



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

ILKKA PESSI
MAALÄMPÖPUMPPUJEN YLEISTYMISEN VAIKUTUKSET
ENERGIAYHTIÖSSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Tarkastaja ja aihe hyväksytty

4. lokakuuta 2017

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

PESSI, ILKKA: Lämpöpumppujen yleistymisen vaikutukset energiayhtiössä

Diplomityö, 76 sivua, 3 liitesivua

Marraskuu 2017

Pääaine: Tuotekehitys

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Avainsanat: Maalämpö, Kaukolämpö, Energiatehokkuus, Kannattavuus, Tuoteprofilointi, Skenaariot

Maalämpöpumppujen oletetaan yleistyvän asuinrakennusten ensisijaisena lämmitysmuotona tulevaisuudessa. Niiden oletetaan myös valtaavan markkinaosuutta kaukolämmitykseltä asuinrakennusten lämmitysmuotona. Tässä työssä tutkitaan maalämpöpumppujen yleistymisen vaikutuksia energiayhtiön eri toimintojen kannalta. Valitut toiminnot ovat kaukolämpö ja sähköverkkotoiminta.

Teoriaosuus sisältää tietoa asuintalojen energiantarpeen muodostumisesta, työhön liittyvistä lämmitysmuodoista (maalämpö, kaukolämpö ja öljylämmitys), tulevaisuuden ennustamisen skenaarioteoriaa ja kannattavuuslaskennan yleisiä menetelmiä.

Työssä laadittiin ennustus maalämpöjärjestelmien yleistymiselle kaukolämpötoiminnan korvaajana. Ennustus jaettiin kahteen skenaarioon, hitaaseen ja nopeaan. Skenaarion laadinnan jälkeen tutkittiin niiden vaikutuksia energiayhtiön näkökulmasta soveltaen lämmitysjärjestelmien ja kannattavuuslaskennan teoriaosuutta. Tuloksena saatiin arviot kaukolämmön myynnin vähenemisestä ja maalämmön sähkönkulutuksen lisäyksestä sekä energia- että rahamääräisesti. Myös primäärienergiankulutuksen muutosta tarkasteltiin.

Saatujen arvioiden perusteella tarkasteltiin energiayhtiön mahdollisia toimenpiteitä tulevaisuudessa. Tässä yhteydessä laadittiin kannattavuuslaskenta maalämpöjärjestelmälle kaukolämmön korvaajana asiakkaan näkökulmasta. Lisäksi pohdittiin mahdollisen maalämpöliiketoiminnan aloittamisen järkevyyttä energiayhtiön näkökulmasta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information Technology

PESSI, ILKKA: The effects of increased use of geothermal heat pumps from the perspective of energy company

Master of Science Thesis, 76 pages, 3 Appendix pages

November 2017

Major: Product Development

Examiner: Professor Asko Ellman

Keywords: Geothermal heat pump, District heating, Energy efficiency, profitability, product profile, Scenarios

Geothermal heat pumps are expected to gain more popularity as a primary heat source for residences in the future. Geothermal heat pumps are also expected to take over some of the market share from district heating. The subject of research in this thesis is the effects on the energy company from the generalization of geothermal heat pumps. The main focus is on the district heating and electric network departments of the energy company.

The theory section of this thesis consists of information on the formation of energy consumption of residence heating, the study's heating forms (geothermal heating, district heating and oil heating), scenario theory and profitability methods.

A prediction was made for the generalization of geothermal heat pump heating as the replacement of district heating. The prediction was split in to two scenarios, slow and fast one. After the scenario was made a study on its effects on the energy company's viewpoint was made applying the theory of the heat systems and profitability methods. As a result estimations were made on the decreasing of the sale of district heating and increasing of geothermal heating's electric consumption, both in energy and money. Also the primary energy consumption of the prediction was laid out.

As a reaction of the thesis's predictions results an examination of the possible actions of the energy company was made. Also a profitability analysis was made for geothermal heat pumps as a replacement of district heating. A study on the energy company's possible future geothermal heating business was made.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiön rahoittamana ja työn aihe saatiin Tampereen Sähkölaitokselta. Työn aihepiiri oli itselleni suurelta osin täysin uusi ja näin ollen työn tekeminen oli erittäin sivistävä kokemus.

Työni ei olisi valmistunut ilman muiden apua, joten haluaisin kiittää seuraavia henkilöitä. Kiitän professori Asko Ellmania työni tarkastamisesta ja ohjaamisesta. Erityisesti haluan kiittää Tampereen sähkölaitos Oy:n Mika Pekkistä työni mielenkiintoisesta aiheesta, lukuisista neuvoista, ohjeistuksista ja äärimmäisestä kärsivällisyydestä. Kiitokset kuuluvat myös Pasi Muuriselle opastuksesta ja työhuoneensa jakamisesta. Kaikille muille Tampereen Sähkölaitos Oy:n työn suunnitteluun ja työhön liittyviin kokouksiin osallistuneille henkilöille. Myös Tampereen Kaukolämpö Oy:lle tietokantojen käyttömahdollisuudesta.

Tampereella 19.10.2017

Ilkka Pessi

SISÄLLYS

Tiivistelmä	II
Abstract	III
Alkusanat	IV
Termit ja niiden määritelmät.....	VIII
1. Johdanto	1
1.1. Lähtökohdat.....	1
1.1.1. Lämpöpumput Suomessa	2
1.1.2. Öljylämmityksestä maalämpöön.....	7
1.2. Tutkimusongelmat ja tavoitteet.....	7
1.2.1. Aiheen rajaus.....	8
1.3. Rakenne.....	8
2. Asiakasryhmien tulevaisuuden energiatarpeet.....	9
2.1. Asiakasryhmät.....	9
2.2. Nykyinen lämmityksen energia- ja tehotarve	9
2.2.1. Markkinaosuudet.....	9
2.3. Energiatehokkuus	14
2.3.1. Tulevaisuuden energiatehokkuusvaatimukset.....	16
2.3.2. Energiatehokkuusluokat	18
2.4. Ilmastonmuutos	20
2.5. Väestönkasvu ja asutuskuntien koon muutos	20
2.6. Rakennuskanta	23
2.7. Tulevaisuuden teknologiat	24
2.7.1. Aurinkoenergia.....	24
2.7.2. Kaukojäähdytys.....	25
2.7.3. Pientuulivoima	25
2.8. Yhteenveto lämmitysenergian tarpeen muutoksesta	27
2.8.1. Ennustamisen epävarmuustekijät.....	27
3. Lämmitysmuodot	28
3.1. Maalämpö.....	28
3.1.1. Toiminta	28
3.1.2. Lämpökerroin.....	29
3.1.3. Mitoitusaste	30
3.1.4. Lisälämmitys	31
3.2. Kaukolämpö	32
3.2.1. Lämmönjakelu.....	32
3.2.2. Asiakkaan lämmönjako.....	32
3.2.3. Lämmöntarve ja risteily	32
3.3. Öljylämmitys.....	33
3.4. Primäärienergia	33
3.4.1. Kaukolämmön primäärienergiakertoimen laskenta	34

3.4.2.	Maalämmön primäärienergiakertoimen laskenta.....	35
3.5.	Johtopäätökset.....	35
4.	Skenaariot.....	36
4.1.	Tulevaisuudentutkimus	36
4.2.	Skenaariot.....	36
4.2.1.	Suodatinmalli	37
4.3.	Johtopäätökset.....	39
5.	Kannattavuus.....	40
5.1.	Kannattavuuslaskenta.....	40
5.2.	Menetelmät.....	40
5.2.1.	Nykyarvomenetelmä	40
5.2.2.	Annuiteettimenetelmä	41
5.2.3.	Sisäisen korkokannan menetelmä	41
5.2.4.	Pääoman tuottoastemenetelmä	42
5.2.5.	Takaisinmaksuajan menetelmä	42
5.3.	Herkkyysanalyysi.....	43
5.4.	Laadullinen analyysi	44
5.5.	Johtopäätökset.....	45
6.	Muutoskenaariot	46
6.1.	Skenaarioiden kuvaus.....	46
6.1.1.	Markkinaosuudet.....	46
6.2.	Laskentatyökalu	47
6.2.1.	Välilehdet	47
6.2.2.	Laskenta	48
6.2.3.	Laskennasta pois jäävät tekijät.....	48
6.3.	Skenaarioiden vaikutukset kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta	49
6.4.	Skenaarioiden vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan näkökulmasta	51
6.4.1.	Energiamäärät	51
6.4.2.	Sähköverkon huipputeho.....	52
6.5.	Skenaarioiden vaikutus primäärienergiankulutukseen.....	53
6.6.	Johtopäätökset.....	54
6.6.1.	Kaukolämpötoiminta.....	55
6.6.2.	Sähköverkkotoiminta	55
6.6.3.	Sähköteho	55
6.6.4.	Primäärienergia	56
7.	Energiayhtiön reaktiot maalämpöpumpun lisääntymiseen	57
7.1.	Maalämpö osaksi liiketoimintaa	57
7.1.1.	Kilpailukykylaskenta.....	57
7.1.2.	Lähtötiedot	58
7.1.3.	Takaisinmaksuaika.....	59
7.1.4.	Herkkyystarkastelu.....	61
7.2.	Sähkökulutuksen huiput	63

7.3. Laadullinen analyysi	64
7.4. Johtopäätökset.....	64
8. Yhteenveto	65
Lähteet.....	66
Liitteet	70
Liite 1: Oletukset.....	71
Liite 2: Laskennan lähtöarvot.....	72
Liite 3: Lukujen 6 ja 7 kaavat.....	73

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Asuntokunta	Samassa asunnossa vakinaisesti asuvien henkilöiden lukumäärä
Ekotehokkuus	Ekotehokkuudella tarkoitetaan sitä, että vähemmästä tuotetaan enemmän ympäristöä säästäen.
Hybridiauto	Auto, jossa on käytössä sekä sähkömoottori että polttomoottori.
Ilmalämpöpumppu	Lämpöpumppu, jonka avulla rakennuksen lämpötilaa kontrolloidaan siirtämällä lämpöä ulkoilmasta sisäilmaan ja tarvittaessa päinvastoin sisäilman jäähdyttämiseksi.
Ilma-vesilämpöpumppu	Lämpöpumppu, jolla lämmitetään vettä ulkoilmasta saadun lämpöenergian avulla.
Lämpökerroin (COP)	Lämpökerroin eli COP (coefficient of performance) on lämpötehon suhde sähkötehoon.
Lämpöpumppu	Laite, jonka avulla siirretään lämpöenergiaa kohteesta toiseen
Lämpötase	Lämmönkulutuksen ja -saannin kuvaus jossain kokonaisuudessa kuten rakennuksessa.
Maalämpöpumppu	Lämpöpumppu, jonka avulla hyödynnetään maaperään tai vesistöön varastoitunutta auringon lämpöenergiaa.
Mitoitusaste	Lämpöpumpun mitoitusaste ilmoittaa, kuinka suuren osuuden rakennuksen mitoitetusta maksimilämmitystehosta lämpöpumppu kykenee tuottamaan.
Poistoilmalämpöpumppu	Lämpöpumppu, joka ottaa lämpöenergiansa rakennuksesta poistettavasta ilmasta.
Primäärienergia	Primäärienergia tarkoittaa energiaa, joka ei ole ollut muuntamis- tai muuntumisprosessin kohteena.

Primäärienergiatarkastelu	Primäärienergiatarkastelu tarkoittaa sitä, että eri energiamuotojen kulutus muunnetaan öljykvivalenttikulutusta vastaavaksi.
Sähköauto	Auto, joka toimii sähkömoottorilla.
Tariffi	Tariffi tarkoittaa jonkun tahon, kuten järjestön, yhdistyksen tai yrityksen, laatimaa hinnastoa jostain tuotteesta tai palvelusta.
Tilausvesivirta (TVV)	Asiakkaan lämmönsiirtimien läpi kiertävä kaukolämpöveden maksimivirtaus.
Uusiutumaton energia	Energia, joka otetaan ehtyvästä lähteestä, esimerkiksi fossiiliset polttoaineet.
Uusiutuva energia	Energia, joka otetaan ehtymättömästä lähteestä, esimerkiksi aurinkoenergia.

1. JOHDANTO

1.1. Lähtökohdat

Lämpöpumput ovat alkaneet kiinnostaa yhä useampia kotitalouksia, ja niiden asentaminen uusiin ja remontoitaviin kiinteistöihin on lisääntymässä. Lämpöpumpuista erityisesti maalämpöpumppu koetaan hyväksi lämmitysratkaisuksi, koska sillä voidaan kattaa kokonaan tai lähes kokonaan rakennuksen lämmitystarve jopa Suomen kylmissä olosuhteissa. Syitä maalämpöpumppujen kasvavaan suosioon on useita. Maalämpöpumppu koetaan mahdollisesti edullisempänä lämmitystapana verrattuna muihin lämmitysmuotoihin, koska suuri osa käytetystä energiasta saadaan auringon lämmittämästä maaperästä tai vesistöistä, eli se on maksutonta. Maalämpö koetaan ympäristöystävällisemmäksi kuin useat muut lämmitysmuodot, koska sen tuottama energia on pääosin uusiutuvaa. Lisäksi maalämmön houkuttelevuutta lisää sen tuoma rakennuksen jäähtymismahdollisuus. Myös mahdollisimman suuren energiatehokkuuden tavoittelu on merkittävässä roolissa. Syitä tähän ovat esimerkiksi lisääntynyt huoli ilmastonmuutoksesta, öljyn hinnan jatkuva nousu ja sen tarjonnan väheneminen tulevaisuudessa.

Samaan aikaan kun lämpöpumput parantavat kilpailuasemaansa, kaukolämmön kilpailuasemalle on tulossa heikennyksiä. Energiaverotus on korkea varsinkin fossiilisten polttoaineiden kohdalla, jotka ovat usein kaukolämmön energianlähteenä. Tämä vaikuttaa suoraan korottavasti kaukolämmön hintaan loppuasiakkaalle. Lisäksi kaukolämpöä ei ole saatavissa kaikilla alueilla, ja sen saatavuusalueen laajentaminen on energiayhtiön näkökulmasta usein varsinkin pientaloalueille kannattamaton sijoitus. Nämä seikat ovat synnyttäneet tarpeen energiayhtiöille kartoittaa tilannetta muuttuvassa liiketoimintaympäristössä.

Tämän työn lähtökohtana on tarve määritellä lämpöpumppujen, erityisesti maalämpöpumppujen, lisääntymisen vaikutukset energiayhtiön toiminnan kannalta. Työ tehdään yhteistyössä Tampereen Sähkölaitos Oy:n kanssa. Tarkoituksena on luoda tulevaisuuden ennusteita ja mahdollisia niihin reagoivia toimintamalleja päätösten tueksi. Ennusteissa tarkastellaan lämpöpumppujen yleistymistä, niiden kilpailukykyä markkinaosuudesta kaukolämmön kanssa, primäärienergian kulutusta, sähkön siirron ja erityisesti siirrossa muodostuvien talvikuormitushuippujen kasvua, sähkönmyyntipotentiaalin kasvua sekä asiakasryhmien kehitystä ja asiakkaan vaihtoehtoja. Toimintamalleissa huomioidaan energiayhtiön kokonaispalveluliiketoiminnan mahdollisuudet ja tuotteistuksen näkökulmat. Tarkoitus on luoda erilaisia muutosskenaarioita, joissa tietyt määrät nykyisestä kaukolämmön markkinaosuudesta siirtyvät maalämpöratkaisuihin. Pääpainona työssä ovat nykyiset

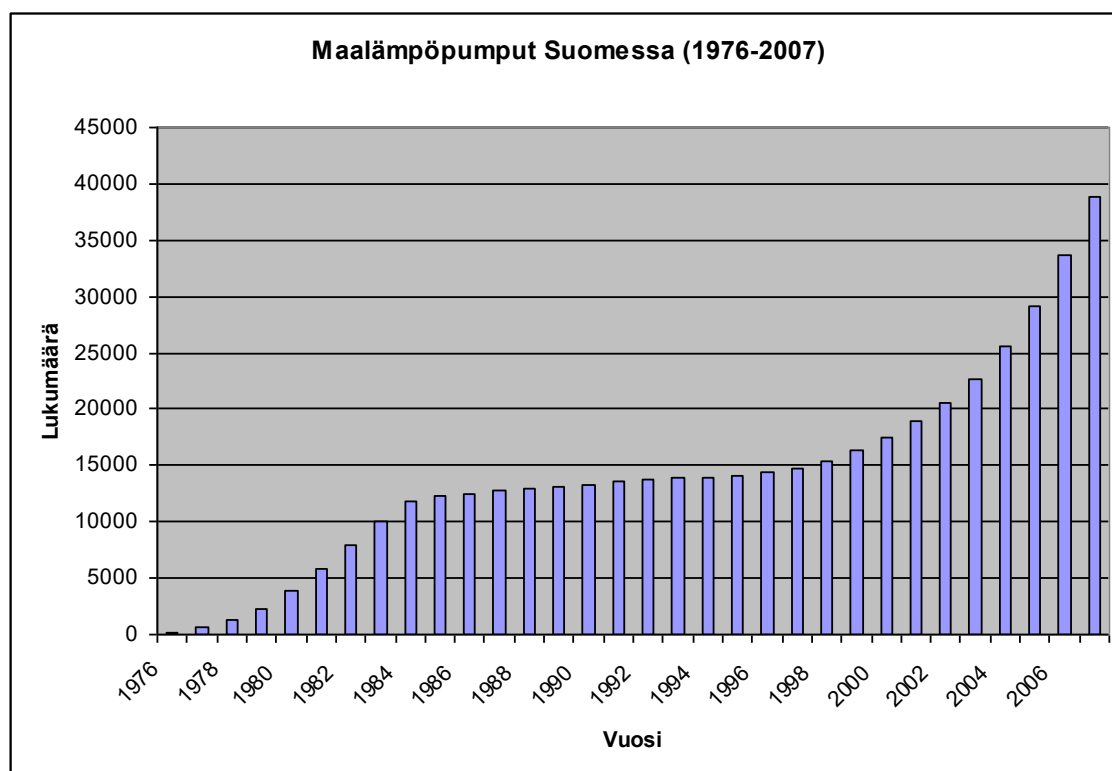
kaukolämmitysasiakkaat ja heidän mahdollinen siirtymisensä maalämpöjärjestelmän käyttäjiksi. Työssä valittu tarkasteluajanjakso on vuodesta 2010 vuoteen 2040.

1.1.1. Lämpöpumput Suomessa

Tässä alaluvussa esitellään lämpöpumppujen esiintyvyyttä Suomessa. Tarkoituksena on luoda lukijalle käsitys niin maalämpöpumppujen kuin muidenkin lämpöpumppujen yleistymisen kehityksestä 1970-luvun puolivälistä nykypäivään.

Seuraavat taulukot on laadittu Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry:n internetsivuilta löytyvien tilastotietojen pohjalta. Työn aihearajaus huomioiden tarkastellaan aluksi maalämpöä, mutta lisäksi rinnalle on valittu taustatietoja myös muista lämpöpumpputyypeistä ja lämpöpumpuista yleensä.

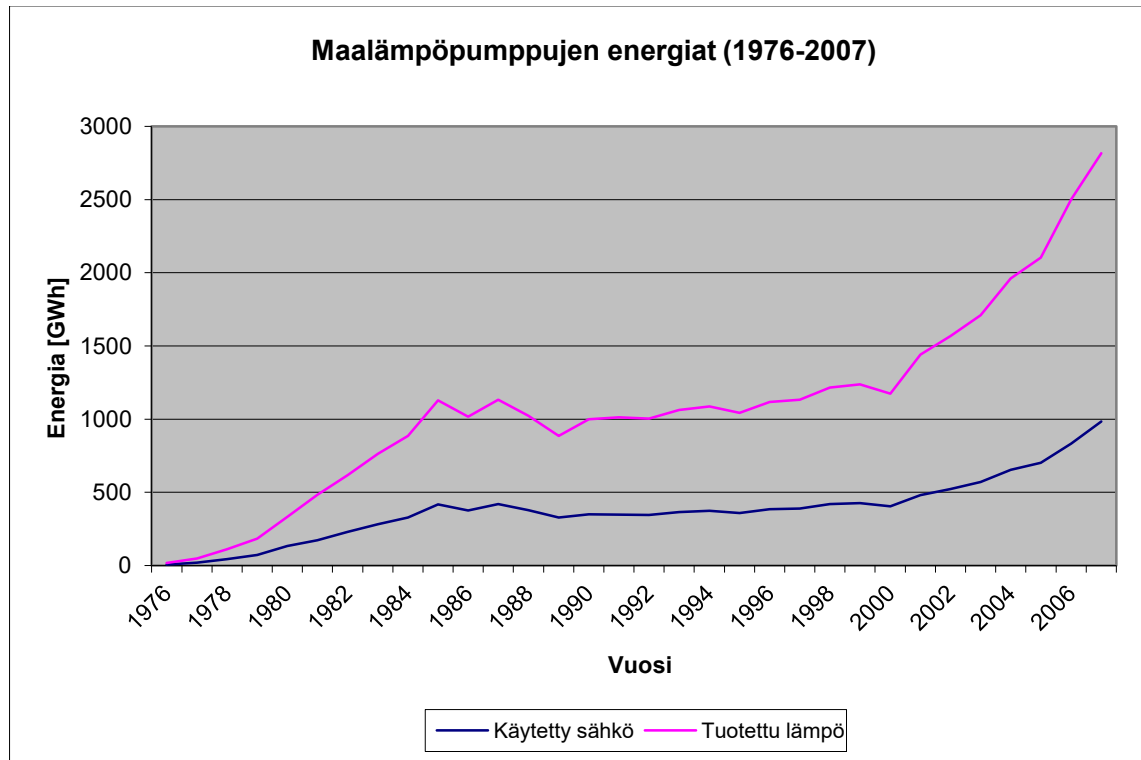
Kuvassa 1.1 on esitetty Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry:n tilastoimat maalämpöpumppujen lukumäärät Suomessa vuodesta 1976 vuoteen 2007 saakka. 1970-luvun lopulla alkanut maalämpöpumppujen yleistymisen tasaantui 1980-luvun puolivälissä ja 2000-luvun alussa voidaan huomata kasvun taas kiihtyvän radikaalisti.



Kuva 1.1 Maalämpöpumppujen lisääntyminen Suomessa

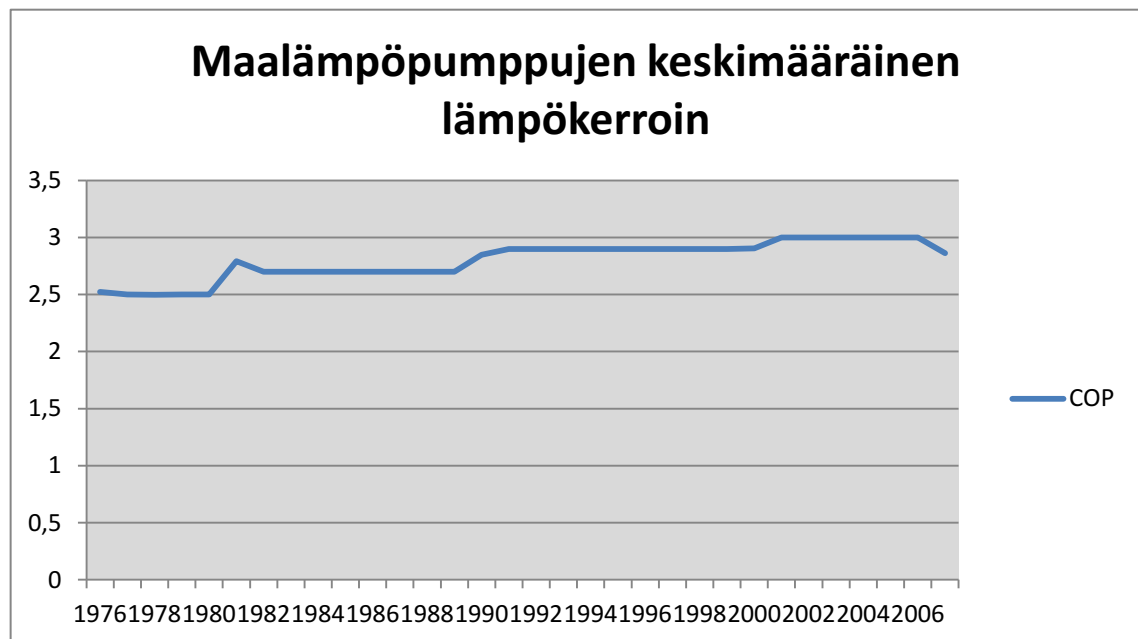
Lämpöpumppujen lisääntyminen Suomessa alkoi 1970-luvun loppupuoliskolla niin sanotun öljykriisin jälkeen. Alkuun kiihtyvästi kasvava lämpöpumppujen lisääntyminen tasaantui kuitenkin 1980-luvulla lämpöpumppulämmityksessä ilmenneiden laatuongelmien vuoksi. 1990-luvun lopulla alkanut lämpöpumppujen lisääntymisen uusi kasvu saattaa olla merkki siitä, että aikanaan ilmenneistä ongelmista on opittu, ja laitteistot koetaan nykyään luotettavammiksi ja laadukkaammiksi. (Aittomäki 2001, s.22)

Kuvassa 1.2 on kuvattu maalämpöpumppujen käyttämä sähköenergian määrä sekä niillä tuotetun lämpöenergian määrä. Tässä kuvassa voidaan havaita sama kehityskaari lämpöpumppujen lisääntyessä Suomessa kuin kuvassa 1.1. Lisäksi kuvan 1.2 tiedoista on johdettavissa maalämpöpumppujen keskimääräinen lämpökerroin eli lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian suhde käytettyyn sähköenergiaan Suomessa. Tämä on esitelty seuraavassa kuvassa.



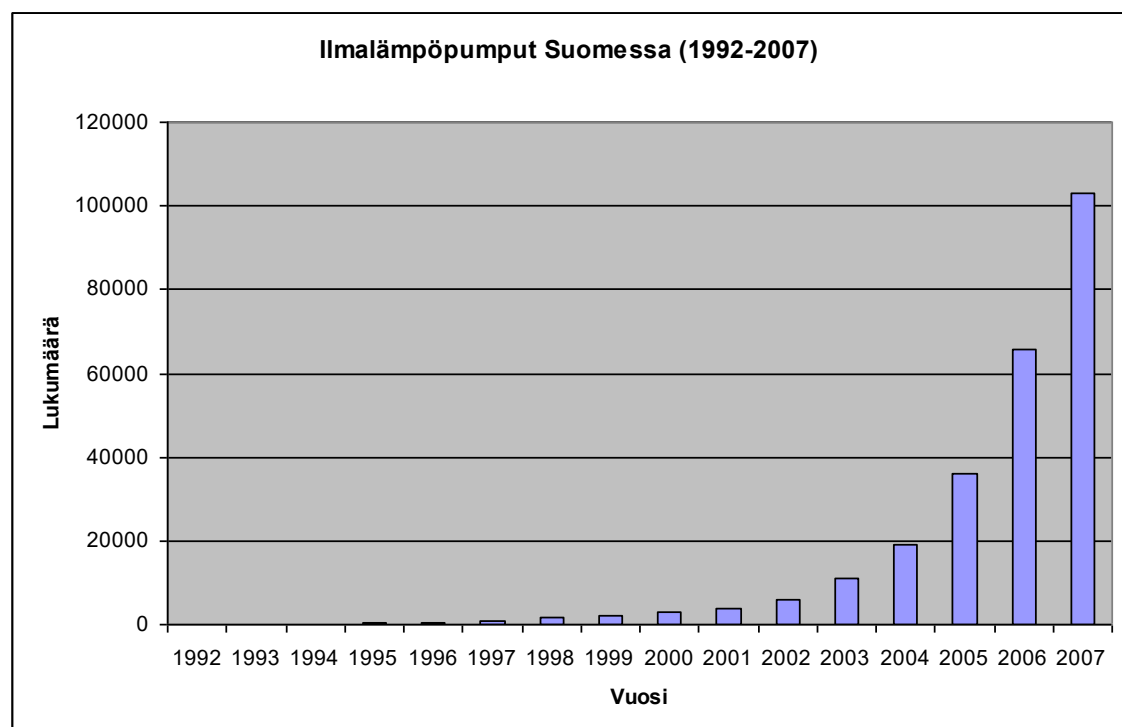
Kuva 1.2 Maalämpöpumppujen energiamäärät

Kuvassa 1.3 on johdettu kuvassa 1.2 esiintyneiden tietojen pohjalta keskimääräinen vuositason lämpökerroin Suomen maalämpöpumpuille. Tarkasteluaikavälinä on vuodesta 1976 vuoteen 2007. Kaikkien näiden vuosien lämpökertoimien keskiarvo on noin 2,8 minimiarvon ollessa 2,5 ja maksimiarvon 3.



Kuva 1.3 Maalämpöpumppujen keskimääräinen lämpökerroin Suomessa

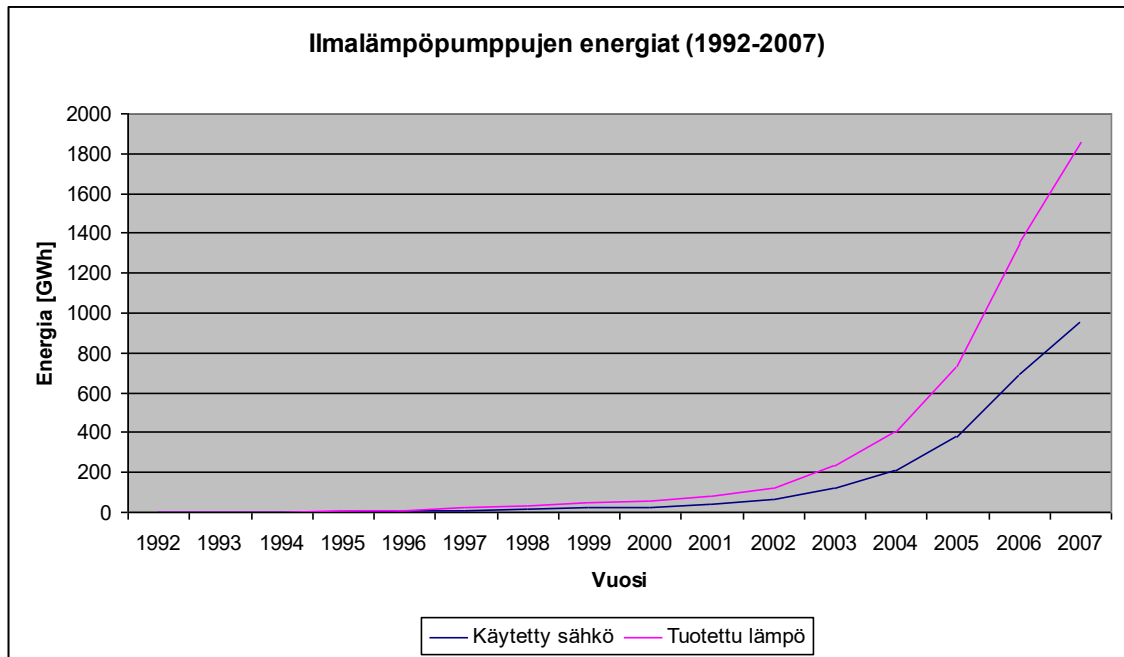
Ilmalämpöpumppujen käyttö Suomessa alkoi maalämpöpumppuja myöhemmin 1990-luvulla. Kuvasta 1.4 on havaittavissa kuinka 1990-luvun ilmalämpöpumppujen vaatimattomista lukumääristä on siirrytty lähihistorian erittäin voimakkaaseen kasvuun.



Kuva 1.4 Ilmalämpöpumppujen lukumäärät Suomessa

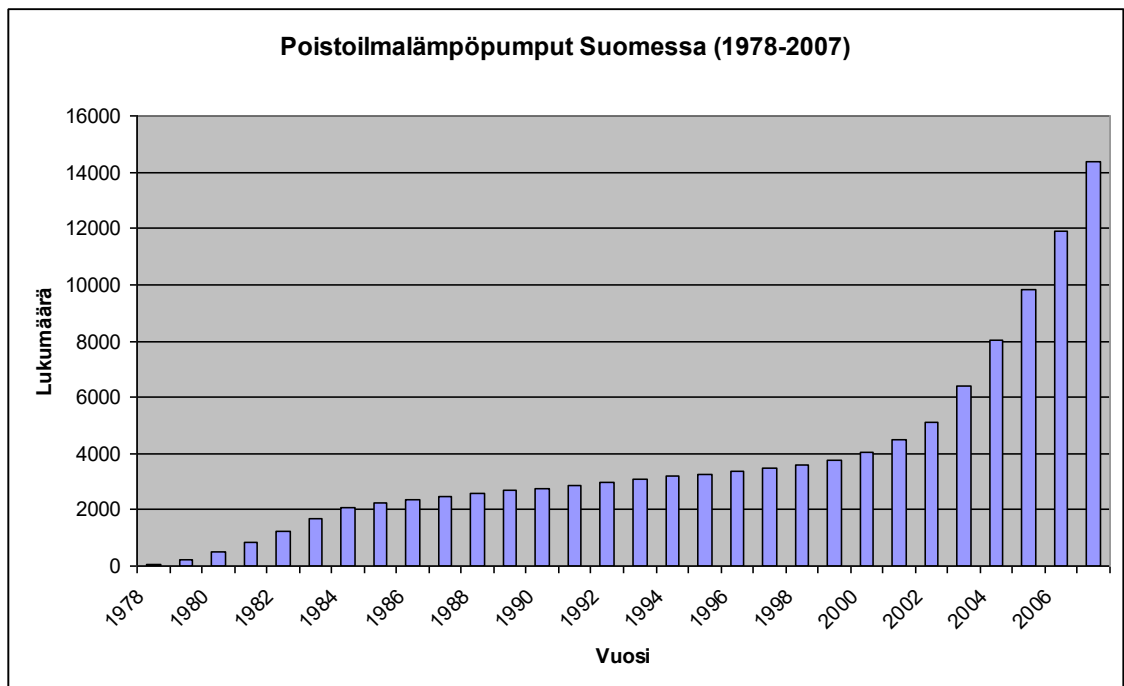
Kuvassa 1.5 nähdään myös ilmalämpöpumpuilla tuotetun lämpöenergian määrässä samantyyppistä kasvua kuin kuvan 1.4 lukumäärissä. Kuvasta 1.5 havaitaan ilmalämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian suhteen olevan pienempi kuin maalämpöpumpulla. Myös ilmalämpöpumppujen teholuokan voidaan

todeta kuvien 1.4 ja 1.5 perusteella olevan huomattavasti pienempi kuin maalämmöllä. Vaikka ilmalämpöpumppujen lukumäärät Suomessa ovat suuremmat kuin maalämpöpumppujen, ei sama päde energiamääriä tarkasteltaessa.

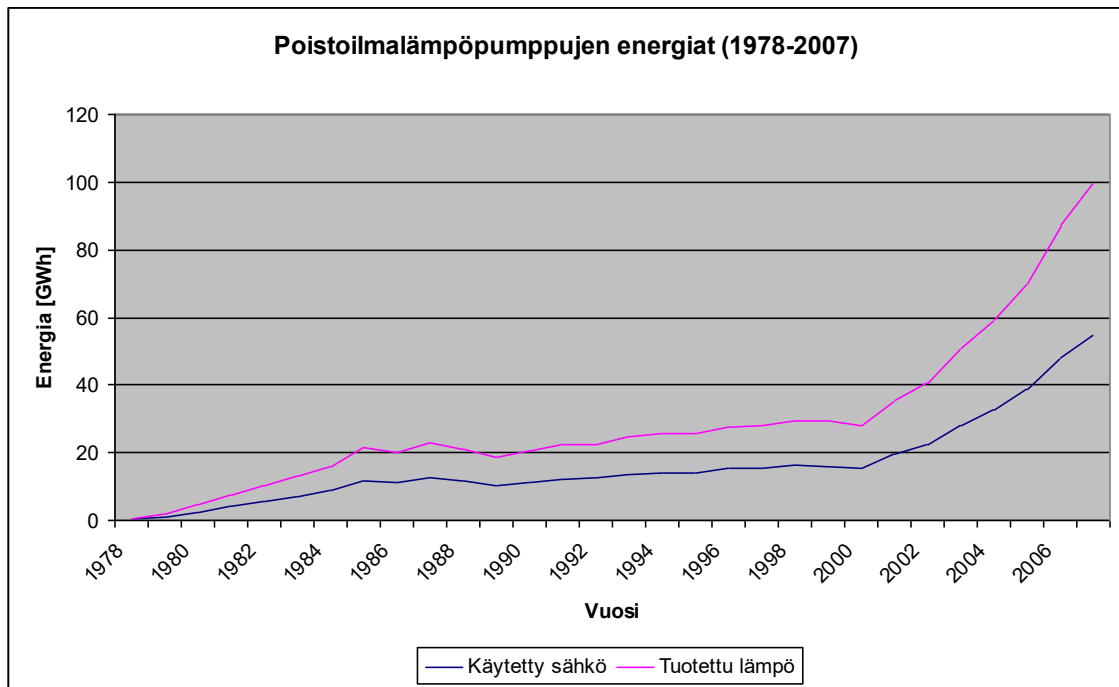


Kuva 1.5 Ilmalämpöpumppujen energiamäärät

Poistoilmalämpöpumppujen lisääntyminen Suomessa seuraa samantyyppistä kehityskaarta kuin maalämpöpumppujen, joskin lukumäärät ovat pienempiä. Kuvassa 1.6 on esitetty poistoilmalämpöpumppujen lukumäärät Suomessa ja kuvassa 1.7 vastaavasti poistoilmalämpöpumppujen energiamäärät.

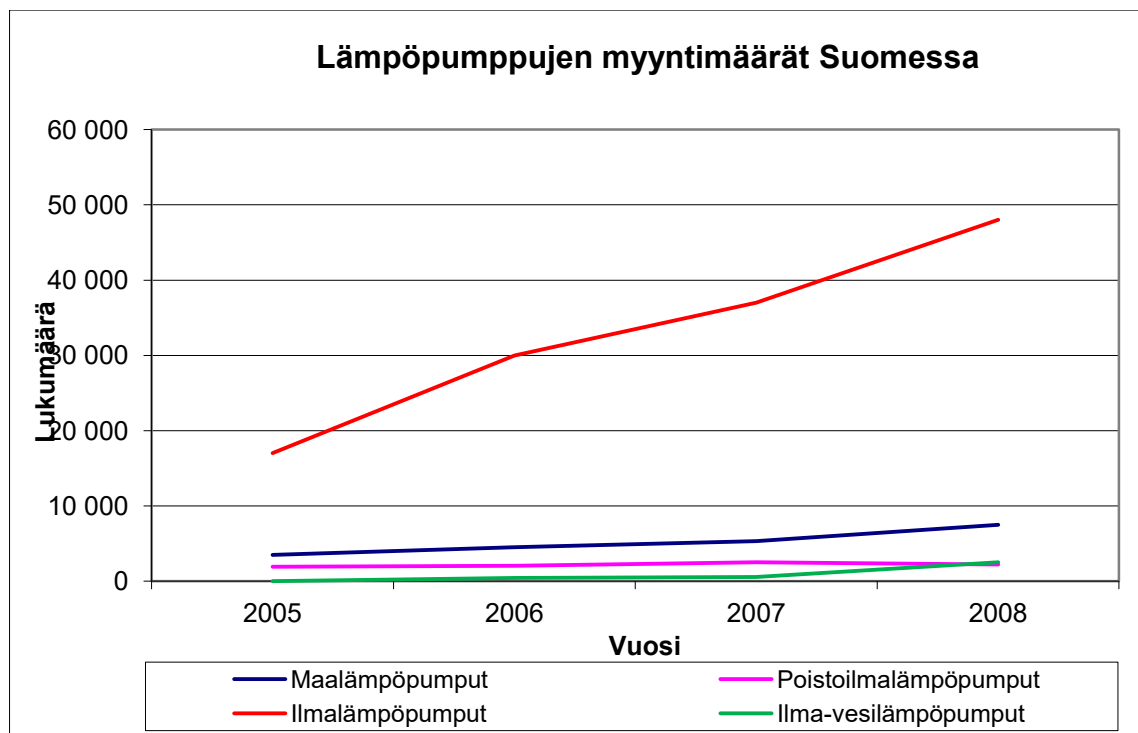


Kuva 1.6 Poistoilmalämpöpumppujen lukumäärät Suomessa



Kuva 1.7 Poistoilmalämpöpumppujen energiamäärät

Kuvassa 1.8 on esitetty eri lämpöpumpputyypin myyntimäärät Suomessa vuodesta 2005 vuoteen 2008. Lukumäärällisesti ilmalämpöpumput edustavat suosituinta lämpöpumpputyyppeä.



Kuva 1.8 Lämpöpumppujen myyntimäärät Suomessa (Motiva Oy)

1.1.2. Öljylämmityksestä maalämpöön

Työn tarkastelukohteeksi on valittu ensisijaisesti markkinaosuuden siirtymät kaukolämpölämmityksestä maalämpöön, mutta sähkönsiirron tehohuippujen kannalta merkittävää on ottaa huomioon myös markkinaosuuden siirtymät öljylämmityksestä maalämpöön. Öljylämmitteisessä rakennuksessa maalämmitykseen siirtyminen on houkuttelevaa esimerkiksi öljyn hinnan nousun ja rakennuksessa jo valmiiksi olevan vesikierron vuoksi (Tuunanen 2009 s.56).

1.2. Tutkimusongelmat, työn tavoitteet ja aiheen rajaus

Työn lähtökohtien perusteella voidaan muodostaa työlle kaksi pääongelmaa, jotka muodostuvat useista alaongelmista. Ensimmäinen pääongelmista on se, mitkä ovat lämpöpumppujen yleistymisen vaikutukset energiayhtiön kannalta.

Ongelman selvittämiseksi tarvitaan tietoa asiakkaiden tulevista energiatarpeista. Tähän taas vaikuttavat asiakasryhmien kehitysnäkymät ja se, kuinka paljon asiakkaat tulevat käyttämään tulevaisuudessa energiaa lämmitykseen. Nykyisen rakennuskannan lisäksi energiatarpeen muodostumiseen vaikuttavat uusi rakennuskanta ja sille asetetut määräykset. Myös rakennuskannan poistuma vaikuttaa ajan myötä. Kansalliset energiatehokkuustavoitteet lisäävät myös määräysten ja suositusten kautta energiankulutuksen säätelyä. Kokonaisenergiankulutuksen lisäksi energiayhtiön kannalta on merkittävää se, miten kokonaisenergiankulutus muodostuu eri lämmitysmuodoista. Tuleekin selvittää, mitkä tulevat olemaan maalämmön ja toisaalta kaukolämmön markkinaosuudet. Niiden suhteet määrittelevät lämpöpumppujen lisääntymisen vaikutusten jakautumisen energiayhtiön eri liiketoiminta-alueilla. Työssä tarkasteltavat liiketoiminta-alueet, kaukolämpö ja sähköverkkotoiminta, molemmat asettavat omat tutkimusongelmansa ja näkökulmansa aiheeseen. Kaukolämmön kannalta siirtymät vanhasta lämmitysmuodosta lämpöpumppulämmitykseen vaikuttavat negatiivisella tavalla myytyyn energiamäärään. Sähköverkkotoiminnan kannalta lämpöpumppujen kasvattama sähkönmyyntipotentiaali ei jakaudu tasaisesti vuoden ympäri, vaan aiheuttaa talven kylmimpinä päivinä kuormitushuippuja. Energiayhtiön kannalta kiinnostavinta on näiden eri liiketoiminta-alueisiin vaikuttavien tekijöiden vaikutukset yhtiön tulokseen. Energiayhtiötä kiinnostaa myös asiakkaan eri vaihtoehtojen kartoitus oman toimintansa kehittämisen kannalta. Erityisenä kohteena työssä on nykyisten ja mahdollisten tulevien kaukolämpöasiakkaiden kiinnostus ja siirtymät lämpöpumppuvaihtoehtoon.

Kun mahdolliset lämpöpumppujen lisääntymisen vaikutukset on tutkittu, muodostuu toiseksi pääongelmaksi se, miten energiayhtiön tulisi reagoida näihin vaikutuksiin. Jos sähköverkkoon kohdistuu suuria kuormia vuoden kylmimpinä ajankohtina, tulisiko tariffijärjestelmää uudistaa erillisellä lämpöpumppuhinnoittelulla? Voisiko energiayhtiö tuotteistaa lämpöpumpputoiminnan osaksi liiketoimiaan? Millaisia tuoteprofileita saataisiin?

Tulevaisuuden lämmitysmenetelmien markkinaosuudet kuvataan työn yhteydessä luotavilla skenaarioilla. Eri skenaarioissa olevat markkinaosuuden siirtymiset kaukolämmöstä maalämpöpumppuihin on määritelty työn aloituspalaverissa.

Havaittujen ilmiöiden avulla työssä laaditaan excel -ympäristössä käytettävä laskentaohjelma, jonka avulla voidaan ennustaa käytännön vaikutuksia energiayhtiön rahavirtoihin ja asiakasmääriin lämpöpumppujen markkinaosuuden kasvaessa ja toisaalta kaukolämmön markkinaosuuden pienentyessä.

Taloudellisten vaikutusten laskenta tehdään nykytariffeilla, jolloin inflaation vaikutusta ei oteta huomioon. Työ suoritetaan erityisesti Tampereen Sähkölaitoksen toiminta ja organisaation erityispiirteet huomioiden. Työn tarkasteluajanjakso on vuodesta 2010 vuoteen 2040. Tarkastelun kohteena ovat ainoastaan maalämpöpumput ja olemassa olevan rakennuskannan asuintalot, jolloin muut kohteet rajataan tutkimustyön ulkopuolelle.

1.3. Rakenne

Toinen luku on katsaus tämän hetkiseen lämmityksen energiatarpeeseen ja tulevaisuuden energiatarpeeseen vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi käydään läpi eri lähteistä poimittuja ennusteita siitä, miten tulevaisuuden energiatarve muodostuu.

Seuraavat kolme lukua sisältävät työssä tarvittavan teorian käsittelyn. Aluksi käydään läpi maalämmön, kaukolämmön ja öljylämmityksen ominaisuuksia, toimintaa ja perusteoriaa. Kaksi viimeistä teoriaosuutta koostuvat skenaarioteoriasta ja työssä tarvittavien kannattavuuslaskentamenetelmien esittelystä.

Teoriaosuuksien jälkeen ja niiden pohjalta laaditaan kuudennessa luvussa työn muutosskenaariot ja tarkastellaan skenaarioiden vaikutuksia valituilla liiketoiminta-alueilla. Lisäksi kuudennessa luvussa esitellään työn yhteydessä laadittu laskentaohjelma. Seitsemännessä luvussa selvitetään energiayhtiön mahdollisia reaktioita edellisen luvun skenaarioihin.

Viimeisessä luvussa pohditaan, vastasiko työn tulokset johdannossa esitettyihin kysymyksiin, ja annetaan tulosten pohjalta ehdotuksia energiayhtiön toimintaan tulevaisuudessa.

2. ASIAKASRYHMIEN TULEVAISUUDEN ENERGIATARPEET

Tämän luvun alussa esitellään työhön valitut asiakasryhmät, minkä jälkeen käsitellään asiakasryhmien nykyiset energiatarpeet siirrettävän energiamäärän ja tehon perusteella. Tämän tarkastelun jälkeen käydään läpi tulevaisuuden energiatarpeeseen vaikuttavia tekijöitä, jotka lopuksi summataan yhteen tulevaisuuden kokonaisenergiatarpeena.

Tarkoituksena on antaa kokonaiskuva energiatarpeeseen vaikuttavista tekijöistä ja niiden mittakaavasta. Lopuksi työn laskentaosuuteen on annettu suuntaa-antava arvio eri tekijöiden yhteisvaikutuksista. Vaikka itse työn laskenta ottaa energiatarpeen muutokseen hyvin suurpiirteisen otteen, on eri tekijöiden laajempi esittely tässä luvussa työn aiheen kannalta yleissivistävä.

2.1. Asiakasryhmät

Työssä tarkastelun kohteeksi valitut asiakasryhmät ovat pientalot, rivitalot ja kerrostalot. Tampereen Sähkölaitoksen omien tilastojen vertailuryhmien pientaloilla tarkoitetaan yleisesti yhden tai kahden asunnon rakennusta. Rivitaloihin katsotaan kuuluvaksi rivi- ja ketjutalot. Kerrostaloihin sisältyvät luhtitalot, asuinkerrostalot ja asuntolat. Jaottelu perustuu Tampereen Kaukolämpö Oy:n sisäisiin tietokantoihin.

2.2. Nykyinen lämmityksen energia- ja tehotarve

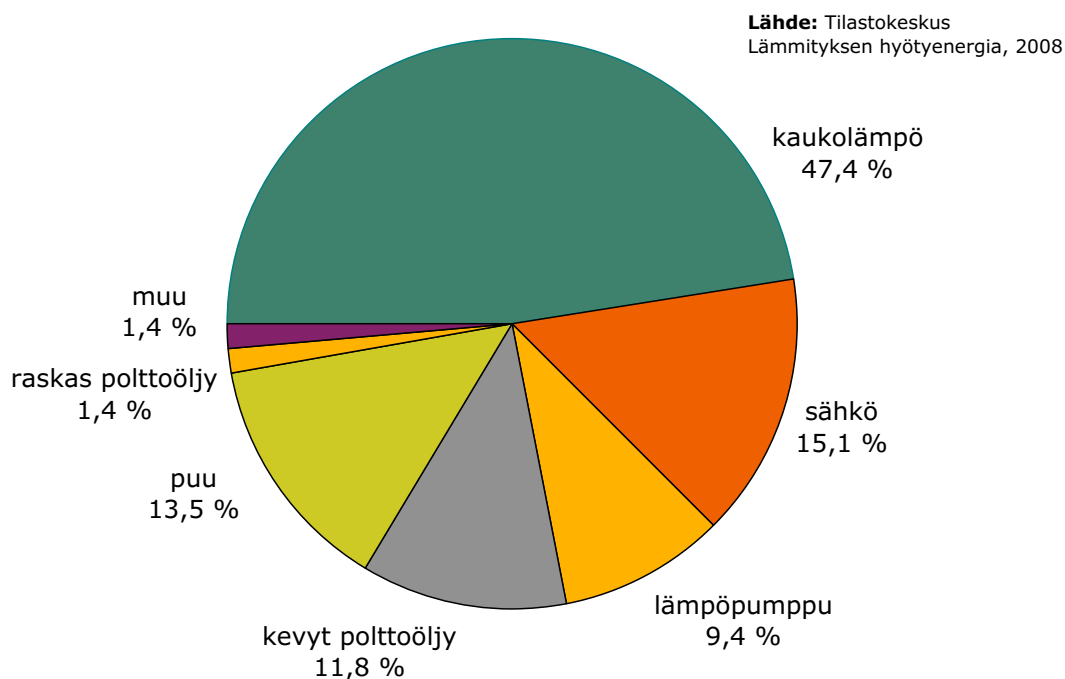
Suomessa kaukolämpöenergiaa myytiin vuonna 2010 35,8 TWh. Kaukolämmön markkinaosuus koko maan tasolla oli 49 %. (Energiateollisuus ry b 2011)

Tampereen sähkölaitoksen oman laskurin mukaiset ominaislämmöntarpeet eri asiakasryhmille ovat omakotitaloille 44 kWh/m³/a, rivitaloille 58,2 kWh/m³/a ja kerrostaloille 49,6 kWh/m³/a (Tampereen Sähkölaitos 2010).

2.2.1. Markkinaosuudet

Tässä alaluvussa esitellään kaukolämpölämmityksen ja lämpöpumppulämmityksen markkinaosuudet Suomessa ja Tampereen kaupunkiseudulla. Aluksi esitellään yleisesti saatavilla olevia tilastoja. Seuraavana esitellään Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöasiakkaiden jakautumista erilaisiin asiakastyyppeihin eri näkökulmista. Nämä tiedot on konstruoitu kaukolämpöyhtiön omien sisäisten tietokantojen avulla.

Kuvassa 2.1 on esitetty Suomen vuoden 2009 kaukolämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa. Kaukolämmön osuus tästä on 47,4 prosenttia ja lämpöpumppujen 9,4 prosenttia.



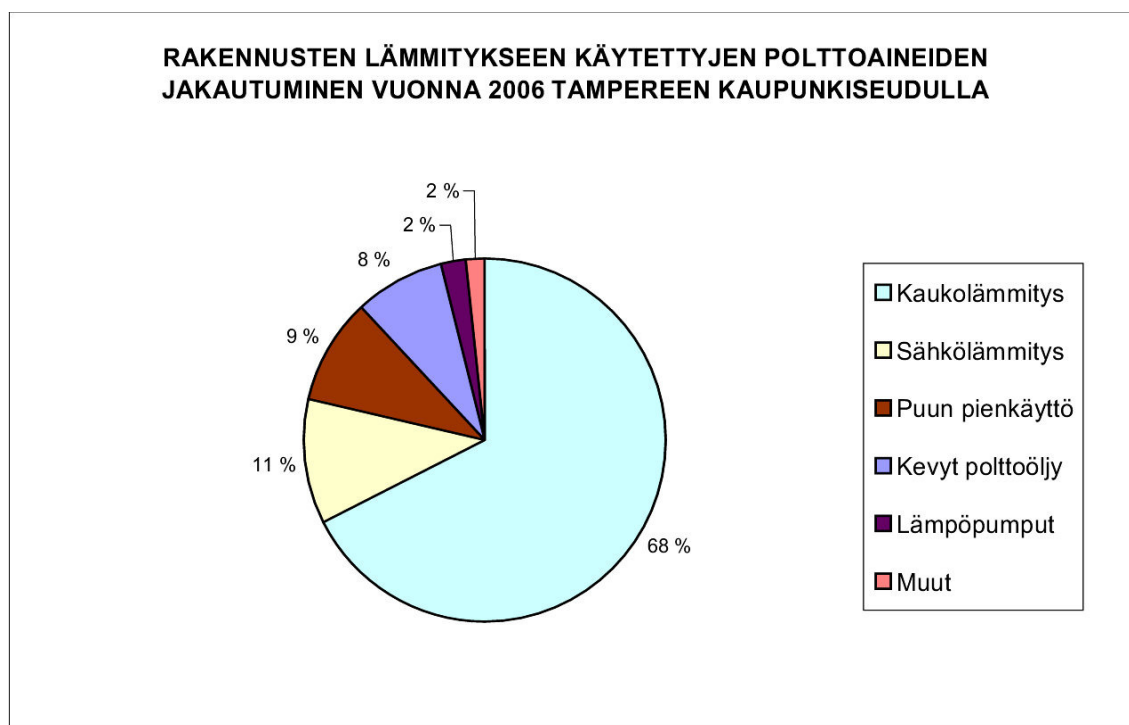
Kuva 2.1 Kaukolämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa Suomessa vuonna 2009. (Tilastokeskus 2010, Energiateollisuus ry 2010)

Taulukossa 2.1 on esitetty Tampereen kaupunkiseudun rakennusten lämmitysenergiat lämmitysmuodoittain vuodelta 2006. Kaukolämmön osuus tässä tilastossa on 2182 GWh ja lämpöpumppujen 170 GWh, josta sähkönkulutuksen osuus on 68 GWh.

Taulukko 2.1 Rakennusten lämmitys Tampereen kaupunkiseudulla vuonna 2006. (Tampereen kaupunkiseudun ilmastostrategia 2030 2010, s.56)

Rakennusten lämmitys	GWh
Kaukolämmitys	2 182 GWh
Sähkölämmitys	363 GWh
Puun pienkäyttö	306 GWh
Kevyt polttoöljy	265 GWh
Lämpöpumput	170 GWh hyötyenergia, sähkönkulutus 68 GWh
Muut	54 GWh
YHTEENSÄ	3 238 GWh¹

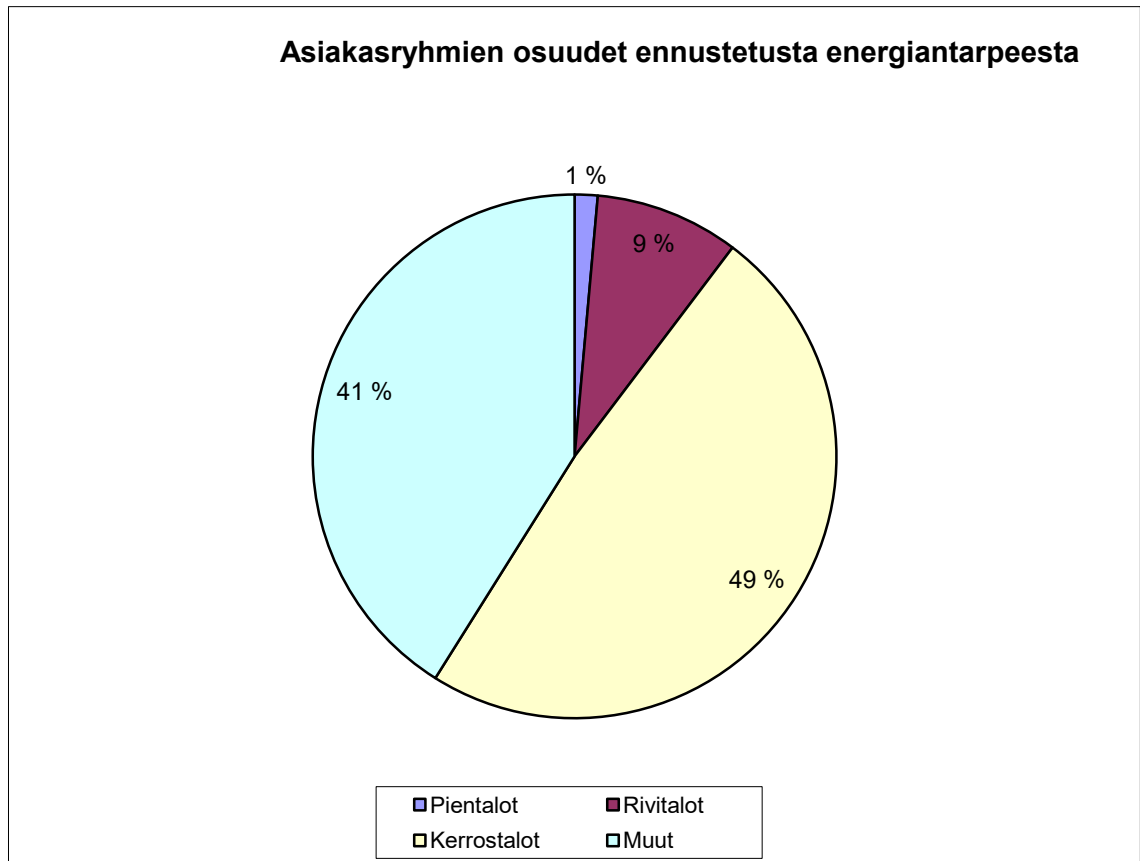
Kuvassa 2.2 on taulukon 2.1 lämmitysmuotojen energiamäärät esitetty prosenttijakauman muodossa. Kuvaa 2.2 ja kuvaa 2.1 vertaamalla voidaan todeta, että kaukolämmön osuus kaikkien rakennusten lämmityksestä on isompi kuin sen osuus asuin- ja palvelurakennusten lämmityksestä. Vastaavasti lämpöpumppujen osuus prosentuaalisesti on lähes viisinkertainen asuin- ja palvelurakennuksissa verrattuna kaikkien rakennusten lämmitykseen.



Kuva 2.2 Vuoden 2006 lämmöntuotannon jakauma Tampereen kaupunkiseudulla. (Tampereen kaupunkiseudun ilmastostrategia 2030, s.57)

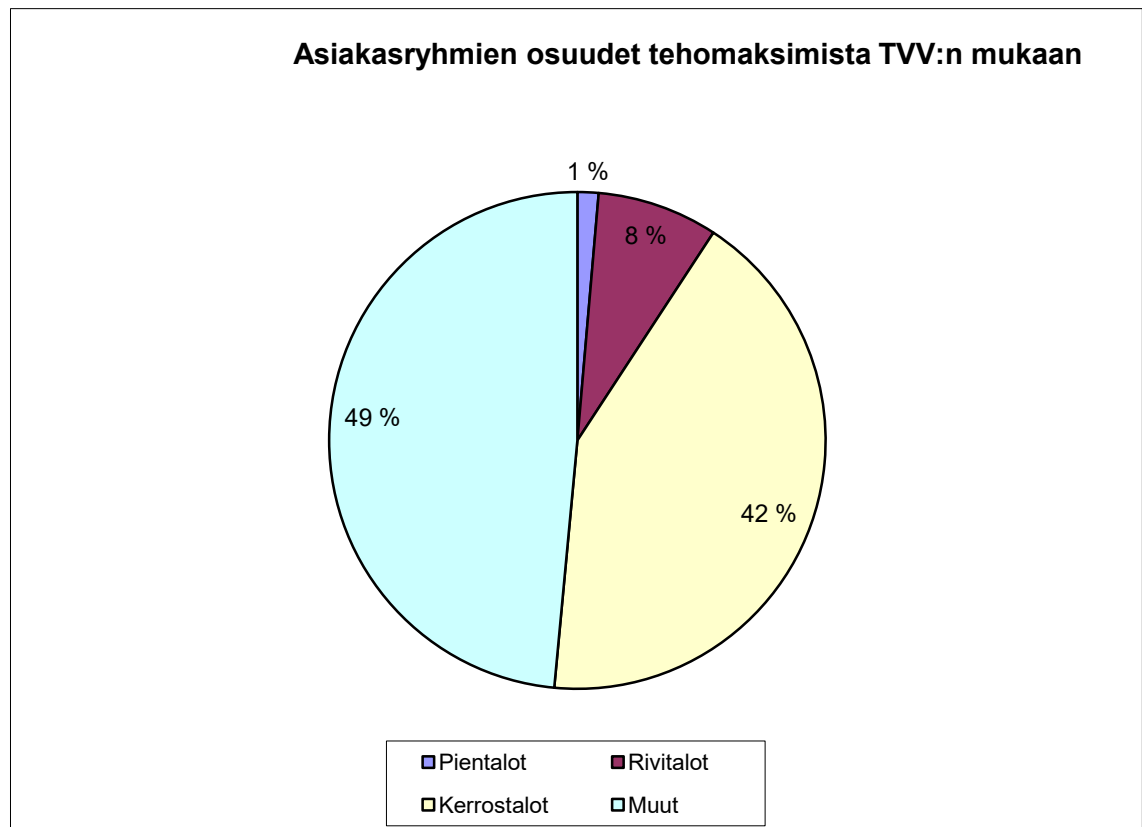
Seuraavissa kuvissa on tarkasteltu Tampereen kaukolämmön omaa sisäistä asiakasjakaumaa työssä käytetyillä asiakasryhmillä. Pientalojen, rivitalojen ja kerrostalojen lisäksi loput asiakkaat ovat sijoitettu muut -ryhmään.

Kuvassa 2.3 on asiakasryhmäjakauma ennustetun energiatarpeen mukaisesti. Työssä tarkastellut asiakasryhmät kattavat 59 prosenttia ennustetusta energiatarpeesta, josta suurin osuus, 49 prosenttiyksikköä, kuuluu kerrostaloille.



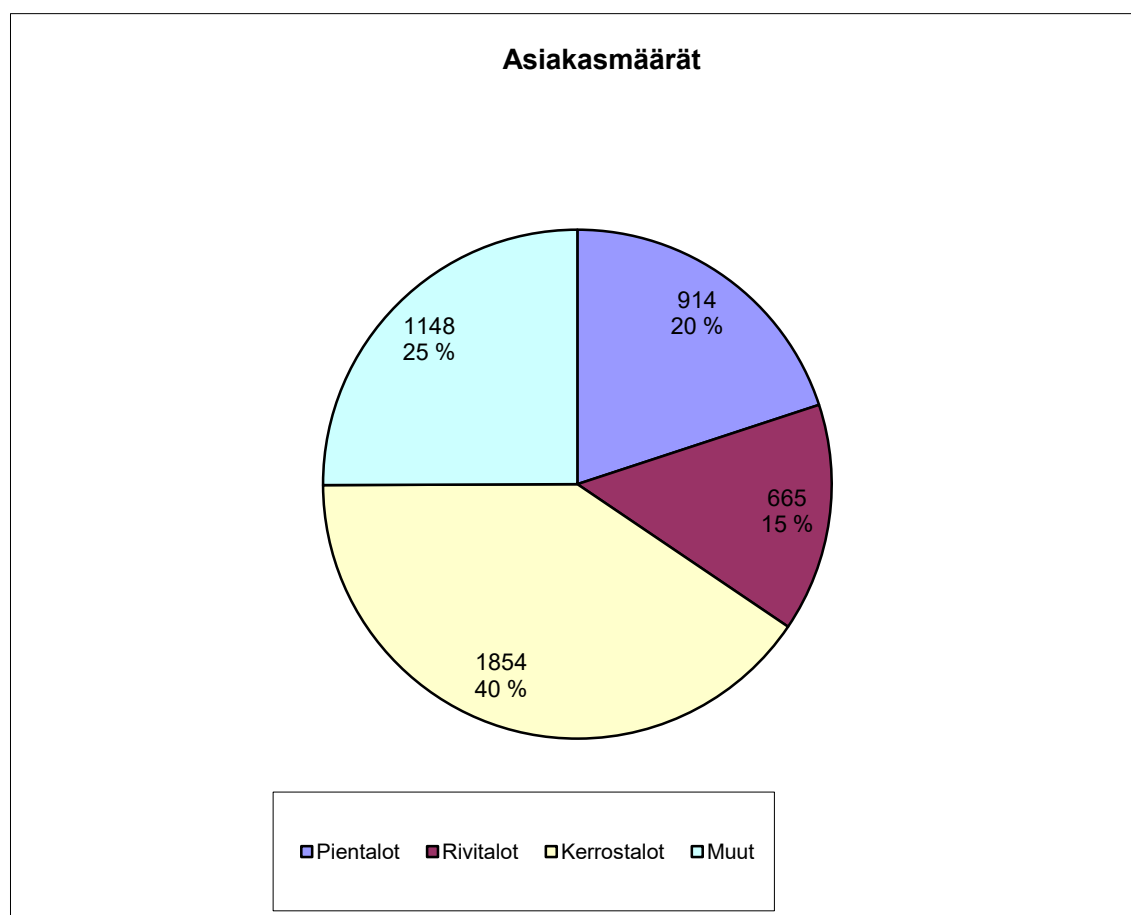
Kuva 2.3 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöasiakkaiden sisäinen asiakasjakauma energiantarpeen mukaan.

Kuvassa 2.4 on esitetty sama ryhmäjaottelu kuin kuvassa 2.3, mutta tällä kertaa energiamäärien sijaan tehon perusteella. Tässä jako on lähes samantyyppinen kuin kuvassa 2.3, mutta muut -ryhmän tehontarveosuus on hieman suurempi kuin osuus energiamääräisessä tarkastelussa.



Kuva 24 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöasiakkaiden sisäinen asiakasjakauma tehontarpeen mukaan tilausvesivirrasta laskettuna.

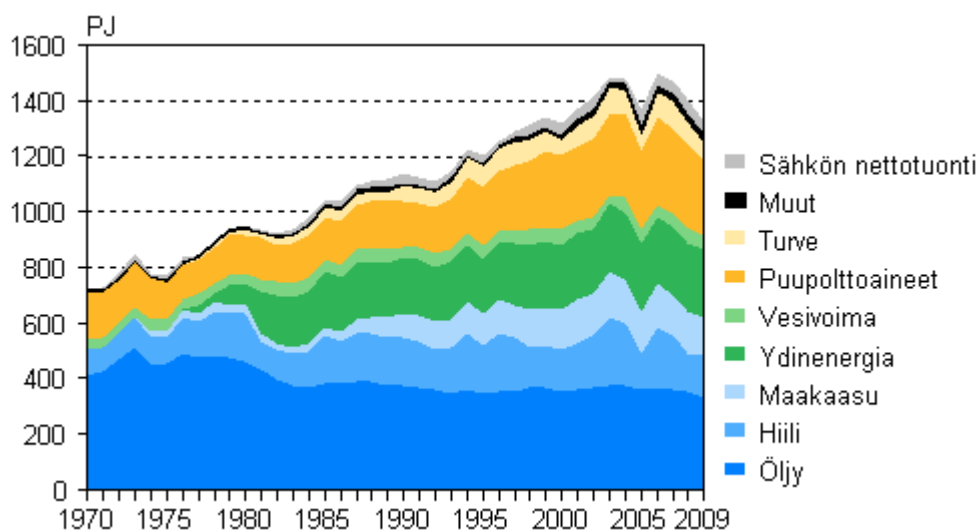
Kuvassa 2.5 on vielä kahden edellisen kuvan kaltainen jakauma asiakaslukumäärien mukaisesti tarkasteltuna.



Kuva 2.5 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöasiakkaiden sisäinen jakauma asiakaslukumäärien mukaan.

2.3. Energiatehokkuus

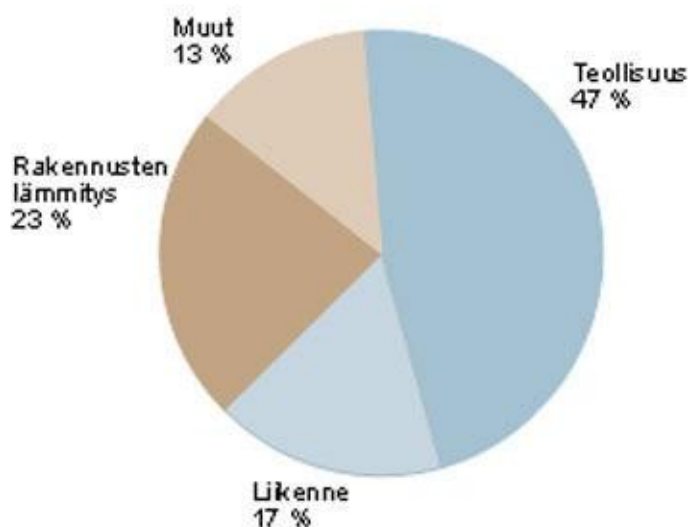
Energiatehokkuuden jatkuva parantaminen on keino hillitä ja vähentää kasvussa olevaa energiankulutusta Suomessa. Sekä energiantuotantoa että -kulutusta pyritään tehostamaan. Kuvassa 2.6 on esitetty kokonaisenergiankulutus Suomessa vuosina 1970-2009 energialähteittäin. Kuvasta on nähtävissä energiankulutuksen nousujohteinen kehitys sekä polttoaineiden osuudet. Nykyaikaan siirryttäessä kulutus on vähentynyt, mikä johtuu suurelta osin talouden taantumavaiheesta.



Kuva 2.6 Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Suomessa 1970-2009 (Energiatilasto – Vuosikirja 2010. Tilastokeskus)

Kuvassa 2.7 on esitetty energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain Suomessa vuonna 2009. Rakennusten lämmitys kattaa kokonaisuudesta hieman alle neljänneksen, joka on merkittävä osuus. Tästä syystä rakennusten energiatehokkuuden tehostamisella on suuri rooli kokonaiskulutuksen pienentämisessä.

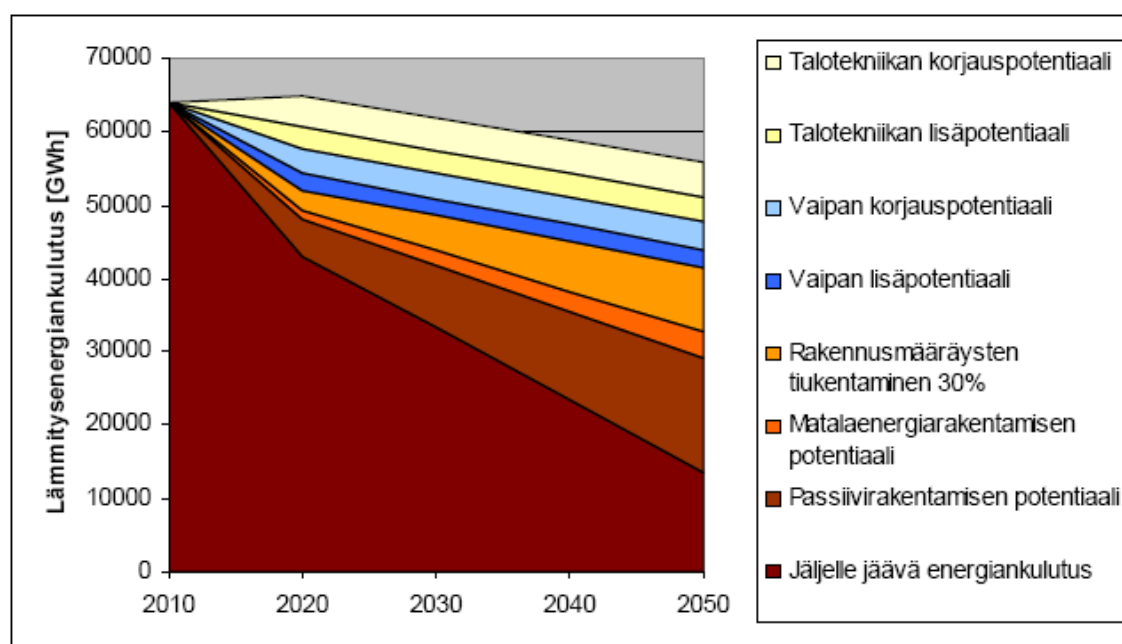
Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2009



Kuva 2.7 Rakennusten lämmitys kattaa noin viidenneksen Suomen energian loppukäytöstä (Energiatilasto Vuosikirja 2009. Tilastokeskus)

Kuvassa 2.8 on Teknologiapolut 2050 -raportin ennuste lämmitysenergiankulutuksen muutoksesta Suomessa energiatehokkuuden lisääntyessä. Ennuste kuvaa kehitystä vuodesta 2010 vuoteen 2050, ja siinä on jaoteltu erikseen eri energiatehokkuuden parantamiskeinojen potentiaaliset vaikutukset. Parantamiskeinot on jaoteltu korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen keinoihin. Korjausrakentamisen

osuudessa on arvioitu ulkovaipan lämpöhäviöiden pienentyminen ja ilmanvaihdon energiankulutuksen lasku. Molemmissa tapauksissa on sekä korjauspotentiaali että lisäpotentiaali. Korjauspotentiaalilla tarkoitetaan varovaista arviota ja lisäpotentiaalilla optimistisempaa arviota. Uudisrakentamisessa on huomioitu rakennusmääräysten tuleva tiukentaminen, matalaenergiatalojen rakentaminen ja passiivitalojen rakentaminen. Alimpana kuviossa on lopullinen energiankulutus, kun siitä on poistettu kumulatiiviset energiatehokkuuden paranemisen vaikutukset. (Savolainen et al. 2008, s.173)



Kuva 2.8 Rakennuskannan lämmitysenergian arvioitu säästöpotentiaali Suomessa. (Savolainen et al. 2008 s.174)

2.3.1. Tulevaisuuden energiatehokkuusvaatimukset

Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen kiinnitetään kasvavassa määrin huomiota, ja siksi myös rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia kasvatetaan niin uusien rakennusten kuin korjausrakentamisenkin osalta. Nykyiset rakennusten energiatehokkuuden määräykset ovat vuodelta 2010. Niiden mukaisesti rakennusten energiankulutus ja ostoenergiankulutus on laskettava, mutta kulutukselle ei ole määrätty kattoa. Uudet rakennusten energiatehokkuuden määräykset astuvat voimaan 2012.

Tulossa olevat rakennusmääräykset koskevat uusia rakennuksia. Niissä tarkastellaan energiankulutusta kokonaisenergiankulutuksen mukaisesti myös aiemmasta poiketen lämmitysmuoto huomioiden. Ideana on energiankulutuksen tarkasteleminen primäärienergiatasolla. Uusien määräysten mukaisesti rakennusluvan saadakseen rakennuksen energiantarve ei saa ylittää rakennustyypeittäin ennalta määrättyjä arvoja. Rakennuksen kokonaisenergiatarpeen lisäksi lasketaan myös lämmitysmuodosta riippuva primäärienergia, jolla kokonaisenergiatarve katetaan.

Laskenta tapahtuu niin sanotulla E-luvulla, joka on rakennuksen kokonaisenergiankulutusmaksimi pinta-alaa kohden. Esimerkiksi rivitalon

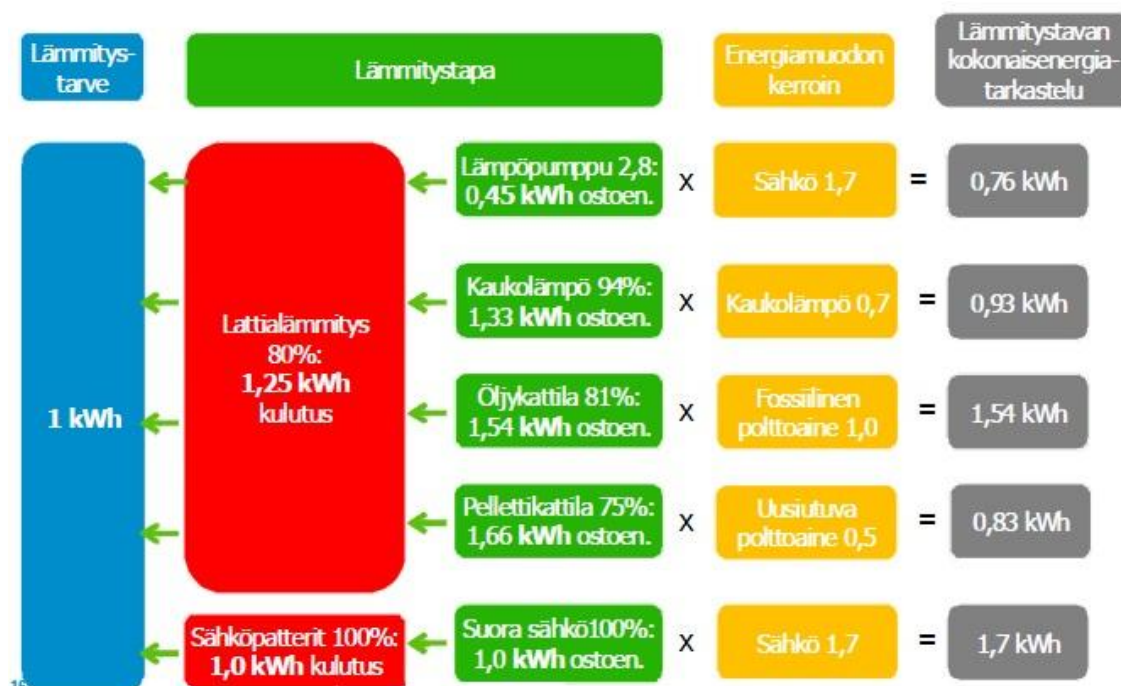
kokonaisenergiankulutus saa olla korkeintaan 150 kWh/m² ja asuinkerrostalon 130 kWh/m². Pientalojen enimmäiskulutus määräytyy rakennuksen kokonaispinta-alan mukaan.

Kokonaisenergiankulutus koostuu rakennuksen lämmityksestä ja ostetusta sähköstä. Lämmityksen osalta laskentaan tarvitaan energiamuodon kerrointa, joka riippuu käytetystä energialähteestä. Laskennassa lämmitykseen käytetty energiamäärä kerrotaan energiamuodoittain kertoimilla, jotka on esitetty taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2 Energiamuotojen kertoimet vuoden 2012 uusissa rakennusmääräyksissä

Lämmitysenergian lähde	Energiamuodon kerroin
Fossiiliset	1
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Uusiutuvat	0,5

Laskennan lopullinen lämmityksen kokonaisenergia riippuu rakennuksen lämmöntarpeen lisäksi lämmönjakotavasta, lämmöntuotantotavasta ja energiamuodon kertoimesta kuvan 2.9 mukaisesti. Esimerkiksi 1kWh lämmitystarpeen tyydyttämiseksi, lattialämmityksen ollessa lämmönjakotapana tarvitsee lämpöpumppu (lämpökerroin 2,8) 0,45 kWh sähköä. Tämä lukema kerrotaan sähkön energiamuodon kertoimella 1,7. Tästä seuraa, että lämmitystavan kokonaisenergiatarkastelussa käytetään lukemaa 0,76 kWh.



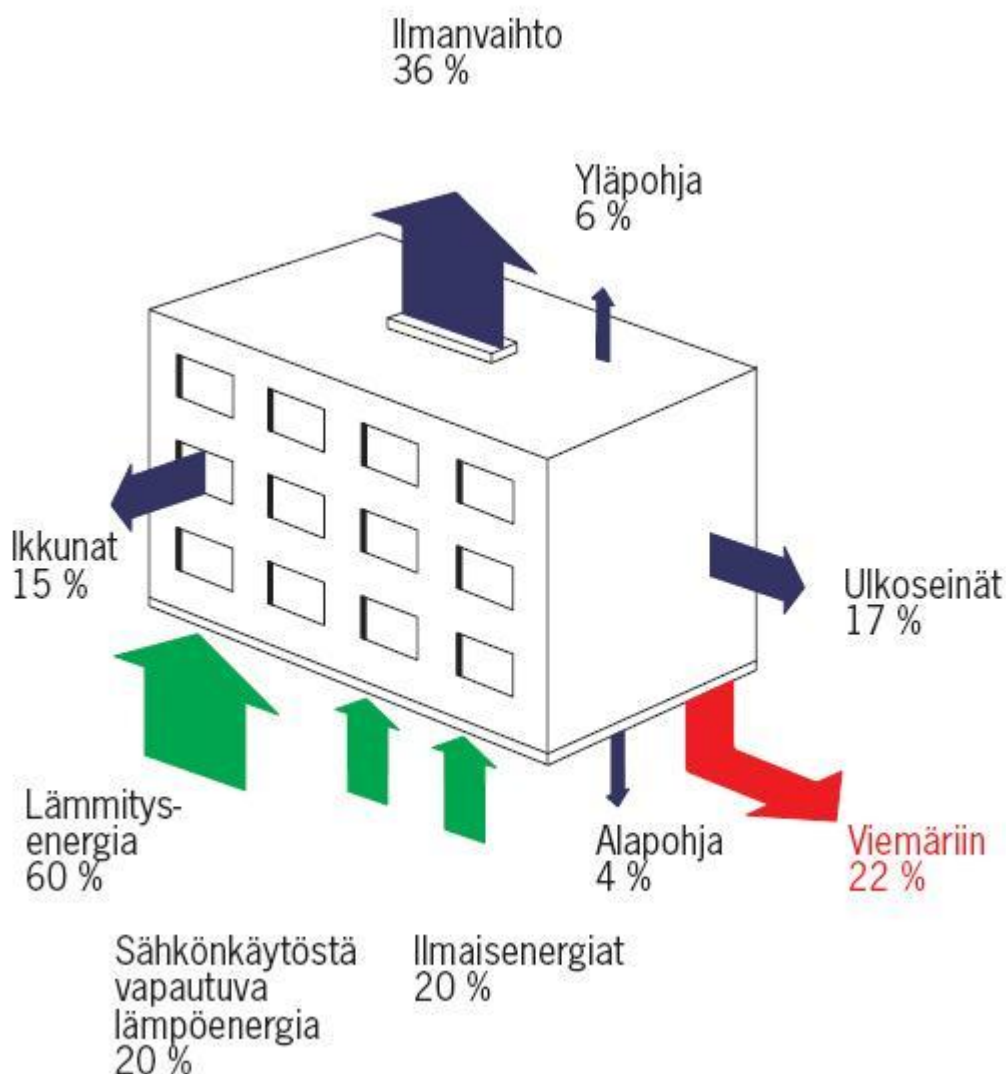
Kuva 2.9 Energiamuodon kertoimen soveltaminen laskennassa (Kalliomäki 2011 s.16)

Uudesta rakennusmääräyskokoelmasta seuraa se, että mikäli lämmitystavaksi valitaan enemmän primäärienergiaa kuluttava muoto, täytyy rakennuksen kokonaisenergiatarve saada entistä pienemmälle tasolle. Tästä syystä kokonaisenergiaa kuluu vähemmän lämmitystavan valinnasta huolimatta.

2.3.2. Energiatehokkuusluokat

Tässä alaluvussa on esitelty muutama energiankäyttöön perustuva talotyyppi sekä asuintalon yleinen lämpötase. Talotyypit ovat yleisesti käytössä oleva tapa kuvata asuinrakennusten energiankulutustapaa. Lämpötase kuvaa normaalin asuinrakennuksen lämpövirtauksia lämmön siirtyessä rakennukseen ja siitä pois.

Kuvassa 2.10 esitetty rakennuksen lämpöenergiatase kuvaa rakennuksen lämmönvirtauksen, eli sen, miten rakennukseen tulee lämpöä, ja kuinka sitä poistuu. Rakennuksen lämpöä lisäävät tekijät ovat rakennuksen ja käyttöveden lämmitys, eri laitteiden sähkönkäytöstä aiheutuva hukkalämpö sekä auringon ja ihmisten lämpösäteily. Lämpöä poistuu ilmanvaihdon, viemärin, ikkunoiden, alapohjan, yläpohjan ja ulkoseinien kautta.



Kuva 2.10 Rakennuksen lämpöenergiatase (Laitinen 2008)

Passiivitalolla tarkoitetaan taloa, jossa hyvin eristetyn ulkovaipan ansiosta tilojen lämmitystä varten tarvittava energiateho on rajoitettu tehoon, joka tarvitaan rakentamismääräysten mukaista minimi-ilmanvaihtoa vastaavaan lämmitystarpeeseen. Passiivitalon tilojen lämmityksen tarve on Etelä-Suomessa alle 25 kWh/m^2 ja Pohjois-Suomessa alle 35 kWh/m^2 . Lämmityksen, ilmanvaihdon, tuulettimien ja pumppujen sähkön sekä kotitaloussähkön kokonaisenergiatarve on alle 70 kWh/m^2 Etelä-Suomessa ja Pohjois-Suomessa alle 80 kWh/m^2 passiivitalossa. (Suomi Passiivinen Talo)

0-Energiatalo tuottaa yhtä paljon energiaa kuin kuluttaa. Kokonaisenergiankulutus talossa on siis nolla. Plusenergiatalo tuottaa energiaa vuositasona enemmän kuin se kuluttaa.

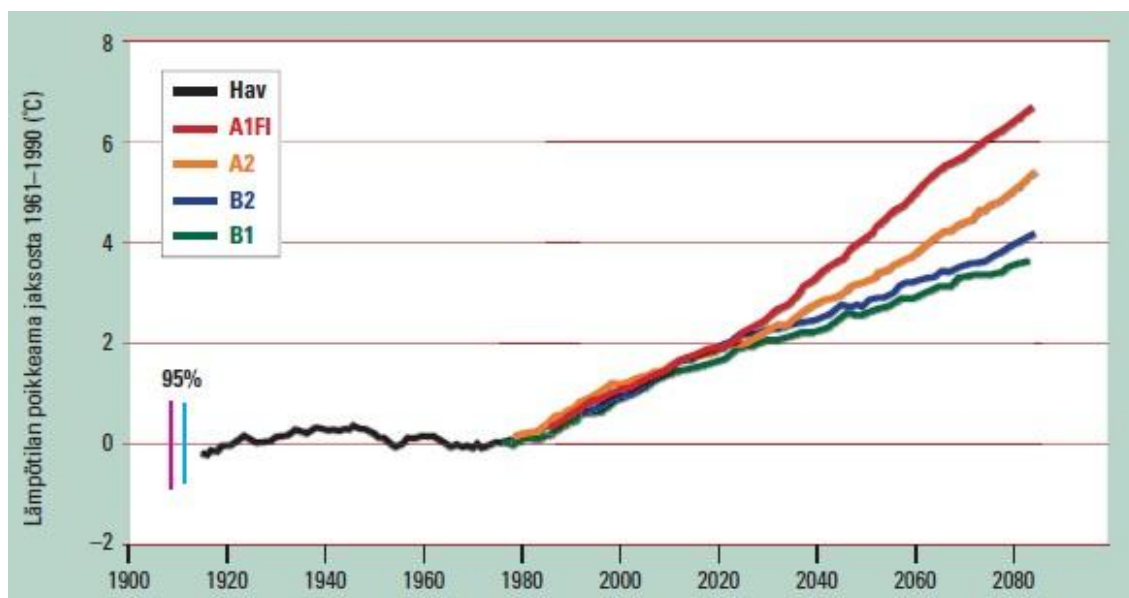
Matalaenergiatalolla on perinteisesti tarkoitettu taloa, jonka lämmitysenergiatarve on puolet rakentamismääräysten mukaisesta maksimi lämmitysenergiatarpeesta. Vuoden 2010 rakentamismääräysten mukaan matalaenergiatalon suunnitellun lämpöhäviömäärä saa olla enintään 85 prosenttia

rakennukselle määritellystä vertailulämpöhäviöstä. Lämmitysenergiaa matalaenergiatalo kuluttaa Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm² ja Pohjois-Suomessa alle 90 kWh/brm² vuodessa. (Motiva Oy 2010)

2.4. Ilmastonmuutos

Käynnissä oleva maapallon ilmastonmuutos vaikuttaa energiatarpeeseen Suomen kannalta sitä pienentävästi. Maa- ja metsätalousministeriön tuottamassa ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia -raportissa on ennustettu ilmastonmuutoksen vaikutusta Suomen keskilämpötiloihin.

Kuvassa 2.11 on raportin eri skenaarioiden ennustetut vuotuiset keskilämpötilanmuutokset verrattuna vuosien 1961-1990 keskilämpötilaan. Kuvasta voidaan päätellä että ilmastonmuutoksen ennustettavissa oleva vaikutus Suomen keskilämpötilaan tämän diplomityön tarkasteluajanjaksolla 2010-2040 on noin 2-3 astetta korkeampi keskilämpötila kuin vuosien 1961-1990 keskilämpötila.



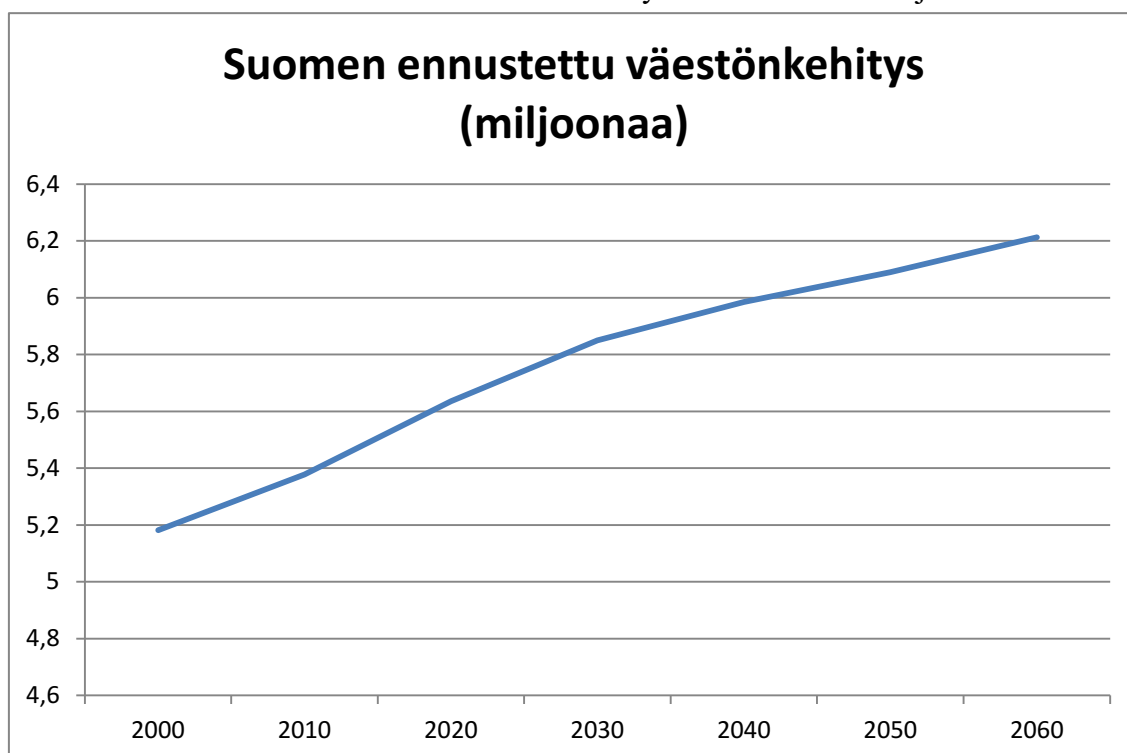
Kuva 2.11 Suomen vuotuisen keskilämpötilan poikkeama eri ilmastonmuutosskenaarioissa (Marttila et al. 2005 s.24)

2.5. Väestönkasvu ja asutokuntien koon muutos

Asuinrakennusten tilantarpeen kehitys voidaan laskea väestöennusteen ja keskimääräisen asumisväljyyden avulla. Väestön tai asumisväljyyden kasvu lisää tilantarvetta ja edellyttää uudisrakentamista. Uudisrakentamisen määrään vaikuttaa lisäksi poistuma eli vanhojen rakennusten purkaminen.

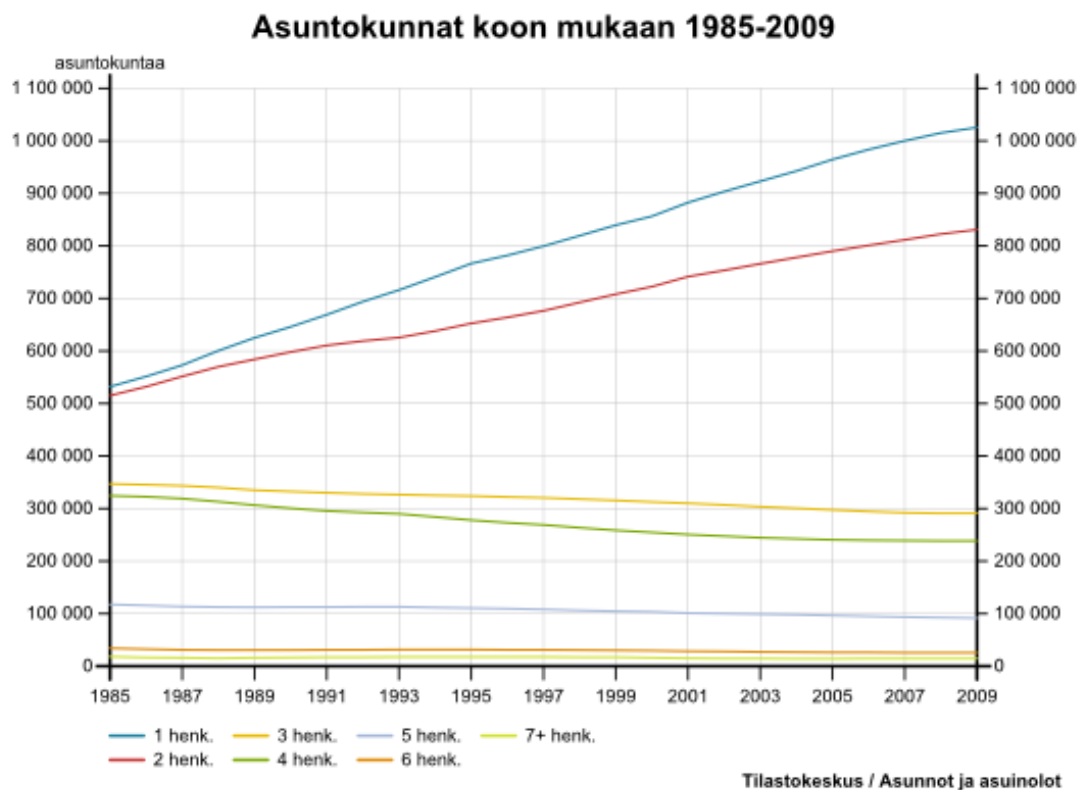
Lämmitettävien kotien kokonaispinta-alan kehitykseen vaikuttavat väestönkasvu, asutokuntien koon muutokset ja asumisväljyys. Seuraavissa neljässä kuvassa on ennustettu edellämainittujen tekijöiden kehittymistä Suomessa.

Kuvassa 2.12 on esitetty Tilastokeskuksen arvio Suomen väkiluvun kasvusta vuodesta 2010 vuoteen 2060. Arvion mukaan lisäys on hieman alle miljoona henkeä.



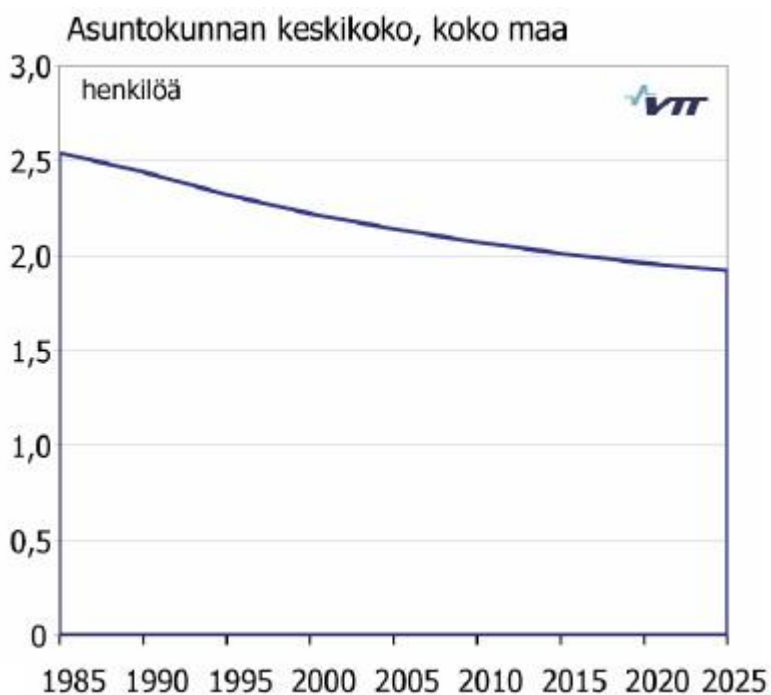
Kuva 2.12 Suomen ennustettu väestönkehitys (Tilastokeskus b 2010)

Asuntokunnan koko tarkoittaa samassa asunnossa vakinaisesti asuvien henkilöiden lukumäärää. Kuvassa 2.13 on esitetty erikokoisten asuntokuntien tilastollinen kehitys. Kuvasta voidaan päätellä keskimääräisen asuntokunnan koon selvä pieneneminen ajan myötä. Samaan aikaan kun yhden ja kahden hengen asuntokunnat ovat selvästi lisääntyneet, ovat kolmen ja neljän hengen asuntokunnat vähentyneet. Suuremmat kuin neljän hengen asuntokunnat ovat pysytelleet lähes samalla tasolla vuodesta 1985 vuoteen 2009.



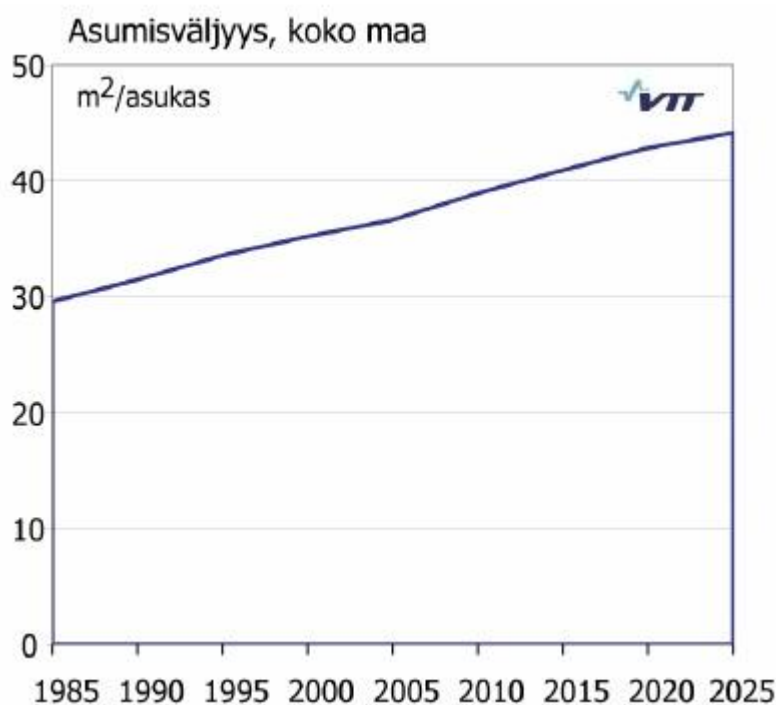
Kuva 2.13 Asuntokunnat koon mukaan 1985-2009 (Tilastokeskus 2010)

Kuvan 2.13 tilastosta tehty päätelmä asuntokunnan keskikoon pienenemisestä on ennustettu myös jatkuvan kuvan 2.14 osoittamalla tavalla. Tämän hetken hieman yli 2 henkilö per asuntokunta päästään vuoteen 2025 mennessä hieman alle 2 henkilö per asuntokunta.



Kuva 2.14 Asuntokunnan keskikoon kehitys (Lehtinen et al. 2005 s.23)

Asumisväljyys tarkoittaa sitä pinta-alaa mikä on yhtä henkilöä kohden per asunto. Kuvassa 2.15 on esitetty Suomen keskimääräisen asumisväljyyden ennustettu kehitys vuoteen 2025. Nykyisestä hieman alle 40m² per asukas päästään 44m² per asukas vuoteen 2025 mennessä. Jos kehitys oletetaan jatkuvan suurin piirtein lineaarisena, voidaan ennustaa vuoteen 2040 mennessä asumisväljyydeksi noin 50m² per asukas.



Kuva 2.15 Asumisväljyyden kehitys (Lehtinen et al. 2005 s.23)

Auntokuntien keskikoon pienetessä ja samanaikaisesti asumisväljyyden ja väestömäärän kasvaessa lämmitysenergiatarve näiden tekijöiden mukaisesti kasvaa.

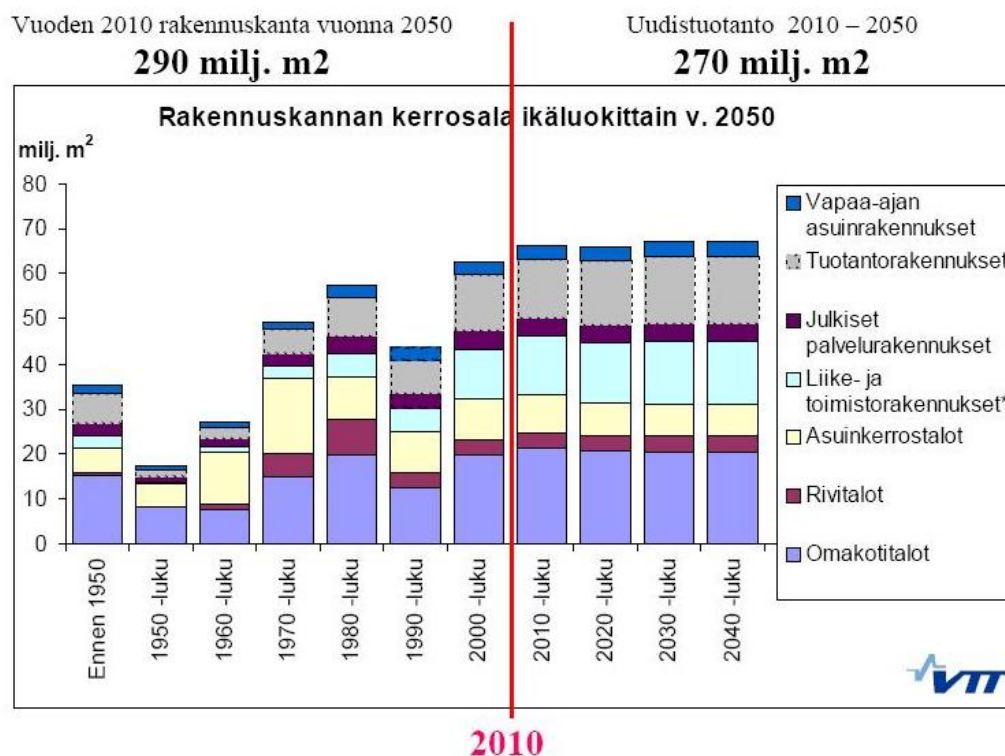
2.6. Rakennuskanta

Rakennuskanta voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan, asuinrakennuksiin ja muihin rakennuksiin, joita ovat liike- ja palvelurakennukset sekä tuotanto- ja muut rakennukset. Rakennuskannan tilavuus Tampereella vuonna 2008 oli 57 miljoonaa kuutiometriä joista puolet kerros-, rivi- ja omakotitaloja ja toinen puoli muita rakennuksia.

Keskimääräinen sääkorjattu kaukolämmön ominaislämmönkulutus Tampereen koko asuinrakennuskannalle on 45 kWh/m³ ja muulle rakennuskannalle 30 kWh/m³.

Rakennuskannan uusiutumista on arvioitu kuvassa 2.16. Kuvassa on vuoden tilanne vuonna 2050, joka perustuu Teknologian tutkimuskeskus VTT:n luentokalvoissa esitettyyn ennusteeseen. Pylväät edustavat eri rakennusvuosikymmeniä lähtien ajalta ennen vuotta 1950 ja päättyen 2040 -lukuun. Arvion mukaisesti ennen vuotta 2010

rakennettua rakennuskantaa ja sen jälkeen rakennettua rakennuskantaa on vuonna 2050 suunnilleen yhtä paljon. Tämä perustuu arvioituun rakennusten poistuman ja uudisrakentamisen summaan.



Kuva 2.16 Rakennuskannan kehitys (Laitinen 2008)

2.7. Tulevaisuuden teknologiat

Tässä osiossa tarkastellaan mitä mahdollisia muita teknologioita on yleistymässä ja mitkä olisivat niiden vaikutukset.

2.7.1. Aurinkoenergia

Auringon säteily sisältää erittäin paljon energiaa ja yksistään maapallon pinnalle osuvan säteilyn teho on 170 000 TW, vaikkakin käytännössä tästä on hyödynnettävissä vain pieni osuus (Energiateollisuus ry c 2011). Aurinkoenergia tarkoittaa auringon säteilyn hyödyntämistä energiantuotannossa ja se jaetaan yleensä kahteen aurinkolämmöksi ja aurinkosähköksi riippuen auringon säteilyn muuntamistarkoituksesta.

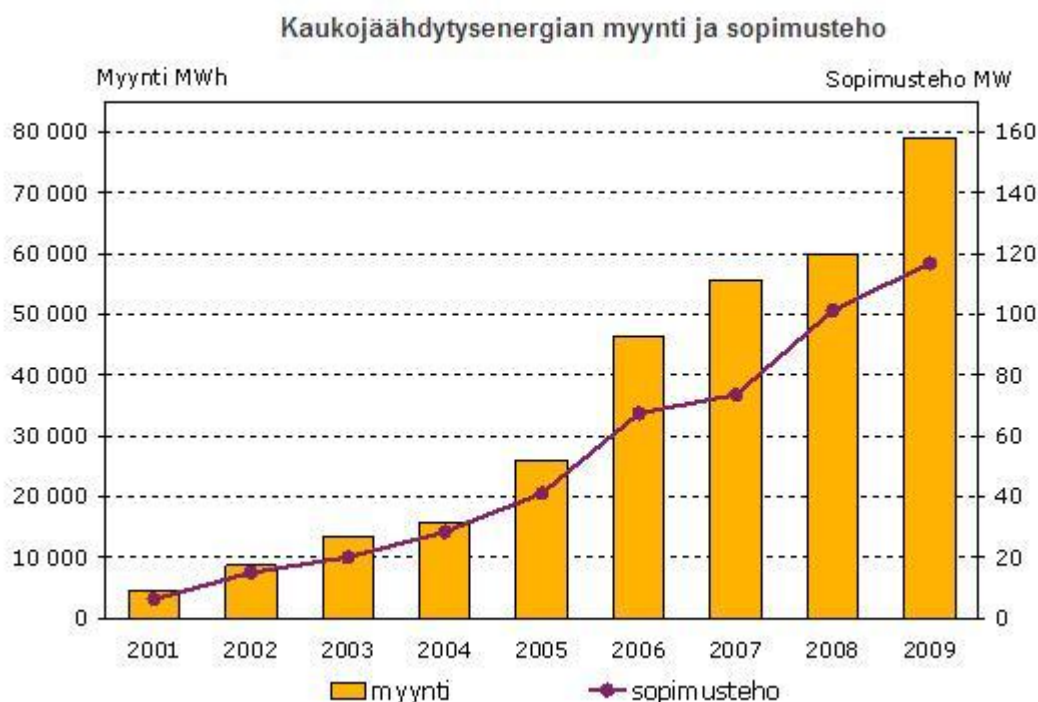
Aurinkoenergian käytön vähäisyyteen vaikuttavat aurinkosähkön kustannukset, aurinkolämmön käyttökohteiden lukumäärä ja auringon säteilyn vuodenaikavaihtelut. Vaikka esimerkiksi Etelä-Suomessa auringon vuosittaiset säteilymäärät vastaavat Keski-Euroopan lukemia, ovat säteilyn vuodenaikavaihtelut Suomessa suuremmat. 90 % Etelä-Suomen säteilyenergiasta ajoittuu seitsemän kuukauden ajanjaksolle vuodesta ja Pohjois-Suomessa vielä pienemmälle. (Energiateollisuus ry c 2011)

2.7.2. Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on keskitetyssä tuotantolaitoksessa tuotetun jäähdytetyn veden jakelua rakennusten ilmastointiin jakeluverkoston avulla. Kaukojäähdytyksen etuna on energiankäytön tehokkuus ja prosessin parempi hyötysuhde verrattuna kiinteistökohtaisiin sähkökäyttöisiin jäähdytysjärjestelmiin. (Koskelainen et al. 2006 s.529)

Kaukojäähdytystä voidaan tuottaa myös kesäaikana sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ylimääräisenä syntyvästä kaukolämmöstä absorptiotekniikalla. Verrattuna sähkökäyttöiseen jäähdytykseen kaukojäähdytys vähentää päästöjä huomattavasti. (Koskelainen et al. 2006 s.529)

Kuvassa 2.17 on esitetty kaukojäähdytyksen myynnin ja sopimustehon kasvu Suomessa vuodesta 2001 vuoteen 2009. Tällä hetkellä kaukojäähdytystä Suomessa tuottaa muun muassa Helsingin energia, Lahti Energia Oy, Turku Energia Oy ja Vierumäen Infra Oy. Myös Tampereen Sähkölaitos Oy aloittaa kaukojäähdytystoiminnan vuonna 2011 (Tampereen Sähkölaitos b 2010).



Kuva 2.17 Kaukojäähdytysenergian myynti ja sopimusteho Suomessa (Kaukojäähdytys 2011)

2.7.3. Pientuulivoima

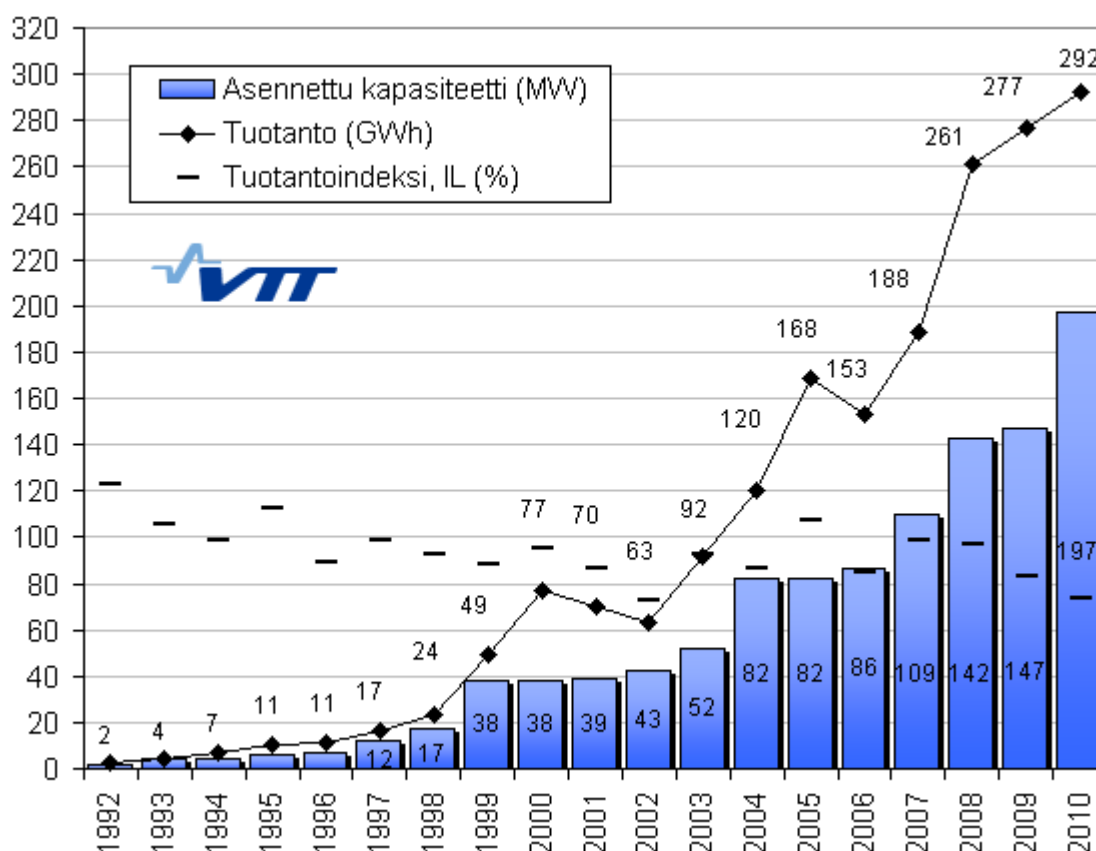
Keskitetyllä energiantuotannolla tarkoitetaan suurilla tuotantoyksiköillä tuotettua energiaa, jota syötetään valtakunnan suurjänniteverkkoon. Keskitetyn energiantuotannon tuotantoyksiköt sijaitsevat yleensä kaukana loppukäyttöpaikasta. Sen sijaan hajautetussa energiantuotannossa energiaa tuotetaan alueellista tarvetta varten

suoraan jakeluverkon välityksellä, eikä energiantuotantoa ole tällöin välttämättä kytketty kantaverkkoon. Suomessa hajautetuksi energiantuotannoksi lasketaan nimellisteholtaan alle 10 MW:n uusiutuviin energianlähteisiin tai pienimuotoiseen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon perustuvat laitokset. (Bergman et al. 2005)

Tuulivoimalla tarkoitetaan ilman virtausten liike-energian muuntamista sähköksi. Käytännössä tämä tapahtuu tuuliturbiinien avulla. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa. Pientuulivoimaksi kutsutaan tuulivoiman hyödyntämistä hajautetussa energiantuotannossa tuottamalla sähkö itse kulutuspaikalla. (Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2011)

Suomessa pientuulivoimaa sovelletaan yleensä akkujen lataamiseen, lämmitysenergian tuotantoon ja suoraan sähköntuotantoon. Parhaimmillaan pientuulivoimalla hyvätuulisella paikalla voidaan tuottaa omakotitalon koko sähköntarve ja merkittävä osa lämmitystarpeesta. Parhaat olosuhteet tuulivoiman käyttämiseen on rannikkoseuduilla, mutta hyvällä tuuliturbiinin sijoittelulla myös sisämaassa tuulivoiman käyttö on kannattavaa. (Pientuulivoimala -yhteistyöryhmä 2010, s.2)

Kuvassa 2.18 on esitetty Suomen kokonaistuulivoimatuotanto tehon ja energiamäärien mukaan. Tulevaisuudessa niin tuulivoiman kuin myös pientuulivoiman käyttö luultavasti lisääntyy entisestään, mutta tämän työn kannalta sen merkitys koetaan yhä vähäiseksi.

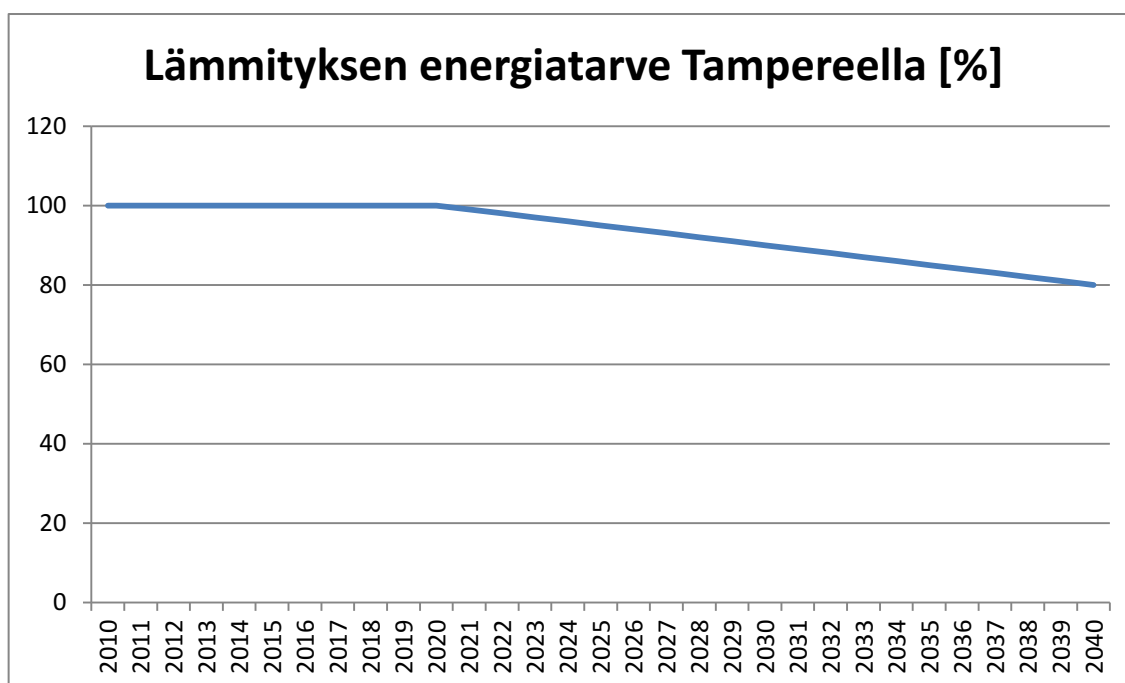


Kuva 2.18 Tuulivoimatuotanto Suomessa (VTT 2011)

2.8. Yhteenveto lämmitysenergian tarpeen muutoksesta

Edellä esitellyistä energiatarpeeseen vaikuttavista tekijöistä voidaan ennustusten perusteella energiatarvetta pienentäviksi laskea ilmaston lämpeneminen, energiatehokkuuden parantaminen ja rakennuskannan uudistuminen. Vastaavasti energiatarvetta lisäävät väestönkasvu, asumisväljyyden kasvu ja asuntokuntien koon pieneneminen.

Kuvassa 2.19 on esitetty työn oletus lämmitykseen tarvittavan energiatarpeen kehityksestä Tampereella. Oletus perustuu tämän luvun ennusteisiin ja Gaia Consulting Oy:n tutkimukseen *Kaukolämpöpotentiaali 2050 Tampereella*. Tutkimuksessa on summattu tässä luvussa aiemmin esitettyjä energiatarpeeseen vaikuttavia tekijöitä huomioiden kolme tekijää, jotka ovat rakennuskannan kasvu, rakennuskannan energiatehokkuuden kehittyminen ja ilmastonmuutoksen vaikutus. Näiden tekijöiden pohjalta on laadittu energiatarpeen muutosskenaarioita (Vanhanen et al. 2010 s. 17).



Kuva 2.19 Lämmityksen energiatarve Tampereella verrattuna vuoden 2010 tasoon.

2.8.1. Ennustamisen epävarmuustekijät

Työssä laaditut ennusteet ovat suurpiirteisiä oletuksia joihin liittyy epävarmuutta. Näitä epävarmuutta lisääviä tekijöitä ovat esimerkiksi poliittiset päätökset Suomen ja Euroopan Unionin tasolla, talouden rakenteen muutokset, uusien energiatehokkaiden teknologioiden yleistymisen ajankohdat, tekniikan kehittyminen, väestönkasvu- ja ilmastonmuutosennusteiden paikkansapitävyys sekä ennusteiden laatimisessa tehdyt yksinkertaistukset.

3. LÄMMITYSMUODOT

Tässä luvussa esitetään perustietoutta työssä käsiteltäviin lämmitysmuotoihin liittyen. Lisäksi tarkastellaan lämmitysmuotojen primäärienergiankulutusta. Ensimmäisenä käsitellyssä on maalämpölämmityksen perustietoutta ja työssä tarvittavia laskennan lähtötietoja. Seuraavana käsitellään kaukolämmityksen perusteet jonka jälkeen on tietoa öljylämmityksestä. Viimeisenä käydään läpi lämmitysmuotojen primäärienergiankulutusta ja tehdyt johtopäätökset.

3.1. Maalämpö

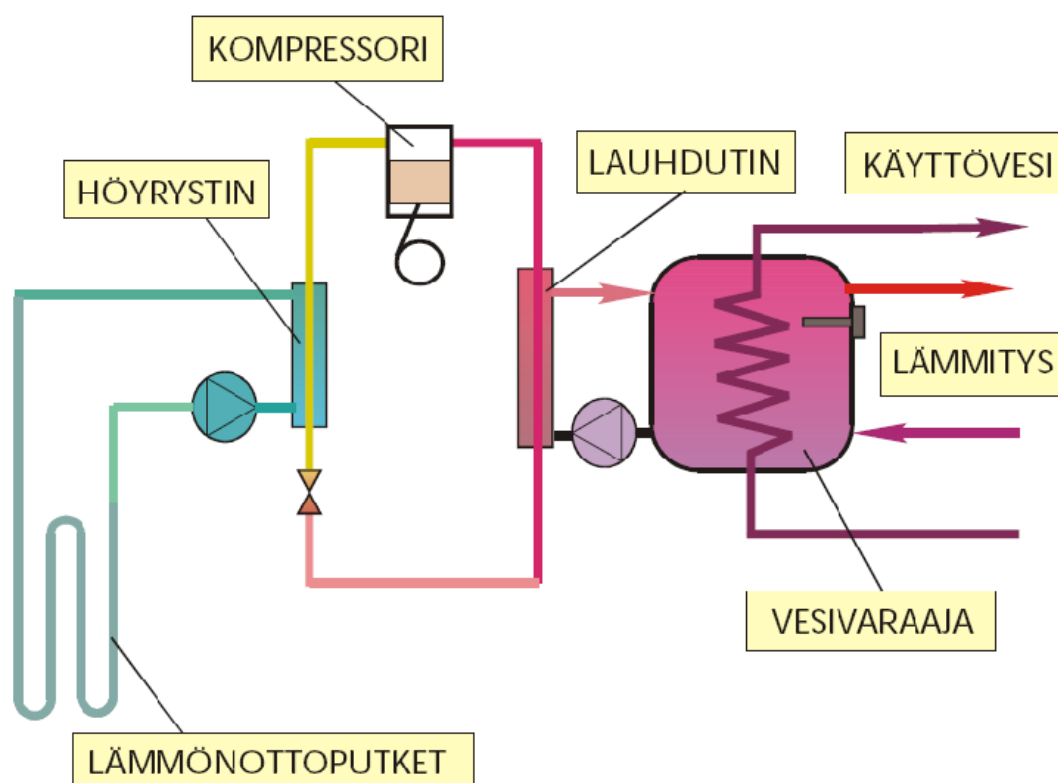
Ensimmäisenä lämmitysmuotona esitellään maalämmön perustoiminnallisuus.

3.1.1. Toiminta

Maalämpöpumppu ottaa lämmitykseen tarvitsemansa energian maaperään tai vesistöön siirtyneestä aurinkoenergiasta. Lisäksi maalämpöpumppu tarvitsee sähköenergiaa kompressorin toimintaan. Näin ollen maalämpö voidaan luokitella sähkölämmityksen edistykseksi muodoksi.

Maalämpöpumpun keskeiset osat ovat lämmönottoputkisto, höyrystin, kompressori, lauhdutin, vesivaraajan kiertoputkisto ja paluuputkisto. Lämpöpumpun tehtävänä on siirtää lämpöä kylmemmästä lämpötilasta lämpimämpään. Tämä on mahdollista lämpöpumpun koneistossa kiertävän kylmäaineen avulla.

Kuvassa 3.1 on havainnollistettu lämpöpumpun keskeiset osat. Lämmönottoputkistossa kiertävä neste menee höyrystimen läpi, jolloin kylmäaine muuttuu nesteestä höyryksi. Tämän jälkeen kylmäaine kulkee kompressorin läpi, jossa kylmäaine puristetaan korkeampaan paineeseen ja näin ollen sen lämpötila nousee. Tämän jälkeen korkeapaineinen lämmin höyry kulkee lauhduttimen lävitse, jossa höyry jäähtyy ja muuttuu takaisin nesteeksi, jonka jälkeen sen paine lasketaan paisuntaventtiilin avulla ja neste siirtyy takaisin höyrystimeen. Lauhduttimessa kuuma höyrystynyt kylmäaine luovuttaa lämpönsä vesivaraajan kiertoputkistolle. Maalämpöpumppu tarvitsee sähköä kompressoriin, nesteen kierrättämiseen pumpuin ja säätölaitteisiin. (Aittomäki 2001, s.6)



Kuva 3.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki 2001, s.6)

Maasta lämpöä voidaan kerätä vaaka- tai pystyputkistolla. Vaakaputkisto tarkoittaa maaperään noin metrin syvyyteen sijoitettua putkistoa. Tämän tyyppinen lämmönkeruuputkisto vaatii reilusti pinta-alaa ja oikeanlaista maaperää (Aittomäki 2001, s.8). Putken riittävä pituus, kolmesta kymmeneen metriä per lämmitettävä neliö, riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta ja maaperän maalajista. Hienorakenteinen ja kostea maalaji soveltuu tähän tarkoitukseen parhaiten (Aittomäki 2001, s.17). Pystyputkistossa kallioon porataan pystysuuntainen reikä, johon lämmönottoputki sijoitetaan. Reiän syvyys vaihtelee normaalisti 100-200 metrin välillä ja jos tarve on suurempi voidaan porata useampi reikä (Aittomäki 2001, s.17).

3.1.2. Lämpökerroin

Lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun lämmitystehon suhdetta kulutettuun sähkötehoon. Samalla lämpökerroin myös ilmoittaa lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian suhteen käytettyyn sähköenergiaan.

Lämpöpumpun lämpökertoimen muodostumiseen vaikuttavat lämpöpumppulaitteiston lisäksi lämmönlähteen lämpötila ja lämmön käytön lämpötila. Mitä korkeampi on lämmönlähteen lämpötila ja mitä matalampi on tarvittava lämmön käytön lämpötila, sen korkeammaksi lämpökerroin saadaan. Eli lämpökerroin on sitä parempi mitä pienempi on lämmönlähteen ja lämmön käytön välinen lämpötilaero. Lämmön käytön lämpötila riippuu rakennuksen lämmönjakotavasta. Parhaat

lämmönjakotavat lämpöpumppulämmityksen kannalta ovat lattia- ja ilmalämmitys. Lattialämmityksessä riittää noin 30 celsiusasteen lämpötila, kun taas ilmalämmityksen vaadittu lämmönkäytön lämpötila riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta. (Aittomäki 2001, s.7)

Lämpökertoimen kaava on määritelty standardissa SFS-EN 14511-1 (2008):

$$COP = \frac{P_l}{P_s} \quad (3.1)$$

missä P_l = lämpöpumpun tuottama lämpöteho [W]
 P_s = lämpöpumpun käyttämä sähköteho [W]

Taulukossa 3.1 on esitetty neljän eri lähteen ilmoittamat maalämpöpumppujen yleiset vuositason lämpökertoimet. Arviot vaihtelevat minimissään kahdesta korkeintaan 3,6.

Taulukko 3.1 Eri lähteiden ilmoittamat maalämpöpumppujen vuositason lämpökertoimet (Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry 2010, Motiva Oy 2010, Energiategollisuus ry 2011, Suomirakentaa.fi)

Lähde	Lämpökerroin
Suomen lämpöpumppuyhdistys	2,6-3,6
Motiva	3
Energiategollisuus	2-3
Suomi rakentaa	2,7

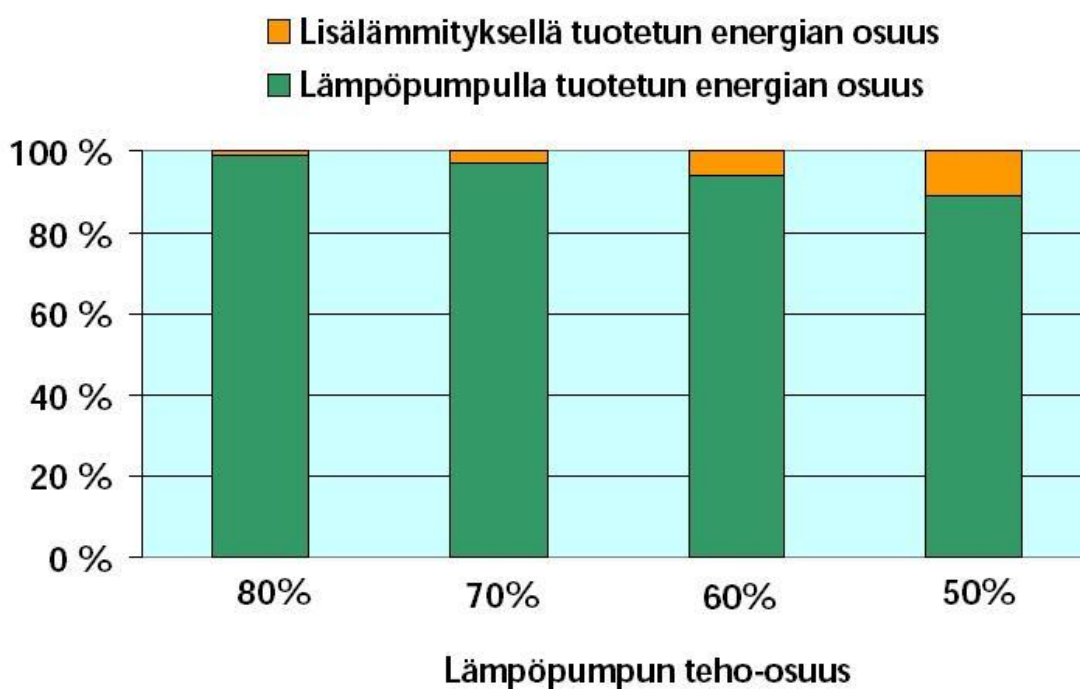
3.1.3. Mitoitusaste

Lämpöpumpun mitoitusaste ilmoittaa kuinka suuren osuuden rakennuksen mitoitettusta maksimilämmitystehosta lämpöpumppu kykenee tuottamaan. Esimerkiksi 50 % mitoitusaste tarkoittaa sitä, että lämpöpumppu kykenee tuottamaan puolet tarvittavasta maksimilämmitystehosta. Loppuosuus tarvittavasta tehosta saadaan lisälämmityksen avulla.

Koska rakennuksen maksimilämmitystehon tarve koskee vain pientä osuutta vuodesta, ei lämpöpumppujärjestelmää ole välttämättä järkevää mitoittaa täydelle 100 % mitoitusastetta vastaavalle teholle. Syynä tähän on se, että lämpöpumppujärjestelmän hankintakustannukset muodostavat ison osuuden kokonaiskustannuksista ja 100 % mitoitusasteen järjestelmä saattaa muodostua huomattavasti kalliimmaksi hankinnaksi kuin esimerkiksi 50 % mitoitusasteen järjestelmä. Järkevin mitoitusaste lämpöpumpulle riippuu lämpöpumpun tehon vaikutuksesta hankintahintaan ja vaadittavan lisälämmityksen kuten sähkölämmityksen hinnasta. Koska maksimilämmitystehon osuus vuotuisesta lämmityksestä on vain pieni, ei mitoitusaste ole sama kuin

lämpöpumpun tuottaman energian osuus tarvittavasta lämmityksen kokonaisenergiasta. (Aittomäki 2001, s. 13)

Kuvassa 3.2 on taulukoitu lämpöpumpun mitoitusasteen vaikutusta osuuteen rakennuksen kokonaislämmitysenergiasta. Kuvasta voidaan päätellä, että esimerkiksi 80 % mitoitusasteella saadaan tuotettua lähes 100 % tarvittavasta kokonaislämmitysenergiasta ja vastaavasti 50 % mitoitusasteella päästään noin 90 % energiaosuuteen.



Kuva 3.2 Lämpöpumpun teho-osuuden vaikutus lisälämmityksen energian kulutukseen (Aittomäki 2001, s.13)

3.1.4. Lisälämmitys

Luvussa 3.1.3. käsiteltiin miksi mitoitusastetta ei ole yleensä järkevää mitoittaa kattamaan rakennuksen koko vuoden lämmitystarvetta. Se osuus lämmitysenergiasta, mitä ei tuoteta maalämpöpumpulla, täytyy tuottaa vaihtoehtoisella tavalla. Yleisin tapa tuottaa lisälämpöä on sähkölämmitys. Muita tapoja ovat esimerkiksi puulämmitys ja kaukolämpö.

Lämpöpumpuissa on yleensä valmiina sähköllä toimivat lämmitysvastukset joita tarvitaan lisälämmityksen lisäksi myös varatehona lämpöpumpun mahdollisen vikaantumisen takia. Vastukset sijaitsevat normaalisti lämminvesivaraajasäiliöissä. Puulla tapahtuvaan lisälämmitykseen käytetään yleisesti varaavaa takkaa. Tämä vaatii rakennuksen pohjajärjestelyltä avoimuutta ja takan keskeistä sijaintia siinä. Lisäksi takkaan on lisättävä puita useampia kertoja vuorokaudessa. Takan lisäksi puulämmitykseen voidaan käyttää erillistä puita polttavaa kattilaa. (Aittomäki 2001, s. 14)

3.2. Kaukolämpö

Kaukolämpö tarkoittaa keskitetysti tuotettua lämmitystä joka siirretään asiakkaalle lämmönjakelujärjestelmän avulla. Tuotantoa on kahdenlaista, lämpökeskuksissa tuotettava lämpö sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto.

Lämpökeskuksella tarkoitetaan lämpöä tuottavaa laitosta johon sisältyy polttoaineen ja tuhkan käsittelylaitteet, polttolaitteet, kattila, pumput, putket sekä muut apulaitteet, sähkö- ja automaatiolaitteet sekä useissa tapauksissa savukaasujen puhdistuslaitteet. (Koskelainen et al. 2006 s.47)

Voimalaitoksella tarkoitetaan sähköä tai sähköä ja lämpöä tuottavaa laitosta. Erilaisia voimalaitostyyppisiä ovat höyryvoimalaitos, kaasuturbiinilaitos, kombivoimalaitos (yhdistetty höyry- ja kaasuturbiiniprosessi) ja moottorivoimalaitos. (Koskelainen et al. 2006 s.47)

3.2.1. Lämmönjakelu

Vesikaukolämpöjärjestelmässä lämpö siirtyy putkistossa, eli kaukolämpöverkostossa, kulkeutuvan veden mukana. Veden kiertokulku alkaa voimalaitosten lämmönsiirtimissä tai lämmityslaitosten kattiloissa, joissa se lämmitetään. Lämmin vesi saadaan liikkeelle pumppujen avulla kaukolämpöverkkoa pitkin asiakkaan lämmön vastaanotto- ja jakelulaitteistoon. Luovutettuaan lämmön vesi kulkee paluuputkea pitkin takaisin lämmitys- tai voimalaitokselle uudelleenlämmitettäväksi. Yleisimmin jakeluverkoston muodostavat kaksi samankokoista putkistoa, meno- ja paluuputket. (Koskelainen et al. 2006, s.43)

3.2.2. Asiakkaan lämmönjako

Asiakkaan lämmönjako voi tapahtua joko suoralla tai epäsuoralla kytkennällä. Suomessa suora kytkentä on harvinainen, mutta se on yleisemmin käytössä esimerkiksi Saksassa ja Tanskassa. Suorassa kytkennässä kaukolämpöverkon kiertovesi luovuttaa lämpöä suoraan esimerkiksi asiakkaan pattereissa. Epäsuorassa kytkennässä kaukolämpövesi lämmittää asiakkaan oman lämmityskierron vettä lämmönsiirtimissä joista asiakkaan oman lämmityskierto siirtää lämmön esimerkiksi pattereihin tai ilmastointiin. Kummassakin kytkentämuodossa käyttövesi lämmitetään omassa lämmönsiirtimessään. (Koskelainen et al. 2006, s.43)

3.2.3. Lämmöntarve ja risteily

Lämmöntarve koostuu rakennusten ja käyttöveden lämmityksestä ja se on suoraan riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Lämmöntarpeen vaihtelu on voimakasta eri vuodenaikojen välillä. Kesällä pelkän käyttöveden lämmityksestä koostuva lämmöntarve on vain noin 10 prosenttia liittymistehosta. (Koskelainen et al. 2006, s.41)

Yksittäisen asiakkaan kaukolämmön kulutusvaihtelusta voidaan määrittää suurin tehontarve. Kulutusvaihtelussa tehontarpeen jakaumaan vaikuttavat ulkoilman

lämpötila, vuorokaudenaika ja viikonpäivä ja satunnaisvaihtelut. Ulkoilman lämpötila vaikuttaa suoraan rakennuksen lämmöntarpeeseen ja vuorokaudenaika sekä viikonpäivät vaikuttavat lämmöntarpeeseen rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen. Satunnaisvaihtelut, kuten lyhytaikaiset käyttöveden kulutusjaksot, jakautuvat toisistaan riippumattomille ajanhetkille. Tarkasteltaessa yksittäistä asiakasta suuremmin koko jakeluverkkoa tehontarpeen vaihtelut tasaantuvat. Syynä tähän on se, että eri asiakkaiden kulutushuiput eivät ole samanaikaisia. Niinpä koko jakeluverkon maksimilämpötehontarvetta ei voida laskea suoraan summaamalla kaikkien asiakkaiden suurinta lämpötehontarvetta. Mitä enemmän jakeluverkossa on asiakkaita, sitä todennäköisemmin kulutuksen satunnaisvaihtelut tasaantuvat. Tästä johtuen koko jakeluverkon maksimitehontarve on huomattavasti pienempi kuin kaikkien asiakkaiden maksimitehontarpeen summa. Jakeluverkon maksimitehontarpeen ja asiakkaiden maksimitehontarpeiden summan suhdetta kutsutaan risteilykertoimeksi. (Koskelainen et al. 2006, s.44)

3.3. Öljylämmitys

Öljylämmitys on rakennusten lämmitysmuoto, jossa polttoaineena on yleensä kevyt polttoöljy. Öljylämmitysjärjestelmän osat ovat öljykattila, öljypoltin, säätölaitteet ja öljysäiliö. Öljylämmitysjärjestelmän tuottama lämpö jaetaan rakennuksessa vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Hyötysuhde öljylämmityksellä on noin 90 - 95 prosenttia ja palaminen on erittäin puhdasta. Öljylämmityskattila sisältää vikatilanteiden varalta myös sähkövastukset. Öljylämmitysjärjestelmä vaatii huoltoa noin kerran vuodessa ja öljysäiliö puhdistamista 5 - 10 vuoden välein. (Motiva Oy 2010)

Tällä hetkellä öljylämmityksen osuus uusissa pientaloissa on hyvin pieni. Tämä johtuu öljyn korkeasta hinnasta. Osin jo nyt ja tulevaisuudessa on käyttöön tulossa biopohjaisia polttoaineita. Öljylämmityksen rinnalle voidaan samanaikaisesti ottaa myös aurinko- tai puulämmitys. (Motiva Oy 2010)

3.4. Primäärienergia

Standardissa *EN 15603:2008* primäärienergia on määritelty energiaksi, joka ei ole ollut muuntamis- tai muuntumisprosessin kohteena (SFS-EN 15603 2008, s.20). Primäärienergia käsittää uusiutumattoman ja uusiutuvan energian ja kokonaisprimäärienergialla tarkoitetaan näiden summaa (SFS-EN 15603 2008, s.20). Primäärienergia -käsitteen avulla kuvataan eri energianlähteistä saatavissa olevaa energiaa sekä luonnonvarojen määrää, käyttöä ja kulumista (Bröckl et al. 2010, s.5).

Primäärienergiakerroin (PER) ilmoittaa saadun lämpöenergian suhteen käytettyyn primäärienergiaan. Tämän työn tekovaiheessa vireillä oleva uusi rakennusmääräysehdotus määrittelee kaukolämmölle primäärienergiakertoimen 0,7 ja sähkölämmitykselle 1,7. Poliittisten päätösten sijaan primäärienergiakerroin voidaan

määrittellä myös muilla tavoin. Seuraavaksi esitellään ensin kaukolämmön ja sitten maalämmön primäärienergiakertoimen laskentaa.

3.4.1. Kaukolämmön primäärienergiakertoimen laskenta

Standardin EN 15603:2008 mukaisesti kaukolämmön primäärienergiakerroin lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{F,i} \cdot f_{P,F,i} - W_{CHP,el} \cdot f_{P,elt}}{\sum_i Q_{C,i}}$$

missä

$f_{P,DH}$	kaukolämmön primäärienergiakerroin
$Q_{F,i}$	polttoaineen kulutus tarkasteluvuotena [Wh]
$f_{P,F,i}$	polttoainekohtainen primäärienergiakerroin
$W_{CHP,el}$	yhteistuotannon sähkön nettotuotanto tarkasteluvuotena [Wh]
$f_{P,elt}$	sähkön primäärienergiakerroin
$Q_{C,i}$	kaukolämmön tuotanto tarkasteluvuotena [Wh]

Kaavasta on havaittavissa, että primäärienergiakertoimen määrittävät käytetty polttoainejakauma sekä kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannon volyymi. Mitä enemmän on yhteistuotantoa, sitä pienemmäksi muodostuu primäärienergiakerroin. Standardin EN 15603:2008 mukaisessa laskennassa sähkölle käytetään primäärienergiakertoimen vakioarvoa 2,5. On olemassa myös muita tapoja määrittellä primäärienergiakerroin kaukolämmölle. Hyödynjakomenetelmän laskennassa yhteistuotettu lämpö ja sähkö jaetaan vaihtoehtoisilla tuotantotavoilla erillisinä tuotettuihin. Energiamenetelmässä tarkastelu lähtee lämmön ja sähkön kokonaisenergiatuotannosta, josta niille jyvitetään osuudet käytetyistä polttoaineista. (Bröckl et al. 2010, s.11-13).

Kaukolämmön primäärienergiakerroin ja primäärienergiahyötysuhde lasketaan Tampereen polttoaine- ja yhteistuotantojakaumien mukaisesti. Primäärienergiatarkastelu tehty vuoden 2009 Tampereen sähkölaitoksen tuotannon lukemista. Tuloksena primäärienergiakerroin 0,37. Seuraavassa taulukossa 3.2 on esitelty Tampereen sähkölaitoksen vuoden 2009 kaukolämpötuotannon muodostuminen polttoaineiden kulutuksen mukaisesti.

Taulukko 3.2 Tampereen sähkölaitoksen vuoden 2009 kaukolämpötuotannon muodostuminen polttoaineiden kulutuksen mukaisesti.

Polttoaine	Energia [TWh]	Primäärienergiakerroin
Maakaasu	3,3773	1,1
Turve	0,6021	1,2
Puu	0,2032	1,1
Öljy	0,1525	1,35
Yhteistuotannon sähkön nettotuotanto	1,611	2,5
Kaukolämmön tuotanto	2,246	0,37

3.4.2. Maalämmön primäärienergiakertoimen laskenta

Maalämpölämmityksen primäärienergiakerroin koostuu kahdesta tekijästä, maalämmön primäärienergiakertoimesta ja tarvittavan lisälämmityksen primäärienergiakertoimesta. Yleisin lisälämmityksen muoto on suora sähkölämmitys. Luvussa 2.4.1. mainitun EN 15603:2008 -standardin mukaisesti suoran sähkölämmityksen primäärienergiakerroin on 2,5. Maalämmön primäärienergiakerroin saadaan jakamalla sähkön primäärienergiakerroin maalämpöpumpun lämpökertoimella. (Bröckl et al. 2010, s.17-18) Maalämpölämmityksen primäärienergiakertoimeen vaikuttaa siis maalämpöpumpun lämpökerroin ja suoran sähkön osuus, joka on riippuvainen maalämpöjärjestelmä mitoitusasteesta. Mitä suurempia ovat pumpun lämpökerroin ja järjestelmän mitoitusaste, sitä pienemmäksi muodostuu primäärienergiakerroin.

3.5. Johtopäätökset

Jotta työssä voidaan suorittaa laskelmia lämmitysenergioista yleisellä tasolla, eikä vain yhden rakennuksen näkökulmasta, on tarpeen tehdä melko karkeita arvioita käytettävistä laskennan lähtöarvoista. Tällaisia arvoja ovat maalämpöpumpun lämpökerroin, maalämpöjärjestelmän mitoitusaste ja kokonaisenergiantarpeen kattavuus sekä käytettävä lisälämmitys.

Maalämpöpumpun lämpökertoimena tässä työssä tullaan käyttämään arvoa 2,7. Luku on päätetty johdanto -luvun kuvan 1.3 ja lämpökertoimia käsittelevän alaluvun 3.1.2. perusteella.

Maalämmön mitoituslaskentaan valitaan yleisimmin käytetty mitoitusaste 50 prosenttia, jolloin maalämpöpumppu kattaa rakennuksen kokonaislämmitysenergiantarpeesta 90 prosenttia. Loput lämmitysenergiasta tuotetaan sähkövastuksilla, eli laskennan kannalta loput energiantarpeesta katetaan suoraan sähköenergiankulutuksena. Puu- ja muut lisälämmitysmuodot kuin sähkö rajataan tässä työssä laskennan ulkopuolelle, koska niiden suosio on vähäistä verrattuna sähkölisälämmitykseen.

4. SKENAARIOT

Tässä luvussa esitellään tulevaisuudentutkimusta ja skenaarioajattelua.

4.1. Tulevaisuudentutkimus

Tulevaisuudentutkimus on tiedonala tulevaisuuden, eli ei vielä olemassa olevien, tapahtumien tarkastelemiseen. Tutkimus pohjautuu tietoon, joka voidaan luokitella kahden tekijän, merkityksen ja epävarmuuden, perusteella. Merkityksellä tarkoitetaan tiedon tällä hetkellä koettua vaikuttavuutta, eli kuinka merkittävä tapahtuma olisi. Epävarmuudella tarkoitetaan tiedon jakamista kolmeen luokkaan, jotka ovat varma tieto, todennäköinen tieto ja epävarma tieto. Varma tieto on sellainen, jossa vain yksi arvo on mahdollista tapahtua. Todennäköisessä tiedossa on useampi mahdollinen arvo, mutta yksi arvo on todennäköisempi kuin muut. Epävarmassa tiedossa on useita aidosti mahdollisia vaihtoehtoisia arvoja. Mitä pidemmälle tulevaisuudentutkimuksen ennusteet ajoittuvat, sitä enemmän on vaihtoehtoisia ja todennäköisiä arvoja. Tulevaisuutta ei tutkita täysin objektiivisesti vaan tarkastelijan arvot ovat tärkeässä roolissa. Ideana onkin tarkastelijan näkökulmasta haluttavien tulevaisuudenkuvien toteutumisen edistäminen ja mahdollisten uhkakuvien ja epätoivottujen tapahtumien välttäminen. (Kokkonen et al. 2005, s.34-36; Keinonen & Jääskö 2004, s.137-169)

Tulevaisuudentutkimus etenee vaiheittain tiedonkeruusta, tiedon analysoinnista, sen muokkaamisesta, vaihtoehtoisten tulevaisuuksien rakentamisesta, niiden arvioimisesta niiden valintaan. Mahdollisten tulevaisuuksien kartoittamisessa ja edellä mainituista kolmessa viimeisessä tutkimusvaiheessa käytetään hyväksi skenaariomenetelmää. Tulevaisuudentutkimuksen onnistumisen mittarina voidaan pitää tämän menetelmän tulosten hyödyllisyyttä nykyisten päätösten tekemiseen. Eli miten hyvin mahdolliset tulevaisuudet ovat skenaariomenetelmällä kartoitettu ja miten tätä voidaan käyttää päätöksenteossa. (Kokkonen et al. 2005, s.34-36). Toisin sanoen tulevaisuudentutkimuksen onnistuneisuuden arviointi tapahtuu nykyhetkessä eikä niin, että arvio tehtäisiin jälkeenpäin ennusteiden toteutuneisuuden perusteella.

4.2. Skenaariot

Skenaarioilla pyritään hahmottamaan toimintaa ohjaavien ja liikkeellepanevien tekijöiden käytöstä organisaation toimintaympäristössä. Skenaariosuunnittelun tarkoituksena on lisätä tietoa ja ymmärtämystä organisaation toimintaympäristöstä ja luoda strategiset suositukset eli ohjeet hyvien strategisten päätösten tekemiseen. Samalla skenaariosuunnittelu aikaansaa oppimista suunnitteluprosessiin osallistuvilla. Lisäksi

skenaariosuunnittelulla pyritään avustamaan organisaation visiointia, arvokeskustelua ja mielikuvituksen stimulointia. (Luukkanen et al. 2009, s.9)

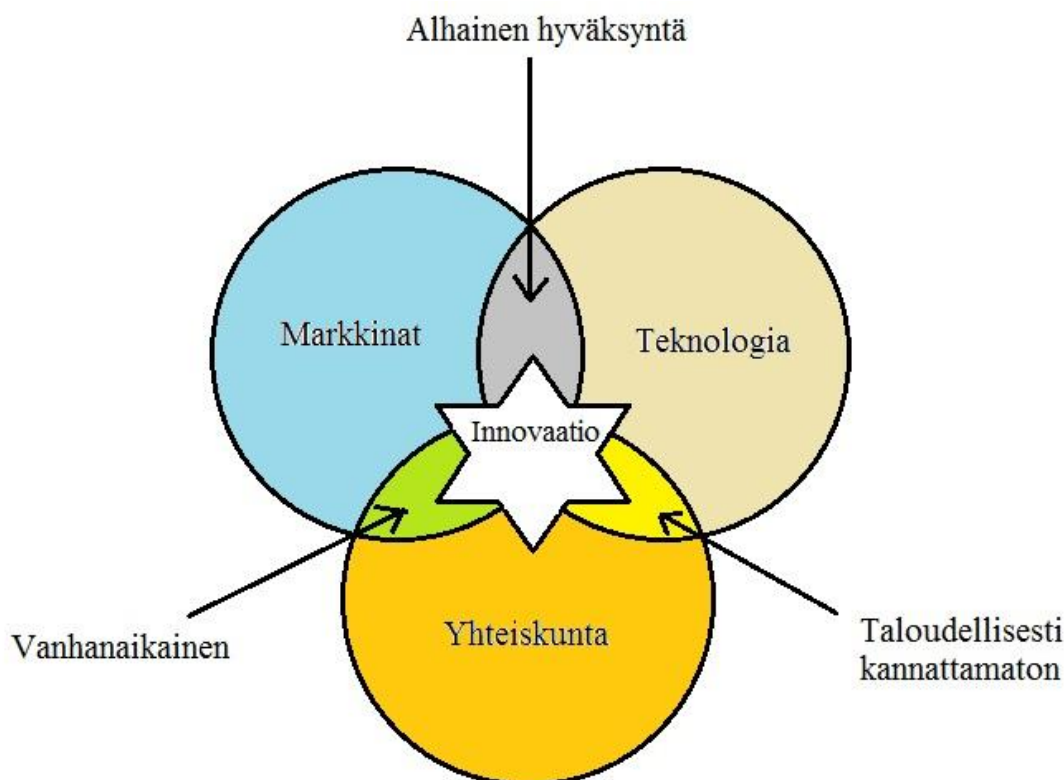
Skenaariot tuottavat mallin niiden laatijoiden näkemyksistä vaihtoehtoisista tulevaisuuksista. Skenaarioissa käy ilmi, miten organisaation päätökset toteutuvat ja mitä vaikutuksia niillä on vaihtoehtoisissa tulevaisuuksissa. (Luukkanen et al. 2009, s.10)

Skenaario on johdonmukainen, uskottava ja looginen kuvaus tapahtumien kulusta. Skenaario kertoo miten nykyhetkestä edetään johonkin valittuun lopputilaan. Toinen mahdollinen tarkastelun järjestys on nimeltään backcasting, jossa asiat kuvataan käänteisessä järjestyksessä. Silloin aloitetaan halutusta lopputilasta ja tarkastellaan, mitä pitäisi tapahtua, jotta siihen päästäisiin. Skenaarion ideana on olla vaihtoehtoinen sellaiselle suoralle jatkumolle, jossa tapahtumat etenevät täysin nykyisen kehityssuunnan mukaisesti. Skenaarion käsittelyalue voi olla hyvinkin eri laajuinen, riippuen tarkastelijan tarpeista. Käsittelyalue voi vaihdella koko ihmiskunnan tapahtumista yhden toimialan, yrityksen tai tuotteen tulevaisuuden tapahtumiin. Skenaarion pohjatiedot voidaan hankkia kvantitatiivisin, kvalitatiivisin tai tulkinnallisin tutkimusmenetelmin. (Kokkonen et al. 2005, s. 35-37).

Skenaariosuunnittelun tulosten on tarkoitus olla merkittävästi lopputulemaltaan ja rakenteeltaan erilaisia. Samankaltaiset skenaariot ovatkin variaatioita samasta skenaariosta eikä siis eri skenaarioita. Todennäköisintä skenaariota kutsutaan ennusteeksi.

4.2.1. Suodatinmalli

Suodatinmallin perusajatuksena on, että uusien innovaatioiden kehittymiselle vaaditaan kolmenlaisia edellytyksiä. Nämä edellytykset koostuvat markkina-, teknologia- ja yhteiskuntatekijöistä ja niiden vuorovaikutuksista (Kokkonen et al. 2005, s.38). Nämä tekijät muodostavat skenaariotarkastelun suodattimet. Kuvassa 4.1. on esitetty miten eri suodatinten huomioonottaminen voi vaikuttaa mahdollisten tuotteiden tai ajattelumallinen kehityksessä kun skenaarioita luodaan.

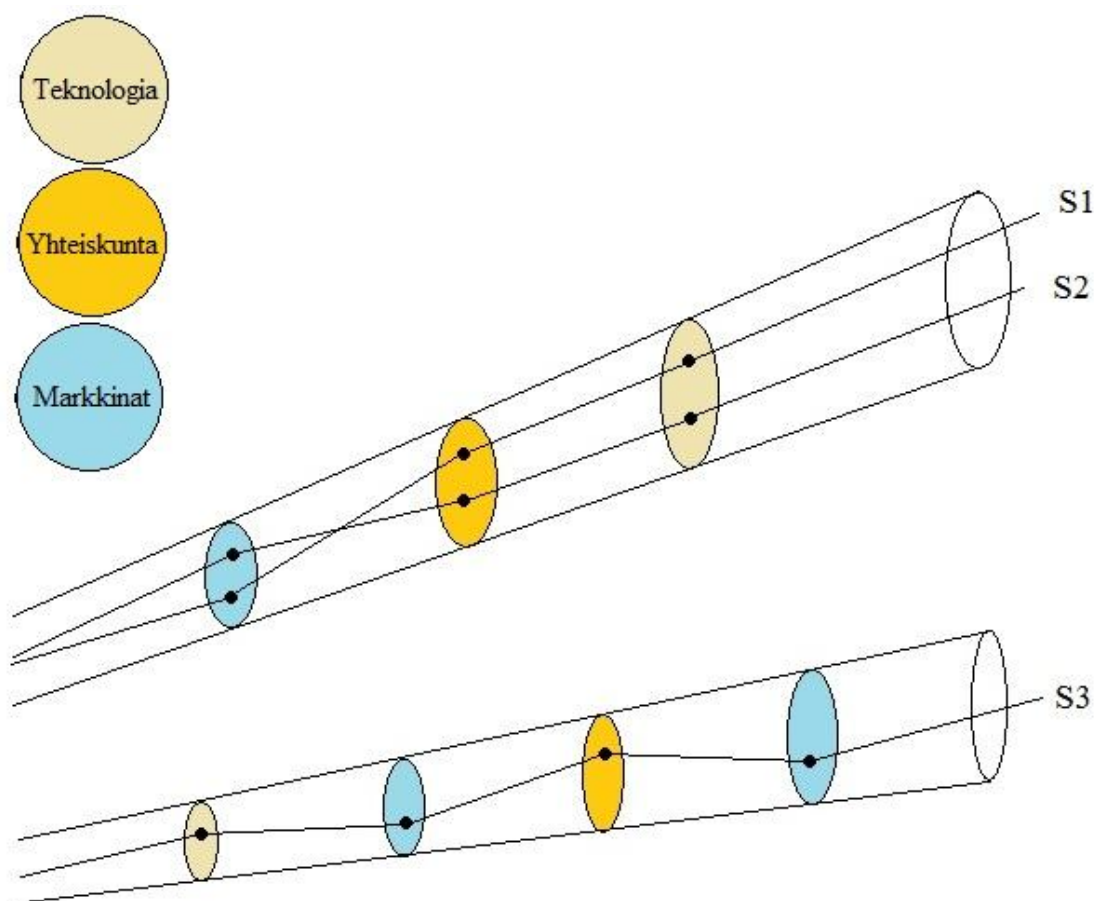


Kuva 4.1 Skenaariosuodattimet

Jos otetaan huomioon vain markkina- ja teknologiasuodattimet, ei kuluttajat ja yhteiskunta välttämättä hyväksy lopputulosta. Jos taas huomio keskittyy vain markkina- ja yhteiskuntasuodattimien tarkasteluun, saattaa lopputulos olla teknologisesti vanhanaikainen. Jos tarkasteluun otetaan vain yhteiskunta- ja teknologiasuodattimet, saattaa lopputuloksesta tulla taloudellisesti kannattamaton. Todellisen innovaation aikaansaamiseen vaaditaan kaikkien suodattimien huomioon ottaminen. Suodatinmallin tarkoituksena on tehdä skenaariotarkastelussa mahdollisimman monipuolinen kuvaus ympäröivästä maailmasta eri näkökulmista. Aikajänteet joilla suodattimet vaikuttavat vaihtelevat suodattimien tyypin mukaisesti. Markkinoiden aikajänne on kaikkein lyhin ja suunnitteluajanjakso yhdelle suodattimelle saattaa olla korkeintaan muutama vuosi. Yhteiskunnalliset suodattimet katsotaan ajoittuvan yleensä vaalikausien mukaisesti. Teknologian suunnitteluajanjakso voi olla kaikista pisin. Sen linjaukset saattavat ulottua jopa vuosikymmenien päähän. (Kokkonen et al. 2005, s.38-40)

Nämä edellytykset eli suodattimet toimivat skenaarioajattelussa ilmiöiden liikkeellepaneovina voimina eli drivereina (driving forces). Skenaariomallissa voidaan rakentaa erilaisia skenaarioputkia, joissa suodattimet ovat asetettuina eri järjestyksiin. Näiden putkien sisälle muodostuvat skenaariopolut, jotka kulkevat suodattimien läpi. Skenaarioputket luokitellaan sen mukaisesti, missä järjestyksessä suodattimet ovat sen sisällä. Ensimmäinen suodatin määrittelee skenaarion luonteen. Esimerkiksi jos putken ensimmäinen suodatin on markkinasuodatin, kutsutaan skenaarioita sen putken sisällä markkinavetoisiksi skenaarioiksi. Putkia voi samalla skenaarionluontikerralla muodostua useita ja myös niiden sisällä voi olla useampia polkuja.

Kuvassa 4.2 on esitetty skenaariopolkuja ja suodattimia sisältävät skenaarioputket. Yksittäisen skenaarioputken sisällä saattaa olla yksi tai useampia suodattimia ja skenaariopolkuja. Skenaariopolut eroavat toisistaan sillä, että ne läpäisevät suodattimet joko eri järjestyksessä tai eri kohdista. Skenaarioputkia on enintään yhtä monta kuin skenaarioita, mutta niitä saattaa olla myös vähemmän. Yhden skenaarioputken muodostavat ne skenaariot, joissa suodattimet ovat samassa järjestyksessä.



Kuva 4.2 Skenaarioputket

4.3. Johtopäätökset

Tässä työssä ei varsinaisesti suoriteta mittavaa tulevaisuudentutkimusta skenaarioiden laatimisen osalta. Lähtökohtana onkin luoda valmiita ennusteita todennäköisimpinä pidetyistä skenaarioista, joiden merkittävyyttä on tarkoitus tutkia energiayhtiön näkökulmasta. Merkitystä tarkastellaan skenaarion toteutumisen kahdessa eri ääripäässä, joilla kuvataan tapahtuman nopeampaa ja hitaampaa etenemistä.

5. KANNATTAVUUS

Seitsemännessä luvussa laaditaan kannattavuuslaskelmia. Tämä luku sisältää työn kannalta oleellisen osuuden kannattavuuslaskennan perusteista ja perusmenetelmistä.

5.1. Kannattavuuslaskenta

Saadakseen tuloja yritykselle muodostuu myös menoja. Periaatteessa kaikkia näitä menoja voidaan pitää investointeina. Yleensä investoinniksi kuitenkin määritellään rahamäärältään suuret menot, joissa tulon odotusaika on pitkä. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.163-169)

Investoinnin hyvyden määrittelevät sen erilaiset ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi tuotto-, kustannus- ja markkinatilanneodotukset sekä investoinnin perushankintakustannus, jäännösarvo, investoinnin vaatima aika ja käytetty laskentakorkokanta. Muun muassa näistä tekijöistä koostuvaa investoinnin hyvyttä kutsutaan sen kannattavuudeksi. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.163-169)

Kannattavuuslaskentamenetelmät antavat numeerisen työkalun eri investointien vertailemiseen keskenään. Jokaisella kannattavuuslaskentamenetelmällä on oma näkökulmansa investoinnin hyvyyteen. Näkökulmat perustuvat joko tietoon tai arvioihin investoinnin kustannuksista ja tuotoista. Yleisesti käytettyjä kannattavuuslaskentamenetelmiä ovat esimerkiksi nykyarvomenetelmä, annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, yksinkertaistettu sisäisen korkokannan menetelmä, takaisinmaksuajan menetelmä ja diskontattu takaisinmaksuajan menetelmä. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.163-169)

5.2. Menetelmät

Tässä alaluvussa esitellään kannattavuuslaskentamenetelmät nykyarvomenetelmä, annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, pääoman tuottoastemenetelmä, takaisinmaksuajan menetelmä ja diskontattu takaisinmaksuajan menetelmä.

5.2.1. Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmän ideana on diskontata investoinnin kaikki tuotot ja kustannukset nykyhetkeen. Diskonttaaminen tarkoittaa tulevaisuuden rahamäärien nykyarvon laskennallista määrittämistä. Tulevaisuuden rahamäärien nykyarvo määräytyy sen mukaan kuinka kaukana ajallisesti raha on ja kuinka suuri on laskennassa käytetty korkokanta. Korkokanta tarkoittaa sitä prosenttiosuutta jolla rahan oletetaan tuottavan

tietyllä ajanjaksolla. Tavallisesti käytetty ajanjakso on yksi vuosi. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.163-169)

Kun investoinnin positiiviset ja negatiiviset rahavirrat on diskontattu nykyhetkeen ja summattu keskenään, tarkoittaa positiivinen lopputulos kannattavaa investointia ja negatiivinen kannattamatonta (Uusi-Rauva et al. 2003, s.169-170). Kaavassa 4.1 on esitelty nykyarvomenetelmän laskenta.

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - H \quad (4.1)$$

missä C_t = nettokassavirta vuonna t

i = korkokanta

H = investoinnin perushankintakustannus

N = investoinnin pitoaika

5.2.2. Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investoinnin hankintakustannus jaetaan tasaisiksi pääomakustannuseriksi investoinnin pitoaikaa vastaavalle vuosimäärälle. Jakaminen tapahtuu kertomalla investoinnin hankintakustannus kaavan 4.2 avulla lasketulla annuiteettitekijällä. Investointi on annuiteettimenetelmän mukaisesti kannattava, mikäli vuotuiset nettotuotot ylittävät pääomakustannuserät. Menetelmän lähtötiedoiksi tarvitaan haluttu korkokanta, investoinnin pitoaika, arvioi vuotuisista nettotuotoista ja mahdollinen investoinnin jäännösarvo. Jos investoinnilla on pitoajan jälkeinen jäännösarvo, tulee se diskontattuna vähentää hankintakustannuksesta ennen varsinaista annuiteetin laskentaa. Annuiteettimenetelmän käyttö on kätevää, jos vuotuiset nettotuotot voidaan arvioida olevan tasaisia. (Neilimo & Uusi-Rauva 2001, s.198-199)

Annuiteettitekijä

$$A = \frac{i(1+i)}{(1+i)^t - 1} \quad (4.2)$$

missä i = korkokanta

t = investoinnin pitoaika

5.2.3. Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmällä määritetään investoinnin korkokanta jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Kaavassa 4.3 on esitetty menetelmän laskentamalli. Menetelmän käyttämiseksi nettonykyarvo määritetään nolaksi, arvioidaan investoinnin vuotuiset tulot ja menot nettokassavirran muodossa sekä

määritetään investoinnin pitoaika ja mahdollinen jäännösarvo. Tämän jälkeen ratkaistaan esimerkiksi iteratiivisesti investoinnin sisäinen korkokanta. Kannattavia investointeja sisäisen korkokannan menetelmän mukaan ovat sellaiset investoinnit joissa sisäisen korkokannan suuruudeksi muodostuu vähintään yrityksen tavoitteellinen pääoman tuotto prosentti. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.171)

$$NPV = 0 = -H + \frac{C_1}{1+i} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_t + JA}{(1+i)^t} \quad (4.3)$$

missä NPV = nettonykyarvo

H = investoinnin hankintameno

C_t = nettokassavirta vuonna t

i = sisäinen korkokanta

t = aika

JA = jäännösarvo

5.2.4. Pääoman tuottoastemenetelmä

Pääoman tuottoastemenetelmässä arvioidaan, kuinka hyvin investointiin sijoitetut rahat tuottavat. Menetelmässä määritetään niin sanottu poisto, joka muodostuu investoinnin perushankintakustannuksen ja jäännösarvon erotuksesta jaettuna investoinnin pitoajalla. Tämän jälkeen poisto vähennetään arvioidusta vuotuisesta nettotuotosta. Jäljelle jäävä summa jaetaan investoinnin perushankintakustannuksella, jolloin tuloksena on pääoman tuottoaste eli ROI (return on investment). (Uusi-Rauva et al. 2003, s.172)

Menetelmä on yksinkertainen, mutta lähtöarvojen ollessa epävarmoja ei pääomantuottoastemenetelmä ole sen huonompi kuin täsmällisempi laskenta (Uusi-Rauva et al. 2003, s.172). Pääoman tuottoastemenetelmä suosii investointeja joiden tuottavuus on hyvä, ottamatta kantaa investointien takaisinmaksuajan pituuteen.

5.2.5. Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä on yksinkertainen ja suosittu investointilaskentamenetelmä. Siinä yksinkertaisesti lasketaan takaisinmaksuaika, joka on investoinnin hankintakustannus jaettuna vuosittaisella nettotuotolla. Kannattavaksi takaisinmaksuajan menetelmän mukaan luetaan ne investoinnit joissa pääoma palautuu nopeasti takaisin. Tämä kriteeri on merkittävä esimerkiksi tiukan rahatilanteen vallitessa. Takaisinmaksuajan menetelmässä vaille huomiota jäävät rahan aika-arvo ja miten investointi käyttäytyy takaisinmaksuajan jälkeen, minkä vuoksi se suosii mahdollisimman nopeasti itsensä takaisin maksavia investointeja. (Uusi-Rauva et al. 2003, s.173)

Jos rahan aika-arvo halutaan ottaa huomioon, voidaan takaisinmaksuajan menetelmän sijaan käyttää diskontattua takaisinmaksuajan menetelmää. Siinä rahan aika-arvo huomioidaan valitun korkokannan mukaisesti. Menetelmässä tulevat

nettokassavirrat diskontataan kertomalla ne diskonttaustekijällä. (Leppiniemi & Puttonen 2002, s.94-95)

Kaavassa 4.4 on esitelty diskonttaustekijän kaava. Diskonttaustekijän käytön vuoksi diskontatun takaisinmaksuajan menetelmä antaa tulokseksi pidemmän takaisinmaksuajan. (Leppiniemi & Puttonen 2002, s.94-95)

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.4)$$

missä

i = korkokanta
n = tarkasteluvuosi

Soveltamalla diskonttaustekijää takaisinmaksuajan menetelmään on takaisinmaksuajalle johdettu kaava 4.5. Tässä kaavassa on reunaehtona samansuuruisiksi oletetut vuosittaiset nettokassavirrat. (Leppiniemi & Puttonen 2002, s.94-95)

$$n = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (4.5)$$

missä,

i = korkokanta
H = investoinnin hankintakustannus
q = nettokassavirta

5.3. Herkkyysanalyysi

Investointeihin liittyy yleensä yrityksen näkökulmasta isojen rahasummien sijoittamista ja siksi myös riski niiden tuottavuudesta. Tästä johtuen kannattavuuslaskelmiin liittyvä epävarmuus on hyvä selvittää. Yleensä tämä selvitys tehdään herkkyysanalyysillä, jolla tarkastellaan kannattavuuslaskelmissa käytettyjen lähtöarvojen arviointivirheiden vaikutusta kannattavuuslaskelmien tuloksiin. Käytännössä tämä tapahtuu muuttamalla yhtä tai useampaa lähtöarvoa alkuperäisestä suunnitteluarvosta sen mukaisesti kuinka paljon lähtöarvon oletetaan maksimissaan poikkeavan. Kun lähtöarvoa tai -arvoja on muutettu, lasketaan muuttunut kannattavuus.

Herkkyysanalyysi kertoo, miten suuri vaikutus eri laskennassa käytetyillä kannattavuuden lähtöarvoilla on lopulliseen kannattavuuteen. Näin saadaan selville tekijät joiden vaikutus kannattavuuden kannalta on suurin ja toisaalta mitkä tekijät vaikuttavat vain vähäisessä määrin kannattavuuteen. (Uusi-Rauva et al. 2003, 173-174)

5.4. Laadullinen analyysi

Kannattavuutta on tässä luvussa keskitytty käsittelemään mitattavina lukuarvoina, mutta sitä voidaan käsitellä myös toisella tavalla. Ulrich ja Eppinger (2008, s.310) jakavat tuotekehityksen kannattavuuden analyysin kahteen tyyppiin, määrälliseen ja laadulliseen.

Tuotekehityksen määrällisessä analyysissä keskitytään arvioimaan tuoteprojektin rahavirtojen nettonykyarvoa edellä esitetyn nykyarvomenetelmän avulla. Rahavirrat tarkoittavat tuotteen koko elinkaaren tuloja ja menoja. Tulot koostuvat tuotteen myynnistä ja menot muun muassa tuotekehityksen, tuotannonkehityksen, tuotannon ylösajon, markkinoinnin ja tuotannon juoksevista kustannuksista. Määrällisen analyysin avulla voidaan tarkastella esimerkiksi tuotteen elinkaaren aikataulumuutosten vaikutusta lopulliseen tuoteprojektin nettonykyarvoon. (Ulrich & Eppinger 2008, s.310)

Määrällisen analyysin avulla voidaan tarkastella ainoastaan rahassa ja ajassa mitattavia suureita, mutta ne eivät kata kaikkia projektin positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia. Laadullinen analyysi pyrkii tarkastelemaan projektin ominaisuuksia, jotka ovat vaikeasti mitattavissa määrällisen analyysin avulla. Tällaisia ominaisuuksia on esimerkiksi projektin vaikutukset yritykseen, tuotetta koskeviin markkinoihin ja makrotaloudelliseen ympäristöön. (Ulrich & Eppinger 2008, s.310-311)

Laadullisessa analyysissä selvitetään meneillä olevan tuotekehitysprojektin vuorovaikutussuhdetta yrityksen muuhun toimintaan, tuotteen markkina-alueeseen ja lopulta makroympäristöön sekä toisaalta näiden kolmen vaikutusta tuotekehitysprojektiin takaisinpäin. Makroympäristöllä tarkoitetaan tässä tuotteen markkina-alueetta laajempaa sosiaalista asiayhteyttä kuten koko yhteiskuntaa.

Yrityksen ja tuotekehitysprojektin välisen suhteen tärkeimmät vuorovaikutukset ovat negatiiviset ja positiiviset ulkoisvaikutukset sekä tulevan tuotteen sopivuus yrityksen strategiaan. Ulkoisvaikutukset ovat tuotekehitysprojektin vuorovaikutusta yrityksen muuhun toimintaan. Tällainen positiivinen ulkoisvaikutus voisi olla esimerkiksi tuotekehitysprojektista saatu kokemus, josta on hyötyä seuraavissa projekteissa. Tuotekehitysprojektin ja yrityksen vuorovaikutusta voidaan pohtia myös tarkastelemalla tulevan tuotteen sopivuutta yrityksen strategiaan. Esimerkiksi voidaan miettiä, sopiiko tuote yrityksen tavoittelemaan laatutasoon tai ulkoiseen imagoon. (Ulrich & Eppinger 2008, s.322-323)

Tuotekehitysprojektin ja markkina-alueen välisen vuorovaikutussuhteen tärkeimmät tekijät ovat kilpailijat, asiakkaat ja jakelijat. Kilpailevat yritykset voivat tuoda suoraan kehitteillä olevan tuotteen kanssa kilpailevia tuotteita tai epäsuorasti korvaavia tuotteita, jotka eivät ole samanlaisia, mutta tyydyttävät saman tarpeen asiakkailla. Asiakkaiden odotukset, tulotaso tai mieltymykset voivat projektin aikana muuttua sekä myös tuotteen jakelijoiden omat markkinapaineet voivat vaikuttaa tuotteen asemaan markkinoilla. Niinkuin laadulliseen analyysiin kuuluu, ovat edellä mainitut vuorovaikutussuhteet vaikeasti mitattavissa olevia suureita. Silti on hyvä tutkia esimerkiksi herkkyyshanalyysin keinoin, miten voimakkaat vaikutukset on

tuotekehitysprojektin ja markkina-alueen välisillä vuorovaikutussuhteilla tuotteen kannattavuuteen. (Ulrich & Eppinger 2008, s. 323)

Vuorovaikutussuhteiden analyysin kolmas taso on tuotekehitysprojektin ja makroympäristön välinen suhde. Kolme tärkeintä vuorovaikutusta tällä tasolla ovat merkittävät taloudelliset muutokset, poliittiset päätökset ja sosiaaliset suuntaukset (Ulrich & Eppinger 2008, s.324). Merkittäviä taloudellisia muutoksia voivat olla esimerkiksi valuuttakurssimuutokset sekä materiaalikustannusten ja työkustannusten muutokset. Poliittiset päätökset voivat olla esimerkiksi verotuksen tai lakien muuttumista ja sosiaalisilla suuntauksilla tarkoitetaan esimerkiksi ihmisten kiinnostuksen lisäämistä ympäristönsuojeluun.

5.5. Johtopäätökset

Neilimon ja Uusi-Rauvan (2001, s.201) kirjassa esitetyn tutkimustuloksen mukaan suosituimpia kannattavuuslaskentamenetelmiä Suomen 50 suurimman yrityksen tulosyksiköissä ovat sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan menetelmät. Niiden todetaan tukevan toisiaan niin, että sekä investoinnin kannattavuus että rahoitusvaikutukset saadaan selville. Menetelmistä sisäisen korkokannan menetelmä tutkii investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuajan menetelmä sen rahoitusvaikutuksia.

Maalämmön ja kaukolämmön kilpailukyvyyn laskennassa käytetään takaisinmaksuajan menetelmää, koska se todetaan tässä työssä hyväksi menetelmäksi mitata asiakkaan hankinnan kannattavuutta. Riittävän lyhyenä takaisinmaksuaikana on yleisesti pidetty viidestä yhdeksään vuotta.

6. MUUTOSKENAARIOT

Tässä luvussa luodaan neljään edelliseen lukuun nojaten ennusteet, joissa pyritään vastaamaan johdannossa esitettyyn työn ensimmäiseen tutkimusongelmaan eli mitkä ovat lämpöpumppujen yleistymisen vaikutukset energiayhtiön kannalta.

Ensimmäisenä muodostetaan maalämpöpumppujen lisääntymistä kuvaavien skenaarioiden rakenteet luvussa 6.1. Tämän jälkeen esitellään skenaarioiden avulla tapahtuva laskenta luvussa 6.2. Luvuissa 6.3, 6.4. ja 6.5 on esitetty laskennasta muodostuneita tuloksia kaukolämpöliiketoiminnan, sähköverkkoliiketoiminnan ja primäärienergiankulutuksen näkökulmista.

6.1. Skenaarioiden kuvaus

Skenaarioita voitaisiin tehdä muistakin mahdollisista vaihtoehdoista kuin lämpöpumppujen lisääntyminen kaukolämmön kustannuksella, mutta se ei olisi työn tarkoituksen kannalta olennaista. Työssä keskitytään ainoastaan vain yhden mahdollisen skenaarion ääripäiden hahmottelemiseen. Näitä kahta ääripäätä kutsutaan hitaaksi skenaarioksi ja nopeaksi skenaarioksi. Hidas skenaario tutkii lämpöpumppujen maltillista markkinaosuuden valtaamista ja nopea skenaario nopeampaa markkinaosuuden lisääntymistä. Luvussa 1.1.1. esitetystä lämpöpumppujen nykymarkkinatilanteesta voidaan todeta, että olemme jo lämpöpumppujen yleistymis-skenaarion alkupäässä.

Vaihtoehtoisia tulevaisuudenskenaarioita työn aihepiiriin liittyen voisi olla esimerkiksi lämpöpumppujen väheneminen tai jonkin muun teknologian yleistymisen tai vähenemisen tarkastelu. Lämpöpumppujen yleistymistä pidetään tässä työssä todennäköisimpänä tulevaisuuden skenaariona. Näin ollen työn tärkein anti ei olekaan lämpöpumppujen yleistymisen tarkka ennustaminen vaan sen seurausten kartoitus ja päätöksenteon tukeminen.

6.1.1. Markkinaosuudet

Kaukolämmön markkinaosuuden siirtymä tarkoittaa tässä yhteydessä osuutta kaukolämmön tietyn asiakastyypin kokonaisenergiankäytöstä. Eli esimerkiksi pientalojen 20 prosentin markkinaosuus tarkoittaa kaukolämmön pientalojen käyttämästä vuosittaisesta kokonaisenergiamäärästä 20 prosenttia. Vastaavasti öljylämmityksen markkinaosuudesta on laadittu siirtymämäärät maalämpöön samankaltaisesti energiamäärien mukaisesti.

Skenaariot markkinaosuuden siirtymämääristä on laadittu yhdessä Tampereen sähkölaitoksen asiantuntijoiden kanssa. Markkinaosuuden siirtyminen oletetaan

tasaiseksi lineaariseksi siirtymäksi. Todellisuudessa siirtymä on satunnaisempaa, mutta todellisen siirtymän oletetaan asettuvan johonkin hitaan ja nopean skenaarion välille.

Taulukossa 6.1 on esitetty työn oletetut kaukolämmön markkinaosuuden siirtymät maalämmön piiriin. Hitaassa skenaariossa kaukolämmön markkinaosuudesta maalämpöön siirtyy pientalojen osalta 20 prosenttia, rivitalojen 10 prosenttia ja kerrostalojen viisi prosenttia. Lisäksi öljylämmityksen markkinaosuudesta oletetaan vähintään 50 prosenttia siirtyvän maalämpöön. Nopeassa skenaariossa kaukolämmitteisestä lämmityksestä pientalojen osalta siirtyy 50 prosenttia, rivitalojen osalta 25 prosenttia ja kerrostalojen osalta 15 prosenttia. Öljylämmityksen markkinaosuuden siirtymä lämpöpumppulämmitykseen nopeassa skenaariossa oletetaan olevan 80 prosenttia.

Taulukko 6.1 Skenaarioiden markkinaosuuksien siirtymät

Asiakasryhmä	Hidas skenaario [%]	Nopea skenaario [%]
KL pientalot	20	50
KL rivitalot	10	25
KL kerrostalot	5	15
Öljylämmitystalot	50	80

6.2. Laskentatyökalu

Työn laskentaosuus suoritetaan Excel taulukkolaskentaohjelman avulla. Tarkoituksena on laatia työn ennusteesta ja tilastollisista lähtöarvoista laskelmat maalämmön markkinaosuuden lisäyksestä johtuvat vaikutukset kaukolämpö- ja sähköverkkoliiketoimintaan. Tällaisia vaikutuksia ovat kaukolämmön ja sähkön myynissä tapahtuvat muutokset energia- ja rahamääräisesti. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat muutokset primäärienergian kulutuksessa.

6.2.1. Välilehdet

Excel-työkalussa on yhteensä kuusi välilehteä. Neljä ensimmäistä välilehteä liittyvät työn ennustamiin skenaarioihin ja kaksi viimeistä luvun seitsemän kannattavuuslaskentaan.

Ensimmäinen välilehti, lähtötiedot, on tarkoitettu skenaarioiden muodostamiseen tarvittavien tietojen syöttöpaikaksi. Tällaisia lähtötietoja ovat esimerkiksi markkinaosuuksien siirtymät, aikaisimmin tuotetut lämpöenergiamäärät ja maalämmön lämpökerroin. Tämän välilehden syöttötietojen perusteella muodostetaan seuraavien välilehtien sisältö.

Toinen välilehti esittelee olennaiset laskennan tunnusluvut kuten lopulliset kaukolämmön myyntimäärät ja sähkönmyynnin lisäyksen. Seuraava välilehti sisältää skenaarioiden etenemisen vuodesta 2010 vuoteen 2040 kuvaajien muodossa. Neljännessä välilehdessä on laskentaan liittyvä data, jonka avulla kuvaajat muodostuvat.

Kaksi viimeistä välilehteä muodostavat kannattavuuslaskennan osuuden, joista ensimmäinen pitää sisällään lähtöarvojen syötön sekä niistä muodostuvat laskentatulokset ja toinen sisältää kannattavuuden kuvaajat.

6.2.2. Laskenta

Työn yhteydessä tehdyn laskentatyökalun laskenta pohjautuu työssä oletetuille markkinaosuuksien siirtymille. Näiden siirtymien avulla tarkastellaan energiamääriä ja myöhemmin niistä muodostuvia rahamääriä.

Ensimmäiseksi selvitetään, mitä tarkoittaa käytännössä jonkin asiakastyypin markkinaosuuden siirtyminen kaukolämmön piiristä maalämmön piiriin. Tämän selvittämiseksi tarvitaan tieto siitä, mitä ovat kaukolämmön markkinaosuudet eli kuinka paljon kaukolämmöllä on asiakkaita ja tarkemmin kuinka paljon energiaa asiakkaat kuluttavat. Kun tiedetään asiakas- ja energiamäärät, täytyy selvittää, mikä osuus asiakkaista ja energiasta kuuluu millekin työhön liittyvälle asiakasryhmälle. Laskennan kannalta energiamäärät jaetaan siis pientalojen, rivitalojen, kerrostalojen ja muiden asiakasryhmien piiriin.

Kun tiedetään, mikä määrä energiaa kuuluu millekin asiakasryhmälle, saadaan markkinaosuussiirtymistä laskettua se, kuinka paljon energiaa ennusteen mukaan tuotetaan maalämmöllä kaukolämmön sijaan. Markkinaosuuden siirtymät ovat työssä määrätty 30 vuoden aikajaksolle. Laskennan kannalta siirtymien oletetaan tapahtuvan tasaisesti ja lineaarisesti. Jokaisena vuonna siirtyy yhtä paljon markkinaosuutta, kunnes 30 vuoden kuluttua oletettu markkinaosuuden siirtymä on tapahtunut kokonaisuudessaan.

Maalämmöllä tuotettavan energian määrästä voidaan laskea, kuinka paljon tarvitaan sähköä tämän energian tuottamiseksi. Tähän tarvitaan maalämmön lämpökerrointa, lämpöpumppujärjestelmän mitoitusasetta ja maalämpöjärjestelmän maksimitheon osuutta rakennuksen maksimilämmitystehosta. Samalla voidaan laskea arvio energiamäärien lisäksi maalämmöstä aiheutuvalla sähkön maksimitehontarpeelle. Tämä arvio saadaan siten, että otetaan kaukolämmön maksimitehontarpeesta oletetun markkinaosuuden siirtymän tehontarvetta verran maalämmön piiriin.

Kun tiedetään siirtyneet energiamäärät, voidaan laskea, mitä tämä merkitsee myyntituloissa. Laskennassa käytetään sähkön- ja kaukolämmöhintoina nykytariffin mukaista hinnoittelua. Laskennassa käytetyt lähtöarvot on esitetty liitteessä 2.

6.2.3. Laskennasta pois jäävät tekijät

Ennusteiden tarkkuus 30 vuoden aikajaksolla on parhaimmillaankin vain karkea arvio. Laskennan tarkoituksena on antaa suuntaviivoja tulevasta ja toimia tukena päätösten teossa. Tästä syystä on järkevää tehdä tiettyjä yksinkertaistuksia ja toisaalta jättää vähemmän merkityksellisiä seikkoja kokonaan laskennan ulkopuolelle.

Laskennan ulkopuolelle on jätetty esimerkiksi maalämpöön siirtyvien kaukolämpöasiakkaiden fyysisten kaukolämpöliitännöiden purkutöistä aiheutuvat kustannukset energiayhtiölle.

Lisäksi laskennassa on tehty yksinkertaistuksia esimerkiksi jättämällä sähkön ja kaukolämmön hinnanmuutokset huomioimatta. Laskennassa käytettävät hinnat ovat nykyhinnoittelun mukaiset. Kaukolämpöstä maalämpöön siirtyvien asiakkaiden oletetaan ostavan maalämpöjärjestelmän tarvitsevan sähkön Tampereen Sähkölaitos Oy:ltä.

Todellisuudessa kaukolämpöliittymien purkamistyöt aiheuttavat kustannuksia energiayhtiölle, ja maalämpöasiakkaan on mahdollista ostaa sähkönsä myös muilta energiayhtiöiltä. Myös sähkön ja kaukolämmön hinnat muuttuvat ja tämä ei tapahdu välttämättä samassa suhteessa. Mutta tässä työssä näiden tekijöiden vaikutukset ovat rajattu laskennan ulkopuolelle, millä pyritään havainnollistamaan mahdollisten muutosten kokonaisvaikutuksia. Todellisuudessa erityisesti eri tuotteiden hinnoittelulla tulevaisuudessa voidaan vaikuttaa merkittävästi skenaarioiden toteutumiseen.

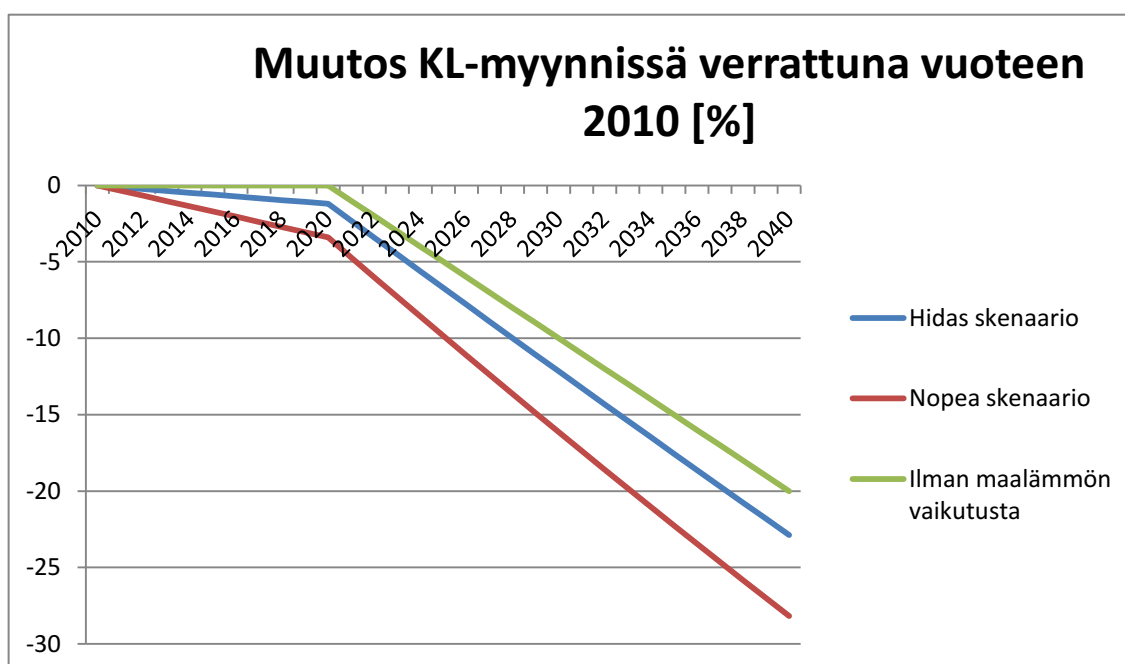
6.3. Skenaarioiden vaikutukset kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta

Tässä alaluvussa esitellään laskentaohjelmasta saatavia tuloksia kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta. Kaukolämmön myynninmuutosta tarkastellaan energiamäärinä ja rahamäärinä nykyisen hintatason mukaisesti.

Kuvassa 6.1 on esitetty kaukolämmön energianmyynnin prosentuaalinen muutos verrattuna vuoden 2010 myyntiin. Kuvassa on esitetty sekä hitaan ja nopean skenaarion mukainen että pelkän lämmitysenergiantarve-ennustuksen mukainen muutos ilman maalämmön vaikutusta.

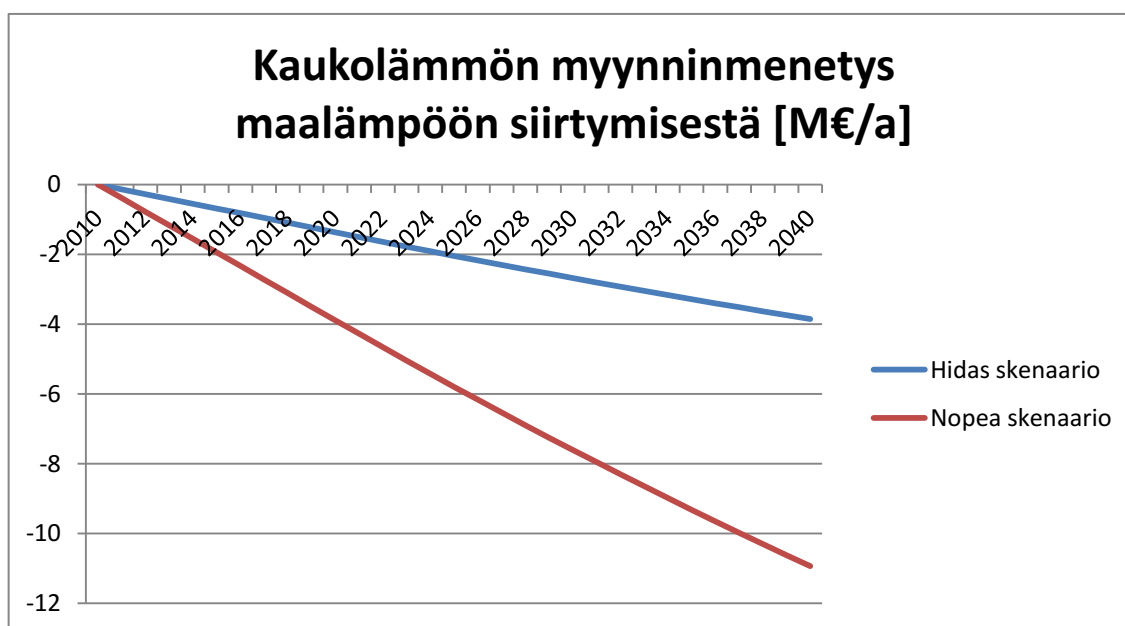
Ilman maalämpöpumppujen lämmitysmarkkinaosuuden valtausta kaukolämmön myynti pysyy työn ennusteen mukaisesti vuoteen 2020 asti samalla tasolla kuin se oli vuonna 2010. Tämän jälkeen myyntimäärä laskee tasaisesti saavuttaen vuonna 2040 noin 20 prosentin vähenemisen verrattuna vuoden 2010 myyntiin. Ennuste on esitetty luvussa 2.8.

Hitaan skenaarion mukaisesti maalämmön vaikutukset näkyvät ensin loivana myynninmenetyksenä vuoteen 2020 asti, jonka jälkeen myynninmenetys on huomattavasti nopeampaa päätyen noin 22,5 prosentin myynnin menetykseen vuonna 2040. Nopea skenario noudattelee hitaan skenaarion tyylistä etenemistä. Erona on alun loivan osuuden hieman jyrkempi lasku, jonka jälkeen radikaalimmassa osuudessa päädytään noin 28 prosentin myynnin menetykseen vuonna 2040.



Kuva 6.1 Kaukolämmön myynnin muutos maalämmön markkinaosuuden siirtymästä

Kuvassa 6.2 on esitetty kaukolämmön myyntitulojen menetys markkinaosuussiirtymästä ajan funktiona vuodesta 2010 vuoteen 2040. Vertailussa on käytetty nykytariffin mukaista hintatasoa. Rahamääräisesti eroa hitaan ja nopean skenaarion välillä on huomattavasti. Vuositason tulonmenetys kasvaa nopeassa skenaariossa alussa noin kaksi kertaa nopeammin ja lopulta vuonna 2040 tulonmenetys on lähes kolminkertainen joka vuosi.



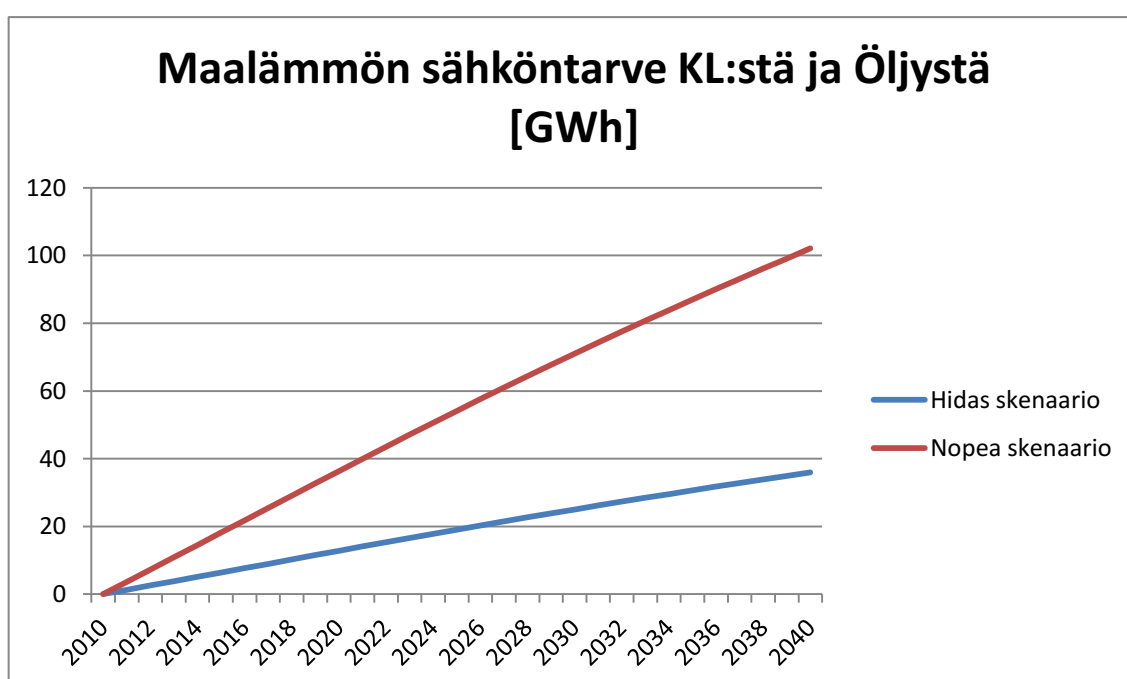
Kuva 6.2 Kaukolämmön myyntitulot energiamaksusta

6.4. Skenaarioiden vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan näkökulmasta

Sähkön siirrossa tulee ottaa huomioon lämpöpumppujen aiheuttamat huipputehopiikit kylmimpinä ajankohtina.

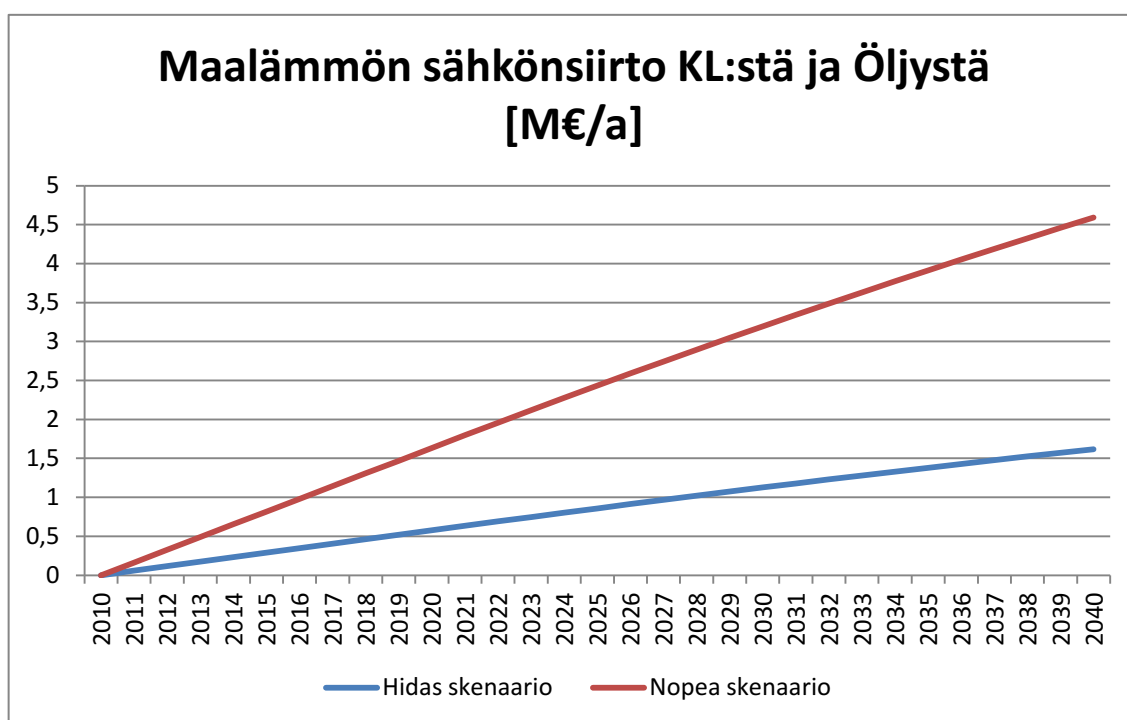
6.4.1. Energiämäärät

Kuvassa 6.3 on esitetty maalämpölämmityksen sähköntarpeen lisäys kaukolämmön ja öljylämmityksen markkinaosuuden siirtymistä. Hitaan ja nopean skenaarion välinen ero on merkittävä.



Kuva 6.3 Maalämpösähkön lisäys kaukolämmön ja öljylämmityksen markkinaosuussiirtymästä

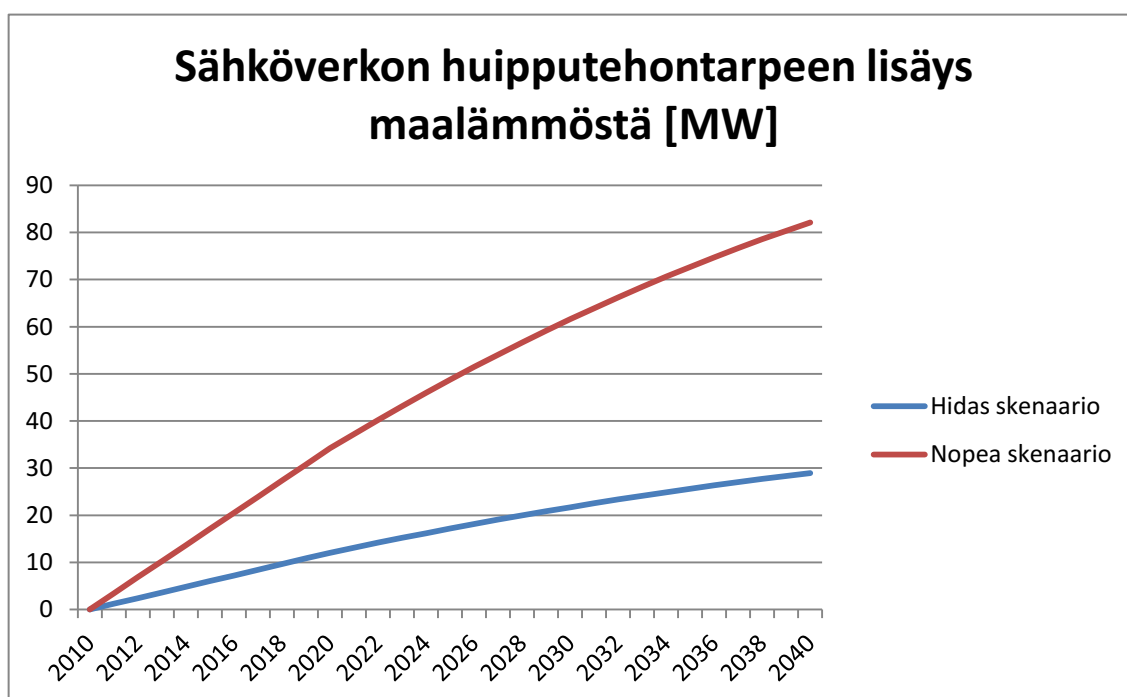
Kuvassa 6.4 on esitetty maalämmön kaukolämmöltä ja öljylämmitykseltä valtaaman markkinaosuuden vaikutus sähkön siirron lisäyksenä. Ero hitaan ja nopean skenaarion välillä on alle puolet siitä, mikä ero on hitaan ja nopean skenaarion välillä kaukolämmön tulonmenetyksessä kuvassa 6.2.



Kuva 6.4 Maalämmön osuus sähkönmyynnistä

6.4.2. Sähköverkon huipputeho

Kuvassa 6.5 on esitetty hitaan ja nopean skenaarioiden mukaiset sähkön huipputehontarpeen lisäys maalämmön markkinaosuusvaltauksesta johtuen. Huipputehontarpeissa on skenaarioiden välillä huomattava ero. Hidas skenaario lisäisi 30 vuoden aikana huipputehon tarvetta noin 30 MW:n verran, kun taas nopeassa lisäys olisi yli 80 MW.

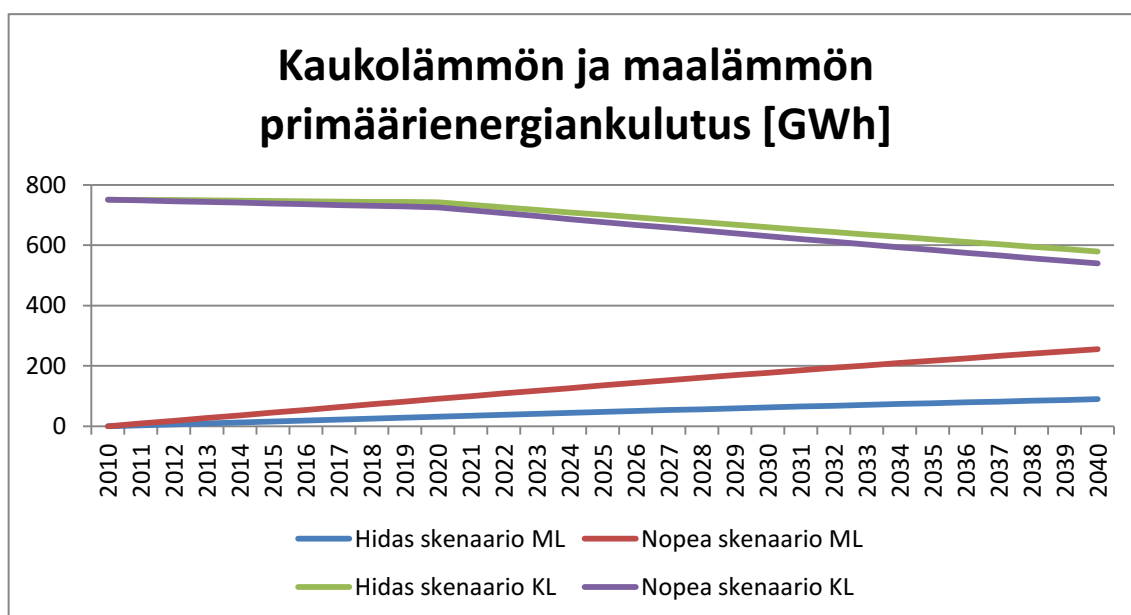


Kuva 6.5 Sähköverkon huipputehontarve maalämmöstä

Huipputehon tarve ajoittuu lämmityksessä yleensä kylmimpään ajankohtaan, jolloin luonnollisesti rakennusten lämmöntarve on suurin. Jakeluverkkoyhtiön talvisen huipputehon kasvu nykyisestä olisi tällöin noin 10 - 25 %, mikä merkitsee sähköverkon kannalta verkon vahvistustarpeita.

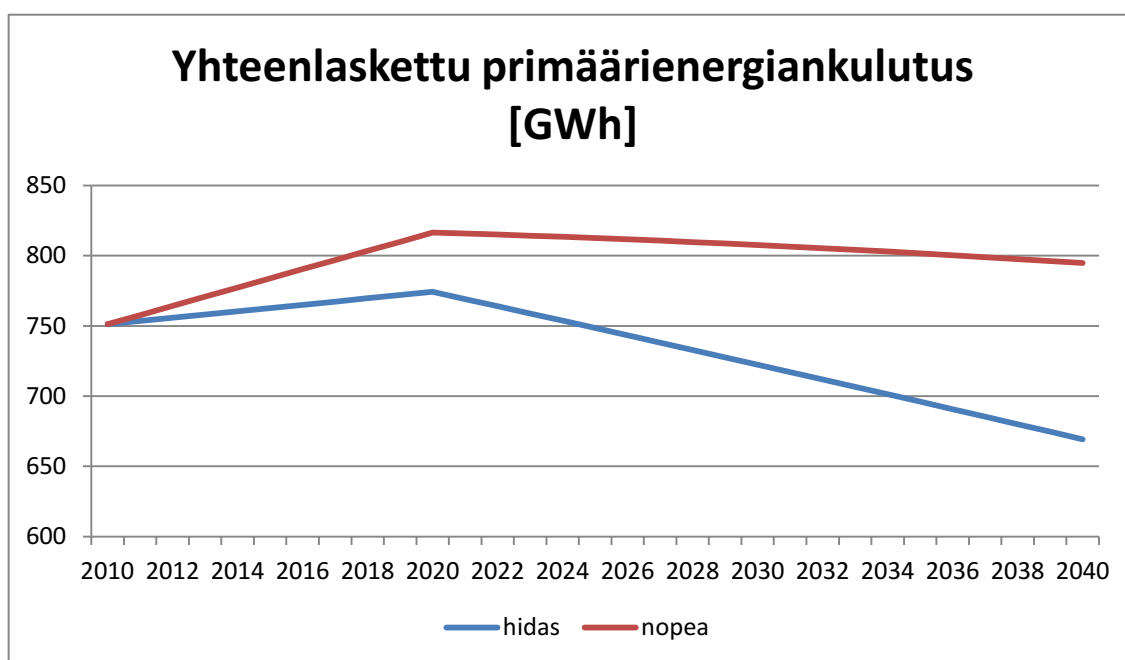
6.5. Skenaarioiden vaikutus primäärienergiankulutukseen

Kuvassa 6.6 on kuvattu käytetty primäärienergia molemmissa skenaarioissa. Primäärienergian kulutus on laskettu sekä kaukolämmölle ja maalämmölle.



Kuva 6.6 Maalämmön ja kaukolämmön primäärienergiankulutus

Laskemalla kummassakin skenaariossa sekä maalämmön että kaukolämmön primäärienergiankulutukset yhteen saadaan hitaan ja nopean skenaarion kokonaisprimäärienergiankulutusten erot paremmin esille. Kuvassa 6.7 on esitetty molempien skenaarioiden kokonaisprimäärienergiankulutuksen eteneminen. Energiantarve-ennusteesta johtuen molemmat skenaariot kääntyvät alun kasvun jälkeen vuonna 2020 laskuun, mutta primäärienergiankulutuksen vähenemisvauhteissa on selkeä ero.



Kuva 6.7 Maalämmön ja kaukolämmön yhteenlaskettu primäärienergiankulutus

Kaukolämmön primäärienergiankulutuksella ei ole suurta eroa nopean ja hitaan skenaarion välillä. Kummassakin skenaariossa kulutettu primäärienergia laskee kolmessakymmenessä vuodessa 750 gigawattitunnista noin 550 gigawattituntiin. Hitaassa skenaariossa kulutus laskee hieman yli 550 gigawattituntiin ja nopeassa skenaariossa hieman alle sen.

Maalämmön primäärienergian kulutus kasvaa molemmissa skenaarioissa markkinaosuuden lisäyksestä. Maalämmön tapauksessa erot ovat huomattavammat. Hitaan skenaarion mukaisesti kasvu on noin sadan gigawattitunnin luokkaa. Nopeassa primäärienergian kulutus kasvaa kaksi ja puolikertaisesti verrattuna hitaaseen. Kuvassa on siis ainoastaan maalämmön primäärienergiankulutuksesta se osuus joka on tässä työssä ennustettu siirtyvän kaukolämmön markkinaosuudesta maalämpöön.

Sekä kaukolämmön että maalämmön tapauksessa primäärienergian kulutukset käyttäytyvät samankaltaisesti eri skenaarioiden välillä erojen ollessa lähinnä mittakaavassa. Molempien lämmitysmuotojen yhteenlaskettu primäärienergian kulutus käyttäytyy eri tavalla. Hitaan skenaarion mukaisesti primäärienergian kulutus kasvaa vain hieman ensimmäisen kymmenen vuoden aikana. Tämän jälkeen kulutus kääntyy laskuun ja lopulta se on noin 50 gigawattituntia pienempi kuin vuonna 2010. Tästä poiketen nopean skenaarion mukaisessa tilanteessa primäärienergian kulutus kasvaa reiluun 800 gigawattitunnin ensimmäisen kymmenen vuoden aikana jonka jälkeen se kääntyy loivaan laskuun jääden 800 gigawattitunnin tuntumaan vuonna 2040.

6.6. Johtopäätökset

Viimeinen alaluku on yhteenveto tämän luvun skenaarioiden seurauksista tarkastelun kohteeksi valituilla näkökulmilla.

6.6.1. Kaukolämpötoiminta

Kaukolämmön myyntimäärät tulevat laskemaan energiatehokkuustoimien ja ilmaston lämpenemisen vuoksi. Maalämmön markkinaosuuden vaikutus lisää kaukolämmön myyntimäärien vähenemistä jonkin verran. Työssä on tarkasteltu ainoastaan asuinrakennuksia, mutta jos maalämmön lisääntyminen kasvaa myös muissa rakennustyypeissä, tulee kaukolämmön myynninväheneminen maalämmön markkinaosuuden valtauksesta lisääntymään enemmän.

Prosentuaalisesti myynninmenetys on eri skenaariosta ja ajanjaksosta riippuen muutamasta prosentista vajaaseen kymmeneen prosenttiin. Rahamäärissä vuositason myyntitulojen menetykset ovat miljoonia euroja. Maksimissaan se on noin 11 miljoonan euron luokkaa.

6.6.2. Sähköverkkotoiminta

Kun maalämpö vie kaukolämmöltä ja öljylämmitykseltä markkinaosuutta, erot hitaan ja nopean skenaarioiden välillä lisääntyneenä sähkön siirtotarpeena ovat maksimissaan miltei 70 GWh vuosiluokkaa tarkastelujaksoson lopussa vuonna 2040.

Sähkön siirron kannalta maalämmön lisääntyminen tuo lisää siirtovelvoitetta koko ajan kasvavaan tahtiin. Hitaassa skenaariossa vuonna 2040 siirto lisääntyisi nykyyhintatasolla noin 1,5 miljoonaa euroa ja nopeassa skenaariossa noin 4,5 miljoonaa euroa. Vastaavasti nämä luvut olisivat sähkön kokonaistoimituksena mitaten (95 €/MWh) lähes samaa suuruusluokkaa, jos niitä verrataan kaukolämmön myyntitulojen vähentymiseen koko tarkastelujaksolla eli nopeassa skenaariossa noin 12 miljoonaa euroa. Tämän luvun sähköverkkotoiminnan laskuissa käytetään ainoastaan sähkön siirtoa kokonaistoimituksen sijasta, koska ainoastaan siirron markkinaosuus on 100 prosenttia. Seuraavan luvun asiakkaan kannalta tapahtuvassa kannattavuuslaskennassa otetaan huomioon kokonaistoimitus.

6.6.3. Sähköteho

Tämän luvun pohjalta voidaan todeta, että lämmitystapojen markkinaosuussiirtymät kaukolämmöltä maalämpöön lisäävät sähköverkon huipputehoa tulevaisuudessa. Tarkasteltaessa työn aiheen ulkopuolelta laajemmin sähköverkon huipputehon kehitystä tulevaisuudessa tulee ottaa huomioon myös sähköautojen yleistymisen seuraukset. Kronström et al.:n(2009, s.6) laatimissa skenaarioissa ennustetaan sähköautojen lisääntyvän seuraavien kahdenkymmenen vuoden aikana niin, että vähintään 12 prosenttia ja enintään 57 prosenttia tehdyistä henkilöautojen liikennesuoritteesta tehdään joko sähkö- tai hybridi-autolla. Sähköautojen yleistymisen aikataulua on vaikea ennustaa tarkoin, mutta automallien hankintahinnan laskiessa yleistymistä pidetään todennäköisenä.

Toisaalta sähköautojen sähköntarve ajoittuu todennäköisesti tasaisesti vuoden läpi, kun taas maalämmön sähköntarve kasvaa huomattavasti vuoden kylmimpinä ajankohtina. Tästä seurauksena sähköverkon täytyy kyetä siirtämään tehoa, jota

tarvitaan vain ajoittain. Jos tämän sähkön tuotanto perustuu kombivoimalaitokseen, jossa tuotetaan sähkön lisäksi lämpöä ja samanaikaisesti lämmöntuotannon markkinaosuus laskee, saavutaan tilanne, jossa vastakuormat pienenevät ja toisaalta joudutaan kasvattamaan erillissähkön tuotantokapasiteettia. Lisäksi sähköverkko ei kykene suuriin tehonsiirron lisäyksiin, vaan myös verkkoa on kehitettävä.

6.6.4. Primäärienergia

Luvun 6.5 perusteella voidaan päätellä, että mitä enemmän maalämpölämmitys valtaa kaukolämmön markkinaosuutta, sitä enemmän primäärienergiaa yhteensä kulutetaan. Syynä tähän on kaukolämmön primäärienergiankulutuksen kannalta järkevä kombivoimalaitostuotanto ja toisaalta maalämmössä tarpeellinen sähkönkäyttö.

7. ENERGIAYHTIÖN REAKTIOT MAALÄMPÖPUMPUN LISÄÄNTYMISEEN

Tässä luvussa keskitytään edellisessä luvussa selvitetystä työn ensimmäisestä tutkimusongelmasta muodostuneeseen toiseen päätutkimusongelmaan. Toisin sanoen selvitetään miten energiayhtiön tulisi reagoida maalämpöpumppujen yleistymisestä aiheutuneisiin, siihen kohdistuneisiin seurauksiin.

Luvussa kuusi hahmoteltiin maalämmön markkinaosuusvaltauksesta johtuvien ilmiöiden, kuten sähkön siirron lisääntymisen ja toisaalta kaukolämmön myynnin menetyksen mittasuhteita. Edellisessä luvussa todettiin maalämmön yleistymisestä johtuen sähkön siirron lisääntyvän noin 40-100 GWh, kaukolämmön myynnin vähenevän noin 22-28 prosenttia ja sähkön huipputehontarpeen kasvavan noin 30-80 MW.

Tämän työn ennusteen mukaisesti tietyt osuudet kaukolämpölämmittäjistä siirtyy tulevaisuudessa maalämpölämmittäjiksi. Jos energiayhtiön tavoitteeksi otetaan omien asiakkaiden säilyttäminen ja oletetaan ennusteen pitävän paikkaansa, luonnolliseksi ratkaisuksi nousee energiayhtiön oman maalämpöliiketoiminnan aloittaminen. Tällä tavoin se osa asiakkaista, jotka vaihtavat lämmitystapaa, voisivat silti pysyä saman energiayhtiön asiakkaina. Tämän vaihtoehdon kannattavuutta tarkastellaan seuraavassa alaluvussa.

7.1. Maalämpö osaksi liiketoimintaa

Yksi mahdollinen energiayhtiön reaktio maalämpöpumppujärjestelmien yleistymiseen on yhtiön osallistuminen maalämpöliiketoimintaan. Käytännön maalämpöjärjestelmien toimitus asiakkaalle olisi mahdollista suorittaa yhteistyössä toisen yrityksen kanssa, jolla on valmiiksi asiantuntemusta ja vaadittavat resurssit maalämpöjärjestelmien asentamiseksi. Tarvittavia valmiuksia olisivat esimerkiksi kaivonporaus ja maalämpökaivon asennus sekä tarvittavan lämmitysjärjestelmän asennus ja toimitus asiakkaalle. Energiayhtiön rooli voisi olla myynti- ja rahoituspuolella.

7.1.1. Kilpailukyylaskenta

Asiakkaan näkökulmasta suoritetaan alustavia laskentoja, joissa vertaillaan maalämpöjärjestelmän ja kaukolämmityksen lämmityskustannuksia keskenään. Vertailu suoritetaan laskemalla kaukolämmön tilalle hankittavan maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika, kuinka kauan kestää ennen kuin maalämpöjärjestelmä on maksanut lämmityskustannuksissa syntyvillä säästöillä oman hankintahintansa takaisin. Laskentaa

varten tarvitaan arviot sekä kaukolämpölämmitykseen että maalämpölämmitykseen liittyvistä kustannustekijöistä.

Laskennassa kaukolämpölämmityksen kustannukset muodostuvat energiamaksusta ja perusmaksusta. Energiamaksulla tarkoitetaan lämpöenergian kulutuksen mukaista hinnoittelua ja perusmaksulla kaukolämpöliittymän kiinteä kulutuksesta riippumatonta vuosimaksua. Lämpöenergian kulutus muodostuu arvioidusta rakennuksen vuosittaisesta lämpöenergiantarpeesta. Kaukolämpölämmityksen kustannuksiin ei lisätä sen hankintakustannuksia, sillä laskennassa oletetaan asiakkaalla jo olevan kaukolämpöliittymä.

Maalämpöjärjestelmän kustannukset muodostuvat sen hankintakustannuksista ja sähkökustannuksista. Sähkön kulutukseen vaikuttavat tekijät ovat rakennuksen vuosittainen lämmitysenergiantarve ja maalämmityksen mitoitusaste sekä lämpökerroin. Sähkökustannukset muodostuvat sähkön myyntiosuudesta ja sähkön siirrosta liitteen 2 mukaisesti.

Kilpailukykyvertailussa on tyypillinen omakotitalo, kerrostalo ja rivitalo. Näille tyyppitaloille määritetään lämmöntarve, maalämpöjärjestelmän mitoitusaste, maalämpöjärjestelmän hankintakustannus.

7.1.2. Lähtötiedot

Lähtöarvot ovat arvioita, jotka perustuvat yleiseen markkinahinta-arvioon työn tekohetkellä ja vallitsevaan tyypilliseen kustannus- ja energiankulutustasoon.

Taulukossa 7.1 on esitetty asiakastyypikohtaiset lähtöarvot. Lämmöntarve tarkoittaa asiakkaan tyypillistä vuosittaista lämpöenergian kulutusta megawattitunteina.

Taulukko 7.1 Asiakastyypien lähtöarvot

	Pientalo	Rivitalo	Kerrostalo
Lämmöntarve [MWh/a]	20	233	700
Kaukolämmön perusmaksu [€/a]	458	2701	3439
Maalämpöjärjestelmän hankintahinta [€]	16000	130000	256000

Taulukossa 7.2 on esitetty laskentaan tarvittavia lähtöarvoja. Sähkön ja maalämmön hinnat perustuvat Tampereen Sähkölaitoksen nykytariffeihin. Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin on perusteltu luvussa 3.

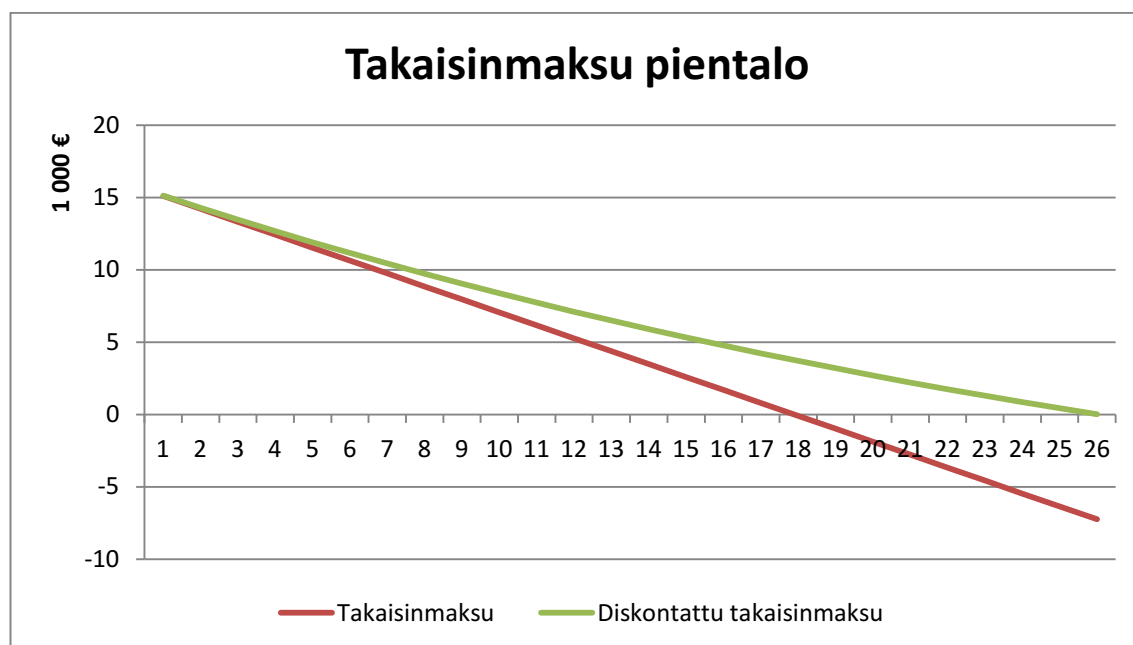
Taulukko 7.2 Kannattavuuslaskennan lähtöarvoja

Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin	2,7
Sähköhinta [€/kWh]	0,095
Kaukolämmön hinta [€/kWh]	0,057

7.1.3. Takaisinmaksuaika

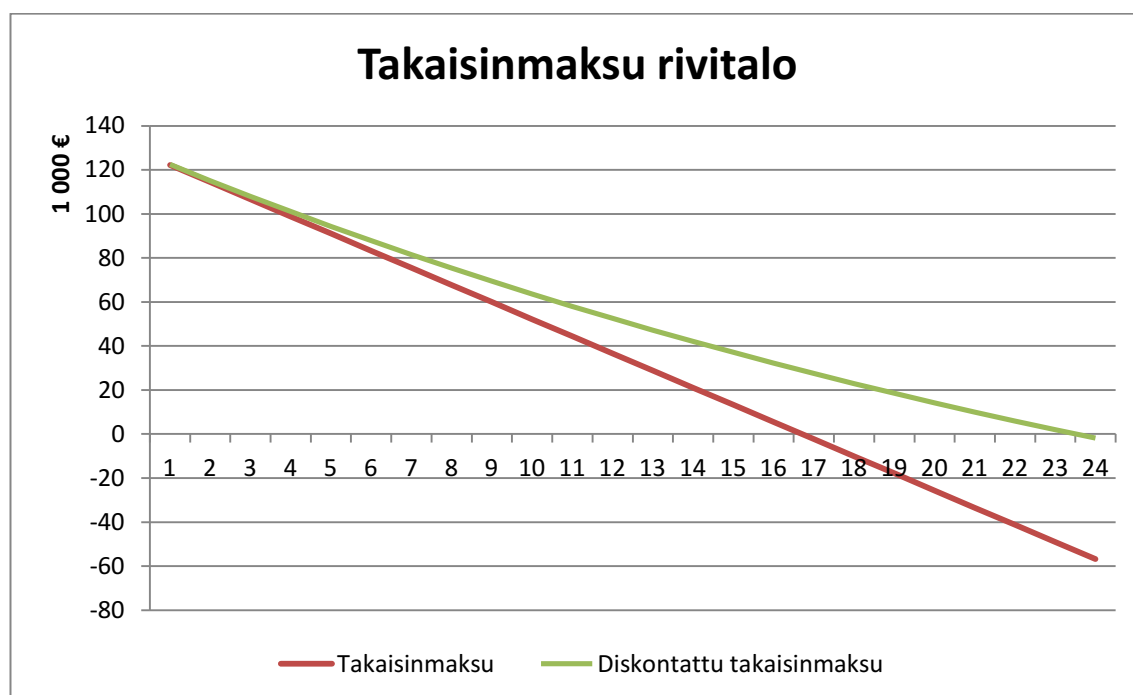
Käytössä on luvussa 5 esitetty takaisinmaksuajan menetelmä sekä tavallisena versiona että diskontattuna versiona. Jälkimmäisessä tapauksessa on sisäisenä korkokantana käytetty 3 prosenttia. Menetelmällä on tarkoitus määrittää, kuinka kauan kestää ennen kuin maalämpöjärjestelmä on kustannustehokkuudellaan tehnyt investoinnin kannattavaksi verrattuna kaukolämpölämmityksessä pysymiseen.

Kuvassa 7.1 on pientalon lämmityksestä muodostuvat kustannukset maalämpöjärjestelmällä verrattuna kaukolämpölämmitykseen. Kuvaajasta käy ilmi takaisinmaksuajan muodostuminen. Kun kustannuskäyrä leikkaa x-akselin, on lämmitystavan vaihdosta aiheutunut vuosittainen kustannussäästö yhtä suuri kuin vaihdon investointikustannukset. Takaisinmaksuajaksi määräytyy hieman yli 17 vuotta ilman sisäistä korkokantaa ja sisäisen korkokannan käytön avulla hieman yli 26 vuotta.



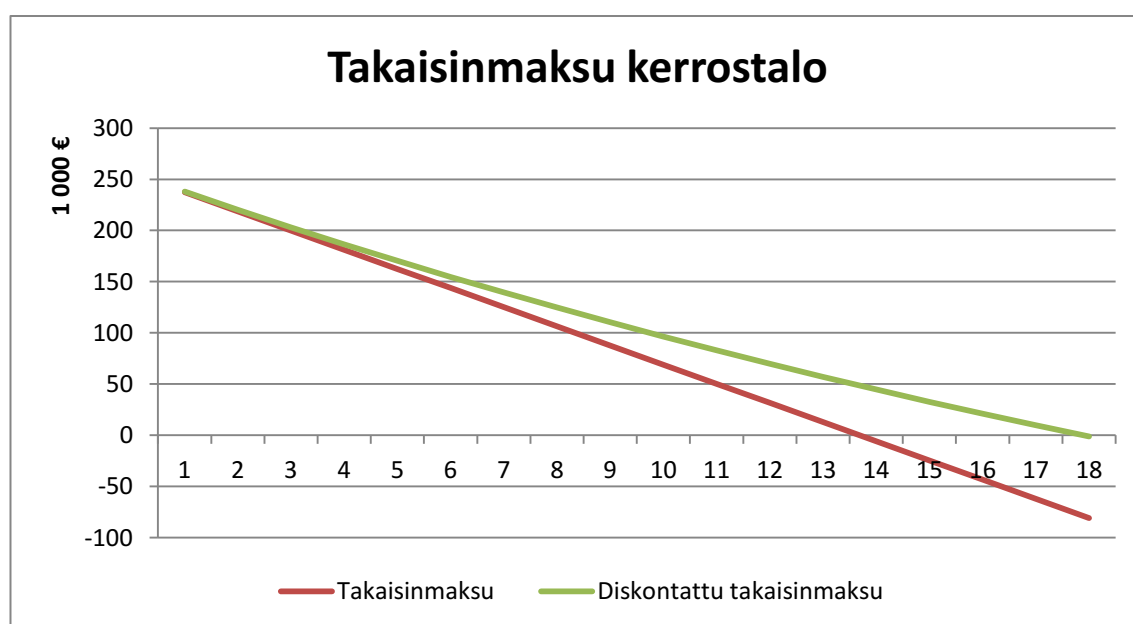
Kuva 7.1 Pientalon maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Maalämpöjärjestelmän hankinnan takaisinmaksuajan muodostuminen rivitalon tapauksessa on esitetty kuvassa 7.2. Takaisinmaksuajaksi määräytyy hieman yli 16 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi hieman yli 23 vuotta.



Kuva 7.2 Rivitalon maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Kuvassa 7.3 on vastaava kaavio kerrostalosta. Takaisinmaksuajaksi saadaan 13 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi 17 vuotta.



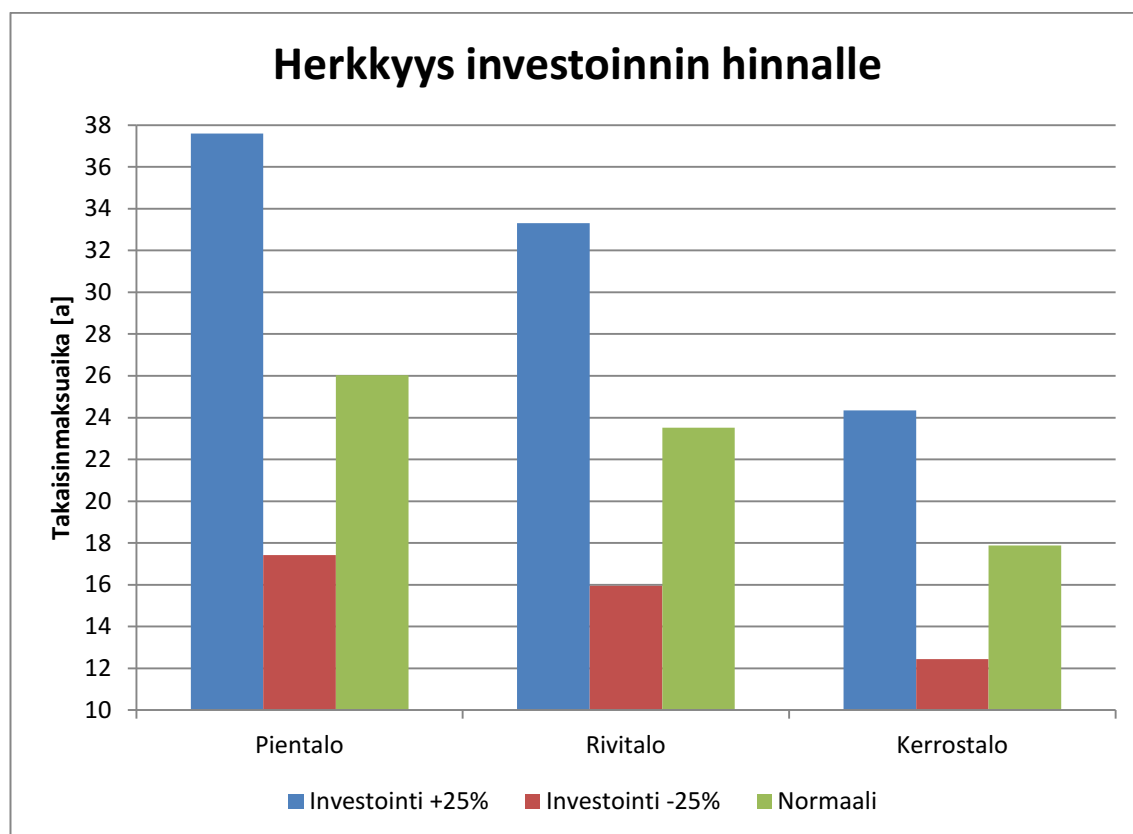
Kuva 7.3 Kerrostalon maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmän avulla maalämpöjärjestelmän hankinta kaukolämpöjärjestelmän tilalle loppukäyttäjän näkökulmasta osoittautuu hitaasti itsensä takaisinmaksavaksi investoinniksi.

7.1.4. Herkkyystarkastelu

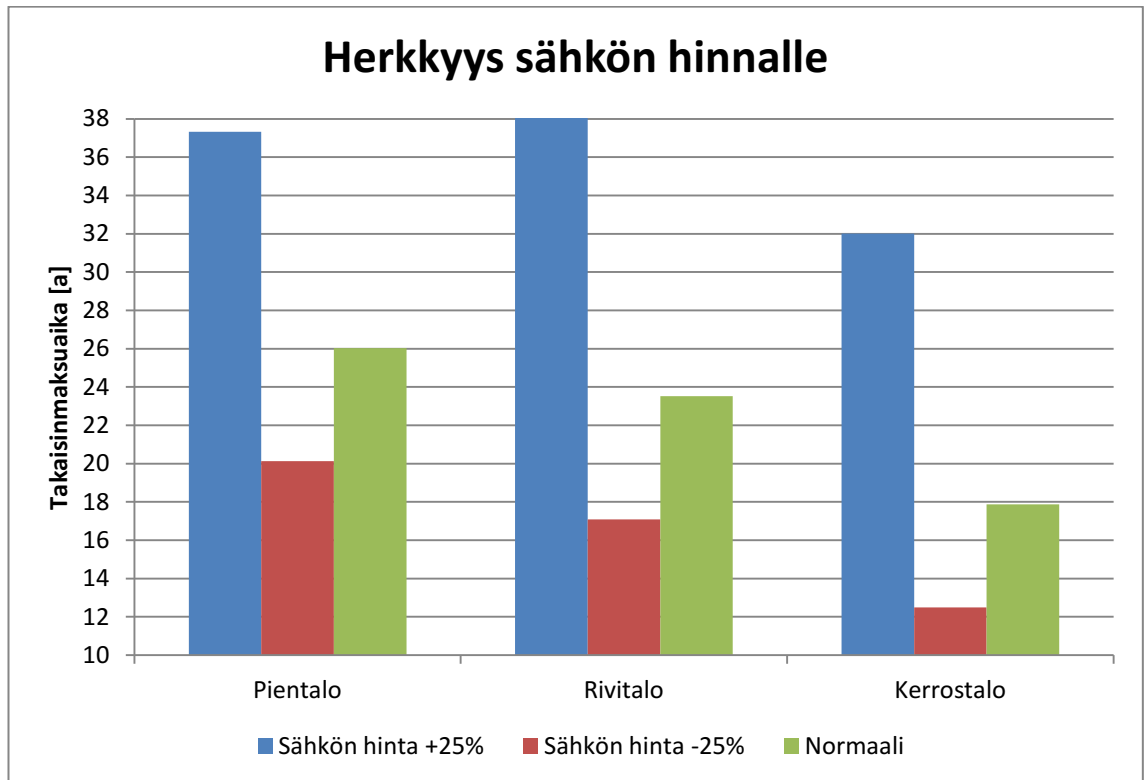
Edellisen luvun kilpailukykylaskentaan suoritetaan herkkyystarkastelu, jossa tarkastellaan lähtöarvojen muutosten vaikutusta lopputulemaan eli takaisinmaksuaikaan. Tarkastelu suoritetaan käyttämällä diskontatun takaisinmaksuajan menetelmää ja lähtötiedoista tarkastelun kohteeksi on valittu investointikustannukset, sähkön hinta ja maalämpöjärjestelmän lämpökerroin. Muutosten suuruudeksi on valittu investointikustannusten ja sähkön hinan osalta 25 prosenttia. Lämpökertoimelle käytetään arvoja 2,5 ja 3,0. Laskennassa käytetty sisäinen korkokanta on kolme prosenttia.

Kuvassa 7.4 on esitetty takaisinmaksuajan herkkyys investoinnin hinnalle. Investoinnin hinnan muutos vaikuttaa paljon kaikkien asiakastyypien takaisinmaksuaikaan. Investoinnin hankintahinnan nostolla ja laskulla on yhtä suuri vaikutus.



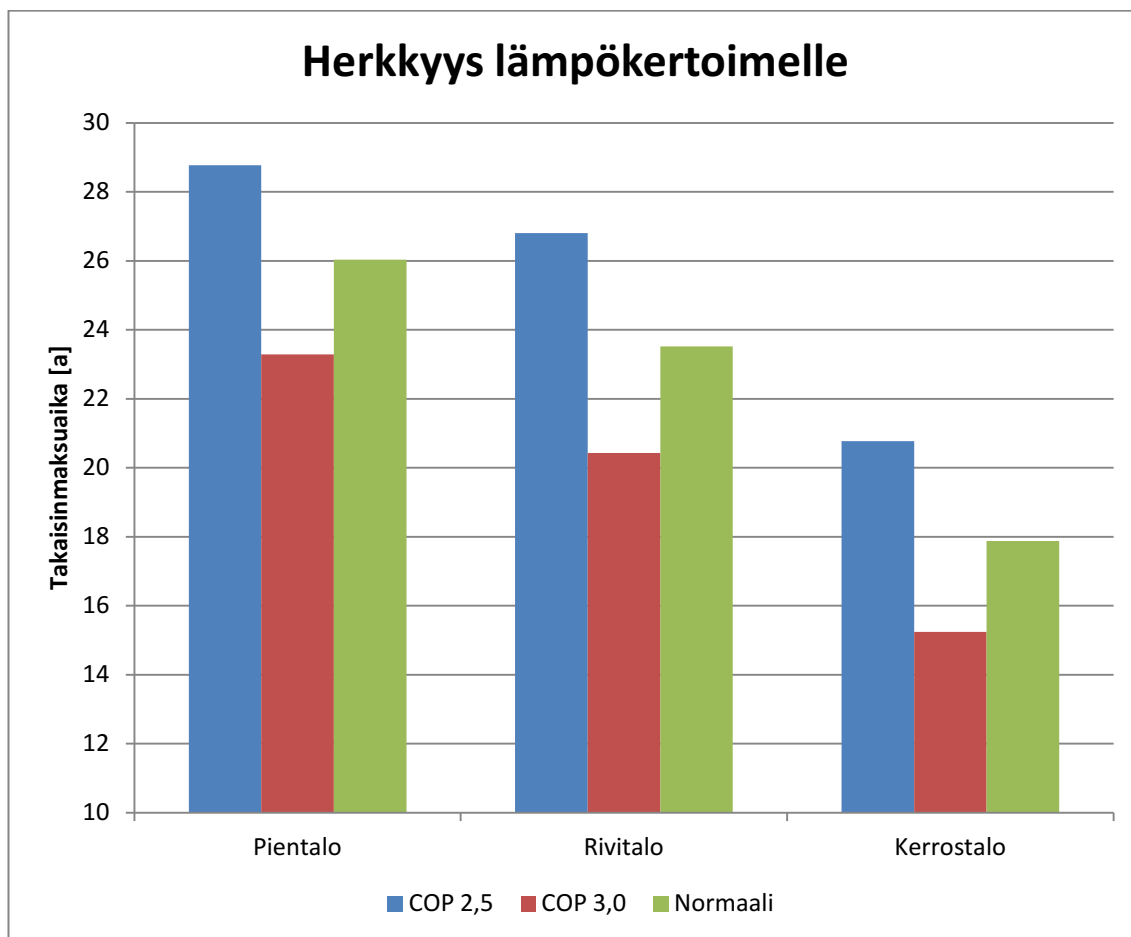
Kuva 7.4 Maalämpöjärjestelmän kannattavuuden herkkyys investoinnin hankintakustannuksille

Kuvassa 7.5 on esitetty takaisinmaksuajan herkkyys sähkön hinnan muutokselle. Pientalossa vaikutus on huomattavasti pienempi kuin rivi- tai kerrostalossa. Lisäksi sähkön hinnan nostolla on selvästi suurempi vaikutus kuin sen laskulla.



Kuva 7.5 Maalämpöjärjestelmän kannattavuuden herkkyys sähkön hinnan muutokselle

Kuvassa 7.6 on esitetty takaisinmaksujan herkkyys maalämpöjärjestelmän lämpökertoimelle. Valitulla lämpökertoimen muutoksella ei tunnu olevan läheskään niin suurta vaikutusta kuin sähkön hinnalla tai investoinnin hankintahinnalla.



Kuva 7.6 Maalämpöjärjestelmän kannattavuuden herkkyys lämpökertoimelle

Herkkyystarkastelusta voidaan todeta, että maalämpöjärjestelmän kilpailukyky kaukolämpöön verrattuna on yleisellä tasolla hankalaa. Tämä johtuu laskennan lähtöarvojen valinnasta. Investointikustannukset vaihtelevat huomattavasti tapauskohtaisesti ja niiden merkitys laskennan lopputuloksen kannalta on suuri. Myös laskennan kannalta merkittävää sähkön hintakehitystä on vaikea ennustaa tarkasti.

7.2. Sähkönkulutuksen huiput

Mitä suurempi osuus kauko- ja öljylämmitteisistä taloista siirtyy maalämmitteisiksi, sitä suurempi on myös lisäys sähkön huipputehontarpeeseen vuoden kylmimpinä ajankohtina. Edellisen luvun ennusteen mukaisesti lisäys huipputehoon tulee olemaan noin 30-80 MW. On mahdollista, että olemassaolevan sähköverkon kapasiteetti ei tule riittämään varsinkin, jos myös sähköautot tulevat yleistymään tulevaisuudessa.

Oletetaan että kaukolämpöasiakkaat jotka siirtyvät maalämpöön ostavat sähkönsä Tampereen sähkölaitokselta. Sähkötehtäntarpeen ollessa suurimmillaan joutuu energiayhtiö ostamaan sähköä oman tuotantonsa lisäksi muualta. Jos tämä ajoittuu vuoden kylmimpiin ajankohtiin jolloin sähköntarve on suurimmillaan, on sähkön pörssihinta huomattavan korkea verrattuna normaalitilanteeseen. Maalämmön tapauksessa kylmimpinä ajankohtina sähkön tehontarve on suurimmillaan johtuen

lämmitystehon riittävyyden takaavasta lisälämmityksestä. Normaalihinnoittelulla tässä tapauksessa energiayhtiö voi joutua myymään sähköä tappiolla, jolloin lämpöpumppulämmitysasiakkaat voivat olla riskiryhmä sähkönmyyjille. Ratkaisuna tähän sähköyhtiö voisi myydä sähkön perustuen asiakkaan tarvitsemaan sähkötehoon tehotariffilla tai sitoa sähkön hinnan ajallisesti esimerkiksi sähkön pörssihintaan tuntitasolla.

7.3. Laadullinen analyysi

Kilpailukyylaskennan lisäksi on mahdollista pohtia maalämpötuotteen kannattavuutta laadulliselta kannalta. Luvussa 5.4. on esitetty erilaisia mahdollisia näkökulmia laadullisen ajattelun herättämiseksi. Maalämpötuotteen kohdalla voitaisiin pohtia ainakin sen sopivuutta energiayhtiön strategiaan ja kilpailijoiden mahdollisia reaktioita tuotteen markkinoilletuloon.

Tässä työssä keskitytään etenkin maalämpötuotteen vaikutuksiin yrityksen muihin tuotteisiin ja nimenomaan kaukolämpötuotteeseen. Vaikutus on kaukolämmön myyntiin selvästi negatiivinen ja voidaankin ajatella, onko yrityksen kannattavaa ruveta kilpailemaan oman pitkäaikaisen tuotteensa kanssa. Tämä saattaa yrityksen strategian kannalta antaa ristiriitaisen kuvan asiakkaille.

Makrotalouden kannalta ajateltuna voidaan ainakin primäärienergian kulutuksesta päätellä niin, että korvaamalla kaukolämpö maalämpötuotteella ei se ole ympäristön kannalta järkevää.

7.4. Johtopäätökset

Maalämmön kannattavuuden herkkyytarkasteluista voidaan havaita, että lähtöarvojen tarkkuus on merkittävä tekijä arvioitaessa kaukolämmöstä maalämpöjärjestelmään siirtymisen kannattavuutta. Lisäksi voidaan tehdä johtopäätös, että sähkön hinnan tulevat muutokset vaikuttavat erityisesti maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen. Jotta maalämpöliiketoiminta olisi asiakkaan kannalta järkevä ratkaisu, tulisi maalämmön investointikustannukset saada pieniksi ja sähkön hinnan pitäisi pysyä riittävän edullisena.

Koska maalämpöjärjestelmän kannattavuus kaukolämpöjärjestelmän korvaajana riippuu suuresti siitä, mitkä ovat kannattavuuslaskennan lähtöarvot, on yleisellä tasolla hankalaa tehdä johtopäätöksiä lämmitysjärjestelmän muutoksen kannattavuudesta. Lisäksi jopa yksittäistapauksessa on vaikeaa tehdä tarkkoja johtopäätöksiä, koska myös esimerkiksi sähkön hinta voi muuttua arvaamattomalla tavalla ja täten vaikuttaa laskelman lopputulemaan merkittävästi.

Maalämpöliiketoiminnan kannattavuutta voisi jatkossa tutkia esimerkiksi suurten keskitettyjen maalämpövoimaloiden kohdalla. Mahdollisesti näin saataisiin investointikustannuksia alaspäin ja lämpökuormien risteilyvaikutukset saataisiin hyödynnettyä.

8. YHTEENVETO

Työssä perehdyttiin asuinrakennusten lämmitystarpeeseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Pyrittiin luomaan käsitystä lämmöntarpeen tulevaan kehitykseen. Tutustuttiin työn kannalta olennaisiin lämmitysmuotoihin, kannattavuuslaskentamenetelmiin ja skenaarioteoriaan.

Työssä laadittujen ennusteiden pohjalta saatiin käsitys kaukolämmöltä markkinaosuutta valtaavan maalämpölämmityksen lisääntymisen mittakaavasta ja sen vaikutuksista kaukolämmön ja sähkön siirtomääriin.

Skenaarioissa todettiin kaukolämmön myynnin vähenevän noin 22-28 prosenttia ja rahamääräisesti tämän vastaavan noin 4-11 miljoonaa euroa nykyhintatasolla. Vastaavasti sähkönmyynnin todettiin lisääntyvän noin 40-100 GWh ja nykyhintatasolla tämän vastaavan noin 1,5-4,5 miljoonaa euroa. Sähkön huipputehontarpeen todettiin kasvavan noin 30-80 MW.

Suurimmat vaikuttavat tekijät maalämpöjärjestelmään siirryttäessä ovat sähkön kokonaishinnan kehitys ja maalämpöjärjestelmän alkuinvestoinnin suuruus. Maalämmön lisääntymisellä tulee olemaan merkittävä vaikutus sähköverkkojen läsiirtokapasiteetin rakentamistarpeeseen ja sähkönkulutuksen huippupiikkien suuruuteen tulevaisuudessa.

Työn tulosten perusteella jatkotutkimuksen aiheita voisivat olla ainakin sähkötehon huippupiikkien tutkiminen sähkön hankinnan ja hinnoittelun kannalta sekä vaikutukset sähköverkon kapasiteetin riittävyteen.

LÄHTEET

Aittomäki, A. 2001. Lämpöpumppulämmitys. Suomen lämpöpumppuyhdistys r.y. Tampere. 22s.

Arvio sähkön kysynnästä vuonna 2030. Elinkeinoelämän keskusliitto EK ja Energiateollisuus ry. 2009. 23s.

Bergman, J-P, Lankila, M., Kässi, T. Teknologiaohjelma DENSITY – Hajautetun energiantuotannon tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2005 Lappeenranta 85 s. + 25 Liites. Saatavissa: http://www.tbrc.fi/pubfile/DENSITY_Skenaariot_2019.pdf

Bröckl, M., Pesola, A., Vanhanen, J. Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky. Loppuraportti, 2010. Gaia Consulting Oy. 37s. + 2 liites.

Energiateollisuus ry. 2011. Lämpöpumput. [Viitattu 28.4.2011] Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/sahko/kotijasahko/tietoarantajalle/lampopumput>

Energiateollisuus ry. 2010. [Energiateollisuus ry:n www-sivuilla]. [viitattu 21.1.2010]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/>

Energiateollisuus ry b. 2011. Kaukolämpövuosi 2010 –kalvot. [Energiateollisuus ry:n www-sivuilla]. [viitattu 24.1.2011]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/tilastot>

Energiateollisuus ry c. 2011. Aurinkoenergia. [Energiateollisuus ry:n www-sivuilla] [viitattu 24.1.2011]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/uudetenergiantuotantotekniikat/aurinkoenergia>

Energiatilasto Vuosikirja 2009. Tilastokeskus

Energiatilasto – Vuosikirja 2010. Energiankulutus [verkkajulkaisu]. 2009. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 19.4.2011]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ekul/2009/ekul_2009_2010-12-10_kuv_002_fi.html.

Kalliomäki, P. 2011. Ajankohtaista rakentamisen energiatehokkuudesta. Energiatehokas koti -seminaari. Ympäristöministeriö. [Viitattu 19.4.2011] Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/files/303/Ajankohtaista_rakentamisesta.pdf

Kaukojäähdytys. 2011. [WWW] [Viitattu 24.1.2011] Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukojaahdytys>

Kangas, M. Menetelmä kaukolämmön kannattavan markkinapotentiaalin määrittämiseksi. Diplomityö, 2006. Tampereen teknillinen yliopisto, Tuotantotalouden osasto, Tampere. 104s

Keinonen, T., Jääskö, V. Tuotekonseptointi. 2004. Teknologiateollisuus ry, Helsinki. 197 s.

Kokkonen, V., Kuuva, M., Leppimäki, S., Lähteinen, V., Meristö, T., Piira, S., Säaskilahti, M. Visioiva tuotekonsepti, Työkalu tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjaamiseen. 2005. Teknologiateollisuus ry, Helsinki. 342 s.

Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki, Energiateollisuus ry. 566 s.

Kronström, K., Jansson, K., Järventausta, P., Rautiainen, A., Partanen, J., Pyrhönen, J., Honkapuro, S., Lassila, J., Kosonen, I., Kari, T. Sähköajoneuvot Suomessa – selvitys. 2009, Biomeri Oy. 92 s. + liitt. 38 s.

Laitinen, E. Uudisrakentamisen ja olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen. 2008. Luentokalvo. Ympäristöministeriö.

Lehtinen, E., Nippala, E., Jaakkonen, L. & Nuutila, H. 2005. Asuinrakennukset vuoteen 2025 - Uudistuotannon ja perusparantamisen tarve. VTT 2005. 43 s. + liitt. 17s.

Leppiniemi, J., Puttonen, V. Yrityksen rahoitus. 2002. Toinen painos. WSOY, Helsinki. 318 s.

Luukkanen, J., Vehmas, J., Karjalainen, A., Panula-Ontto, J. Energiaskenaarioita vuoteen 2050, Katsaus energia-alan haasteisiin, mahdollisuuksiin ja vaikutuskeinoihin. 2009. Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun kauppakorkeakoulu. Turku. 62 s.

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., Paunio, M. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. 2005. Maa- ja metsätalousministeriö. Vammala.

Motiva Oy [WWW]. [viitattu 11.10.2010]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi>

Neilimo, K., Uusi-Rauva, E. 2001. Johdon laskentatoimi. Edita, Helsinki. 312 s.

Palviainen, J., Käyttäjäkeskeinen tuotekehitys IHTE-3100, Trendit, skenaariot, konseptointi ja visiointi. Luentokalvo, 2010. Tampereen teknillinen yliopisto,

Ihmiskeskeinen teknologia. Tampere. 52 s. [Viitattu 30.12.2010]. Saatavissa: http://www.cs.tut.fi/kurssit/IHTE-3100/luentokalvot/KATU2010_Luento16.pdf

Pientuulivoimala -yhteistyöryhmä, Oma tuulienergiaa - Opas pientuulivoimalan hankkijalle. 2010 [WWW]. Motiva Oy & Suomen Tuulivoimayhdistys ry. 4 s. Helsinki. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/

Rubin, A. Skenaariotyöskentely tulevaisuustaulukoiden avulla. Luentomateriaali, 2007. Turun kauppakorkeakoulu, Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Tulevaisuustutkimuksen verkostoakatemia, Turku. 27s.

Savolainen, I., Similä, L., Syri, S., Ohlström, M. Teknologiapolut 2050, Teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa, Taustaraportti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimista varten. 2008. VTT Tiedotteita 2432. 215 s.

SFS-EN 14511-1. 2008. Lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitetut, sähkökäyttöisellä kompressorilla toimivat huoneilmastointikoneet, nestejäähdyttimet ja lämpöpumput. Osa 1: Käsitteet ja määritelmät. Helsinki. 13s.

SFS-EN 15603. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Kokonaisenergiantarve ja energialuokitusten määrittely. Helsinki. 103s.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry [WWW]. [viitattu 11.10.2010]. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi>

Suomirakentaa.fi. [WWW] Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi/pienrakentajasivut/omakotirakentaminen/laemmitys-vesi-ja-viemaarit/laemmitysvalinta>

Suomen Tuulivoimayhdistys ry [WWW]. [Viitattu 28.2.2011]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima>

Suomi Passiivinen Talo. VTT.

suomirakentaa.fi [WWW]. [viitattu 18.10.2010]. Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi/pienrakentajasivut/omakotirakentaminen/laemmitys-vesi-ja-viemaarit/laemmitysvalinta>

Tampereen kaupungin ilmastostrategia 2030. 2010. [WWW] [Viitattu 24.1.2011]. Saatavissa: http://www.tampereenseutu.fi/seutuhankkeet/yhdyskuntasuunnittelun_ohjelma/ilmastostrategia_2030/

Tampereen Sähkölaitos a WWW]. 2010. Kaukolämpölaskelma. [viitattu 29.11.2010]. Saatavissa:

<http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Yksityisasiakas/Kaukol%C3%A4mp%C3%B6/Kaukolampolaskelma.htm>

Tampereen Sähkölaitos b [WWW]. 2010. Kaukojäähdytys. [Viitattu 28.3.2011]. Saatavissa:

<http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Yksityisasiakas/Kaukol%C3%A4mp%C3%B6/Kaukoj%C3%A4%C3%A4hdytys.htm>

Tampereen Sähkölaitos -yhtiöt. Vuosiraportti 2009. [WWW]. [Viitattu 24.1.2011]. Saatavissa:

<http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Yrityksest%C3%A4/Toimintamme/Vuosiraportit.htm>

Tilastokeskus. Väestölaskenta. 2010. [WWW]. [Viitattu 28.3.2011]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/tup/vl2010/index.html>

Tilastokeskus b. Väestö ikäryhmittäin koko maa 1900-2060 (Vuodet 2010-2060: ennuste). 2010. [WWW]. [Viitattu 28.3.2011]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/vaenn/2009/vaenn_2009_2009-09-30_tau_001_fi.html

Tuunanen, J. Lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan kannalta. Diplomityö, 2009. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Lappeenranta. 122s.

Ulrich, K., Eppinger, S. Product Design and Development. 2008. Neljäs painos. McGraw-Hill. New York. 368 s.

Uusi-Rauva, E., Haverila, M., Kouri, I., Miettinen, A. Teollisuustalous. 2003, neljäs painos. Infacs Johtamistekniikka Oy. 438 s.

Vanhanen, J., Vehviläinen, I., Virtanen, E. Kaukolämpöpotentiaali 2050 Tampereella. 2010. Gaia Consulting Oy. 28s. 4 Liites. [Salainen]

VTT, 2011, [WWW], Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/kuvat/tuotantotilasto_fi.jpg

LIITTEET

Liite 1: Oletukset

Liite 2: Laskennan lähtöarvot

Liite 3: Lukujen 6 ja 7 kaavat

Liite 1: Oletukset

Yleiset oletukset

Maalämpöjärjestelmän lämpökerroin (COP) on 2,7.

Mitoitusaste on 50 % joka kattaa 90 % vuosittaisesta lämmitysenergiatarpeesta.

Maalämpöjärjestelmän lisälämmitysmuotona on sähkövastuslämmitys.

Energiatarpeen muutos 2010-2020 pysyy samana ja sen jälkeen 20 % vähennys 20 vuoden ajanjaksolla.

Liite 2: Laskennan lähtöarvot

Taulukko laskennan lähtöarvoista

Maalämpö COP 2,7

Lämpöpumppujärjestelmän energian osuus 0,9

Lämpöpumppujärjestelmän mitoitusaste 0,5

Maalämmön hyötyenergia 2010 179 GWh

Kaukolämmön myynti 2010 2010 GWh

Kaukolämmön huipputeho 2010 1292 MW

Pientalojen osuus kokonaisenergiasta 0,01417311

Rivitalojen % % 0,088916643

Kerrostalojen % % 0,486154806

Sähköverkon huipputeho 2010 350 MW

Hidas

Pientalojen siirtymä 0,2

Rivitalojen siirtymä 0,1

Kerrostalojen siirtymä 0,05

Nopea

Pientalojen siirtymä 0,5

Rivitalojen siirtymä 0,25

Kerrostalojen siirtymä 0,15

Öljylämmitys 2010 265 GWh

Öljylämmityksen pientalojen osuus 0,6

Öljylämmityksen rivitalojen osuus 0,4

Öljylämmityksen huipputeho 2010 102 MW

Energiatarpeen muutos 2021-2040 -20%

Primäärienergiälaskenta

Kaukolämmön tuotanto 2,246 TWh

Maakaasun kulutus 3,3773 TWh

Turpeen kulutus 0,6021 TWh

Puupolttoaineen kulutus 0,2032 TWh

Öljyn kulutus 0,1525 TWh

Yhteistuotannon sähkön nettotuotanto 1,611 TWh

Sähkön primäärienergiakerroin 2,5

Maakaasun primäärienergiakerroin 1,1

Turpeen primäärienergiakerroin 1,2

Puupolttoaineen primäärienergiakerroin 1,1

Öljyn primäärienergiakerroin 1,35

Kaukolämmön energiamaksu 56,83 €/MWh

Sähkön kokonaistoimituksen

energiamaksu

95 €/MWh, josta sähkön siirron osuus 45 €/MWh

Liite 3: Lukujen 6 ja 7 kaavat

KAAVAT:

a voi saada arvoja välillä 2010-2040

Kuvan 6.1 kaavat:

Lähtöarvot

Merkintä	Arvo	Kuvaus
PSH	0,2	Pientalojen siirtymä hitaassa skenaariossa
RSH	0,1	Rivitalojen siirtymä hitaassa skenaariossa
KSH	0,05	Kerrostalojen siirtymä hitaassa skenaariossa
P%	0,014173	Pientalojen osuus kaukolämmön kokonaisenergiasta
R%	0,088917	Rivitalojen osuus kaukolämmön kokonaisenergiasta
K%	0,486155	Kerrostalojen osuus kaukolämmön kokonaisenergiasta
KLM(2010)	2010	Kaukolämmön energiantuotanto vuonna 2010
PSN	0,5	Pientalojen siirtymä nopeassa skenaariossa
RSN	0,25	Rivitalojen siirtymä nopeassa skenaariossa
KSN	0,15	Kerrostalojen siirtymä nopeassa skenaariossa

Kaukolämmön markkinaosuuden kokonaissiirtymä hitaassa skenaariossa:

$$_{KLH} = PSH * P\% + RSH * R\% + KSH * K\%$$

Kaukolämmön myynti vuonna a [GWh] markkinaosuuden menetys huomioon ottaen hitaassa skenaariossa:

$$KLM_{ML}(a) = KLM(a) * \left(1 - _{KLH} * \frac{(a - 2010)}{30}\right)$$

KLM(a) = Kaukolämmön myynti vuonna a [GWh] ilman markkinaosuuden menetyksiä
Kaukolämmön myynnin muutos vuonna a [%] verrattuna vuoteen 2010:

$$_{KLM}(a) = \left(\frac{KLM_{ML}(a)}{KLM(2010)} - 1\right) * 100\%$$

Kaukolämmön markkinaosuuden kokonaissiirtymä nopeassa skenaariossa:

$$_{KLN} = PSN * P\% + RSN * R\% + KSN * K\%$$

Kaukolämmön myynti vuonna a [GWh] markkinaosuuden menetys huomioon ottaen nopeassa skenaariossa:

$$KLM_{ML}(a) = KLM(a) * \left(1 - _{KLN} * \frac{(a - 2010)}{30}\right)$$

Kuvan 6.2 kaavat:

Hidas skenaario:

Merkintä	Arvo	Kuvaus
$_{KLM}(2010)$	0	Kaukolämmön myynnin muutos
KLEM	56,83	Kaukolämmön energiamaksu [€/MWh]

Kaukolämmön myynnin muutos hitaassa skenaariossa [€]:

$$KLM(a) = KLM(a) * K_{LH} * \frac{1}{30} * \frac{KLEM}{1000} + KLM(a - 1)$$

Kaukolämmön myynnin muutos nopeassa skenaariossa [€]:

$$KLM(a) = KLM(a) * K_{LN} * \frac{1}{30} * \frac{KLEM}{1000} + KLM(a - 1)$$

Kuvan 6.3 kaavat:

Merkintä	Arvo	Kuvaus
HE(2010)	0	Hyötyenergia (GWh)
ÖME(2010)...ÖME(2020)	265	Öljylämmön myynti energiatarpeen mukaan [Gwh]
_E	20 %	Energiatarpeen väheneminen vuosien 2020 ja 2040 välillä
LPE	0,9	Lämpöpumppujärjestelmän energian osuus
COP	2,7	Lämpöpumppujärjestelmän lämpökerroin

Öljylämmön myynti energiatarpeen mukaan vuosina (a=)2021-2040:

$$ME(a) = ME(2010) * \left(1 - \frac{\Delta_E}{100\%} * \frac{a - 2020}{20}\right)$$

Öljylämmön siirtymä hitaassa skenaariossa [%]:

$$SH = \frac{K_{LH}}{P\% + R\% + K\%}$$

Hyötyenergia [GWh]:

$$HE(a) = KLM(a) * K_{LH} * \frac{1}{30} + ME(a) * SH * \frac{1}{30} + HE(a - 1)$$

Sähkötärpeen lisäys [GWh]:

$$SL(a) = HE(a) * \left(\frac{LPE}{COP} + (1 - LPE)\right)$$

Öljylämmön siirtymä nopeassa skenaariossa [%]:

$$SN = \frac{K_{LN}}{P\% + R\% + K\%}$$

Hyötyenergia [GWh]:

$$HE(a) = KLM(a) * K_{LN} * \frac{1}{30} + ME(a) * SN * \frac{1}{30} + HE(a - 1)$$

Sähkötärpeen lisäys [GWh]:

$$SL(a) = HE(a) * \left(\frac{LPE}{COP} + (1 - LPE)\right)$$

Kuvan 6.4 kaavat:

Merkintä	Arvo	Kuvaus
SK	45	Sähkön keskihinta [€/MWh]

Maalämmön sähkönmyynti [M€]:

$$MLS(a) = SL(a) * \frac{SK}{1000}$$

Kuvan 6.5 kaavat:

Hidas skenaario:

Merkintä	Arvo	Kuvaus
SHL(2010)	0	Sähköverkon huipputehontarpeen lisäys [GWh]
LPM	0,5	Lämpöpumppujärjestelmän mitoitusaste
KLH(2010)	1292	Kaukolämmön huipputeho vuonna 2010 [MW]
$E(2010) \dots E(2020)$	0 %	Energiatarpeen väheneminen
ÖK(2010)	265	Öljylämmön kulutus vuonna 2010 [GWh]
ÖH(2010)	102	Öljylämmön huipputeho vuonna 2010 [MW]

Maalämmön huipputehon lisäyskerroin:

$$MHL = \frac{LPM}{COP} + 1 - LPM$$

Energiatarpeen väheneminen vuosina 2021-2040:

$$\Delta_E(a) = (a - 2020) * 100\%$$

Kaukolämmön huipputeho vuonna a [MW]:

$$KLH(a) = KLH(2010) * \left(1 + \frac{KLM_{ML}(a) - \Delta_E(a)}{100} \right)$$

Öljylämmön kulutus vuonna a hitaassa skenaariossa [GWh]:

$$K(a) = ME(a) * \left(1 - SH * \frac{a - 2010}{30} \right)$$

Öljylämmön kulutus verrattuna vuoteen 2010 [%]:

$$\Delta(a) = \left(\frac{K(a)}{K(a-1)} - 1 \right) * 100\%$$

Öljylämmön huipputeho vuonna a [MW]:

$$H(a) = H(2010) * \left(1 + \frac{\Delta(a) - \Delta_E(a)}{100} \right)$$

Sähköverkon huipputehontarpeen lisäys [MW]:

$$SHL(a) = (KLH(a-1) - KLH(a) + H(a-1) - H(a)) * MHL + SHL(a-1)$$

Öljylämmön kulutus vuonna a nopeassa skenaariossa [GWh]:

$$K(a) = ME(a) * \left(1 - SN * \frac{a - 2010}{30} \right)$$

Kuvan 6.6 kaavat:

Merkintä	Arvo	Kuvaus
SPK	2,5	Sähkön primäärienergiakerroin (EN 15603: 2008)
MHE(2010)	0	Maalämmön hyötyenergia kaukolämmön ja öljyn siirtymästä maalämpöön [GWh]
MKK	3,3773E+12	Maakaasun kulutus (Energiateolisuuden kaukolämpötilasto vuodelta 2009) [Wh]
MKPK	1,1	Maakaasun primäärienergiakerroin (Euroheat & Power -järjestön määritelmä)
TK	6,021E+11	Turpeen kulutus (Energiateolisuuden kaukolämpötilasto vuodelta 2009) [Wh]
TPK	1,2	Turpeen primäärienergiakerroin (Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky -raportista s. 7)
PK	2,032E+11	Puupolttoaineen kulutus (Energiateolisuuden kaukolämpötilasto vuodelta 2009) [Wh]
PPK	1,1	Puupolttoaineen primäärienergiakerroin (EN 15603:2008)
ÖK	1,525E+11	Öljyn kulutus (Energiateolisuuden kaukolämpötilasto vuodelta 2009) [Wh]
ÖPK	1,35	Öljyn primäärienergiakerroin (EN 15603:2008)
YSN	1,611E+12	Yhteistuotannon sähkön nettotuotanto (Vuoden 2009 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpötuotanto) [Wh]
KT	2,246E+12	Kaukolämmön tuotanto (Vuoden 2009 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpötuotanto) [Wh]

Hidas skenaario maalämpö:

Maalämmön primäärienergiakerroin:

$$MPK = \frac{LPE * SPK}{COP} + (1 - LPE) * SPK$$

Maalämmön hyötyenergia kaukolämmön ja öljyn siirtymästä maalämpöön [GWh]:

$$MHE(a) = KLM(a - 1) * K_{LH} * \frac{1}{30} + ME(a - 1) * SH * \frac{1}{30} + MHE(a - 1)$$

Maalämmön primäärienergia [GWh]:

$$MP(a) = MPK * MHE(a)$$

Nopea skenaario maalämpö:

$$MHE(a) = KLM(a - 1) * K_{LN} * \frac{1}{30} + ME(a - 1) * SN * \frac{1}{30} + MHE(a - 1)$$

$$MP(a) = MPK * MHE(a)$$

Hidas skenaario kaukolämpö:

Kaukolämmön primäärienergiakerroin:

$$KPK = \frac{MKK * MKPK + TK * TPK + PK * PPK + K * PK + YSN * SPK}{KT}$$

$$KLM_{ML}(a) = KLM(a) * (1 - \text{KLH} * \frac{(a - 2010)}{30})$$

Kaukolämmön primäärienergia [GWh]:

$$KP(a) = KPK * KLM_{ML}(a)$$

Nopea skenaario kaukolämpö:

$$KLM_{ML}(a) = KLM(a) * (1 - \text{KLN} * \frac{(a - 2010)}{30})$$

$$KP(a) = KPK * KLM_{ML}(a)$$

Kuvan 6.7 kaavat:

Primäärienergia yhteensä vuonna a [GWh]:

$$PE(a) = MP(a) + KP(a)$$

Luvun 7 kaavat:

Hinta = Hankintahinta [€]

COP = 2,7 Maalämmön lämpökerroin

i = 3 % Korkokanta

n = vuosiluku

Diskonttaustekijä DF kaava:

$$DF = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

Sähkön hinta $P_S = 0,095$ €/kWh

Kaukolämmön hinta $P_{KL} = 0,057$ €/kWh

Kaukolämmön perusmaksut per vuosi $P_{KLPerus} = 458$ €

Lämmitystarve = E_L

Sähköntarve = E_S

$$E_S = \frac{E_L}{COP}$$

Kaukolämmön vuosikustannus = $P_{KLVuosi}$

$$P_{KLVuosi} = E_L * P_{KL} + P_{KLPerus}$$

Maalämmön vuosikustannus = $P_{MLVuosi}$

$$P_{MLVuosi} = P_S * E_S$$

Nettotuotto (vuosihyöty maalämmöstä) = S

$$S = P_{KLVuosi} - P_{MLVuosi}$$

Takaisinmaksettavaa jäljellä n vuoden jälkeen = TM(n)

$$TM(0) = \text{Hinta}$$

$$TM(n) = TM(n - 1) - S$$

Takaisinmaksettavaa jäljellä n vuoden jälkeen diskontattuna = TMd(n)

$$TMd(0) = TM(0)$$

$$TMd(n) = TMd(n - 1) - S * DF$$

Diskontattu tarkka takaisinmaksuaika = n_{DF}

$$n_{DF} = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{Hinta_{MLP}}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$