TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MAALÄMPÖ-KAUKOLÄMPÖHYBRIDIJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS OLEMASSA OLEVISSA ASUINKERROSTALOISSA

Sami Isotalo

Opinnäytetyö
Joulukuu 2017
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

ISOTALO, SAMI
Maalämpö-kaukolämpöhybridijärjestelmän kannattavuus olemassa olevissa asuinkerrostaloissa

Opinnäytetyö 55 sivua
Joulukuu 2017

Työn tarkoitus oli selvittää Granlund Riihimäki Oy:n pyynnöstä maalämpö-kaukolämpöhybridijärjestelmän kannattavuutta. Hybridijärjestelmät ovat yleistyneet etenkin alueilla, joissa kaukolämmön hinnat ovat keskitasoa ylempänä. Työ rajattiin käsittelemään olemassa olevia asuinkerrostaloja, joissa lämmitysmuotona toimii kaukolämpö. Työssä tarkasteltiin kahden kerrostaloyhtiön hybridijärjestelmän saneerauksen kannattavuutta ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Kannattavuustarkasteluja tehtiin Elenialta saatujen kulutukseen perustuvien mittaustietojen perusteella. Kulutustietojen varmentamiseksi kohteissa suoritettiin talven 2016-2017 aikana lämmitys- ja käyttövesiverkostoista lämpötilamittauksia pintalämpötila-antureita hyödyntäen. Työssä käytettiin hybridijärjestelmän kannattavuuden selvittämiseen takaisinmaksuajan menetelmää ja nykyarvomenetelmää.

Maalämpö-kaukolämpöhybridijärjestelmän kannattavuuteen vaikutti mm. korkotaso, paikkakunta ja lämmitettävä rakennus. Hybridijärjestelmässä olisi potentiaalia paljon energiatehokkaampaan toimintaan, mutta järjestelmä vaatii kehitystä toimiakseen optimaalisella tasolla. Myös mahdolliset virheet suunnitteluvaiheessa voivat vaikuttaa huomattavasti järjestelmän energiatehokkuuteen ja kannattavuuteen.

Asiasanat: maalämpö, kaukolämpö, hybridijärjestelmä

ABSTRACT

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

ISOTALO, SAMI
Cost-Effectiveness Calculation for a Hybrid Geothermal/District Heat System in Existing Apartment Buildings

Bachelor's thesis 55 pages
December 2017

The purpose of this study was to find out about the cost-effectiveness of a hybrid system where the geothermal heating is used in parallel with district heating. Hybrid systems have become more common, especially in regions where district heating prices are above average levels. The scope was limited to existing apartment buildings, where district heating is used as a heating mode. The study looks at the cost-effectiveness of the renovation of the hybrid system of two apartment buildings and looks at the factors affecting the costs.

The cost-effectiveness analysis were made on the basis of energy consumption data. Temperature measurements of the heating and hot water piping were carried out during the winter 2016-2017 to verify the consumption data. The cost-effectiveness of the hybrid system was determined by the payback method and the present value method.

The cost-effectiveness of using a geothermal heating system in parallel with district heating is affected by e.g. the interest rate, the location and the building. The hybrid system requires further development to increase it is optimization. False assumptions and inaccuracies in the design can have significant consequences in the overall energy efficiency and cost-effectiveness.

Key words: geothermal heat, district heat, hybrid system

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
2 LÄHTÖKOHDAT ENERGIATEHOKKUUSINVESTOINNILLE 7
2.1 Energiatehokkuusmääräykset 7
2.2 Suomen rakennuskannan energiankulutus 8
3 TALOYHTIÖN LÄHTÖKOHDAT ENERGIANSÄÄSTÖINVESTOINTIIN 11
3.1 Asuinkerrostalojen energiankulutus 11
3.1.1 Lämpimän käyttöveden kulutus 11
3.1.2 Lämmitysenergian kulutus 12
3.1.3 Kulutusseuranta 14
3.1.4 Lämmitysenergian kulutuksen normitus 15
3.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen 16
3.2.1 Patteriverkoston vesivirta 16
4 LÄMMÖNTUOTANTOTAVAT 18
4.1 Kaukolämpö 18
4.1.1 Kaukolämmön toimintaperiaate 18
4.1.2 Kaukolämmön tuotanto Suomessa 19
4.1.3 Lämmönsiirtimet 19
4.1.4 Kaukolämmön hinnan muodostuminen 20
4.2 Maalämpö 20
4.2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate 21
4.2.2 Maaperän vaikutus 22
4.2.3 Maalämpöpumpun mitoitus 25
4.2.4 Maalämpöpumpun hyötysuhde ja tuoton laskenta 25
4.2.5 Sähkön hinnan muodostuminen 26
4.3 Maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä 27
4.3.1 Toimintaperiaate 27
4.3.2 Kaukolämpösiirtimien mitoitus hybridijärjestelmässä 28
5 INVESTOINNIN ELINKAARITALOUSTARKASTELU 30
5.1 Investoinnin elinkaarikustannuslaskenta 30
5.2 Diskonttaustekijä 31
5.3 Takaisinmaksuajan menetelmä 32
5.4 Nykyarvomenetelmä 33
6 LÄHTÖTIEDOT 35
6.1 Kohteet 35
6.1.1 Pajamäenkatu 6 35

6.1.2 Hätilänkatu 1-3 36
6.2 Tulosten selvittäminen 36
6.2.1 Pajamäenkatu 6 37
6.2.2 Hätilänkatu 1-3 39
7 ELINKAARILASKELMAT 41
7.1 Diskonttaus 41
7.2 Kohteiden lämmitysenergian kustannukset 41
7.3 Takaisinmaksuajan menetelmä 43
7.3.1 Pajamäenkatu 6 43
7.3.2 Hätilänkatu 1-3 43
7.4 Elinkaarikustannukset 44
7.5 Maalämpö-kaukolämpö hybridijärjestelmän energiankulutuksen jakautuminen 45
8 TULOSTEN TARKASTELU 47
8.1 Korkojen vaikutus 47
8.2 Paikkakunnan vaikutus kannattavuuteen 48
8.3 Kohteiden vertailu 49
9 POHDINTA 50
9.1 Energian hinnat tulevaisuudessa 50
9.2 Hybridijärjestelmän kehittäminen 51
9.3 Loppuyhteenveto 52
LÄHTEET 54

1 JOHDANTO

Aihe opinnäytetyölle syntyi insinööritoimisto Granlund Riihimäki Oy:ssa. Tavoitteena on selvittää viime aikoina paljon yleistyneen maalämpö-kaukolämpö hybridijärjestelmän kannattavuutta. Työ rajataan käsittelemään olemassa olevia asuinkerrostaloja, joissa vanhana lämmitysmuotona on toiminut kaukolämpö. Tutkimuskohteina on kaksi asuinkerrostaloa, jotka sijaitsevat Hämeenlinnassa. Tavoitteena on myös selvittää tekijöitä, jotka vaikuttavat maalämpö-kaukolämpö hybridijärjestelmän kannattavuuteen.

Kaukolämmitys on alkanut Suomessa jo 1950-luvulla. Se on edelleen asuinkerrostalojen yleisin lämmöntuottotapa, sillä sen avulla lämpiää noin 75-85 % asuinkerrostaloyhtiöistä. Samaan aikaan kaukolämmön hinta on ollut jo pitkään nousussa. Paikkakunnasta riippuen hintojen nousut ovat olleet tuntuvia. Lisäksi ihmiset ovat yhä tietoisempia energiansäästämisestä. Kerrostalojen suurin kuluerä on lämmitys ja siinä nähdään säästön mahdollisuus. Toimivaa ja luotettavaa lämmöntuotantotapaa ei kuitenkaan aina haluta lähteä kokonaan vaihtamaan, joten varteenotettavaksi vaihtoehdoksi on tullut kaukolämmön ja maalämmön hybridikäyttö.

Työssä käytetään apuna Elenialta saatuja kulutukseen perustuvia mittaustietoja. Lisäksi kohteissa suoritetaan pinta-antureilla lämpötilamittauksia lämmitys- ja käyttövesiverkoston puolelta. Mittaukset suoritetaan talven 2016-2017 aikana. Näillä tiedoilla vahvistetaan kulutukseen perustuvien mittaustietojen paikkansapitävyys.

2 LÄHTÖKOHDAT ENERGIATEHOKKUUSINVESTOINNILLE

Suomessa on suuri määrä 1960- ja 1970- luvulla valmistuneita asuinrakennuksia, joiden korjaaminen on ajankohtaista. Korjaustoimenpiteet aloitetaan usein pakon sanelemana, mutta korjauksen yhteydessä pyritään parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta. Energiansäästö vaikuttaa suoraan asumiskustannuksiin, mutta rakennuskannan energiansäästö vaikuttaa myös energia- ja energiantuotantokustannuksiin. Tämän vuoksi kiinteistöjen omistajia ohjataan päätöksissään energiatehokkaampaan suuntaan energiamääräyksillä. (Virta, J & Pylsy, P)

2.1 Energiatehokkuusmääräykset

Energiatehokkuusmääräykset ovat osa EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa ja auttavat samalla Suomea Suomen omien energiatehokkuuteen liittyvien tavoitteiden osalla. Määräyksillä on yhdessä korjausrakentamisen kanssa iso merkitys Suomen energiankulutukseen. Vuonna 2013 rakennuksiin kului 40 % energian kokonaiskulutuksesta. (Ympäristöministeriö)

Korjausrakentamisen energiamääräykset tulivat voimaan vuonna 2013. Määräyksen mukaan korjaushankkeen yhteydessä on selvitettävä, voiko rakennuksen energiatehokkuutta parantaa siten, että se on toiminnallisesti, teknisesti ja taloudellisesti järkevää. Energiatehokkuuden parantamiseen on olemassa kolme vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on parantaa rakennusosien lämmönpitävyyttä vaatimusten mukaiselle tasolle. Seuraavana vaihtoehtona on parantaa rakennuksen energiatehokkuutta kyseisen rakennusluokan määräyksen tasolle. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen normaalikäytössä syntyvä laskennallinen energiankulutus suhteessa rakennuksen pinta-alaan jää alle määräyksessä ilmoitettavan arvon. Kuvassa 1 näkyy energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain. (Ympäristöministeriö)

1) Pien-, rivi- ja ketjutalo ≤ 180 kWh/m^2
2) Asuinkerrostalo ≤ 130 kWh/m^2
3) Toimisto ≤ 145 kWh/m^2
4) Opetusrakennus ≤ 150 kWh/m^2
5) Päiväkoti ≤ 150 kWh/m^2
6) Liikerakennus ≤ 180 kWh/m^2
7) Majoitusliikerakennus ≤ 180 kWh/m^2
8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli ≤ 170 kWh/m^2
9) Sairaala ≤ 370 kWh/m^2

Kuva 1: Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain (Ympäristöministeriön asetus 4/13)

Kolmas vaihtoehto on laskea rakennukselle ominainen kokonaisenergiankulutus eli E-luku ja pienentää sitä rakennusluokalle asetetun tason mukaiseksi. Kuvassa 2 on rakennusluokkien E-luku-vaatimukset.

1) Pien-, rivi, ja ketjutalo: E-vaadittu ≤ 0,8 x E-laskettu
2) Asuinkerrostalo: E-vaadittu ≤ 0,85 x E-laskettu
3) Toimisto: E-vaadittu ≤ 0,7 x E-laskettu
4) Opetusrakennus: E-vaadittu ≤ 0,8 x E-laskettu
5) Päiväkoti: E-vaadittu ≤ 0,8 x E-laskettu
6) Liikerakennus: E-vaadittu ≤ 0,7 x E-laskettu
7) Majoitusliikerakennus: E-vaadittu ≤ 0,7 x E-laskettu
8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli: E-vaadittu ≤ 0,8 x E-laskettu
9) Sairaala: E-vaadittu ≤ 0,8 x E-laskettu

Kuva 2 : E-luku-vaatimus rakennusluokittain.(Ympäristöministeriön asetus 4/13)

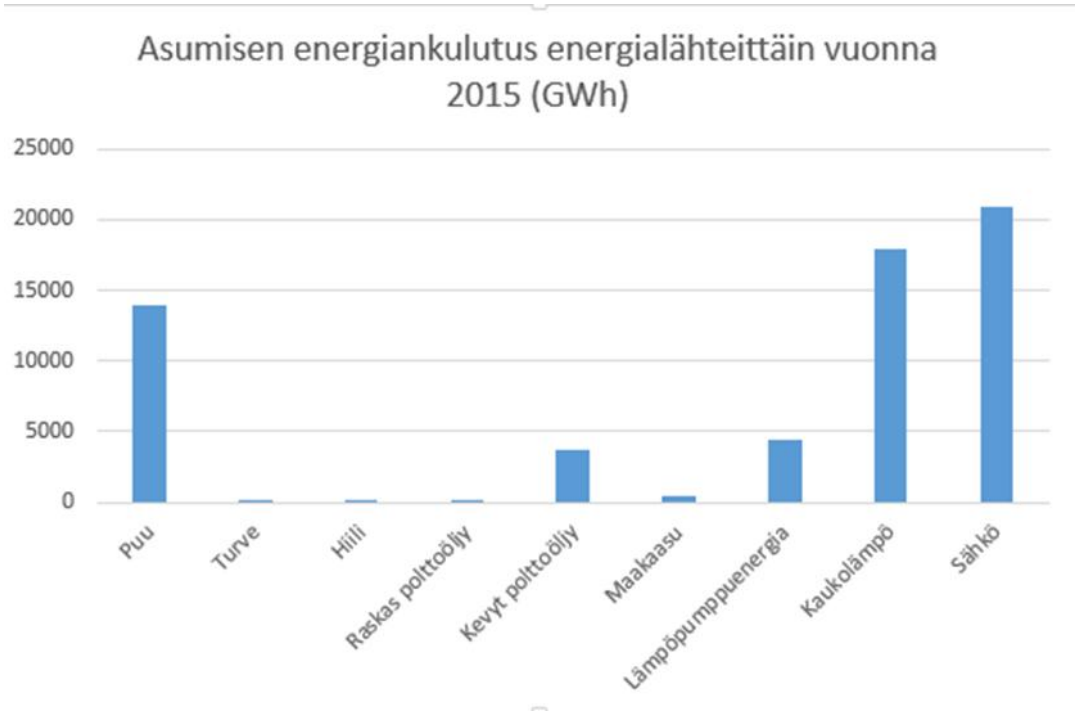
Rakennuksen teknisten järjestelmien toiminta on varmistettava ja pidettävä huolta, että järjestelmien perussäädöt tarkistetaan aina, kun rakennukseen tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat rakennuksen lämpöhäviöihin tai kun järjestelmiä uudistetaan.

2.2 Suomen rakennuskannan energiankulutus

Suomen rakennuskantaan kuului vuoden 2015 lopussa noin 1,5 miljoonaa rakennusta. Näistä noin 60 000 oli asuinkerrostaloja eli noin neljä prosenttia koko rakennuskannasta.

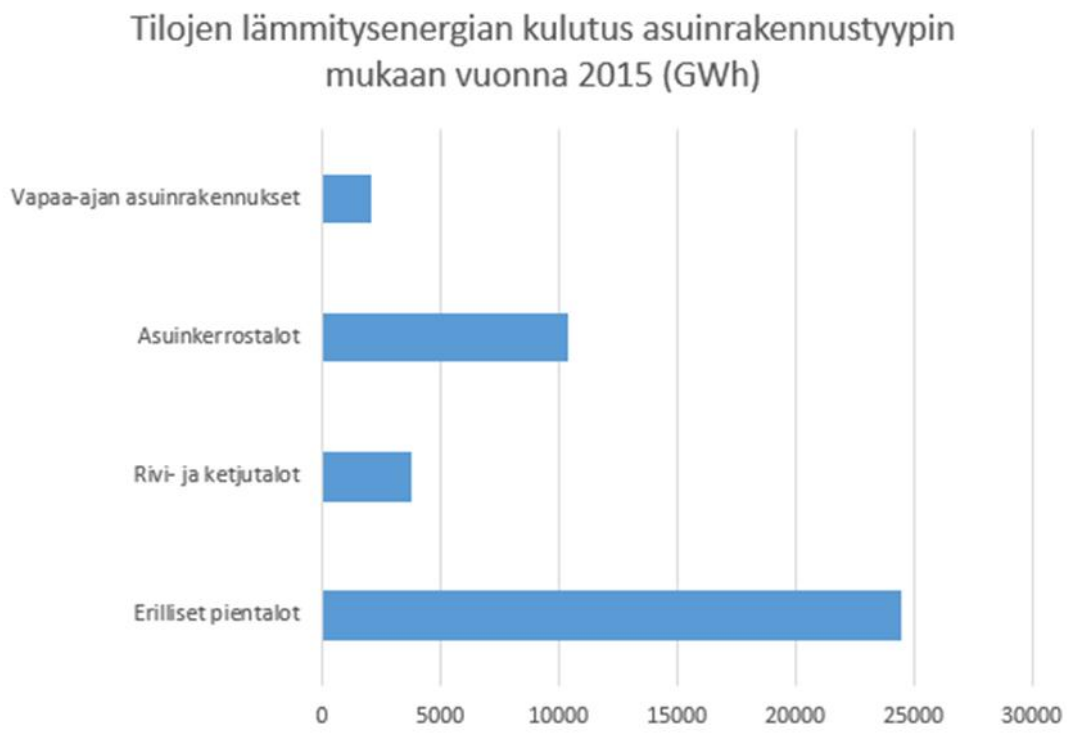
Asuinkerrostalojen määrä on kasvanut viimeisen 25 vuoden aikana hieman yli kolmanneksella. Kerrostaloasuntoja oli vuoden 2015 lopun asuntokannasta noin 1,3 miljoonaa koko asuntokannan olleessa noin 2,9 miljoonaa. Kerrostaloasuntojen osuus koko asuntokannasta oli 45 %. (Tilastokeskus)

Kuvassa 3 on esitetty asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2015. Asumisen energiankulutus sisältää tilojen lämmittämisen lisäksi kotitalouslaitteiden energiankulutuksen sekä saunojen ja käyttöveden lämmityksen.



Kuva 3 : Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2015 (Tilastokeskus)

Asuinkerrostalojen asumisen energiankulutuksen osuus on huomattava suhteessa muihin asuinrakennuksiin. Noin 25 prosenttia tilojen lämmityksen energiankulutuksesta muodostuu asuinkerrostalojen osuudesta. Kuvassa 4 on esitetty tilojen lämmityksen energiankulutuksen osuudet asuinrakennustyypin mukaan.



Kuva 4 : Tilojen lämmitysenergian kulutus asuinrakennustyypin mukaan vuonna 2015 (Tilastokeskus)

3 TALOYHTIÖN LÄHTÖKOHDAT ENERGIANSÄÄSTÖINVESTOINTIIN

3.1 Asuinkerrostalojen energiankulutus

Kiinteistöjen hoitokulut katetaan osakkaiden maksamilla vastikkeilla. Vuonna 2015 kerrostalo asunto-osakeyhtiön hoitokuluista keskimäärin noin 30 % kului lämmitykseen ja vesi- ja viemärimaksuihin. (Tilastokeskus) Kaukolämpöä käyttävien rakennusten lämmityskulut muodostuvat perusmaksusta ja energiakulutukseen perustuvasta maksusta. Kaukolämmön hinnoitteluperusteista lisää kappaleessa 4.1.4. Kylmän veden eli raakaveden ja jäteveden kustannukset saadaan paikallisen vesilaitoksen määrittämistä hinnoista. Lämpimän käyttöveden lämmittämisestä aiheutuvat kustannukset on laskettava erikseen. (Virta, J & Pylsy, P)

3.1.1 Lämpimän käyttöveden kulutus

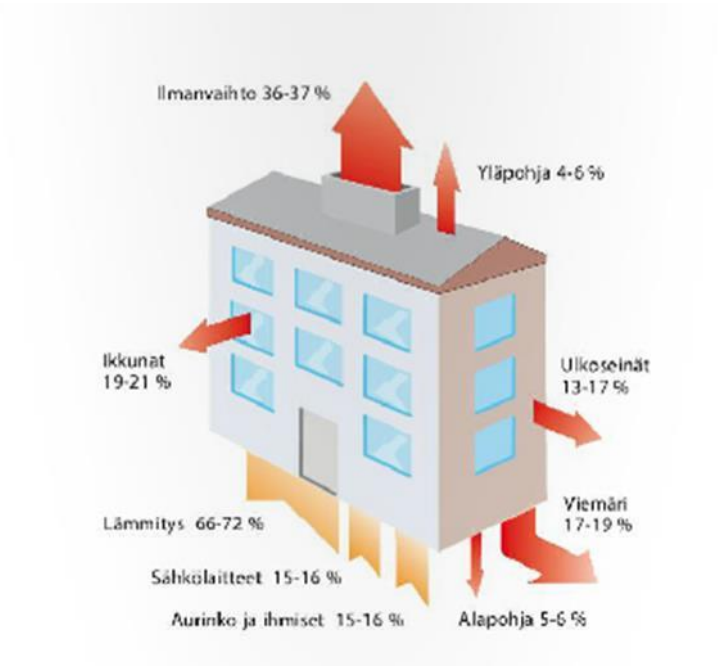
Lämpimän veden kulutus voidaan selvittää huoneistokohtaisista vesimittareista tai olettaa lämpimän käyttöveden ja kylmän veden jakautuvan asuinrakennuksille tyypillisen määrän mukaan. Asuinrakennuksissa 40 % veden kokonaiskulutuksesta on lämmintä käyttövettä kokonaisveden kulutuksen ollessa noin 155 l/hlö/vrk. Kylmän 5 asteisen veden lämmittäminen 55 asteiseksi vaatii keskimäärin energiaa 58 kWh/vesi-m^3. Keskimääräinen energiantarve ei huomioi lämpimän käyttövesijärjestelmän häviöitä kuten käyttöveden varastoinnin ja käyttöveden kiertojohdon häviöitä. (Motiva)

Lämpimän käyttöveden osuus voidaan myös arvioida kesä-elokuun keskimääräisen kulutuksen perusteella. Arvioon sisältyy lämpimän veden varastointiin ja lämpimän veden kiertoon kuluva energiamäärä. Arviota käyttäessä tulee varmistua siitä, ettei rakennuksen lämmitys ole ollut päällä kyseisenä aikana. Yli kymmenen asunnon asuinrakennuksissa satunnaisten poissaolojen vaikutus keskimääräiseen veden kulutukseen on yleensä pientä. (Motiva)

Veden kulutukseen vaikuttaa suuremmilta osin vedenkäyttötottumukset. Rakennuksen valmistumisvuodella ei ole suurta merkitystä vedenkäyttöön. Huoneistokohtaiset vesimittarit, vettä säästävät vesikalusteet ja oikea vesijohtoverkoston painetaso vaikuttavat vedenkulutukseen laskevassa määrin. (Virta, J & Pylsy, P)

3.1.2 Lämmitysenergian kulutus

Asuinkerrostalojen suurimmat lämpöhäviöiden aiheuttajat ovat ilmanvaihto, ikkunat ja lämmin käyttövesi. Kuvassa 5 esitetään 1960-1980-lukujen asuinkerrostalon lämpöhäviöiden ja lämpöenergioiden jakautuminen. Kuvasta nähdään, että tilojen lämmitykseen vaikuttavat myös ihmiset, aurinko ja sähkölaitteet.



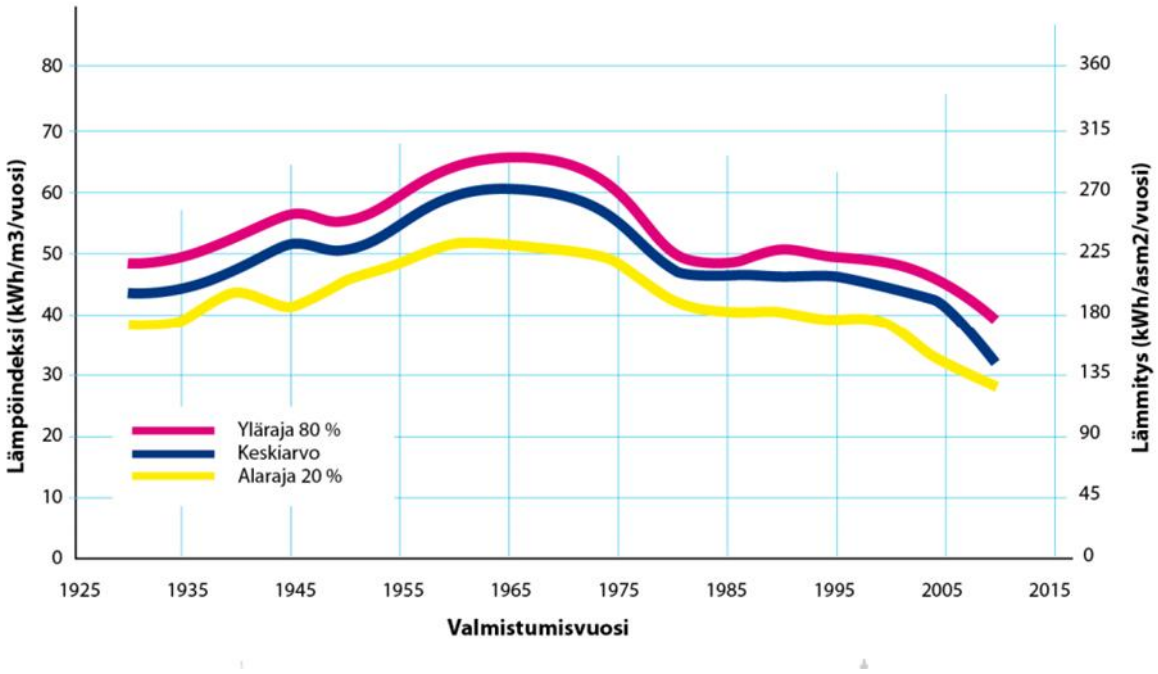
Kuva 5: 1960-1980-lukujen lämpöenergiataseet asuinkerrostalossa (Virta, J & Pylsy, P)

Lämmitysenergian kulutuksen esittäminen voidaan ilmoittaa rakennustilavuutta tai pinta-alaa kohden. Lämpöindeksi kertoo rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen rakennuskuutiometriä kohden vuodessa. Lämmitysenergian kulutus on esitetty lämpöindeksissä normeerattuna. Normeerauksen avulla vuosittaiset kulutustiedot saadaan keskenään vertailukelpoisiksi (Kappale 3.1.4). Lämpöindeksiin vaikuttaa myös rakennuksen sijainti. Etelä- Suomessa 1960-1980-luvulla valmistuneiden asuinkerrostalojen lämpöindeksi on yleensä 45-65 kWh/m^3/v. Sääolojen vuoksi lämpöindeksit ovat keskimäärin korkeampia pohjoisempana kuin Etelä-Suomessa. Keski-Suomessa lämpöindeksi on keskimäärin 10-15 prosenttia ja Pohjois-Suomessa 25-30 prosenttia suurempi kuin Etelä-Suomessa. (Virta, J & Pylsy, P)

Lämmitysenergian kulutus asuinpinta-alaa kohden saadaan muuntokertoimen avulla lämpöindeksistä. Muuntokerroin perustuu tilastotietoihin asuinkerrostalojen rakennustilavuuksista ja asuinpinta-aloista. Asuinkerrostalon muuntokerroin on 4,5, joten lämmitysenergian kulutus 1960-1980-luvulla valmistuneissa asuinkerrostaloissa on asuinpinta-alaa kohden 200-295 kWh/asm^2.

Kiinteistön lämmitysenergian kulutuksesta keskimäärin 20-30 prosenttia kuluu käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöenergiaa kuluu asuinkerrostalossa tilavuutta kohden ilmoitettuna 9-12 kWh/m^3/v ja pinta-alaa kohden 35-40 kWh/asm^2.

Kuvaajasta 1 nähdään, kuinka asuinkerrostalon lämmitysenergian kulutus laskee valmistumisvuodesta 1965 eteenpäin. Määräykset ovat vaikuttaneet siihen, että rakennuksien lämmitysenergian kulutukset ovat laskeneet. Vuonna 1978 rakennusten lämmöneristysmääräykset kiristyivät noin 30 prosenttia, mikä näkyy kuvaajasta 1 1970 – 1980-lukujen kohdalla lämpöindeksin alenemisena. 1960-luvulla käyttöönotettu koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä näkyy 1960-luvun korkeana lämpöindeksinä, sillä järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Vuonna 2003 poistoilman lämmöntalteenotto tuli rakentamismääräysten kautta vaatimukseksi. Tämä selittää kuvaajasta vuoden 2004 jälkeen tapahtuneen lämpöindeksin alenemisen. (Virta, J & Pylsy, P)



Kuvaaja 1: Asuinkerrostalon lämmitysenergian kulutus valmistumisvuosi kohtaisesti (Virta, J & Pylsy, P.))

3.1.3 Kulutusseuranta

Rakennuksen kulutusseurannalla tarkoitetaan jatkuvaa energian ja veden kulutuksen seurantaa. Kulutusseurannan avulla saadaan selville kiinteistön äkilliset muutokset ja poikkeamat kulutuksissa. Kulutusseuranta on iso tekijä kiinteistön tavoitteellisen ylläpidon ja energianhallinnan onnistumisen kannalta. Kulutusseurannan avulla saadaan selville myös toteutettujen energiankäytön tehostamistoimenpiteiden todelliset vaikutukset.

Kiinteistön kulutusseurantaa hoidetaan nykyisin yhä useammin ostettuna palveluna, kun ennen siitä vastasivat kiinteistönhoitoyhtiö yhdessä isännöitsijän kanssa. Kulutusta on hyvä seurata vähintään kerran kuukaudessa. Mittaustekniikan, tiedonsiirron ja keruulaitteiden kehittyminen mahdollistavat myös kulutuksen seuraamisen tunneittain. Tuntikohtaisen kulutusseurannan avulla voidaan selvittää muun muassa kaukolämmön tilaustehon suuruus, vuorokausi- ja viikkokulutusjakautuminen ja tehopiikit. (Virta, J & Pylsy, P)

3.1.4 Lämmitysenergian kulutuksen normitus

Energiankulutuksen seuranta on lähtökohtana energian tehokkaalle käytölle. Rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen normeeraus helpottaa energiankulutuksen seurantaa. Normeerauksella saadaan kulutuksesta vertailukelpoinen riippumatta siitä missä rakennus sijaitsee tai mitkä ovat eri kuukausien ja vuosien väliset lämpötilaerot.

Jotta normeeraus voidaan suorittaa, tarvitaan avuksi lämmitystarveluku. Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Tämä koskee vain lämmityksen energiankulutusta, joten käyttöveden lämmittämisen energiankulutus erotetaan lämmitysenergian kulutuksesta ennen normeerausta. Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisimmin käytetty lämmitystarveluku on S17, mikä tarkoittaa sitä, että vuorokausikeskiarvon sisä- ja ulkolämpötilan erotus on 17 °C.

Kuukauden lämmitystarveluku saadaan vuorokausien lämmitystarvelukujen summana, kun taas vuoden lämmitystarveluku on kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa. Lämmitystarveluku kasvaa sitä suuremmaksi mitä kylmempi vuosi on. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli + 10 °C ja syksyllä yli + 12 °C. Oletus on se, että lämmityskauden jälkeen ja ennen lämmityskauden alkua kiinteistöjen lämmitys lopetetaan. (Motiva)

Kaavalla 1 saadaan selville rakennuksen energiankulutuksen vertailu eri ajankohtina.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (1)$$

,jossa Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus

$Q_{toteutunut}$ = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{lämmin\ käyttövesi}$ = käyttöveden lämmittämisen vaatima energia

$S_{N\ vpkunta}$ = normaalivuoden tai – kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$ = toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

3.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen

Asuinkerrostalojen yleisimmät lämmitysmuodot ovat kaukolämpö ja öljylämmitys. Kiinteistössä, joka lämpiää öljyllä tai kaukolämmöllä, on yleisimmin vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä, jossa lämpö luovutetaan lämmityspattereiden avulla lämmitettävään tilaan. Lämmitysjärjestelmän uusimisella syntyvät säästöt riippuvat pitkälti uuden ja alkuperäisen energianhinnan keskinäisestä suhteesta. (Virta, J & Pylsy, P)

Lämmitysjärjestelmän uusimisessa tulee huomioida myös olemassa olevan järjestelmän tekninen käyttöikä. Tekninen käyttöikä tarkoittaa käyttöönoton jälkeistä aikaa, jona esimerkiksi järjestelmän tekniset toimivuusvaatimukset täyttyvät. Teknisen käyttöiän umpeuduttua järjestelmä on tarkoituksenmukaista korvata uudella. Tekninen käyttöikä perustuu käytössä oleviin tietoihin ja kokemuksiin järjestelmän kestävyydestä ja on yleistävä. (LVI- 01-10424)

3.2.1 Patteriverkoston vesivirta

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän putkiverkoston tehtävänä on viedä huoneisiin niiden lämmöntarpeen edellyttämä lämpöteho. Huonekohtainen tarvittava lämpöteho ja lämmönluovuttimien lämpötilaero määräävät tarvittavan huonekohtaisen veden massavirran, joka saadaan laskettua kaavalla 2.

$$q_m = \frac{\phi}{c_p(T_m - T_p)} \tag{2}$$

,missä

ϕ = lämpöteho

T_m= menoveden lämpötila

T_p = paluuveden lämpötila

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti

q_m = veden massavirta

Lämpötilaerotus on ratkaiseva veden massavirran ja putkiston mitoituksen kannalta. Lämpötilaeron kasvaessa putkisto ja vesivirta jäävät pienemmiksi. Samalla lämmönluovuttimen pinta-ala kasvaa, sillä lämmönluovuttimen keskilämpötila alenee mitä suuremmaksi lämpötilaero kasvaa. Vuonna 1995 yleisimmät käytössä olevat mitoituslämpötilat olivat (menoveden lämpötila/paluuveden lämpötila) 70/40 °C, 80/50 °C ja 90/70 °C. (Seppänen, O.) Lämmitysmuotoa vaihtaessa tarvitseekin selvittää uuden lämmöntuottojärjestelmän ja nykyisen vesikiertoisen putkiverkoston yhteensopivuus. Putkiverkoston täytyy toimia vähintään sellaisilla lämpötiloilla, jotta lämmönluovuttimista saadaan tilojen lämmöntarvetta vastaava lämpöteho.

4 LÄMMÖNTUOTANTOTAVAT

4.1 Kaukolämpö

Kaukolämmitys on alkanut Suomessa 1950-luvulla ja on nykyisin rakennusten yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämmitystä on saatavana miltei kaikissa kaupungeissa ja taajamissa. Noin 2,7 miljoonaa suomalaista asuu kiinteistössä, jonka lämmitysmuotona toimii kaukolämmitys. Mitä suuremmasta kiinteistöstä on kyse, sitä taloudellisempaa kaukolämmön käyttö on. Tästä syystä suurin osa Suomen kerrostalokannasta lämmitetään kaukolämmöllä.

Kaukolämmitys hyödyntää hukkaan menevää lämpöenergiaa ja on tästä syystä energiatehokas ja ympäristöystävällinen lämmöntuottotapa. Kaukolämmön polttoaineina käytetään pääasiassa maakaasua, kivihiiltä ja turvetta, mutta myös puuta ja uusiutuvia energianlähteitä, kuten biokaasua. (Energiateollisuus)

4.1.1 Kaukolämmön toimintaperiaate

Asiakkaan halutessa kiinteistönsä lämmöntuotantotavaksi kaukolämmön, täytyy kiinteistö liittää yleiseen kaukolämpöverkostoon. Kiinteistölle suunnitellaan liitos kaukolämpöverkostoon siten, että liitosreitti kulkisi kiinteistön lämmönjakohuoneeseen. Lämmönjakohuoneeseen asennetaan kaukolämmön alajakokeskus ja lämpöenergian mittauslaitteet. (Energiateollisuus)

Kaukolämpö pumpataan voimalaitoksella lämmitettynä asiakkaalle kaukolämpöverkostoa pitkin. Verkostossa kulkevan menoveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65 ja 115 °C välillä. Alimmillaan lämpötila on kesällä, jolloin lämpöenergiaa kuluu vain käyttöveden lämmittämiseen. Lämmennyt kaukolämpövesi luovuttaa lämpöenergiaa asiakkaan käyttöön kiinteistön alajakokeskuksella. Lämpöenergia siirtyy alajakokeskuksen lämmönsiirtimien kautta kiinteistössä kiertävään lämmitysverkoston menoveteen ja lämmittää myös kiinteistön lämpimän käyttöveden. Lämpöä luovuttaen siirtimien läpi virrattuaan, kaukolämpöverkoston vesi jäähtyy ja palaa takaisin kaukolämmön tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Jäähtynyt kaukolämpöverkoston paluuvesi on säästä riippuen yleensä 40 ja 60 °C välillä. (Motiva)

Kaukolämmön alajakokeskukseen voi kuulua käyttövesi ja lämmitysverkoston siirtimien lisäksi myös ilmanvaihdon lämmönsiirrin, joka siirtää lämpöä ilmanvaihdon lämmitysverkostoon. Tämä vaatii sen, että kiinteistössä on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Muita lämmönjakokeskukseen kuuluvia kaukolämpölaitteita ovat säätölaitteet, pumput, paisunta- ja varolaitteet, paine- ja lämpötilamittarit sekä sulkuventtiilit. (Energiateollisuus)

4.1.2 Kaukolämmön tuotanto Suomessa

Kaukolämpöä tuotetaan kaukolämpöverkkoon sähkön kanssa yhteistuotantovoimalaitoksissa tai pelkästään lämpönä erillisissä lämpölaitoksissa. Yhteistuotantovoimalaitoksissa otetaan talteen turbiineissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö. Tämä onkin energiatehokas tapa tuottaa energiaa. Kaukolämpöverkossa on useita voimalaitoksia tuottamassa lämpöä. Tällä taataan se, että lämpöä voidaan tuottaa vuodenaikojen vaihteluista johtuviin vaihteleviin tarpeisiin. Huolto- tai häiriötilanteissa usealla tuotantolaitoksella varmistetaan myös lämmönsaatavuus.

Kaukolämmön tuottamiseen käytettävä polttoaine vaihtelee paikkakunta- ja tuotantolaitoskohtaisesti. Polttoaineina käytetään puuta tai muuta biomassaa. Myös kivihiili, turve, maakaasu, jäte ja öljy ovat kelvollisia polttoaineita. Polttoaineen valintaan vaikuttavat toimintavarmuus, kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaikutukset. Tavoitellessa hiilineutraalia lämmöntuotantoa, fossiilisten polttoaineiden osuus polttoaineena pienentyy. Puun ja muiden biomassojen osuus kaukolämmön tuotantoon käytetyistä polttoaineista on jo noin kolmannes. Monissa kunnissa kaukolämpö tuotetaan kokonaan kotimaisilla polttoaineilla. (Energiateollisuus, Motiva)

4.1.3 Lämmönsiirtimet

Kaukolämpöverkoston vesi ei missään vaiheessa sekoitu asiakkaan järjestelmiin, vaan kulkeutuu lämmönsiirtimien kautta omana verkostonaan. Lämmönsiirtimen kautta lämpöenergia siirtyy kaukolämpöverkoston vedestä kiinteistön järjestelmiin. Kaukolämmön

alajakokeskukseen sisältyvät siirtimet lämmitysverkoston veden lämmittämiseen, lämpimän käyttöveden lämmittämiseen sekä mahdollisesti ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen.

Käyttöveden lämmönsiirrin lämmittää kylmänä tulevan veden vähintään 55 asteiseksi. Lämpötila ei saa missään vaiheessa verkostoa laskea alle 55 asteen legionella-bakteerin aiheuttaman sairastumisriskin vuoksi. Lämpötila ei saa myöskään nousta yli 65 asteen, jotta vältytään mahdollisilta kuuman veden aiheuttamilta tapaturmilta. (Energiateollisuus)

4.1.4 Kaukolämmön hinnan muodostuminen

Kaukolämmön hinta koostuu kaukolämpöyritysten asiakkailleen tarjoamista palveluiden tuottamisesta ja se vaihtelee paikkakunnittain. Kaukolämpöyritykset pitävät huolen, että asiakas saa riittävästi lämpöä vuoden jokaisena päivänä. Ne myös ylläpitävät kaukolämpöverkkojen toimintaa ja huoltavat niitä säännöllisesti. Yleisesti hintatasoon vaikuttavat kaukolämpöjärjestelmän koko, tuotantolaitosten ikä, kaupungin tai taajaman rakenne, tehdyt investoinnit sekä polttoaineet, joita tuotantolaitokset käyttävät. Energiaverotus vaikuttaa myös kaukolämmön hinnanmuodostumiseen.

Asiakkaan liittyessä kaukolämpöverkkoon, joutuu hän maksamaan liittymisestään liittymismaksun. Liittymismaksun suuruuteen vaikuttavat kiinteistön koko ja paikkakunta, sillä liittymismaksut vaihtelevat paikkakunnittain. Kaukolämmön käytöstä asiakas maksaa käyttömaksuja, jotka muodostuvat energiamaksusta ja tehomaksusta. Tehomaksu on sidottu tehon tai vesivirran suuruuteen. Asiakkaan käyttämä lämpöenergia mitataan ja laskutetaan asiakaskohtaisesti kaukolämpöyhtiön toimesta. Taloyhtiöissä kustannukset jaetaan asukkaiden kesken yleensä asuntopinta-alan mukaan. (Energiateollisuus)

4.2 Maalämpö

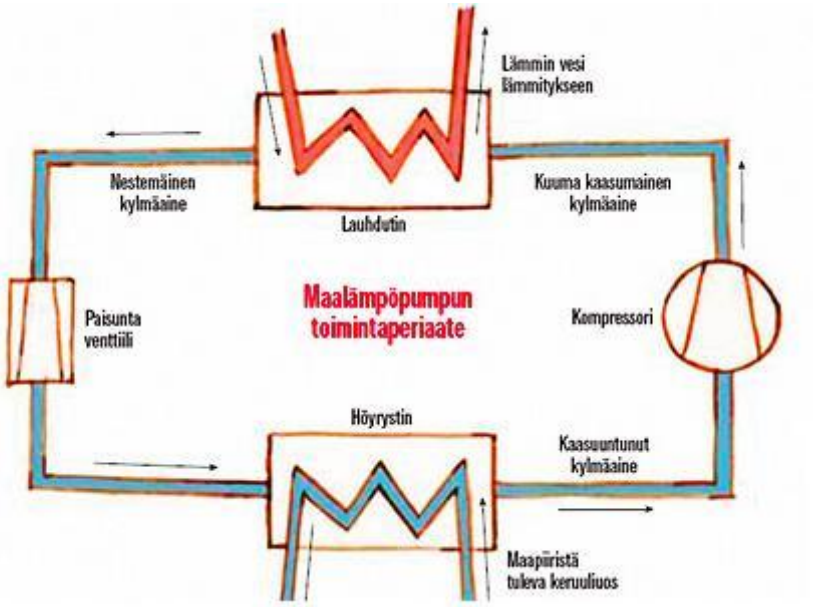
Maalämmöllä on lämmitetty pientaloja Suomessa 1970-luvulta lähtien, ja se on yleistynyt 2000-luvulla. Vuonna 2011 miltei puolet pientalon rakentajista valitsi lämmitysmuodoksi maalämmön. Maalämmön suosioon ovat vaikuttaneet öljyn ja sähkön hinnan kehitykset,

lattialämmityksen yleistyminen sekä lämpöpumppujen kehittyminen. Matala lainojen korkotaso, mahdollisuus hyödyntää kotitalousvähennyksiä saneerauskohteissa ja rakennuksen jälleenmyyntiarvon nostaminen ovat edistäneet myös maalämpöpumppujen myyntiä. (Motiva)

4.2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Maalämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin kylmälaitteet, jotka siirtävät lämpöä pois viilennettävästä tilasta. Maalämpöpumppu kerää maahan varastoituneen lämmön ja siirtää sen sisälle rakennukseen. Lämmönkeruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka kerää osan varastoituneesta energiasta, jolloin jäätymätön neste lämpenee muutaman asteen. Keruupiirin nesteestä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Kylmäaineen lämpötila on alimmillaan juuri ennen höyrystintä noin -10 °C. Kun nestemäinen kylmäaine muuttuu höyryksi, siihen sitoutuu lämpöä. Kompressori puristaa kylmäaineen pienempään tilaan, minkä seurauksena kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Kylmäaineen lämpötila voi kohota jopa sataan asteeseen (kuva 6).

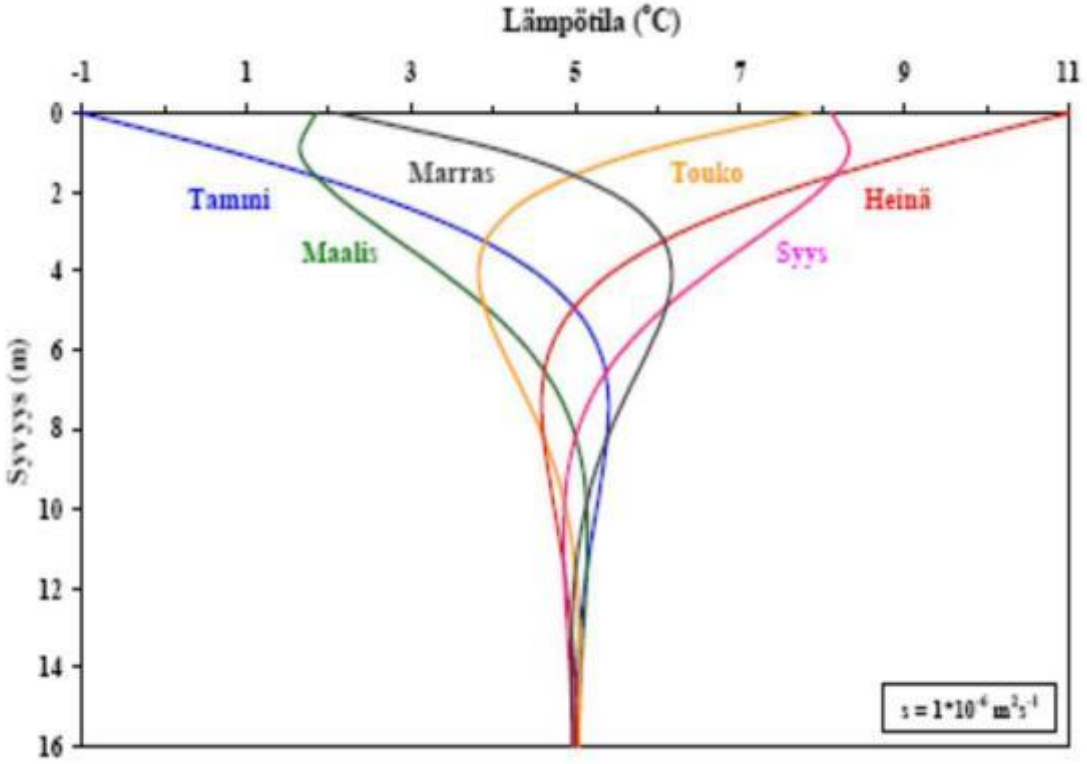
Kuuma kaasumainen kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa lämmitysverkoston vesi jäähdyttää kuumaa kylmäainetta muuttaen sen takaisin nestemäiseen muotoon. Samalla lämpöä vapautuu ja se siirtyy lämmitysverkostoon. Jäähtynyt nestemäinen kylmäaine kulkee vielä ennen höyrystintä paineenalennusventtiilin kautta, joka laskee kylmäaineen painetta ja pudottaa lämpötilan takaisin noin -10 °C:een (kuva 6).



Kuva 6 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

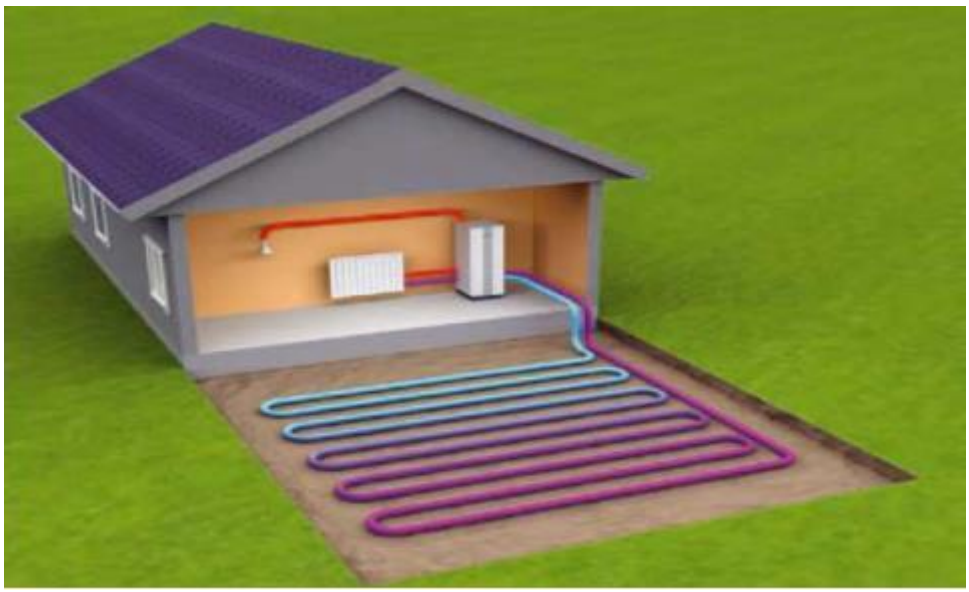
4.2.2 Maaperän vaikutus

Maalämpöjärjestelmässä keruuputkisto kulkee maaperässä. Maaperän ominaisuudet vaikuttavatkin oleellisesti lämmönkeruuputkiston mitoitukseen. Mitoitukseen vaikuttaa maalaji, sillä eri maalajeilla on eri lämmönjohtavuudet. Paras lämmönjohtavuus on kalliolla, kun taas kuivilla ja karkeilla irtomaalajeilla lämmönjohtavuudet ovat heikoimpia. Maaperän kosteus ja tasapainolämpötila vaikuttavat myös maaperästä saatavaan energiamäärään. Maaperän kosteuden lisääntyessä irtomaa-alueella, paranee myös energian saanti maaperästä. Maaperän tasapainolämpötila eroaa suuresti riippuen siitä, ollaanko etelässä vai pohjoisessa. Suomessa 300 metriä syvien energiankaivojen lämpötila ennen kaivon käyttöönottoa on 8-9°C, kun samaan aikaan lapissa sama lämpötila on 2-4°C. Vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa myös maaperän lämpötilaan, mutta vain 15 metrin syvyyteen saakka. Maaperässä oleva pohjaveden pinnan korkeus ja virtaukset vaikuttavat maaperän lämmönjohtavuuteen. (J Enersys Oy)



Kuva 7. Vuodenaikojen vaikutus maaperän tasapainolämpötilaan.

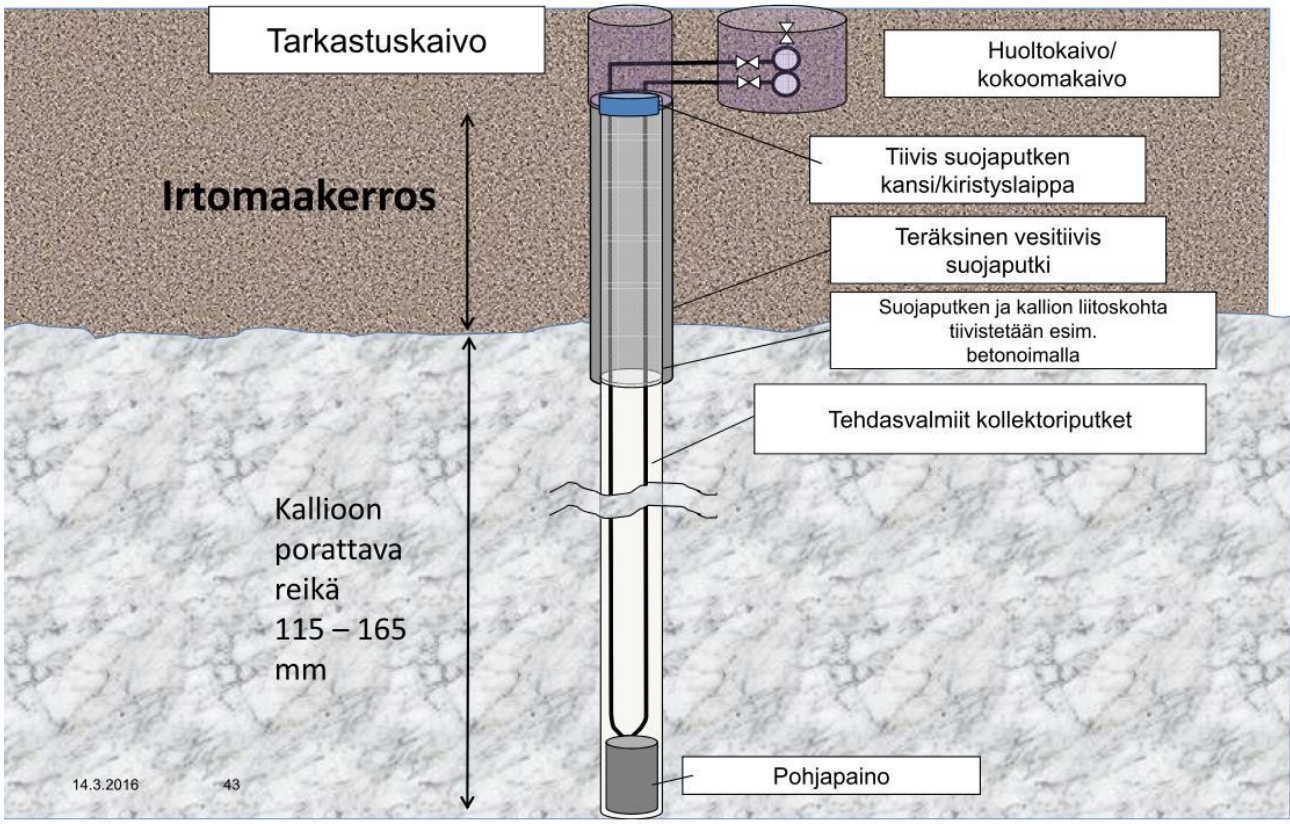
Maaperään asennettava lämmönkeruuputkisto asennetaan joko pysty- tai vaakaputkistona. Noin 30 prosenttia maalämpökohteista käyttää vaakaputkistoa maaperän lämpöenergian keräämiseen. Vaakaputkisto kulkee maaperän pintakerroksessa, jossa se käyttää hyödykseen maan pintakerrokseen varastoitunutta auringon säteilemää lämpöenergiaa ja maaperän kosteutta. Vaakaputkiston vaatimuksena onkin riittävä määrä kaivuukelpoista, kosteaa ja hienojakoista maaperää. Putkistojen putkilenkkien etäisyys toisistaan on oltava vähintään 1,5 metriä ja se asennetaan 0,8-1,5 metrin syvyyteen riippuen siitä, ollaanko Pohjois- vai Etelä-Suomessa. Vaikka vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaakin merkittävästi lämpöenergian saantiin, niin maaperän olosuhteet palautuvat täysin ennalleen vuoden aikana (Kuva 7). Vaakaputkisto on useimmiten edullisin maalämpövaihtoehto. (J Enersys Oy)



Kuva 8. Maalämpöjärjestelmän lämmönkeruuputkisto vaakaputkistona.

Suurin osa eli yli 60 prosenttia maalämpökohteiden lämmönkeruuputkistoista toteutetaan pystyputkistona eli lämpökaivoilla. Etelä-Suomessa niiden osuus on jopa 80 prosenttia, johtuen maaperän tasapainolämpötilaeroista. Lämpökaivot eivät vaadi tontilta suurta pinta-alaa, vaan mahtuvat hyvin pienemmällekin tontille. Vaatimuksena on kuitenkin, ettei kiintokallion pinta olisi liian syvällä. Lämpökaivoissa maaperän lämpötila ei palaudu ennalleen vuosittain niin kuin vaakaputkiston kohdalla. Maaperän lämpötilakäyttäytyminen on vaikeasti ennustettavissa, ja keruuputkistoa saatetaan käyttää jopa yli 50 vuotta. Lämpökaivo on ominaisinvestoinniltaan kallein lämmönkeräysjärjestelmä. (J Enersys Oy)

Lämpökaivojen porareiät porataan satojen metrien syvyyteen riippuen kohteesta. Omakotitaloissa poraussyvyydet ovat 100-200 metrin välillä, kun taas suuremmissa kohteissa porataan 200-400 metrin syvyyteen. Porakaivojen yläpäiden suositeltava etäisyys toisistaan on minimissään 20 metriä. Porakaivojen alapäät voivat taipua sivuttaissuunnassa jopa 50-70 metriä. (J Enersys Oy)



Kuva 9. Lämpökaivon rakenneperiaate.

4.2.3 Maalämpöpumpun mitoitus

Maalämpöpumpun mitoitusvaihtoehdot ovat joko täysi- tai osatehomitoitus. Osateholle mitoitettava lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan 60-80 % rakennuksen lämmitystehon tarpeesta. Se kuitenkin tuottaa noin 95 % vuotuisesta lämpöenergiasta johtuen siitä, että kovimpia pakkasajanjaksoja on niin vähän. Loppuosa tuotetaan yleisimmin lämminvesivaraajan sähkövastuksella.

Täysteholle mitoitettu lämpöpumppu kattaa kaiken lämmitykseen ja lämpimänkäyttöveden lämmitykseen tarvittavan energiatarpeen kovimmillakin pakkasilla ilman sähkövastuksia. (Motiva)

4.2.4 Maalämpöpumpun hyötysuhde ja tuoton laskenta

Maalämpöpumpun tehokkuutta kuvaa lämpökerroin eli COP (Coefficient Of Performance), joka kertoo kuinka moninkertaisesti maalämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa

suhteessa maalämpöpumpun käyttämään sähköenergian määrään. Yleisesti maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä noin kolmannes on tuotettu sähköllä ja loput on maaperästä otettua uusiutuvaa energiaa. (Motiva)

Lämpöpumpun sähköenergian kulutus saadaan selville kaavalla 3. Kaavalla saadaan selville myös maalämpöpumpun COP-luku, jos sähköenergian ja lämmitysenergian kulutustiedot ovat selvillä. Lämpöpumpun käyttämässä sähköenergian määrässä ei ole huomioitu lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutusta kuten lämmönkeruupiirin pumppaukseen kuluvaa sähköenergian määrää. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas)

$$W_{lp} = \frac{Q_{lt}}{COP} \tag{3}$$

,missä:
W_{lp} = maalämpöpumpun sähkönkulutus valitulla tarkasteluajanjaksolla (kWh)
Q_{lt} = kiinteistön lämmitysenergian kulutus valitulla tarkasteluajanjaksolla (kWh)
COP = maalämpöpumpun lämpökerroin

4.2.5 Sähkön hinnan muodostuminen

Maalämpöpumppu käyttää toimiakseen sähköä. Pumpun käyttämän sähköenergian määrän lisäksi asiakkaalle muodostuviin maalämpöpumpun kustannuksiin vaikuttaa sähkön hinta.

Sähkön hinta muodostuu pääasiassa siirtopalvelun ja sähköenergian hinnasta. Näiden lisäksi hintaan kuuluu arvonlisävero, sähkövero ja huoltovarmuusmaksu. Sähköenergiaan asiakas voi vaikuttaa kilpailuttamalla energianmyyjän, mutta siirtopalveluun ei voi vaikuttaa. Siirtopalvelun hinta määräytyy paikallisen sähköverkonhaltijan mukaan. Energiavirasto valvoo siirtohinnoittelun kohtuullisuutta.

Sähkön energiahinta asiakkaalle muodostuu sähkönmyyjälle aihetuvista hankinta- ja myyntikustannuksista. Sähköenergianhinta koostuu perusmaksusta ja kulutusmaksusta. Perusmaksu on kuukausittainen kiinteä maksu, kun taas kulutusmaksu määräytyy sähkön käytön mukaan.

Sähkön siirtopalvelun hinta muodostuu sähkön siirrosta, sähkön kulutuksen mittauksesta ja taseselvityksestä. Sähkön siirrolla tarkoitetaan sähkön tuomista asiakkaalle sähköverkkojen kautta. Siirtomaksuilla katetaan sähköverkon ylläpito, käyttökustannukset ja investoinnit. Taseselvitys tarkoittaa eri sähkönmyyjien myymän sähköenergian määrän selvittämistä.

Sähkön siirtohinta muodostuu kuukausittaisesta kiinteästä perusmaksusta ja sähkön käytöstä riippuvaisesta maksusta. (Energiavirasto)

4.3 Maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä

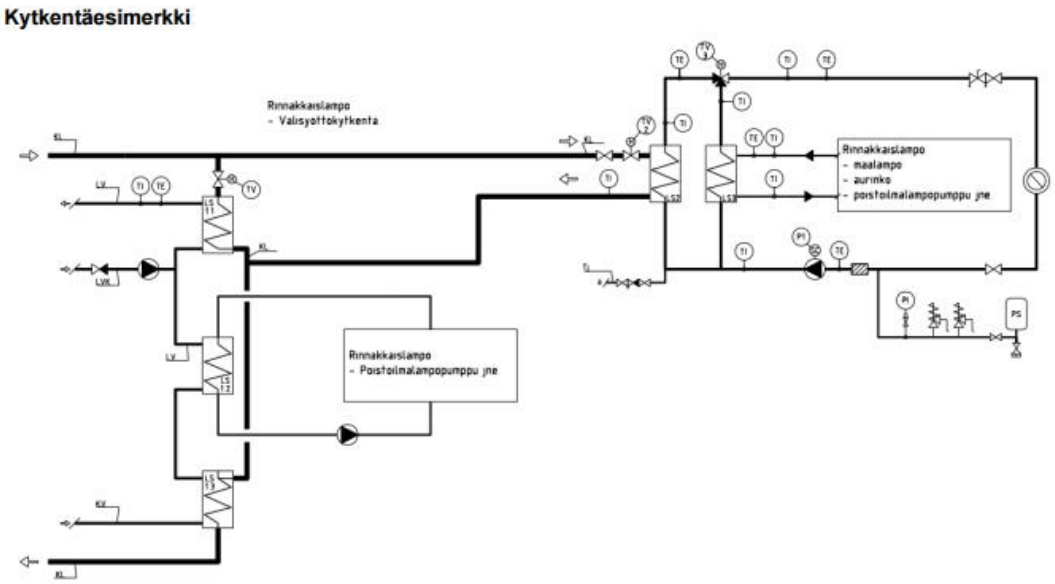
Sana hybridi liitetään usein ympäristöystävällisyyteen. Hybridi tarkoittaa yhdistelmää ja hybridilämmitys vähintään kahden eri energiamuodon yhdistelmää. Hybridilämmitys koostuu päälämmönlähteestä ja tätä tukevasta toissijaisesta lämmönlähteestä. Päälämmönlähteellä katetaan lämmitystarpeen huipputehot, mikä tarkoittaa, että päälämmönlähteenä oleva järjestelmä mitoitetaan siten, että se voi yksinään hoitaa kiinteistön lämmittämisen ilman toissijaista lämmönlähdettä. (Linden, T)

Taloudellisen hybridijärjestelmän perustana on energiavaraaja. Energiavaraajaan voidaan ladata energiaa myös silloin, kun sitä on edullisesti saatavilla. Varaaja antaa myös mahdollisuuden pitkittää esimerkiksi lämpöpumppujen käyntiaikoja, jolloin lämpöpumput toimivat taloudellisemmin ja niiden käyttöikä ei laske ylimääräisten uudelleenkäynnistymisten takia. (Linden, T)

4.3.1 Toimintaperiaate

Kaukolämpö toimii maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmässä päälämmönlähteenä. Sillä pystytään kattamaan kovimmilla pakkasilla tarvittavat lämmitystehontarpeet

taloudellisemmin. Maalämpöpumppu ei pysty toimimaan kovimmilla pakkasilla taloudellisesti, sillä sen hyötysuhde laskee mitä kovemmilla pakkasilla se joutuu toimimaan. Myös maalämpöpumpun käyttöikä pitenee, kun sen ei tarvitse toimia kovimmilla pakkasilla. Lähtökohtainen ajatus on se, että maalämpöpumpulla lämmitetään sen toimiessa hyvällä hyötysuhteella ja kaukolämpö tulee avuksi kovimmilla pakkasilla. Kuvassa 10 on esitetty kaukolämmön ja sitä tukevan rinnakkaislämmönlähteen esimerkkikytkentäperiaate. (Helen, Energiateollisuus, Linden, T)



KUVA 10. Kytkentäesimerkki kaukolämmön hybridikytkennästä (Helen)

4.3.2 Kaukolämpösiirtimien mitoitus hybridijärjestelmässä

Kaukolämpö täytyy mitoittaa hybridijärjestelmässä toimintavarmuutensa takia mitoitusulkolämpötilaa vastaavalle täydelle mitoitusteholle. Kiinteistön päälämmitysmuodoksi määritetään Ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä se lämmitysmuoto, joka kattaa kiinteistön tarvitseman lämmitystehon kokonaan. Lämmitysverkostoa palveleva siirrin mitoitetaan tästä syystä kiinteistön tarvitsemalle täydelle lämmitysteholle.

Hybridijärjestelmän rinnakkaislämmönlähde kytketään kaukolämpölaitteiston rinnalle rinnankytkennällä. Kytkentä tehdään niin, ettei lämmitysverkoston paluuvettä lämmitetä

ennen paluuveden virtausta kaukolämmön lämmönsiirtimelle. Paluuvettä ei lämmitetä ennen siirrintä, jotta esilämmitetty paluuvesi ei heikentäisi kaukolämmön jäähtyvyyttä.

Lämpimän käyttöveden siirtimet mitoitetaan lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaa vastaavalle täydelle teholle. Kytkentä suoritetaan siten, että siirtimelle virtaava 10 asteinen kylmä vesi jäähdyttää palaavan kaukolämpöveden 20 asteeseen. (Helen)

5 INVESTOINNIN ELINKAARITALOUSTARKASTELU

Rakennusten elinkaaren aikaisia investointeja tarkastellaan elinkaaritaloustarkastelun (LCE= Life Cycle Economics) avulla. Elinkaaritaloustarkastelun tavoitteena on selvittää, kuinka kannattava investointi on. Tarkastelussa selvitetään valitulla tarkasteluajanjaksolla investoinnin kannattavuus ja otetaan huomioon kaikki tarkastelujakson aikaiset tuotot ja kustannukset. Tarkasteluajanjaksona voidaan käyttää investoinnin elinkaaren pituutta.

Elinkaaritaloustarkasteluja tehdään, jotta saadaan tietoa päätöksentekoa varten. Investoinnin toteuttamisesta tehtävä päätös saa pohjaa tältä tarkastelulta. Elinkaarilaskennassa tarkastellaan eri tekijöiden vaikutusta investoinnin elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin. Nämä tekijät vaikuttavat myös hyötyihin ja tuottoihin. Suunnittelun alkuvaiheessa tehtävät elinkaaritarkastelut antavat kiinteistön omistajalle mahdollisuuden ohjata investoinnin suunnittelua, toteutusta ja ylläpitoa kustannustehokkaaseen ekologisesti kestävään suuntaan. (Juvela, J)

5.1 Investoinnin elinkaarikustannuslaskenta

Investoinnin elinkaarikustannuslaskennassa otetaan huomioon investoinnin elinkaaren aikaiset tuotot ja kustannukset. Kuvassa 11 on elinkaarikustannuslaskentapuu, josta selviää investoinnin elinkaaren aikaiset kustannusmahdollisuudet. Investoinnin kustannukset jakautuvat hankinta- ja ylläpitokustannuksiin. Nämä koostuvat useammista osista, ja

riippuen investoinnista, nämä kustannuksien osat ovat hyvin erisuuruisia tai olemattomia.(Juvela)

Kuva 11. Elinkaarikustannuspuu.

5.2 Diskonttaustekijä

Elinkaarikustannuslaskennassa on hankalinta tunnistaa investoinnin elinkaaren aikaiset tuotot ja kustannukset. Näille konkreettisen arvon saaminen ja arvioiminen on vaikeaa. Tuottoja ja kuluja ei voi verrata nykyhetkeen, sillä ne eivät ole vertailukelpoisia. Jotta vertailua voidaan tehdä nykyhetken kanssa, tuotot ja kulut täytyy diskontata. Diskonttauksella saadaan tulevaisuuden tuotto tai kulu vastaamaan reaaliarvoltaan samansuuruista rahasuoritusta. Inflaation vuoksi samansuuruinen rahasuoritus on arvokkaampi nykyhetkessä kuin vuosien päästä saatuna. Mitä pidemmälle nykyhetkestä mennään, sitä enemmän inflaatio rahasuoritukseen vaikuttaa. Diskonttauksen kannalta merkitseviä tekijöitä ovat aika ja korkokanta. Kaavalla 4 saadaan laskettua diskonttaustekijä.

$$dis_i = \frac{1}{(1+\frac{r}{100})^i} \tag{4}$$

,jossa r = Korko (%)
i = Nykyhetkestä laskettu aika kustannuksen toteutumavuoteen (a)

Laskentakorko, r voi olla joko nimellinen tai reaalinen. Nimelliskorko tarkoittaa lainan korkoa tai oman sijoituksen tuottovaadetta. Reaalikorossa huomioidaan inflaation vaikutus laskentakorkoon. Kaavalla 5 saadaan nimelliskorko muutettua reaalikoroksi.

$$r = \frac{i-f}{(1+f)} \tag{5}$$

,jossa r = Reaalikorko
i = Nimelliskorko
f = Inflaatio

Laskettaessa energiansäästölaskelmia, voidaan ottaa huomioon energian hinnan muutokset. Energian hinnan kallistuminen on nopeampaa kuin inflaation ja se voi muuttua myös nopeammin kuin inflaatio. Energian hinnan huomiointia laskentakorossa kutsutaan spesifiseksi inflaatioksi eli eskalaatioksi. Kaavan 6 avulla voidaan huomioida eskalaation vaikutus reaalikorossa.

$$r_e = \frac{i-e}{(1+e)} \tag{6}$$

,jossa r_e = Reaalikorko, jossa huomioitu eskalaation vaikutus
i = Nimelliskorko
e = Eskalaatio

Laskelmissa täytyy erottaa energiakustannukset muista kuluista, jos huomioidaan eskalaation vaikutus. (Juvela, J)

5.3 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmällä selvitetään, minkä ajan kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Kyseinen hetki saavutetaan, kun investoinnin tuotot ylittävät kustannukset. Takaisinmaksuajan menetelmä kuvaa paremmin investoinnin rahoitus- kuin kannattavuusvaikutusta, sillä menetelmä ei ota huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä tapahtumia. Menetelmän käyttö yksinään ei sovi hyvin esimerkiksi energiansäästöinvestointien

vertailuun edellä mainitusta syystä, mutta sitä voidaan käyttää tukemaan muiden menetelmien tuloksia.

Takaisinmaksuajan menetelmä on yleisesti käytössä helppoutensa takia. Takaisinmaksuaika on hankintameno per vuotuinen nettotuotto (kaava 7).

$$takaisinmaksuaika = \frac{perushankintakustannus}{vuotuinen\ nettotuotto} \quad (7)$$

Menetelmän ongelma on se, ettei se huomioi koron vaikutusta. Korollinen takaisinmaksuaika saadaan kuitenkin laskettua lisäämällä korko diskonttaustekijää käyttämällä, jolloin vuotuiset nettotuotot diskontataan investointiajankohtaan. Tällöin täytyy selvittää, kuinka monen vuoden diskontatut vuosituotot tarvitaan hankintamenon määrän kerryttämiseksi. (Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E)

Kaavalla 8 voidaan selvittää korollinen takaisinmaksuaika n, kun oletetaan investoinnin tuottojen pysyvän vakiona.

$$\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} * k = A \quad (8)$$

,jossa
i = laskennallinen korkokanta
n = takaisinmaksuaika
k = investoinnin vuotuinen tuotto
A = investoinnin hankintameno

5.4 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmän periaate on se, että muutetaan investoinnin vuotuiset kustannukset ja tuotot nykyhetkeen diskonttaamalla, jolloin niistä saadaan vertailukelpoisia investointikustannuksiin nähden. Kaavalla 9 havainnollistetaan, mistä kustannusten nykyarvo koostuu.

$$K_{NA} = R_N + H_N + KP_N - J_N \quad (9)$$

,jossa K_{NA} = kustannusten nykyarvo

R_N = investointikustannusten nykyarvo

H_N = määräaikaiskustannusten nykyarvo

KP_N = kunnossapitokustannusten nykyarvo

J_N = jäännösarvon nykyarvo

Kaavaan 10 on lisätty diskonttauskaava (kaava 4), jonka avulla saadaan selville kustannusten nykyarvo riippumatta siitä, kuinka kauas kustannus sijoittuu. (Juvela, J)

$$K_{NA} = \sum K_I * dis_i = \sum K_I * \frac{1}{(1+\frac{r}{100})^i} \quad (10)$$

,jossa K_{NA} = kustannusten nykyarvo

K_I = Kustannus vuonna i

6 LÄHTÖTIEDOT

6.1 Kohteet

Hybridijärjestelmän kannattavuustarkastelut tehtiin kahteen Hämeenlinnassa sijaitsevaan asuinkerrostalokohteeseen. Kohteissa suoritettiin verkoston lämpötilamittauksia noin viikon mittaisilla tarkasteluajanjaksoilla. Mittaukset suoritettiin 2016-2017 talven aikana ja tarkasteluajanjaksot valittiin siten, että ulkolämpötilat laskivat mahdollisimman alas. Mittaustuloksia ei käytetä suoraan tässä opinnäytetyössä, mutta niiden avulla on varmennettu saatujen kulutustietojen paikkansapitävyyttä. Kohteiden energiankulutustiedot saatiin Elenian palvelusta, josta oli mahdollisuus saada kulutustiedot tunnin tarkkuudella.

6.1.1 Pajamäenkatu 6

Pajamäenkadulla sijaitseva kohde on 1-portainen 33 asunnon asuinkerrostalo. Se on valmistunut vuonna 1985. Kerrostalon lämmitettävä pinta-ala on 1835 m^2, jonka lämmitys on tuotettu ennen saneerausta kaukolämmöllä. Hybridijärjestelmän käyttöönotto tehtiin joulukuussa vuonna 2016. Pajamäenkadun kaukolämmön kuukausikohtaiset kulutustiedot ennen saneerausta näkyvät taulukossa 1.

KL													
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2015	34,1	27,4	27,8	22,2	19	14,7	12,9	11,9	15,5	23,7	24,1	26,4	259,7
2016	40,8	27,7	28,5	21,8	13,4	11,5	10,1	11,9	15,2	24,6	29,1	20,2	254,8

Taulukko 1 : Pajamäenkatu 6 kaukolämmön kulutus ennen hybridijärjestelmään siirtymistä. (MWh)

Pajamäenkadulla porattiin viisi 290m syvää porakaivoa. Lämpöpumppuna kohteessa toimii Thermia MEGA L 14-54kW lämpöpumppu. Maalämpöpumpun tuottama lämmin käyttövesi varastoidaan kahteen käyttövesivaraajaan ja lämmitysverkostoon siirrettävä lämpö varastoidaan puskurivaraajan kautta.

6.1.2 Hätilänkatu 1-3

Hätilänkadulla sijaitseva kohde on valmistunut vuonna 1955. Kerrostalo on 5-portainen, johon kuuluu 71 asuntoa. Lämmitettävä pinta-ala on 2558 m^2, jonka lämmitys on tuotettu ennen saneerausta kaukolämmöllä. Hybridijärjestelmän käyttöönotto tehtiin syyskuussa vuonna 2016. Hätilänkadun kaukolämmön kuukausikohtaiset kulutustiedot ennen saneerausta näkyvät taulukossa 2.

KL													
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2014	106,9	71,9	69,1	50,5	37,3	27,8	17	21,2	32,8	57,2	68,8	83,3	643,8
2015	88,3	71,6	69,9	54,8	39,6	23,1	18,1	18	25,7	52,2	54,2	64	579,5
2016	110,2	70,3	69,9	50,3	24,8	19,9	16,7	16,4	10,7				

Taulukko 2 : Hätilänkatu 1-3 kaukolämmön kulutus enne hybridijärjestelmään siirtymistä. (MWh)

Hätilänkadun tontille porattiin 12 290 metriä syvää porakaivoa. Kohteessa on kaksi rinnan kytkettyä maalämpöpumppua. Isompi pumppu on Thermia Mega XL 21-84kW ja pienempi on Thermia Mega L 14-54kW. Maalämpöpumppujen tuottama lämmin käyttövesi varastoidaan neljään käyttövesivaraajaan ja lämmitysverkostoon siirrettävä lämpö varastoidaan puskurivaraajaan.

6.2 Tulosten selvittäminen

Kulutustietoja arvioitaessa on apuna käytetty Elenian palvelua, josta näkee tuntikohtaiset kulutustiedot niin kaukolämmön kuin lämpöpumppujenkin osalta. Kohteissa on suoritettu myös lämpötilamittauksia pinta-antureita hyödyntäen. Mittaukset tehtiin talven 2016 - 2017 aikana ja ne kestivät viikon. Mittaukset on suoritettu ulkolämpötilojen ollessa mahdollisimman alhaalla, jotta laitteiston energian kulutus on suurimmillaan. Lämpötilamittauksilla saadaan selville, milloin järjestelmä alkaa käyttämään kaukolämpöä patteriverkoston veden lämmittämiseen. Sillä saadaan selville myös suuntaa-antavat lämpötilat, joita sekä maalämpöpumppu että kaukolämmön siirtimet tuottavat lämpimän käyttöveden ja lämmitysverkoston lämmittämiseen.

Vuotuisia säästöjä laskettaessa täytyy ensin selvittää hybridijärjestelmän vuoden kaukolämmön kulutus ja maalämpöpumpun sähkönkulutus. Jotta tarvittavan energiankulutuksen saa selville, täytyy edellisvuosien lämmitysenergian kulutukset normittaa kuukausittain. Normitusta tehdessä täytyy kokonaisenergian kulutuksesta vähentää lämpimän käyttöveden osuus, sillä ulkolämpötilat eivät vaikuta käyttöveden kulutukseen. Lämpimän käyttöveden osuus arvioidaan edellisvuosien kesäkuukausien (kesä-, heinä- ja elokuu) kaukolämmön kulutuksen perusteella, sillä kesäkuukausien aikana kaukolämpöä kuluu vain lämpimään käyttöveteen. Käyttöveden lämmittämiseen kuluva lämmitysenergia kattaa lämpimän käyttöveden tuoton lisäksi lämpimän kiertoveden lämmittämisen kiertoveteen liittyvine kiertovesipattereineen.

Elenian palvelun avulla saadaan selville tuntikohtaiset kaukolämmön kulutustiedot, joiden avulla saadaan keskimääräinen kuukausikohtainen lämpimään käyttöveteen kuluva energiankulutus. Kaavalla 1 on tehty kuukausikohtainen energiankulutuksen normitus.

6.2.1 Pajamäenkatu 6

Taulukossa 3 näkyy Pajamäenkadun normitetut lämmitysenergian kulutukset kuukausittain ja niiden keskiarvot. Normitusta ei ole tehty kesäkuukausille (kesä-elokuu), sillä kaukolämmön kulutus ei ole riippuvainen ulkolämpötiloista kesäkuukausien aikana. Keskiarvoissa on huomioutu vain vuosien 2015 ja 2016 lämmitysenergian kulutukset, kun kohteen lämmitys tuotettiin kaukolämmöllä. Kesäkuukausien keskiarvojen perusteella on lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian määräksi saatu noin 12,2 MWh/kk.

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä
2015	**37,0**	**32,3**	**30,9**	**22,8**	**19,0**	**14,7**	**12,9**	**11,9**	**17,6**	**22,9**	**27,9**	**31,6**	281,4
2016	**34,7**	**31,7**	**30,4**	**22,3**	**13,4**	**11,5**	**10,1**	**11,9**	**16,2**	**23,7**	**28,3**	**25,8**	260,1
2017	**36,9**	**38,2**	**31,7**										
keskiarvo	**35,9**	**32,0**	**30,7**	**22,5**	**16,2**	**13,1**	**11,5**	**11,9**	**16,9**	**23,3**	**28,1**	**28,7**	**270,7**

Taulukko 3 : Pajamäenkatu 6 normitetut lämmitysenergian kulutukset (MWh).

Kun kuukausittaiset energiankulutukset saadaan selville, voidaan arvioida kaukolämmön kulutuksen ja maalämpöpumpun sähkön kulutuksen jakautuminen loppuvuodelle. Taulu-

kossa 4 näkyy vihreällä kaukolämmön arvioitu kulutus loppuvuodelle 2017. Arviot tehdään alkuvuoden 2017 ajalta, jolloin hybridijärjestelmä on ollut käytössä. Kaukolämmön kesäkuukausien kulutus arvioidaan alkuvuoden lämpimimpien päivien kulutusten avulla. Kun kaukolämpöä ei ole kulunut kuin käyttöveden lämmittämiseen, saadaan arvio kaukolämmön ja maalämpöpumpun sähkön kulutuksen suhteesta käyttöveden lämmittämiseen. Näin saadaan arviot kesäkuukausien kulutuksista. Lämpötilamittausten ja Elenian kulutusten seurantapalvelun perusteella kaukolämpöä alkaa kulumaan, kun ulkolämpötila laskee -5°C:seen. Kaukolämmön jäähtyminen halutaan pitää kaukolämpöyhtiön toimesta edes kohtalaisena, joten kytkentä on suoritettu siten, että kaukolämpöä kuluu jo ennen kovimpia pakkasia. Tämä näkyy kaukolämmön kulutuksessa useampana kuukautena.

Kaavalla 3 saadaan selville maalämpöpumpun COP-luku alkuvuoden osalta. COP-lukua hyödynnetään loppuvuoden maalämpöpumpun sähkön kulutusta arvioidessa, kun tiedetään suuntaa-antava kuukausikohtainen kaukolämmön kulutus. Alla on laskettu kaavalla 3 vuoden 2017 maaliskuun maalämpöpumpun COP-luku.

$$COP_{maaliskuu} = \frac{(31{,}7MWh - 7{,}7MWh)}{5{,}1MWh} = 4{,}7$$

Alkuvuoden toteutuneista COP-luvuista saadaan keskiarvo COP-luku 4,2. Tätä hyödynnetään loppuvuoden maalämpöpumpun sähkön kulutusta arvioitaessa. Alla on hyödynnetty kaavalla 3 laskettua COP-lukua, kun on laskettu vuoden 2017 syyskuun maalämpöpumpun sähkön kulutus.

$$W_{lp\ syyskuu} = \frac{(16{,}9MWh - 5{,}2MWh)}{4{,}2} = 2{,}785MWh$$

KL													
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2015	34,1	27,4	27,8	22,2	19	14,7	12,9	11,9	15,5	23,7	24,1	26,4	259,7
2016	40,8	27,7	28,5	21,8	13,4	11,5	10,1	11,9	15,2	24,6	29,1	20,2	254,8
2017	15,5	6,9	7,7	5,8	5,2	5	5	5	5,2	5,7	6,9	7,2	81,1

Taulukko 4: Pajamäenkatu 6 kaukolämmön kulutus (MWh)

Sähkö (kWh)													
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2017	4461	6763	5067	3785	2619	1929	1548	1643	2785	4193	5048	5112	45,0

Taulukko 5: Pajamäenkatu 6 maalämpöpumpun sähkön kulutus

Taulukoista 4 ja 5 nähdään, että Pajamäenkadun vuotuinen kaukolämmön kulutus on noin 81 MWh ja vuotuinen maalämpöpumpun sähkön kulutus on noin 45 MWh.

6.2.2 Hätilänkatu 1-3

Maalämpöpumpun sähkön kulutukset ja kaukolämmön kulutukset arvioidaan samalla tavalla kuin kohteessa Pajamäenkatu 6 (Kappale 6.2.1). Kesäkuukausien keskiarvojen perusteella on lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian määräksi saatu noin 19 MWh/kk. Taulukossa 6 on Hätilänkadun normitetut lämmitysenergian kulutukset. Taulukoissa 7 ja 8 on Hätilänkadun kaukolämmön kulutus ja maalämpöpumpun sähkön kulutus. Kulutustietoihin on käytetty maalämpöpumpun COP-lukua 3,3, joka on kohteen vuoden 2016 lopun ja vuoden 2017 alun keskiarvo. COP-luku on laskettu kaavalla 3.

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä
2014	**98,4**	**91,4**	**79,4**	**53,9**	**33,4**	**22,4**	**17,4**	**22,0**	**34,9**	**56,6**	**74,7**	**90,3**	674,7
2015	**97,6**	**88,6**	**80,0**	**56,9**	**36,4**	**23,1**	**18,1**	**18,0**	**29,9**	**49,9**	**65,3**	**80,3**	644,2
2016	**90,7**	**83,7**	**75,9**	**51,8**	**38,6**	**19,9**	**16,7**	**16,4**	**23,0**	**57,5**	**71,9**	**90,1**	636,2
2017	**102,3**	**98,7**	**83,6**										
keskiarvo	**95,6**	**87,9**	**78,4**	**54,2**	**36,1**	**21,8**	**17,4**	**18,8**	**29,3**	**54,7**	**70,7**	**86,9**	**651,7**

Taulukko 6 : Hätilänkatu 1-3 normitetut lämmitysenergian kulutukset (MWh)

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2014	106,9	71,9	69,1	50,5	37,3	27,8	17	21,2	32,8	57,2	68,8	83,3	643,8
2015	88,3	71,6	69,9	54,8	39,6	23,1	18,1	18	25,7	52,2	54,2	64	579,5
2016	110,2	70,3	69,9	50,3	24,8	19,9	16,7	16,4	10,7	11,2	11,8	10	422,2
2017	16,7	13,9	10	9,1	8,9	8,6	8,6	8,6	8,7	9	9,5	11	122,6

Taulukko 7 : Hätilänkatu 1-3 kaukolämmön kulutus (MWh).

Sähkö (kWh)													
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yhteensä (MWh)
2016										14927	18980	21629	
2017	23184	23024	19548	14397	8257	3998	2667	3087	6230	13840	18534	23010	159,8

Taulukko 8 : Hätilänkatu 1-3 maalämpöpumpun sähkön kulutus

Taulukoista 7 ja 8 nähdään, että Hätilänkadun vuotuinen kaukolämmön kulutus on noin 123 MWh ja vuotuinen maalämpöpumpun sähkön kulutus on noin 160 MWh.

7 ELINKAARILASKELMAT

7.1 Diskonttaus

Elinkaarikustannuslaskelmia varten tarvitsee tietää investoinnin vuotuiset säästöt ja investoinnin suuruus. Vuotuisia säästöjä laskettaessa käytetään taulukon 9 mukaisia korkoja. Korkojen avulla saadaan tehtyä diskonttaus (Kappale 5.2), jonka avulla saadaan vuotuiset säästöt selville.

Korot	
Inflaatio (%)	1,5
Nimelliskorko (%)	2
Sähkö eskalaatio, e (%)	2,1
Sähkö reaalikorko, re (%)	-0,10
Kaukolämpö eskalaatio, e (%)	2,5
Kaukolämpö reaalikorko, re (%)	-0,49
reaalikorko (%)	0,49

Taulukko 9 : Korot

7.2 Kohteiden lämmitysenergian kustannukset

Vuotuisten energiankulutusten lisäksi tarvitsee vuotuisia säästöjä laskiessa selvittää kaukolämmön ja sähkön hinnat. Kohteiden kaukolämmön ja sähkön hinnat on esitetty taulukoissa 10 ja 11. Kaukolämmön hinnoitteluperusteita muutettiin saneerauksien yhteydessä, joten hinnoissa on huomioitu kaukolämmön laskutusperusteet ennen ja jälkeen saneerauksien.

Sähkön hinnat	Pajamäenkatu 6	Hätilänkatu 1-3
Siirto (€/MWh)	21,66	21,66
Siirron perusmaksu (€/kk)	38,95	38,95
Siirron tehomaksu (€/kW)	2,02	2,02
Sähkövero (snt/kWh)	2,253	2,253
Energian hinta (snt/kWh)	4,1	3,64
ALV 24 %	24	24
Sähkön kulutukset	Pajamäenkatu 6	Hätilänkatu 1-3
Sähkön kulutus (lämpöpumput) MWh/a	45	160
Siirron tehomaksu (kW/a)	264	720
Siirron perusmaksu (€/a)	467	467
Sähkö lämpöpumput (€/a)	Pajamäenkatu 6	Hätilänkatu 1-3
Siirto (€)	975	3466
Siirron perusmaksu (€)	467	467
Siirron tehomaksu (€)	533	1454
Sähkövero (€)	1014	3605
Energia (€)	1845	5824
ALV 24 % (€)	1160	3556
Yhteensä (€)	**5994**	**18372**

Taulukko 10 : Kohteiden maalämpöpumppujen sähkön kustannukset, kulutukset ja hinnoitteluperusteet.

Kaukolämpö	Pajamäenkatu 6	Hätilänkatu 1-3	Pajamäenkatu 6 E	Hätilänkatu 1-3 E
Perusmaksu (€/kk)	168	652	435	1004
Energiamaksu (€/kk)	59,69	59,69	51,9	51,9
Kaukolämmön kulutus MWh/a	81	123	257	652
E = Ennen saneerausta				
Kaukolämpö (€/a)	Pajamäenkatu 6	Hätilänkatu 1-3	Pajamäenkatu 6 E	Hätilänkatu 1-3 E
Perusmaksu (€)	2016	7824	5220	12048
Energiamaksu (€)	4835	7342	13338	33839
ALV 24 % (€)	1644	3640	4454	11013
Yhteensä (€)	**8495**	**18806**	**23012**	**56900**

Taulukko 11 : Kohteiden kaukolämmön kustannukset, kulutukset ja hinnoitteluperusteet

7.3 Takaisinmaksuajan menetelmä

Kohteiden korolliset takaisinmaksuajat on laskettu kaavalla 8. Vuotuiset säästöt on saatu vähentämällä vuotuisista kaukolämmön kustannuksista arvioidut hybridijärjestelmän vuotuiset kustannukset. Laskuissa ei ole otettu kantaa energian hintojen kehitykseen eikä korjaus- tai uusimistarpeisiin. Laskuissa on käytetty laskennallisena korkona inflaation huomioivaa 0,05 prosenttia (taulukko 9).

7.3.1 Pajamäenkatu 6

Pajamäenkadun korollinen takaisinmaksuaika n saadaan seuraavasta yhtälöstä, joka on johdettu kaavasta 8.

$$n = \frac{-ln\left(\frac{1}{i} - \frac{A}{k}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$

Sijoitettaessa yllä olevaan kaavaan arvot, saadaan investoinnin takaisinmaksuajaksi,

$$\frac{-ln\left(\frac{1}{0{,}005} - \frac{259000}{19700}\right) - \ln(0{,}005)}{\ln(1+0{,}005)} \approx 13{,}6\ vuotta$$

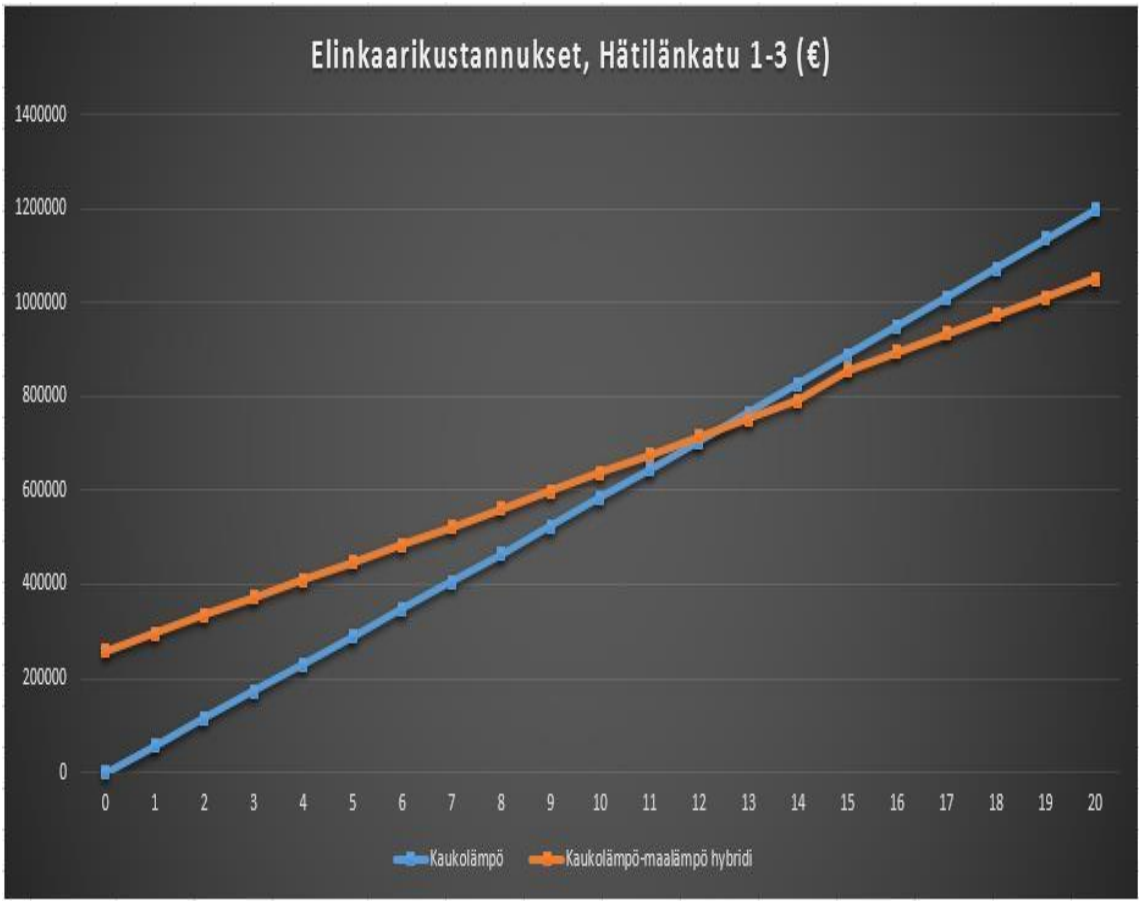
7.3.2 Hätilänkatu 1-3

Hätilänkadun korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kuten Pajamäenkadun, kaavalla 8. Investoinnin takaisinmaksuaika on

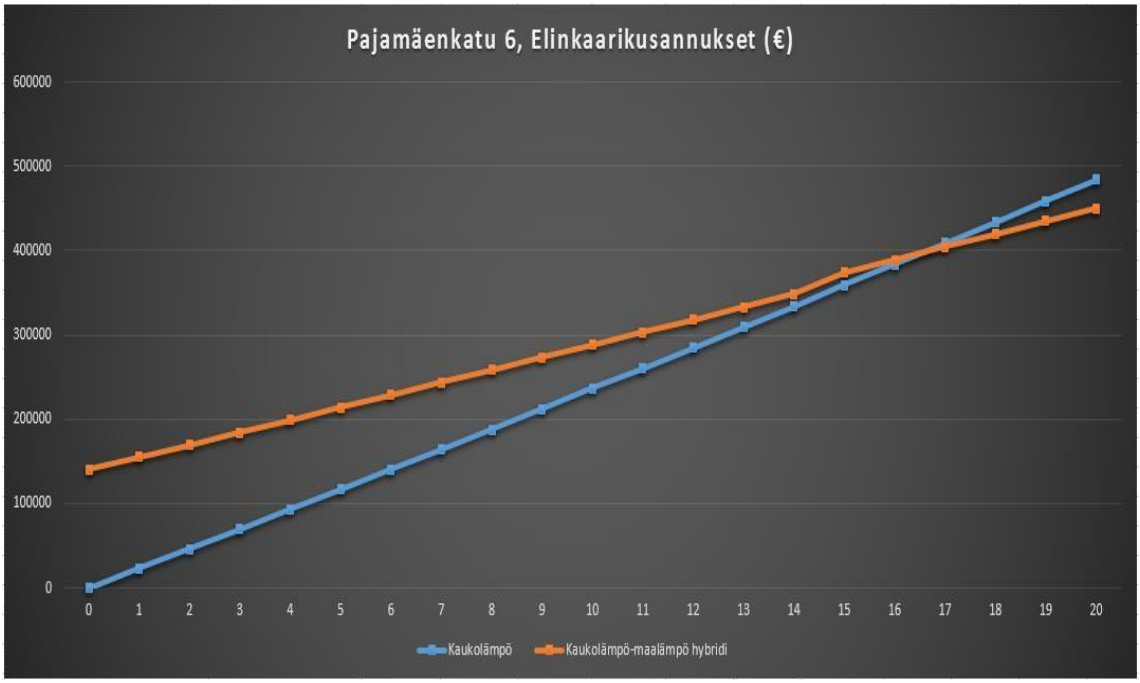
$$\frac{-ln\left(\frac{1}{0{,}005} - \frac{141000}{8500}\right) - \ln(0{,}005)}{\ln(1+0{,}005)} \approx 17{,}4\ vuotta$$

7.4 Elinkaarikustannukset

Kohteiden elinkaarikustannukset näkyvät kuvaajissa 2 ja 3. Tarkastelujaksona on käytetty 20 vuotta. Elinkaarikustannuksissa on huomioitu 15 vuoden päähän sijoittuva kompressorin uusiminen. Hätilänkadun kompressorien uusimiseen on arvioitu kuluvan noin 25000 € ja Pajamäenkadun kompressorin uusimiseen noin 10000 €. Kuvaajista 2 ja 3 nähdään, että Hätilänkadun lämmitysjärjestelmän saneerauksen takaisinmaksuaika on 13 vuotta ja Pajamäenkadun takaisinmaksuaika on 17 vuotta.



Kuvaaja 2: Hätilänkatu 1-3 elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana(€)

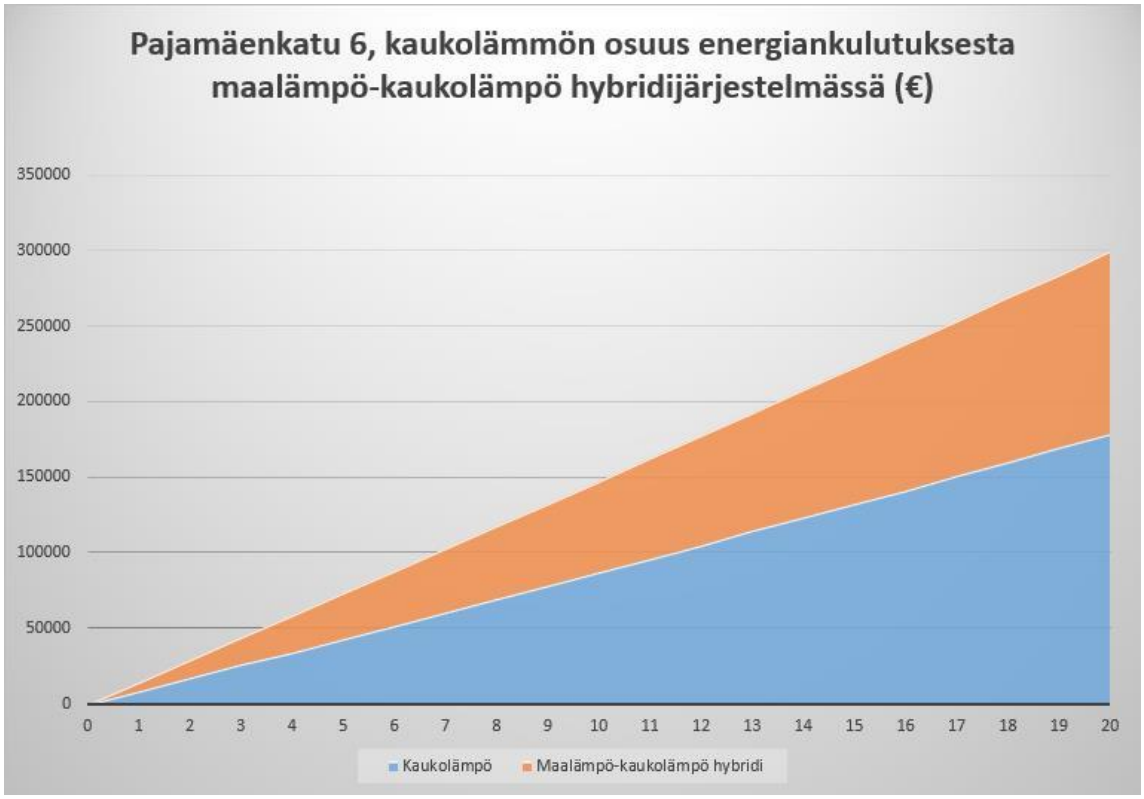


Kuvaaja 3 : Pajamäenkatu 6 elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana(€)

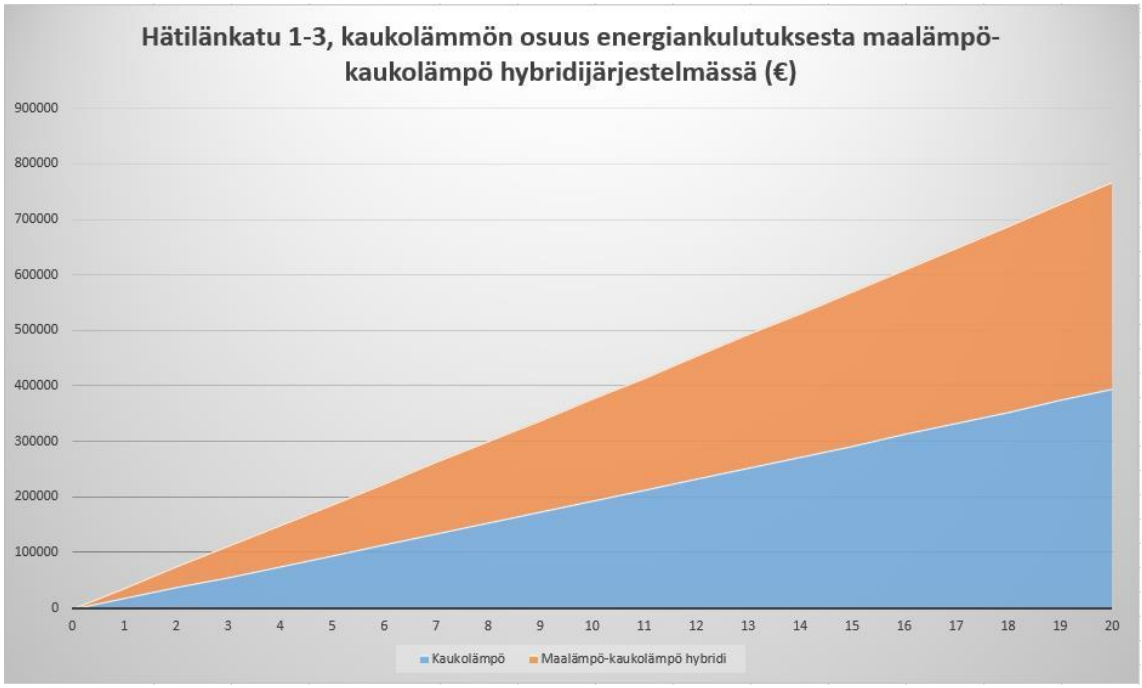
Nykyarvomenetelmällä saadaan selville kohteiden hybridijärjestelmillä saadut säästöt 20 vuoden ajalta. Hätilänkadulla säästöä kertyy noin 150000 euroa ja Pajamäenkadulla noin 34000 euroa.

7.5 Maalämpö-kaukolämpö hybridijärjestelmän energiankulutuksen jakautuminen

Maalämpö-kaukolämpö hybridijärjestelmän kulutuksen jakautuminen näkyy molempien kohteiden osalta kuvaajissa 4 ja 5. Kuvaajista näkyy, että 20 vuoden aikana Hätilänkadulla kaukolämpöön kuluu yli puolet koko järjestelmän energiaan menevistä kustannuksista. Pajamäenkadulla tilanne on kaukolämmön osuuden suhteen vieläkin suurempi.



Kuvaaja 4 : Pajamäenkatu 6 kaukolämmön kustannukset hybridijärjestelmässä 20 vuoden aikana(€)



Kuvaaja 5 : Hätilänkatu 1-3 kaukolämmön kustannukset hybridijärjestelmässä 20 vuoden aikana (€)

8 TULOSTEN TARKASTELU

Kohteiden elinkaarikustannuksia tarkastellessa saatiin selville, että Pajamäenkadulla takaisinmaksuaika on 17 vuotta ja Hätilänkadulla 13 vuotta. Laskuissa on huomioitu kompressorien uusimiset 15 vuoden päähän. Myös korollisen takaisinmaksuajan menetelmällä laskiessa päädyttiin samoille vuosille tarkastellessa investointien takaisinmaksuaikoja. Maalämpöpumpun teknisen käyttöiän ollessa noin 25 vuotta, on 17 vuoden takaisinmaksuaika pitkä ottaen huomioon yleisen korkotason alhaisuuden. Hätilänkadun hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika on lyhyempi, mutta kumpaankin näistä vaikuttavat paljon mm. laskentakorko ja kaukolämmön sekä sähkön hinta.

Pajamäenkadulla kertyy 20 vuodessa säästöä noin 34000 euroa ja Hätilänkadulla noin 150000 euroa. Säästöt alkavat kertyä, kun takaisinmaksuaika saavutetaan. Mitä pidemmäksi takaisinmaksuaika pitenee, sitä vähemmän säästöjä tarkasteluajanjaksona kertyy. Säästöjen kertyessä vasta noin 15 vuoden päästä, on niihin suhtauduttava varauksella. Ennustettavuus on vaikeampaa, mitä pidemmälle tulevaisuuteen mennään.

8.1 Korkojen vaikutus

Tulevaisuuden korkotasojen ennustaminen on mahdotonta. Mitä kauemmas tulevaisuuteen nykyhetkestä mennään, sitä haastavammaksi se tulee. Kaukolämmön ja sähkön hintojen muutos vaikuttaa oleellisesti takaisinmaksuaikoihin. Takaisinmaksuaikoja laskettaessa on käytetty taulukossa 9 esitettyjä korkoja. Laskentakoroissa on arvioitu, että kaukolämmön hinta nousee tulevaisuudessa hieman sähkön hintaa enemmän. Arvio perustuu viime vuosina kaukolämmön hinnan nopeampaan nousuun sähkön hintaan nähden. Nimelliskorko on pidetty sähkön hinnan korkoa vastaavana. Kaikissa koroissa on pyritty huomioimaan tulevaisuuden tuomien muutosten mahdolliset vaikutukset. Näistä lisää kappaleessa 9.1. Huomioitavaa on, että korot ovat vain arvioita ja niiden muuttaminen vaikuttaa oleellisesti investoinnin kannattavuuteen.

Mitä enemmän kaukolämmön hinta tulevaisuudessa suhteessa sähkön hintaan nousee, sitä edullisemmaksi investointi hybridijärjestelmään tulee. Vastaavasti jos sähkön hinta nousee kaukolämpöä enemmän, investoinnin kannattavuus heikentyy. Nimelliskoron nousu suhteessa energian hintoihin puolestaan heikentää investoinnin kannattavuutta entisestään. Eli mitä pienempi nimelliskorko on, ja mitä enemmän kaukolämmön hinta nousee suhteessa sähkön hintaan, sitä kannattavampi investointi on. Tämä perustuu siihen, että vanha järjestelmä toimii pelkällä kaukolämmöllä. Uusi hybridijärjestelmä käyttää toimiakseen vähemmän kaukolämpöä, mutta sähkön hinta tulee mukaan lämmityskustannuksiin.

8.2 Paikkakunnan vaikutus kannattavuuteen

Kaukolämpöä tarjoavat kaukolämpöyhtiöt toimivat kukin eripuolilla Suomea. Kappaleessa 4.1.4 kerrotaan kaukolämmön hinnoitteluperusteista ja hintoihin vaikuttavista tekijöistä. Hinnoitteluperusteet voivat vaihdella paikkakunnittain, ja vaikka perusteet olisivatkin samoja, niin kaukolämmön hinnat vaihtelevat hyvin paljon riippuen paikkakunnasta. Hinnoitteluperusteiden mahdollisesta vaihtelusta johtuen vertailu kaukolämmön hintojen välillä on tehty vuoden 2017 tammikuun kaukolämmön hintojen perusteella. (Energiateollisuus) Hämeenlinnan Elenia Oy:n hintaa on verrattu muutaman muun kaukolämpöyhtiön hintoihin taulukossa 12. Kun lasketaan suhde Elenia Oy:n ja toisen kaukolämpöyhtiön hinnan välillä, saadaan kerroin, jolla vuotuiset kaukolämmön kustannukset muuttuvat. Laskuissa on huomioitu kaukolämmön hinnat suurimpien hinnoittelukohteiden, noin 80 asunnon kerrostalojen mukaan.

		takaisinmaksu aika (a)	
KL Yhtiö	KL hinnan suhde Elenia Oy:n hintaan	Hätilänkatu 1-3 (13 a)	Pajamäentie 6 (17 a)
Tampereen sähkölaitos Oy	0,927	16	19
Helen Oy	0,82	20	23
Jyväskylän Energia Oy	0,906	17	20
Riihimäen kaukolämpö Oy	0,806	21	24

Taulukko 12: Kaukolämpöyhtiöiden hinnoittelun vaikutus takaisinmaksuaikaan suhteessa Hämeenlinnan Elenia Oy:n hintoihin.

Taulukosta nähdään, että takaisinmaksuaika kasvaa monella vuodella, kun investointia tehdään paikkakunnalla, jossa kaukolämmön hinta on huomattavasti edullisempi kuin Elenia Oy:n kaukolämmön hinta. Tämän perusteella on vähintäänkin kyseenalaista investoida hybridijärjestelmään kunnissa, joissa kaukolämpö on edullista. Tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, sillä kaukolämmön hinnoitteluperusteet saattavat vaihdella kunnittain. Laskuissa on huomioitu suuntaa antava kaukolämmön hinnan keskiarvo kunnittain.

Paikkakunnan vaikutus vaikuttaa kuitenkin kaukolämmön hinnan lisäksi myös sähkön hintaan. Kappaleessa 4.2.5 kerrotaan sähkön hinnoitteluperusteista. Paikkakuntien kaukolämpöyhtiöiden hinnat eivät ole suoraan verrannollisia keskenään, sillä siirryttäessä paikkakunnalta toiselle, niin myös sähkön hinnat muuttuvat. Sähkön energian hinnan voi kilpailuttaa jokainen itse, mutta sähkönsiirron hintaan ei voi vaikuttaa. Sähkönsiirron hinnat voivat vaihdella paikkakunnittain, mutta taulukon 12 tarkasteluissa on oletettu sähkön hinnan pysyvän samana.

8.3 Kohteiden vertailu

Hätilänkatu 1-3 ja Pajamäenkatu 6 ovat erikokoisia kerrostalokiinteistöjä. Investointien takaisinmaksuajoista voidaan huomata, että Pajamäenkadun investointi on heikompi suhteessa Hätilänkadun kohteeseen. Investointi on heikompi Pajamäenkadun osalta, vaikka laskelmissa on huomioitu Pajamäenkadulla käytettävän maalämpöpumpun COP-lukuna 4,2, kun Hätilänkadulla kyseinen luku oli 3,3. Eli laskuissa huomioitiin Pajamäenkadun maalämpöpumpun toimivan huomattavasti paremmalla hyötysuhteella kuin Hätilänkadun maalämpöpumppujen. Ero kannattavuuteen selittyykin kohteiden käyttöveden ja vuotuisen lämmitysenergian kulutuksella.

Vaikka käyttöveteen kuluva kaukolämmön osuus on Hätilänkadulla suurempi kuin Pajamäenkadulla suhteessa vuotuiseen lämmitysenergian kulutukseen, Pajamäenkadulla kuluu enemmän kaukolämpöä käyttöveden lämmittämiseen kuin Hätilänkadulla. Käyttöveden lämmittämisen osuus energiankulutuksessa on merkittävä, sillä lämmin käyttövesi täytyy lämmittää ympäri vuoden 58 asteiseksi. Mitä suurempi lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energiamäärä on suhteessa koko kiinteistön lämmitysenergian kulutukseen, sitä kannattamattomammaksi investointi tulee.

9 POHDINTA

Seuraavissa kappaleissa käsitellään työn tuloksiin vaikuttavia asioita. Tulokset osoittivat, että järjestelmässä on vielä kehitettävää. Kehitysehdotuksia ja järjestelmän ongelmakohtia on esitetty seuraavissa kappaleissa.

9.1 Energian hinnat tulevaisuudessa

Elinkaarilaskelmia tehdessä ja tuloksia tarkasteltaessa suuren vaikutuksen kannattavuuteen tekee energiahintojen muutokset eli laskelmissa käytettävät kaukolämmön ja sähkön tulevaisuuden hinnan nousut. Kaukolämmön hinta on noussut 2000-luvulla paljon ja sen ennustetaan nousevan myös jatkossa. EU:n asettamat päästökauppavaatimukset vaikuttavat kaukolämmön hintoihin tulevaisuudessa, sillä kaukolämmön tuotantoa täytyy uudistaa ympäristöystävällisempään suuntaan. Muutosten aiheuttamat kustannukset näkyvät kaukolämmön hinnan korotuksina kaukolämpöasiakkailla. Asiakas maksaa kaukolämmön perusmaksua, joka on hinnoiteltu tilausvesivirran mukaan. Perusmaksun suuruus on sama ympäri vuoden, vaikka kaukolämmön kulutusta ei olisi. Asiakkaan pitää siis hybridijärjestelmässäkin maksaa perusmaksuun perustuvassa hinnoittelussa kaukolämmöstä huomattavia summia. Kaukolämmön hintojen nousulla on kuitenkin vaikutusta muuallekin kuin asiakkaan kaukolämpölaskuun.

Kaukolämmön hinnan nousu tulevaisuudessa vaikuttaa myös sähkön hintaan. Maalämpö on yleistynyt lämmitysmuotona viime vuosina ja hybridijärjestelmät kiinnostavat ihmisiä myös paljon aiempaa enemmän. Kaukolämmön hinnan noustessa ja ajatus omavaraisemmasta energiantuotannosta johtavat siihen, että maalämpö lämmitysmuotona yleistyy tulevaisuudessa. Kun kaukolämpöyhtiöt menettävät asiakkaitaan, kaukolämmön hinta nousee yhtä kaukolämpöasiakasta kohti, sillä kaukolämpöverkoston ja -tuotannon ylläpito maksavat vähemmän asiakasta kohden mitä enemmän maksajia on. Tämä ajaa ihmisiä entisestään maalämpöpumppukaupoille.

Sähkön hinta koostuu energian hinnasta ja sähkönsiirron maksuista. Sähkön kulutuksen kasvaessa myös sähköverkon koko kasvaa. Tämä lisää kustannuksia sähkönsiirron hintoihin. Varsinkin paljon sähköä kuluttavat maalämpöpumput voivat aiheuttaa sähkön hin-

nan nousun. Kysymys sähkön riittävyydestä tulee myös aiheelliseksi. Huipputehoja tarvittaessa sähkön riittävyys ei ole tulevaisuudessa lainkaan varmaa, mikäli muutoksia ei tehdä ja sähkön kulutus kasvaa entisestään.

Sähkön ja kaukolämmön hinnan nousujen vertailu on siis arpapeliä. Kun toisen hinta kasvaa, sen vaikutus näkyy myös toisen energian hinnassa. Lisäksi on mahdotonta sanoa, onko kaukolämpöyhtiöillä hinnoissaan laskemisen varaa. Hintoja pidetään sillä tasolla, että kaukolämmön tuotanto olisi mahdollisimman kannattavaa. On siis mahdollista, että kaukolämpöyhtiöt laskevat hintojaan mikäli tilanne sitä vaatii.

Avoin kilpailutilanne on hyvä asia, mutta on sanomattakin selvää, että nykynäkymillä tarvitaan jatkossakin molempia energiamuotoja.

9.2 Hybridijärjestelmän kehittäminen

Kannattavuustarkasteluja tehdessä kävi ilmi, että kaukolämpö-maalämpö hybridijärjestelmästä ei saa niin suurta taloudellista hyötyä kuin olisi ehkä mahdollista. Kiinteistön päälämmitysmuotona kaukolämmön siirtimet mitoitetaan niin, että ne pystyvät yksinään kattamaan koko kiinteistön mitoitusulkolämpötilaa vastaavan täyden mitoitustehon. Täyden mitoitustehon tarve on kuitenkin vain noin 5 % koko vuoden lämmitysenergian tarpeesta.

Kaukolämpöverkostossa kiertää koko ajan kiinteistöjen lämmittämiseen soveltuva lämmin vesi, jota kaukolämpölaitokset tuottavat. Verkoston piirissä olevien asiakkaiden kiinteistöjen siirtimet on mitoitettu niin, että kiinteistöjen koko lämmitys toteutettaisiin kaukolämmöllä, vaikka todellisuudessa kaukolämmöllä lämmitettäisiin vain pieni osa kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta. Tämä johtaa siihen, että kaukolämmön jäähtymä heikentyy. Jäähtymän heikentyminen vaikuttaa suoraan kaukolämmön tuottamisen hyötysuhteeseen ja siksi kaukolämpöyhtiöt tarkkailevat asiakkaiden kaukolämmön jäähtymää. Kaukolämpö-maalämpö hybridijärjestelmässä tämä tarkoittaa sitä, että alun perin huipputehon tarpeita varten käytössä ollut kaukolämpö joutuu toimimaan myös silloin, kun maalämpöpumppu voisi toimia yksinäänkin. Tämä vaikuttaa suoraan kaukolämmön kustannuksiin eikä maalämpöpumpulla tuotettavaa lämpöenergiaa pystytä hyödyntämään parhaalla mahdollisella tavalla.

Ongelmaksi muodostuu myös se, että saman kaukolämpöverkoston piirissä olevat asiakkaat tarvitsevat kaikki kovilla pakkasilla paljon kaukolämpöä samaan aikaan. Tätä on lähdetty parantamaan kaukolämpöverkostoon asennettavilla kaukolämpöakuilla. Kaukolämpöakut parantavat kaukolämpölaitosten energiatehokkuutta ja kaukolämmön toimitusvarmuutta asiakkaalle. Kaukolämpölaitokset pystyvät tuottamaan lämpöä tasaisemmin, minkä takia energiantuotanto on tehokkaampaa. Akkuun varastoitunutta lämpöä voidaan hyödyntää silloin kuin kulutus on suurempi.

Kaukolämpöakkujen sijoitus kaukolämpöverkoston puolelle ei vaikuta kiinteistöjen kaukolämpösiirtimien kokoon ja sitä kautta kaukolämmön perusmaksuun. Jos akkuja voitaisiin sijoittaa asiakkaan puolelle, kaukolämpösiirtimien kokoa voitaisiin pienentää siten, ettei siirtimiä tarvitsisi mitoittaa kattamaan mitoitusulkolämpötilaa vastaavaa täyttä mitoitustehoa. Akkuun voitaisi tuottaa lämpöä tasaisemmin ja akkuun varastoitunutta lämpöä voitaisiin käyttää silloin kuin kulutus sitä vaatii. Järjestelmä toimisi siis samalla periaatteella kuin kaukolämpöverkoston piirissä olevat akut.

9.3 Loppuyhteenveto

Kuten tulokset osoittavat, uusi hybridijärjestelmä kuluttaa edelleen kaukolämpöä merkittävän määrän. Syitä tämän taustalla on mm. kaukolämmön jäähtyvyys ja paikallisen kaukolämpöyhtiön noudattama kytkentäperiaate. Myös käyttöveden lämmittämiseen kuluva energiamäärä vaikuttaa merkittävästi kaukolämmön kulutukseen. Nämä asiat täytyisi selvittää jo ennen hankkeeseen ryhtymistä, kun arvioidaan hybridijärjestelmän kannattavuutta.

Maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä on varteenotettava vaihtoehto, kun tietyt ehdot toteutuvat. Mitä korkeampi kaukolämmön hinta on, sitä enemmän investoinnilla saadaan säästöjä aikaan. Hybridijärjestelmässä täytyy kuitenkin huomioida kaukolämmön kulutuksen suuruus. Pelkästään korkea kaukolämmön hinta ei takaa, että investointi on kannattava. Jos kaukolämpöä kuluu tuntuvia määriä hybridijärjestelmässä kytkentäperiaatteesta tai kaukolämpöyhtiön pyynnöstä johtuen, investoinnin kannattavuus heikke-

nee merkittävästi. Hybridijärjestelmä säästää etenkin kiinteistön lämmityskustannuksissa, sillä lämmitysverkostossa kiertävää vettä voidaan lämmittää edullisesti maalämpöpumpun toimiessa hyvällä hyötysuhteella. Tilanne muuttuu kovimmilla pakkasilla, jolloin verkoston menoveden lämpötilat nousevat korkeiksi. Eli mitä lämpimämpää vettä verkostoon menee suhteessa ulkoilman lämpötilaan, sitä heikommalla hyötysuhteella järjestelmä toimii. Käyttövettä täytyy lämmittää ympäri vuoden 58 asteiseksi, mikä vaikuttaa jo järjestelmän hyötysuhteeseen. Tästä syystä hybridijärjestelmä sopii paremmin kohteisiin, joissa käyttöveden lämmittämiseen kuluva energiamäärä on mahdollisimman pieni suhteessa tilojen lämmittämiseen kuluvaan energiamäärään. Oletuksena on, että sisäilman lämpötilat ovat samoja yhdessä lämmitysverkoston mitoituslämpötilojen sekä maaperästä saatavan ilmaisenergian kanssa.

Suunnitteluvaiheessa olisi hyvä ottaa selvää paikallisen kaukolämpöyhtiön kanta hybridijärjestelmään ja selvittää hyväksyttävä kytkentäperiaate. Tällöin saataisiin selville jo etukäteen todenmukaiset energiankulutukset. Kuten tulokset osoittivat, mitä enemmän kaukolämpöä kului, sitä kannattamattomammaksi hybridijärjestelmä tulee. Tämä vääristää takaisinmaksuaikoja, jos arviot on tehty aliarvioimalla kaukolämmön kulutus hybridijärjestelmässä. Lisäksi maalämmön tuottama osuus pienenee suunnitellusta, minkä takia on mahdollista, että maalämpöpumput on mitoitettu liian suuriksi todenmukaiseen käyttöön nähden. Tämä kaikki tuo lisäkustannuksia ja heikentää hybridijärjestelmän kannattavuutta.

LÄHTEET

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

Energiateollisuus. Asiakkaan kaukolämpölaitteet. Luettu 25.9.2016
http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/asiakkaan-kaukolampolaitteet

Energiateollisuus.Kaukolämmitys. Luettu 25.9.2016
http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys

Energiateollisuus. Kaukolämpöverkko. Luettu 26.9.2016
http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukolampoverkko

Energiateollisuus. Kaukolämmön hintatilasto. Luettu 15.4.2017
https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html

Energiateollisuus. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/2013. Luettu 15.3.2017
https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Energiavirasto. Sähkönhinnan osatekijät. Luettu 1.6.2017
https://www.energiavirasto.fi/sahkonhinnan-osatekijat

Energiavirasto. Sähkön hinta. Luettu 1.6.2017
https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hinta

Helen. Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. 10.4.2015. Luettu 20.4.2017
https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf

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

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

Linden, T. Hybridilämmitys. Kaukomarkkinat Oy.
http://www.sulpu.fi/documents/184029/1300198/10.%20Mik%C3%A4%20on%20Hybridil%C3%A4mmitys,%20Tero%20Linden.pdf

LVI-ohjekortti LVI 01-10424, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Luettu 10.7.2017

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 3.10.2012. Luettu 7.3.2017
http://www.ym.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757

Motiva. Kaukolämmön hinta. Luettu 5.2.2017
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta

Motiva. Kulutuksen normitus, Laskentakaavat ja –ohjeet. Luettu 17.4.2017
https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_-ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf

Motiva. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Luettu 4.7.2017
https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Motiva. Lämmöntuotto, kaukolämpö. Luettu 5.2.2017
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammontuotto_kaukolampo

Motiva. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput 2012. Luettu 20.5.2017
https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Motiva. Vesimaksut. Luettu 4.7.2017
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/vesimaksut

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2005. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Rakennusteollisuus RT ry. Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus. Luettu 5.7.2017
https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausrakentaminen-ja-energiatehokkuus/

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

Tilastokeskus. Asunto-osakeyhtiöiden talous. Liitetaulukko 1. Tuloslaskelma, kaikki asunto-osakeyhtiöt 2015. Luettu 4.7.2017
http://www.stat.fi/til/asyta/2015/asyta_2015_2016-09-12_tau_001_fi.html

Tilastokeskus. Asunto-osakeyhtiöiden talous. Liitekuvio 1. Kerrostaloyhtiöiden kulujen rakenne vuonna 2015, prosenttia kokonaiskuluista. Luettu 4.7.2017
http://www.stat.fi/til/asyta/2015/asyta_2015_2016-09-12_kuv_001_fi.html

Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy

Ympäristöministeriö. Energiatehokkuus huomioon luvanvaraisessa korjausrakentamisessa. Luettu 5.7.2017
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess(3871)