

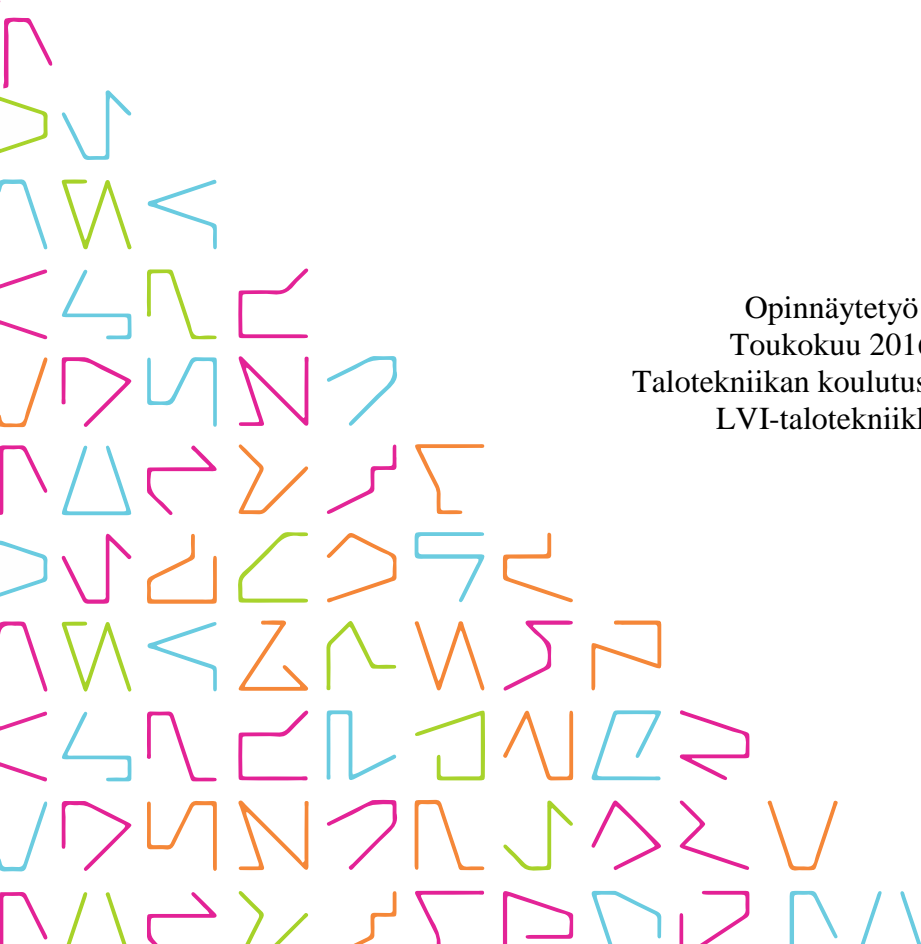


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KAUKOLÄMMÖN RINNALLE KYTKETTÄVÄN HYBRIDI-LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUN- NITTELU JA KANNATTAVUUSTARKASTELU

Jarkko Salo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

SALO JARKKO:

Kaukolämmön rinnalle kytkettävän hybridi-lämmitysjärjestelmän suunnittelu ja kannattavuustarkastelu

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2016

Työn tarkoituksena oli tuottaa TähtiRanta Oy:lle excel -pohjainen laskentatyökalu, jolla voidaan tarkastella kaukolämmön rinnalle kytkettävien hybridilämmitysjärjestelmien kannattavuutta. Lisäksi työn tavoitteena oli perehdyttää lukija hybridijärjestelmien kannattavuuden kannalta olennaisimpiin osa-alueisiin. Kaukolämmön rinnalle kytkettäviksi hybridijärjestelmiksi valittiin aurinkolämpö, maalämpö ja poistoilman lämmön talteenotto.

Kaukolämmön nousevat energian hinnat ja peruskorjausvuorossa olevat 1960-1980 luvun rakennukset luovat syyn rakennuksen energiatehokkuusinvestointeihin. Kaukolämmön ostoenergian kulutusta voidaan vähentää joko lämpöhäviöitä pienentämällä tai investoimalla uuteen lämmitysjärjestelmään. Rakennuksen päälämmitysjärjestelmän pitää aina kattaa rakennuksen huippulämmitysteho. Tämän vuoksi jo olemassa olevan kaukolämmitysjärjestelmän rinnalle kytkettävä hybridilämmitysjärjestelmä valikoituu potentiaalisesti vaihtoehdoksi kaukolämmön ostoenergian vähentämiseksi. Rinnalle kytkettävän lämmitysjärjestelmän ilmaisenergiaa hyödyntämällä kyetään kattamaan osa rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta, jonka kannattavuutta tarkastellaan investointipäätöksen aikaansaamiseksi.

Laskentatyökalussa tarkasteltiin aurinkolämmön kannattavuutta tutkimalla, miten aurinkosäteilystä saatava ilmaisenergia voidaan hyödyntää rakennuksen käyttöveden lämmityksessä. Maalämmön ja poistoilman lämmöntalteenoton kannattavuutta tutkittiin miten lämpöpumpputekniikalla tuotettua ilmaisenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen lämmitys- sekä käyttövedenlämmitysjärjestelmän hyväksi. Näillä kaukolämmön rinnalle kytkettävillä lämmitysjärjestelmällä investoinneilla voidaan saada rahallista tuottoa eli säästää kaukolämmön ostoenergiaa. Työssä tarkasteltiin näiden investointien kannattavuutta nykyarvomenetelmää hyödyntäen.

Asiasanat: hybridijärjestelmä, aurinkolämpö, maalämpö, poistoilman lämmöntalteenotto

ABSTRACT

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

SALO JARKKO:

The Design and Cost-effectiveness Calculation of Hybrid Heating Systems in Parallel with District Heating

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 1 page
May 2015

The purpose of this study was to produce an Excel-based calculation tool with which to inspect the cost-effectiveness of hybrid heating systems in parallel with district heating. In addition, the aim of the study was to familiarize the reader with the sections most relevant to the cost-effectiveness of hybrid systems. The hybrid systems chosen to be connected with district heating were solar heat, ground heat and the heat recovery of extract air.

The rise in the costs of district heat energy and the renovation of buildings built between 1960s and 1980s create a reason to invest in the cost-effectiveness of energy. The consumption of purchased energy through district heating can be decreased either by reducing heat loss or by investing in a new heating system. The main heating system of the building must always cover the peak heating capacity of the building. Because of this, a hybrid heating system that is connected in parallel with the district heating system becomes a potential option to decrease the purchased energy through district heating. With the utilization of the free energy of the hybrid heating system that is connected in parallel with district heating, it is possible to cover a part of the building's annual need of heating energy, the cost-effectiveness is examined to accomplish a decision of which investment.

The calculation tool was used to observe the cost-effectiveness of solar heat by studying how the free energy gained from solar radiation can be taken advantage of in heating the domestic water of the building. The cost-effectiveness of ground heat and the heat recovery of extract air were studied by examining how the free energy produced through heat pump technology can be taken advantage of for the building's heating and for the domestic water's heating system. With these investments to heating systems connected with district heating, it is possible to gain monetary profit by saving in the purchased energy through district heating. The thesis studied the cost-effectiveness of these investments by utilizing the present value method.

Key words: hybrid system, solar heat, ground heat, heat recovery of extract air

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄHTÖKOHDAT HYBRIDIJÄRJESTELMÄLLE	7
2.1	Suomen kiinteistökanta.....	7
2.2	Elinkaari-investointi.....	9
2.3	Energiatohokkuusinvestointi.....	10
3	PÄÄLÄMMITYSJÄRJESTELMÄNÄ KAUKOLÄMPÖ	12
3.1	Kaukolämmön toimintaperiaate.....	12
3.2	Kaukolämmön hinnan koostumus	12
3.3	Kaukolämpötehon mitoitus ja kytkentä lämmitysverkostoon	13
3.4	Kaukolämpötehon mitoitus ja kytkentä käyttöveden lämmitykseen	14
4	AURINKOLÄMPÖ.....	16
4.1	Auringon perustiedot	16
4.1.1	Auringonsäteily maapallolle	16
4.1.2	Auringonsäteily suomessa.....	17
4.2	Aurinkokeräimet	18
4.2.1	Ilmakiertoinen aurinkokeräin	18
4.2.2	Tasokeräin	19
4.2.3	Tyhjiöputkikeräin.....	20
4.2.4	Aurinkokeräimen sijoittaminen.....	22
4.2.5	Aurinkokeräimen suuntaus ja kallistuskulma	22
4.2.6	Aurinkokeräimen hyötysuhteeseen vaikuttavat päätekijät.....	23
4.3	Kaukolämmityksen rinnalla aurinkolämmitys.....	23
4.4	Aurinkolämmön tuoton laskenta.....	24
4.4.1	Laskentamenetelmän yleiskuvaus.....	24
4.4.2	Aurinkolämmön tuotto	25
4.4.3	Aurinkoenergiajärjestelmän apulaitteiden energiankulutus.....	27
4.4.4	Aurinkoenergiajärjestelmän häviöt	28
4.4.5	Auringon säteily keräimen ulkopinnalle	28
4.5	Työkalu	29
4.5.1	Selvitettävät lähtötiedot.....	29
4.5.2	Tulokset.....	30
5	MAALÄMPÖ.....	31
5.1	Maalämpöpumppu	31
5.1.1	Maalämpöpumpun toimintaperiaate	31
5.1.2	Maalämpöpumpun mitoitus hybridijärjestelmässä	32
5.1.3	Maalämpöpumpun hyötysuhde	33

5.2	Maalämmön keruutavat	34
5.2.1	Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto.....	34
5.2.2	Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto	36
5.2.3	Vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto	37
5.3	Maalämmön tuoton laskenta.....	37
6	POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTO	40
6.1	Kaukolämmön rinnalle kytkettävän epäsuoran PILP -järjestelmän toimintaperiaate	41
6.2	Poistoilman lämmöntalteenoton tuoton laskenta	42
7	KANNATTAVUUSTARKASTELU.....	45
7.1	Investointi ja lähtötiedot	45
7.2	Nykyarvomenetelmä.....	46
7.2.1	Tuloksen osoittaminen	48
8	POHDINTA.....	50
	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET	54

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe syntyi Hämeenlinnassa sijaitsevan insinööritoimisto TähtiRanta Oy:n toiveesta toteuttaa yritykselle työkalu kaukolämmön rinnalle kytkettävien hybridilämmitysjärjestelmien kannattavuustarkastelua varten. Rinnalle kytkettäväksi lämmitysjärjestelmiksi valittiin aurinkolämpö, maalämpö ja poistoilman lämmöntalteenotto. Lisäksi tavoitteena oli tutkia näiden lämmitysjärjestelmien suunnitteluun ja kannattavuuteen olennaisimmin vaikuttavat asiat. Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä on käytetty tiedon keräämistä aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta ja julkaisuista.

Kaukolämmön nousevat energian hinnat ja peruskorjausvuorossa olevat 1960-1980 luvun rakennukset luovat syyn rakennuksen energiatehokkuusinvestointeihin. Kaukolämmön ostoenergian kulutusta voidaan vähentää joko lämpöhäviöitä pienentämällä tai investoimalla uuteen lämmitysjärjestelmään. Rakennuksen päälämmitysjärjestelmän pitää aina kattaa rakennuksen huippulämmitysteho. Tämän vuoksi jo olemassa olevan kaukolämmitysjärjestelmän rinnalle kytkettävä hybridilämmitysjärjestelmä valikoituu potentiaalisesti vaihtoehdoksi kaukolämmön ostoenergian vähentämiseksi. Rinnalle kytkettävän lämmitysjärjestelmän ilmaisenergiaa hyödyntämällä kyetään kattamaan osa rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta, jonka kannattavuutta tarkastellaan investointipäätöksen aikaansaamiseksi.

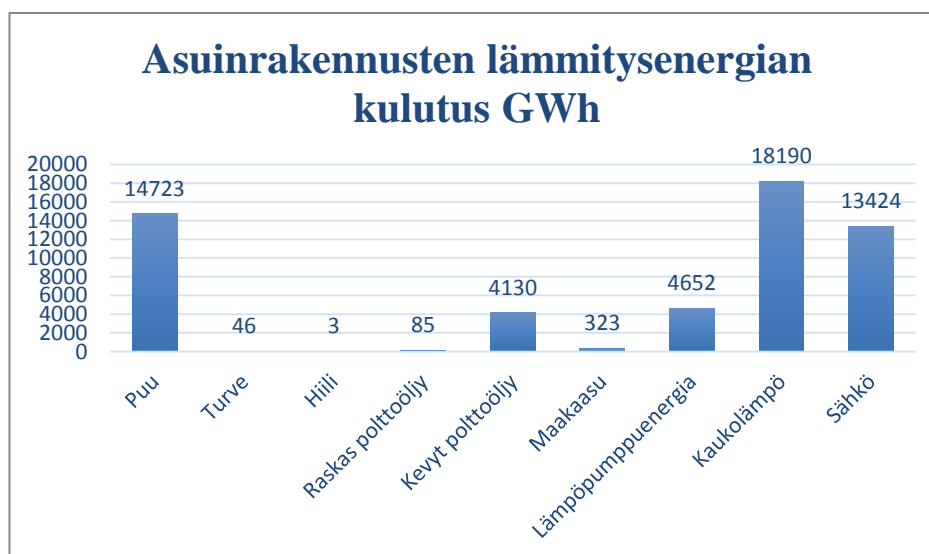
Laskentatyökalun tavoitteena oli tuottaa yritykselle excel –pohjainen laskenta-alusta, jolla voidaan nopeuttaa kannattavuustarkastelujen tekoa. Laskentatyökalun tuli olla helppokäyttöinen ja muunneltavissa erilaisia kohteita varten. Lämmitysjärjestelmien kannattavuutta varten työkalulla lasketaan hybridijärjestelmien ostoenergian säästö verrattuna pysymiseen pelkässä kaukolämmössä. Ostoenergian säästö voidaan muuttaa vuotuiseksi tuotoksi, jolloin sen kannattavuutta tarkastellaan nykyarvomenetelmää hyödyntäen. Työkalulla pystytään myös tuottamaan havainnollistavia kuvaajia asiakasta varten.

2 LÄHTÖKOHDAT HYBRIDIJÄRJESTELMÄLLE

2.1 Suomen kiinteistökanta

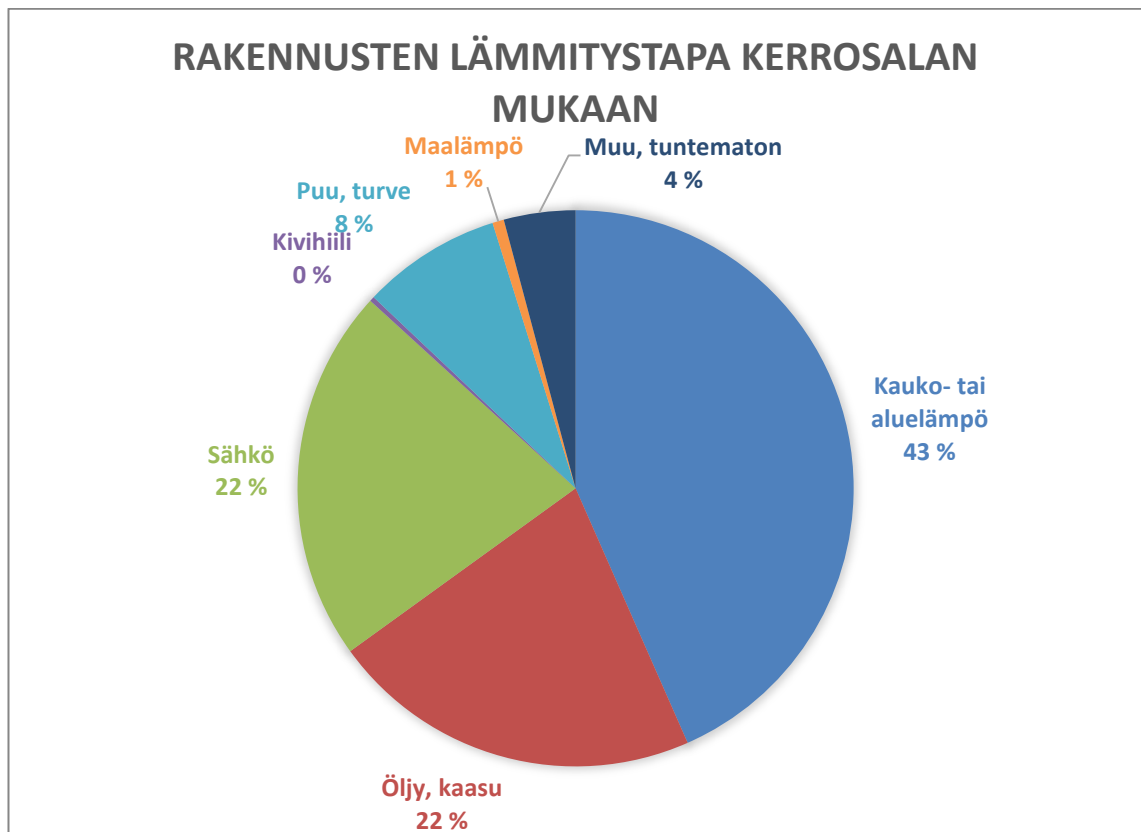
Suomalaisessa kiinteistökannassa ja infrastruktuurissa on arvioitu olevan korjausvelkaa noin 30-50 miljardia euroa, joka vastaa noin kymmenystä koko Suomen rakennuskannan arvosta. Suomen koko rakennuskannan arvon on arvioitu olevan noin 350 miljardia euroa. Peruskorjausvuorossa ovat 1960-1980 luvun rakennukset, joiden rakenteet ja tekniikka ovat tulossa teknisen käyttöiän loppuunsa. Putkiremontteja tehdään noin 15 000 - 20 000 asuntoon vuosittain. (Rakennusteollisuus RT ry) Tällöin puhutaan elinkaari-investoinnista, kun tehdään kiinteistön rakenteisiin tai teknisiin järjestelmiin välttämättömiä investointeja, joiden tavoitteena on pidentää kiinteistön käyttöikä.

Rakennusten lämmitys on Suomen ilmasto-olosuhteissa merkittävä energian käyttökohde. Suomessa on viimeisimmän tilastoinnin mukaan vuonna 2007 noin 1,4 miljoonaa rakennusta ja niiden yhteenlaskettu kerrosala on 413 716 921 m². (Tilastokeskus) Asuinrakennusten lämmitykseen kului vuonna 2014 yhteensä 55576 GWh lämmitysenergiaa, josta suurin lämmitysenergian lähde oli kaukolämpö. Asuinrakennusten lämmitysenergian kulutus lämmitystavan mukaan on esitetty kuviossa 1. (Tilastokeskus)



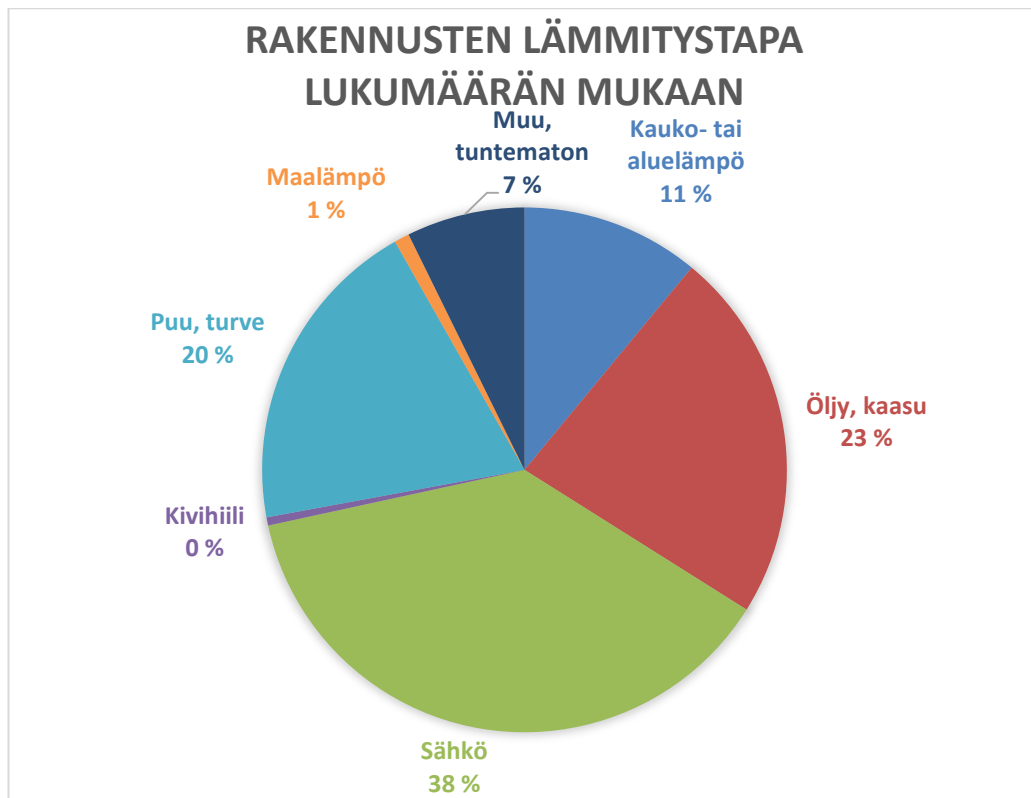
KUVIO 1. Asuinrakennusten lämmitysenergian kulutus vuonna 2014.

Suomessa rakennusten suurin lämmitysenergian lähde on kaukolämpö ja tilastokeskuksen vuonna 2007 tekemän tutkimustuloksen mukaan vuonna 2007 43 % rakennusten kerrosalasta lämmitettiin kaukolämmöllä. Muita suuria lämmitysenergian lähteitä olivat sähkö 22 % sekä öljy- ja kaasulämmitteiset rakennukset 22 %. Maalämpöä on hyödynnetty vain 1 %:n verran rakennusten kerrosalan lämmittämiseksi. Rakennusten lämmitystapa kerrosalan mukaan on esitetty kuviossa 2. (Tilastokeskus).



KUVIO 2. Rakennusten lämmitystapa kerrosalan mukaan vuonna 2007. (Tilastokeskus)

Rakennusten lämmitystapaa voidaan tarkastella myös rakennuskohtaisesti, jolloin saadaan käsitys siitä kuinka paljon Suomessa on potentiaalia mahdollisille lämmitysjärjestelmien muutoksille, joiden lähtökohdana on energiatehokkaampi lämmitystapa. Suomessa 38 %:lla rakennuksista on sähkölämmitysjärjestelmä. Öljy- ja kaasulämmitysjärjestelmä on 23 %:lla kiinteistöistä ja kaukolämpö 11 %:lla. Rakennusten lämmitystapa lukumäärän mukaan on esitetty kuviossa 3. (Tilastokeskus)



KUVIO 3. Rakennusten lämmitystapa lukumäärän mukaan vuonna 2007. (Tilastokeskus)

2.2 Elinkaari-investointi

Kiinteistöjen yleisimmät elinkaarikustannukset koostuvat seuraavista elementeistä (Rementor):

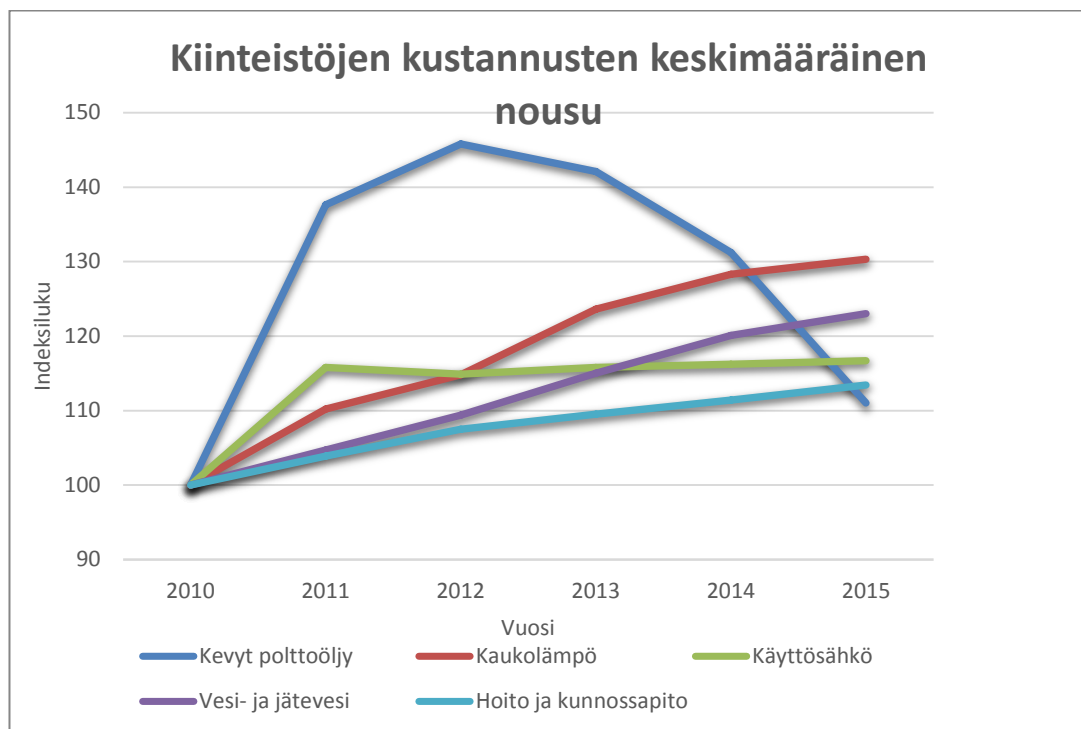
- investointikustannukset, hankintahinta
- asennus- ja tilauskustannukset (sisältäen koulutuksen)
- energiakustannukset (järjestelmän käytön ennustetut kustannukset)
- käyttökustannukset (käyttöhenkilöstön kustannukset)
- kunnossapito- ja korjauskustannukset (toistuvat ja ennakoivat korjaukset)
- seisonta-ajan kustannukset (menetetty tuotanto)
- ympäristökustannukset
- poiston/hävityksen kustannukset

Kiinteistön talotekniset järjestelmät sekä rakenneosat saavuttavat tietyssä iässä teknisen käyttöikänsä lopun mekaanisen rasituksen seurauksena, jolloin ne tulisi uusia. Tällöin tarkoitetaan kunnossapito- ja peruskorjauskustannuksista. Taloteknisten järjestelmien ja laitteistojen tarkkoja käyttöikä vuosia on mahdoton määrittää, sillä ne ovat pitkälti riippuvaisia siitä, kuinka hyvin niiden ylläpidosta on pidetty huolta. Laitteiden ja rakentei-

den teknisestä käyttöiästä on kuitenkin laadittu ohjekortti, jota voidaan käyttää kuntoarvioiden sekä kuntotutkimuksien perusteena laadittaessa kiinteistölle pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelmaa. Tällä tarkoitetaan suunnitelmallista kiinteistönpitoa. (LVI-ohjekortti LVI 01-10424)

2.3 Energiatehokkuusinvestointi

Kaukolämmön energianhinta on noussut vuosittain keskimäärin 5,4 % viimeisen viiden vuoden aikana. (Tilastokeskus) Taloyhtiöiden kohdatessa kiinteistön peruskorjausvaiheen, tulee peruskorjauksen yhdeksi lähtökohdaksi ottaa myös nousevien käyttökustannuksien alentaminen osana peruskorjauksen hankeselvitystä. Ylläpitokustannusten ja energianhinnan nousun trendi on ollut kasvava. Kiinteistöjen kustannusten keskimääräinen nousu viimeisen viiden vuoden aikana on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. Kiinteistöjen kustannusten keskimääräinen nousu (Tilastokeskus)

Energiansäästön pääperiaatteita ovat :

1. Tuhlauksen vähentäminen
2. Järjestelmien vikojen poistaminen
3. Rakennuskannan korjaus
4. Uudistuotannon parantaminen

Olemassa olevien kiinteistöjen energiakustannuksia voidaan alentaa tuhlausta vähentämällä, poistamalla järjestelmistä toiminnallisia vikoja sekä peruskorjaamalla rakennuksia. Rakennusten peruskorjauksen energian säästöön tähtäviä päätoimenpiteitä ovat lisäeristäminen, ikkunoiden tiivistäminen ja uusiminen, rakennusautomaatio sekä LVI-tekniset kunnostukset kuten lämmitysjärjestelmien uusiminen ja lämmöntalteenottoon keskittyvät ratkaisut. Peruskorjausvaiheessa olevan rakennuksen LVI-teknisiä järjestelmiä saneerattaessa voidaankin nykyisen päälämmitysjärjestelmän rinnalle rakentaa yksi tai useampia energiakustannusten alentamiseen tähtäviä lämmitysjärjestelmiä. (Seppänen, O.)

3 PÄÄLÄMMITYSJÄRJESTELMÄNÄ KAUKOLÄMPÖ

3.1 Kaukolämmön toimintaperiaate

Kaukolämpö on keskitetty lämmitystapa, jossa yhdestä kaukolämmityskeskuksesta voidaan tuottaa lämmitysenergiaa useisiin kiinteistöihin. Kaukolämmityskeskuksissa lämpöä tuotetaan suurissa kattiloissa, joissa on paremmat hyötysuhteet kuin yksittäisten kiinteistöjen pienkattiloissa. Kaukolämpöä tuotetaan erilaisissa tuotantolaitoksissa sekä erillisissä kaukolämmön lämmityskeskuksissa. (Energiateollisuus)

Asiakkaalle tulevan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan 70-115 °C asteen välillä. Kesäaikaan kaukolämpöä käytetään pääsääntöisesti vain käyttöveden lämmitykseen, jolloin kaukoveden lämpötila on 70 °C. Kun kiinteistö liitetään kaukolämpöverkoston piiriin, asiakkaan lämmönjakohuoneeseen asennetaan kaukolämmön alajakokeskus, joka sisältää tarvittavat lämmönsiirtimet ja varolaitteet. Kaukolämmitys on vähän huoltotoimia vaativa ratkaisu ja oikein toteutettuna ja mitoitettuna toimintavarma. (Energiateollisuus)

Kaukolämpövesi siirretään asiakkaalle kaukolämpölaitokselta suljetussa kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Lämmin menovesi johdetaan kiinteistön alajakokeskuksen lämmityssiirtimille, jotka luovuttavat lämmitysenergiaa kiinteistön lämmitysverkostoon ja käyttöveteen. Kaukolämpövesi on mekaanisesti käsitelty epäpuhtauksien ja hapen poistamiseksi, jotta kaukolämpöverkosto ei kärsisi korroosiosta. Kaukolämpövesi on myös usein värjätty mahdollisten vuotojen ja vaurioiden havaitsemiseksi. Kaukolämmön etuna on sen toimitusvarmuus, sillä keskimääräinen aika kiinteistöllä ilman lämmöntoimintusta on vuodessa noin 1-2 tuntia. (Energiateollisuus)

3.2 Kaukolämmön hinnan koostumus

Kaukolämpöyrityksen asiakkaana on Suomessa taloyhtiö tai muu kiinteistön omistaja. Kiinteistön käyttämä lämpöenergia mitataan kiinteistökohtaisesti, kaukolämmön alajakokeskuksessa sijaitsevan mittauskeskuksen avulla. Lämmityskustannukset kiinteistöis-

sä, joissa sijaitsee useampia asuntoja, jaetaan yleensä asuntojen pinta-alan mukaan. (Energiateollisuus)

Kaukolämpöyhtiöiden määrittelemä kaukolämmön hinta koostuu seuraavista tekijöistä:

- Kiinteä liittymismaksu
- Vuotuinen kiinteä tehomaksu
- Lämmönkulutuksesta riippuva kaukolämpöenergian hinta

Asiakas maksaa paikkakunnasta riippuvaisen kiinteän liittymismaksun liittyessään kaukolämpöverkoston. Vuotuinen kiinteä tehomaksu on riippuvainen sopimustehosta tai sopimusvesivirtaan sidotusta maksusta. Lämmönkulutuksesta riippuva kaukolämpöenergian hinta on riippuvainen kiinteistön kuluttamasta lämmitysenergiasta. (Energiateollisuus)

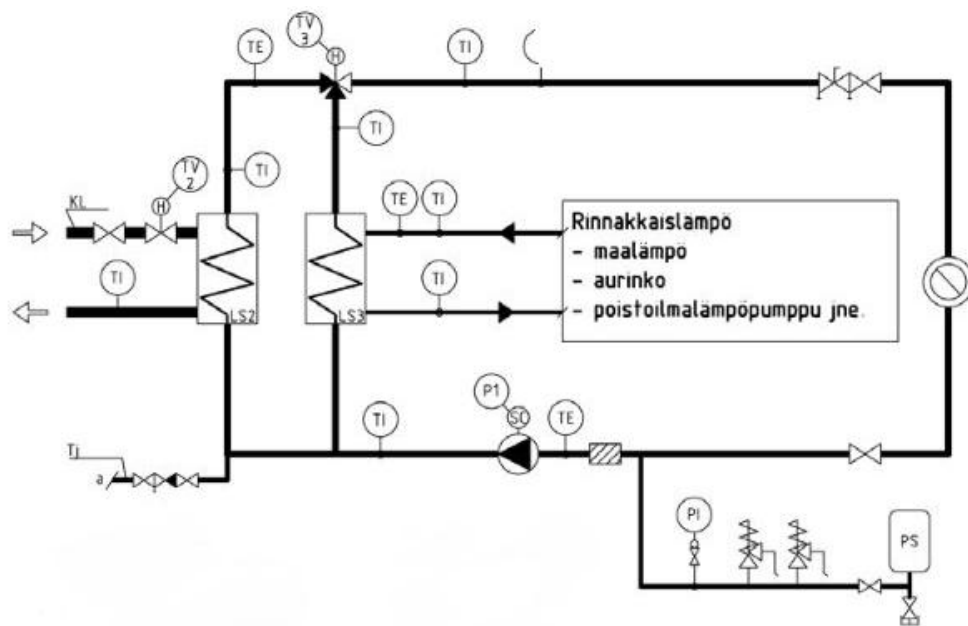
Kaukolämpöyrittäminen on kilpailuviraston mukaan määräävässä markkina-asemassa, mutta kuluttajia suojaa kuluttajansuojalaki. Kaukolämmön hinta vaihtelee paikkakunnittain. Hinta on suurimmaksi osaksi riippuvainen kaukolämmitysjärjestelmän koosta, mutta hintatasoon vaikuttaa myös kaukolämpölaitoksen ikä, taajaman rakenne, investointien tehokkuus sekä laitoksen hoito ja omistajan tuottovaatimus. Kaukolämpöenergian hinnasta noin 29 % on veroa. Kaukolämmön hinta on noussut viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 5,4 % vuodessa, kuten kuviosta 4 huomataan. (Energiateollisuus)

3.3 Kaukolämpötehon mitoitus ja kytkentä lämmitysverkostoon

Ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä on määritelty: ”Rakennuksen pääasiallinen lämmitysjärjestelmä on mitoitettava vähintään laskennallisesti tarvittavalle täydelle lämmitysteholle. Lämmitystehoon ei tarvitse laskea lämpimän käyttöveden osuutta.” (Ympäristöministeriön asetus 4/13) Eli toisin sanoen kaukolämmityksen alajakokeskuksen lämmityssiirtimet tulee mitoittaa vastaamaan kiinteistön 100 %:sta lämmitystehon tarvetta paikkakunnan mitoittavan ulkolämpötilan mukaisesti. (Helen)

Rinnakkaislämmönlähde tulee aina kytkeä hybridiratkaisussa rinnan kaukolämmityssiirtimen kanssa toisiopiirin menoveden priimaamiseksi. Rinnakkaislämmönlähteen lämmi-

tyssiirrintä ja kaukolämmityssiirrintä ei saa kytkeä sarjaan eli lämmitysverkoston paluuvettä ei lämmitetä ennen sen virtausta kaukolämpösiirtimelle. Tällä halutaan varmistaa kaukolämmön paluuveden maksimaalinen jäähtyvyys. Rinnakkaislämmön tehon ollessa riittämätön joudutaan lämmitysverkoston menovesi tulistamaan kaukolämpösiirtimen avulla lämmitysverkoston säätökäyrän mukaiseksi, tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi 3-tieventtiilillä käyttäen massavirtasäätöä. Kaukolämpösiirtimen mitoituksessa on myös huomioitava, että sen tulee pystyä tuottamaan lämmitysverkoston säätökäyrän asetusta korkeampaa menoveden lämpötilaa. Kuvassa 1 on esitetty rinnakkaislämmönlähteen esimerkkikytkentä kaukolämpösiirtimen rinnalle. (Helen)

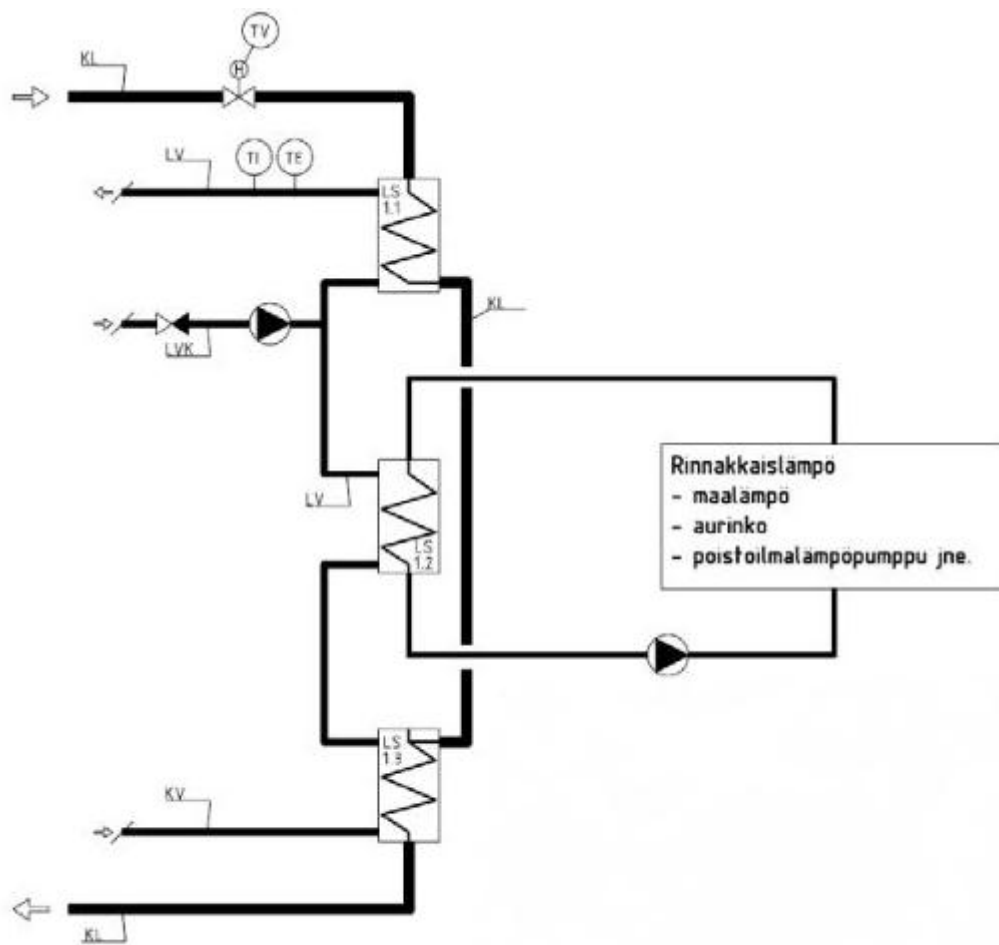


KUVA 1: Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä kaukolämpösiirtimen rinnalle. (Energiateollisuus K1/2013)

3.4 Kaukolämpötehon mitoitus ja kytkentä käyttöveden lämmitykseen

Lämpimän käyttöveden kaukolämpösiirtimet on mitoittettava siten, että ne mitoitetaan käyttöveden mitoitusvirtaaman mukaiselle täydelle teholle. Käyttöveden kaukolämpösiirtimet mitoitetaan tehojen suhteen siten, että LS1.1 kattaa 50 % mitoitusvirtaaman tehosta ja LS1.3 kattaa loput 50 % mitoitusvirtaaman tehosta. Mitoituksessa on huomioitava, että siirtimen LS1.3 tulee jäähdyttää kaukolämmön paluuvesi 20 °C asteeseen kaikissa tilanteissa kylmän veden ollessa 10 °C astetta. (Helen)

Rinnakkaislämmön lähde tulee aina kytkeä siten, että se on kylmän veden esilämmittäjänä. Rinnakkaislämmön lähdettä ei saa kytkeä, siten että se olisi ainoastaan lämpimän käyttöveden kierron esilämmitysosana, jolloin kaukolämpösiirtimellä vain jälkilämmittettäisiin lämmin käyttövesi. Tällä ratkaisulla halutaan taata kaukolämmön paluuvien jäähtymä $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen. Mikäli rinnakkaislämmön avulla ei lämpimän käyttöveden säätöikäyrän mukaista asetusarvoa saavuteta, käyttövesi lämmitetään lämpimän käyttöveden lämmityssiirtimen avulla säätöikäyrän asetusarvon mukaiseksi. Kuvassa 2 on esitetty rinnakkaislämmönlähteen esimerkkikytkentä käyttöveden lämmitykseen. (Helen)



KUVA 2: Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä kaukolämmön rinnalle. (Energiateollisuus K1/2013)

4 AURINKOLÄMPÖ

4.1 Auringon perustiedot

4.1.1 Auringonsäteily maapallolle

Auringossa tapahtuvassa lämpöydinreaktiossa vapautuu energiaa, joka antaa auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kW:n kokonaistehon. Tästä tehon määrästä maapalloon kohdistuu $1,7 \times 10^{14}$ kW:n teho, joka vastaa noin 20 000 kertaisesti maapallon teollisuuden ja lämmityksen käyttämää tehoa. (Erat, B.)

Yhdelle neliömetrin kokoiselle alueelle maanpallon ilmakehän pinnalle kohdistuva auringonsäteilyn teho on 1,35 – 1,39 kW, tämä tarkoittaa aurinkovakiota. Auringon säteilyn teho ei kuitenkaan pääse täysin maanpinnalle, sillä sitä heikentää ilmakehän vesihöyry ja erilaiset molekyylit sekä ilmakehässä olevat erilaiset epäpuhtaudet kuten saasteet ja pöly. Maanpinnalle kohdistuva auringonsäteilyn teho eli välitön aurinkovakio on noin $0,8\text{--}1,0$ kW/m² keskellä kirkasta päivää. (Erat, B.)

Ilmakehän vaikutuksen vuoksi maanpinnalle kohdistuva auringonsäteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Suora auringonsäteily
- Haja auringonsäteily
- Ilmakehän vastasäteily

Suora auringonsäteily (I_A) tarkoittaa maanpinnalle kohdistuvaa suoraa auringonsäteilyä, jonka vaikutusta heikentävät ilmakehä ja sen epäpuhtaudet. Hajasäteily (I_D) on maanpinnalle kohdistuvaa auringonsäteilyä joka heijastuu pilvistä ja maanpinnasta. Ilmakehän vastasäteily (I_V) on ilmakehän vesihöyrystä, hiilidioksidista ja otsonista aiheutuvaa lämpösäteilyä takaisin maanpinnalle. Tätä kutsutaan ”kasvihuonevaikutukseksi”. (Erat, B.)

Maanpallon pinnalle kohdistuva kokonaissäteilyenergia (I) on suoran auringonsäteilyn, haja auringonsäteilyn ja ilmakehän vastasäteilyn summa, josta on vähennetty maanpinnasta takaisin avaruuteen heijastuva pitkäaaltoinen säteily (I_U). (Erat, B.)

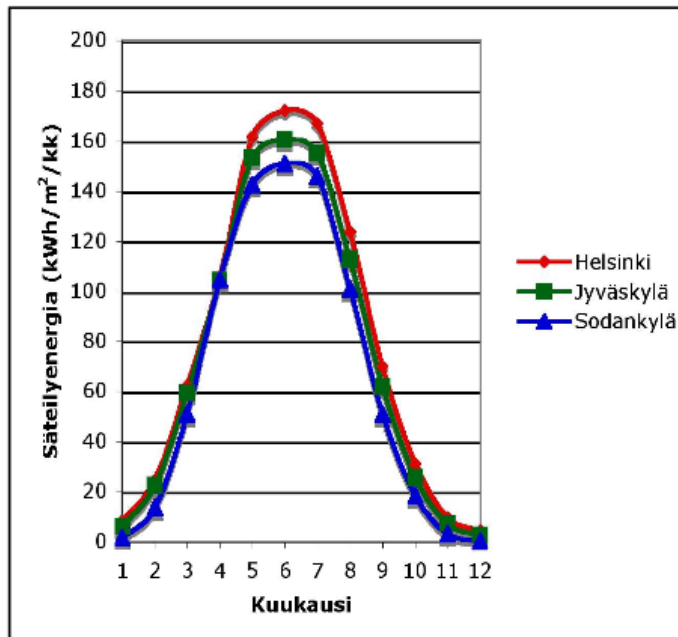
$$I = I_{A+} + I_{D+} + I_v + I_U \quad (1)$$

Maanpinnalle kohdistuvaan auringonsäteilyenergiaan vaikuttaa siis olennaisesti myös sää. Pilvisinä päivinä maanpinnalle kohdistuvasta aurinkosäteilyenergiasta saattaa olla 80 % hajasäteilyä. Vastaavasti taas kirkkaana päivänä hajasäteilyn osuus on noin 20 %. Suomessa maanpinnalle kohdistuvasta aurinkosäteilyn energiasta noin 50 % on hajasäteilyä. (Erat, B.)

4.1.2 Auringonsäteily suomessa

Ilmatieteen mittauslaitoksen mittauksen mukaan Suomessa paistaa aurinko keskimäärin 1684 tuntia vuodessa. Aurinkokeräimillä pystytään myös pilvisellä säällä keräämään lämpöä, sillä ne pystyvät hyödyntämään myös hajasäteilyä tulevaa energiaa. (Erat, B.)

Suomessa auringosta tuleva säteily määrä on suurimmillaan touko-heinäkuun välisenä aikana, jolloin Helsingistä saadaan säteilyenergiaa kohtisuoralle pinnalle kuukaudessa keskimäärin 160-170 kWh/m², Jyväskylässä 150-160 kWh/m² ja Sodankylässä 140-150 kWh/m². Tammi- ja helmikuussa sekä loka-joulukuun välisenä aikana auringosta saatavan säteilyenergian määrä on alle 30 kWh/m². Kuviossa 5 on esitetty keskimääräinen kuukausikohtainen auringonsäteilyenergian määrä. (Erat, B.)



KUVIO 5: Kuukausittainen auringonsäteilyn määrä vuosina 1971-2000 (Ground energy)

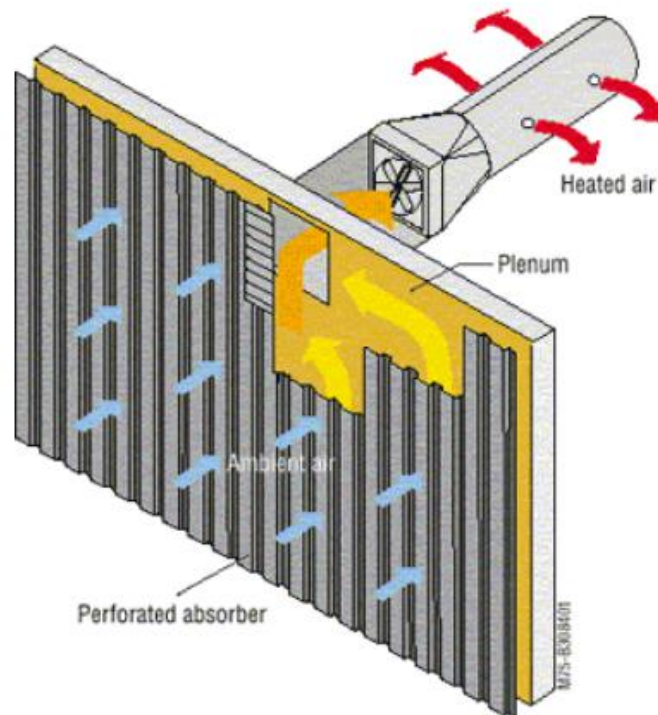
4.2 Aurinkokeräimet

Kaukolämmön rinnalle kytkettävällä aurinkolämmitysjärjestelmällä pyritään hyödyntämään auringonsäteilyä saatavaa aurinkoenergiaa. Aktiivisessa aurinkolämmitysjärjestelmässä aurinkoenergiaa hyödynnetään siihen tarkoitetulla erillisellä lämmönsiirtojärjestelmällä, jossa aurinkoenergiasta saatava lämpö siirretään joko suoraan kiinteistön käyttöön tai varastoidaan lämminvesivaraajaan. Aurinkolämmitysjärjestelmän keskeisin osa on aurinkokeräin, jolla auringonsäteilyn sisältämä energia saadaan talteen. Muita järjestelmän osia ovat sitä varten rakennettava putkisto, varaaja, lämmönsiirrin, pump-puyksikkö, ohjauksyksikkö, paisunta-astia ja venttiilit. Aurinkokeräimet voidaan jaotella nestekiertoisiin sekä ilmakiertoisiin aurinkokeräimiin. Nestekiertoisia aurinkokeräimiä on kahta tyyppiä: tasokeräimiä sekä tyhjiöputkikeräimiä, jotka eroavat toiminnaltaan toisistaan. (Seppänen, O.)(Erat, B.)

4.2.1 Ilmakiertoinen aurinkokeräin

Ilmakiertoisessa aurinkokeräimessä lämmönsiirtoaineena käytetään ilmaa. Nestekiertoisissa aurinkokeräimissä puolestaan siirtoaineena toimii neste. Ilman lämpökapasiteetti ja

lämmönsiirtokyky on huonompi kuin nesteillä. Tämä johtaa siihen, että vastaavan lämpöenergia määrän siirtäminen ilmakiertoisella aurinkokeräimellä vaatii isot kanavistot. Ilmakiertoisella aurinkokeräimellä yksinkertaisin tapa hyödyntää lämpöenergiaa on siirtää suoraan lämmin ilma rakennukseen. Lämintä ilmaa voidaan myös käyttää tuloilmakoneen raitisilmana, jolloin tuloilmakoneen raitisilma on auringolla esilämmitettyä. Ilmakiertoinen aurinkokeräin ei kuitenkaan ole varteenotettava vaihtoehto peruskorjaus tarpeessa olevien rakennusten rinnakkaislämmönlähteeksi, sillä 1950-1990 luvun rakennuksissa harvoin on tuloilmanvaihtokonetta. Kuvassa 3 on esitetty ilmakiertoisen aurinkokeräimen toimintaperiaate. (Rakennuskoski, J.)



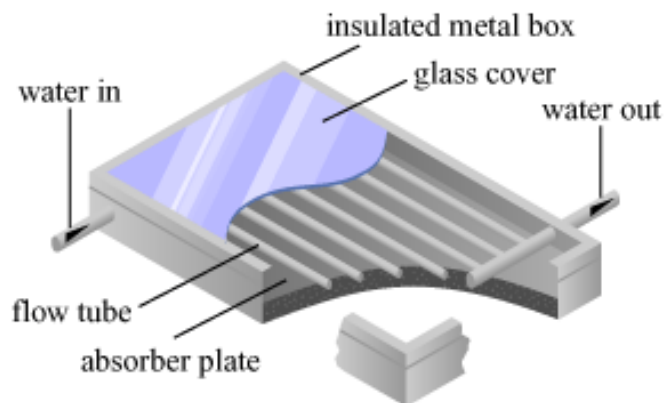
KUVA 3: Ilmakiertoisen aurinkokeräimen toimintaperiaate (Basnet, A.)

4.2.2 Tasokeräin

Tasokeräimen pääkomponentit ovat sen runko, läpinäkyvä lasi- tai muovikate, absorptiolevy, lämmönsiirtoverkko sekä lämmönsiirtoneste. Tasokeräimiä on olemassa myös ilman katelevyä, jolla on kaksi tehtävää. Katelevyn tulee päästää auringon lyhytaaltoinen säteily läpi ja heijastaa absorptiolevystä heijastuvaa pitkäaaltoista säteilyä takaisin

keräimeen, sekä suojata keräintä ulkoisilta tekijöiltä kuten lumelta, tuulelta ja roskilta. (Rakennuskoski, J.)

Absorptiolevy on useimmiten valmistettu joko kuparista tai alumiinista ja tasokeräimen lämmönsiirtoputkisto kuparista. Tasokeräimen toiminta perustuu siihen, että katelevyn läpäisevä auringon säteily kohtaa tumman absorptiolevyn. Levyn tumma pinta absorboi siihen kohdistuneen auringonsäteilyn jolloin sen lämpötila nousee. Tällöin lämpö siirtyy sitä kautta keräimen lämmönsiirtoputkistossa kiertävään lämmönsiirtonesteeseen. Eli toisin sanoen auringonsäteily muutetaan lämmöksi. Lämmönsiirtoputkistossa kiertää useimmiten vesi-glykoliseos sillä se soveltuu Suomen sääolosuhteisiin paremmin, koska sen jäätymispiste on alhaisempi kuin pelkän veden. Haittapuolena vesi-glykoliseoksessa verrattuna veteen on sen huonommat lämmönsiirto-ominaisuudet. Vesi-glykoliseoksen jäätymispiste on $-31...-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta ja veden on $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta, jolloin vesi ei sovellu Suomessa ympärivuotiseen käyttöön. Kuvassa 4 on esitetty tasokeräimen tyypillinen rakenne. (Rakennuskoski, J.)(Erat, B.)

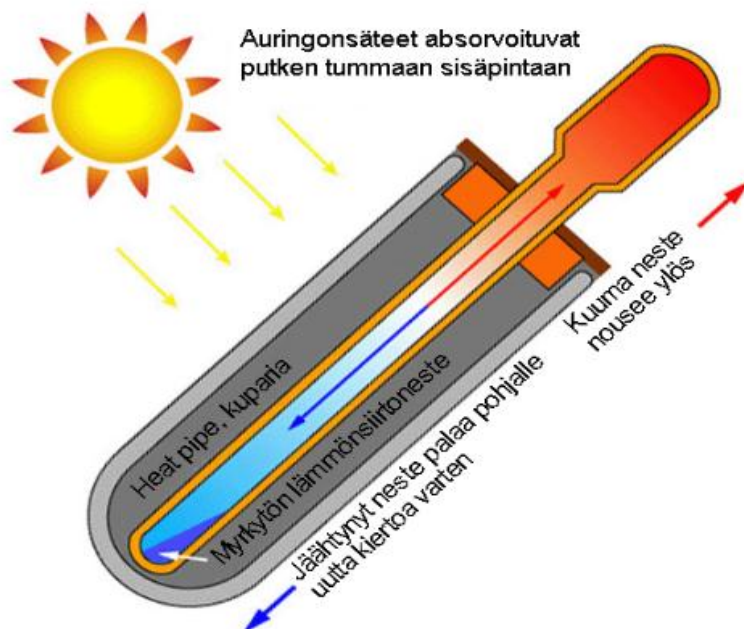


KUVA 4: Tasokeräimen rakenne (Solar Tribune)

4.2.3 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimen pääkomponentteja ovat lasiset tyhjiöputket, jakoyhde sekä kehikko. Tyhjiöputkikeräimen olennaisin komponentti on tyhjiöputki, jossa on kaksi sisäkään olevaa putkea joiden välissä on tyhjiö. Tyhjiön tarkoituksena on toimia eristeenä ja samalla päästää auringon säteily sisemmän putken ulkopintaan. Tyhjiöeristyksen vuoksi tyhjiöputkikeräin toimii viileämpinäkin vuodenaikoina kunhan auringon säteily vain kohtaa sisemmän putken ulkopinnan. (Rakennuskoski, J.)

Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate on vastaava kuin tasokeräimellä. Tyhjiöputken sisemmän putken ulkopinnalla on putken absorptiopinta, joka muuttaa auringon säteilyn lämmöksi kuten tasokeräimessäkin. Sisemmän putken sisällä on umpinainen kupariputki eli niin kutsuttu ”heat pipe”, johon lämpö johtuu absorptiopinnasta. Umpinaisessa kupariputkessa on alkoholia, joka lämmön johtumisen ansiosta alkaa höyrystyä ja nousee putken yläosaan. Yläosaan noussut höyrystynyt alkoholi luovuttaa lämpöä ulkopuoliseen lämmönsiirtoputkistoon, jolla lämpö siirretään joko suoraan rakennuksen käyttöön tai varaajaan. Lauhtunut alkoholi tiivistyy takaisin nestemäiseksi ja valuu takaisin putken alaosaan, jolloin se alkaa uudestaan höyrystyä. Kuvassa 5 on esitetty tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. (Rakennuskoski, J.)



KUVA 5: Tyhjiöputken toimintaperiaate. (Aurinkopuisto)

Tyhjiöputkikeräin hyödyntää paremmin auringon hajasäteilyä kuin tasokeräin, lisäksi tyhjiöeristyksen ansiosta se toimii paremmin kylmemmissä sääolosuhteissa. Näiden tekijöiden ansiosta lämpöenergian tuotto Suomessa on mahdollista jo helmikuusta alkaen ja jatkuu marraskuuhun saakka. (Rakennuskoski, J.) Tyhjiöputkikeräin onkin ainut aurinkokeräin, joka on Suomen ilmasto-olosuhteissa varteenotettava vaihtoehto rakennuksen vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien rinnakkaislämmönlähteeksi, koska sen lämpöenergian tuottokausi jatkuu vielä rakennusten lämmityskaudellakin.

4.2.4 Aurinkokeräimen sijoittaminen

Aurinkokeräimen sijoittamispaikan olennaisin tekijä on, että auringon säteily pääsee paistamaan aurinkokeräimeen esteettömästi keräintyyppistä riippumatta. Tällöin tulisi välttää sijoittamasta aurinkokeräintä paikkaan, jota ympäristön kasvillisuus tai rakennukset varjostavat. Hyvä aurinkokeräinten sijoituspaikka on yleensä rakennusten katolla, johon ei kohdistu varjostuksia ja aurinkokeräimet ovat myös paremmin suojattuna ilkivallalta. Aurinkokeräimet voidaan avoimella tontilla sijoittaa myös maan tasoon. Sijoituspaikassa tulee myös huomioida keräinten etäisyys varaajista, jotta lämmönsiirtoputkiston lämpöhäviöt voidaan minimoida. (Erat, B.)

4.2.5 Aurinkokeräimen suuntaus ja kallistuskulma

Aurinkokeräimen suuntaukseen vaikuttaa olennaisesti kaksi tekijää, jotka ovat suuntauskulma ilmansuunnan suhteen ja aurinkokeräimen kallistuskulma vaakatason pintaan nähden. Paras suuntaus ilmansuunnan suhteen on Suomen leveysasteilla etelä. Optimaalisin aurinkokeräimen kallistuskulma vaakatasoon nähden riippuu siitä, mitä tekijää aurinkolämmitysjärjestelmässä halutaan painottaa. Jos aurinkolämmitysjärjestelmän on tarkoitus toimia osana rakennuksen lämmitysjärjestelmää, tulee keräimen kallistuskulmassa painottaa kevättalven ja syksyn tuottoa. Tällöin tulee keräimet asentaa pystymyyn, koska aurinko paistaa matalammalta. Tämä kulma on eteläisessä Suomessa noin 60 astetta ja Pohjois-Suomessa noin 70-80 astetta. Jos halutaan painottaa mahdollisimman laajaa tuottokautta aurinkokeräinjärjestelmälle, paras tuottokulma on Suomen leveysasteilla noin 40-50 astetta riippuen onko kohde Etelä- vai Pohjois-Suomessa. Jos halutaan painottaa mahdollisimman tehokasta tuottokautta kesällä, voidaan keräimet asentaa hieman loivempaan kulmaan, koska kesäisin aurinko paistaa korkeammalta horisonttiin nähden. Aurinkolämmitysjärjestelmää hyödynnettäessä käyttöveden lämmitykseen optimaalisimman suuntauskulman ratkaisee se, millä aurinkokeräimen suuntauskulmalla saadaan mahdollisimman suuri tuotto. (Erat, B.)

Aurinkojärjestelmää suunniteltaessa on syytä tarkastella ratkaisua, jossa keräimet asennetaan katon suuntaisesti jolloin saavutetaan todennäköisesti esteettisempi lopputulos. Tällöin välttyään keräintelineistä aiheutuvista kustannuksista. Säästetyillä hankintakus-

tannuksilla voidaan lisätä keräinpinta-alaa, joilla mahdollisesti katetaan ”virhekulman” energiahäviöt ja saavutetaan parempi lopputulos. Asennuskulmaa suunniteltaessa tulee myös huomioida ulkoisten tekijöiden vaikutukset aurinkokeräimiin, esimerkiksi lumen kasaantuminen keräinten päälle. (Erat, B.)

4.2.6 Aurinkokeräimen hyötysuhteeseen vaikuttavat päätekijät

Aurinkolämmitysjärjestelmää suunniteltaessa ja sen kannattavuutta tarkasteltaessa on huomioitava kannattavuuden kannalta olennaiset hyötysuhteeseen vaikuttavat tekijät, jotta järjestelmään kannattaa investoida. Laskennassa huomioon otettavia tekijöitä jotka vaikuttavat aurinkoenergian hyödynnettävyyteen ovat (Erat, B.) :

- Aurinkokeräimen suuntaus ja kallistuskulma
- Aurinkokeräimen katteen ominaisuudet
- Lämmöneristys ja tiiviys
- Aineiden absorptio- ja lämmönsiirtokyky
- Lämmönsiirtoaineen ominaisuudet
- Aurinkokeräimen toimintalämpötilat
- Etäisyys keräimistä varaajaan
- Lämmönsiirtoputkiston lämmöneristys
- Varaajan lämpötilatasot
- Verkoston toimintalämpötila ja tarvittava energiamäärä
- Auringon tulokulma
- Varjot

4.3 Kaukolämmityksen rinnalla aurinkolämmitys

Kuvista 1 ja 2 nähdään aurinkolämmitysjärjestelmän kytkentäperiaate kaukolämmön rinnalle osaksi sekä käyttöveden lämmitysjärjestelmään että rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Koska Suomen ilmasto-olosuhteet ovat epäedulliset aurinkolämmön käyttämiseen osana rakennuksen lämmitysjärjestelmää, johtuen auringonsäteilyn vähäisestä määrästä lämmityskaudella sekä tyhjiöputkikeräinjärjestelmän korkeasta hankintakustannuksesta, niin kannattavuustarkastelussa keskitytään vain aurinkolämmitysjärjestelmän liittämiseen osaksi käyttöveden lämmitysjärjestelmää. Aurinkolämmön hyödyntä-

minen käyttöveden lämmitykseen on potentiaalinen vaihtoehto, sillä lämmintä käyttövettä kuluu myös kesällä, jonka lämmittämiseen kuluu lämmitysenergiaa.

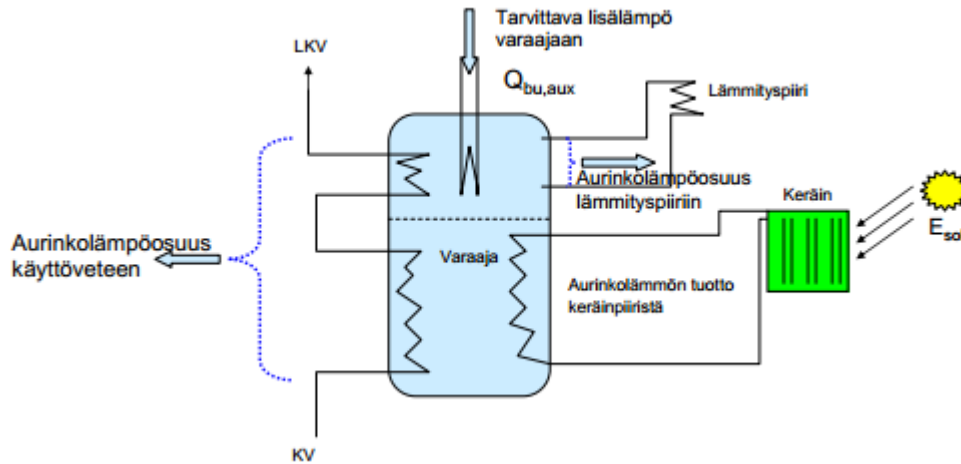
4.4 Aurinkolämmön tuoton laskenta

4.4.1 Laskentamenetelmän yleiskuvaus

Kaukolämmön rinnalle kytkettävän aurinkolämmitysjärjestelmän kannattavuustarkastelun tavoitteena on selvittää onko energiatehokkuusinvestointi kannattava eli, mikä investoinnin takaisinmaksuaika on. Koska kannattavuustarkastelussa halutaan selvittää onko järjestelmä kannattava tai sulkea pois kannattamattomuuden vuoksi, järjestelmän suunnittelu ei ole vielä edennyt yksityiskohtiin. Tästä johtuen aurinkolämmitysjärjestelmän lämpöenergian laskennallisen tuottavuuden selvittämiseksi voidaan käyttää taulukoituja keskimääräisiä arvoja. Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton selvittämiseksi on käytetty ympäristöministeriön Aurinko-oppaan 2012 yksityiskohtaisempaa laskentamenetelmää laskennallisen aurinkoenergian tuoton selvittämiseksi. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6.

Tässä menetelmässä lasketaan aurinkolämpöjärjestelmän tuotto, kulutus sekä lämpöhäviöt. Laskentamenetelmässä käytetään komponenttitestien tietoja ja taulukkoarvoja. Menetelmän vaiheet sisältävät seuraavia vaihteita. (Aurinko-opas 2012) :

1. Aurinko-osuuden laskenta lämpimän käyttöveden tuotannolle
2. Aurinkoenergiajärjestelmän siirtohäviöiden laskenta
3. Lämpövaraajan lämpöhäviön laskenta
4. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiakulutuksen laskenta.



KUVA 6: Aurinkolämpöjärjestelmä toimintaperiaate (Aurinko-opas 2012)

4.4.2 Aurinkolämmön tuotto

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla (2) (Aurinko-opas 2012):

$$Q_{\text{tuotto, A}} = c_{\text{tyyppi}}(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{\text{tarve, A}} \quad (2)$$

, missä:

$Q_{\text{tuotto, A}}$ = on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)

$Q_{\text{tarve, A}}$ = lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (kWh)

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin. Varaajatyypin korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $c_{\text{tyyppi}} = 1$.

a, b, c, d, e, f = ovat myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

X = lämpöhäviöt / tarve - suhde

Y = tuotto / tarve – suhde

dimensioton suure X lasketaan kaavalla (3) :

$$X = \frac{A \cdot U_c \cdot \eta_{kierto} \cdot \Delta T \cdot t_h \cdot c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (3)$$

, missä:

A = keräinten pinta-ala (m²)

U_c = keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m²K)

$$U_c = a_1 + 40 \cdot a_2 + U_L/A \quad (4)$$

a₁ = keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan:

mikäli kertoimille ei ole testattua arvoa

käytetään:

- tyhjiöputkikeräimille a₁ = 3 W/m²K
- tasokeräimille a₁ = 6 W/m²K
- lasiosattomille keräimille a₁ = 20 W/m²K

a₂ = keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan:

mikäli kertoimille ei ole testattua arvoa

käytetään:

- kaikille keräintyypeille a₂ = 0 W/m²K²

$$U_L = 5 + 0,5A \text{ (W/K)} \quad (5)$$

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde. Oletusarvona käytetään 0,8 .

ΔT = keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero , joka lasketaan kaavalla (6) :

$$\Delta T = \Theta_{ref} - \Theta_e \quad (6)$$

, missä:

$$\Theta_{ref} = 11,6 + 1,180 \Theta_{hw} + 3,86 \Theta_{cw} - 1,32 \Theta_e$$

, kun lasketaan pelkän käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta, missä

Θ_{hw} = on lämpimän käyttöveden minimilämpötila , käytetään Θ_{hw}=40 °C

Θ_{cw} = on kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa Θ_{cw} = 5 °C , mikäli kuu-
kausittaista arvoa ei ole käytettävissä

Θ_e = on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila säävyöhykkeellä, käytetään D3 taulukkoarvoja

t_h = tarkastelujakson pituus (h)

c_{cap} = varastokapasiteetin korjauskerroin, joka lasketaan kaavalla (7) :

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (7)$$

,missä:

V_{tod} = varaajan suunniteltu ominaistilavuus, ($dm^3 / keräin \cdot m^2$)

V_{ref} = referenssitilavuus, käytetään arvoa $75 dm^3/keräin \cdot m^2$

dimensioton suure Y lasketaan kaavalla (8) :

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (8)$$

, missä:

IAM = keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, jolle oletusarvoina käytetään

IAM = 1,0 kattamattomalle (lasiton) keräimelle

IAM = 0,94 lasikatteisille tasokeräimille

IAM = 0,97 tyhjiöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta

IAM = 1,0 tyhjiöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta

η_0 = aurinkokeräimen hyötysuhde, käytetään todellisia valmistajan ilmoittamia arvoja

$Q_{keräin}$ = auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, (kWh/m², kk). Lasketaan kaavalla (11).

4.4.3 Aurinkoenergiajärjestelmän apulaitteiden energiankulutus

Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla (9) (Aurinko-opas 2012) :

$$W_{aurinko,pumput} = \sum (P_{pumppu,i} \cdot t_{pumppu,i}) / 1000 \quad (9)$$

, missä:

$P_{\text{pumppu},i}$ = yksittäisen pumpun i teho kW

$t_{\text{pumppu},i}$ = pumpun i käyttöikä, h

mikäli suunnitteluarvoista ei ole yksityiskohtaista tietoa, voidaan pumpun tehon suunnitteluarvona käyttää kaavalla (10) laskettavaa tehoa (Aurinko-opas 2012):

$$P = (50 + 5A_{\text{aurinkokeräin}}) / 1000 \quad (10)$$

,missä

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ = kiertopiiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala, m^2

Pumpun vuosittaiseksi käyttöajaksi voidaan olettaa 2000 h/a, jos tarkempaa suunnitteluarvoa ei ole käytettävissä. Käyttöajan oletetaan jakautuvan tasaisesti ajallisesti kuukausittaisen säteilyenergioiden suhteessa. (Aurinko-opas 2012)

4.4.4 Aurinkoenergiajärjestelmän häviöt

Aurinkoenergiajärjestelmän häviöillä tarkoitetaan sitä energian aurinkoenergian osuutta, jota ei varaajasta pystytä hyödyntämään käyttöön. Koska tarkastellaan vain käyttöveden lämmitystä aurinkoenergialla, tätä osuutta ei huomioida laskennassa eikä kannattavuus-tarkastelu työkalussa. (Aurinko-opas 2012)

4.4.5 Auringon säteily keräimen ulkopinnalle

Auringon säteilyenergian määrä eli $Q_{\text{keräin}}$ lasketaan kaavalla (11) (Aurinko-opas 2012):

$$Q_{\text{keräin}} = k * Q_{\text{sät},0^\circ} \quad (11)$$

,missä:

$Q_{\text{keräin}}$ = auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, (kWh/m^2 , kk)

- $Q_{\text{sät},0^\circ}$ = vaakatasolle tuleva auringon säteilyenergia, joka on paikkakunta-kohtainen, arvoja eri paikkakunnille on esitetty liitteessä 1 taulukot 6-8. (kWh/m², kk)
- k = korjauskerroin etelään (kaakko-lounas) suunnatulle keräimelle, joka riippuu keräimen kallistuskulmasta, paikkakunnasta ja tarkastelujaksosta. Korjauskertoimet on esitetty liitteessä 1 taulukot 6-8. Jos keräimeen kohdistuu merkittävä varjostus niin korjauskerroin k korjataan jakamalla se varjostuksen suhteellisella määrällä koko keräimen pinta-alasta ($A_{\text{varjostus}}/A_{\text{kokonaisala}}$)

4.5 Työkalu

Työkalun laskentamenetelmä perustuu edellisessä osiossa esitettyyn laskentatapaan, jolla lasketaan auringon säteilyenergiasta hyödynnettävä osuus käyttöveden lämmitykseen. Koska opinnäytetyössä ei tutkita oikean kohteen aurinkolämmön hyödynnettävyyttä, työkalun toimivuus on osoitettu Aurinko-opaan 2012 esimerkkilaskun avulla.

4.5.1 Selvitettävät lähtötiedot

Aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa laskettaessa on selvitettävä ja suunniteltava seuraavat lähtötiedot (Aurinko-opas 2012):

- Rakennus sijainti ja säävyöhyke : Säävyöhyke 1, Helsinki
- Keräinpinta-ala : 8,0 m²
- Keräintyyppi: Lasikatteinen tasoräin , IAM: 0,94
- Keräimen hyötysuhde η_0 : 0,83
- Hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi a_1 : 2 W/m²K
- Keräinten suuntaus ja kallistuskulma: Etelä, 45 astetta
- Lämpimän käyttöveden kuukausikohtaiset kulutustiedot
- Varaajan koko V_{tod} : 260 l
- Kiertopumppujen teho: 40 W

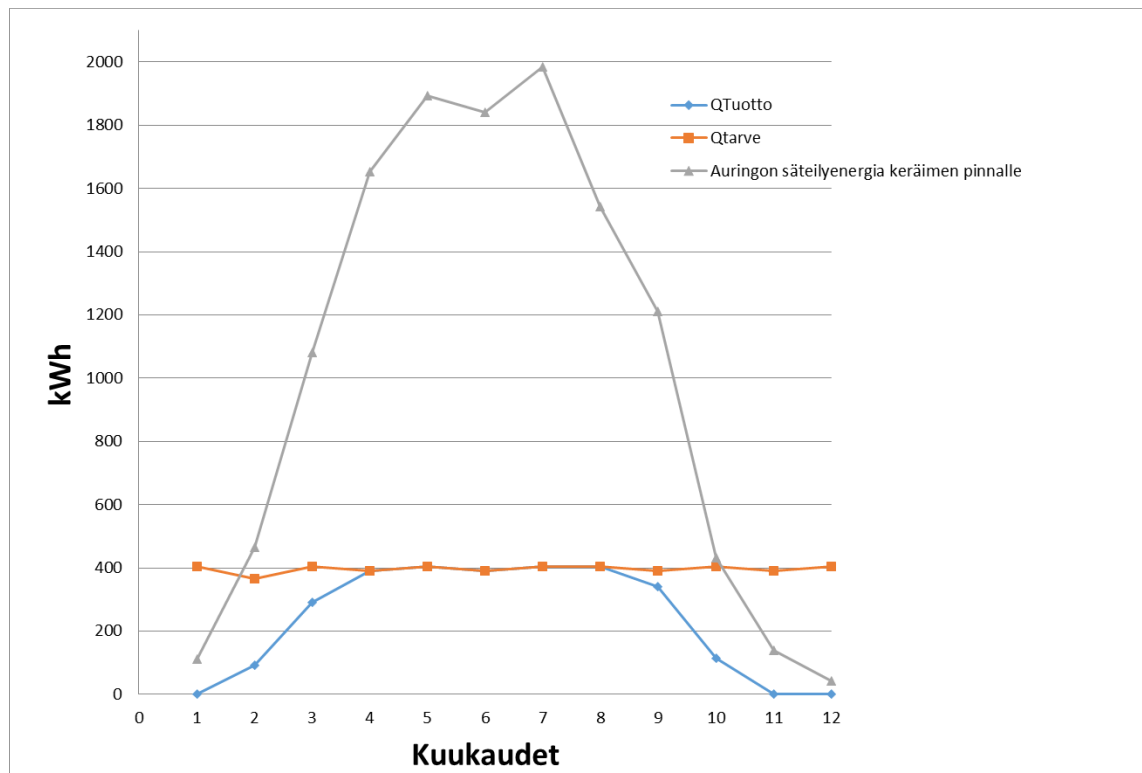
Työkalulla voidaan myös helposti tehdä vertailuja erilaisten toteutusratkaisujen vaikutuksista aurinkolämmitysjärjestelmän lämmitysenergian tuottoon.

4.5.2 Tulokset

Lähtötietojen syöttämisen jälkeen työkalu laskee auringon säteilyenergiasta hyödynnettävän osuuden käyttöveden lämmitykseen ($Q_{\text{tuotto,A}}$), aurinkoenergian suhteellinen osuus käyttöveden lämmityksestä ja kaukolämmön osuuden käyttöveden lämmityksestä ($Q_{\text{ostolämpö}}$). Tulokset on osoitettu taulukossa 1 ja kuviossa 6.

TAULUKKO 1: Laskennallisten tulosten osoitustapa

Kuukausi	$Q_{\text{tarve,A}}$ (LKV:n lämmitys kWh)	$Q_{\text{tuotto,A}}$ kWh	Aurinkokeräimen prosentuaalinen tuotto %	$Q_{\text{ostolämpö}}$ kWh
Tammikuu	404,2	0	0	404,2
Helmikuu	365,3	92,0	25,2	273,3
Maaliskuu	404,4	290,7	71,9	113,7
Huhtikuu	391,4	391,4	100	0
Toukokuu	404,4	404,4	100	0
Kesäkuu	391,4	391,4	100	0
Heinäkuu	404,4	404,4	100	0
Elokuu	404,4	404,4	100	0
Syyskuu	391,4	339,6	86,8	51,7
Lokakuu	404,4	113,7	28,1	290,7
Marraskuu	391,4	0	0	391,4
Joulukuu	404,4	0	0	404,4
Yhteensä:	4761,7	2832,2	59,3	1929,5



KUVIO 6: Havainnollistava kuvaaja aurinkoenergian hyödyntämisestä

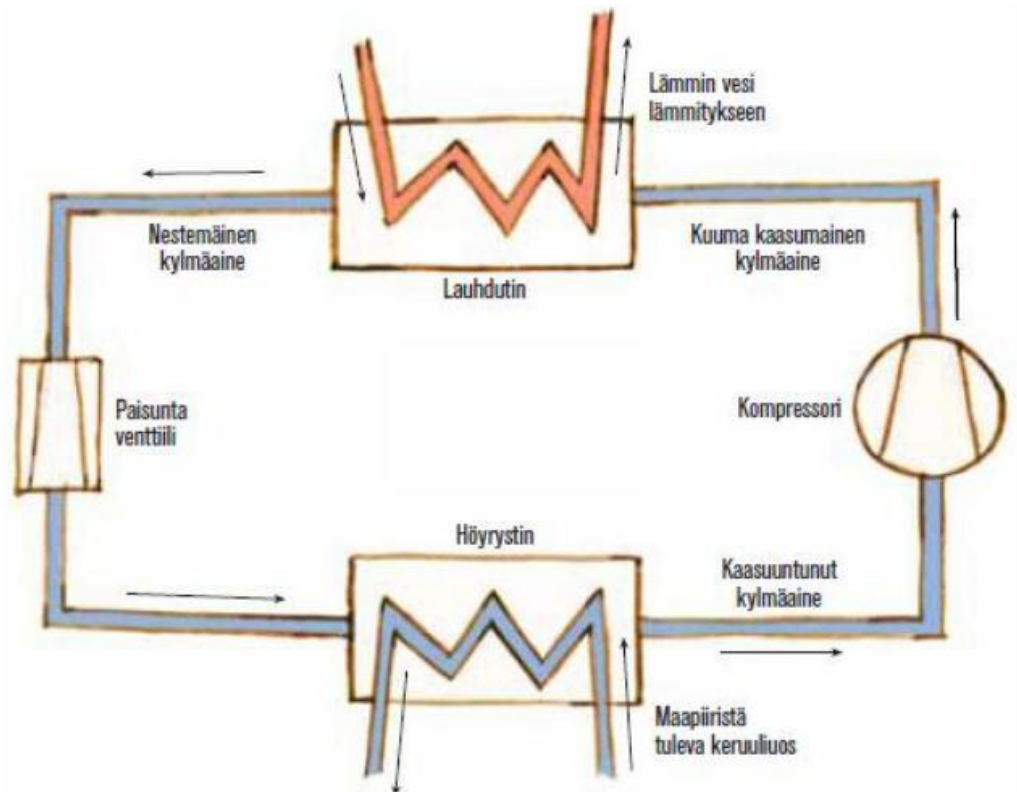
5 MAALÄMPÖ

Maalämpö on maaperään, kallioon tai vesistöihin varastoitunutta auringon lämpöenergiaa. Maalämpöä voidaan hyödyntää kiinteistön lämmitykseen keräämällä sitä maaperästä joko kallioon pystysuoraan porattavan energiakaivon avulla tai maaperään asennettavan vaakakeruuputkiston avulla. Maalämpöä voidaan myös kerätä vesistöistä, jos vesistö on riittävän lähellä kiinteistöä. Keruuputkistossa kiertää lämmönkeruuneste, jonka avulla siihen sitoutunut lämpö siirretään lämmitysjärjestelmän lämpöpumpulle eli tässä tapauksessa maalämpöpumpulle. Maalämpöpumpulla voidaan tuottaa +65 °C asteista vettä. (Motiva), (Geodrill)

5.1 Maalämpöpumppu

5.1.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

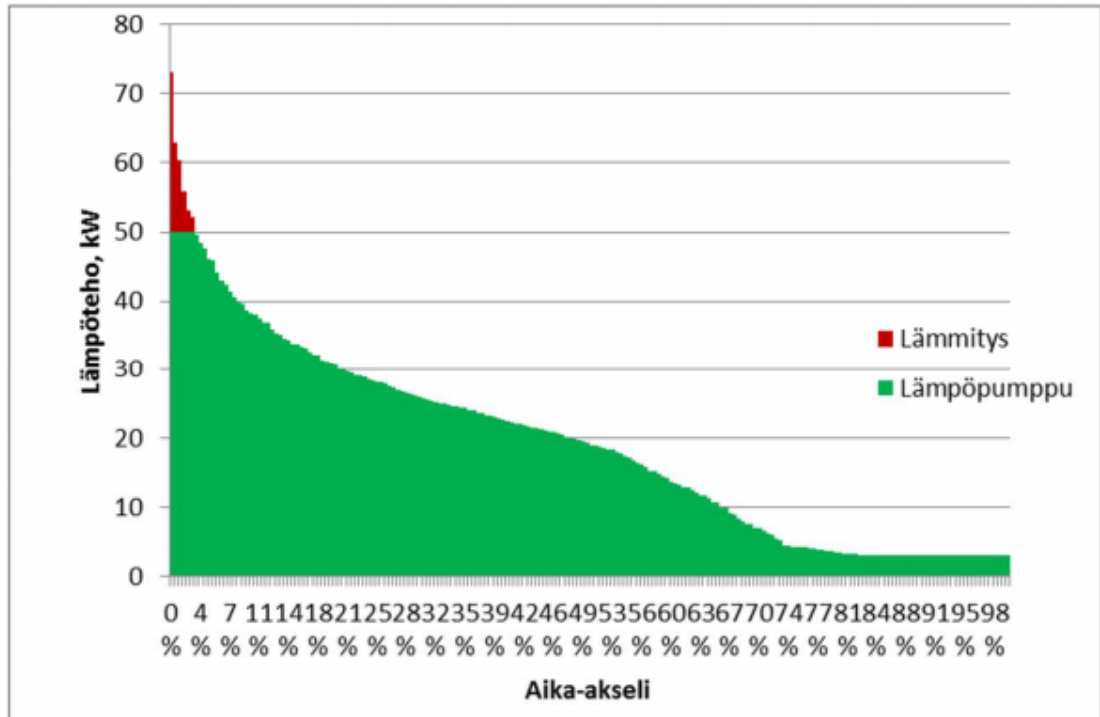
Lämpöpumpun keskeisimmät osat ovat kompressori, paisuntaventtiili sekä kaksi lämmönvaihdinta; höyrystin ja lauhdutin. Maassa kiertävän keruuputkiston avulla maasta saatu lämpöenergia kierrätetään höyrystymille, jolloin lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine höyrystyy eli kaasuuntuu. Ennen höyrystintä lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine on nestemäistä, mutta höyrystymis-prosessissa kylmäaine sitoo keruupiiristä lämpöenergiaa. Tämän jälkeen kaasuuntunut kylmäaine kulkee lämpöpumpussa kompressorille, joka puristaa kaasuuntuneen kylmäaineen pienempään tilaan, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila nousee. Tämän jälkeen kuuma kaasumainen kylmäaine kulkee lauhduttimeen, jonka avulla lämpöenergia luovutetaan lämmitysjärjestelmään. Hybridikytken tapauksessa lämpö yleensä varastoidaan lämminvesivaraajaan. Lauhduttimessa kylmäaineen lämpötila laskee ja se muuttuu takaisin nestemäiseksi. Tämän jälkeen kylmäaine kiertää vielä paineenalennusventtiili kautta, jossa sen lämpötila ja paine alenevat. Tämän jälkeen prosessi alkaa taas alusta. Maalämpöpumpun toimintaperiaate on osoitettu kuvassa 7. (Motiva)



KUVA 7 : Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva)

5.1.2 Maalämpöpumpun mitoitus hybridijärjestelmässä

Maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa joko osatehoiseksi tai täysitehoiseksi. Täysitehoisessa maalämpöjärjestelmässä maalämpöpumpulla voidaan kattaa koko rakennuksen tarvitsema huippulämmitysteho. Hybridijärjestelmässä maalämpöjärjestelmä on aina mitoitettu osatehoiseksi. Tällöin maalämmöllä katetaan tietty osa rakennuksen tarvitsemasta vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta ja huippu pakkasilla, jolloin maalämpöpumpulla ei pystytä tuottamaan riittävää lämmitystehoa niin kaukolämmöllä lämmitetään puuttuva osuus. Maalämpöpumpun paras mitoitus on silloin, kun hybridijärjestelmän investointikustannuksien ja käyttökustannuksien summa on pienin. Maalämmön energian peittoastetta tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti, jolloin voidaan laskea mikä on maalämpöpumpun kannattavin tehomitoitus. Kuviossa 7 on esitetty esimerkki osatehoisesta maalämpöjärjestelmän mitoituksesta. (J Enersys Oy)



KUVIO 7: Esimerkki osatehoisesta mitoituksesta (J Enersys Oy)

5.1.3 Maalämpöpumpun hyötysuhde

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvastaa COP -lämpökerroin, joka on suhdeluku siitä kuinka monta kilowattituntia lämpöenergiaa saadaan tuotettua yhdellä kilowattitunnilla sähköenergiaa. COP -lämpökerroin on vuositasolla katsottuna maalämpöpumpuilla noin kolme. Uusimmat lämpöpumput voivat päästä lämpökerroinluvultaan jopa lähelle neljää, mutta tyypillisin lämpökerroin maalämpöpumpuilla on vuositasolla 2,5-3,5. Maalämpöpumpun COP -lämpökertoimeen vaikuttaa myös maalämpöpumpulla tuotettavan veden lämpötila, sillä mitä kuumempaa vettä sillä tuotetaan, sitä heikommalla hyötysuhdeella maalämpöpumppu toimii. (Satosalmi, J.)

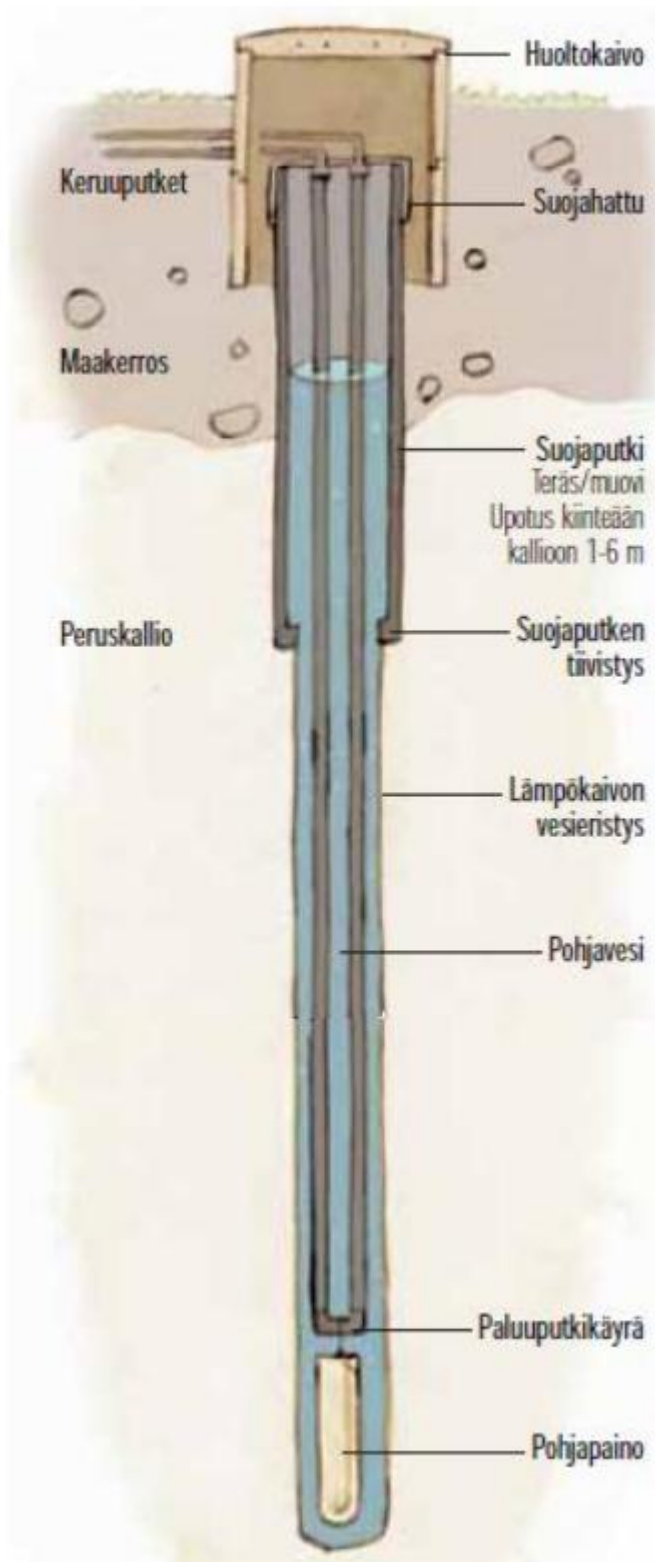
5.2 Maalämmön keruutavat

5.2.1 Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto

Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto on nykyään yleisin maalämmön keruutapa, koska se ei vaadi isoa kiinteistökohtaista tonttia. Porakaivoon asennettava lämmönkeruuputkisto soveltuukin hyvin suuriin kohteisiin, joissa on isot lämmitysenergian tarpeet, koska niitä voidaan asentaa myös useampia samalle tontille. Jos tontille tarvitsee asentaa useampia energiakaivoja, tulisi niiden etäisyys toisistaan olla vähintään 15 metriä. Jos naapurirakennuksiin on asennettu energiakaivoja, tulee myös vähimmäisetäisyydet huomioida naapurin porakaivoihin. Kuvassa 8 on esitetty tyypillinen porakaivon rakenne. (Motiva)

Porakaivon halkaisija on nykyään tyypillisesti 100-150 mm, mutta yleensä käytetään 115 mm halkaisijaltaan olevaa porakaivoa. Porakaivon poraaminen aloitetaan poraamalla maakerroksen läpi teräksinen tai muovinen suojaputki kallioperän yläpinnan alapuolelle 1-6 metriä syvälle. Maaperän läpi poraaminen on hitaampaa, minkä vuoksi se on myös kalliimpaa. Tästä johtuen maaperän läpi poraaminen on suhteessa kalliimpaa kuin kallio-osuuden poraaminen. Tämän vuoksi olisi tärkeää selvittää kallioperän päällä olevan maakerroksen paksuus, jotta maalämpöhankkeessa välttyttäisiin yllättäviltä lisäkustannuksilta. Porakaivon maksimisyvyys on 250 metriä. (Senera) Porakaivoon upotetaan pohjapainon avulla tehdasvalmiit kollektoriputket, joiden avulla kallioperän lämpöenergiaa hyödynnetään maalämpöpumpun avulla. Porakaivojen alapäävät voivat porattaessa taipua sivulle 50-70 metriä. (J Enersys Oy)

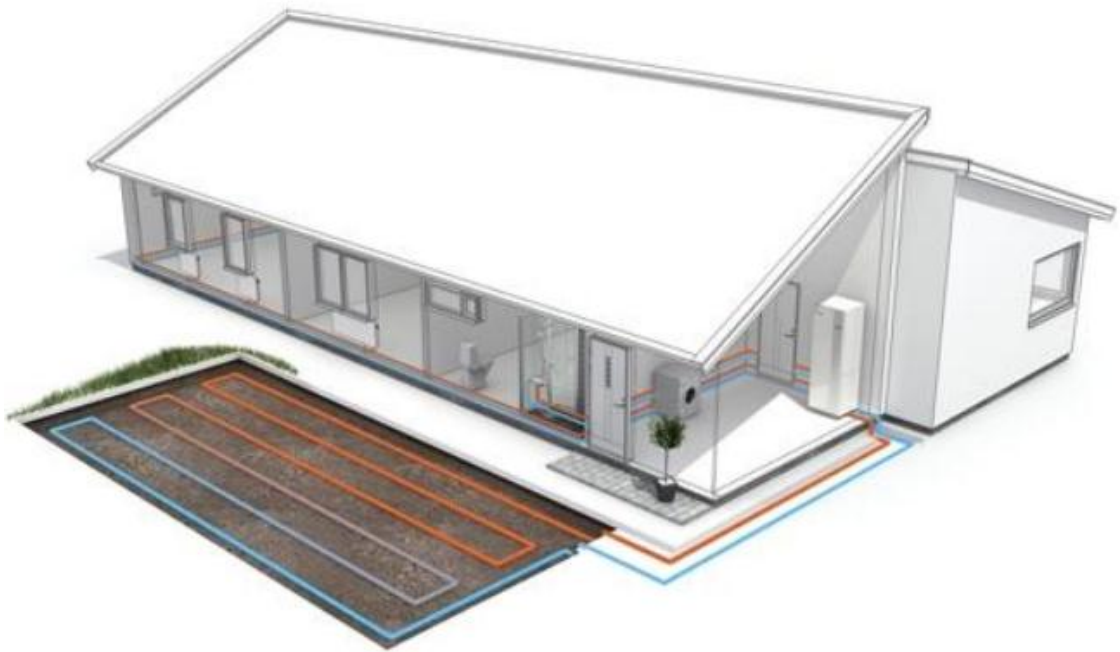
Porakaivoin syvyyden määrittää tarvittavan energian määrä, jolloin saneerauskohteissa voidaan käyttää tiedossa olevia lämmitysenergian kulutuksia hyväksi porakaivon syvyyttä mitoittaessa. Tarkimpaan mitoitukseen ja parhaiten toimivaan järjestelmään päästään tekemällä terminen vastetestti eli TRT –mittaus, jonka avulla voidaan selvittää kohteen kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus. Näiden mittaustulosten avulla voidaan optimoida järjestelmän toiminta ja välttää porakaivojen ali- tai ylimitoitus. Suurissa maalämpöä hyödyntävissä kohteissa TRT- mittaukset ovat välttämättömiä. Mittauksia suoritetaan kohteesta riippuen yleensä noin 1-3. (Motiva), (GTK)



KUVA 8: Esimerkki 2-putkijärjestelmän porakaivosta. (Motiva)

5.2.2 Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto

Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto asennetaan kulkemaan pintamaahan routarajan alapuolelle vaakatasoon maanpintaan nähden. Vaakaputkisto vaatii asennukseltaan ison tontin, jonka vuoksi se on kaupunkialueella ja isoissa kohteissa käytännössä mahdoton toteuttaa. Vaakaputkistoa voidaankin käyttää lähinnä omakotitaloissa, joilla on riittävän iso tontti vaakaputkistoa varten. Vaakaputkiston etuna porakaivoon nähden on sen edullisempi investointikustannus. Kuvassa 9 on esitetty vaakaputkiston asennusperiaate. (Motiva)



KUVA 9: Vaakaputkiston asennusperiaate. (Ekolämpö)

Maaperän laatu ja koostumus sekä maantieteellinen sijainti vaikuttavat suuresti vaakaputkiston lämmöntalteenottokykyyn. Maaperänperän pintakerroksen sisältä lämpöenergia perustuu siihen auringosta varastoituneeseen lämpöenergiaan. Tehokkain maaperä lämmöntalteenoton kannalta on savimaa, kun taas puolestaan kivinen maaperä ei sovelly vaakakeruuputkistolle, sillä roudan liikuttamat kivet saattavat vahingoittaa keruuputkistoa. Taulukossa 2 on esitetty maaperän ja maantieteellisen sijainnin vaikutus maaperän lämmöntalteenottokykyyn. (Satosalmi, J.), (Motiva)

TAULUKKO 2: Maaperän laadun ja maantiellisen sijainnin vaikutus maaperän lämmöntalteenottokykyyn. (Laitinen, A.)

Sijainti	Savimaa	Hiekkamaa	Yksikkö
Etelä-Suomi	50-60	30-40	kWh/m
Keski-Suomi	40-45	15-20	kWh/m
Pohjois-Suomi	30-35	0-10	kWh/m

5.2.3 Vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto

Vesi sitoo hyvin lämpöä ja tämän vuoksi on hyvissä olosuhteissa ehtymätön lämmönlähte. Vesistöön sijoitettava lämmönkeruuputkisto upotetaan vesistöalueen pohjaan tai pohjamutaan painojen avustuksella, kiinnityksen on oltava luotettava, jotta vältetään putkistovuotojen aiheuttamilta ympäristöhaitoilta. Vesistöön asennettavan lämmönkeruuputkiston toimintaperiaate on vastaava kuin maaperään sijoitettavan vaakakeruuputkiston. Vesistöön asennettava keruupiiri vaatii vesialueen omistajan luvan. (J Enersys Oy)

5.3 Maalämmön tuoton laskenta

Kannattavuustarkastelua varten tulee selvittää investoinnin vuotuinen tuotto eli selvittää talteen saatavan energian määrä, jotta voidaan tarkastella onko investointi maalämpöjärjestelmään kannattava. Maalämpöjärjestelmän vuotuisen tuoton laskemiseksi tulee selvittää rakennuksen lämmitysenergian tarve ja maaperästä saatavan energian määrä (Q_{maa}) maakeruupiirin mitoitusta varten. Näillä lähtötiedoilla voidaan laskea sekä investoinnin kustannus että järjestelmästä saatava tuotto.

Koska lauhduttimesta hyödyksi saatava lämpö on höyrystimessä sitoutuneen lämmön ja kompressorityön summa niin, talteen saatavan energian määrä voidaan laskea kaavalla (12) (Seppänen, O.) :

$$Q_{\text{tuotto}} = Q_{\text{maa}} * \left(1 + \frac{1}{\text{COP}} \right) \quad (12)$$

,missä:

Q_{tuotto} = talteen saatava kokonaislämmitysenergia, (MWh/a)

Q_{maa} = maaperästä saatavan energian määrä, (MWh/a)

COP = Maalämpöpumpun COP –lämpökerroin

Kannattavuuslaskelmissa tulee myös huomioida lämpöpumpun aiheuttama lisäsähkönkulutus, joka vähennetään kannattavuuslaskelmissa vuotuisesta tuotosta.

Sähkönkulutus voidaan laskea kaavalla (13):

$$W_{\text{MLP}} = W_{\text{MLP}} + W_{\text{Pumput}} \quad (13)$$

,missä:

W_{MLP} = järjestelmän sähkönkulutus, (MWh/a)

$W_{\text{MLP}} = \frac{Q_{\text{tuotto}}}{\text{COP}}$, (MWh/a)

$W_{\text{Pumput}} = \Sigma(P_{\text{pumppu},i} \cdot t_{\text{pumppu},i}) / 1000 \quad (9)$

, missä:

$P_{\text{pumppu},i}$ = yksittäisen pumpun i teho kW

$t_{\text{pumppu},i}$ = pumpun i käyttöikä, h

COP = COP -luku

Työkalulla voidaan siis laskea investoinnin kannattavuustarkastelua varten maalämpöjärjestelmän vuotuinen talteen saatava lämmitysenergian määrä sekä järjestelmästä aiheutuva lisääntynyt sähkön kulutus. Taulukossa 3 on esitetty laskentatyökalun syöttökenttä sekä tulokset.

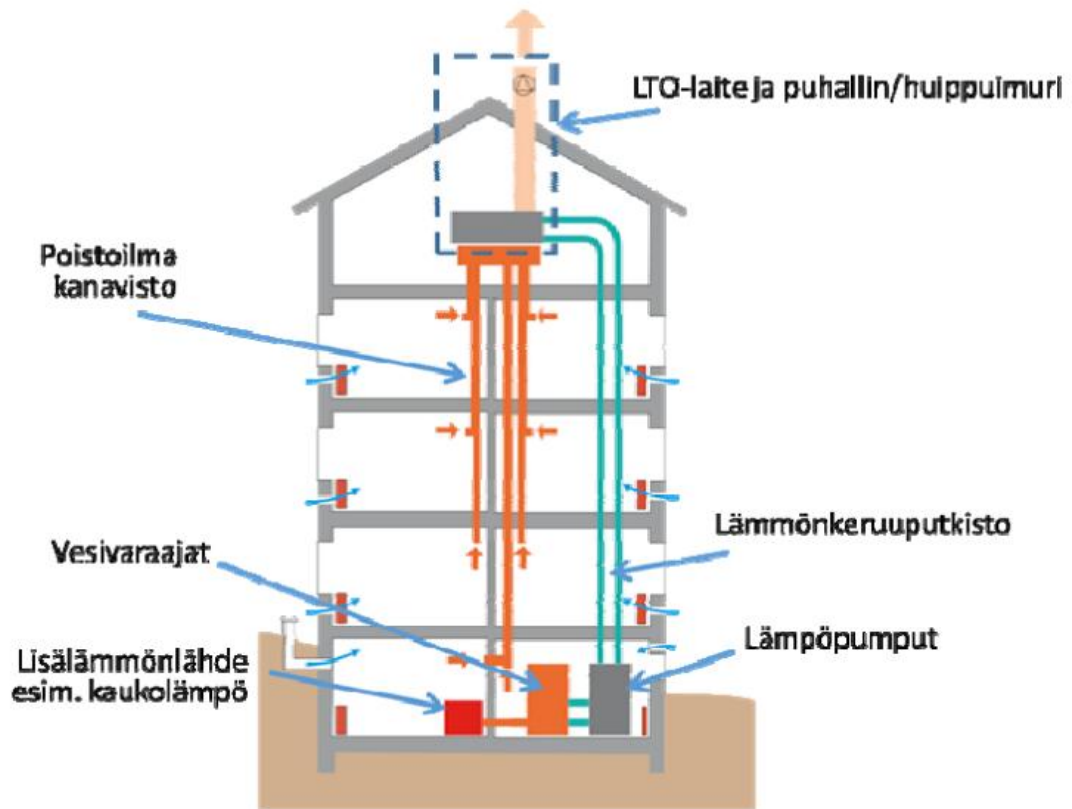
TAULUKKO 3: Laskentatyökalun syöttökenttä sekä tulokset

MUUTA TIEDOT VAIN HARMAISIIN KENTTIIN		Kehystetyt kentät informatiivisia. Ei käytetä laskennassa.	
kaivon tehollinen syvyys	3240 m		
COP	3		
Kaivosta saatava teho	75 kWh/m/a		
Maasta saatava teho	243000 kWh/a		
Sähkönkulutus	81000 kWh/a		
Talteen saatava kokonaislämmitysenergia		324,000 MWh/a	
Toteutunut lämmitysenergian kulutus		520,350 MWh/a	
Ostoenergian säästö		25 920,00 € (alv. 24%)	20 903,23 € (alv. 0%)
LTO:n sähkönkulutus		108,000 MWh/a	
Lisäkulut sähköstä		12 592,80 € (alv. 24%)	10 155,48 € (alv. 0%)
Ensimmäisen vuoden tuotto		13 327,20 € (alv. 24%)	10 747,74 € (alv. 0%)
Pumppuyksikkö Oilon RE170 2x165kW	2 kpl	110 000,00 € (alv. 24%)	88 709,68 € (alv. 0%)
Varaaja	3 kpl	9 000,00 € (alv. 24%)	7 258,06 € (alv. 0%)
Kiertopumppu	1 kpl	1 500,00 € (alv. 24%)	1 209,68 € (alv. 0%)
Maalämpökaivot + putket	syv x kpl	109 800,00 € (alv. 24%)	88 548,39 € (alv. 0%)
Liuosputkisto maanpäälliset	16000m	63 500,00 € (alv. 24%)	51 209,68 € (alv. 0%)
TRT-mittaus + 1 kpl kaivon poraus	1 kpl	14 500,00 € (alv. 24%)	11 693,55 € (alv. 0%)
Sähkö- ja automaatio		30 000,00 € (alv. 24%)	24 193,55 € (alv. 0%)
Asennustyöt		40 000,00 € (alv. 24%)	32 258,06 € (alv. 0%)
Urakan hinta		378 300,00 € (alv. 24%)	305 080,65 € (alv. 0%)

6 POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTO

1920-luvulla Suomalaisten kerrostalojen painovoimaisessa ilmanvaihdossa alkoi yleistyä erilliset puiset poistoilmahormit, jotka sijaitsivat rakennuksen keskiosassa ja ne johdettiin vesikatolle. 1950-luvun puolivälissä alkoi Suomessa yleistyä koneellinen poistoilmanvaihto. Tällöin alkoi yleistyä käytäntö, jossa eri kerroksissa sijaitsevat samat tilat liitettiin yhteisiin muurattuihin poistoilmahormeihin ja johdettiin yhteiseen poistoilmakammioon. Tällöin yhteisen poistoilmakammion kautta voitiin poistaa ilmaa koko rakennuksesta yhdellä puhaltimella. Yhteiskanavoitu poistoilmanvaihto oli yleisin ilmanvaihtotapa aina 1990-luvulle asti, jonka jälkeen alkoi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto yleistymään. (Jormakka, J.)

Yhteiskanavoituihin kerrostalokohteisiin poistoilmanvaihdon lämmöntalteenotto on potentiaalinen vaihtoehto, jos se vain on mahdollista toteuttaa. Rakennusmääräysten mukaisesti asuntojen ilman on vaihdettava kerran kahdessa tunnissa ja asuntojen lämpötilan ollessa +21 °C astetta pelkällä poistoilmanvaihdolla ilman lämmöntalteenottoa hukataan 30-40 % lämmitysenergiasta. Lämmöntalteenotto onkin potentiaalisin juuri kerrostalokohteissa, joissa on isot poistoilmanvaihdon ilmamäärät. Poistoilman lämmöntalteenottoon tehokkain tapa on tämän kaltaisissa kohteissa yhdistää lämmöntalteenotto liuospiirillä lämpöpumppuun, jonka avulla saadaan korkealämpoisempää vettä tehtyä jota voidaan hyödyntää rakennuksen rinnakkaislämmönlähteenä kaukolämmityksen rinnalla. Lämpöpumppua, johon on liitetty poistoilmasta saatava lämmöntalteenotto kutsutaan poistoilmalämpöpumpuksi. Kuvassa 10 on esitetty kaukolämmön rinnalle kytketyn PILP –järjestelmän toimintaperiaate. (Jormakka, J.)



KUVA 10 : Kaukolämmön rinnalle kytketyn PIP –järjestelmän periaatekuva (Pylysy)

6.1 Kaukolämmön rinnalle kytkettävän epäsuoran PIP -järjestelmän toimintaperiaate

Poistoilmalämpöpumppuun, kuten kaikkiin muihinkin lämpöpumppuihin kuuluu kompressori, höyrystin, lauhdutin sekä paisuntaventtiili ja sen toimintaperiaate on sama kuin kaikkien muidenkin lämpöpumppujen. Lämmönkeruupiirinä toimii nestekiertoinen lämmöntalteenottopatteri, joka asennetaan ullakolle poistoilmakanavaan tai vesikatolle ulospuhallukseen, josta lämmönsiirtoneste johdetaan lämpöpumpun höyrystimelle. Lämmönsiirtonesteinä lämmönkeruupiirissä käytetään yleensä sisäpuolisissa asennuksissa vesi-glykoliseosta. Jos lämmönkeruuputkistot asennetaan kiinteistön ulkopuolelle, nesteinä toimii 30%:n etanoli-vesiliuos. Mitä kylmemmäksi jäteilma lämmöntalteenottopatterissa voidaan jäähdyttää, sitä enemmän poistoilmalämpöpumpulla saadaan lämpöenergiaa tuotettua. Jäteilmaa ei kuitenkaan tulisi jäähdyttää alle 0°C asteen, jotta vältetään LTO -patterin huurtumiselta, tämä huonontaa hyötysuhdetta. (Saarinen, L.)

Poistoilmasta saadaan ympärivuoden talteen lämpöä ja lämpöpumpun avulla saadaan tuotettua yli 40°C asteista vettä, joten sitä voidaan käyttää sekä kiinteistön lämmityk-

seen ja ympärivuotisesti myös käyttöveden esilämmitykseen. Kaukolämmön rinnalle hybridikytkennässä lämpö siirretään lauhduttimelta esimerkiksi lämminvesivaraajaan, josta sitä voidaan hyödyntää ohjauksen avulla sekä käyttöveden lämmitykseen että kiinteistön lämmitykseen.

6.2 Poistoilman lämmöntalteenoton tuoton laskenta

Kannattavuustarkastelua varten tulee selvittää investoinnin vuotuinen tuotto eli laskea talteen saatavan energian määrä, jotta voidaan tarkastella onko investointi PILP – järjestelmään kannattava. PILP –järjestelmän vuotuisen talteen saatavan energian määrän laskemiseksi, tulee selvittää kiinteistön poistoilmanvaihdon tilavuusvirtaus sekä käyntiajat. Jos kiinteistöön ei uusita poistoilmapuhallinta, eli vain LTO –yksikkö lisätään nykyiseen poistoilmavirtaukseen, tulee selvittää kiinteistön nykyinen tilavuusvirtaus mieluiten erillisellä mittauksella. Jos kiinteistön poistoilmanvaihtojärjestelmään uusitaan poistoilmapuhallin, tulee tilavuusvirrat mitoittaa uudestaan kiinteistön tiloihin rakentamismääräysten mukaisilla ilmavirroilla. Energiaa saadaan poistoilmasta talteen noin 60 – 70 % vuositasona. (Jormakka, J.)

Talteen saatavan energian määrä voidaan laskea kaavalla (15), joka on johdettu kaavasta (14) (Sandberg, E.):

$$\Phi_{\text{ilma}} = q * C_p * \rho * \Delta T \quad (14)$$

josta työkalun laskentaan on johdettu kaava (15):

$$Q_{\text{tuotto}} = ((IV_{\text{Tehostus}} + IV_{\text{Normaali}} + IV_{\text{Aliteho}}) * C_p * \rho * \Delta T * /3600/1000) * \eta_{\text{lämpöpumppu}} \quad (15)$$

,missä:

Q_{tuotto} = talteen saatava kokonaislämmitysenergia, (MWh/a)

IV_{Tehostus} = $q_{\text{tehostus}} * 3600 * t_{\text{vrk}} * 365$

IV_{Normaali} = $q_{\text{normaali}} * 3600 * t_{\text{vrk}} * 365$

IV_{Aliteho} = $q_{\text{aliteho}} * 3600 * t_{\text{vrk}} * 365$

$\eta_{\text{lämpöpumppu}}$ = vuositasona talteen saatava energianmäärä, 60-70 (%)

C_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, (kJ/(K*kg))

ρ	= ilman tiheys, (kg/m ³)
ΔT	= Ilman lämpötilamuutos lämmöntalteenottopatterissa, (°C)
3600	= Yksikkömuunnos
1000	= Yksikkömuunnos

,missä:

$Q_{tehostus}$	= Tehostus ajan tilavuusvirta, (m ³ /s)
$Q_{normaali}$	= Normaalin käytön ajan tilavuusvirta, (m ³ /s)
$Q_{aliteho}$	= Ilmanvaihdon pudotetun ajan tilavuusvirta, (m ³ /s)
t_{vrk}	= Ilmanvaihdon käyntiaika vuorokaudessa tietyllä tilavuusvirralla, (h/vrk)
ΔT	= $T_2 - T_1$

,missä:

T_2	= Ilman lämpötila LTO –patterille, (°C)
T_1	= Ilman lämpötila LTO –patterin jälkeen, (°C)

Kannattavuuslaskelmissa tulee myös huomioida lämpöpumpun aiheuttama lisäsähkönkulutus, joka vähennetään kannattavuuslaskelmissa vuotuisesta tuotosta.

Sähkönkulutus voidaan laskea kaavalla(16):

$$W_{PILP} = W_{LP} + W_{Pumput} \quad (16)$$

,missä:

W_{PILP}	= järjestelmän sähkönkulutus, (MWh/a)	
W_{LP}	= $\frac{Q_{tuotto}}{COP}$, (MWh/a)	
W_{Pumput}	= $\Sigma(P_{pumppu,i} t_{pumppu,i})/1000$	(9)

, missä:

$P_{pumppu,i}$	= yksittäisen pumpun i teho kW
$t_{pumppu,i}$	= pumpun i käyttöikä, h
COP	= COP -luku

Työkalulla voidaan siis laskea investoinnin kannattavuustarkastelua varten PILP - järjestelmän vuotuinen talteen saatava lämmitysenergian määrä sekä järjestelmästä ai-

heutuva lisääntynyt sähkön kulutus. Taulukossa 4 on esitetty laskentatyökalun syöttökentät ja sen laskemat tulokset.

TAULUKKO 4: Laskentatyökalun syöttökenttä sekä tulokset

MUUTA TIEDOT VAIN HARMAISIIN KENTTIIN			Kehystetyt kentät informatiivisia. Ei käytetä laskennassa.	
IV Tehostus	+30 %	1,80 m ³ /s	0 h/vrk	
IV Normaali		1,38 m ³ /s	24 h/vrk	
IV "Aliteho"	-25 %	1,04 m ³ /s	0 h/vrk	Keskimääräinen ilmamäärä 1,38 m ³ /s
Ilman ominaislämpökapasit.	1 kJ/(K·kg)			
Ilman tiheys	1,225 kg/m ³			
Ilma LTO-patterille	22 °C			
Ilma LTO-patterin jälkeen	5 °C			
ηlämpöpumppu	70 %			
COP keskiarvo	3,5			
Talteen saatava kokonaislämmitysenergia			176,814 MWh/a	
Toteutunut lämmitysenergian kulutus			520,350 MWh/a	
Ostoenergian säästö			14 145,11 € (alv. 24%)	11 407,35 € (alv. 0%)
LTO:n sähkökulutus			50,518 MWh/a	
Lisäkulut sähköstä			5 890,43 € (alv. 24%)	4 750,34 € (alv. 0%)
Ensimmäisen vuoden säästö yhteensä			8 254,68 € (alv. 24%)	6 657,00 € (alv. 0%)
PILP Thereco PF20/23 (teho keskim. 2 x 45 kW)	2 kpl		73 000,00 € (alv. 24%)	58 870,97 € (alv. 0%)
Poistopuhallusyksiköt	6 kpl		24 000,00 € (alv. 24%)	19 354,84 € (alv. 0%)
LJ-Paketti	1 kpl		5 000,00 € (alv. 24%)	4 032,26 € (alv. 0%)
Varaaja	2 kpl		10 000,00 € (alv. 24%)	8 064,52 € (alv. 0%)
LTO-putket (pystyt 120m välit 175m)*2			18 000,00 € (alv. 24%)	14 516,13 € (alv. 0%)
Sähkö- ja automaatio			25 000,00 € (alv. 24%)	20 161,29 € (alv. 0%)
Asennustyöt			20 000,00 € (alv. 24%)	16 129,03 € (alv. 0%)
Urakan hinta			175 000,00 € (alv. 24%)	141 129,03 € (alv. 0%)

7 KANNATTAVUUSTARKASTELU

7.1 Investointi ja lähtötiedot

Investoinnilla tarkoitetaan sijoitusta, jonka tarkoituksena on kerryttää tuottoa tietyllä ajanjaksolla. Käsiteltävä investointi opinnäytetyössäni on rinnakkaislämmitysjärjestelmän rakentaminen, joka tuottaa säästetyn lämmitysenergianmuodossa vuotasolla tarkasteltuna. Investointien kannattavuutta voidaan tarkastella erilaisilla menetelmillä, joista työkalun kannattavuustarkastelu osiossa käytän nykyarvomenetelmää. (Josek Oy)

Investoinnin kannattavuustarkastelua varten tulee olla selvitettyinä seuraavat lähtötiedot (Josek Oy):

- Investointikustannukset
- Investoinnista aiheutuvat vuotuiset tuotot
- Investoinnista johtuvat vuotuiset kustannukset
- Investoinnin tarkastelujakso
- Investoinnin laskentakorkokanta
- Investoinnin jäännösarvo

Investointikustannukset muodostuvat tässä tapauksessa urakkahinnasta joka koostuu materiaalihankinnoista, säätötöistä sekä asennustöistä. Materiaalihankinnat ovat järjestelmälle tyypillisiä osia.

Investoinnista aiheutuvat vuotuiset tulot ovat tässä tapauksessa vuotuinen ostoenergian säästö. Kun tiedetään kuinka paljon rinnakkaislämmitysjärjestelmä tuottaa ilmaista lämmitysenergiaa, voidaan se vähentää vuotuisesta ostoenergian määrästä, joka voidaan mitata rahallisena arvona.

Investoinnista johtuvat vuotuiset kustannukset aiheutuvat järjestelmän aiheuttamasta lisääntyvästä sähköenergian kulutuksesta, kuten esimerkiksi pumppujen sähkönkulutuksesta. Vuotuisia kustannuksia aiheuttaa myös lisääntyvät huoltokustannukset.

Investoinnin tarkastelujaksona käytetään 20 vuoden tarkastelujaksoa. Kuitenkin investoinnin haluttu takaisinmaksuaika on usein lyhyempi, mutta investoinnin laskennallista tuottoa tulee myös tarkastella pitemmällä aikavälillä, joten 20 vuoden ajanjaksolla saadaan kokonaiskuva investoinnin vaikutuksista.

Nykyarvomenetelmää käytettäessä tulee kaikki investoinnista johtuvat kulut ja tuotot diskontata valitulla laskentakorkokannalla nykyhetkeen. Eli tuotoille ja kuluille käytetään laskentakorkokantana reaalikorkoa, joka huomioi niille tyypillisen spesifin inflaation eli eskalaation. Jäännösarvolla tarkoitetaan investoinnin rahallista arvoa tarkastelujakson loputtua. Kiinteistön lämmitysjärjestelmällä ei oleteta olevan jäännösarvoa tarkastelujakson loputtua. (Juvela, J)

7.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmällä vuotuiset tuotot ja kustannukset diskontataan, jolloin niitä voidaan verrata nykyhetkeen. Kun investoinnin nykyarvo saa positiivisen tuloksen, voidaan ajatella että investointi on tällöin maksanut itsensä takaisin. (Neilimo, K) Kustannuksen nykyarvo voidaan laskea kaavalla (17) (Juvela, J):

$$I_{NA} = T_N + K_N - I \quad (17)$$

,missä:

I_{NA}	= investoinnin nykyarvo, (€)
T_N	= tuottojen nykyarvo, (€)
K_N	= kulujen nykyarvo, (€)
I	= investoinnin hankintameno, (€)

Tarkastelujakson tuottojen sekä kulujen nykyarvoa voidaan laskea kaavalla (18) :

$$K_{NA} = \sum K * d_{nr,e} \quad (18)$$

, missä

- K_{NA} = kulujen nykyarvo, (€)
 K = vuosittain toistuva kustannus, (€)
 $d_{nr,e}$ = toistuvien suoritusten diskonttaustekijä

Vastaavasti tuottojen nykyarvo voidaan laskea sijoittamalla kustannuksen tilalle vuosittainen oletettu tuotto.

Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä $d_{nr,e}$ voidaan laskea kaavalla (19) :

$$d_{nr,e} = \frac{(1+r_e)^n - 1}{r_e(1+r_e)^n} \quad (19)$$

,missä:

- r_e = tuotolle tai kululle valittu reaalikorko, (%)
 n = tarkastelu ajan jakson pituus, (a)

Energiansäästö-laskelmissa voi ottaa huomioon inflaatiota nopeammin kallistuvan energian hinnan. Tätä kutsutaan spesifiseksi inflaatioksi eli eskalaatioksi. Koska tuottoja verrataan kaukolämmön hintaan, tulee eskalaationa reaalikoron laskennassa käyttää kaukolämmön keskimääräistä vuosittaista hinnan nousua. Kun taas kuluna voi olla lisääntynyt ostosähkönkulutus, tulee sille eskalaationa käyttää sähköhinnan keskimääräistä hinnan nousua reaalikoron laskennassa. Reaalikorko voidaan laskea kaavalla (20) (Juvela, J.) :

$$r_e = \frac{i-e}{(1+e)} \quad (20)$$

, missä:

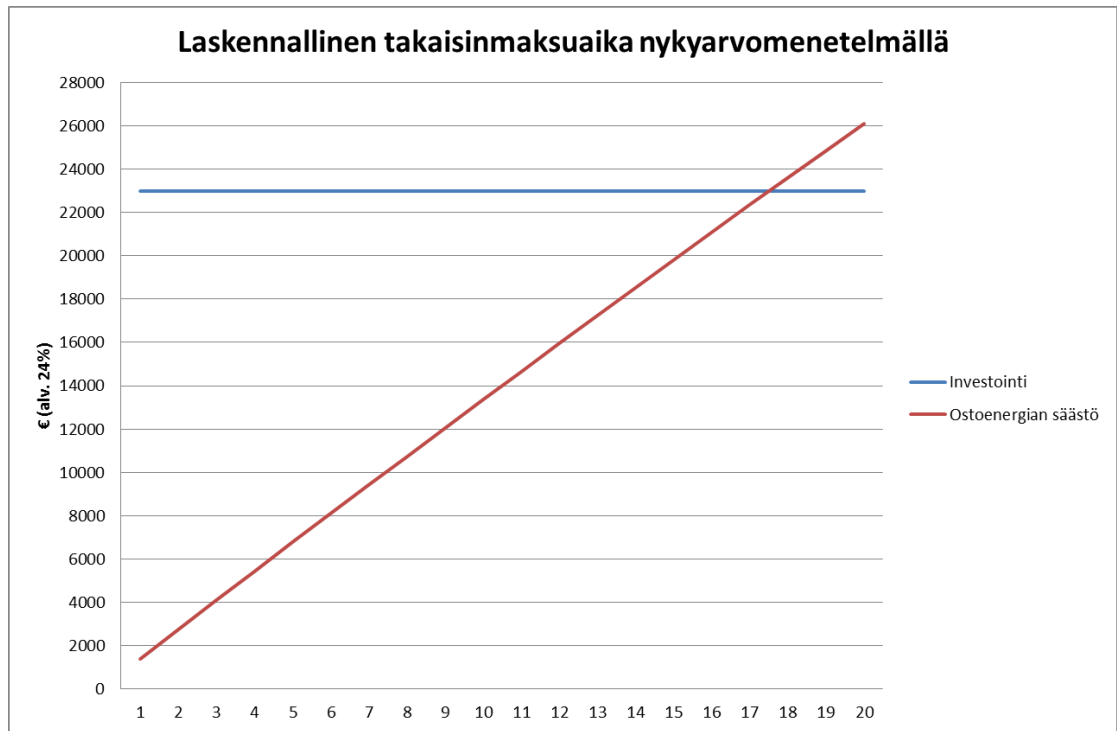
- i = nimelliskorko, (%)
 e = eskalaatio, (%)

7.2.1 Tuloksen osoittaminen

Työkalulla voidaan laskea investoinnin nykyarvo tarkastelujaksolla, sekä tarkastella millä ajanjaksolla investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaikaa voidaan havainnollistaa kuvaajalla, jonka tarkasteluvälinä on käytetty 20 vuotta. Taulukossa 5 ja kuviossa 8 on esitetty nykyarvomenetelmä laskuri esimerkkiarvoin, sekä havainnollistava kuvaaja takaisinmaksuajasta.

TAULUKKO 5 : Nykyarvomenetelmälaskuri esimerkkiarvoin

Investointi	23 000,00 €
Jäännösarvo	
Energiansäästö (KL)	1 385,00 €
Energian kulutus (SÄHKÖ)	14,00 €
Käyttökulujen lisäys	
Laskenta-aika	20
Nimelliskorko i , (%)	5
Inflaatio f , (%)	2,5
Energian hinnan nousu e (KL), (%)	5,4
Energian hinnan nousu e (SÄHKÖ), (%)	4
Reaalikorko r	2,44
Reaalikorko r,e (KL)	-0,38
Reaalikorko r,e (SÄHKÖ)	0,96
Jaksollisten maksujen dnr	15,68
Jaksollisten maksujen dnr,e (KL)	20,82
Jaksollisten maksujen dnr,e (SÄHKÖ)	18,12
Energiansäästön nykyarvo	28 835,2 €
Energian kulutuksen nykyarvo	253,6 €
Käyttökulujen nykyarvo	0
Investoinnin nykyarvo	5 581,6 €



KUVIO 8: Takaisinmaksuajan kuvaaja

8 POHDINTA

Suomen ikääntyvä kiinteistökanta ja nousevat energianhinnan kustannukset luovat syyn energiatehokkuusinvestoinneille. Kaukolämpö on Suomen rakennuskannassa eniten käytetty lämmitysmuoto, joten potentiaalia hybridijärjestelmille Suomesta löytyy. Varsinkin peruskorjausvuorossa olevat 1960 – 1980 luvun rakennukset ovat potentiaalisia kohteita, sillä investointi lisälämmitysjärjestelmään on kustannustehokkaampaa esimerkiksi linjasaneerauksen yhteydessä.

Aurinkolämmön, maalämmön ja poistoilman lämmöntalteenoton kannattavuutta voidaan tapauskohtaisesti tarkastella osaksi lämmitysjärjestelmää kaukolämmön rinnalle. Koska päälämmitysjärjestelmän tulee kattaa rakennuksen laskennallinen täysi lämmitysteho niin aurinkolämmöllä ja poistoilman lämmöntalteenotolla ei yksinään pystytä kattamaan rakennuksen täyttä lämmitystehoa. Aurinkolämmöllä ja poistoilman lämmöntalteenotolla kuitenkin voidaan merkittävästi pienentää kaukolämmön ostoenergian kulu- tusta, jolloin ne ovat potentiaalisia investointeja. Maalämmöllä puolestaan yksinään on mahdollista kattaa rakennuksen täysi lämmitysteho, mutta tämä johtaa maalämpöjärjes- telmän korkeisiin investointikustannuksiin. Osatehoisena mitoitettu maalämpöjärjestel- mä kaukolämmön rinnalle on yksi vaihtoehto säästää kaukolämmön ostoenergian kulu- tuksesta.

Laskentatyökalun avulla TähtiRanta Oy voi tehostaa ja nopeuttaa toimintaansa hybridi- järjestelmien kannattavuuslaskelmissa. Työkalusta tuli helppokäyttöinen ja muunnelta- va, jolloin sitä voidaan soveltaa ja kehittää jatkossa erilaisten hybridijärjestelmien kan- nattavuustarkasteluiden parissa. Lisäksi se tarjoaa tilaajalle havainnollistavia kuvaajia, jotka helpottavat kannattavuuslaskelmien ymmärrettävyyttä. Tätä opinnäytetyötä voi- daan myös pitää teoreettisena perustana työkalulla lasketuille tuotoille.

LÄHTEET

4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä

Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. 2011. Luettu 20.4.2016.

http://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma%283624%29

Aurinkopuisto. Vihreää energiaa lämmitykseen ja sähkön omaan tuotantoon. Luettu 20.4.2016

<http://www.aurinkopuisto.com/Aurinkol%C3%A4mp%C3%B6.php>

Basnet, A. Norwegian University of Science and Technology, Architectural intelgration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings. Luettu 20.4.2016.

<https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master-Basnet.pdf?version=1&modificationDate=1339765553175>

Ekolämpö. Maalämpöjärjestelmän keruupiiri. Luettu 3.5.2016

http://www.ekolampo.fi/maalampo/maalampojarjestelman_keruupiiri

Energiateollisuus, Kaukolämmön hinta, Luettu 2.4.2016

<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/kaukolammon-hinta>

Energiateollisuus, Kaukolämmön toimintaperiaate, Luettu 2.4.2016

<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/toimintaperiaate>

Erat, B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi H. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Geodrill. Maalämpöpumppu- Näin se toimii. Luettu 3.5.2016

<http://www.geodrill.fi/maalampo/maalampopumppu-nain-se-toimii/>

Ground Energy, Aurinkoenergia Suomessa. Luettu 20.4.2016

<http://whm03.louhi.net/~groundenergy/index.php?url=aurinkoenergia2>

GTK. Terminen vastetestti eli TRT –mittaus (Thermal Response Test). Luettu 3.5.2016

<http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/energia/trtmittaus.html>

Helen. Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle, 10.4.2015. Luettu 2.4.2016

[https://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsi-](https://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsijat/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf)

[jat/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf](https://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsijat/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf)

J Enersys Oy, Konsulttitoimisto. Lämpöpumppujen lämmönlähteet. Luento 14.3.2016. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere

Jormakka, J. 2015. Lämmöntalteenotto kerrostalon poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla. Talotekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Josek Oy. Investoinnin laskenta. Luettu 6.5.2016

<http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/josek/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta/>

Juvela, J. 3. Luento investointilaskelmat. Luento 2015. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.

Laitinen, A., Ruuska, M. & Koreneff, G. Impacts of large penetration of heat pumps on the electricity use. 2011. Luettu 3.5.2016

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2011/VTT-R-03174-11.pdf>

LVI-ohjekortti LVI 01-10424, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot T2008,tulostettu,29.3.2016.

<https://www.rakennustieto.fi.elib.tamk.fi/bin/get/id/5guoZSL5w%3A%2447%24L10424%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-101457/L10424.pdf>

Motiva. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. 2012 Luettu 3.5.2016.

http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2012. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Pylysy, P. Energiatohokkuutta poistoilmalämpöpumpulla. 2014. Luettu 4.5.2016

<http://www.kesto.fi/default.asp?sivuID=30596>

Rakennuskoski, J. 2014. Aurinkolämmityksen tekniikka ja energiatuoton laskenta. Rakentamisen YAMK. Metropolian ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Rakennusteollisuus RT ry, Korjausvelka. Luettu 12.3.2016

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausvelka/>

Rementor , Elinkaarikustannukset (Life Cycle Costs , LCC), luettu 29.3.2016

<http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/elinkaarikustannukset/>

Saarinen, L. Tekninen myyjä Retermia Oy. PILP –järjestelmien lämmöntalteenottolaitteet, liite: ”PILP mitoitusohje”. Sähköpostiviesti. lassi.saarinen@retermia.fi. Luettu 28.4.2016

Sandberg E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talokniikka-julkaisut Oy

Satosalmi, J. 2012. Maalämmön kannattavuus. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö.

Senera. Lämpökaivo, porakaivo. Luettu 3.5.2016

http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo_porakaivo/#1

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto Ry

Solar Tribune. Flat Plate Solar Collectors. Verkkodokumentti. Luettu 20.4.2016.
<http://solartribune.com/wp-content/uploads/2011/08/kh-phy.org-flat-plate-solar-collector.gif>

Tilastokeskus, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat, Kiinteistön ylläpidon kustannus-
ideksi kustannuslajeittain, 18.2.2016. Tulostettu 30.3.2016
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_hin_kyki/020_kyki_tau_102_fi.px/?rxid=9fbff20d-a967-4e04-9ba0-f833fb053a44

Tilastokeskus, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. Rakennukset käyttötarkoituksen
ja lämmitysaineen mukaan. Tulostettu 12.3.2016
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__rak/020_rak_tau_102_fi.px/table/tableViewLayout1/?rxid=e8406a7d-7784-40d0-b2a6-8a0bd0

LIITTEET

Liite 1. Säavyöhykekohtaiset aurinkolämmön laskentataulukot

TAULUKKO 6: Säavyöhyke 1 ja 2, Helsinki

Säavyöhyke 1 ja 2, HELSINKI	Tu, °C	Q _{sät,0°}	k=0°	k=30°	k=45°	k=60°	k=90°
Tammikuu	-3,97	6	1	1,5	1,75	1,88	1,88
Helmikuu	-4,5	22	1	1,57	1,78	1,87	1,83
Maaliskuu	-2,58	64	1	1,43	1,57	1,62	1,51
Huhtikuu	4,5	120	1	1,2	1,24	1,22	1,05
Toukokuu	10,76	166	1	1,08	1,06	0,99	0,75
Kesäkuu	14,23	169	1	1,03	0,98	0,89	0,6
Heinäkuu	17,3	181	1	1,06	1,02	0,92	0,64
Elokuu	16,05	127	1	1,14	1,13	1,07	0,8
Syyskuu	10,53	82	1	1,29	1,33	1,32	1,1
Lokakuu	6,2	26	1	1,42	1,55	1,58	1,42
Marraskuu	0,5	8	1	1,33	1,56	1,56	1,44
Joulukuu	-2,19	4	1	1	1	1	1

TAULUKKO 7: Säavyöhyke 3, Jyväskylä

Säavyöhyke 3, JYVÄSKYLÄ	Tu, °C	Q _{sät,0°}	k=0°	k=30°	k=45°	k=60°	k=90°
Tammikuu	-8	5	1	1,5	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	-7,1	20	1	1,95	2,27	2,5	2,55
Maaliskuu	-3,53	52	1	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	2,42	103	1	1,25	1,3	1,29	1,13
Toukokuu	8,84	171	1	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	13,39	159	1	1,03	0,99	0,9	0,63
Heinäkuu	15,76	158	1	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	13,76	114	1	1,12	1,11	1,05	0,8
Syyskuu	9,18	71	1	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	4,07	25	1	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	-1,76	7	1	1,33	1,33	1,5	1,33
Joulukuu	-5,92	3	1	1	1	0,5	0,5

TAULUKKO 8: Säavyöhyke 4, Sodankylä

Säavyöhyke 4, SODANKYLÄ	Tu, °C	Q _{sät,0°}	k=0°	k=30°	k=45°	k=60°	k=90°
Tammikuu	-13,06	1	1	1	1	1	1
Helmikuu	-12,62	14	1	1,92	2,25	2,5	2,5
Maaliskuu	-6,88	48	1	1,73	1,98	2,12	2,07
Huhtikuu	-1,56	121	1	1,33	1,41	1,43	1,27
Toukokuu	5,4	128	1	1,12	1,11	1,06	0,83
Kesäkuu	13,03	154	1	1,04	0,99	0,92	0,66
Heinäkuu	14,36	146	1	1,06	1,03	0,96	0,71
Elokuu	12,06	95	1	1,14	1,14	1,09	0,86
Syyskuu	6,6	64	1	1,31	1,37	1,39	1,2
Lokakuu	0,15	17	1	1,59	1,76	1,82	1,71
Marraskuu	-6,78	3	1	1,5	1,5	1	1
Joulukuu	-10,08	0	1	1	1	1	1