitehtuuri... ..	25
Kuvio 8. Kammioita yhdistävät putket.	26
Kuvio 9. Kevytsoran eristäminen patolevyllä.....	27
Kuvio 10. Maalämpövaraston leikkauskuva.....	28
Kuvio 11. Ulkoilman ja maaperällä lämmitetyn ilman lämpötila.....	29

TAULUKOT

Taulukko 1. Lämpöpumppujen määrä Suomessa vuoden 2012 lopussa.....	9
Taulukko 2. Tarvittava sähköenergia rakennuksen lämmitystarpeen kattamiseksi vuositasolla.....	35
Taulukko 3. Sähkönkäytön kustannukset eri lämmityslaitteille 30 v. ajanjaksolle.....	37
Taulukko 4. Eri lämmityslaitteiden hinnoitukset.	39
Taulukko 5. Vuotuiset keskimääräiset investointi- ja sähkönkulutuskustannukset	39
Taulukko 6. Laitteiden investoinnin ja sähkönkulutuksen kokonaissumma.....	40

Käsitteistö

GTR

Geothermal climate conditioning device tarkoittaa laitekokonaisuutta, johon sisältyy maalämpöenergiavarasto, ilmanvaihtokone, lämpöpumppu ja vesivaraaja. GTR:llä pystytään lämmittämään rakennuksen huonetilat sekä myös käyttöveden.

EAHX

EAHX eli "earth to air heat exchanger" on maa-ilma lämmönvaihdin. Tässä tapauksessa EAHX:lla tarkoitetaan GTR:ssä olevaa maalämpövarastoa.

Höyrystin

Höyrystin on lämmönsiirrin, jossa paisuntaventtiilin jälkeen alempaan paineeseen siirtyneen kylmäaineen annetaan kiehua, jolloin se muuttuu höyryksi. Höyrystyminen vaatii lämpöenergiaa, jonka kylmäaine sitoo itseensä höyrystimen toisiopiirissä kiertävästä aineesta, yleensä jäätyttömästä liuoksesta tai ilmasta. Suora höyrystyksessä lämpöenergia siirtyy suoraan lämmönlähteestä, esimerkiksi ulkoilmasta.

Ilmalämpöpumppu eli ILP

Lämpöpumppulaite, joka lämmittää rakennuksen huonetiloja ulkoilman lämpöenergialla.

Ilma-vesilämpöpumppu eli UVLP

Ilmalämpöpumppu, jolla lämmitetään laitteeseen kytketty vesivaraaja. Vesivaraajaa käytetään huonetilojen sekä käyttöveden lämmittämiseen.

Kylmäaine

Kylmäaine on neste ja/tai kaasu, jota kierätetään lämpöpumpun suljetussa prosessissa. Kylmäaine kiehuu ts. muuttuu höyryksi hyvin alhaisessa lämpötilassa, esimerkiksi -15 astetta, ja lauhtuu ts. muuttuu takaisin nesteeksi korkeammassa paineessa, vaikka lämpötila olisi merkittävästi

korkeampi, esimerkiksi +50 astetta. Olomuodon muutos kaasuksi sitoo lämpöä ja muutos takaisin nesteeksi luovuttaa lämpöä.

Lauhdutin

Lauhdutin on lämmönsiirrin, jossa kuuma kaasu nesteytyy (lauhtuu) luovuttaen höyrystimessä sitomansa höyrystymislämmön toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä lämmitysverkoston veteen, käyttövedeen tai ilmalämmityksen yhteydessä ilmaan. Luovutettuaan höyrystymislämmön kylmäainehöyry tiivistyy jälleen nesteeksi.

Lähes nollaenergiatalo eli NZeB

Lähes nollaenergiatalo tarkoittaa rakennusta, jonka sähköenergian kulutus on lähes yhtä suuri, kuin rakennuksen tuottama sähköenergia.

Lämmöntalteenotto eli LTO

Laite, jonka avulla siirretään poistoilma lämpö tuloilmaan tai muuhun rakennuksen tiloja lämmitettävään järjestelmään.

Lämpökaivo

Lämpökaivo on porakaivo, josta pumpataan kallioperään varastoinutta aurinkolämpöä kaivoon upotettavalla lämpöpumpun liuospiirillä. Lämpökaivon häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi siitä ei suositella otettavan käyttövedettä lainkaan.

Maalämpö eli MLP

Maalämpöpumpulla kerätään auringon säteilyenergiaa, joka on varastoitunut maaperään tai kallion pohjaveteen.

Poistoilmalämpöpumppu

Lämpöpumppu, joka hyödyntää LTO-tekniikkaa huonetilojen ja vesivaraajan lämmittämiseen.

1 Työn lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön aihe

Tänä päivänä pientalon sähkönkäytöstä noin 60–70 % kuluu huonetilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 7; Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011, 42). Energiämääräykset uudistivat energiatodistuksen, jonka mukaan 1.6.2013 alkaen jokaiselle uudis- ja myyntirakennukselle tulee määrittää energialuokitus. Edellä mainitun takia omakotitalon asukkaat investoivat yhä enemmän laadukkaampiin ja vähän kuluttaviin lämmitysjärjestelmiin.

Lämpöpumppujärjestelmät ovat olleet Suomen markkinoilla yli kymmenen vuotta. Tällä hetkellä suuri osa uusista omakotitaloista rakennetaan maalämpöä käyttäen ja moni vanhempi rakennus saa osaksi lämmitysjärjestelmää ilmalämpöpumpun. Lämpöpumppujen yleistyessä ne myös kehittyvät, ja markkinoille tuodaan vaihtoehtoisia lämpöpumppuja myös kerrostalo-, liiketila- ja teollisuusrakennuksille.

Lämpöpumpuille on määritetty rajaehdot. Esimerkiksi ilmalämpöpumppua ei suositella käytettäväksi alle -15 °C lämpötilassa, sillä tuolloin lämpöpumppu kuluttaa enemmän energiaa, kuin se pystyy tuottamaan. Tästä syystä ilmalämpöpumppua käytetään toissijaisena lämmitysjärjestelmänä, esimerkiksi öljykattila- tai suorasähkölämmityksen täydentäjänä.

Maalämpöpumpulla kerätään maaperään, kallioon tai veteen varastoinutta lämpöä. Toisin sanoen lämpöä otetaan syvästä porakaivosta tai maaperän pinnalle asennetusta vaakaputkistosta. Näin ollen maalämpöpumppu asettaa suuret vaatimukset omakotitalotontille.

Tässä opinnäytetyössä esitetään uusi, vaihtoehtoinen talon ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä, joka toiminnoiltaan muistuttaa maalämpöpumpun ja poistoilmapumpun tekniikkaa. Järjestelmää kutsutaan nimellä GTR (geothermal air-conditioner device),

ja se eroaa maalämmöstä lyhyesti sanottuna siten, että tontille, esimerkiksi rakennuksen viereen maan alle rakennetaan maan alainen lämpöenergiavarasto. Maan alle varastoidulla lämpöenergialla esilämmitetään tuloilmaa, ja lämmöntalteenoton avulla tuloilma lämpiää lisää. Lämmitettyä ilmaa käytetään huonetilojen ja käyttöveden lämmittämiseen. Toisin kuin maalämpöpumpun lämmönkeruuputkisto tai syväkaivo, GTR-järjestelmän kokonaisuus ei vaadi isoa tonttia eikä syviä porauksia.

1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja

GTR-järjestelmän kehittäjä on virolainen Airmaker Oü niminen yritys. Tekniikka on kehitetty 2000-luvun loppupuolelta lähtien ja tällä hetkellä Virossa on muutama pilottikohde, joiden tuloksia ja raportteja hyödynnetään tämän työn vertailu- ja raportointiosiossa. Yrityksellä on tavoitteena hyödyntää omaa tekniikkaa near-zero-energy-taloissa. GTR-järjestelmän avulla saadaan tiloihin paljon tuloilmaa, minkä takia Airmaker suuntaa katseensa myös toimisto- ja teollisuusrakennuksiin.

GTR-järjestelmää on kehitelty ja paranneltu yli kymmenen vuoden ajan. Valitettavasti tämä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä on saanut vähäistä huomiota markkinoilla ja jäänyt toistaiseksi taka-alalle. Euroopan parlamentti hyväksyi energiatehokkuusdirektiivin, jonka mukaan vuoteen 2021 loppuun mennessä kaikkien uudisrakennusten on täytettävä lähes nollaenergiatalon vaatimukset. (L 25.10.2012/10. Energiatehokkuusdirektiivi) Airmaker kehitti oman ratkaisumallin lähes nollaenergiatalorakentamiselle. Yritys on onnistunut luomaan kokonaisuuden, jolla voidaan lämmittää huonetiloja ja käyttövettä sekä kesällä jäähdyttää taloa pienellä energiankulutuksella ja käyttökustannuksilla. Near-zero-energy-building (ts. NZeB) eli lähes nollaenergiatalo on rakennus, jonka merkittävä osa energiantarpeesta tuotetaan talossa tai tämän läheisyydessä tuotetulla uusiutuvalla energialla. (VTT: Energiatehokkuuden parantaminen mullistaa rakentamisen lähivuosina, 2011.) Tämän lisäksi Suomessa uusi eurodirektiivi päätettiin ottaa haasteellisemmin, nimittäin Suomessa pyritään täyttämään direktiivin vaatimukset 100-vuotispäivän kunniaksi vuoteen 2017 loppuun mennessä.

1.3 Opinnäytetyön tavoite

Työn tavoitteena oli esitellä ja vertailla kriittisesti järjestelmän kilpailukykyisiä ominaisuuksia sekä muita lämpöpumppulaitteita käytettäviä lämmitysjärjestelmiä.

Tässä työssä vertailtiin GTR-järjestelmää kilpailevaan maalämpöpumppujärjestelmään eli syväporakaivosta ja pintamaasta lämpöenergiaa kerättävään maalämpöpumppuun. Vertailun tukena käytettiin toimeksiantajan tarjoamaa laskennallista kohdetta Helsingissä. Talon rakenteellinen sekä LVI:n tekninen osuus täyttää passiivitalon vähimmäisvaatimukset ja rajoitukset.

Vertailussa otettiin huomioon asioita, jotka askarruttavat järjestelmästä kiinnostuneita asiakkaita. Investointi on useimmille suuri kysymys. Täytyy esimerkiksi huomioida, kuinka pitkä on takaisinmaksuaika, mikä on laitteen elinkaari, käyttöikä ja huoltoväli sekä huollettavien osien saatavuus ja hinta. Tekniikan vanhentuminenkin askarruttaa. Tässä työssä esitetään mitä järjestelmät maksavat markkinoilla, kuinka järjestelmät asennetaan käyttökuntoon ja paljonko asiakkaan tulee maksaa, ennen kuin laitteen voi kytkeä päälle. Kaikki laitteet käyttävät sähköä toimiakseen ja tämä otetaan huomioon sähkökulutuksessa ja takaisinmaksuajan määrittelemisessä.

Työssä käsitellään erilaisia lämpöpumppuja, niiden ominaisuuksia, hyviä ja huonoja puolia. Jokainen rakennus on tonttikohtainen, josta riippuu, millainen lämmitysjärjestelmä on investointikustannuksiltaan edullisin. Koska kohteen geologisella sijainnilla on väliä, työssä otettiin huomioon herkkyysasteen, toisin sanoen esitetään, mitkä asiat ovat ratkaisevia investoinnin kannattavuudella. Tässä vertailussa käytettävä rakennus sijaitsee Helsingissä, jossa kallion syvyys on keskimääräisesti korkeammalla, kuin muualla Suomessa ja vuotuinen keskilämpötila on korkeampi kuin muualla.

Investoinnin lisäksi asiakkaita kiinnostavat huoltotoimenpiteet ja laitteiden elinkaari-kustannukset. Tässä työssä esitetään GTR-järjestelmässä käytettävien laitteiden odotettu käyttöikä ja kuluvien osien vaihto aika. Vertailussa otettiin huomioon myös maalämpöpumpulle tarkoitettut huoltotoimenpiteet ja käyttöikä. Erityisesti asiakkaita

kiinnostaa, millä tavoin he voivat itse vaikuttaa laitteiden ja koneiden käyttöikään ja näin ollen kustannustehokkuuteen, joten työssä esitetään GTR-järjestelmän huolto-toimet, joilla laitteiston tehokkuutta voidaan ylläpitää korkealla koko elinkaaren aikana.

Työssä otetaan kantaa onko GTR-järjestelmä turvallinen ja terveellinen asiakkaan kannalta. Suomessa ihmiset ovat erityisen hyvin tietoisia sisäilmaston orgaanisista epäpuhtauksista ja uskaltavat kyseenalaista LVIS-järjestelmien laatua. Tämän vuoksi GTR-järjestelmän toimintaperiaate esitetään yksinkertaisuudessaan sekä kuinka epäpuhtauksien syntymistä vältetään maanalaisessa osiossa.

1.4 Opinnäytetyön rajaus

Työssä ei ole tarkoitus mitoitaa tai suunnitella talon rakenteellista kestävyyttä, eikä myös LVIS-järjestelmien suunnittelua. Tarvittavat mallin piirustukset tulevat toimeksiantajalta, mm. pohjapiirustus, julkisivupiirustukset ja muut tarvittavat piirustukset. Energiakulutus lasketaan toimeksiantajan kehittämällä laskentamenetelmällä, joka pohjautuu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 98/34/EY teknisiin standardeihin ja määräyksiin.

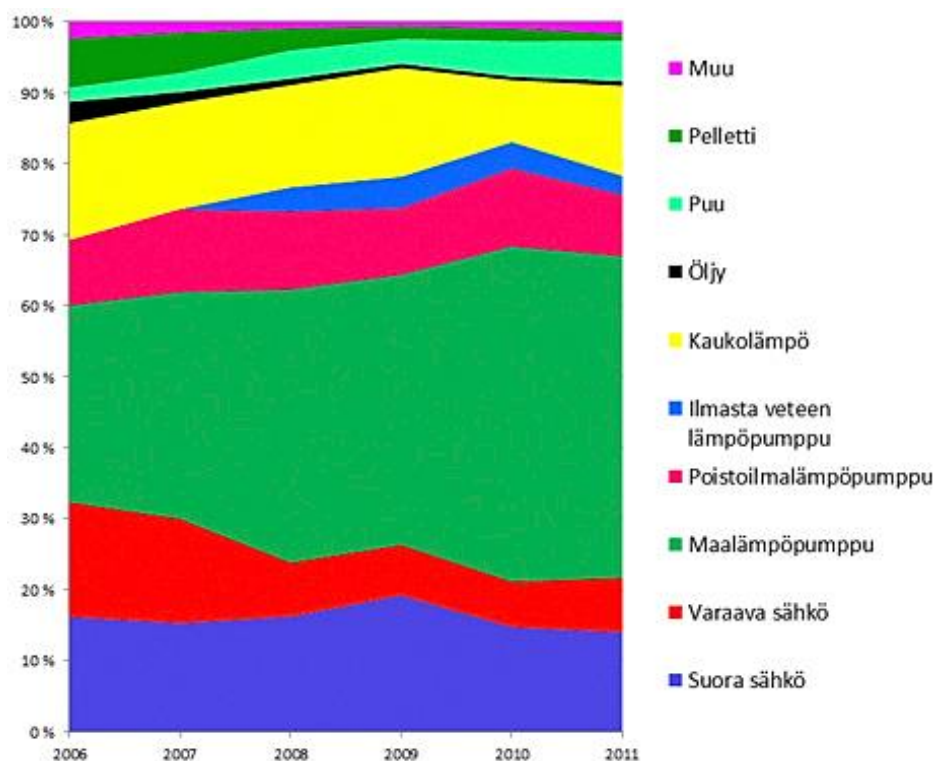
Työssä ei käsitellä tarkasti toimeksiantajan tekemiä laskelmia, joilla voidaan arvioida GTR-järjestelmän tehokkuutta, laajuutta tai muita käsitteitä, jotka tutkimuksen kannalta eivät ole tärkeitä. Nämä laskelmat ovat toimeksiantajan kannalta arvokkaita, eikä niitä haluta luovuttaa muille käytettäväksi. Laskelmissa huomioidaan esimerkiksi lämpövaraston lämmönsiirtymistehokkuutta ja lämpökapasiteettia.

Maalämpövaraston tuulettumista ja terveellisyyttä käsitellään vain sen verran, että voidaan osoittaa sen toimivan. Airmaker on kehittänyt oman ratkaisunsa tuulettumiselle ja yritys ei halua muiden kilpailevien laitekehittäjien saavan tarkat tiedot tuulettumisen määrittämisestä.

2 Lämpöpumppu

2.1 Mikä on lämpöpumppu?

Lämpöpumppu on laite, joka siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Laitteen tekniikka on ennestään tuttu jäähdyttävissä laitteissa, kuten jääkaapit, pakastimet ja ilmastoinnit, joissa välittäjäaine siirtää lämpöä putkistoissa sähköenergiaa käyttäen. Tehokkaasti käytettynä lämpöpumppu voi parhaimmillaan kerätä ulkoa rakennukseen omaan sähkökulutukseen verrattuna yli kolminkertaisen määrän energiaa. Suomen markkinoilla lämpöpumput ovat olleet 90-luvun alusta alkaen. Lämmönkeruumuodon mukaan lämpöpumput voidaan jakaa ilma-, maa-, poistoilma-, ja ilmajesilämpöpumppeihin. Kuviossa 1 on havainnollistettu Suomessa rakennettujen pientalojen eri lämmitysmuodot ja markkinaosuus vuosina 2006-2011.



Kuvio 1. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa pientaloissa vuonna 2006-2011. (Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, PRKK)

Lämpöpumppua käytetään yleisesti sisätilojen lämmittämiseen. Lämmityksen, veden ja ilmanvaihdon osuus asuntojen sähkönkäytöstä on noin 60-70 % ja pientalon energiankulutus vuodessa on 13 000 – 14 000 kWh (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011, 42.) Uudet rakentamismääräykset ohjaavat uusia rakennuksia yhä energiasäästäväisemmäksi, mikä näkyy lämpöpumppujen investointiluvuissa.

Taulukko 1. Lämpöpumppujen määrä Suomessa vuoden 2012 lopussa (Lämpöpumput 2013, 27).

Lämpöpumpputyyppi	Kappalemäärä
maalämpöpumppu	50 000
ilma/vesilämpöpumppu	10 000
poistoilmalämpöpumppu	25 000
ilmalämpöpumppu	450 000

Suomessa lämpöpumppuihin investoidaan vuosittain noin 400 miljoonaa euroa. Asennettujen lämpöpumppujen määrä on lueteltu taulukossa 1. Suunnilleen joka toiseen uudisrakennukseen asennettiin lämpöpumppu ja järjestelmä yleistyvät vauhdikkaasti myös vanhoissa rakennuksissa, joissa on asennettuna käyttökustannuksiltaan kalliita lämmitysjärjestelmiä, kuten öljylämmitteinen kattila tai vain suorasähköllä toimiva lämmitys. Vuoteen 2020 mennessä ennustetaan investoinnin kasvavaan 800 miljoonaan euroon vuosittain. (Perälä 2013, 27.)

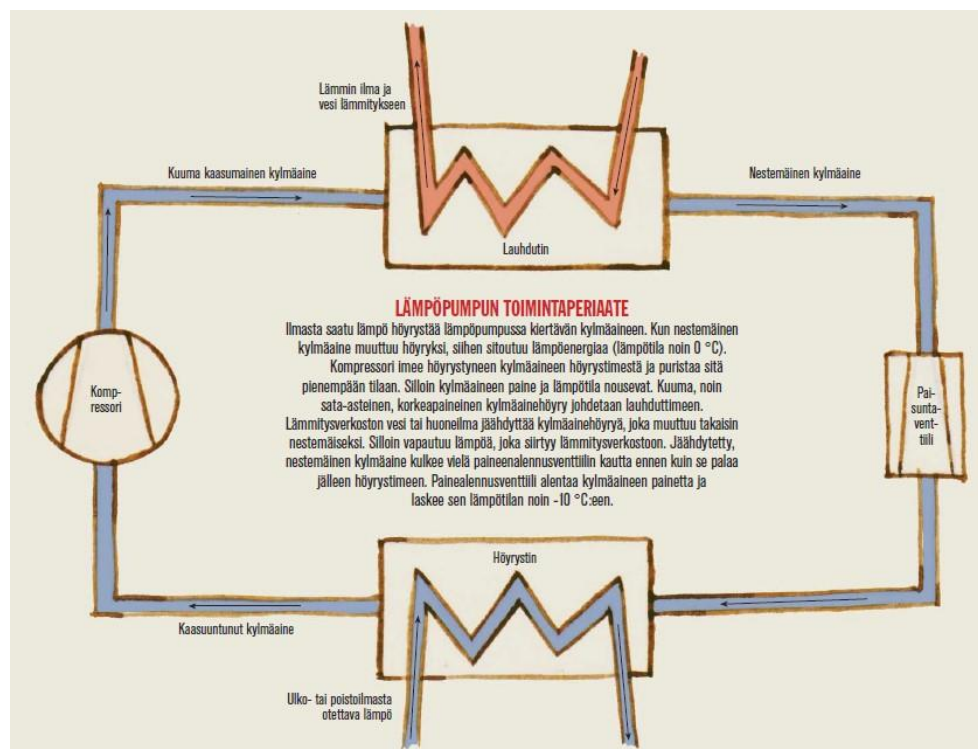
2.2 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu hyödyntää termodynamiikan lakia. Termodynamiikan ensimmäisen säännön mukaan painetta ja tilavuutta nostessa tai laskiessa energia eli tässä tapauksessa lämpö kohoaa tai jäähtyy. Kun esimerkiksi ulkoilmaa puhalletaan lämpöpumpun ulkoyksiköstä höyrystimeen, lämpöpumpun putkessa oleva nestemäinen kylmäaine höyrystyy ja sitoo lämpöä noin nolla asteiseksi. Tällöin myös paine kasvaa,

sillä putkiston tilavuus ei muutu, eli kyseessä on isokoorinen prosessi. Höyryksi muuttunut kaasumainen kylmäaine imeytyy kompressoriin, joka käytännössä puristaa kaasumaisen kylmäaineen pienempään tilaan, jolloin paine kasvaa ja lämpötila kohoaa noin 100-asteiseksi eli puhutaan isobaarisesta prosessista. Kuumaksi muuttunut kaasu siirtyy lauhduttimeen, jossa kuumentunut kylmäaine luovuttaa lämpönsä joko vesikierteiseen lämmitykseen tai suoraan lämmitettävään huonetilaan.

Jäähtynyt kaasumainen kylmäaine muuttuu nestemäiseksi ja siirtyy putkistoja pitkin paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiili laajentaa putkiston tilavuutta, jolloin kylmäaineen lämpötila jäähtyy entisestään ja samalla paine pienentyy. Noin -20-asteinen kylmäaine siirtyy taas höyrytimeen ja prosessi lähtee käyntiin uudestaan.

Lämpöpumpun toimintaa mahdollistaa putkistossa liikkuva kylmäaine, joka höyrystyy alhaisessa lämpötilassa paineen ollessa alhainen, mutta toisaalta luovuttaa lämpönsä ja tiivistyy korkeassa lämpötilassa lauhduttimessa paineen ollessa korkealla (ks. kuvio 2).



Kuvio 2. Ilmalämpöpumpun toiminta yksinkertaistettuna (Lämpöä ilmassa 2012, 4).

2.3 COP - lämpökerroin

Lämpöpumpun tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella COP (Capacity of Performance). COP-arvolla tarkoitetaan, kuinka moninkertaisen määrän energiaa lämpöpumppu tuottaa suhteessa kuluttamaansa energiamäärään. Esimerkiksi COP = 3 tarkoittaa, että lämpöpumppu luovuttaa sähköverkosta ottamansa kilowattitunnin lisäksi kaksi ylimääräistä kilowattituntia ja näin olleen lämmittää rakennusta kolmen kilowattitunnin energiamäärällä eli maksettavaksi jää ainoastaan yksi kilowattitunnin energiamäärää.

Lämpökertoimen teoreettisen arvon saa yhtälöstä:

$$\text{lämpökerroin COP} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \text{ missä}$$

T₁ = kerättävä lämpötila, esimerkiksi ulkolämpötila

T₂ = luovutuslämpötilaa, esimerkiksi sisälämpötila

Edellä mainittu yhtälö on kuitenkin vain teoreettinen. Laskelmassa oletetaan, että laitteiston osat, kuten esimerkiksi kompressorit toimivat täydellä hyötysuhteella kuluttamatta lainkaan energiaa. Todellinen lämpökerroin on pienempi, koska lämpöpumpun laitteiden kulutus huonontaa lämpökertoimen arvoa. (Perälä 2013, 30.) Käytännössä jos lämpöpumpun tehokkuudeksi saadaan arvo COP = 3, lämpöpumppu toimii erittäin tehokkaasti.

2.4 Ilmalämpöpumppu

2.4.1 Yleisesti

Ilmalämpöpumppu ottaa lämpöenergiaa suoraan ulkoilmasta ja käyttää sähköä toimintaansa. Fysikaalinen toiminta on yksinkertainen ja kuvailtu luvussa 2.2. Ilmalämpöpumput ovat erittäin suosittuja toisena lämmitysmuotona, sillä yksinään ILP ei ole kannattava talven kylmissä olosuhteissa, jolloin COP arvo laskee alle kannattavan rajan. Toisin sanoen talven pakkaskeleillä ilmalämpöpumppu ottaa enemmän lämpöenergiaa, kuin se pystyy tuottamaan. Tämän vuoksi ILP on erittäin kannattava, kun halutaan parantaa sellaisen rakennuksen energiatehokkuutta, joka käyttää lämmitykseen esimerkiksi suorasähköä tai öljylämmitteistä kattilaa.

Ilmalämpöpumpun tyyppilisin vuosilämpökerroin on kaksi, eli käytännössä ILP pystyy tuottamaan vuodessa kaksinkertaisen määrän lämpöä suhteessa käytettyyn sähköön. Edullisin tilanne on silloin, kun ilmalämpöpumpulla halutaan lämmitellä huonetiloja lattialämmityksen kautta, koska tällöin lattialämmitysputkistoon menevän veden lämpö on riittävä +30 asteessa. COP kerroin on korkeimmillaan silloin, kun ulkolämpötilan ja lämmönkäytön lämpötilan ero on mahdollisimman pieni.

2.4.2 Ilma-ilmalämpö

Ilma-ilmalämpöpumpussa lämpöä otetaan ulkoilmasta ja lämmitettynä luovutetaan sisätiloihin. Kesäisin ilmalämpöpumppua voidaan käyttää jäähdytyslaitteena. Ilma-ilmalämpöpumppu on yleisin vaihtoehto vanhaan rakennukseen, kun halutaan parantaa sen energiatehokkuutta. Ilmalämpöpumppua ei voida käyttää rakennuksen ai-noana lämmöntuottolähteenä, sillä leudolla säällä lämpöpumppu tuottaa enemmän kuin tarpeeksi lämpöenergiaa, kun taas pakkaselillä lämpöpumppu ei saa tarpeeksi lämpöenergiaa ulkoilmasta. Alin käytettävä lämpötila riippuu tuotevalmistajasta, mutta yleisesti voidaan sanoa, että lämpötilan laskiessa alle -20 °C:een lämpöpumppu kuluttaa enemmän, kuin tuottaa lämpöenergiaa. Ilma-ilmalämpöpumpulla

vuosittainen säästö on noin 30-40 % koko asunnon lämmitysenergiasta. (Lämpöä ilmassa - ilmalämpöpumput 2012, 6.)



IVT Nordic Inverter 09 / 12 PR-N

Kuvio 3. IVT Nordic ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikkö (IVT lämpöpumppuesite, 6)

Ilmalämpöpumppua asennettaessa on huomioitava sijoittelu. Vaikka lämpöpumppujen toiminta kehittyy koko ajan, ulkoyksikön puhaltimet voivat olla silti tarpeeksi äänekkäitä häiritsemään normaalia elämää. Tämän takia ulkoyksikköä ei kannata sijoittaa esimerkiksi makuuhuoneen ulkoseinään. Ulkoyksikkö kannattaa asentaa paikkaan, jossa ilmanvirtaus on esteetön. Sisäyksikön ja ulkoyksikön (ks. kuvio 3) on oltava mahdollisimman lähellä toisiaan ja niiden välissä kulkevat putket on eristettävä ja koteloitava. Sisäyksikköä asennettaessa on otettava huomioon ilmanvirran kulkeminen rakennuksessa, toisin sanoen se on sijoitettava niin, että lämmin ilma leviäisi mahdollisimman laajalle alueelle. (Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput 2012, 6.)

Ulkoilmassa on aina kosteutta, joka tiivistyy yksiköihin. Talvisin, erityisesti leudoilla keleillä, kosteutta tiivistyy ulkoyksikön pinnalle. Tällöin on huolehdittava, että tiivistyvistä kosteudesta syntyvä sulatusvesi johtuu ulkoyksiköstä pois, eikä muodosta jääpeitettä. Lähes kaikissa uusissa ilmalämpöpumpuissa on automaattinen sulatus, jonka tehtävä on sulattaa ulkoyksikön höyrytimen ympärille kertyvää jäätä. Sulatus tapahtuu joko sähkövastuksilla tai kääntämällä hetkellisesti lämmitystä sisätiloista ulkotilaan. On huomioitavaa, että automaattinen sulatus käyttää energiaa sulatusmuodosta riippumatta, mikä siis vähentää vuotuista lämpökerrointa. Kesäisin kosteutta kondensoituu sisäyksikköön. Tämän takia sisäyksikköön pitää sijoittaa poisjohtava putki rakennukseen viemäriin tai ulkoyksikön kautta ulos. (Perälä 2013, 54.)

Sisäilman jäähdytyksessä ilmalämpöpumpun järjestelmä toimii käänteisesti, samalla tavalla kuin esimerkiksi kylmäkaapit. Tällöin sisäyksikkö jäähdyttää sisäilmaa puhaltamalla ulkoyksikön kautta lämmin ilma ulos rakennuksesta. Ilmalämpöpumpua ei kannata käyttää ilman jäähdytykseen liian pitkiä aikoja kerrallaan, koska ilman viilentäminen jäähdyttää samalla laitteen vieressä olevia seinän pintoja. Tällöin ulkoilmassa oleva kosteus voi tiivistyä seinän tai lattian pinnoille ja aiheuttaa kosteusongelmia.

Ilmalämpöpumput vaativat säännöllistä suodattimien puhdistusta. Tuotevalmistajat kehottavat käyttäjiä imuroimaan tai pesemään vedellä sisäyksikön suodattimet kerran kuukaudessa, sillä nämä poistavat sisään virtaavasta ilmasta suurimmat hiukkaset sekä myös pienemmätkin, kuten siitepölyn, homeitiöt, bakteerit ja jopa virukset. Ulkoyksiköstä on poistettava siihen kerääntyneet roskat kuten puun lehdet. Talvella on huolehdittava, että ulkoyksikköön tiivistyvä ja jäätyvä vesi ei estä ilmanvirtauksen kulkua höyrytimeen ja jotta kondenssivesi pääsee pois ulkoyksiköstä. Ilmalämpöpumpua voidaan olla käyttämättä pitkiäkin aikoja vahingoittamatta laitetta, tosin tuotevalmistajat suosittelevat tarkistamaan sekä myös puhdistamaan sisä- ja ulkoyksikkö pidemmän seisonjakauden jälkeen. (Lämpöä ilmassa - ilmalämpöpumput 2012, 7.)

2.4.3 Ilma-vesilämpö

Ilma-vesilämpöpumppu eli ULVP luovuttaa lämpöenergian vesivaraajaan, josta lämpöä voidaan käyttää vesikiertoiseen lämmitykseen tai lämpimänä käyttövetenä. Parhaimman COP arvon saa, kun kiertoveden lämpötilaa pidetään alhaisena. Esimerkiksi, jos rakennuksen tiloja lämmitetään lattiassa olevilla vesiputkilla, menoveden lämpötilaksi riittää +30 °C. Ongelmaksi voi koitua lämmin käyttövesi, joka rakentamismääräyskokoelma D1:n mukaan on oltava vähintään +55 °C, sillä alhaisemmissa lämpötiloissa käyttövedessä voi esiintyä bakteerikasvustoa. (A 24.01.2007/2.3.8. Kiinteistön vesi- ja viemärlaitteistot) Tämän takia käyttöveden lämmittämistä varten UVLP:n automaattinen järjestelmä antaa vesivaraajan lämmetä käyttövedelle sopivalle lämpötilalle, jolloin vesikiertoisen lattialämmityksen menovesi sulkeutuu. Tällaiset katkot ovat sen verran lyhyitä, että rakennuksen huoneiden merkittävää jäähtymistä ei pääse syntymään. (Perälä 2013, 74.)

UVLP käyttää pitkälti samanlaista tekniikkaa kuin ilma-ilmalämpöpumppu. Ulkoilman jäähdytys saa ilman sisältämän kosteuden huurtumaan lämpöä ottavan patterin eli höyrystimen pinnoille. Huurtuminen on voimakkainta, kun ulkolämpötila on nolla. Huurteen vuoksi ulkoyksikköön tiivistyy paljon vettä, suurimmillaan noin 10 litraa vuorokaudessa. (Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput 2012, 9.) Tämä pitää huomioida, kun miettii sijaintia UVLP:lle, koska väärällä sijainnilla vesi voi aiheuttaa kosteusvaurioita ja talvella kondensoituva vesi jäätyy laitteen ympärillä.

UVLP:n ulkoyksikkö aiheuttaa samalla tavalla melua kuin ilma-ilmalämpöpumppu, minkä vuoksi sijoittamista ei suositella paikkaan, josta melu voi olla haittana. Ulkoyksikköä varten pitää varata tarpeeksi tilaa, sillä ilman pitää kulkea laitteen ympärillä eikä laitteen läpi kiertänyt ilma saa joutua uudestaan laitteeseen. Sisäyksikkö on huomattavasti isompi kuin ilma-ilmalämpöpumpun sisäyksikkö, ja se pitää sijoittaa teknisen tilaan tai kodinhoitohuoneeseen, jossa on lattiakaivo.

Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan säästää noin 40–60 prosenttia lämmitysenergian-tarpeesta verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Lämpökerroin riippuu ulkolämpötilasta, samalla tavalla kuin ilma-ilmalämpöpumpulla. Alhaisin ulkolämpötila, jota voidaan käyttää UVLP:n kanssa, on -20 °C. Markkinoilta löytyy myös CO₂-ilma-vesilämpöpumppuja, jotka toimivat -26 °C:ssa. (Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput 2012, 9.) Toisin sanoen, UVLP:tä voi käyttää rakennuksen ainoana lämmitysjärjestelmänä, kun vesivaraajan sisälle kytketään sähkövastus.

2.4.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpulla eli PILP:llä otetaan talteen rakennuksesta poistuvaa ns. ”jäteilmaa”. Tänä päivänä asuinrakennuksissa tilojen ilma pitää vaihtua vähintään kerran kahdessa tunnissa, eli $0,5 \times \frac{1}{h}$. (A 30.10.2002/3.2.2.1 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto) Ilmanvaihto tapahtuu joko painovoimallisesti esimerkiksi ikkunoiden kautta tai uusissa taloissa koneellisella ilmanvaihdolla. Koneellinen ilmanvaihto imee huoneenlämpöistä poistoilmaa kosteista tiloista kuten kylpyhuoneesta ja WC-tiloista, sekä keittiöistä. PILP ottaa talteen osan lämpöenergiasta, joka muuten poistuisi rakennuksesta ulos ilmanvaihdon avulla.

Uusissa rakennuksissa poistoilman lämpöenergiasta on otettava talteen 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. (A 30.10.2002/4.1.2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto). Tämä vaatimus on toteuttavissa jo pelkästään ilmanvaihtimen avulla, joka yksinkertaisesti siirtää poistoilman lämmön esilämmitettyyn tuloilmaan. (Perälä 2013, 77). Poistoilman käyttäminen tuloilman lämmitykseen käytetään lämmöntalteenotossa, joka käsitellään tarkemmin luvussa 2.6 Lämmöntalteenotto.

Poistoilmalämpöpumppu ottaa talteen lämpöenergian ja siirtää sen vesivaraajaan tai lämmittää tuloilmaa. Vesivaraajaa käytetään lämpimän käyttöveden tuottamiseksi ja

samalla rakennuksen lämmittämiseksi. PILP:lla voidaan säästää noin 40 % lämmityskustannuksista verrattuna suoraan sähkölämmitykseen (Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput 2012, 10). Tehokkaimmat pumput voivat toimia matalaenergiatalojen ainoana lämmitysjärjestelminä. Poistoilmalämpöpumppuun yhdistetään myös erillinen sähkövastus, jolla voidaan tehostaa lämpöpumpun toimintaa, jos poistoilman virtaus ei ole tarpeeksi tehokas vesivaraajan lämmittämiseksi.

PILP:n käyttämiseksi suositellaan käyttämään tuloilman esilämmitystä. Ossi Perälä (2013, 79) ottaa tämän aiheeksi omassa teoksessa. Hänen ajatuksensa on sikäli kiinnostava, että hänen mielestään esilämmittämiseksi riittäisi, kun maanpinnan alle 1,5 metrin syvyydelle rakennusvaiheessa asennettaisiin noin 200 mm läpimitaltaan muoviputki, jonka kautta kulkisi tuloilma ilmanvaihtimeen. Talvella tuloilma olisi esilämmitettyä ja kesällä viileä. GTR-järjestelmä teoreettisesti toimii juuri tällä tavalla. Sen sijaan, että tuloilma kulkisi vain hetkellisesti putken läpi, GTR-järjestelmän maanalaisessa osiossa tuloilma lämpiää maaperään varastoidulla lämpöenergialla.

Poistoilmalämpöpumppu voidaan asentaa uuteen rakennukseen tai liittää vanhaan ilmanvaihtojärjestelmään. Tällöin riittää, että ilmanvaihtokoneet ja puhaltimet korvataan poistoilmalämpöpumpulla. Sijoittaminen on suositeltavaa paikkaan, jossa on lattikaivo, esimerkiksi tekniseen tilaan. Pumppuun kertyy käytön aikana kondenssivettä, joka on johdettava viemäriin. PILP:n suodattimet on uusittava noin kerran vuodessa, sillä suodattimet poistavat tehokkaasti tuloilmassa olevaa pölyä ja muita epäpuhtauksia. Vesivaraajan venttiili ja suoja-anodin kunto on tarkastettava kerran kahdessa vuodessa ja tarvittaessa uusittava.

2.5 Maalämpöpumppu

2.5.1 Yleisesti

Maalämpöpumpulla kerätään lämpöenergiaa maaperästä, kalliosta tai vedestä. Kaikissa tapauksissa kyse on aurinkoenergiasta ja Suomessa maalämpö on luokiteltu uusiutuvaksi energianlähteeksi. (GeoDrill, Mitä on maalämpö?) Maalämpöä käytettäviä pientaloja oli vuonna 2011 jo lähes puolet. Maalämpöpumppu on ilmalämpöpumpua paljon tehokkaampi, koska se ei ole riippuvainen ulkona olevasta lämpötilasta. Maalämpöä voi käyttää rakennuksen ainoana lämpöenergian tuottajana toisin kuin ilmalämpöpumppua, mutta toisaalta maalämpöpumpun investointi voi tulla tuplasti kalliimmaksi. Vuositasolla, Suomen sääolotiloissa, vuotuinen lämpökerroin on kolme. COP kertoimeen vaikuttaa hyvin paljon se, että lämpötilaero lämmönlähteen ja luovutettavan lämmön välillä on mahdollisimman pieni. Tästä syystä, esimerkiksi vesikiertoinen lattialämmitys on energiatehokas lämmitysratkaisu, koska lattialämmityspotkistoissa kiertävän veden ei tarvitse olla niin lämmintä kuin patteriverkostossa. (Lämpöä omasta maasta – maalämpöpumput, 2)

Maalämpöpumpun tehon voi määrittää haluamalla tavalla. Jos lämpöpumpulla halutaan kattaa koko rakennuksen lämmitys, myös kovimmillakin pakkasilla, tulee valita täyden tehon antavan maalämpölaitteiston. Jos sen sijaan haluaa, että maalämmöllä katetaan kovimmilla pakkasilla vain esimerkiksi 80 % tehosta, voi valita osatehoisen maalämpölaitteiston. Tällöin kovilla pakkasilla lämmitysjärjestelmän apulaitteina käytetään joko sähkövastuksia tai vesivaraajaa. Huippupakkasia sattuu vuoden aikana vain muutama kerta ja teholtaan viidenneksen pienempi maalämpölaitteisto pystyy tuottamaan jopa 98 % kaikesta rakennuksen tarvitsemasta lämpöenergiasta. (Perälä 2013, 61)

GTR-järjestelmää kilpailee energiatehokkuudeltaan ja hintatasoltaan maalämpöjärjestelmän kanssa.

2.5.2 Maalämpö pintamaasta

Lämmönkeruuputkistolla eli toisin sanoen vaakaputkistolla voidaan kerätä auringon lämpöenergiaa maaperästä. Maahan upotettava vaakaputkisto on edullisempi ratkaisu kuin porakaivo. Vaakaputkisto asennetaan vähintään 1,5 metrin syvyydelle maanpinnasta. Putkistossa kiertää jäätymätön neste, joka kerää maahan varastointunutta energiaa. Neste lämpiää muutamalla astella kierrettyä koko lämmönkeruuverkoston, mistä johtuen putkiston vähimmäispituutta on mitoittava oikein. Jos putkisto jää lyhyeksi, niin siinä kiertävä neste ei lämpiä tarpeeksi ja lämpöpumpun teho laskee. Lämmön kerääminen jäädyttää putkiston ympärillä olevaa maaperää, mikä voi esiintyä keväällä hitaalla lumen sulamisella.

Vaakaputkiston valintaan vaikuttaa tontin pinta-ala ja muoto. Putkistoa on asennettava noin 300 - 400 metriä vähintään metrin syvyydelle maan pinnasta ottaen huomioon sen, että vaakaputkien välissä on oltava 1,5 metriä, jotta putkiston lämmönkeruu tapahtuisi tehokkaasti. Toisin sanoen, esimerkiksi normaalikokoiselle talolle on varattava noin 600 – 800 neliömetrin kokoinen ala. (Perälä 2013, 65.) Maaperälajilla on myös vaikutusta, sillä kosteasta savimaasta saadaan enemmän lämpöä kuin hiekka- maasta. Sen sijaan kivinen maaperä soveltuu erittäin heikosti vaakaputkistoille, sillä routivassa maaperässä voi esiintyä liikkumista ja liikkuvat kivet voivat aiheuttaa lämmönkeruuputkistoon suurta vahinkoa.

Keruuputkisto tulee asentaa maahan mahdollisimman tarkasti vaakatasoon tai hie- man tasaisesti laskevaksi pois päin rakennuksesta, jotta putkiston ilmaaminen olisi helppoa, eikä putkeen jäisi tehonkulutusta lisäävää ilmaa. Lämmönkeruuverkoston toiseen päähän asennetaan huoltokaivo, josta käsiin voidaan huoltaa putkistoa. Yli 400 metriä pitkä verkosto ei pidä tehdä yhtenä lenkinä, sillä nesteen kierrätys kuluttaisi tällöin enemmän energiaa ja energiatehokkuus kärsisi.

Vaakaputkiston asentamiseksi suurin kynnyks asiakkaille on kaivuutyöt. Kun kysymyksessä on uudisrakennus, lämmönkeruuverkosto on asennettavissa ongelmitta maanrakennustöiden aikana. Sen sijaan, kun kyseessä on vanhempi rakennus, jonka tontilla on istutuksia ja muita pihavarustuksia, kaivuutyöt voivat aiheuttaa paljon tuhoa. Asennusvaiheessa on myös huomioitavaa, että istutettu puu voi ajan myötä rikkoa vaakaputkistoa kasvavilla ja leviävillä juurilla. Tästä johtuen lämmönkeruuverkostoa käytettäessä olisi suotavaa, ettei tontilla ole isoa kasvillisuutta.

2.5.3 Maalämpöä porakaivoista

Kallioon varastoituu lämpöenergiaa auringon säteilystä sekä myös hieman geotermistä energiaa maan sisäosista. Syvällä porakaivoilla voidaan kerätä kalliosta kyseistä lämpöenergiaa ympäri vuoden. Porakaivo on pintamaasta kerättävää maalämpöä kalliimpi vaihtoehto, sillä kaivoa joudutaan poramaan jopa 200 metrin syvyydelle. Pohjois-Suomessa, jossa kalliosta on keskimääräisesti vähemmän varastoitunutta lämpöenergiaa, voidaan joutua poraamaan kaksi tai useampi porakaivo, kun taas Etelä-Suomessa vastaavalle rakennukselle riittää yksi porakaivo. Porakaivon hienous on siinä, ettei se vaadi pinta-alaltaan laajaa tonttia, eikä sillä turmella tontin kasvillisuutta, kun asennus tapahtuu jo rakennetulle tontille.

Lämpökaivon poraus on nykytekniikalla nopeaa ja helppoa. Poraus hoidetaan telaketjuisella porakoneella, jonka vuoksi olisi hyvä suunnitella sen liikuttamista tontilla etukäteen, jotta kone ei rikkoisi tontin kasvillisuutta. Porauksen aikana syntyy jonkin verran pölyä, mistä olisi hyvä ilmoittaa lähinaapureille suojautumiseksi esimerkiksi peittämällä ulko-ovet verhoilla sekä mahdollisesti ikkunat kevyillä peitteillä. Suojautuminen on hetkellistä, sillä asennustyö kestää yleensä vain yhden työpäivän ajan. Porauksesta syntyvästä porausjätteestä voi sopia asennusurakoitsijan kanssa. Yleensä urakoitsija itse hoitaa saven, liejun ynnä muun maaperälajitteiden pois porauksen yhteydessä.

Lämmönkeruupiiriin kytketty paisuntasäiliön sisällä oleva nestetaso on tarkastettava säännöllisin väliajoin ja sen on oltava tuotevalmistajan määräysten mukainen. Hiukkassuodatin, joka estää pienhiukkasten ja muun lian pääsyn lämmönvaihtimeen, on puhdistettava vähintään kerran vuodessa tukkeutumisen estämiseksi.

2.5.4 Maalämpö vesistöstä

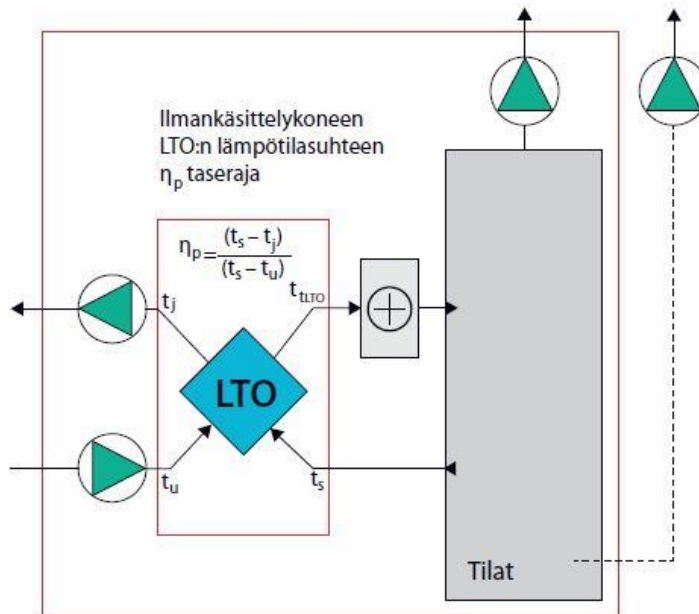
Lämpöenergiaa voi ottaa vedestä, jos rakennuksen tontilla on vesistö. Lämmönkeruuputkisto asennetaan vähintään kahden metrin syvyydelle lähelle rantaa. Putket upotetaan pohjaan painoilla. Putket on eristettävä, koska talvella veden jäätyessä jää voi vaurioittaa lämmönkeruuputket. Samoin myös vedestä rakennukseen kulkeutuvat putket on eristettävä, jotta keruuputkien sisällä oleva neste ei jäähdy kulkiessa rakennukseen.

2.6 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto on koneellinen ilmanvaihtoyksikkö, joka esilämmittää kylmää tuloilmaa rakennuksesta poistuvalla poistoilmalla.. Toisin sanoen, lämmöntalteenottoa ei saa sekoittaa lämmityslaitteistoon. Lämmöntalteenottoa käytetään esimerkiksi poistoilmalämpöpumpussa tai muiden lämpöpumppujen kanssa, sillä molemmat laitteet täydentävät toisiaan.

Lämmöntalteenottolaitteita on kolmenlaisia: pyöriväkennoiset, vastavirtakennoiset ja ristivirtakennoiset. Eroavaisuudet esiintyvät tuloilman ja poistoilman yhdistymisteknikassa, tosin kaikissa tapauksissa ilmat sekoittuvat laitteen keskellä olevassa suodatetussa kennossa. Hyötysuhteessa on eroa siinä määrin, että pyöriväkennoiset ja vastavirtakennoiset ovat hyötysuhteeltaan yhtä tehokkaat (n. 80–85 %) ja ristivirtakennoisten hyötysuhde on edellä mainittujen heikompi (n. 60–65%). (Swegon, lämmöntalteenotto- tuotteet). Lämmöntalteenoton toimintaperiaate on havainnollistettu kuviossa 4.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella tarkoitetaan vuosittaista talteen otettavaa lämpöenergiaa suhteessa lämpöenergiaan, jota käytetään rakennuksen tilojen lämmittämiseen ilman lämmöntalteenottoa.



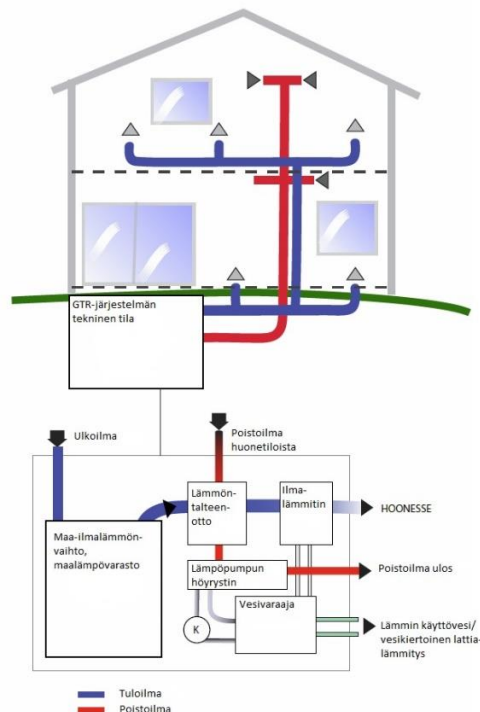
Kuvio 4. Lämmöntalteenotto (LVI 38-10515 2012, 1).

3 GTR-järjestelmä

3.1 Yleistä

GTR eli ” Geothermal climate conditioning device” on eräänlainen yhdistelmä edellä käsitellyjä lämmitys- ja jäähdytyslaitteita. Kokonaisuudessaan se sisältää maan alaisen lämpöenergiavaraston, tehokkaan ilmanvaihdon ja lämpöpumpun, joiden avulla huonetilaan saadaan tehokkaasti vaihdettua raikasta ja lämmitettyä tai jäähdytettyä ilmaa, kuumennettua vesivaraajaa ja poistettua tiloista jäteilman.

Maa-ilmanvaihtokone ja lämmöntalteenotto ovat tärkeimmässä roolissa. Airmaker Oü on kehittänyt maalämpövaraston ja lämmöntalteenoton sisältävän kokonaisuuden, jonka avulla koko lämmitysjärjestelmän vuotuiseksi hyötysuhteeksi voidaan optimiolosuhteissa nostaa toimeksiantajan mukaan lähes 99 %:ksi. Näin korkean hyötysuhteen saavuttaminen vaatii rakennuksen, jossa lämmönvuotoa ei esiinny ja käytetyn lämpimän käyttöveden lämpöenergia hyödynnetään lämmöntalteenotolla. Edellä mainitut seikat ovat tärkeitä energiatehokkuussäädösten kannalta, jonka mukaan rakennuksen on oltava ilmatiivis ja lämmöntalteenotto tehokas. Tällä hetkellä Airmaker käyttää laskennassa lämmöntalteenoton vuotuisena hyötysuhtena arvoa 80%.



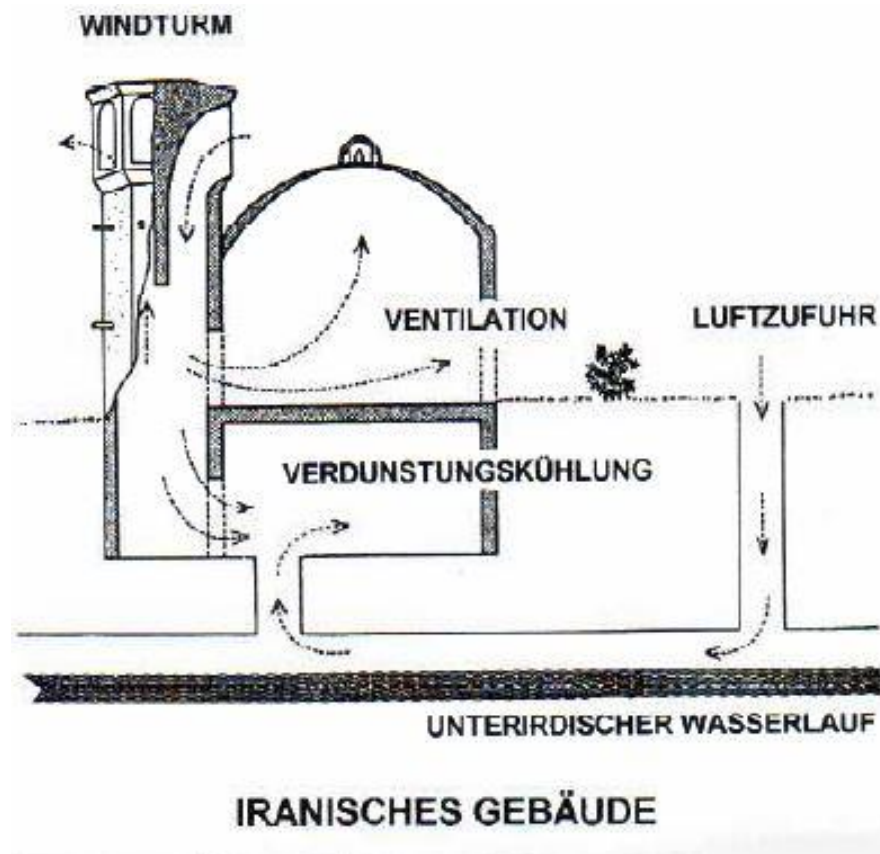
Kuvio 5. Havainnepiirustus GTR-järjestelmästä.

GTR-järjestelmä on tekniikaltaan ja toimintaperiaatteeltaan maalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun välimaastossa. Tuloilmaa otetaan ulkoa, mutta se esilämmitetään kuljettamalla maan alla, johon on varastoitunut lämpöenergiaa. Kesäaikaan lämmin ja kostea ilma kulkiessaan maan alla luovuttaa lämpönsä ja kosteutensa maaperään ja jatkaa viilentyneenä sisätiloihin. Talvella, kylmän ulkoilman kulkiessa maan

alla lämpiyä. Toisin sanoen, ulkoilmaa saadaan sekä viilennettyä, että myös lämmitettyä maahan varastoidulla lämmöllä. Kuviossa 5 on havainnollistettu GTR-järjestelmä kokonaisuudessaan. Liite 2 sisältää saman piirustuksen isommassa koossa.

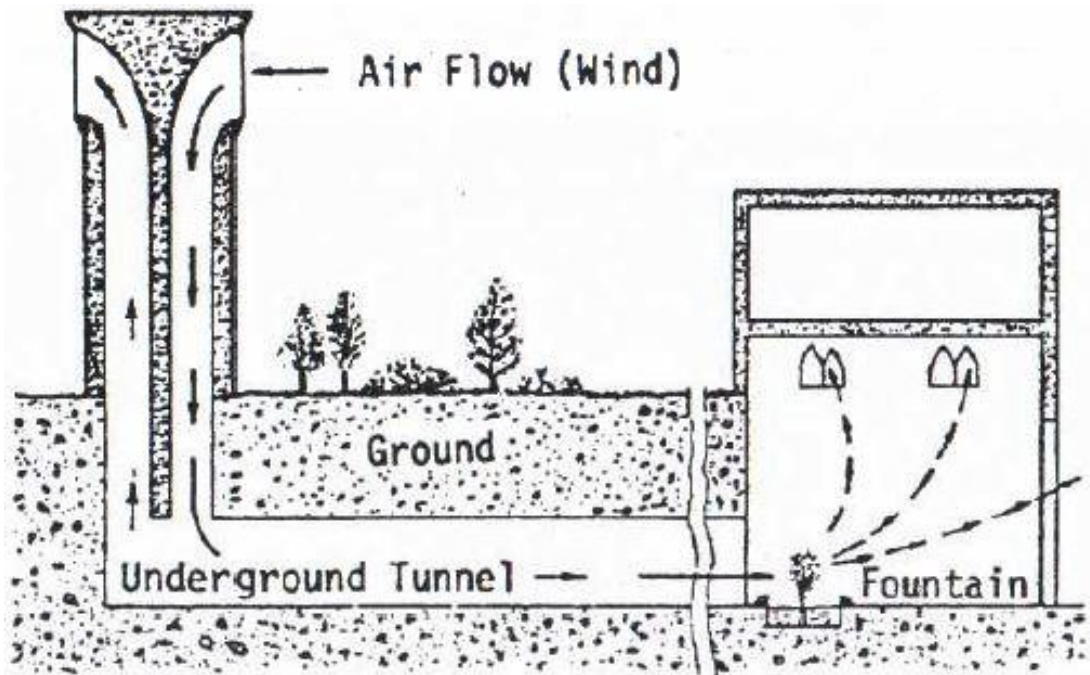
3.2 Historia

Maanalainen lämmitys ja jäädytys eivät ole uusi keksintö. Tiedetään, että tuloilman viilentämistä on käytetty 900 luvulla iranilaisilla rakennelmissa (ks. kuvio 6), joissa tuloilma kulkeutui pohjavesikerrokseen kaivattujen kaivojen kautta rakennuksen alakertaan, johon virtasi myös ulkoilmaa ns. ”tuulenkerääjästä”. Viileä ilma nousi painovoimaisesti rakennuksen sisätiloihin ja paransi rakennuksen sisäilmastoa.



Kuvio 6. Iranilainen rakennus 900 jKr. Ulkoilma virtaa rakennukseen poratusta kaivosta ja ”tuulenkerääjästä” alakertaan, jossa ilmapirrat sekoittuu. (Luft-Erdwärmetauscher 2014, 36).

Vastaavanlaista sisäilman jäähdyttämistä oli löydetty myös persialaisesta arkkitehtuurista. Ulkoilmaa kerättiin maan alle tuulenkerääjän kautta (ks. kuvio 7). Maan alla tuloilma jäähtyi luovuttaen lämpöenergiansa maaperään. Maanalaisen kaivon päähän rakennettiin vesivirtaus ja/tai vesilähde, jonka kosteutti tuloilmaa. Kosteaa ja jäähdytettyä tuloilmaa siirtyi painovoiman avulla rakennuksiin sisätiloihin. (Luft-Erdwärmetauscher, 36.)



Kuvio 7. Persialainen arkkitehtuuri. Ulkoilma siirtyi maanalaisen tunnelin kautta sisätiloihin viilentyneenä. (Luft-Erdwärmetauscher 2014, 36).

3.3 GTR-laitteisto

Tässä kappaleessa esitetään GTR-järjestelmään kuuluvat laitteet ja niiden toiminta. Liitteessä 2 on kuvailtu GTR-järjestelmän toiminta pääperiaatteellisesti. Liitteessä 3 on sähkötekniinen piirustus GTR-järjestelmästä.

3.3.1 Maa-ilmalämmönvaihto

Maan alle rakennetaan kaksi alipaineista kammiota, joita yhdistää useat metalliputket (ks. kuvio 8). Kammioiden ulkopuolelle jäävät seinäpinnat eristetään kosteutta ja ilmaa läpäisemättömällä kerroksella, esimerkiksi höyrynsulkukalvolla tai vastaavalla. Jos rakennuksen kellarikerros rakennetaan kammioiden viereen, niin kellariseinän ja kammion väliin on asennettava kosteutta ja lämpöä eristävä kerros (ks. Liite 4).



Kuvio 8. Kammioita yhdistävät metalliputket.

Kammioita yhdistävät metalliputket asennetaan niin, että ne ovat viistosti ylöspäin. Kulma, jonka mukaan putket asennetaan viistosti, määritetään ja suunnitellaan rakennuskohtaisesti. Metalliputket kytketään toisiinsa erillisellä muoviputkella, joka on halkaisijaltaan metalliputkia isompi. Muoviputki kulkee kohtisuorasti metalliputkia nähden ja kytkee kaikki kammioiden välissä kulkevat metalliputket toisiinsa.

Metalliputken kautta kammioiden välissä kulkeva ilma joko lämpimää tai jäähtyy, riippuen vuodenajasta. Putkien sisällä kulkeva tuloilma on eristetty maalämpövarastosta. Metalliputkien yläpuolella on muutaman sentin paksuinen hiekkakerros, jonka päällä on paksu kevytsorakerros. Kevytsorakerros eristetään hiekkakerroksesta suodatinkankaalla, jotta ne eivät sekoitu keskenään. Kevytsorakerros toimii lämpövarastona ja sitoo lämmönvaihdossa syntyvää kosteutta. Jotta kondenssivedestä syntyvästä kosteudesta ei aiheudu ongelmia, ensimmäiseen kammioon on asennettu kevytsorakerrokseen yhdistetty ilmansulkuventtiili. Jos syntyy tilanne, että vesi kondensoituu metalliputkien ympärille, ilmansulkuventtiili aukeaa ja tuulettava ilma kulkee kevytsorakerroksen läpi poistoputkeen, joka johtaa kosteuden ulos rakennelmasta.

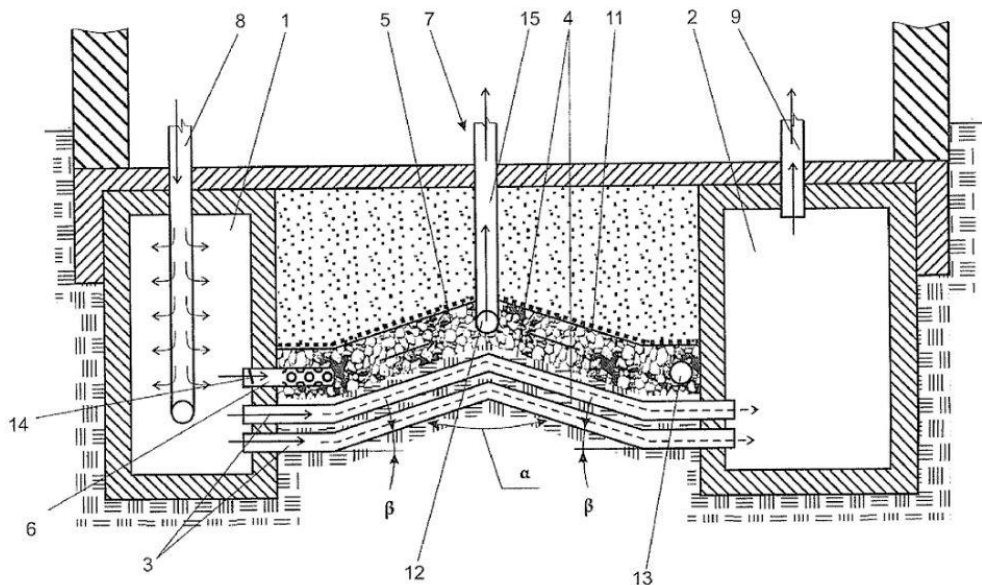
Kevytsorakerros on eristetty kaikista suunnista. Kammioiden seiniin asennetaan kosteutta läpäisemätöntä eristelevyä, joka estää lämmön ja kosteuden karkaamista kammioiden välillä. Kosteuden kulkeutumista ylös vältetään asentamalla kevytsoran päälle vedeneriste, kuten esimerkiksi patolevy (ks. kuvio 9). Tällöin kosteus ei pääse kapillaarisesti nousemaan yläpuolella oleviin tiloihin.



Kuvio 9. Kevytsoran eristäminen patolevyllä.

3.3.2 Maa-ilmalämmönvaihdon toiminta

Ensimmäisen kammion tarkoitus on vastaanottaa ja kuljettaa eteenpäin ulkoa tulevaa tuloilmaa. Tuloilmaa ei suodateta, vaan ilmassa oleva pöly ja muut raskaat hiukaset asettuvat lattialle ilmanvirtauksen hidastumisen vuoksi. Mekaanista suodatusta ei tässä vaiheessa käytetä siitä syystä, että ajan myötä suodattimet tukkeutuvat ja asukkaan tulisi puhdistaa niitä vähintään kerran kuukaudessa. Jos asukas puhdistaa suodattimia harvoin, ilmanvirtauksen määrä heikkenee ja järjestelmän tehokkuus kärsii. Ongelman välttämiseksi mikro-suodattimia ei käytetä lainkaan tässä vaiheessa. Ulkoseinässä olevan putken pää on suojattu suurimmilta kappaleilta, kuten puun lehdistä ja muulta ilmassa kulkeutuvalta kappaleilta.

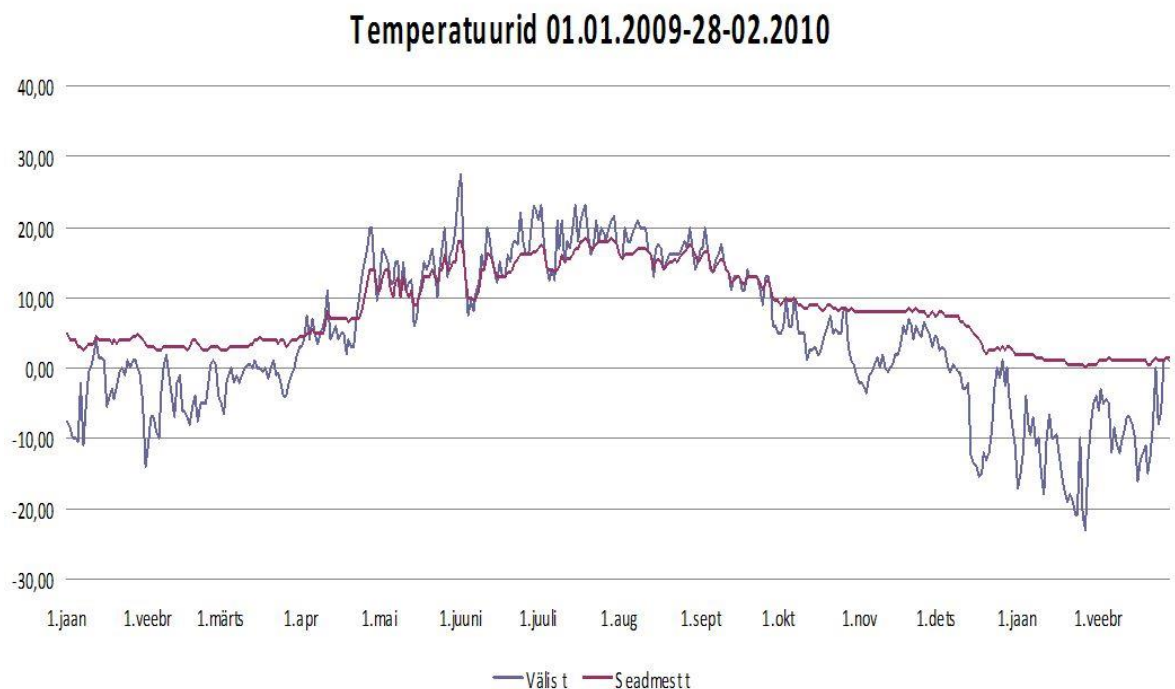


Kuvio 10. Maalämpövaraston leikkauskuva, johon on huomioita ilman liikkeen. Tuloilmaputki (8) ottaa ilmaa ulkoa. Maalämpövaraston tuuletusputkella (15) poistetaan lämpövarastossa syntyvä kosteus. Esilämmitetty tuloilma siirretään ilmanvaihtimeen toisesta kammiosta (9).

Tuloilma kulkeutuu ensimmäisestä kammiosta toiseen kammiotaan metalliputkien ja niitä yhdistävän muoviputken kautta (ks. kuvio 10). Kesällä, kun ulkoilman lämpötila on korkeampi kuin maaperän, ilman lämpöenergia varastoituu kevytsorakerrokseen. Viilentynyt ilma kulkeutuu toisen kammiotaan ja muiden laitteiden läpi huonetiloihin.

Esiviilennetty ilma voidaan käyttää semmoisena huonetilojen jäähdyttämiseen ke-sällä, jolloin sähköenergiaa ei kuluteta lainkaan. Esiviilennettyä ilmaa voidaan myös viilentää entisestään lämpöpumpun avulla saavuttaakseen tarpeeksi miellyttävän lämpötilan.

Talvella kylmä ulkoilman kulkeutuessaan ensimmäistä kammioista toiseen kammioon lämpiyä ilmanvirtaus kevytsorakerrokseen varastoidulla lämpöenergialla. Maan alai-sella esilämmityksellä tuloilman lämpötilaa voidaan nostaa huomattavasti. GTR-jär-jestelmän yksi oleellisimmista eduista muihin lämmitysjärjestelmiin on juuri se, että talvien kylmimmillä keleillä tuloilman esilämmityksellä tehostetaan LTO:n ja lämpö-pumpun toimintaa, kun sen sijaan muut lämmitysjärjestelmät käyttävät suorasähköä eli sähkövastuksia, jotta lämmityslaitteet eivät kuluttaisi enemmän energiaa mitä pystyvät muodostamaan.



Kuvio 11. Ulkoilman ja maaperällä lämmitetyn ilman lämpötila. Sininen viiva on ulko-lämpötila ja punainen viiva on toisen kammion lämpötila. Lämpötilat mitattu Tar-tossa, Virossa ajanjaksolla 1.1.2009–28.02.2010.

Edellä mainitussa kuviossa (ks. kuvio 11) esitettyssä viivakaaviossa sininen viiva kuvaa ulkolämpötilaa ja punainen viiva esittää toisessa kammiossa olevan tuloilman lämpötilaa, joka siirtyä LTO:lle. Mittaus on suoritettu Airmaker:n rakentamassa passiivitalokohteessa, jossa GTR-järjestelmä toimii ainoana lämmitysjärjestelmänä. Kuvasta voidaan todeta, että talven pahimpien piikkien aikana maa-ilmanvaihtokoneen kulkeutuva ilma oli + 0 °C. Sen sijaan kesän helteillä lämmin ja kostea ilma viileni alle 20 °C pelkästään lämpöenergian varastoitumisella.

Maanalainen lämpövarasto antaa GTR-järjestelmälle suuren edun verrattuna poistoilmalämpöpumppuun, jossa ulkoilmaa johdetaan suoraan semmoisena lämmöntalteenottoon. Esilämmityksellä lämpökerroin on hyvä ja lämmitysjärjestelmän tehokkuus pysyy korkeana läpi vuoden riippumatta ulkona olevasta kelistä. Maalämpöpumppuun verrattuna voidaan todeta, että kummatkin lämmitysjärjestelmät ovat yhtä tehokkaita, mutta maalämpö vaatii joko syviä porakaivoja tai suuren tontin, jossa joudutaan tekemään kaivutöitä. Keskimääräisesti GTR-järjestelmän maan alainen lämpövarasto vaatii noin 15 kertaa vähemmän pinta-alaa toimiakseen, kuin maalämpöpumpun lämmönkeruuverkosto.

3.3.3. Ilmanvaihtokone

Toisesta kammiossa esilämmitetty tuloilma siirtyy ilmanvaihtokoneeseen. Ilmanvaihtokoneessa ristivirtauksen avulla huonetiloista poistettavan jäteilman lämpöenergia siirretään esilämmitettyyn tuloilmaan. Tuloilma lämpiää entisestään ja se johdetaan huonetiloihin. Käyttäjä voi säätää maalämpövarastosta tulevan ilmanvirtauksen määrää. Tällä tavalla vältetään tilannetta, jolloin tuloilmassa olevaa lämpöenergia menee hukkaan.

Käsitelty poistoilma viilenee noin +4 °C:ksi ja se johdetaan lämpöpumpun höyrystimeen. Lämpöpumpun avulla jo kerran prosessoitu jäteilma hyödynnetään vielä kerran ja sillä lämmitetään vesivaraaja. GTR-järjestelmän avulla vesivaraaja voidaan läm-

mittää ilman sähkövastuksia noin +40 celsiusasteiseksi, joka riittää vesikiertoisen lattialämmitykseen. Jos vesivaraajaa halutaan hyödyntää myös käyttöveden lämmittämiseen, joudutaan vesivaraajaan kytkemään muu lämmitysjärjestelmä, esimerkiksi sähkövastukset. Tällöin vesivaraajan lämpöä voidaan nostaa +55 °C:ksi.

3.4 Terveysvaikutukset

Maanalainen osa on suunniteltu niin, että siellä ei pääse syntymään bakteeri- tai homekasvustoa. Lämpöenergiavarastoa voidaan tuulettaa, jos metalliputkien ulkopuolelle pääsee syntymään kondenssivettä. Bakteeri- ja homekasvuston syntymisen putkissa estää se, että putkien sisällä on jatkuvasti ilmanvirtaus, joka ei anna kosteuden muodostua putkien sisäpinnalle. Metalliputket ovat eristetty maalämpövarastosta, jolloin siellä oleva kosteus ja mahdollinen epäpuhtaus ei pääse tuloilman kanssa rakennuksen huonetiloihin. Metalliputket ovat sinkittyjä, mikä estää korroosion muodostumista putkissa.

Airmaker on kehittänyt ja patentoinut maalämpövaraston rakenteellisen osuuden. Maalämpövarasto on suunniteltu tarkoin ehkäisemään mahdollisen kosteuden syntymisen ja sitä kautta home- ja mikrobikasvuston esiintymistä. Lyhyesti sanottuna, kosteus ehkäistään edellisessä kappaleessa esitetyllä tavalla. Patenttisuojasta huolimatta Airmaker ei tahdo julkaista tarkempia tietoja kosteudenehkäisystä.

Maanalaisen lämpöenergiavaraston käytössä otetaan huomioon radonsäteily, jonka kulkeutuminen kammioihin, putkiin sekä rakennukseen estetään. Airmaker:n rakentamassa kohteesta on teetetty radontutkimus, joka osoitti, että radonpitoisuudet ovat alle vaadittujen maksimiarvojen (ks. Liite 1).

3.5 Laitteen huolto

GTR-järjestelmän ylläpito on asiakkaan kannalta yksinkertaista. Tärkeintä on, että kammioiden pohjalle laskeutuva pöly ja lika siivotaan esimerkiksi imuroimalla. Ulkoilmasuodatin on puhdistettava lehdiltä ja muulta roskalta säännöllisin väliajoin, syksyisin useammin. Samoin myös tuloilmakanavan päässä olevat suodattimet olisi puhdistettava siihen tarttuvalta pölyltä.

Laitteiden huolto tehdään tuotevalmistajan mukaisesti. Lämmöntalteenoton ilmanvaihtimen mikro-suodatin on puhdistettava kerran kuukaudessa ja iän myötä vaihdettava. Vesivaraajan ja lämpöpumpun osat on tarkastettava, etteivät ne vuoda esimerkiksi liitoskohdista. Ilmanvaihtokanavat olisi hyvä puhdistaa 5-7 vuoden välein sisäilmanlaadun parantamiseksi. (Suomen ilmanvaihto, N.d.)

4 Vertailussa käytettävä kohde

GTR-järjestelmän ja maalämpölaitteiden vertailussa käytetään Airmaker:n tarjoamaa mallia kaksikerroksisesta paritalosta. Rakennuksen huoneala on noin 260 m² ja tilavuus on 702 m³. Talon rakenteet täyttävät passiivitalolle määritetyt vähimmäisvaatimukset (kts taulukko 2). Rakennuksen ulkovaipan pinta-ala on 215 m², alapohjan pinta-ala on 130 m², yläpohjan pinta-ala on 112 m², ikkunoiden pinta-ala on 36 m² ja ovien pinta-ala on 4 m². Rakennuksen pohjapiirustus ja julkisivupiirustus löytyvät liitetiedoista (ks. Liite 4, 5 ja 6). Rakennuksen katolle asennetaan aurinkopaneelit, joilla katetaan vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta noin 4 180 kilowattituntia.

Taulukko 2. Rakenneosien suositukset. (Passiivitalon suunnitteluohje, SPU-Eristeet)

Rakennusosa U-arvot	Vertailutaso RakMk D3 2012	Matalaenergia- talo	Passiivitalo	Nollanenergia- talo
Ulkoseinä	0,17	0,14	0,09	0,08
Yläpohja	0,09	0,09	0,07	0,06
Alapohja	0,16	0,15	0,10	0,07
Ikkunat	1,0	0,8	0,8	0,8
Ovet	1,0	0,4	0,4	0,4
ilmanvuotoluku q_{50}	2	0,6	0,4	0,4

Rakennusosien suositusarvojen täyttämiseen voidaan käyttää useita erilaisia vaihtoehtoja. Opinnäytetyön kannalta rakennusosien tarkastelu ei ole tarpeellista. Rakennusosat voi tarkastaa esimerkiksi SPU-Eristeet- valmistajan kotisivuilta, suunnitteluohjeiden osiosta.

5 Laskenta

5.1 Yleistä

Sähkönkulutuksen laskemiseen käytetään toimeksiantajan kehittämää laskentaohjelmaa. Ohjelmalla voidaan laskea vuotuinen lämpöhäviö sekä myös hetkellinen lämpöhäviö, jolla on tärkeä merkitys pakkashuippujen laskemiseen. Laskennassa käytetty ohjelma osittain poikkeaa Suomen määräyskokoelman D3 ja D5 mukaisista ohjeista, mutta ne eivät ole niin merkityksellisiä että poikkeamat aiheuttaisivat suuria eroja. Esimerkiksi lämpöhäviön laskemiseen käytettävään vuotoilman määrittämiseen käytetään Suomen määräyskokoelman osassa D5 vakioarvoja: ilman tiheys = $1,2 \text{ kg/m}^3$ ja ilman ominaislämpökapasiteetti = 1000 J/(kgK) . Sen sijaan toimeksiantajan laskennassa käytetään arvoja, jotka soveltuvat mittaushetken ulkolämpötilaan.

Laskentaohjelman avulla arvioidaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden sähkönkulutus sekä aurinkopaneelien tuottama lämpöenergia. Laskennassa huomioi-

daan myös valaistuksen, kodinkoneiden ja muiden elektroniikkalaitteiden sähkökulutus sekä niiden aiheuttamat lämpökuorma. Arvioinnissa lasketaan lämpöhäviön aiheuttama lämmitystarve, tuloilman ja vesivaraajan lämmittämiseen tarvittava sähköenergia, lämmityslaitteiden käyttämä sähköenergia ja lämmöntalteenotosta hyödynnettävä lämpöenergia. Laskentaohjelmalla määritetään tarvittava lämpöenergia rakennuksen lämmittämiseen ilman maalämpövarastoa ja maalämpövaraston kanssa. Tarvittavaan sähköenergian rakennuksen lämmittämiseksi on huomioitu lämmöntalteenoton suhde, joka lämmitysjärjestelmien vertailussa oli 80 %.

Laskelmassa maalämmön COP-luvuksi valittiin 2,5. Useat maalämpöpumppujen valmistajat lupaavat COP-luvuksi 3,0, mutta koska maalämpöpumppua käytetään myös lämminvesivaraajan lämmittämiseen, COP-luku laskee. Maalämmön lämmitysjärjestelmään kuuluu 200 metrin syvä lämpöporakaivo, maalämpöpumppu laitteineen, lämmöntalteenotto ja lämminvesivaraaja. Lämminvesivaraajalla lämmitetään rakennuksen huonetilat ja lämmin käyttövesi.

GTR-järjestelmään kuuluu maalämpövarasto, lämmöntalteenotto ja lämpöpumppu, lämminvesivaraaja. Huonetilat lämmitetään lämmöntalteenotolla ja lämminvesivaraajan avulla. Lämmin käyttövesi saadaan lämminvesivaraajasta, joka lämpiää lämpöpumpun ja tarvittaessa sähkövastuksen avulla.

5.2 Tulokset

Laskelmien mukaan rakennus käyttää huonetilojen lämmittämiseen vuoden aikana 19 810 kWh, joista 10 670 kWh käytetään tuloilman lämmittämiseen ja 9 139 kWh lämmönjohtumisesta aiheutuvan lämpöhäviön korvaamiseen. Lämmin käyttövesivaraaja (1000 litraa) käyttää vuodessa 3 820 kWh. Yhteensä rakennus käyttää vuodessa 16841 kWh sähköenergiaa, kun otetaan huomioon lämpökuorma.

Lämpökuormaa ihmisistä, elektronisista laitteista ja auringosta on 6789 kWh. Lämpökuorma voidaan käyttää talvella lämmityskulujen vähentämiseen, mutta kesällä lämpökuormasta johtuva huonetilojen lämpiäminen aiheuttaa lisäkustannuksia, sillä huonetiloja joudutaan viilentämään. Katolle etelän suuntaan asennetuista aurinkopaneeleista saadaan 4 180 kWh vuodessa, jotka hyödynnetään lämmitysenergiatarpeen vähentämiseksi.

Maalämpöpumpua ja lämmöntalteenottoa käytettäessä tarvittava sähköenergia rakennuksen huonetilojen ja lämminvesivaraajan lämmittämiseen on 5 914 kWh vuodessa eli 22,75 kWh/m². Aurinkopaneeleja hyödynnettäessä tarvittava sähköenergia on vuositason 1 734 kWh eli 6,67 kWh/m². GTR-järjestelmää käytettäessä tarvittava sähköenergia rakennusten huonetilojen ja vesivaraajan lämmittämiseen on vuositason 4 650 kWh eli 17,89 kWh/m². Aurinkopaneeleja hyödynnettäessä tarvittava sähköenergia on vuodessa 470 kWh eli 1,81 kWh/m².

GTR-järjestelmän sähkönkulutus on pienempi kuin maalämpöpumpulla. Tässä laskennassa ei otettu huomioon jäädytykseen tarvittava sähköenergia. GTR-järjestelmä voidaan kesällä sammuttaa pois, sillä lämpöenergiansa luovuttanut tuloilma viilenee ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan rakennuksen huonetilojen viilentämiseen. Tämä on huomioitu toimeksiantajan laskennassa. Pienempi sähkönkulutus johtuu myös siitä, että GTR-järjestelmässä lämmitetään huonetiloja lämmöntalteenoton avulla ja lämminvesivaraajaa lämpöpumpulla.

Taulukko 2. Tarvittava sähköenergia rakennuksen lämmitystarpeen kattamiseksi vuositason (kWh ja kWh/m²).

Lämmitys-järjestelmä	Tarvittava sähkö-energia [kWh/vuosi]	Sähköenergia + aurinkopaneelit [kWh/vuosi]	Tarvittava sähkö-energia [kWh/m ²]	Sähköenergia + aurinkopaneelit [kWh/m ²]
Suora sähkö	16 841		64,77	
Maalämpö	5 914	1 734	22,75	6,67
GTR	4 650	470	17,89	1,81

6 Hintavertailua

6.1 Yleisesti

Hintavertailussa maalämpö- ja GTR-lämmitysjärjestelmät vertailtiin toisiinsa ja suoraan sähkölämmitykseen. Vertailussa on huomiota jokaisen järjestelmän osto-, asennus- ja käyttöhintaa. Maalämpö- ja GTR-järjestelmien laitteet käyttävät sähköenergiaa. Tämä on huomioitu lisäämällä molempien investointiin myös sähkön asennus rakennukseen.

Sähkön hinnaksi valittiin Helsingin alueen yleissähkön hinta 6,44 c/kWh. (Sähkön hinta Helsingissä, N.d.) Sähköhintojen nousu on huomioitu laskelmissa lisäämällä vuositasolla sähkön hintaa 5,8 %:lla. (Energiahinnan nousu, N.d.) Laskelmissa on huomioitu myös laitteiden arvon vähenemistä diskonttausmenetelmällä, vuositasolla 2 % arvovähennyksellä.

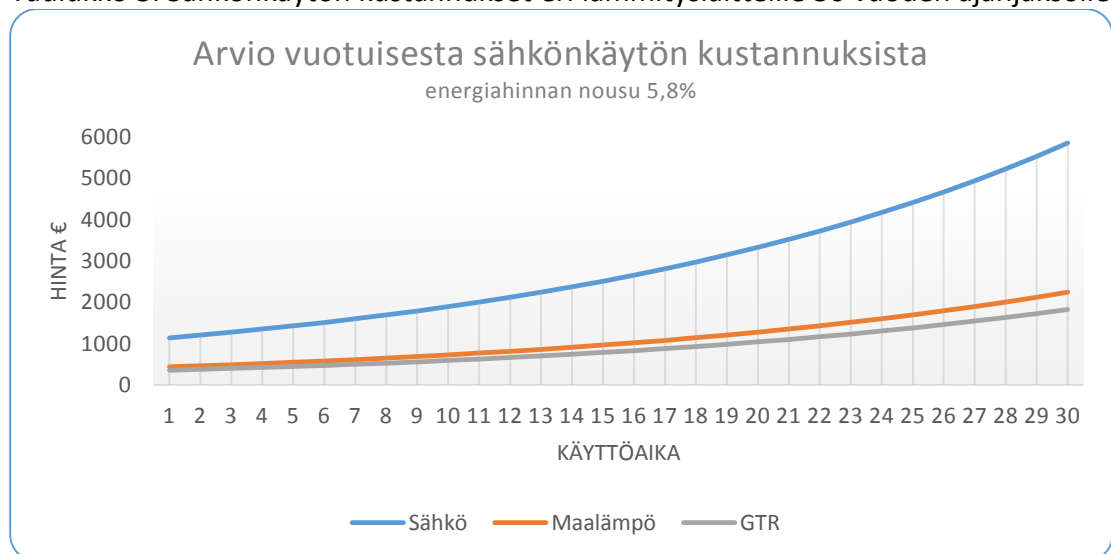
Maalämmön ja GTR-järjestelmän lämpöpumpun kompressorin käyttöikä on 30 vuotta. Tästä syystä laskelmat tehtiin 30 vuoden ajanjaksolle. Elinkaaren päässä oleva kompressor vaihdetaan uuteen, mikä maksaa noin 2 000 euroa. Sekä maalämmön porakaivon, että GTR-järjestelmän maalämpövaraston käyttöikä arvioidaan 100 vuotta, mikä on pidempi tai yhtä suuri kuin pientalojen suunniteltu käyttöikä. Koska kaikki lämmitysjärjestelmät ovat huoltovapaita, niin laskelmissa ei ole huomioitu huoltokustannuksia. Huoltokustannuksia voi syntyä vahingon sattuessa, esimerkiksi porakaivon lämmönkeruupiirin vuodot tai tukkeutumat. Myöskään aurinkopaneelit ja niiden asennus, sekä huolto eivät ole mukana lämmitysjärjestelmien laskelmissa. Oletuksena on, että maalämpö-, että GTR-järjestelmä käyttävät saman määrän sähköenergiaa, joka saadaan aurinkopaneelien avulla. Toisin sanoen niiden tehollinen pinta-ala on molemmilla lämmitysjärjestelmällä yhtä suuri.

6.2 Investointi

6.2.1 Suora sähkölämmitys

Suora sähkölämmitys on investoinniltaan Suomen halvin lämmitystapa. Lämmityksen osto- ja asennushinta vaihtelee 2 500–4 000 euron välissä. (Lämmitysjärjestelmien hinnat, N.d). Tässä työssä suoran sähkölämmityksen osto- ja asennushinnaksi arvioitiin 3 500 €. Suora sähkölämmitys osoittautui halvemmaksi lämmitysjärjestelmäksi, jos mitoitetaan lämmitysjärjestelmän kustannukset vain 10 vuoden ajanjaksolle. Suora sähkölämmitys myös joudutaan asentamaan sekä maalämpö-, että GTR-järjestelmän laitteiden toimintaa varten. Näin olleen, lämmityksestä riippumatta sähkölämmitys asennetaan rakennukseen. Suoran sähkölämmityksen ongelmana on energiahinnan jatkuva nousu. Laskelmissa arvioitiin vuotuisen hinnannousuksi 5,8 %. 10–15 vuoden kuluttua sähkön hinta voi nousta niin paljon, että vain suoralla sähkölämmityksellä lämmitettävällä rakennuksella lämmityskustannukset voivat olla erittäin korkeat (ks. taulukko 3). Suoran sähkölämmityksen vuotuiseksi sähkönkulutuksen hinnaksi saatiin 1 141,89 €. Kun otetaan huomioon 5,8 % sähköhinnan nousu, niin keskimääräinen vuotuinen sähkönkulutuksen hinta 30 vuoden ajanjaksolle on 2 905,34 €. Investointi- ja sähkönkulutuskustannukset ovat 30 vuoden ajanjaksolle 2 972,04 €. Sähkönkäytön kokonaiskustannus on 87 160 € (ks. taulukko 4).

Taulukko 3. Sähkönkäytön kustannukset eri lämmityslaitteille 30 vuoden ajanjaksolle.



6.2.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu maksaa tontista ja kallion syvyydestä riippuen 17 000–22 000 euroa. Noin puolet hinnasta johtuu lämpökaivon porauksesta ja asennuksesta. Tuotevalmistajat myyvät maalämpöpumppuja, johon on valmiiksi asennettu lämminvesivaraaja, mutta tällöin vesivaraajan tilavuus ei ole tarpeeksi suuri vertailukohteena käytettävälle rakennukselle. Tämän takia ostokustannuksiin sisällyttiin erillinen 1 000 litran lämminvesivaraaja. Lämmöntalteenotto on ostettava ja asennettava erikseen. Tämä on huomioitu kustannuslaskuissa. Maalämpöjärjestelmän, lämmöntalteenoton ja lämminvesivaraajan osto- ja asennushinnaksi tuli 19 500 €. Tähän on lisättävä vielä suora sähkölämmitys, minkä jälkeen hinta on 22 000 €.

Maalämpöpumpun vuotuinen sähkökulutuksen hinta on 438,22 € (62 % vähemmän, kuin suora sähkölämmitys). Kun huomioidaan sähköhinnan nousu 30 vuoden ajanjaksolle, keskimääräiseksi sähkökulutuksen hinnaksi saatiin 1 114,98 €. Vuotuiset investointi- ja sähkökäyttökustannukset 30 vuoden ajanjaksolle ovat 1 527,93 €. Sähkönkäytön kokonaiskustannus on 33 449 € (ks. taulukko 4).

6.2.3 GTR-järjestelmä

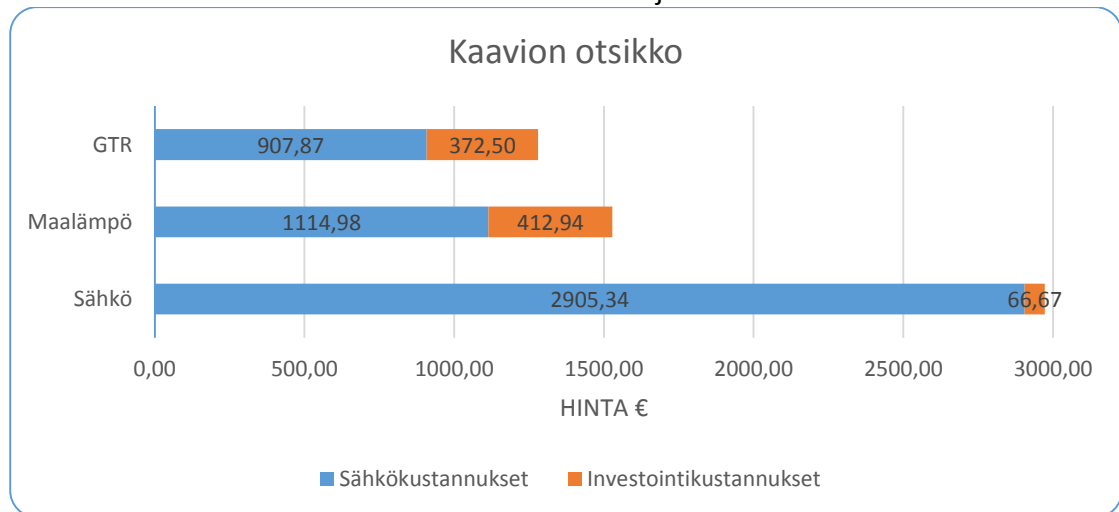
GTR-järjestelmän laitteet ja asennus maksavat yhteensä 16 345 €. Hintaan kuuluu maalämpövarasto, lämpöpumppu, lämmöntalteenotto ja 1 000 litran lämminvesivaraaja asennuksineen. Kun lisätään vielä sähköasennus, niin hinta on 19 845 €.

GTR-järjestelmän vuotuinen sähkökulutuksen hinta on 356,82 € (69 % vähemmän, kuin suora sähkölämmitys). Lämmitysjärjestelmän käyttämän sähkön kustannus 30 vuoden ajanjaksolle on yhteensä 27 236 € (ks. taulukko 4). Keskimääräisesti sähkökulutuksen kustannukset ovat tällöin 907,87 €. Investointi- ja sähkönkäytön kustannukset ovat keskimääräisesti 30 vuoden ajanjaksolle 1 280,37 € (ks. taulukko 5).

Taulukko 4. Eri lämmityslaitteiden hinnoitukset.

	Suora sähkölämmitys	Maalämpöpumppu	GTR-järjestelmä
Osto- ja asennushinta	3 500 €	22 000 €	19 845 €
Sähkönkulutuksen kustannukset vuodessa	1 142 €	438 €	356 €
Prosentuaalinen osuus verrattuna suoraan sähkölämmitykseen	100 %	38 %	31 %
Kokonaishinta sähkönkulutuksesta 30 vuoden ajanjaksolta	87 160 €	33 449 €	27 236 €
Keskimääräinen kustannus sähkönkulutuksesta 30 vuoden ajanjaksolle	2 905 €	1 114 €	908 €
Investointi + sähkö 30 vuoden ajanjaksolle	2 972 €	1 527 €	1 280 €

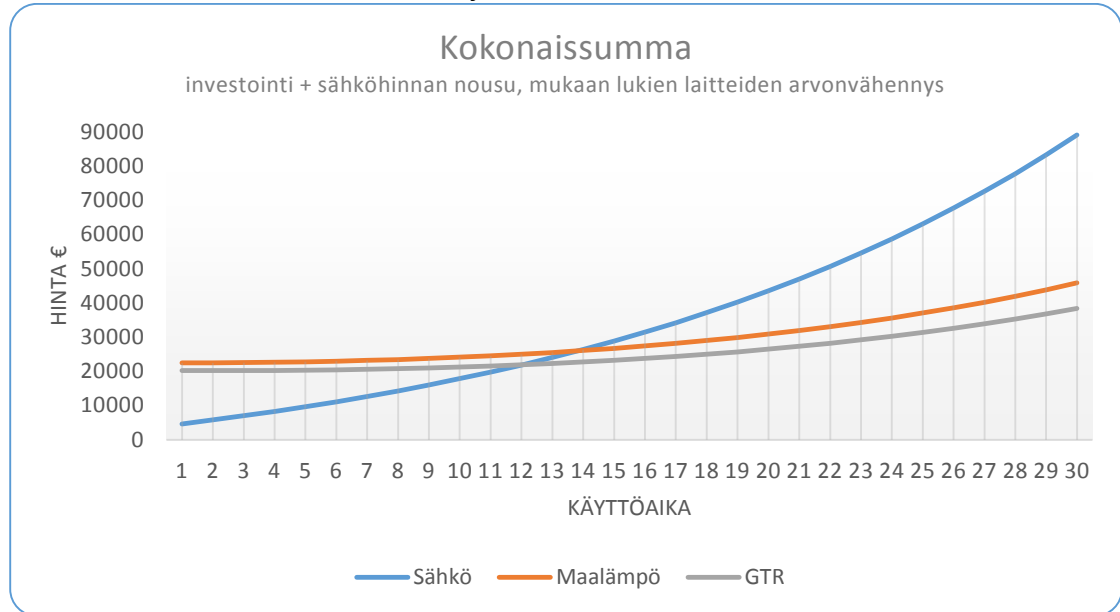
Taulukko 5. Vuotuiset keskimääräiset investointi- ja sähkönkulutuskustannukset



6.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan määrittämistä varten kaikkien lämmityslaitteiden investointi- ja sähkönkulutuskustannukset laskettiin yhteen ja verrattiin suoraan sähkölämmitykseen. Maalämpöpumppu maksaa itseensä takaisin 14 vuodessa. GTR-järjestelmä maksaa itsensä takaisin 12 vuodessa (ks. taulukko 6).

Taulukko 6. Laitteiden investoinnin ja sähkönkulutuksen kokonaissumma.



7 Yhteenveto

Maalämpöpumpun käyttö on tällä hetkellä erittäin suosittua pientalojen lämmitysjärjestelmänä. Lämpöpumppuja käyttämällä säästetään isoja summia talon lämmityksessä, mutta toisaalta laitteiden investointi on kallista. Työn tarkoituksena oli esittää uusi lämmitysjärjestelmä, jonka takia ei tarvitse porata syviä lämpökaivoja tai asentaa tontille tilaa vievän lämmönkeruuverkoston.

Työn tavoitteena oli esittää GTR-järjestelmä ja tutkia investointia. GTR-järjestelmä osoittautui maalämpöpumppua edullisemmaksi vaihtoehdoksi niin sähkönkulutuksessa kuin investoinnissa. Takaisinmaksuajanaan vaikuttaa energiahinnan nousu, joka tässä työssä oli 5,8 % vuositasolla. Kyseisellä hinnan korotuksella GTR-järjestelmä maksaa itseensä takaisin 12 vuodessa. Sen sijaan maalämpöpumppu maksaa itsensä takaisin 14 vuodessa.

8 Pohdintaa

GTR-järjestelmä on kilpaileva lämmitysjärjestelmä muiden lämmitysjärjestelmien kanssa, jotka käyttävät lämpöpumppuja ja lämmöntalteenottoa. Kaikille pientaloille ei sovi maalämpöpumppu tai GTR-järjestelmä. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa asiakkaan tietämys, pääoma sekä tontin tai rakennuksen rajoitukset. Esimerkiksi maalämpöpumpun asennuksessa on tunnettava porakaivoille asetut mahdolliset rajoitteet. Sen sijaan GTR-järjestelmää ei voida asentaa tontille, jonka pohjana on paljasta kalliopintaa tai jos tontti on lähellä vesistöä.

Vanhojen rakennuksien energiatehokkuuden parantamiseksi maalämpöpumppu tai GTR-järjestelmä ei välttämättä sovi lainkaan. Vanhemmissa rakennuksissa lämmitysjärjestelminä toimii yleensä öljylämmityksellä tai suoralla sähkölämmityksellä, jolloin kannattavampaa on asentaa ilmalämpöpumppu energiatehokkuuden parantamiseksi. Maalämpöpumpun tai GTR-järjestelmän takaisinmaksuaika voi ylittää rakennuksen jäljellä olevan käyttöiän eli investointi ei kannata.

Takaisinmaksuaika on tässä työssä laskettu 5,8 % energiahinnan korotuksella, joka on Tilastokeskuksen arvio. Energiahinnan korotus voi siis olla myös alhaisempi, jolloin suoran sähkölämmityksen kannattavuus olisi tutkittua parempi ja maalämmön sekä GTR-järjestelmän takaisinmaksu pidempi. Toisaalta, jos energiahinta nousee entistä suuremmaksi, suoran sähkölämmityksen kannattavuus laskee ja lämpöpumppuja hyödynnettävä lämmitys olisi kannattavampi. Täytyy myös pitää mielessä, että energiatehokkuutta parannetaan uusilla asetuksilla ja vuoteen 2017 loppuun mennessä kaikkien uudisrakennusten on täytettävä lähes nollanenergiatalon vaatimukset. Tällöin lämmöntalteenoton ja tehokkaiden lämmitysjärjestelmien käyttö on välttämätön vaatimusten täyttämiseksi.

GTR-järjestelmä on hyvä vaihtoehto kuin investoinniltaan, niin laadultaan. Tonttiin ei tarvitse porata lämpökaivoja ja pinta-alaltaan maalämpövarasto vie noin 5 - 10 % verrattuna maalämpöpumpun pintamaahan asennettavaan lämmönkeruuverkostoon. Talvella pahimpina pakkaspäivinä maalämpövaraston avulla ulkoilman lämpötilaa saadaan nostettua vähintään nolla asteiseksi eikä huonetilojen lämmittämiseen tarvita erillisiä sähkövastuksia, toisin kuin muilla lämpöpumppujärjestelmillä. Laitteita on helppo huoltaa ja käyttäjä voi itse määrittää tuloilman virtauksen määrää. Lämpöpumppua voi käyttää lämmittämisen lisäksi myös tuloilman viilentämiseen. Kesällä tuloilman kulkiessa maalämpövaraston läpi, ilmanvirtauksen lämpötila laskee ja sitä voidaan käyttää sellaisena huonetilojen viilennykseen. Tällöin muut jäähdytysjärjestelmän laitteet voidaan sulkea pois päältä, mikä vähentää sähkönkulutusta. Tehokaiden toimintojen avulla lämmitysenergiantarve ($17,89 \text{ kWh/m}^2$) oli pienempi kuin passiivitalolle määritetty $20,00 \text{ kWh/m}^2$. Maalämpöpumpulla luku oli $22,75 \text{ kWh/m}^2$ eli ilman aurinkopaneeleja rakennus ei olisi täyttänyt passiivitalon kriteerit.

LÄHTEET

A 24.01.2007. Kiinteistön vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1. Ympäristöministeriö.

A 30.10.2002. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2. Ympäristöministeriö.

Bosch Compress 5000 maalämpöpumpun käyttöohje. 2012. TomAllen.

Energiahinnan nousu. N.d. E-neuvonta.fi lämmitysvertailulaskin. Viitattu 15.5.2014.
<http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>

IVT ilmalämpöpumpppuesite. N.d. IVT lämpöpumput.
http://www.ivt.fi/upload/fi/pdf/IVT_ilmalampopumput_esite_v4.pdf

Kotitalouksien sähkönkäyttö. 2011. Motivan julkaisut.

Lämmitysjärjestelmien hinnat. N.d. Pientalojen lämmitysjärjestelmät, Kuluttajien energianeuvonta.

L 25.10.2012. Energiatехokkuusdirektiivi. 2012. Euroopan unionin virallinen lehti.

Luft-Erdwärmetauscher, Einleitung. 2004. Ag Solar. Viitattu 11.4.2014.
http://www.dlr.de/sf/Portaldata/73/Resources/dokumente/grossanlagen/niedrigenergiehaus_sonnenofenlabor/LEWT_PLF2_Datenblatt_09.pdf

LVI 11-10332. 2012. Lämpöpumput. Ohjekirjasto.

LVI 38-10454. 2010. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Ohjekirjasto.

Lämmöntalteenotto. N.d. Swegonin tuotteet. Viitattu 12.4.2014.
<http://www.swegon.com/fi/Tuotteet/Asuntoilmanvaihto/Ilmanvaihtolaitteet/Tulo--ja-poistoilmalaitteet-lammontalteenotolla/>

Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput. 2012. Motivan julkaisut.

Mitä on maalämpö? N.d. GeoDrill:n selostus maalämmöstä. Viitattu 12.4.2014.
<http://www.geodrill.fi/maalampo/>

Passiivipientalon suunnitteluohjeet. N.d. SPU-Eristeet. Viitattu 16.4.2014.
<http://www.spu.fi/suunnittelu/suunnitteluohjeet/passiivipientalo/>

Perälä, R. 2013. Lämpöpumput. 3. p., uud. p. Helsinki: Alfamer/Karisto.

Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2012. Motivan julkaisut.

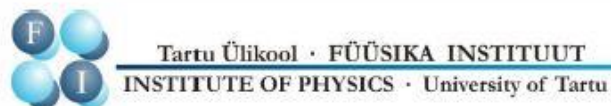
Suomen ilmanvaihto. N.d. Ilmanvaihtokanavien puhdistus. Viitattu 27.4.2014.
<http://www.suomenilmanvaihto.fi/>

Sähkön hinta Helsingissä. N.d. Helsingin Energia, sähkötuotteet ja –hinnat. Viitattu 15.5.2014. <https://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Sahkotuotteet-ja-hinnat/>

VTT: Energiatehokkuuden parantaminen mullistaa rakentamisen lähivuosina. 2011. Artikkelit VTT:n sivustolla. Viitattu 10.03.2014.
http://www.vtt.fi/news/2011/03152011_Energiatehokkuuden_parantaminen_mullistaa_rakentamisen.jsp

LIITTEET

Liite 1. Radonpitoisusselvitvitys



Riia 142, 51014, Tartu

Mõõtmisprotokoll no TS01/2007

Käesolev protokoll on koostatud radooni - Rn^{222} kontsentratsiooni mõõtmise kohta hr. Heiki Jürise elamus Tartus, Kesk-Kaar 8A, geotermilise kliimaseadme väljundava õhus. Kliimaseadme väljund avaneb elutuppa.

Mõõtmise viis läbi ja tulemused hindas TÜ Füüsika Instituudi insener R.Koch, PhD.

Mõõtmine teostati ajavahemikul 08.06.07. kell 12:43 - 11.06.07 kell 8:43. (Kohalik vööndiaeg).
Mõõtmiseks kasutati automaatse tulemuste registraatoriga radoonimõõtemonitori ALNOR RM-3B:
Mõõterežiim "Slow", tulemuste registreerimine perioodiga 1 tund, 4 tundi ja 24 tundi
(kogumääramatus ühel 1 h mõõtmisel $< \pm 10\%$).

Mõõtmistulemused: Kõrgem radooni kontsentratsioon mõõtmiste esimese nelja tunni kestel on tingitud mõõteriista vahetult eelmiste mõõtmiste jääktulemustest, mistõttu mõõtetulemuste analüüsil on nimetatud perioodil mõõdetud väärtused välja jäetud. Keskmise (üle kahe ööpäeva) mõõdetud radooni kontsentratsioon geotermilise kliimaseadme väljundava õhus on 7.2 Bq/m^3 , kusjuures mõõdetud minimaal- ja maksimaalväärtused on vastavalt 2 ja 17 Bq/m^3 .

Radooni kontsentratsioon geotermilise kliimaseadme väljundava õhus ei sõltu mõõtmise kellaajast. Tunniajalise perioodiga mõõtetulemuste rea statistiline moodväärtus on 5 Bq/m^3 , mediaan 7 Bq/m^3 .

Kliimaseadme tuulutuskilhi väljatõmbetoru alumises osas teostatud kaks järjestikust radooni kontsentratsiooni ühetunnist mõõtmist eelneva õhupumpamisega ALNOR RM-3B mõõtekambrisse 11.06.2007, kell 9:40 kuni 11:40 andsid tulemuseks vastavalt 20 Bq/m^3 ja 15 Bq/m^3 .

Lisa: mõõteprotokoll 2lk.

Tartu, 01.08.07

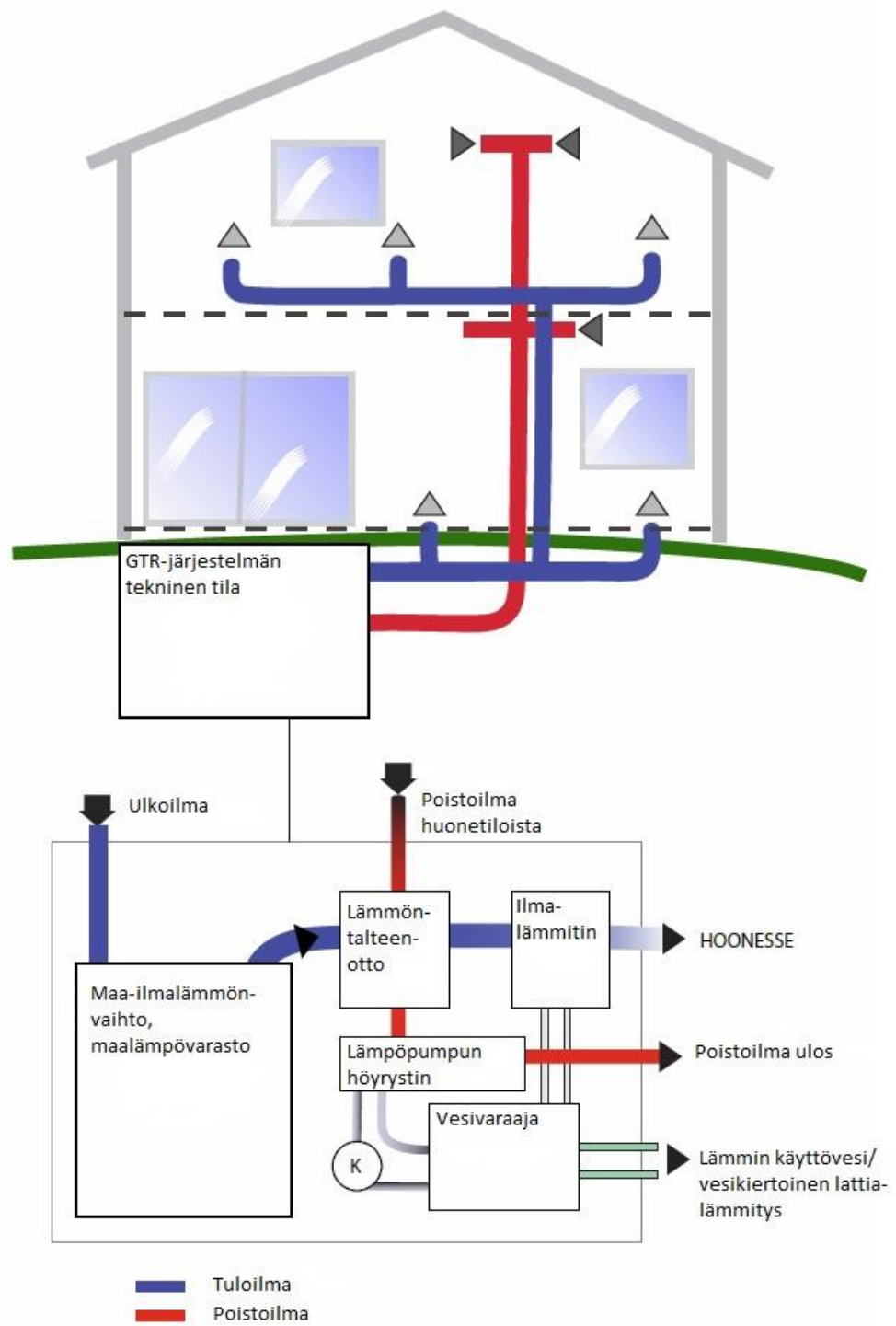
TÜ FI TS labori erakorraline vanemteadur

E.Realo, realo@fi.tartu.ee

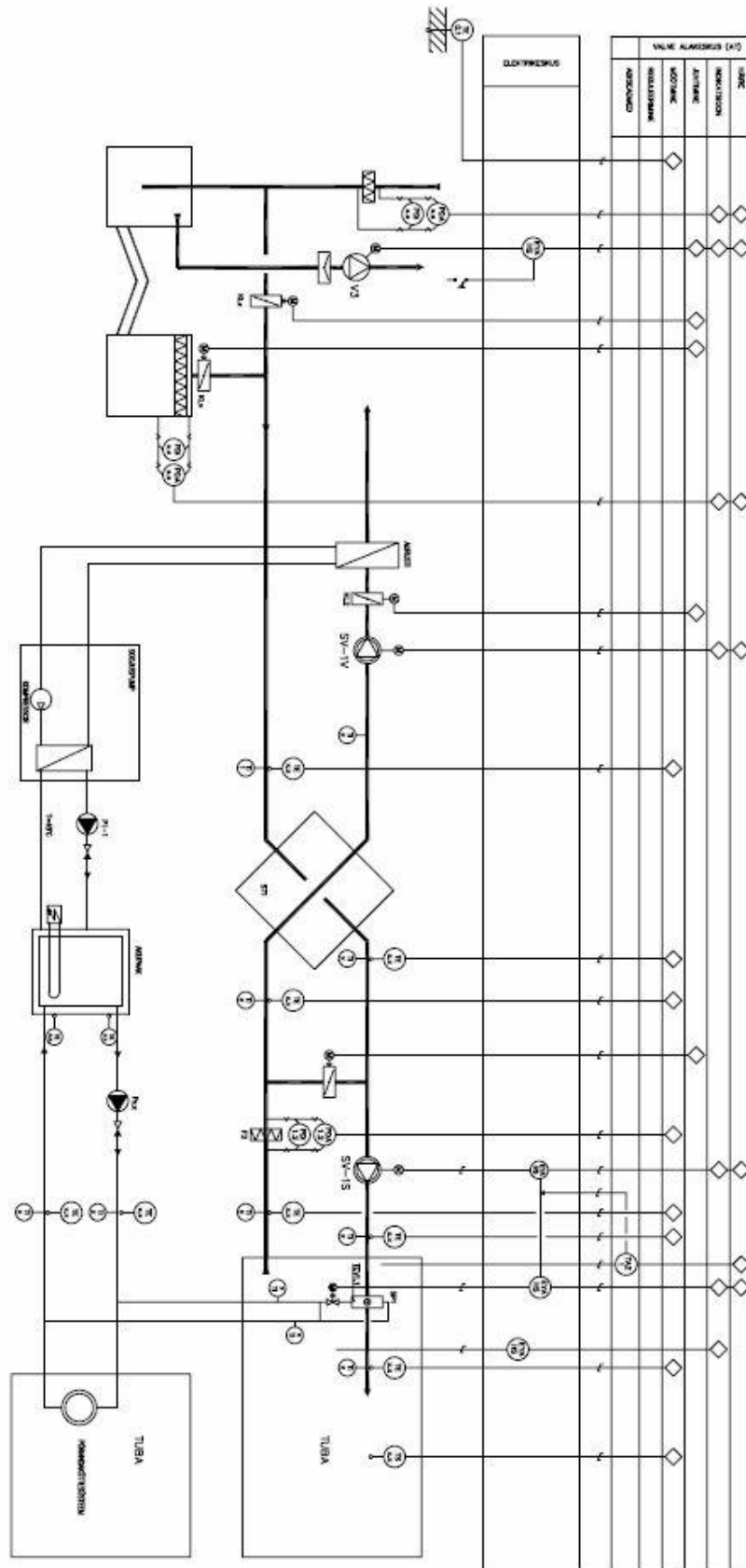
TÜ FI TS labori insener

R.Koch, koch@fi.tartu.ee

Liite 2. Pääperiaatteellinen piirustus GTR-järjestelmästä



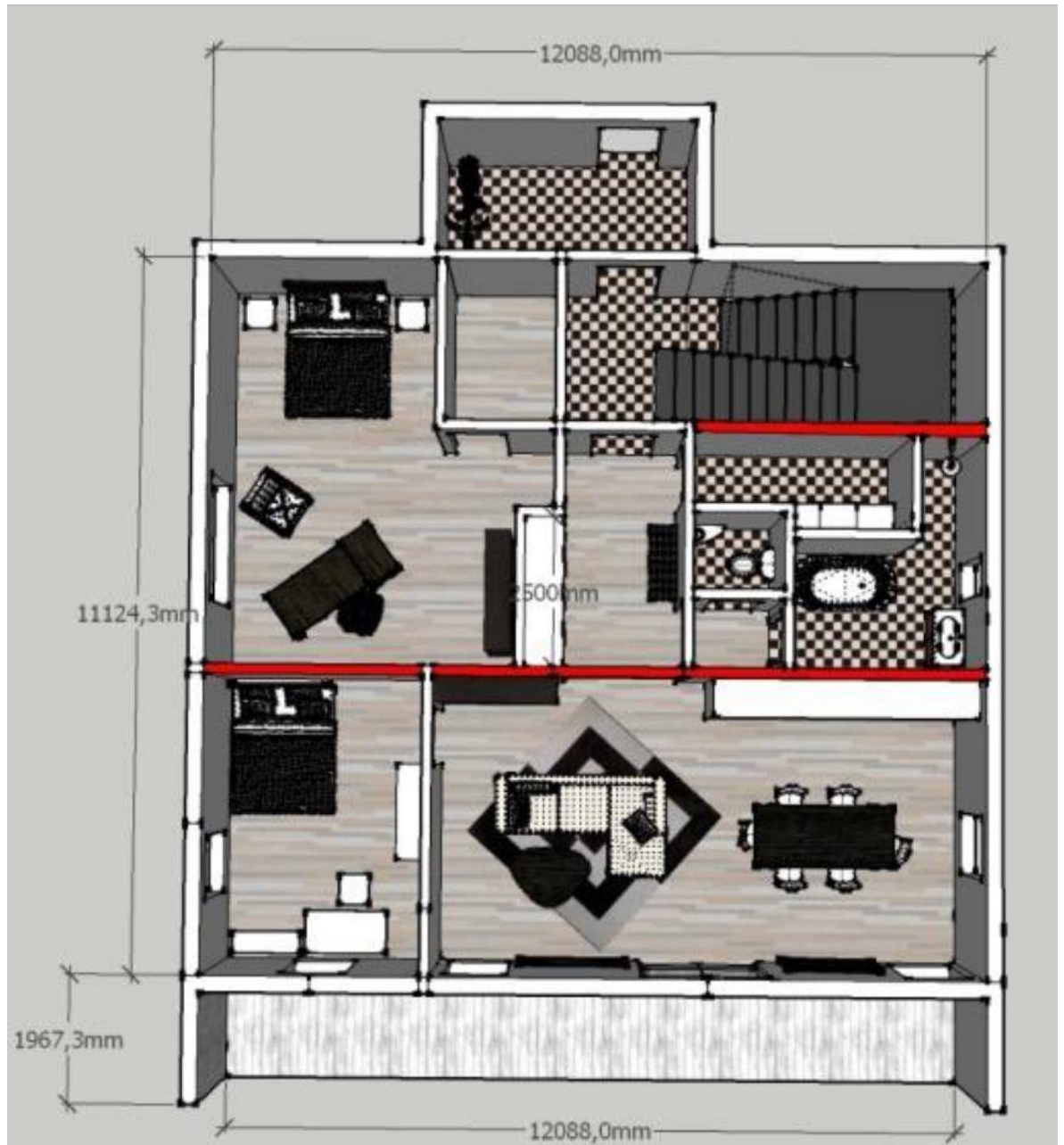
Liite 3. Sähkötekninen piirustus GTR-järjestelmästä



Liite 4. Maalämpövarasto maanrakennusvaiheessa



Liite 5. Pohjapiirustus mallikohteesta



Liite 6. Julkisivupiirustukset etelän ja lännen suunnassa



Liite 7. Julkisivutpiirustukset pohjoisen ja idän suunnasta

