

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / Energiatekniikka

Antti Seitsonen

KAUKOJÄÄHDYTYKSEN HINNAN MUODOSTUMINEN ASIAKKAALLE
LAHDEN RANTA-KARTANON ALUEELLA

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

SEITSONEN ANTTI

Kaukojäähdytyksen hinnan muodostuminen asiakkaalle
Ranta-Kartanon alueella

Opinnäytetyö

47 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaajat

TkL Markku Huhtinen, osaamisalapäällikkö

Olli Lindstam, lämpöjohtaja (Lahti Energia Oy)

Toimeksiantaja

Lahti Energia Oy

Tammikuu 2012

Avainsanat

kaukojäähdytys, Lahti Energia, Ranta-Kartano, tariffit

Lahti Energia Oy teetti vuoden 2010 syksyllä selvityksen, jossa tutkittiin mahdollisuutta jäähdyttää Ranta-Kartanon uudisrakennusalue keskitetysti eli käyttämällä kaukojäähdytystä. Selvityksen teki suomalainen konsulttialan yritys Greenfield Consulting Oy. Selvityksessä on käyty läpi eri kaukojäähdytyksen tuotantotekniikoita sekä tehty kustannuslaskelmia eri vaihtoehtojen kesken.

Tämän tutkimuksen toimeksiantona oli laatia kaukojäähdytyksen tariffijärjestelmä, jota voidaan soveltaa Ranta-Kartanon alueeseen. Työssä tehtyjen laskelmien alkuarvoina on käytetty Greenfieldin selvityksessä määritettyjä kustannuslaskelmia. Yhtenä toimeksiannon kohtana oli myös tutkia, miten tariffijärjestelmä muuttuu, jos kaukojäähdytysverkko laajentuisi.

Työssä määritettiin funktiot asiakkaan liittymis- sekä perusmaksulle, sekä tutkittiin energiamaksun suuruutta ja sen vaikutusta vuosittaisiin tuottoihin. Perusmaksussa haluttiin ohjata asiakkaiden kulutusta suuremmaksi, jolloin huipunkäyttöaika kasvaisi mikä puolestaan lisäisi kaukojäähdytysverkon kannattavuutta. Työssä saatujen tulosten perusteella myös kaukojäähdytysverkon laajentaminen lisäisi sen kannattavuutta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering / Energy and Environmental Engineering

SEITSONEN ANTTI

Tariff system for district cooling in Ranta-Kartano

Bachelor's Thesis

47 pages + 3 pages of appendices

Supervisors

Lic. Sc. Markku Huhtinen, Manager of Departments

Olli Lindstam, Manager of District Heating Operations

(Lahti Energia Oy)

Commissioned by

Lahti Energia Oy

January 2012

Keywords

district cooling, Lahti Energia, Ranta-Kartano, tariffs

In the autumn of 2010 Lahti Energia Oy commissioned a research on the possibility of building a district cooling system to provide cooling for the new construction area of Ranta-Kartano. The research was carried out by a Finnish consulting company Greenfield Consulting Oy. The study covers the different production technologies of district cooling and the investment calculations for them.

The assignment for this thesis work was to create a tariff system for the district cooling network in Ranta-Kartano using the Greenfield study results as its basis. The tariff system was meant to cover the investment costs and usage costs of the district cooling network. One part of the assignment was also to study how the tariff system would change, if the district cooling network was extended from Ranta-Kartano.

Formulas were determined for the basic rate and joining fee. The amount of energy fee was examined and how it affects the yearly profits gained from selling district cooling to customers. A utilization rate factor was created for the basic rate in order to encourage the consumers to use more district cooling energy. This would increase the peak power usage of the district cooling system, which would increase the profitability of the investment. The study results showed that expanding the district cooling network would also increase its profitability.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
1.1	Suunnitelma Ranta-Kartanon alueen uudisrakentamisesta	6
1.2	Greenfield Consulting Oy:n selvitys	7
1.3	Lahti Energia Oy:n toimeksianto opinnäytetyölle	9
2	LAHTI ENERGIA OY	9
2.1	Historia	9
2.2	Yhtiön tunnuslukuja	11
2.3	Nykyinen kaukojäähdytysverkko	11
3	YLEISTÄ KAUKOJÄÄHDYTYKSESTÄ	12
3.1	Kaukojäähdytyksen käyttö Suomessa	12
3.2	Kaukojäähdytyksen tuotantotekniikat	13
3.2.1	Absorptiotekniikka	13
3.2.2	Kompressorijäähdytys	15
3.2.3	Lämpöpumppujärjestelmä	16
3.2.4	Vapaajäähdytys	16
3.3	Kaukojäähdytysverkossa käytettävä tekniikka	17
3.3.1	Putkiverkko	17
3.3.2	Asiakaskytkenät ja -laitteet	17
4	RANTA-KARTANON KAUKOJÄÄHDYTYKSEKUNTA	18
4.1	Asiakaskunnan rakenteen vaikutus jäähdytysverkon huipunkäyttöaikaan	18
4.2	Kulutuksen ohjaus tariffeilla	19

5	TARIFFIJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTÄMINEN	21
5.1	Tariffijärjestelmän rakenne	21
5.2	Käytetyt alkuehdot ja -arvot	22
5.3	Liittymismaksun funktion määrittäminen	23
5.4	Energiamaksun tutkiminen	26
5.5	Perusmaksun funktion määrittäminen	27
5.5.1	Annuiteetin laskeminen	27
5.5.2	Kulutuksen ohjaus perusmaksun funktiossa	28
5.5.3	Kulmakertoimen määrittäminen perusmaksun funktiolle	29
6	TARIFFIJÄRJESTELMÄN ANALYYSINTI	33
6.1	Kaukojäähdytysverkon laajentaminen ja sen vaikutus kannattavuuteen	33
6.1.1	Perusmaksun funktion määrittäminen	35
6.1.2	Laajentamisen vaikutus yksikkökustannuksiin	37
6.2	Huipunkäyttöajan vaikutus yksikkökustannuksiin	38
6.3	Tariffien kilpailukykyisyys muihin kaukojäähdytyksen tuottajiin nähden	41
7	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	48
	Liite 1. Kaukojäähdytysverkon laajennusosaan tarvittava siirtolinjan (Peh) putkikoko.	
	Liite 2. Taulukko teräsputken mitoitusta varten.	
	Liite 3. Perusmaksun funktiot asuinrakennuksille sekä kaupallisille ja julkisille rakennuksille	

1 JOHDANTO

1.1 Suunnitelma Ranta-Kartanon alueen uudisrakentamisesta

Lahden kaupunki on laatinut suunnitelmia, joiden mukaan Ranta-Kartanon alueelle rakennettaisiin asuin- ja liikerakennuksia. Ranta-Kartanon uudisrakentamisen ensimmäiset vaiheet tapahtuivat vuonna 2000, kun alueelle laadittiin kaavarunko. Touku-kuussa 2004 valmistui Lahden keskustavisio, jossa ydinkohtina oli kaupallisen keskustan vahvistaminen, liikennejärjestelmän kehittäminen, kaupunkirakenteen eheyttäminen sekä ympäristön laadun kohentaminen (Toivonen 28.4.2008). Lahden kaupunki järjesti vuonna 2005 ideakilpailun, jossa tarkoituksena oli laatia kaupunkirakenne Ranta-Kartanon alueelle, kilpailun voitti työ ”Laituri”. Voittajatyön pohjalle perustuu Ranta-Kartanon alueen asemakaava ja asemakaavan muutosehdotus.

Ranta-Kartanon alueelle laaditun asemakaavan ja asemakaavan muutosehdotuksen viimeisin versio on 4.5.2009. Viimeisimmän asemakaavan mukaan suunnittelualueen pinta-ala on noin 30,8 ha ja rakennusoikeutta on yhteensä 158 973 k-m² (kerrosneliötä). Tästä alueesta uusille rakennuksille on varattu 64 335 k-m², josta taas on varattu asuinrakennuksille 35 486 k-m², liike- ja palvelurakennuksille 12 800 k-m² ja julkisille rakennuksille 7 500 k-m². (Karvinen-Jussilainen 4.5.2009.)



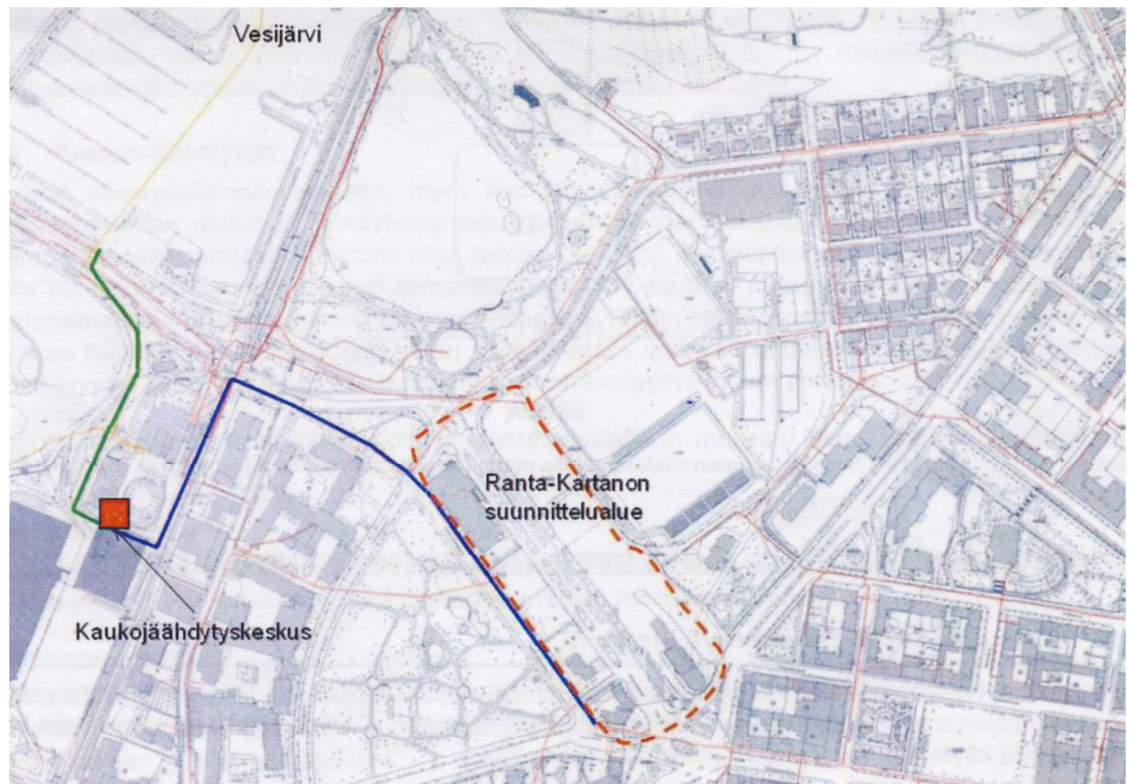
Kuva 1. Ranta-Kartanon uudisrakennusalueen talokaavio (Karvinen-Jussilainen 4.5.2009).

1.2 Greenfield Consulting Oy:n selvitys

Lahti Energia Oy teetti vuoden 2010 syksyllä selvityksen, jossa tutkittiin mahdollisuutta jäähdyttää Ranta-Kartanon alueen rakennukset keskitetysti eli käyttämällä kaukojäähdytystä. Selvityksen teki suomalainen konsulttialan yritys Greenfield Consulting Oy. Greenfield Consulting Oy:n laskelmat perustuvat 4.5.2009 päivättyyn asemakaavaan ja asemakaavan muutosehdotukseen. Niiden pohjalta on tehty laskelmat jäähdytysverkon pituudelle ja tarvittavalle jäähdytyskapasiteetille.

Greenfield Consulting Oy:n selvityksessä on tehty investointi- ja käyttökululaskelmat eri kaukojäähdytyksen tuotantotekniikoille. Selvityksessä käsitellyt tuotantotekniikat ovat absorptiojäähdytys, kompressorijäähdytys ja lämpöpumppujärjestelmät. Kaukojäähdytyksen tuotantoa tukevinä elementteinä selvityksessä on otettu huomioon myös vapaajäähdytys sekä jo olemassa oleva kylmäakku tasaamaan huippukulutusaikoja (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 12 - 13).

Kuvassa 2 on esitetty kaukojäähdytyksen siirtolinjat Teivaanmäen voimalaitokselta Ranta-Kartanon alueelle sinisellä viivalla. Vihreällä viivalla on kuvattu vapaajäähdytyksen siirtolinjat Vesijärvestä Teivaanmäen voimalaitokselle.



Kuva 2. Kaukojäähdytyksen siirtolinjat Ranta-Kartanon alueelle (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 10).

1.3 Lahti Energia Oy:n toimeksianto opinnäytetyölle

Lahti Energia Oy antoi toimeksiannon opinnäytetyöhön, jonka aihe liittyy mahdollisuuden rakentaa kaukojäähdytys Ranta-Kartanon alueelle. Tämän opinnäytetyön tavoite oli tutkia asiakkaalle muodostuvaa kaukojäähdytysenergian hintaa ja sen rakennetta. Tarkoituksena oli ottaa selvää, mitkä seikat asiakkaan hintaan vaikuttavat, ja sen perusteella luoda alustavia lukuja kaukojäähdytyksen hinnalle. Opinnäytetyön ohjaajana Lahti Energia Oy:ssä toimi Olli Lindstam.

Opinnäytetyössä on käytetty pohjana Greenfield Consulting Oy:n laatimaa selvitystä ja useita selvityksessä käytettyjä lukuja ja tietoja. Opinnäytetyö perustuu pitkälti tähän selvitykseen, mutta työni tutkimustavoite oli selvittää tarkemmin asiakkaalle muodostuvan kaukojäähdytyksen hinnan rakennetta. Tutkimusmenetelminä käytin työssäni selvityksen lisäksi alan kirjallisuutta sekä haastattelin energia-alan asiantuntijoita.

2 LAHTI ENERGIA OY

2.1 Historia

Lahden kaupungin sähkölaitos perustettiin vuonna 1907 kaupunginvaltuuston päätöksestä. Sähkölaitos aloitti toimintansa samana vuonna rakentamalla katuvalaistuksen Lahden kaupunkiin sekä tarjoamalla sähköä yksityisasuntoihin. Sähkölaitoksen toiminta laajeni pikkuhiljaa. Vuonna 1922 Lahden kaupunki ja valtio sopivat yleisradioaseman rakentamisesta Lahteen. Tämä tarkoitti sähkönkulutuksen kasvua ja suuren vastuun ottamista. (Lahti Energia Oy 2011a.)

Vuonna 1962 Lahdessa aloitettiin kaukolämmitys, ensimmäinen lämpökeskus rakennettiin Loviisankadulle. Vuonna 1965 aloitettiin sähkön ja lämmön yhteistuotanto Teivaanmäen voimalaitoksella sinne rakennetulla höyrykattilalla ja höyryturbiinilla. Vuonna 1975 valmistui Kymijärven voimalaitos yhteistyönä Lahden kaupungin ja Imatran Voiman kanssa. Tästä yhteistyöstä uutta voimalaitosta varten syntyi yhtiö

Lahden Lämpövoima Oy, jonka omistivat Lahden kaupunki ja IVO (Imatran Voima). (Lahti Energia Oy 2011a.)

Lahti Energia Oy syntyi vuonna 1990, kun Lahden kaupunki yhtiöitti Lahden Energia-laitoksen. Osakkeista 100 % pysyi kuitenkin kaupungin omistuksessa. Vuonna 1994 Lahti Energia Oy osti Suomen Kuitulevy Oy:n voimalaitoksen Heinolassa. Tämä voimalaitos käyttää polttoaineena teollisuuden jätepuuta, puuhaketta ja puupölyä. Vuonna 2000 Salpakankaan Lämpö Oy sulautettiin Lahti Energiaan ja liitettiin Lahden kaukolämmön runkoverkkoon. Vuonna 2001 Lahden Lämpövoima ja sen myötä Kymijärven voimalaitos siirtyivät kokonaan Lahti Energia Oy:n omistukseen. (Lahti Energia Oy 2011a.)

Vuonna 2009 Lahti Energia käynnisti uudenlaisen voimalaitoshankkeen, kun alettiin suunnitella Kymijärvelle uutta voimalaitosyksikköä. Tämä yksikkö valmistuu vuonna 2012 ja sen polttoaine saadaan jätettä kaasuttamalla. Laitoksessa käytettävä tekniikka on kansainvälisellä tasolla täysin uutta. (Lahti Energia Oy 2011a.)

2.2 Yhtiön tunnuslukuja

Lahti Energia Oy:n tunnuslukuja (2010)		
Liikevaihto	180,0	Miljoonaa €
Liikevoitto	51,2	Miljoonaa €
Investoinnit	57,7	Miljoonaa €
Omavaraisuusaste	36,5	%
Henkilöstö	237	
Sähkön myynti	1 338	GWh
Kaukolämmön myynti	1 407	GWh
Maakaasun myynti	183	GWh
Höyryn myynti	141	GWh
Sähkön siirto	1 258	GWh

Taulukko 1. Lahti Energia Oy:n tunnuslukuja (Lahti Energia Oy 2011b).

2.3 Nykyinen kaukojäähdytysverkko

Lahti Energialla on yksi kaukojäähdytys-asiakas: vuonna 2000 valmistunut Sibeliustalo. Sibeliustalo on puinen konsertti- ja kongressikeskus, jossa järjestetään useita kulttuuritapahtumia. Sibeliustaloon rakennettiin kaukojäähdytys, jota tuotetaan Lahti Energian Teivaanmäen voimalaitoksella. Tilaisuus kaukojäähdytyksen rakentamiseen oli otollinen, koska Teivaanmäen voimalaitokselta saatiin tilat kaukojäähdytyksen tuotannolle. Sieltä Sibeliustalolle on matkaa vain noin 1 kilometri, joten siirtojohto on suhteellisen lyhyt. (Energiateollisuus Ry 2010.)

Vuonna 2000 Lahti Energia hankki absorptiokoneen tuottamaan kaukojäähdytystä Sibeliustalolle. Absorptioratkaisuun päädyttiin, koska siihen aikaan absorptio-prosessiin tarvittavaa kuumaa vettä oli saatavilla Mallasjuoma Oy:n panimon prosessin ylijäämänä. Sittemmin Mallasjuoma Oy yhdistyi Hartwall Oy:hyn ja Mallasjuoman panimo lopetti toimintansa Lahden keskustassa lähellä Teivaanmäen voimalaitosta. Absorptioprosessiin tarvittava kuumavesi alettiin tuottaa Teivaanmäen voimalaitoksella, mikä laski hieman koko kaukojäähdytystuotannon kannattavuutta. (Energiateollisuus Ry 2010.)

Vuonna 2010 Teivaanmäen absorptiokone vaihdettiin kompressorikoneeseen, jolla jatkettiin kaukojäähdytyksen tuotantoa. Työn kirjoitushetkellä Lahti Energian kaukojäähdytyslaitteistoon kuului edellä mainittu kompressorikone, meno- ja paluusiirto- johdot Sibeliustalolle sekä kylmäakku, jonka kapasiteetti on 1 400 kWh (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 12).

3 YLEISTÄ KAUKOJÄÄHDYTYKSESTÄ

3.1 Kaukojäähdytyksen käyttö Suomessa

Suomessa kaukojäähdytyksen käyttö on suhteellisen uutta verrattuna pitkään perinteesseen kaukolämmityksen käytössä. Suomen kylmissä olosuhteissa kaukokylmää on pitkään pidetty taloudellisesti kannattamattomana. Sen käyttö suurissa kaupungeissa on kuitenkin lisääntynyt ja kaukojäähdyttämistä pidetään energia-alalla varteen otettava liiketoimena (Energiateollisuus Ry 2010).

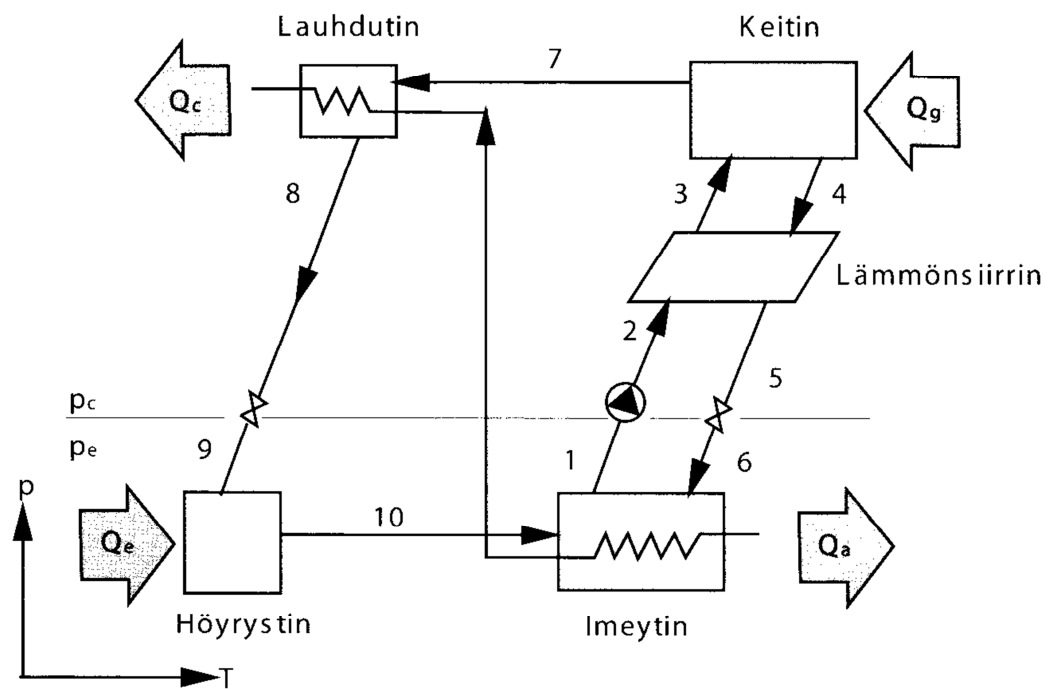
Suomessa kaukojäähdytystä on tarjonnut ensimmäisenä Helsingin Energia Oy vuodesta 1998 lähtien (Energiateollisuus Ry 2010). Tämän työn kirjoitushetkellä Helsingin Energian kaukojäähdytysverkossa liittymisteho on yli 100 MW (Energiateollisuus Ry 2010) ja vuoteen 2020 mennessä sen oletetaan olevan yli 250 MW (Helsingin Energia 2011b). Helsingissä kaukojäähdytys kattaa koko kantakaupungin alueen, mutta siellä asiakkaita suurin osa on kuitenkin liikerakennuksia. Kaukojäähdytyksen käyttö on

levinnyt myös muihin kaupunkeihin Suomessa. Tällä hetkellä kaukojäähdytystä on Helsingin lisäksi saatavilla Turussa ja Vierumäellä. Lahti Energia Oy tarjoaa kaukojäähdytystä Sibeliustalolle (Energiateollisuus Ry 2010).

3.2 Kaukojäähdytyksen tuotantotekniikat

3.2.1 Absorptiotekniikka

Absorptiotekniikka on keksitty jo 1800-luvulla, eli kyseessä on vanha tekniikka. Absorptiotekniikka vaatii tuotantoprosessiinsa kuumaa vettä, joka on yleensä kaukolämpöä tai teollisuuden prosessista saatavaa hukkalämpöä. Menetelmä on taloudellisesti kannattava, kun kylmätuotannon prosessiin voidaan käyttää sähköntuotannosta tai prosessista tulevaa hukkalämpöä, jota muuten ei käytettäisi mihinkään. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 534.)

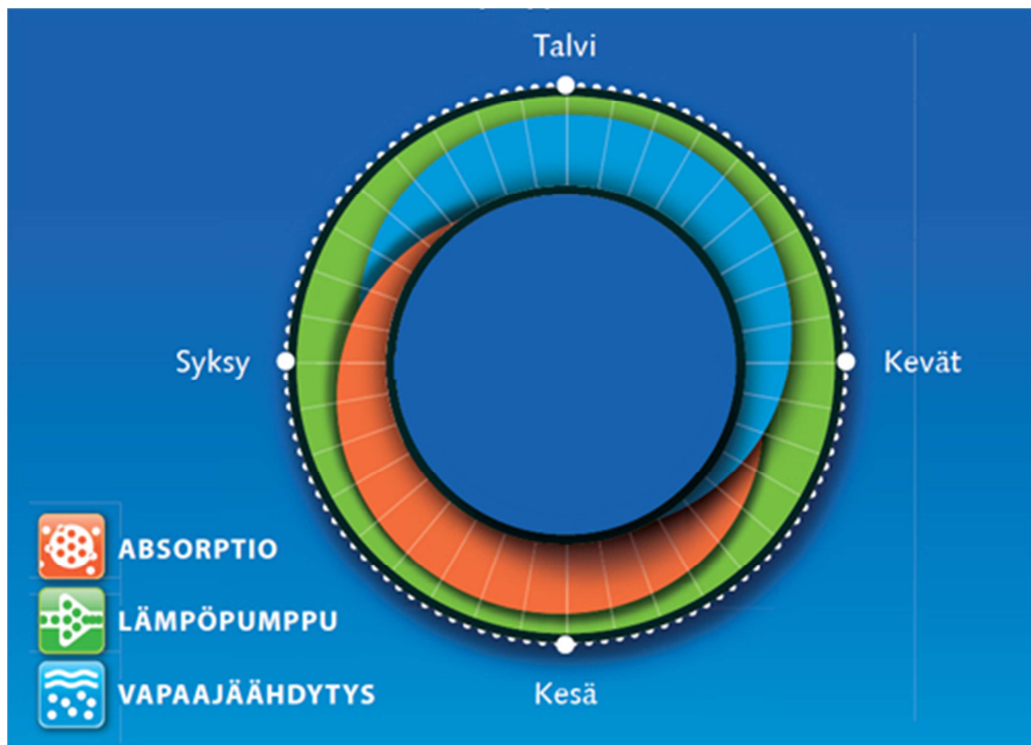


Kuva 3. Absorptiomenetelmän toimintaperiaate (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 534).

Absorptiotekniikka perustuu liuenneen aineen eli liuottimen tai kylmäaineen eli absorbenttien ominaisuuksiin ja kyseisen aineparin käyttäytymiseen liuoksena. Absorptiokoneen neljä pääkomponenttia ovat lauhdutin, höyrystin, imeytin ja keitin. Kylmäaine virtaa lauhduttimesta paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo paisuntaventtiilissä ja loput höyrystimessä. Höyry absorboidaan imeyttimessä liuottimeen eli absorbenttiin ja liuoksen paine nostetaan takaisin tasolle (p_c). Tämä osa prosessista vastaa lämpövoimakoneen suorittamaa työtä ja korvaa mekaanisen kompressorin. Imeytintä jäähdytetään, jotta lauhtumis- ja liukenemislämpö saadaan kompensoitua. Keittimessä väkevöity liuos palautetaan imeyttimeen lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 534.)

Höyrystimen lämpö (Q_e) saadaan absorptiokoneeseen tulevasta jäähdytettävästä nestevirrasta. Prosessin käyttöenergia saadaan keittimelle tuotavasta ulkopuolisesta lämmönlähteestä (Q_g). Imeytintä ja lauhdutinta jäähdytetään useimmiten jäähdytysvedellä, joka kiertää jäähdytystornin kautta luovuttaen sinne lämpöä. Liuoslämmönsiirtimessä kuuman, väkevän liuoksen lämpöä siirretään imeyttimestä poistuvaan laimentuneeseen liuokseen, jolloin absorptiolämpöpumpun hyötysuhde (COP) kasvaa. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 534.)

Helsingin Energia käyttää absorptiotekniikkaa kaukojäähdytyksen tuotannossaan. Kesäaikaan sähköntuotannon hukkalämmöstä jää absorptioprosessin käyttöön enemmän kuin talvella, koska kaukolämmön kulutus laskee kesällä (Kuva 4). Tällöin hukkalämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmityksessä tai kaukojäähdytyksessä vuodenajan mukaan. (Helsingin Energia 2011a.)



Kuva 4. Helsingin Energian kaukojäähdytyksen tuotanto eri vuodenaikoina (Helsingin Energia 2011a).

3.2.2 Kompressorijäähdytys

Kompressorijäähdytyksessä kaukojäähdytys tuotetaan sähkötoimisella kompressorilla. Kompressorikylmäkoneessa kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, jossa on matalapaine. Höyrystimeen tuodaan lämpöä jäähdytettävästä kohteesta, kompressorinostaa höyryn painetta ja höyry lauhtuu ja luovuttaa lämpöä lauhduttimen väliaineeseen. Lauhtuneen nesteen painetta lasketaan, jolloin neste virtaa taas höyrystimeen. Prosessi tarvitsee ulkoista käyttövoimaa, jota saadaan useimmiten sähkötoimisesta kompressorista. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 531.)

Tämä tuotantotapa on yleisimpiä kaukojäähdytyksessä, koska se soveltuu kaikenlaisiin ympäristöihin, eikä ole riippuvainen käyttöenergiasta, kuten absorptio lämpimästä vedestä (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 531).

3.2.3 Lämpöpumppujärjestelmä

Lämpöpumppujärjestelmässä on sama toimintaperiaate kuin kompressorissa, paitsi että kylmäntuotannossa syntyvä lauhdutuslämpö voidaan ottaa talteen. Tällöin on mahdollista tuottaa samaan aikaan kaukojäähdytystä ja kaukolämpöä. Seurauksena prosessin kokonaistaloudellisuus paranee, kun energiaa otetaan talteen enemmän. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 539.)

Kuten kompressorijäähdytyksessä, lämpöpumppujärjestelmässäkin on kolme pääkomponenttia: höyrystin, lauhdutin ja kompressor. Kylmäaine, jossa on jäähdytyskohteesta tulevaa lämpöenergiaa, höyrystetään höyrystimessä. Kompressorilla nostetaan höyryn painetta ja höyry lauhtuu ja luovuttaa lämpöä lauhduttimessa. Lauhduttimelta siirtyvä lämpö siirretään yleensä kaukolämmön paluupuolelle, eli paluuveden lämpötilaa korotetaan. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine lähtee kaukojäähdytyksen menoputkessa kuluttajalle. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 539.)

3.2.4 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksessä jäähdytysenergian tuotantoon käytetään luonnossa olevia energiavarastoja: meri- tai järvivettä sekä ulkoilmaa. Vapaajäähdytyskierrossa perustana on meno- ja paluuputkessa virtaava väliaine, yleensä vesi, jolla siirretään kylmäenergiaa joko suoraan kaukojäähdytysverkkoon tai esijäähdytettyinä varsinaiseen kaukojäähdytyksen tuotantoon. Vapaajäähdytystä hyödyntämällä voidaan tuottaa suuri osa jäähdytystarpeesta, varsinkin talven aikana. Vapaajäähdytys on hyvä vaihtoehtoinen energian tuotantomuoto koneellisen jäähdytysenergian tuotannon rinnalle. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 531.)

3.3 Kaukojäähdytysverkossa käytettävä tekniikka

3.3.1 Putkiverkko

Kaukojäähdytyksen putkiverkon tekniikka on samanlaista kuin kaukolämpöverkoissa. Kaukojäähdytysenergia siirretään asiakkaalle putkiverkossa, jossa väliaineena käytetään vettä. Kaukojäähdytyksen putkiverkko jakautuu meno- ja paluuputkeen. Meno-putkessa siirretään kaukojäähdytysenergia asiakkaan kiinteistöön, jossa energia siirretään lämmönvaihtimen kautta kuluttajan omaan jäähdytyskiertoon. Tämän jälkeen kaukojäähdytysvesi siirtyy paluuputkeen ja sen lämpötila on kohonnut. Paluuputkessa vesi siirtyy takaisin kaukojäähdytyksen tuotantopaikkaan, jossa se taas jäähdytetään uudestaan. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 541.)

Kaukojäähdytysverkon vedenkäsittely on hyvin samanlaista kuin kaukolämpöverkossa. Suomessa kaukojäähdytysjärjestelmissä käytetäänkin usein kaukolämpöverkosta otettua käsiteltyä vettä. Kaukojäähdytysverkon kiertovedessä seurattavat tärkeät parametrit ovat happipitoisuus, pH, sähkönjohtavuus, kovuus, kloridit, rauta, kupari ja kiintoaine. Erityispiirteensä kaukojäähdytysvedessä on kiinnitettävä huomiota veden alhaiseen lämpötilaan, joka saattaa aiheuttaa esim. biokorroosiota enemmän kuin kaukolämpöjärjestelmissä. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 372.)

3.3.2 Asiakaskytkenät ja -laitteet

Kaukojäähdytystä varten rakennetaan samanlaisia järjestelmiä kuluttajalle kuin kaukolämmityksessä, eli yhtä rakennusta kohti tulisi yksi lämmönjakohuonetta vastaava kokonaisuus eli jäähdytyskeskus. Jäähdytyksen siirto jäähdytysverkosta rakennuksen sisäiseen verkkoon tapahtuu lämmönvaihtimen kautta, jolloin kyseessä on epäsuora kytkentä. Tämä on tavallisin ratkaisu kaukojäähdytysjärjestelmissä. Lämmönvaihtimen lisäksi jäähdytyskeskukseen kuuluvat säätö- ja mittauslaitteet, joilla kaukojäähdytysverkosta tulevan veden virtausta ohjataan tarpeen mukaan. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 546.)

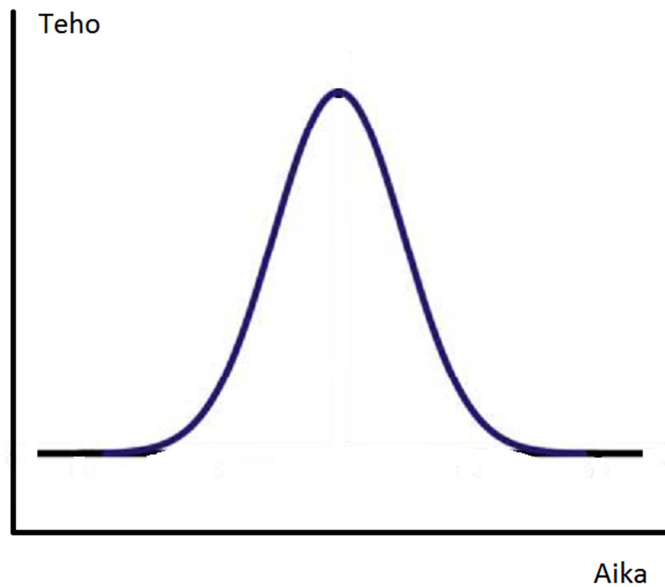
Kiinteistön sisäiseen laitteistoon kuuluu oma kiertovesipiiri, jossa pidetään painetta yllä kiertovesipumpulla. Jäähdytysenergian siirretään kiinteistössä huone- tai tilakohtaisesti jäähdytyspalkkeihin, jotka toimivat joko passiivisina tai aktiivisina. Passiivisessa jäähdytyspalkissa jäähdytysenergia siirtyy palkin pinnalta huoneilmaan luonnollisella konvektiolla. Luonnollisella konvektiolla tarkoitetaan ilman tiheyseroista johtuvaa pystysuoraa ilmanvirtausta. Aktiivisissa jäähdytyspalkkeissa taas käytetään puhallinta, joka siirtää jäähdytysenergiaa huoneilmaan tarpeen mukaan. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 552.)

4 RANTA-KARTANON KAUKOJÄÄHDYTYSVERKON ASIAKASKUNTA

4.1 Asiakaskunnan rakenteen vaikutus jäähdytysverkon huipunkäyttöaikaan

Kaukojäähdytyksen tuottajalle on kannattavinta ottaa asiakkaisiksi liikerakennuksia, kuten toimistoja ja liiketiloja, koska niissä huipunkäyttöaika on pitkä. Huipunkäyttöajalla tarkoitetaan vuodessa tuotetun energiamäärän ja huipputehon eli tuotannon nimellistehon suhdetta. Suuri huipunkäyttöaika kertoo energian kulutuksen olevan tasaista, pieni huipunkäyttöaika taas kertoo kulutuksen voimakkaasta vaihtelusta. (Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 41.)

Kuvan 5 kuvaajassa nähdään tehon suuruus ajan funktiona. Kuvaajan keskellä on tehon kulutushuippu, jonka ajallista pituutta kuvataan x-akselilla. Huipunkäyttöajan kuvaajia voidaan laatia erilaisille aikaväleille, mutta useimmiten huipunkäyttöaikoja tutkitaan energiantuotannossa vuositasolla.



Kuva 5. Funktio, jolla kuvataan huipunkäyttöaikaa.

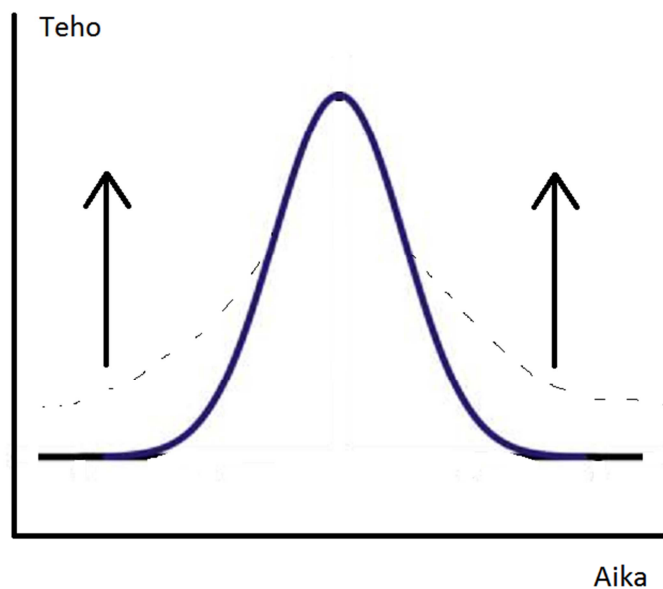
Lahden Ranta-Kartanon tapauksessa asuinrakennusten osuus koko asiakaskunnasta olisi noin kolmannes ja loput asiakkaat olisivat liikerakennuksia. Asuinrakennusten osuus olisi siis melko suuri, mikä johtaa pieneen huipunkäyttöaikaan. Se puolestaan heikentää koko kaukojäähdytys-projektin taloudellista kannattavuutta kaukojäähdytyksen energiantuotannon kannalta. Kuten Greenfield Consulting Oy:n selvityksessä (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 19) todetaan, pienehköön huipunkäyttöaikaan on osattava varautua, ja asia on otettava huomioon kustannuslaskelmissa.

4.2 Kulutuksen ohjaus tariffeilla

Kulutuksen ohjauksella tariffeja käyttämällä tarkoitetaan sitä, että kuluttajan energiankulutusta ohjataan määrittelemällä energialle erisuuruisia tariffeja eri ajankohtiin (Aura – Tonteri 1993, 154). Kulutuksen ohjausta tariffeilla on helpompi hyödyntää sähkön myynnissä kuin lämmön tai kaukojäähdytyksen myynnissä. Lämmön ja kaukojäähdytyksen kulutus riippuu huomattavan paljon vuoden- tai vuorokauden ajasta ja

niiden aiheuttamasta ulkolämpötilan vaihtelusta. Jäähdytyksen kulutuksessa tämä näkyy vielä selvemmin verrattuna lämmitykseen, koska siinä ei ole kuumen käyttöveden kulutusta, jota kuluttaja omalla käytöllään hallitsee. (Aura – Tonteri 1993, 158.)

Kaukojäähdytysverkossa kulutuksen ohjauksella on siis vaikea alentaa verkon huipputehoa, jolloin tuotantokapasiteetti voisi olla alhaisempi. Asiakkaiden vuosikulutusta voidaan kuitenkin pyrkiä nostamaan kulutuksen ohjausta käyttämällä (Kuva 6), jolloin verkon huipunkäyttöaika kasvaisi ja koko jäähdytysverkon investoinnin kannattavuus kasvaisi (Aura – Tonteri 1993, 158).



Kuva 6. Kaukojäähdytysverkon käyttöasteen nostaminen ja sen vaikutus huipunkäyttöaikaan (Aura – Tonteri 1993, 158).

5 TARIFFIJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTÄMINEN

5.1 Tariffijärjestelmän rakenne

Toimeksiantajan ohjeiden mukaan asiakkaan maksama hinta kaukojäähdytyksestä koostui kolmesta osasta: liittymismaksusta, perusmaksusta sekä energiamaksusta. Samalla tavalla laskutetaan yleensä myös Lahti Energia Oy:n kaukolämpöä. Tariffijärjestelmä haluttiin määrittää siten, että sitä pystytään käyttämään Ranta-Kartanon alueen kaukojäähdytyksen laskutukseen, mutta sitä pystyttäisiin käyttämään pohjana myös mahdollisissa muissa kaukojäähdytysprojekteissa.

Liittymismaksun asiakas maksaa liittyessään kaukojäähdytysverkkoon ja hinnan suuruuteen vaikuttavat asiakkaalle tehtävän kaukojäähdytysshaaran putken pituus ja putken suuruus. Putken suuruuden määrää liittymisteho, joka on myös yhtenä komponenttina liittymismaksun funktiossa. Liittymismaksuun sisältyy myös jäähdytysenergian mittauskeskus.

Energiamaksu määräytyy asiakkaalle siirretyn energiamäärän ja sille määrätyn hinnan (€/MWh) mukaan. Maksun suuruuteen vaikuttavat jäähdytysenergian tuotantoon käytetyn energian hinta ja muut tuotannosta aiheutuvat kustannukset.

Asiakkaan kaukojäähdytyksestä maksama perusmaksu määräytyy asiakkaalle siirrettävän keskimääräisen vesimäärän mukaan (m^3/h). Tämä tarkoittaa siis sitä, että asiakas maksaa perusmaksun kiinteistön huipputehon mukaan, jolla verkkoa käyttää.

5.2 Käytetyt alkuehdot ja -arvot

Toimeksiantaja rajasi tariffit siten, että energiamaksulla katettaisiin kaukojäähdytysverkon vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Perusmaksuilla katetaan kaukojäähdytysverkon investointi ja liittymismaksuilla katetaan kuluttajan kaukojäähdytysverkkoon liittämisen kustannukset.

Ranta-Kartanon kaukojäähdytysverkon asiakkaiden liittymisteho on 1522 kW. Kun otetaan huomio verkon käyttöön vaikuttava samanaikaisuuskerroin 0,85, verkon mitoitustehoksi saatiin 1320 kW, kun putkiston siirtohäviöt (2 %) huomioitiin (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 4). Samanaikaisuuskertoimella kuvataan kaukojäähdytysverkossa sitä, kuinka lähelle toisiaan asiakkaiden kulutushuiput osuvat ajallisesti. Tariffijärjestelmän määrittämistä varten tuotantotekniikoista valittiin kokonaiskustannuksissa edullisin, eli vakionopeuksinen kompressori. Tällöin investointi olisi 974 000 €, kun käytetään diffuusio-suojattua muoviputkea (Peh), jossa menoputki on eristetty ja paluuputki on eristämätön (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 4).

	Absorptio	Kompressori vakionopeus	Kompressori, VSD	Lämpöpumppu	
Tuotantokoneet	384	347	450	464	1 000 €
Jakeluverkosto DN	351	351	351	351	1 000 €
Jakeluverkosto Peh	245	245	245	245	1 000 €
Vapaajäähdytys	94	93	94	93	1 000 €
Kylmäakku	-	-	-	-	
Mittauskeskukset	20	20	20	20	1 000 €
Suunnittelu, hankinta, asennusvalvonta	112	106	122	123	1 000 €
Epävarmuus	171	162	186	189	1 000 €
Yhteensä DN	1 173	1 120	1 265	1 282	1 000 €
Yhteensä Peh	1 027	974	1 118	1 136	1 000 €

Taulukko 2. Investointilaskelmat kaukojäähdytyksen eri tuotantomenetelmille (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 4).

5.3 Liittymismaksun funktion määrittäminen

Koska kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen liittymän rakennustekniikka ovat hyvin samanlaisia keskenään, voidaan liittymismaksun funktion pohjana käyttää Lahti Energia Oy:n kaukolämmön liittymismaksua. Lahti Energia Oy:n kaukolämmön liittymismaksun hinnoittelu on taulukon 3 mukainen.

	Hinta (€)
Liittymismaksu ilman putken hintaa ja sen asennuskustannuksia	2110
Liittymismaksu DN25	2450
Liittymismaksu DN40	2550

Taulukko 3. Lahti Energia Oy:n kaukolämmön hinnoittelu (Mäki-Saari, 23.11.2011).

Vesivirtaukset teräsputkille DN25 ja DN40 saadaan Liitteen 3 taulukosta käyttämällä mitoituspainehäviönä lukua 100 Pa/m, jolloin:

$$V_{DN25} \approx 0,25 \frac{kg}{s} \approx 0,9 \frac{m^3}{h}$$

Tehonsiirtokyky kaukojäähdytyksessä:

$$P = c_p * \dot{m} * \Delta T$$

$$P_{DN25} = 4,2 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 0,25 \frac{kg}{s} * 8^\circ C \approx 8,4 kW$$

$$V_{DN40} \approx 0,8 \frac{kg}{s} \approx 2,9 \frac{m^3}{h}$$

Tehonsiirtokyky kaukojäähdytyksessä:

$$P = c_p * \dot{m} * \Delta T$$

$$P_{DN40} = 4,2 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 0,8 \frac{kg}{s} * 8^\circ C \approx 26,9 kW$$

Kaavoissa käytetyt suureet:

$$\dot{m} = \text{massavirta} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$V = \text{tilavuusvirta} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$P = \text{liittymisteho} [kW]$$

$$c_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti, } 4,2 \left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$$

ΔT = kaukojäähdytysverkon meno- ja paluuputken välinen lämpötilaero, $8^\circ C$ (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 10)

Kaukojäähdytyksen liittymismaksun sisältöön otettiin samat asiat kuin kaukolämmön liittymismaksussa: maksu sisältää kuluttajalle 25 m putkea ulkona ja 2 m sisällä sekä mittauskeskuksen. Liittymismaksuun sisältyy myös putkien asennus ja tarvittavat maansiirtotyöt sekä mittauskeskuksen asennus (Lahti Energia Oy 2011c). Lisäkustannuksia liittymismaksuun tulee ylimääräisen putken rakentamisesta, tätä laskutetaan yksikössä €/m asennettuna. Lisäkustannusten laskutuksen pohtiminen rajattiin kuitenkin ulos tästä opinnäytetyöstä toimeksiantajan ohjeiden mukaan.

Lahti Energia Oy:n kaukolämmön liittymismaksua ja putkille määritettyä vesivirtausta pohjana käyttäen liittymismaksulle saatiin seuraava funktio:

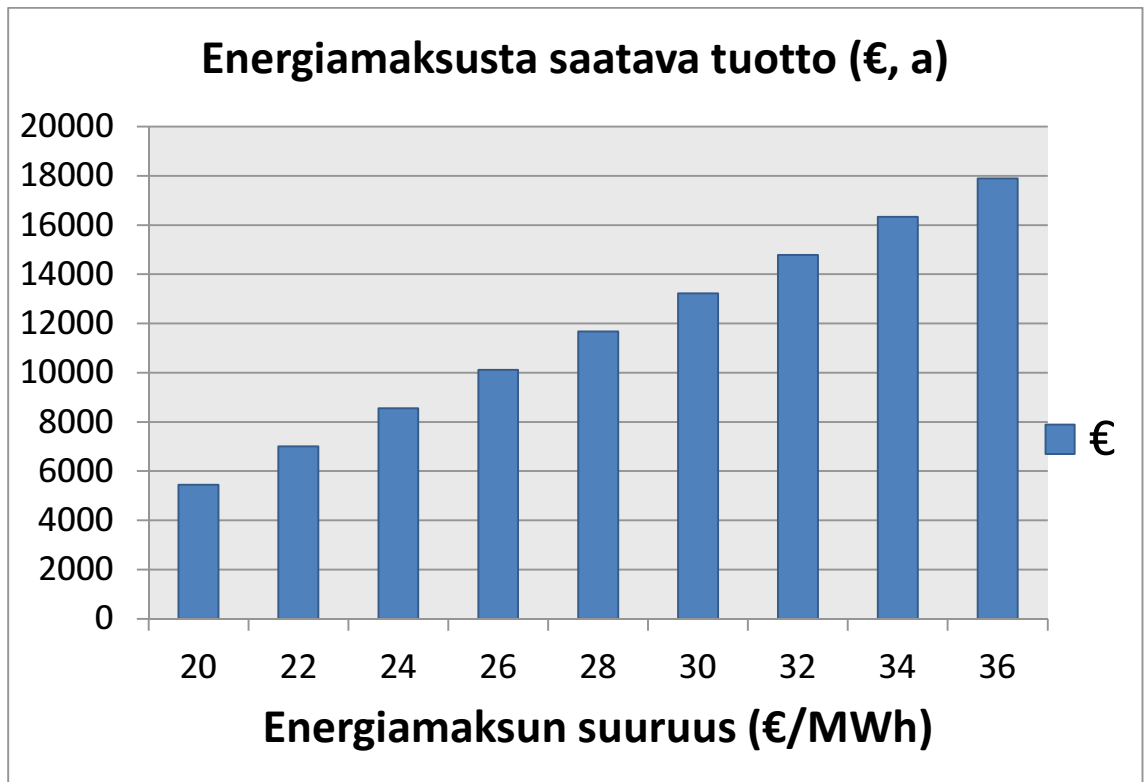
$$f(V) = 100 * V + 2448$$

Jossa:

V = asiakkaan kaukojäähdytyksen tilavuusvirta (m^3/h)

5.4 Energiamaksun tutkiminen

Toimeksiantaja Lahti Energia Oy:n ohjeiden mukaan energiamaksun suuruus alueella olisi noin 30 €/MWh Ranta-Kartanon alueella kaukojäähdytysverkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset olisivat 10 700 €, kun kaukojäähdytyksen tuotantotekniikaksi valittiin vakionopeuksinen kompressor. Tällöin kustannukset energiayksikköä kohden ovat 13 €/MWh. Kuvan 7 diagrammissa on tutkittu energiamaksusta saatavaa vuosittaista tuottoa, kun käyttö- ja kunnossapitokustannukset vähennetään.



Kuva 7. Energiamaksusta saatava tuotto vuodessa kun käyttö- ja kunnossapitokustannukset on vähennetty.

5.5 Perusmaksun funktion määrittäminen

5.5.1 Annuiteetin laskeminen

Perusmaksun määrittämisen ehtona oli, että niillä pystytään kattamaan kaukojäähdytysverkon investointi 25 vuodessa, kun korkotaso on 5 %. Näitä tietoja käyttämällä määritetään annuiteetti A . Annuiteetilla tarkoitetaan vuosittaista maksuerää, kun takaisinmaksuaika on vakio. Asiakas maksaa perusmaksun vuosittain, joten perusmaksu koostuu tietystä osuudesta investoinnin annuiteetista. Funktio määritettiin siten, että tämä osuus annuiteetista määräytyy asiakkaan kiinteistön liittymisvesivirtauksen mukaan.

$$A = K * q^n * \left(\frac{1 - q}{1 - q^n} \right)$$

Jossa:

A = annuiteetti [€]

K = investointipääoma [€]

q = korkotaso

n = haluttu takaisinmaksuaika vuosina

Sijoitetaan luvut annuiteetin laskukaavaan:

$$A = 974\,000 * 1,05^{25} * \left(\frac{1 - 1,05}{1 - 1,05^{25}} \right)$$

$$A = 69\,100 \text{ €}$$

5.5.2 Kulutuksen ohjaus perusmaksun funktiossa

Perusmaksun funktiota laadittaessa otettiin huomioon asuinkiinteistöjen aiheuttama huipunkäyttöajan alhainen taso. Perusmaksussa haluttiin suosia asiakkaita, joilla jäähdytyksen vuosienergia on suhteellisen suuri liittymistehoon nähden. Tällaiset asiakkaat saisivat alennusta perusmaksun hinnassa ja kuluttajia rohkaistaan käyttämään enemmän jäähdytysenergiaa vuosittain.

Kulutuksen ohjausta varten määritettiin käyttöastekerroin k :

$$k = \frac{E}{P}$$

Jossa:

E = asiakkaan vuosienergia (MWh)

P = asiakkaan liittymisteho (kW)

Ranta-Kartanon kaukojäähdytysverkon asiakkaiden liittymisteho olisi 1522 kW, josta kaupallisten ja julkisten rakennusten liittymisteho on 812 kW ja asuinrakennusten liittymisteho 710 kW (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 4). Perusmaksun funktiota laadittaessa otettiin huomioon edellä mainittu jakauma kuluttajatyyppeiden välillä ja käyttöastekerroimelle valittiin oikeanlainen painotus funktiossa, jotta sitä voidaan soveltaa Ranta-Kartanon alueeseen.

Annettujen ehtojen avulla määritettiin funktio perusmaksulle:

$$f(V) = (a * V + 300) * \left(1 - \frac{k}{3}\right)$$

Jossa:

a = funktion kulmakerroin

V = asiakkaan kaukojäähdytyksen tilavuusvirta (m³/h)

k = käyttöastekerroin

5.5.3 Kulmakertoimen määrittäminen perusmaksun funktiolle

Perusmaksun funktiossa kulmakerroin määrää, kuinka jyrkästi asiakkaan perusmaksun määrä nousee, kun liittymisvesivirta kasvaa. Perusmaksulle määritettyä funktiota analysoitiin herkkyytarkastelun avulla muuttamalla kulmakertoimen *a* arvoa. Tarkastelussa tutkittiin perusmaksuista saadun voiton suuruutta, kun funktion kulmakerrointa kasvatettiin. Funktion arvot laskettiin siten, että käytettiin kahta asiakastyyppeä: asuinrakennukset sekä kaupalliset ja julkiset rakennukset.

Näille kahdelle kuluttajatyypille laskettiin käyttöastekertoimet käyttämällä niille annettuja ominaistehon ja ominaisenergiankulutuksen lukuja. Jäähdytyksen ominaisteho asuinrakennuksille on 15 W/k-m² (kerrosneliometriä) ja kaupallisille sekä julkisille rakennuksille 30 W/k-m² (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 3). Kaukojäähdytyksen ominaiskulutus asuinrakennuksille on 5 kWh/k-m² ja kaupallisille sekä julkisille rakennuksille 20 kWh/k-m² (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 3). Näistä kahdesta kuluttajatyypistä kaupallisilla ja julkisilla rakennuksilla kaukojäähdytyksen kulutus on siis suhteellisesti suurempi verrattuna liittymistehoon.

Käyttöastekertoimet asuinrakennuksille sekä kaupallisille ja julkisille rakennuksille:

Asuinrakennukset

$$k = \frac{E}{P} = \frac{5 \text{ kWh/k-m}^2}{15 \text{ W/k-m}^2} \approx 0,33$$

Kaupalliset ja julkiset rakennukset

$$k = \frac{E}{P} = \frac{20 \text{ kWh/k-m}^2}{30 \text{ W/k-m}^2} \approx 0,67$$

Edellä saaduista laskutuloksista voidaan päätellä, että käyttöastekerroin on kaupallisilla ja julkisilla rakennuksilla suurempi kuin asuinrakennuksilla. Lasketut käyttöastekertoimen arvot sijoitettiin kahteen perusmaksun funktioon. Näissä kahdessa funktiossa tilausvesivirran arvona käytettiin Ranta-Kartanon alueelle liittyvien asiakkaiden liittymistehoja. Arvioitu liittymisteho asuinrakennuksilla oli 710 kW ja kaupallisilla ja julkisilla rakennuksilla 812 kW (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 4). Näille liittymistehoilte laskettiin tarvittava vesivirta (V) seuraavasti:

$$V = \left(\frac{P}{c_p * \Delta T} \right) * 3,6 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Jossa:

P = liittymisteho (kW)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$

ΔT = kaukojäähdytysverkon meno- ja paluuputken välinen lämpötilaero, $8 \text{ }^\circ C$ (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 10)

Sijoitetaan arvot:

Asuinrakennukset:

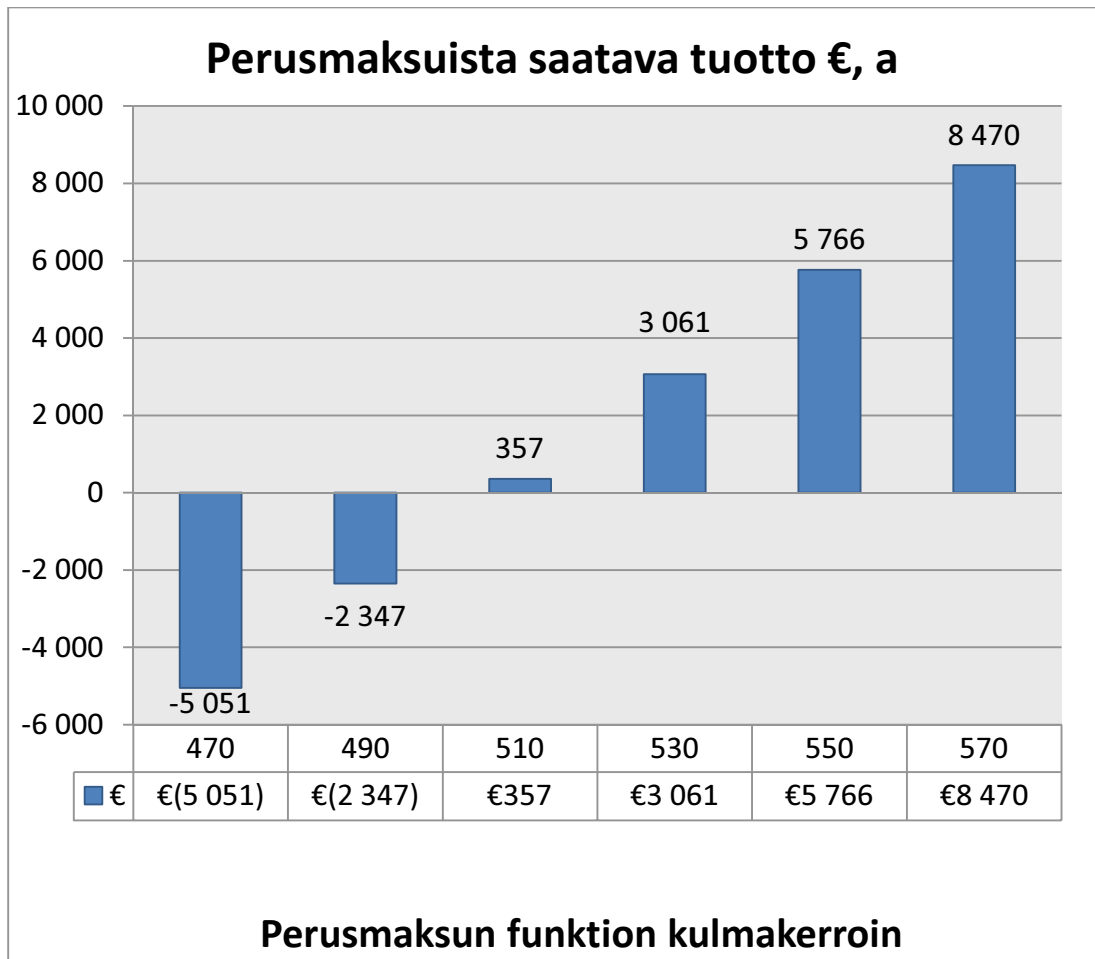
$$V_a = \left(\frac{710 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 8^\circ\text{C}} \right) * 3,6 \approx 76 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kaupalliset ja julkiset rakennukset:

$$V_k = \left(\frac{812 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 8^\circ\text{C}} \right) * 3,6 \approx 87 \text{ m}^3/\text{h}$$

Herkkyystarkastelua varten nämä vesivirran arvot sijoitettiin kahteen perusmaksun funktioon ja etsittiin sopiva suuruusluokka kulmakertoimen a arvolle. Kahden perusmaksun funktion arvot $f(V_a)$ ja $f(V_k)$ laskettiin yhteen, josta saatiin vuodessa kertyvä perusmaksujen summa Ranta-Kartanon alueella.

Saadut tulokset funktion kulmakertoimen suuruusluokalle on esitetty kuvassa 8. Diagrammin y-akselilla kuvataan vuodessa perusmaksuista saatava voitto, kun annuiteetin kattamiseen kuluva summa on vähennetty.



Kuva 8. Perusmaksuista saatava vuosittainen tuotto Ranta-Kartanon alueella.

Diagrammia lukemalla voitiin päätellä, että sopivin kulmakerroin funktiolle oli 510, kun haluttiin saavuttaa nollassa eli kattaa annuiteetti. Tällöin perusmaksun funktioksi muodostui:

$$f(V) = (510 * V + 300) * \left(1 - \frac{k}{3}\right)$$

Ranta-Kartanon asiakaskunnan kahdelle kuluttajatyypille, eli asuinrakennuksille sekä kaupallisille ja julkisille rakennuksille, löytyvät perusmaksun funktion kuvaajat liitteestä 3.

6 TARIFFIJÄRJESTELMÄN ANALYSOINTI

6.1 Kaukojäähdytysverkon laajentaminen ja sen vaikutus kannattavuuteen

Tämän opinnäytetyön toimeksiannon yhtenä kohtana oli tutkia, miten kaukojäähdytysverkon laajentaminen vaikuttaa tariffijärjestelmään. Toimeksiantajan ohjeiden mukaisesti laajennusalueeksi otettiin toinen Ranta-Kartanon kaukojäähdytysverkon kokoinen alue, jonka mitoitusteho oli 1320 kW ja asiakkaiden liittymisteho oli 1522 kW. Kaukojäähdytysverkon laajennus olisi yhteydessä Ranta-Kartanon verkkoon yhdellä siirtolinjalla, jolloin koko kaukojäähdytysverkon mitoitustehoksi tulisi 2640 kW ja asiakkaiden liittymistehoksi 3044 kW. Tarkastelussa oletettiin, että laajennusta varten rakennettava siirtolinja olisi suoraan jatkoa Ranta-Kartanoon rakennetusta siirtolinjasta. Asiakkaiden vuosienenergian luvuksi otettiin Ranta-Kartanon kulutuksesta kaksinkertainen luku, eli 1556 MWh.

Laajennetulle kaukojäähdytysverkolle arvioitiin tarvittavan investoinnin summa. Tähän käytettiin pohjana alkuperäistä Greenfield Consulting Oy:n laatimaa investointilaskelmaa. Toimeksiantajan ohjeiden mukaan investointisumman uudelleenlaskennassa huomioitiin tarvittava siirto johdon putkikoko, mutta tuotantolaitteistoa ei mitoitettu uudelleen vaan tarkastelussa käytettiin samoja lukuja kuin alkuperäisessä selvityksessä.

Kaukojäähdytysverkon laajennusosaa varten jäähdytyksen siirtoputki tuotantolaitokselta kuluttajille mitoitettiin uudelleen. Ranta-Kartanon alueelle jäähdytyksen siirtoputken pituudeksi arvioitiin 822 m (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 10). Laajennusosan tarkastelua varten siirtoputken pituudeksi otettiin tästä kaksinkertainen luku jolloin siirtoputken pituudeksi tuli 1644 m. Laajennetun kaukojäähdytysverkon asiakkaiden liittymisteho on kaksinkertainen Ranta-Kartanoon nähden, eli 3044 kW. Tällöin verkon mitoitustehoksi saadaan 2640 kW, kun käytetään samanaikaisuuskerrointa 0,85 ja otetaan huomioon putkiston siirtohäviöt (2%).

Tuotantolaitokselta lähtevän siirto johdon ensimmäisen osan 822 m putken kooksi valittiin Peh 315, kun mitoitustehona oli, että painehäviöt olisivat 100 Pa/m. Peh 315

–putkella painehäviöksi saatiin 64 Pa/m. Laskutoimitukset siirtoputken mitoitukselle ovat liitteessä 3. Liitteen 2 taulukon mukaan eristetystä teräsputkesta sopiva putkikoko on DN 250. Laajennetun kaukojäähdytysverkon loppuosaa varten käytettiin Ranta-Kartanoa varten valittua putkikokoa, eli muoviputkessa Peh 250 ja teräsputkessa DN 200.

Taulukossa 4 on kuvattu investointisummat laajennetussa kaukojäähdytysverkossa. Tarvittava investointisumma on laskettu kaikille neljälle tarkastelussa olevalle tuotantomenetelmälle ja kahdelle eri putkityypille eli eristetylle teräsputkelle (DN) sekä eristetylle muoviputkelle (Peh). Kaukojäähdytysverkon putkiston hintana käytettiin Greenfield Consulting Oy:n selvityksessä annettuja hintoja. Uudessa investointilaskelmassa otettiin huomioon putkiverkon uudelleenmitoituksen (Liite 1) lisäksi tarvittava mittauskeskusten määrä, kasvaneet suunnittelu-, hankinta- ja asennusvalvontakustannukset. Lisäksi epävarmuuden osuus (20 %) on laskettu suurempaa investointia vastaavaksi. Perusmaksun funktion tarkastelua varten investointisummaksi valittiin edullisin vaihtoehto, eli vakionopeuksinen kompressori muoviputkiverkolla. Tällöin investointisummaksi saatiin 1 461 000 €.

	Absorptio	Kompressori vakionopeus	Kompressori, VSD	Lämpöpumppu	
Tuotantokoneet	384	347	450	464	1 000 €
Jakeluverkosto DN	653	653	653	653	1 000 €
Jakeluverkosto Peh	459	459	459	459	1 000 €
Vapaajäähdytys	94	93	94	93	1 000 €
Kylmäakku	-	-	-	-	
Mittauskeskukset	40	40	40	40	1 000 €
Suunnittelu, hankinta, asennusvalvonta	176	170	186	188	1 000 €
Epävarmuus (20%)	361	352	376	358	1 000 €
Yhteensä DN	1 708	1 655	1 799	1 817	1 000 €
Yhteensä Peh	1 513	1 461	1 605	1 623	1 000 €

Taulukko 4. Investointilaskelma laajennetulle kaukojäähdytysverkolle.

6.1.1 Perusmaksun funktion määrittäminen

Aluksi laskettiin annuiteetti uudelle investointisummalle. Tähän käytettiin samaa laskentakaavaa, korkokantaa ja takaisinmaksuaikaa kuin kappaleessa 5.2.1:

$$A = 1\,461\,000 \text{ €} * 1,05^{25} * \left(\frac{1-1,05}{1-1,05^{25}} \right)$$

$$A \approx 104\,000 \text{ €}$$

Perusmaksun funktion pohjaksi otettiin kappaleessa 5.2.3 määritetty perusmaksun funktio.

$$f(V) = (a * V + 300) * \left(1 - \frac{k}{3} \right)$$

Kun oletetaan, että asuinrakennusten sekä kaupallisten ja julkisten rakennusten osuudet kokonaistehosta ovat samat, saadaan näille kahdelle kuluttajatyypille liittymisvesivirrat seuraavasti:

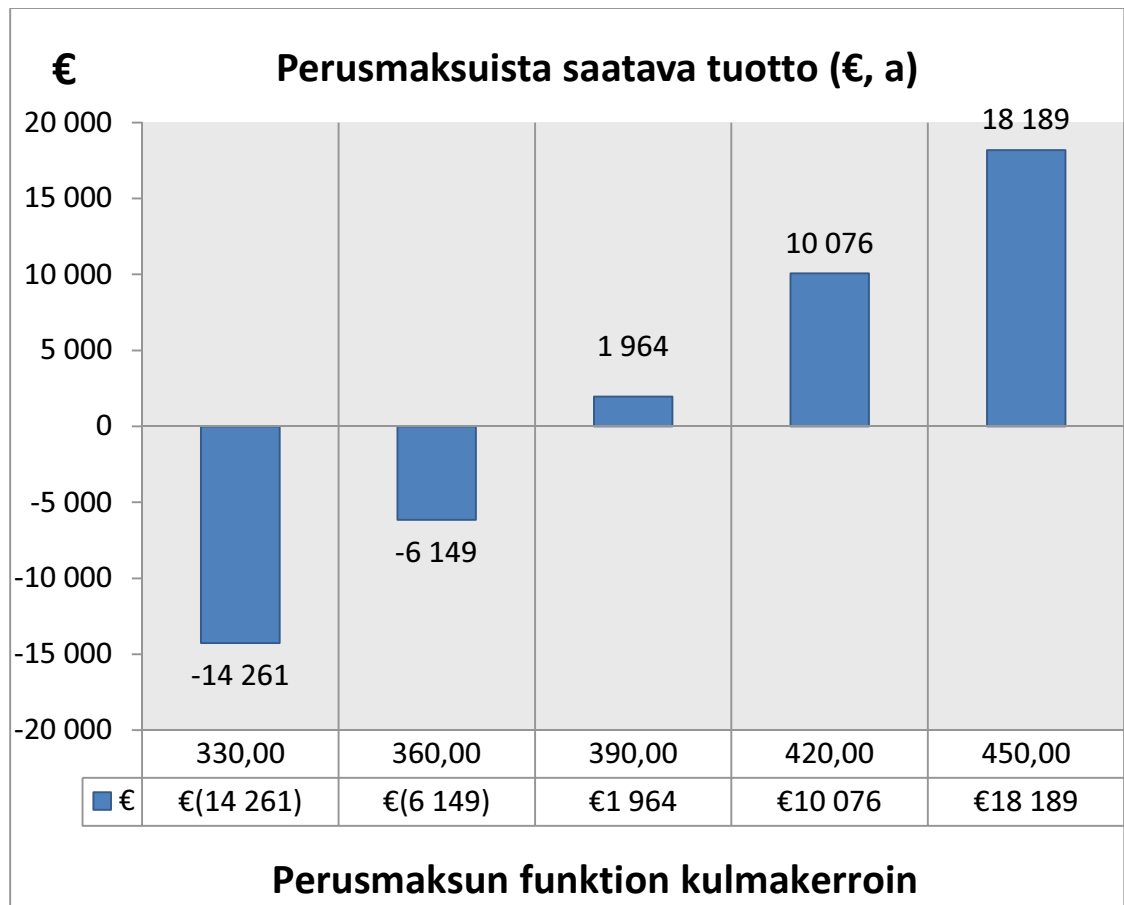
Asuinrakennukset:

$$V_a = \left(\frac{1420 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 8^\circ\text{C}} \right) * 3,6 \approx 152 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kaupalliset ja julkiset rakennukset:

$$V_k = \left(\frac{1624 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 8^\circ\text{C}} \right) * 3,6 \approx 174 \text{ m}^3/\text{h}$$

Laskukaavoista saadut virtauksen arvot sijoitettiin kahteen perusmaksun funktioon ja alettiin etsiä sopivaa suuruusluokkaa funktion kulmakertoimelle, jotta annuiteetti pysytään kattamaan. Perusmaksun funktiossa käyttöastekertoimina käytettiin kappaleessa 5.2.4 määritettyjä kertoimia asuinrakennuksille sekä kaupallisille ja julkisille rakennuksille.



Kuva 9. Perusmaksusta saatava vuosittainen tuotto sen funktion eri kulmakertoimen arvoilla.

Kuvan 9 perusteella funktion kulmakertoimeksi valittiin luku 390, jolloin perusmaksun funktioksi saatiin:

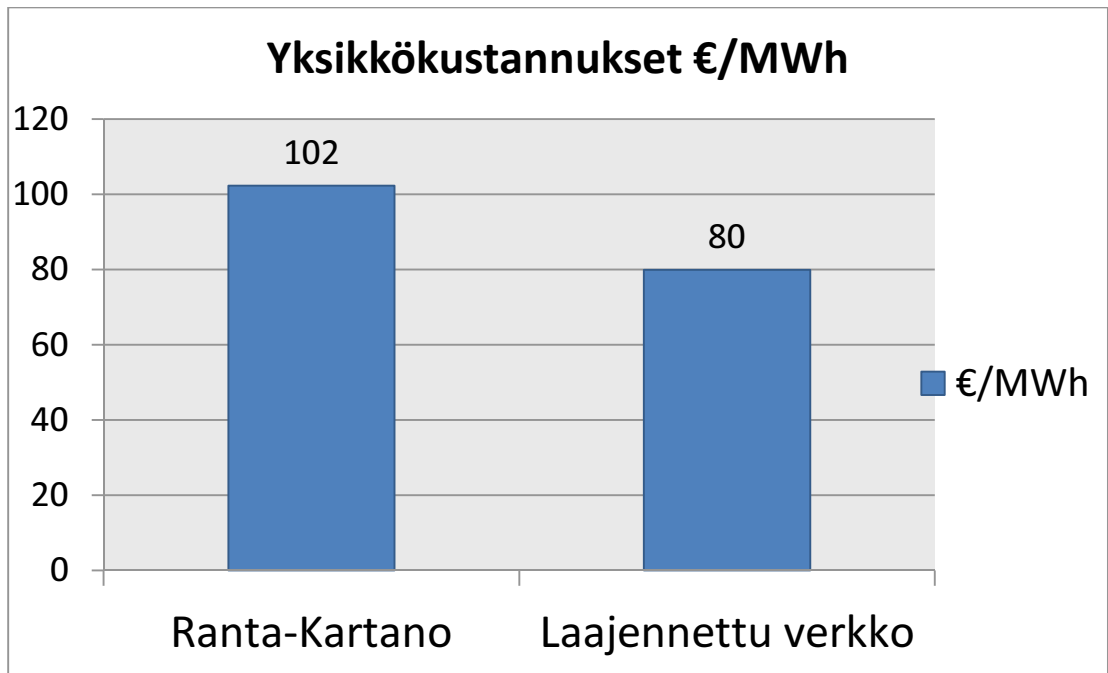
$$f(V) = (390 * V + 300) * \left(1 - \frac{k}{3}\right)$$

6.1.2 Laajentamisen vaikutus yksikkökustannuksiin

Työssä tutkittiin kaukojäähdytysverkon laajentamisen vaikutusta yksikkökustannuksiin. Yksikkökustannuksilla tarkoitetaan yhtä tuotettua energiayksikköä kohden tarvittavaa rahamäärää. Yksikkökustannukset on laskettu kokonaiskustannusten pohjalta, eli niihin sisältyy kaukojäähdytysverkon investoinnin annuiteetti ja vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset.

Laajennetulle kaukojäähdytysverkolle laskettiin annuiteetti kappaleessa 5.6.1. Summaksi saatiin 104 000 €. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset laskettiin Ranta-Kartanon kustannusten pohjalta. Niihin lisättiin kompressorin kuluttama sähköenergia, kun kaukojäähdytystä tuotetaan kaksinkertainen määrä vuodessa Ranta-Kartanon kaukojäähdytysverkkoon nähden, eli 1556 MWh. Sähkönkulutusta laskettaessa oletettiin kompressorin COP-kertoimeksi eli hyötysuhteeksi 4. Sähkön hintana käytettiin lukua 50 €/MWh (Kuivala – Lehdonvirta 2010, 20), tällöin laajennetun verkon käyttö- ja kunnossapitokustannuksiksi saatiin 20 425 €.

Yksikkökustannukset laskettiin jakamalla vuosittaiset kokonaiskustannukset vuoden aikana tuotetulla energiamäärällä. Tuloksena Ranta-Kartanon yksikkökustannuksiksi saatiin 102 €/MWh ja laajennetun verkon yksikkökustannuksiksi 80 €/MWh (Kuva 10).



Kuva 10. Ranta-Kartanon ja laajennetun kaukojäähdytysverkon yksikkökustannusten vertailu.

6.2 Huipunkäyttöajan vaikutus yksikkökustannuksiin

Huipunkäyttöaika lasketaan seuraavasti:

$$t_{hk} = \frac{\text{Tuotettu energia vuodessa} \left[\frac{\text{MWh}}{a} \right]}{\text{Tuotannon maksimiteho} [\text{MW}]} = \left[\frac{h}{a} \right]$$

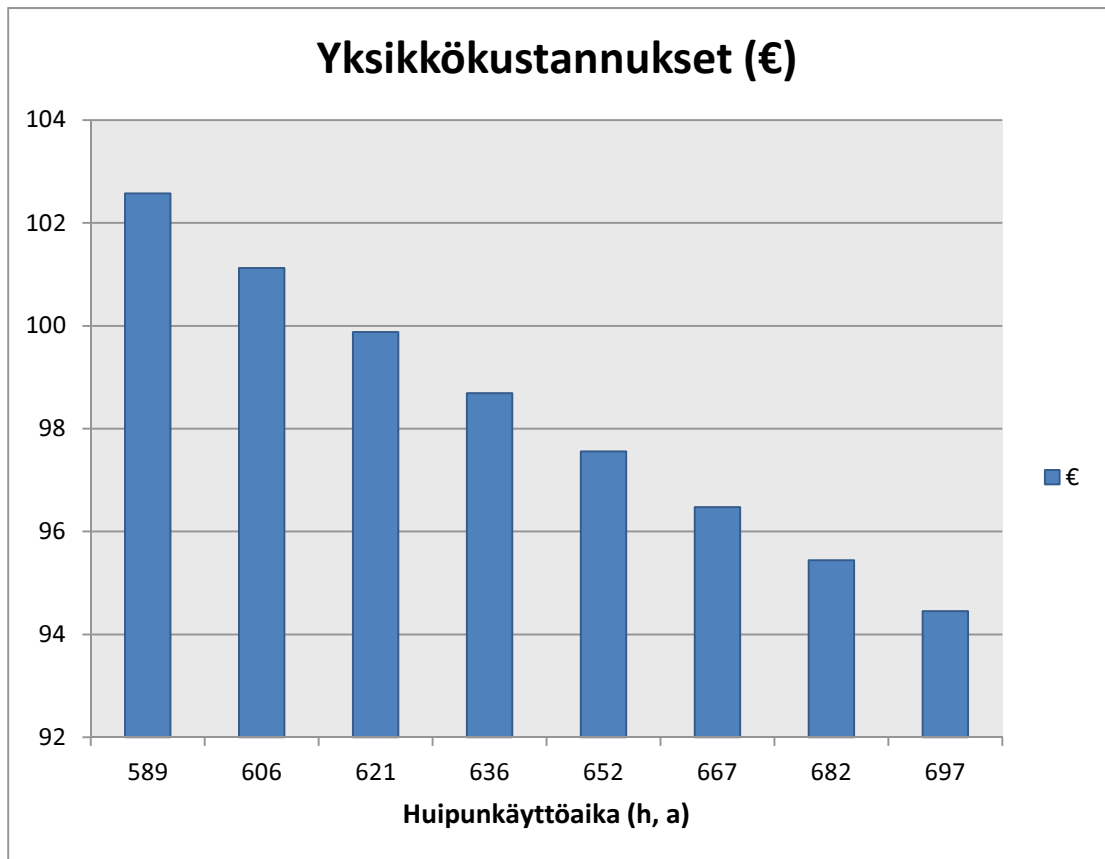
(Koskelainen – Saarela – Sipilä 2006, 468)

Perusmaksun funktiolle luodulla käyttöastekertoimella haluttiin ohjata kulutusta siten, että asiakkaan vuosikulutus olisi mahdollisimman suuri liittymistehoon nähden. Tarkastelua varten kaukojäähdytysverkon vuosienergiaa kasvatettiin (Taulukko 5). Huipunkäyttöaika laskettaessa tuotantokapasiteetin arvona oli 1,320 MW.

Vuosienergia (MWh)	Huipunkäyttöaika (h, a)
778	589
800	606
820	621
840	636
860	652
880	667
900	682
920	697

Taulukko 5. Ranta-Kartanon kaukojäähdytysverkon huipunkäyttöaika eri vuosienergian lukemilla.

Kuvassa 11 on tutkittu huipunkäyttöajan vaikutusta yksikkökustannusten määrään. Yksikkökustannuksiin sisältyy kaukojäähdytysverkon investoinnin annuiteetti sekä vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset.



Kuva 11. Huipunkäyttöajan vaikutus yksikkökustannusten suuruuteen

6.3 Tariffien kilpailukykyisyys muihin kaukojäähdytyksen tuottajiin nähden

Kaukojäähdytys on paikallista, ja energiantuottajalla on monopoliasema tuottaessaan tietylle alueelle kaukojäähdytystä, kuten kaukolämmityksessäkin. Energian myyjä joutuu silti väistämättä vertailun kohteeksi valtakunnan muiden kaukojäähdytystä tarjoavien energia-alan yritysten kanssa.

Työssä otettiin vertailun kohteeksi Turku Energian tarjoama kaukojäähdytys ja sen tariffijärjestelmä. Vertailussa määritettiin asiakkaan kokonaiskustannukset sisältäen liittymismaksun, energiamaksut ja perusmaksut. Pohjana käytettiin Greenfield Consulting Oy:n käyttämiä ominaistehoja ja ominaiskulutuksia:

Asuinkiinteistöt:

Ominaisteho: 15 W/k-m² (kerrosneliömetriä)

Ominaiskulutus: 5 kWh/k-m² /vuosi

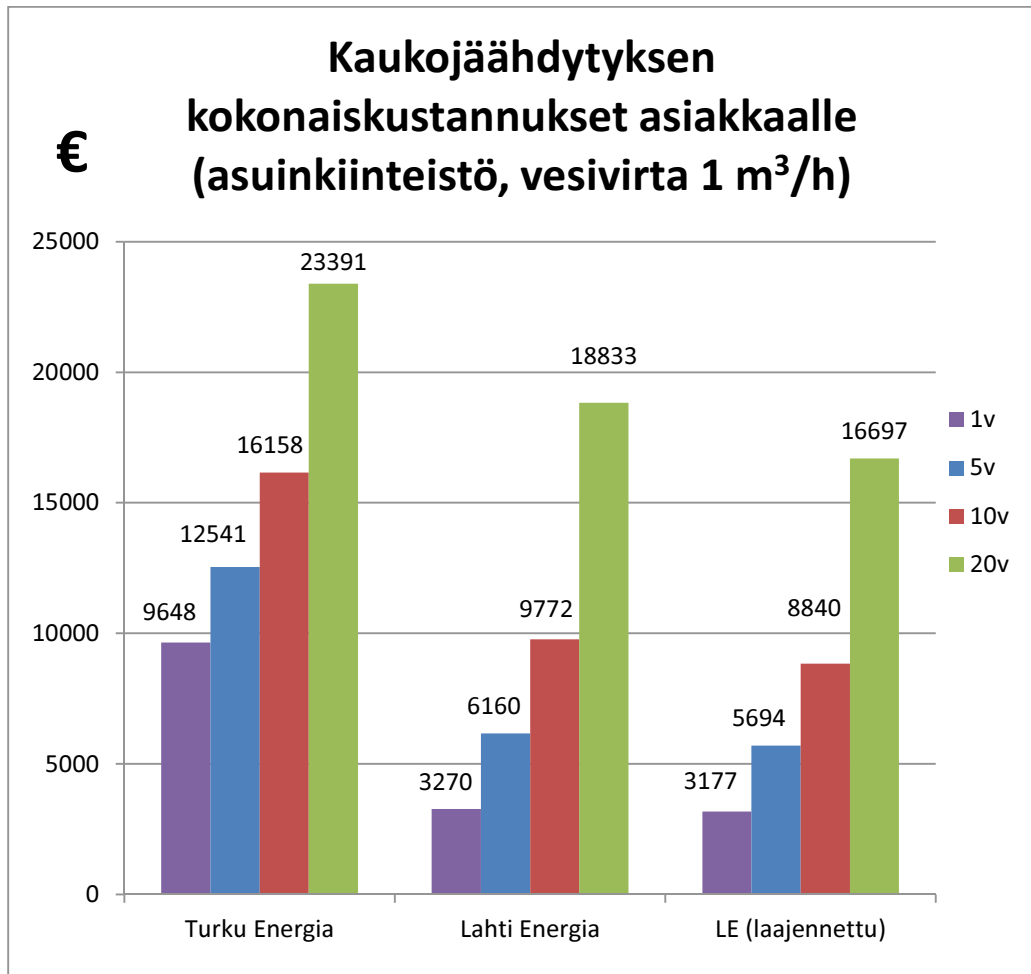
Kaupalliset ja julkiset rakennukset

Ominaisteho: 30 W/k-m²

Ominaiskulutus: 20 kWh/k-m² /vuosi

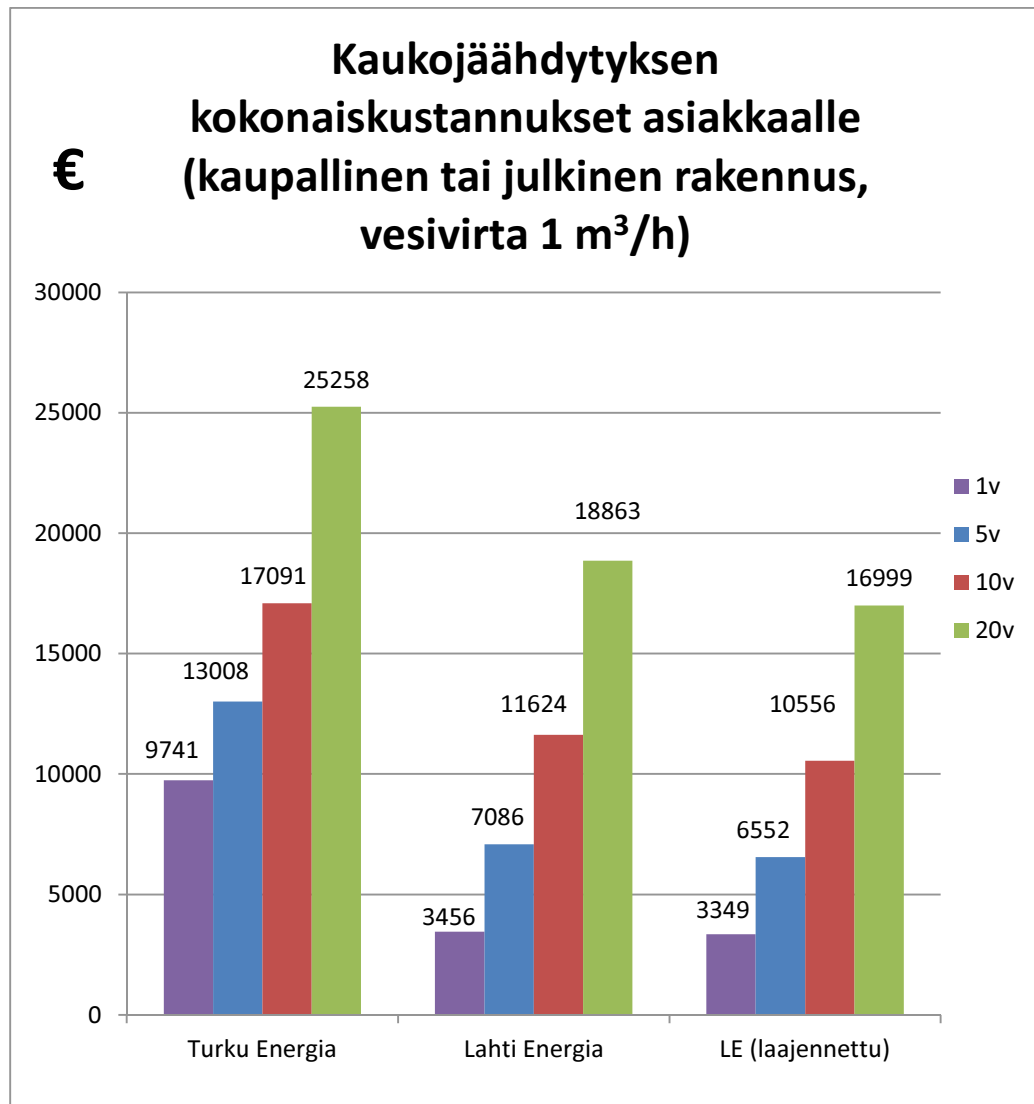
Kokonaiskustannuksia tutkittiin kahdella edellä mainitulla asiakastyypillä, liittymisvesivirtana kummallakin asiakkaalla oli 1 m³/h. Kokonaiskustannuksien kertymää tutkittiin eri aikaväleillä: 1 vuosi, 5 vuotta, 10 vuotta ja 20 vuotta. Vertailukohteiksi otettiin 3 kohdetta: Turku Energia Oy:n tarjoama kaukojäähdytys sekä Lahti Energialta Ranta-Kartanon alueen kaukojäähdytys ja Ranta-Kartanosta laajennettu kaukojäähdy-

tysverkko. Kuvan 12 diagrammissa vertailtiin näitä edellä mainittuja kolmea tariffijärjestelmää, kun asiakkaana on asuinkiinteistö.



Kuva 12. Asiakkaan kokonaiskustannukset asuinkiinteistössä neljällä eri aikajaksolla.

Kuvan 13 diagrammissa verrattiin eri tariffijärjestelmiä, kun asiakkaana on kaupallinen tai julkinen rakennus.



Kuva 13. Asiakkaan kokonaiskustannukset liiketilassa neljällä eri aikajaksolla.

7 YHTEENVETO

Ranta-Kartanon alueen kaukojäähdytykselle laadittiin tariffijärjestelmä, jonka perusteena oli, että kiinteät ja muuttuvat kustannukset pystyttiin kattamaan. Tässä tapauksessa kiinteillä kustannuksilla tarkoitettiin kaukojäähdytysverkon investointia ja muuttuvilla kustannuksilla käyttö- ja kunnossapitokustannuksia. Perusmaksun funktio määritettiin siten, että kiinteät kustannukset katetaan. Laskelmassa ei otettu huomioon vuosittain tavoiteltavaa voittoa. Se vaikutti selvästi kappaleessa 6.3 tehtyyn energiantuottajien väliseen vertailuun, jossa Lahti Energian tarjoaman kaukojäähdytyksen kustannukset asiakkaalle ovat huomattavasti pienemmät kuin vertailukohteeksi otetulla Turku Energialla.

Tariffijärjestelmää laadittiin siten, että tuotantomenetelmäksi valittiin vakionopeuksinen kompressori ja jäähdytysverkon putkimateriaalina käytettäisiin muoviputkea. Greenfield Consulting Oy:n selvityksen mukaan tämä oli edullisin vaihtoehto. Jos tuotantomenetelmäksi valittaisiin jokin muu vaihtoehto, tariffijärjestelmä pitäisi määrittää uudelleen.

Liittymismaksua määritettäessä pohjana käytettiin kaukolämmön liittymisen hinnoittelua, jossa putkimateriaalina käytetään teräsputkea (DN). Jos kaukojäähdytysverkko rakennetaan muoviputkea (Peh) käyttämällä, myös asiakkaiden liityntäjohdot olisivat muoviputkesta. Materiaalina muoviputki on edullisempaa kuin teräsputki, joten se alentaisi liittymisen kustannuksia.

Perusmaksun funktiossa haluttiin rohkaista kuluttajaa käyttämään enemmän kaukojäähdytysenergiaa ja tätä varten laadittiin käyttöastekerroin. Asiakas saisi sitä enemmän alennusta perusmaksusta, mitä enemmän hän kuluttaa jäähdytysenergiaa vuoden aikana. Asiakkaiden lisääntynyt energiankäyttö nostaisi kaukojäähdytyksen tuotannon huipunkäyttöaikaa, joka taas kasvattaisi kaukojäähdytysjärjestelmän kannattavuutta.

Tässä työssä määritetyt perusmaksun funktion käyttöastekertoimet laskettiin kahden erityyppisen asiakkaan ominaisenergian ja –tehon arvoilla. Kun perusmaksun funktiota sovelletaan kaukojäähdytysverkkoon, pitäisi jokaiselle asiakkaalle määrittää käyttö-

astekerroin erikseen. Tämä tuottaisi lisätyötä, joten yksi mahdollisuus voisi olla kuluttajien jakaminen muutamaa karkeaan luokkaan arvioidun kulutuksen mukaan.

Kappaleessa 6.1 tutkittiin kaukojäähdytysverkon laajentamista ja sen vaikutusta kaukojäähdytysverkon kannattavuuteen. Laajennetun kaukojäähdytysverkon kokonaiskustannuksia oli mahdotonta arvioida tarkasti, joten ne tehtiin Greenfield Consulting Oy:n selvityksen pohjalta. Tärkeimpänä huomiona on, että laajennetun verkon investoinnista puuttuu tuotantokapasiteetin kasvuun tarvittava lisäinvestointi. Kaukojäähdytysverkon laajentaminen alentaisi kuitenkin energiantuotannon yksikkökustannuksia, joten se tekisi projektista kannattavamman kuin pelkkä Ranta-Kartanon alueen jäähdytys. Kustannusten aleneminen johtaisi myös siihen, että kuluttaja maksaisi vähemmän kaukojäähdytyksestä.

LÄHTEET

Aura L., Tonteri AJ. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.

Energiateollisuus Ry. 2010. Kaukojäähdytyksen tilastotietoja vuodelta 2010. Saatavilla: http://www.energia.fi/sites/default/files/dokumentit/tilastot-ja-julkaisut/kaukojaahdytys_2010.xls. [Viitattu 12.10.2011]

Helsingin Energia. 2011a. Kaukojäähdytyksen tuotanto. Saatavilla: http://www.helen.fi/energia/kj_tuotanto.html. [Viitattu 12.10.2011]

Helsingin Energia. 2011b. Tietoa kaukojäähdytyksestä. Saatavilla: http://www.helen.fi/kaukojaahdytys/kj_tietoa.html. [Viitattu 12.10.2011]

Karvinen-Jussilainen A. Ranta-Kartanon alueen asemakaava ja asemakaavan muutos. 2009. Lahti: Lahden kaupunki.
http://www4.lahti.fi/valtuusto/viestinta/Kartano_ehdotus_khlyh_04052009.pdf. Tiedote (4.5.2009). [Viitattu 12.10.2011]

Koskelainen L., Saarela R., Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.

Kuivala J-P., Lehdonvirta H. 2010. Kaukojäähdytyksen alustava toteutettavuusselvitys Ranta-Kartanon uudisalueelle. Vantaa: Greenfield Consulting Oy.

Lahti Energia Oy. 2011a. Historia. Saatavilla: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/50>. [Viitattu 7.1.2012]

Lahti Energia Oy. 2011b. Avaintiedot Lahti Energiasta. Saatavilla: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/502>. [Viitattu 25.10.2011]

Lahti Energia Oy. 2011c. Kaukolämmön liittymismaksut 1.1.2011. Saatavilla:
<http://www.lahtienergia.fi/lammitys/liity-kaukolaempoverkkoon/kaukolaemmoen-liittymismaksut>. [Viitattu 7.1.2012]

Lindstam O. Sähköposti 8.11.2011. Lahti Energia Oy.

Lindstam O. Sähköposti 15.11.2011. Lahti Energia Oy.

Mäki-Saari H. Puhelinhaastattelu 23.11.2011. Lahti Energia Oy.

Toivonen V-P. Lahden keskustavision toteutus. 2008. Lahti: Lahden kaupunki.
[http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/D9C3AD53FEEF03ADC22574A9002E971F/\\$file/Keskustavision%20toteutus_uusi%202008.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/D9C3AD53FEEF03ADC22574A9002E971F/$file/Keskustavision%20toteutus_uusi%202008.pdf). Tiedote (28.4.2008). [Viitattu 18.10.2011]

LIITTEET

Liite 1. Kaukojäähdytysverkon laajennusosaan tarvittava siirtolinjan (Peh) putkikoko.

SDR17, PN10 Peh 225, 250, 280 ja 315

			Alkuarvot
	V=	0,079 m ³ /s	P= 2640 kW
Peh 225	d ₁ =	184 mm =	L= 822 m
Peh 250	d ₂ =	204,6 mm =	
Peh 280	d ₃ =	229,2 mm =	
Peh 315	d ₄ =	257,8 mm =	
	w ₁ =	2,95 m/s	k= 0,003 mm
	w ₂ =	2,39 m/s	
	w ₃ =	1,90 m/s	
	w ₄ =	1,51 m/s	
	v=	0,00000139 m ² / s	
			Re ₁ = 3,92E+05
			Re ₂ = 3,53E+05
			Re ₃ = 3,15E+05
			Re ₄ = 2,80E+05

Laskemalla:

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237}$$

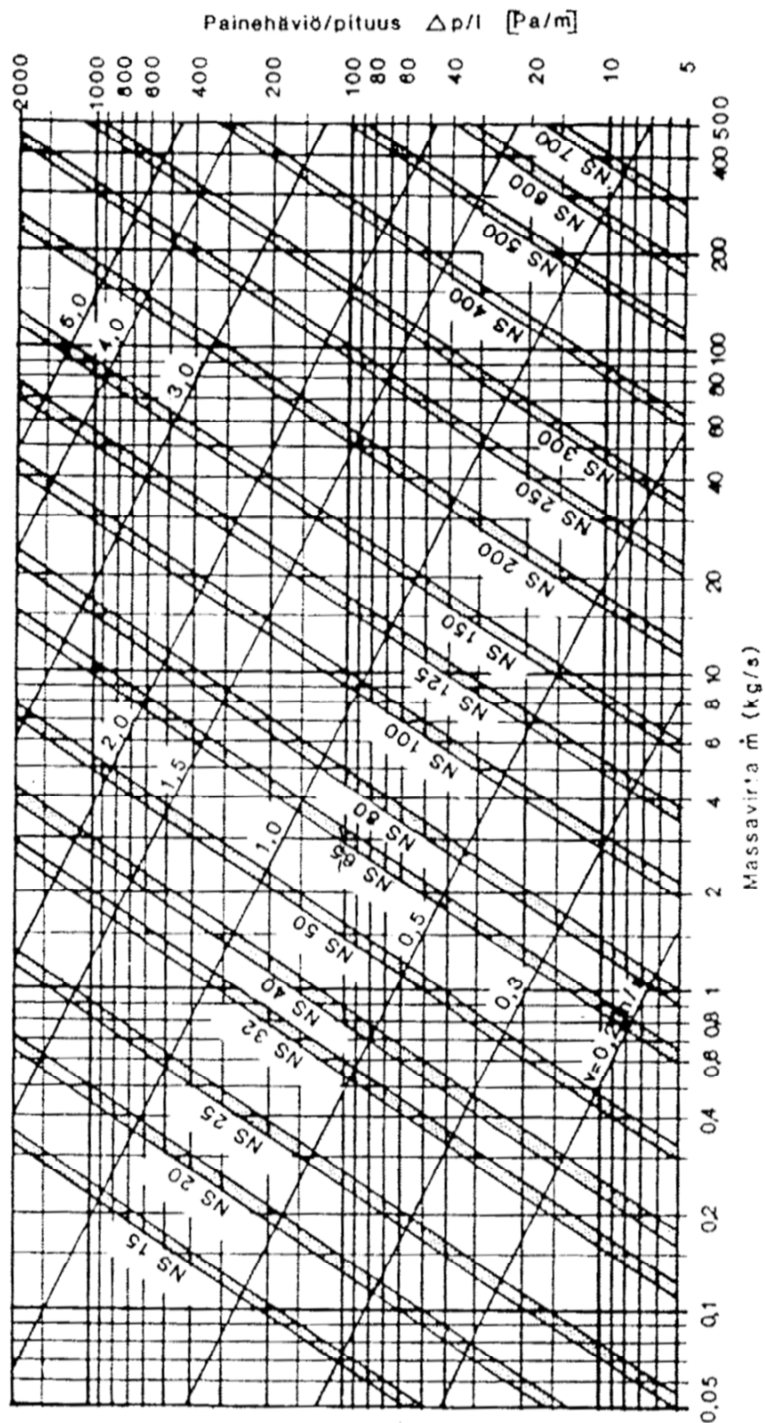
λ ₁ =	1,36E-02
λ ₂ =	1,39E-02
λ ₃ =	1,42E-02
λ ₃ =	1,45E-02

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2 \rho}{2}$$

Lopputulos

Peh 225	dP ₁ =	266 026 Pa/822m
		324 Pa/m
Peh 250	dP ₂ =	159 540 Pa/822m
		194 Pa/m
Peh 280	dP ₃ =	92 332 Pa/822m
		112 Pa/m
Peh 315	dP ₄ =	52 410 Pa/822m
		64 Pa/m

Liite 2. Taulukko teräsputken mitoitus varten.



Kuva 6.11 Painehäviö/pituus kaukolämpöjohdoissa.

Liite 3. Perusmaksun funktiot asuinrakennuksille sekä kaupallisille ja julkisille rakennuksille.

