



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

TIINA SAHAKARI
KESKITETYN LÄMMITYKSEN KUSTANNUKSET ERÄISSÄ
YLEISKAAVOITUKSEN VAIHTOEHDOISSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Timo Kalema
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden ja
ympäristötekniikan
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 9. huhtikuuta 2008

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

SAHAKARI, TIINA: Keskitetyn lämmityksen kustannukset eräissä yleiskaavoituksen vaihtoehdoissa

Diplomityö, 85 sivua, 6 liitesivua

Toukokuu 2008

Pääaine: Sähköenergiatekniikka

Tarkastaja: professori Timo Kalema

Avainsanat: Keskitetty lämmitys, kaukolämpö, rakennusten energiankulutus, pellettilämmitys, lämpöpumput, yleiskaavoitus, kustannusten rajahinta

Keskitetyn lämmityksen kustannuksia on haasteellista ennustaa yleiskaavoitusvaiheessa oleville asuinalueille. Tässä työssä selvitetään, minkälaisella mallilla uusilla kaavoitusalueilla voidaan suorittaa kustannustarkastelua. Esimerkkialueena on Tampereen koillispuolella sijaitseva Nurmi-Sorilan alue ja sen kolme ehdolla olevaa osayleiskaavavaihtoehtoa. Kustannuksia kartoitetaan sekä kaukolämpöratkaisulle että vaihtoehtoiselle aluejärjestelmälle. Saatujen kustannustietojen avulla eri vaihtoehdoille määritetään kustannusten rajahinnat, joiden perusteella esimerkkiyritys pystyy vertailemaan eri alueiden kannattavuutta. Työssä arvioidaan myös tiukentuvien rakentamismääräysten myötä pieneneviä rakennusten ominaiskulutuksia, ja pienentyneiden kulutusten vaikutusta lämmitysjärjestelmien kannattavuuden perusteisiin. Lopuksi työssä suoritetaan yksityistaloudellinen tarkastelu erillispientaloasiakkaan näkökulmasta kolmelle vaihtoehtoiselle lämmitysjärjestelmälle.

Työn alussa on kirjallisuuskatsaus eri maissa tehtyihin energia-alan tutkimuksiin. Tämän jälkeen esitellään pääpiirteittäin tarkasteltavana olevat lämmitysjärjestelmät ja kiinteistökohtaiset lämmönjakojärjestelmät. Tämän osuuden jälkeen esitellään teoreettinen pohja rakennusten lämmitystehon ja -energian tarpeen mitoittamiseen. Teoriaosuuden jälkeen määritetään eri osayleiskaavavaihtoehdoissa esiintyvät tyyppirakennukset ja näiden lämmitysenergian ja -tehon tarpeet. Saatujen tulosten perusteella määritetään eri vaihtoehtojen kokonaisarvot ja mitoitetaan osayleiskaavavaihtoehdoille erilaisia lämpöverkkoja. Mitoituksen jälkeisellä kustannuslaskennalla esimerkkiyritys pystyy vertailemaan eri alue- ja verkkovaihtoehtojen kannattavuutta.

Johtopäätöksenä löydetään vastaukset kaikkiin tutkimukselle esitettyihin kysymyksiin. Tarkastelluista osayleiskaavavaihtoehdoista nousee selvästi yrityksen kannalta hyviä vaihtoehtoja, jotka tunnistetaan lämmön kustannusten rajahinnat selvittävän kaavan avulla. Tulevaisuuden mahdollisesti pienemmät rakennusten lämmöntarpeet vaikuttavat negatiivisesti kaukolämpötoiminnan kannattavuuteen ja luultavasti hidastavat kaukolämmön myynnin kasvua. Yksittäisen erillispientalon lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat monet tekijät, mutta kaukolämpö on helppoutensa vuoksi hyvä vaihtoehto, jos se on mahdollinen alueella. Tutkimuksen perusteella tullaan siihen johtopäätökseen, että yleispätevää helppokäyttöistä mallia uusien kaavoitusalueiden vertailuun ei voida kehittää. Keinot uusien alueiden kustannusten tarkasteluun ovat olemassa, mutta yksiselitteistä nopeaa tapaa ei ole, vaan vaaditaan aina jonkinasteinen mitoitus- ja laskentatyö. Menetelmät ja työkalut löytyvät tästä tutkimuksesta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Environment and Energy Technology

SAHAKARI, TIINA: The costs of district heating in certain master plan area possibilities

Master of Science Thesis, 85 pages, 6 Appendix pages

May 2008

Major: Electric energy engineering

Examiner: Professor Timo Kalema

Keywords: District heating, Energy consumption of buildings, Pellet heating, Heat pumps, Master planning of areas, The marginal price of costs

The costs of district heating are difficult to predict for areas which are still in the master planning phase. One of the purposes of this research is to solve what kind of model could be used in examining the costs of these kind of areas. The area, which is used as an example, is Nurmi-Sorila, which is situated in Tampere, and it's three possible master area plans. The costs are examined for a district heating system and also for other possibilities. With the results of this research, Tampereen Sähkölaitos is able to compare the profitability of the different master area plans. The effects of the decreasing need of building heating in the future are evaluated in this research. At the end of this work there is also a short examination for detached house heating system possibilities.

In the beginning of this work there is a short presentation of energy examinations and projects from different countries. After that, the heating systems of buildings are shortly introduced. After this part of the work, the theoretical base for counting and measuring the need of heating of buildings is introduced. After the theory, the buildings used in this examination and their need of heat and power, are presented. The need of heat and power of the whole master area possibilities are then calculated. Then, there is a calculation of costs and based on its results the company can evaluate the profitability of the different plans.

In conclusion, all questions set to this research are answered. There are clearly some master area plans that seem better for Tampereen Sähkölaitos and also the costs have been calculated. The changes in the demand of heating of the buildings will be negative for the company and will slow down the growth of district heating. For a detached house, district heating is a good possibility if it is possible in the area, but there are many factors that may affect the decision making when one is choosing a heating system. There is not a good simple and fast way to compare the costs of district heating in different master plan areas, because it always requires accurate measuring and knowledge of the area. All the needed tools and procedures are however introduced in this research.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen Sähkölaitokselle ja rahoittajana on ollut Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiö. Työn tekeminen on sujunut laaditun aikataulun ja tavoitteiden mukaisesti ja työskentely on ollut antoisaa ja mielenkiintoista. Aihealue on osoittautunut erittäin mielenkiintoiseksi ja lisännyt kiinnostusta toimialaan entisestään.

Kiitokset onnistuneesta työstä kuuluvat monelle. Ensimmäisenä haluaisin kiittää professori Timo Kalemaa, joka on ohjannut, tukenut ja innostanut minua koko prosessin ajan. Suuret kiitokset kuuluvat myös Tampereen Sähkölaitoksen ohjausryhmälle Olavi Toivalle, Marko Lundströmille, Mika Pekkiselle ja Timo Pesoselle. He ovat kiireistään huolimatta olleet koko työn ajan tukemassa ja ohjaamassa ja tarpeen tulleen ovat myös antaneet asiantuntevaa rakentavaa kritiikkiä. Haluan myös kiittää koko Tampereen sähkölaitoksen Kaukolämpö- ja kaasutoiminnan henkilökuntaa kaikesta avusta. Lisäksi Haluan kiittää Tampereen kaupungin kaavoituksen työntekijöitä, jotka ovat antaneet käyttööni työn kannalta tärkeitä tietoja ja ovat auttaneet aina tarpeen tullen.

Yksi vaihe on nyt takana ja uudet haasteet odottavat. Diplomityön tekeminen on ollut erittäin antoisaa ja tärkeä päätös opiskelulle. Viimeiset kiitokset kuuluvat läheisilleni, jotka ovat jaksaneet olla tukenani koko prosessin ajan.

Tampereella 7.5.2008

Tiina Sahakari

SISÄLLYS

1. Johdanto.....	1
1.1. Tutkimuksen keskeiset kysymykset ja tutkimuksen rajaus.....	1
1.2. Työn tavoite ja rakenne.....	2
2. Taustoittavaa kirjallisuutta ja tutkimusaineistoa.....	4
2.1. Kestävään kehitykseen ja -energiasuunnitteluun pyrkiminen.....	4
2.2. Kansainvälisiä energiajärjestöjä.....	4
2.3. Esimerkkejä paikalliseen energiasuunnitteluun liittyvistä hankkeista.....	5
2.3.1. Göteborgin hanke.....	6
2.3.2. Basilicatan alueellinen energia- ja ympäristösuunnitelma.....	7
2.3.3. Diplomityö kaukolämmön kannattavan markkinapotentiaalın määrittämiseksi.....	7
3. Taustoja tutkimukselle	9
3.1. Lämpöpumppulämmitys	9
3.1.1. Lämpöpumppujen toiminnan perusta.....	10
3.1.2. Maalämpöpumput	12
3.1.3. Ilmalämpöpumput	13
3.1.4. Vesilämpöpumppu	13
3.1.5. Jätevesilämpöpumppu.....	14
3.1.6. Suorahöyrystīnlämpöpumppu	14
3.1.7. Lämpöpumppujen lämpökertoimet	15
3.2. Pellettilämmitys	15
3.2.1. Puupelletti	16
3.2.2. Turvepelletti	17
3.2.3. Lämmittäminen	17
3.2.4. Pellettilämmityksen etuja ja haasteita	18
3.3. Kaukolämpö	18
3.3.1. Lämmön jakelujärjestelmä.....	19
3.3.2. Lämmön tuotanto	20
3.3.3. Kaukolämmön etuja ja haasteita	21
3.4. Lämmönjakojärjestelmät.....	21
3.4.1. Vesikeskuslämmitys.....	22
3.4.2. Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät.....	22
3.4.3. Sähkölämmitys.....	23
4. Rakennusten lämmitystehon ja -energian tarpeen laskeminen	24
4.1. Lämmitysteho ja -energia laskennallisın menetelmin.....	24
4.1.1. Vaipan lämpöhäviö/johtumishäviö	25
4.1.2. Vuotoilman lämpöhäviö.....	26
4.1.3. Ilmanvaihdon lämpöhäviö.....	27
4.1.4. Käyttöveden lämmitys	28
4.1.5. Sisäiset lämmönlähteet ja aurinkolämpö.....	30

4.2. Tilastollisista menetelmistä.....	30
5. Kaavoitusalueen lämmitystehon ja -energian tarpeen määrittäminen.....	31
5.1. Nurmi-Sorilan osayleiskaavavaihtoehdot	31
5.1.1. Osayleiskaavavaihtoehdoissa esiintyvät tyyppirakennukset.....	32
5.1.2. Kehäkaupunki – vaihtoehto	33
5.1.3. Järvikaupunki – vaihtoehto	33
5.1.4. Pientalokaupunki – vaihtoehto.....	34
5.2. Tyypitalojen lämmitystehon ja -energian tarpeen tilastollinen määrittäminen.	35
5.3. Tyypitalojen vertailevat laskelmat	39
5.3.1. Erillispientalon laskennan lähtötiedot.....	40
5.3.2. Kerrostalon laskennan lähtötiedot.....	42
5.3.3. Rivitalon laskennan lähtötiedot.....	43
5.3.4. Laskennan tulokset.....	43
5.4. Saatujen tulosten vertailu ja jatkomittoitusmenetelmän valinta.....	44
5.5. Osayleiskaavavaihtoehtojen lämmitystehojen ja -energioiden tarpeet	45
5.6. Tulevaisuuden muutoksia lämmitystehon ja -energian tarpeissa.....	47
6. Verkon mitoittaminen.....	50
6.1. Kehäkaupunki – vaihtoehdon verkko	50
6.1.1. Pelkät kerrostalot.....	51
6.1.2. Kerros- ja rivitalot.....	52
6.1.3. Koko alue	53
6.2. Järvikaupunki – vaihtoehdon verkko	55
6.2.1. Pelkät kerrostalot.....	55
6.2.2. Kerros- ja rivitalot.....	56
6.2.3. Koko alue	57
6.3. Pientalokaupunki – vaihtoehdon verkko.....	59
6.3.1. Kerros- ja rivitalot.....	59
6.3.2. Koko alue	60
6.4. Verkostolaskennan yhteenveto.....	62
7. Kustannuslaskenta	64
7.1. Verkon kustannukset.....	64
7.1.1. Perusvaihtoehto	64
7.1.2. Haastava ympäristö	66
7.2. Lämmityksen kustannusten rajahintojen määrittäminen.....	68
7.3. Kustannuslaskennan yhteenveto	70
7.3.1. Kaukolämpöratkaisu	71
7.3.2. Alueverkko.....	72
7.3.3. Kaukolämpöratkaisun ja alueverkon erot.....	73
8. Yksityistaloudellinen tarkastelu	75
9. Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset.....	78
Lähteet.....	80

Liitteet	85
-----------------------	-----------

LYHENTEET JA MERKINNÄT

$\phi_i(t_{\max})$	asiakkaan tai ryhmän i mitattu tehontarve tarkasteltavana huipputehon tarpeen hetkenä (W)
$\phi_{N,i}$	asiakkaan tai ryhmän nimellistehontarve (mitoitusteho) (W)
φ_C	Carnot-prosessin mukainen lämpökerroin
η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde
Δt	jakson aika (d)
ϕ_{kv}	käyttöveden lämmitysteho (W)
ϕ_{lkv}	käyttöveden tuntikeskiteho (kW)
ΔT	lämpimän ja kylmän käyttöveden erotuslämpötila (°C)
ϕ_l	lämpöpumpulla saavutettu lämmitysteho (W)
φ	lämpöpumpun lämpökerroin
$\phi_{rakennus}$	rakennuksen tehontarve (W)
ϕ_s	sisäiset lämpökuormat ja auringon säteily (W)
η	sisäisten energioiden hyväksikäyttöaste
A_{br}	rakennuksen kerrosala (k-m ²)
A	rakennusosan pinta-ala (m ²)
a	investoinnin pitoajan ja laskentakoron mukaan määritettävä annuiteettitekijä
H_{inv}	kokonaisinvestointi tämänhetkisillä hintatiedoilla (EUR)
H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö (W/K)
H_{johto}	johtomaksut (EUR)
H_{joht}	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö (W/K)
H_{kok}	rakennuksen ominaislämpöhäviö (W/K)
$H_{liittymät}$	liittymismaksut (EUR)
H_{perus}	tilausvesivirran mukaan määräytyvät perusmaksut (EUR)
$H_{vuotoilma}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö (W/K)
$h_{energia}$	energian hinta (EUR/MWh)
h_{kust}	kustannusten rajahinta (EUR/MWh)
i	ryhmän tai asiakkaan indeksi
m	asiakkaiden määrä
N	rakennuksen asuntojen lukumäärä
n	henkilömäärä
$n_{vuotoilma}$	rakennuksen vuotoilmakerroin (1/h)

P_k	lämpöpumpun kompressorin ottoteho (W)
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva suora auringon säteilyenergia (kWh)
$Q_{hlö}$	henkilöiden luovuttama lämpöenergia (kWh)
$Q_{häviö}$	rakennuksen kokonaislämpöhäviö (kWh)
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia (kWh)
Q_{joht}	rakenteiden läpi johtuva energia (kWh)
Q_{lkv}	käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia (kWh)
$Q_{lkv,hyöty}$	lämpimän käyttöveden laitteista vapautuva hyödyksi saatava energia (kWh)
$Q_{läm.kuor.}$	tilojen lämmitysjärjestelmästä sisään vapautuva hyötyenergia (kWh)
Q	lämmitysenergian tarve (kWh)
Q_s	sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteistä rakennukseen tuleva energia (kWh)
Q_s	sisäisten lämmönlähteiden ja auringon säteilyn energia (kWh)
$Q_{säht}$	valaistuksesta ja koneista vapautuva energia (kWh)
Q_{vi}	vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia (kWh)
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta (m ³ /s)
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta (m ³ /s)
r	muuntokerroin, joka huomioi ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan
T_H	höyrystyslämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila (°C)
T_L	lauhtumislämpötila, °C
T_{lv}	lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)
T_s	mitoituksen sisälämpötila (°C)
T_u	alueen mitoitusulkolämpötila (°C)
T_u	jakson keskimääräinen ulkolämpötila (°C)
t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24 h)
t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhte (vrk/7 vrk)
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/m ² K)
$\dot{V}_{kvm}$	lämpimän käyttöveden tilavuusvirta (m ³ /s)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus (m ³)
$V_{lkv,om.br}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus (dm ³ /k-m ² , vuosi)

$V_{lkv,om.henk.}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ($\text{dm}^3/\text{henk, vrk}$)
V	rakennuksen ilmatilavuus (m^3)
W_{hank}	alueen lämmöntarve häviöt mukaan lukien (MWh)

Annuiteetti-

menetelmä Vuotuisten juoksevien tulojen ja menojen erotusta, eli nettotuloa, verrataan investoinnin aiheuttamiin vuotuisiin korko- ja kuoletuskustannuksiin, jotka saadaan, kun kerrotaan hankintameno niin sanotulla annuiteettitekijällä.

Energia-

maksu Energiamaksu on kaukolämpöasiakkailta perittävä mitatun energiamäärän mukaan määräytyvä maksu.

Kerrosala

(k-m^2) Rakennuksen ulkomittojen mukaan määritelty kerrosten yhteenlaskettu pinta-ala.

Kustan-

nusten

rajahinta Tässä työssä kustannusten rajahinnalla tarkoitetaan maksua, minkä kaukolämpö ja maakaasutoiminta voi korkeintaan maksaa energiantuotannolle lämmöstä, jonka se myy edelleen kaukolämpöasiakkaille, että saadut tuotot juuri ja juuri kattavat aiheutuneet kulut.

Johto-

maksu Maksu, jonka kaukolämpöasiakas maksaa kaukolämpöön liittyessään tontilleen tulevasta johto-osuudesta. Johtomaksu määräytyy johdon tyypin ja pituuden mukaan. Kyseessä on kertaluontoinen maksu.

Liittymis-

maksu Liittymismaksu on kertaluontoinen, kaukolämpöön liittyvän kuluttajan maksama maksu, joka määräytyy asiakkaan sopimustehon mukaan määräytyvän tilausvesivirran perusteella.

Lämpö-

kerroin Lämpökerroin on lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja toimintaan tarvitun sähkötehon suhde.

Myynnin

keskihinta Kaukolämpöasiakkaan vuosittain maksama kokonaismaksu kulutettua lämpöenergiaa kohti (EUR/MWh). Maksuun sisältyy sekä kiinteä perusmaksu että kulutuksen mukaan määräytyvä energiamaksu. Alueen myynnin keskihinta saadaan yhdistämällä erilaisten kuluttajien myynnin keskihinnat toisiinsa suhteellisina osuuksina.

**Nykyarvo-
eli****diskonttaus-**

menetelmä Eriaikaiset suoritukset diskontataan yhteiseen vertailuajankohtaan, joka on yleensä nykyhetki. Samanarvoisiksi tehtyjä suorituksia on sitten mahdollista vertailla keskenään. Yksinkertaistuksena yleensä oletetaan, että suoritukset tapahtuvat kunkin vuoden lopussa.

Perusmaksu Perusmaksu on kaukolämpöasiakkaan sopimustehon tai -vesivirran perusteella määräytyvä kiinteä kuukausittain perittävä maksu.

Risteily Risteily tarkoittaa sitä, että kaukolämpöasiakkaiden kuormitukset vaihtelevat, eli kulutushuiput eivät ole samanaikaisia. Jakeluverkossa tehon tarpeen vaihtelut tasaantuvat. Risteilyn perusteella voidaan yhdistää erilailla vaihtelevat kulutushuiput toisiinsa. Verkon mitoituksessa risteilyn huomioimisella on suuri merkitys.

Risteily-

kerroin Risteily- eli samanaikaisuuskerroin (r) on verkossa syntyvän siirtotehon tarpeen ja asiakkaiden tehon tarpeiden summan suhde.

**Suomen
rakentamis-
määräys-**

kokoelma Ympäristöministeriön ylläpitämä kokoelma maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä ohjeita ja määräyksiä.

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen keskeiset kysymykset ja tutkimuksen rajaus

Tälle tutkimukselle voidaan esittää neljä keskeistä kysymystä. Ensimmäinen näistä on: ”Millaisella laskentamallilla tulisi arvioida kaukolämmön kustannuksia uusilla kaavoitusalueilla?” Tässä työssä on tarkoitus mitoittaa eräällä valmisteilla olevalla kaavoitusalueella eriasteisia kaukolämpö-/alueverkkoja ja löytää optimi keskitetylle lämmitysratkaisulle. Toinen kysymys voidaankin määrittää seuraavalla tavalla: ”Mitkä ovat yrityksen näkökulmasta keskitetyn lämmityksen kustannusten rajahinnat eri kaavoitusvaihtoehdoilla?” Tutkimus tehdään pääasiallisesti yrityksen näkökulmasta ja käytössä ovat tämän hetkiset hintatiedot. Päästökaupan osalta tutkimus tehdään nykyisellä vaikutusmekanismilla. Vaikutus kohdistuu tällä hetkellä ainoastaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon. Päästökaupan vaikutus saattaa tulevaisuudessa ulottua yksityistaloudellisten lämmitysjärjestelmien verotukseen ja tämä voi vaikuttaa kilpailuasemaan. Muutoksia on kuitenkin vaikea ennustaa, joten päästökaupan tulevaisuuden vaikutusten tarkastelu rajataan pois tästä työstä. Kolmas kysymys on: ”Miten tulevaisuuden tiukentuvat rakentamismääräykset ja tätä kautta mahdollisesti pienenevä lämmitystehon ja -energian tarve vaikuttavat kaukolämmön kustannuksiin?” Tutkimus laajenee myös keskitetyn lämmityksen ja erillislämmityksen vertailuun. Kaukolämmön lisäksi tarkastelun alla olevat lämmitysmenetelmät ovat lämpöpumppulämmitys ja pellettilämmitys. Työssä kartoitetaan asiakkaan näkökulmaa, johon neljäs kysymys liittyy seuraavasti: ”Mitä lämmitysvaihtoehtoja asiakkaalla on ja mitä ovat kustannukset eri vaihtoehdoilla asiakkaan näkökulmasta?”

Tutkimus on jatkoa Miikka Kankaan Tampereen Sähkölaitokselle tekemään diplomityöhön, jossa kehitettiin malli kaukolämmön kannattavan markkinapotentialin määrittämiseksi jo olemassa olevan rakennuskannan alueella. Kankaan tekemän tutkimuksen ja tämän työn keskeisenä erona on se, että tämän tarkastelun kohteena ovat uudet kaavoitusalueet. Case-esimerkkinä käytettävä kaavoitusalue on Näsijärven rannassa 12 km Tampereen keskustasta koilliseen sijaitseva 17 km²:n kokoinen Nurmi-Sorila. Alueesta on tällä hetkellä kolme eri osayleiskaavavaihtoehtoa, joita kaikkia käsitellään tässä tutkimuksessa erikseen. Toinen ero tutkimuksissa on se, että mukaan otetaan myös vaihtoehtoisten järjestelmien tarkastelua ja osittain asiakkaan näkökulma.

Tutkimukseen liittyy monia epävarmuustekijöitä, jotka otetaan huomioon työtä tehtäessä. Jotta eri osayleiskaavavaihtoehdoille voitaisiin mitoittaa lämmitysjärjestelmät, ensin täytyy laskea kaavoitusalueiden lämmitystehon ja -energian tarpeet. Jotta tämä voitaisiin tehdä, aluksi on määritettävä kaavoituksen apuna käytettävien tyyppitalojen vastaavat tarpeet. Tyyppitaloista ei ole saatavissa tarkkoja

tietoja, joten arviot perustuvat tässä työssä Tampereen Sähkölaitoksen tilastojen keskimääräisiin lukemiin ja rakentamismääräysten pohjalta tehtäviin vertaileviin laskelmiin. Toinen tulevaisuuden kannalta epävarma tekijä on mahdollinen lämmitysenergian ja -tehon tarpeen pieneneminen. Uusi Suomen rakentamismääräyskokoelma asettaa tiukentuvia vaatimuksia rakennusten energiatehokkuudelle. Rakentamismääräysten toteutumiseen liittyy myös vuoden 2008 alusta voimaan astunut energiatodistus, joka kertoo kuluttajalle rakennuksen energialuokan. Energiatodistuksen myötä kuluttajien tietoisuuden ja kiinnostuksen rakennusten energiatehokkuutta kohtaan odotetaan lisääntyvän ja tätä kautta vaikuttavan myös energiatehokkuuden huomioimiseen rakennusten suunnittelussa. Tässä työssä suoritetaan myös herkkyystarkastelua, jonka avulla pyritään selvittämään miten lämmitysenergian ja -tehon tarpeen pieneneminen vaikuttaa lämmitysjärjestelmien kannattavuuteen.

1.2. Työn tavoite ja rakenne

Työn tavoitteena on löytää vastaukset edellisessä luvussa esitettyihin kysymyksiin. Tässä työssä on yhdeksän lukua alalukuineen. Näissä luvuissa pyritään antamaan selkeä kuva tutkimuksen etenemisestä ja saaduista tuloksista. Johdannon jälkeisessä toisessa luvussa esitetään katsaus taustoittavaan kirjallisuuteen ja tutkimusaineistoon. Kyseisessä luvussa esitellään esimerkein erilaisia energiasuunnitteluun liittyviä tahoja ja hankkeita. Tarkastelunäkökulma on kannattavuusnäkökulman lisäksi usein myös ympäristön suojelemiseen ja kestäväan kehitykseen pyrkivä.

Kolmannessa luvussa esitellään eri lämmitysjärjestelmien peruseräatteen ja sovelluskohteet sekä erilaiset yleisimmät rakennusten lämmönjakojärjestelmät. Luvussa neljä esitetään teoreettinen tausta rakennusten lämmitystehon ja -energian tarpeen määrittämiseksi. Tässä luvussa esitellään kaavat, joiden avulla kyseiset tarpeet voidaan määrittää. Lisäksi esitellään lyhyesti tilastolliset menetelmät, joiden avulla voidaan tarkastella olemassa olevaa rakennuskantaa.

Luvussa viisi määritetään lämmitysenergian ja -tehon tarpeet eri osayleiskaavavaihtoehdoille. Luvun alussa lasketaan ominaiskulutukset tyyppirakennuksille. Tämän jälkeen lasketaan jokaisen osayleiskaavavaihtoehdon kokonaislämmitysenergian ja -tehon tarve. Luvun lopussa arvioidaan vielä miten lämmitystehon ja -energian tarpeet muuttuvat tulevaisuudessa.

Luvussa kuusi mitoitetaan erilaisia verkkovaihtoehtoja esimerkkialueen eri osayleiskaavavaihtoehdoille. Luvun lopussa verkkojen ominaisuuksia ja eroja esitellään erilaisten tunnuslukujen avulla. Seitsemännessä luvussa lasketaan eri verkkovaihtoehtojen kustannukset. Tässä luvussa lasketaan lisäksi rajahintoja alueen lämmitykselle eri lämmitysjärjestelmät silmällä pitäen. Luvun lopussa on yhteenveto saaduista kustannuslaskennan tuloksista. Luvussa kahdeksan suoritetaan lyhyt

yksityistaloudellinen tarkastelu eli tarkastellaan eri lämmitysvaihtoehtojen kannattavuutta asiakkaan näkökulmasta. Luvussa yhdeksän tehdään yhteenveto ja johtopäätökset saaduista tuloksista.

2. TAUSTOITTAVAA KIRJALLISUUTTA JA TUTKIMUSAINEISTOA

2.1. Kestävään kehitykseen ja -energiasuunnitteluun pyrkiminen

Tämän hetkisen käsityksen mukaan lisääntyvällä luonnonvarojen käytöllä ja energiankulutuksella voi olla kauaskantoisia seurauksia. Teollistuminen ja kiihtyvä talouskasvu ovat johtaneet siihen, että ennusteiden mukaan fossiiliset polttoaineet, jotka ovat antaneet vakaan pohjan energiantuotannolle, loppuvat, tai ainakin vähenevät kriittisesti lähivuosien aikana. Asiantuntijoiden näkemykset asiasta eroavat jonkin verran, mutta esimerkiksi öljyn kulutuksen/tuotannon ennustetaan saavuttavan huippunsa 2000-luvun alkupuolella. Tästä voidaan nähdä merkkejä öljyn hinnan kehityksessä. (Bentley 2002)

Viimeisen vuosikymmenen aikana erityisesti teollisuusmaat ovat kasvavissa määrin pyrkineet ylläpitämään niin sanottua kestävyiden kulttuuria, jonka tarkoituksena on turvata luonnonvarojen riittävyys ja hyvinvoiva maapallo myös tuleville sukupolville. Tämä on ollut pitkään keskeinen aihe lukuisissa Yhdistyneiden Kansakuntien tapaamisissa ja kulminoitui vuoden 1992 Rio de Janeirossa pidettyyn kokoukseen. Kokouksen merkittävä aikaansaannos oli toimintaohjelma Agenda 21, joka sisältää ehdotuksia, kuinka maapallon kehitys saataisiin kestävälle pohjalle. Ohjelma on erittäin laaja yksityiskohtaisine alaohjelmineen ja sen toteuttamista ja päivittämistä hoitaa YK:n kestävä kehityksen toimikunta. (Cuomo et al. 2000; Opetushallitus 2007)

2.2. Kansainvälisiä energiajärjestöjä

On olemassa useita tahoja, jotka käynnistävät ja tukevat alueelliseen energiasuunnitteluun liittyviä hankkeita. Suunnittelua ja toteutusta tapahtuu sekä kansainvälisellä että paikallisella tasolla. Voidaan kuitenkin mainita pari tahoa, joiden toimintaan on sitoutunut useita valtioita.

IEA (International Energy Agency) on maailmanlaajuinen 26 jäsenmaan yhteinen kattojärjestö, joka pyrkii kestävään kehitykseen sekä kansalaistensa turvallisuuden ja hyvinvoinnin edistämiseen vapautuneet markkinat huomioiden. Järjestön alkuperäinen tavoite oli öljyriippuvuuden vähentäminen. Nykyään yleisen

viitekehyksen luovia yhteisiä tavoitteita ovat muun muassa energiakriiseihin varautuminen, ympäristöystävällisempien energialähteiden käyttö, energiasektorin monipuolisuus, tehokkuus ja joustavuus sekä energiamarkkinaosapuolten yhteistyö. (IEA 2007)

Toinen mainitsemisen arvoinen järjestö/ohjelma on Euroopan unionin Kilpailu ja Innovaatio – ohjelman osana käynnistynyt Järkevää Energiaa Eurooppa – ohjelma (Intelligent Energy -Europe). Tarkoituksena on tukea taloudellisesti kestäväan kehitykseen ja ympäristöystävälliseen toimintaan tähtääviä hankkeita, jotka eivät ole välttämättä kilpailukykyisiä vapailla markkinoilla. Tälläkin hetkellä järjestö neuvottelee useiden energiatehokkaan rakentamisen ja – yhdyskuntasuunnittelun hankkeiden rahoittamisesta. (European Commission 2008)

Edellisissä kappaleissa on esimerkkejä järjestöistä, joiden avulla pienemmätkin tahot voivat löytää informaatiota ja saada tukea erilaisiin projekteihin. Tutkimusta tapahtuu tietysti monella eri tasolla ja yliopistot ovat tässä merkittävässä osassa. Paikallisen energiasuunnittelun saralla käynnistetään lisäksi jatkuvasti erilaisia toimeenpantavia hankkeita, joista muutamia esimerkkejä esitellään seuraavassa luvussa 2.3.

2.3. Esimerkkejä paikalliseen energiasuunnitteluun liittyvistä hankkeista

Lukuisia paikalliseen energiasuunnitteluun liittyviä hankkeita on kaiken aikaa käynnissä ympäri maailmaa. Mukana olevat tahot voivat vaihdella. Lisäksi tarkastelun laajuus, tavoitteet ja käytettävät työkalut vaihtelevat. Seuraavissa kahdessa alaluvussa on pari esimerkkiä toteutetuista mittavista hankkeista. Kolmannessa alaluvussa esitellään lyhyesti Tampereen Sähkölaitoksella tehty kaukolämmön investointeihin liittyvä diplomityö, joka on myös taustana tälle työlle.

Kaksi ensimmäistä hanketta ovat esimerkkeinä IEA:n tukemista laajoista projekteista ja niissä oli viitekehyksenä ALEP (Advanced Local Energy Planning). ALEP on projekti, jossa yhdistellään perusteellisesti ja yksityiskohtaisesti eri energiasuunnittelumalleja. Projektiin osallistuu useita ryhmiä erilaisilta ammatillisilta osa-alueilta ja moderni projektinjohtaminen on keskeisessä asemassa. ALEPia sovelletaan yleensä kunnianhimoisiin ja monimutkaisiin/-tahoisiin projekteihin ja näille pyritään löytämään realistinen ja toteuttamiskelpoinen ratkaisu. (Cuomo et al. 2000, s.12)

2.3.1. Göteborgin hanke

Ruotsissa astui vuonna 1977 voimaan laki kunnallisesta energiasuunnittelusta, mikä kiinnitti huomion energia-asioihin. Laki velvoitti kunnat tekemään suunnitelman energian hankinnalle, jakelulle ja käytölle. Göteborgin kaupunki otti käyttöön ensimmäisen suunnitelmansa vuonna 1987 ja tätä seurasi ”Energiasuunnitelma 2000” vuonna 1995. (Cuomo et al. 2000, s.117)

Göteborgin suunnitelmalle asetettiin neljä keskeistä tavoitetta. Ensimmäinen oli taata luotettava energiantoimitus. Toisena tavoitteena oli taata kilpailukykyiset energiahinnat. Kolmas tavoite oli minimoida energiantuotannon ja -kulutuksen vaikutukset ympäristöön. Neljänneksi haluttiin taata energiatehokkuuden tärkeä rooli energiantuotantovaihtoehtoja valittaessa. Göteborgin energiajärjestelmä oli saavuttanut ensimmäisessä suunnitelmassa asetetut tavoitteet, joten oli aiheellista laatia uusi suunnitelma ja parantaa järjestelmää entisestään. Edistystä oli tapahtunut muun muassa siinä, että öljy oli suurelta osin korvattu maakaasulla. Lisäksi lämmitysjärjestelmä toimi osittain jätteenpoltosta saadulla lämmöllä sekä kaupungin jätevettä hyödyntävällä lämpöpumppujärjestelmällä. (Cuomo et al. 2000, s.118)

Kuten kehittyneessä paikallisessa energiasuunnittelussa (ALEP) on tyypillistä, suunnittelussa, ohjaamisessa ja toteuttamisessa oli mukana useita eri tahoja aina eri alojen asiantuntijoista ja poliitikoista itse toteuttajiin. ALEP:n tavoitteena onkin yhdistää saumattomasti erilaiset tieteelliset menetelmät sekä työkalut, käytännön suunnittelu ja toteutus. (Cuomo et al. 2000, s.118)

Suunnittelun apuna käytettiin erilaisia malleja ja työkaluja. Keskeinen suunnittelulähtökohta oli referenssienergiasysteemi (RES), joka lähtee liikkeelle energiasysteemin esittelystä eri teknologioineen ja kulkee koko prosessin läpi aina kysyntään ja kulutukseen. Laajempaan analyysiin käytettiin kehittynyttä MARKAL - tietokonemallia, joka on RES:iin perustuva optimointisysteemi. MARKAL-mallin inputina toimi seuraavaksi mainituista ohjelmista saatu data. Paikallisen lämmöntuotannon analysointiin käytettiin Martes – mallia. Martes on käyttäjäystävällinen simulointimalli, jossa tarkastellaan muun muassa lämmöntuotannon kokonaiskustannuksia, marginaalikustannuksia ja päästöjä. Göteborgin energiasuunnitelmassa oli mukana myös jätteenkäsittely, jonka suunnittelun apuna toimi MIMES/WASTE – malli. Eri vaatimussektoreiden ja ympäristönsuojelukeinojen strukturoimiseen ja yhdistämiseen käytettiin HOVA-mallia. (Cuomo et al. 2000, s. 119–120)

Analyysin apuna käytettiin erilaisia tulevaisuuden skenaarioita ja koko ”Energiasuunnitelma 2000” tuloksena saatiin konkreettista tietoa ja paranneltuja toimintamalleja projektin alussa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Päästöjen vähentämiseksi päätettiin lisätä maakaasun käyttöä energiantuotannossa ja liikenteen osalta keskusta-alueella liikkuvilta ajoneuvoilta päätettiin vaatia tiettyjen ympäristöstandardien täyttämistä. Göteborgin asutus on hajaantunut pienempiin

keskittymiin ja projektin yhtenä tuloksena oli se, että energiasuunnittelun tulisi keskittyä näihin keskuksiin ja uutta rakennettaessa energiatehokkuuden tulisi olla yhtenä lähtökohtana. Göteborgin energialautakunta (Göteborg Energi's Board of Directors) budjetoit lisäksi projektin tuloksena varoja ilmenneisiin parannuskohteisiin. (Cuomo et al. 2000, s.129)

2.3.2. Basilicatan alueellinen energia- ja ympäristösuunnitelma

Tutkimuksen taustalla oli alueellinen suunnitelma Etelä-Italiassa sijaitsevan Basilicatan alueen suojelemiseksi ja ilmanlaadun parantamiseksi. Ilmansaasteiden vähentämisen lisäksi tähtäintä oli laajennettu jätteenkäsittelyteknologian kehittämiseen. Jotta erilaisten mallien käyttö olisi mahdollista, seuraavista osioista luotiin hyödynnettävät tietokannat: loppuenergiankäyttö, energiantuotanto, teknologiat, resurssit ja materiaalivirta sekä päästöt. (Cuomo et al. 2000, s.74)

Basilicatan tutkimuksen viitekehys oli ALEP, joten projekti toteutettiin useiden tahojen, sekä tieteellisten menetelmien että käytännön tason toteutuksen yhteistyönä. Erilaisilla apuohjelmilla ja työkaluilla oli merkittävä asema. Alueen erityispiirteiden kartoittamiseksi suunnittelun ja tiedonhallinnan apuna oli maantieteellinen informaatiotietojärjestelmä (GIS). Jätteenkäsittelyn suunnitteluun käytettiin apuna ”Jätteenkäsittely Markal -mallia” (Waste Management MARKAL Model). WAMM:in avulla voidaan yksittäisiä parametreja muuttamalla etsiä parasta mahdollista teknologiaa jätteiden hävittämiseen. Lisäksi voidaan määrittää jätteenkäsittelyn aiheuttamia ympäristövaikutuksia. (Cuomo et al. 2000, s.74)

Projekti koettiin erittäin onnistuneeksi. Päättäjien oli helppo käyttää tutkimuksen tuloksia päätöksensä perusteena. Muun muassa jätehuollon osalta laadittiin hyvin tarkkoja suosituksia tuleville toimintamalleille. Tutkimuksen tuloksena jätteiden päättymistä kaatopaikoille ja edelleen maan täytteeksi haluttiin vähentää. Sen sijaan haluttiin edistää muun muassa jätteiden käsittelyä, kompostointia ja jokaisen kierrätettävän osan hyödyntämistä. Tutkimuksessa löytyi ratkaisumalleja toimintojen toteuttamiseksi. (Cuomo et al. 2000, s.74)

2.3.3. Diplomityö kaukolämmön kannattavan markkinapotentiaalin määrittämiseksi

Tampereen Sähkölaitos teetti vuonna 2006 diplomityön aiheesta ”Menetelmä kaukolämmön kannattavan markkinapotentiaalin määrittämiseen”. Työn tavoitteena oli kehittää menetelmä, jonka avulla voitaisiin tarkastella kaukolämmön kannattavuutta nykyisen rakennuskannan alueella (Kangas 2006). Työ on tehty lähes puhtaasti taloudellisesta näkökulmasta ja täytyykin muistaa, että energiatarkasteluiden pohjalla on

yleensä pyrkimys tuottavuuden parantamiseen. Kyseinen tutkimus toimii myös eräänlaisena pohjana tälle tutkimukselle ja antaa tärkeää tietoa kaukolämmön investointeihin liittyen.

Tutkimuksen tuloksena oli Excel-pohjainen laskentamalli, jolla pystyttiin kartoittamaan kaukolämmön kannattavuutta ja lisämarkkinapotentiaalia olemassa olevan rakennuskannan alueella (Kangas 2006). Tämä on eräänlaista alueellista energiatarkastelua. Tässä työssä on tarkoitus laajentaa tarkastelua kaukolämmön kannattavuuteen uusilla asuinalueilla sekä kartoittaa muiden lämmitystapojen kustannuksia kaukolämpöön verrattuna. Tarkastelu tapahtuu tässäkin työssä pääasiassa Tampereen Sähkölaitoksen näkökulmasta.

3. TAUSTOJA TUTKIMUKSELLE

Tässä luvussa on esitelty taustoja tutkimuksiin liittyvistä lämmitysjärjestelmistä. Tutkimukseen on valittu kolme vertailtavaa päälämmitysjärjestelmää. Seuraavissa kolmessa luvussa 3.1, 3.2. ja 3.3. esitellään lämmitysjärjestelmät ja lämmönlähteet pääpiirteittäin. Työn myöhemmissä vaiheissa järjestelmiä rajataan tutkimukseen sopiviksi ja kartoitetaan tarkkoja kustannustietoja ja teknisiä ominaisuuksia.

3.1. Lämpöpumppulämmitys

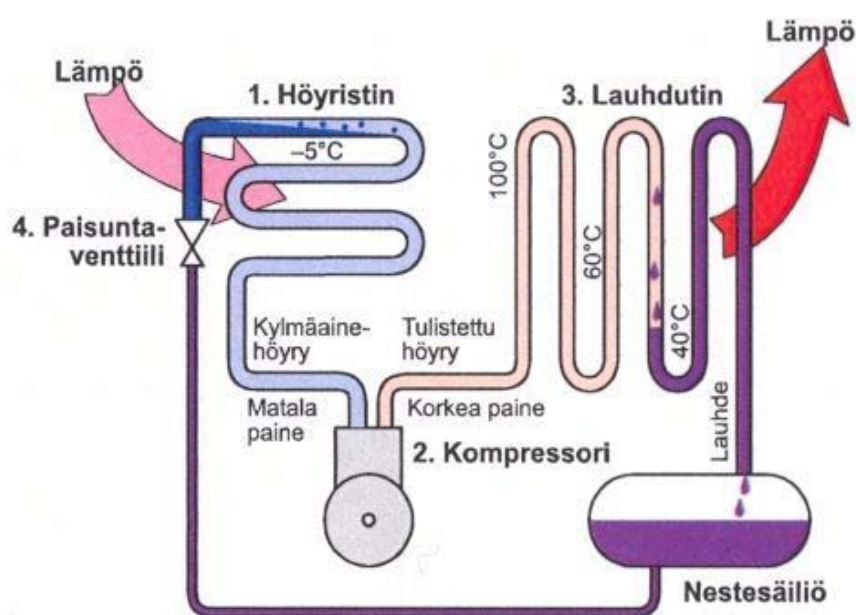
Lämpöpumput alkoivat yleistyä Suomessa 1980-luvulla niin sanotun toisen öljykriisin jälkeen, jolloin öljyn hinta nousi nopeasti. Syntyi suoranainen buumi, jonka seurauksena olivat riittämättömällä ammattitaidolla ja kokemuksella toteutetut ratkaisut. Useat alan yritykset lopettivatkin toimintansa ja uusi lämpöpumppujen yleistymisaalto on lähtenyt käyntiin vasta ihan viime vuosina. (Mäkinen 2006, s.10)

Ruotsissa lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä on huomattavasti yleisempää kuin Suomessa. Siellä öljylämmityksen suunta on laskeva ja vanhoja järjestelmiä on korvattu lämpöpumppu- ja pellettilämmityksellä. Suomessa öljylämmityksen kehitys on junnannut pitkään paikoillaan ja Suomen 1,1 miljoonaa omakotitaloa kuluttavat saman verran öljyä kuin Ruotsin 1,7 miljoonaa omakotitaloa. Suomen omakotitalojen pohjoisempi sijainti ja tätä kautta suurempi lämmityksen tarve on yksi selittävä tekijä. Ruotsissa on kuitenkin lämpöpumppuja suuruusluokallisesti noin kymmenkertainen määrä Suomeen verrattuna. Todennäköiset syyt tähän kehitykseen ovat ensinnäkin Ruotsin valtion antama tuki lämpöpumpun hankintaan ja toiseksi lämmitysöljyn huomattavan kallis hinta Ruotsissa (VAPO Oy 2007). Suuntaus taloudellisesti ja ekologisesti kestävään energiankäyttöön ja tähän liittyvät uudet määräykset voivat kiihdyttää muun muassa lämpöpumppulämmityksen yleistymistä myös Suomessa.

Seuraavissa alaluvuissa on tarkoitus esittää katsaus yleisiin lämpöpumppujärjestelmiin. Suurin osa esitettävistä järjestelmistä on kiinteistökohtaisia pienen mittakaavan lämpöpumppuja. Lisäksi esitellään muutama keskitettyyn lämmöntuotantoon sopiva suuremman teholuokan lämpöpumppuratkaisu.

3.1.1. Lämpöpumppujen toiminnan perusta

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpö ei voi itsestään siirtyä kylmemmästä tilasta lämpimämpään, vaan tähän vaaditaan työtä. Lämpöpumput ovat ikään kuin lämpökoneita, jotka toimivat päinvastaiseen suuntaan. Toimintaperiaate on eri lämpöpumpuissa lähtökohdiltaan sama, mutta ne eroavat lämmön lähteiden osalta. Lisäksi keinot tarvittavan työn saamiseksi lämmön siirtämiseen kylmemmästä lämpimämpään tilaan voivat erota. Pääasiallisena energianlähteenä on sähkö, mutta joissakin tapauksissa on mahdollista käyttää lämmöllä toimivaa absorptiolämpöpumppua (Koljonen et al. 1998, s. 11). Kuvassa 3.1 näkyy lämpöpumpun toiminnan perusta.



Kuva 3.1 Lämpöpumpun toiminnan perusta.

(Seppänen 2005)

Lämpöpumppuprosessin voi jakaa yleisesti neljään eri vaiheeseen. Vaiheessa yksi kylmäaine on höyrystimessä, missä se höyrystyy matalassa paineessa ja sitoo samalla lämpöenergiaa. Toisessa vaiheessa kylmäainehöyry puristuu kompressorissa kasaan ja sen paine ja lämpötila nousevat. Kolmannessa vaiheessa kuuma/tulistettu kylmäainehöyry luovuttaa lämpönsä, jäähtyy ja lauhtuu lauhduttimessa. Neljännessä vaiheessa jäähtynyt lauhde virtaa paisunta-venttiiliin tai esimerkiksi jääkaapin tapauksessa kapillaariputkeen. Tässä vaiheessa lauhteen paine laskee ja höyrystyminen voi taas alkaa. (Seppänen 2005)

Lämpöpumpuille määritetään lämpökerroin (ϕ), joka kuvaa sitä kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa kuluttamaansa sähköön verrattuna. Lämpökerroin on hyvä lämpöpumpun tehon kuvaaja. Lämpökerroin määritellään siis saadun lämmitystehon ja kompressorin ottotehon suhteena kaavan (1) avulla:

$$\varphi = \frac{\phi_l}{P_k} \quad (1)$$

missä

ϕ_l on saatu lämmitysteho

P_k on kompressorin ottoteho

Carnot-prosessin mukainen lämpökerroin (φ_C) saadaan kaavasta (2):

$$\varphi_C = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (2)$$

missä

T_H on höyrystymislämpötila, K

T_L on lauhtumislämpötila, K

Järjestelmässä on aina häviöitä, joten prosessi ei käytännössä koskaan saavuta teoreettista lämpökerrointa. Suomen oloissa keskimääräinen lämpöpumppujen lämpökerroin liikkuu molemmiin puolin kolmea lämpöpumpusta riippuen (Seppänen 2005). Lämpöpumpun ominaisuuksien takia lämpökerroin riippuu hyvin pitkälti lämpötiloista lämmönlähteen ja lämmönjakojärjestelmän puolella. Paras tilanne on se, että lämpötila on erittäin korkea lämmönotossa ja erittäin matala lämmön käytössä. Silloin lämpökerroin on paras mahdollinen. (Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Kun ollaan harkitsemassa lämpöpumppulämmityksen käyttöön ottoa, on tärkeää huomioida millainen kohde on kyseessä, onko kyse uudisrakentamisesta vai onko kohteessa jo valmiina jokin lämmitysjärjestelmä. Näistä seikoista riippuu pitkälti minkälaista lämpöpumppujärjestelmää tarkasteltavaan kohteeseen kannattaa soveltaa. Maalämmön tapauksessa lämmönlähteenä on yleisesti joko maaperä tai porakaivo. Ilmalämpöpumpuissa on lämmönlähteenä ulkoilma tai poistoilmalämpöpumpun tapauksessa rakennuksen jäteilma. Vesilämpöpumput hyödyntävät vesistöjen lämpöenergiaa. Jätevedenkäsittelylaitoksen yhteydessä on mahdollista käyttää jätevesilämpöpumppua. Lämmönlähteen valinta vaikuttaa olennaisesti lämpöpumppujärjestelmän toimintaan. Toiset lämmönlähteet ovat lämpötilatasonsa takia parempia kuin toiset. Joskus tietyn lämmönlähteen hyödyntäminen ei kuitenkaan ole mahdollista joko saatavuussyistä tai investoinnin kalleudesta johtuen.

3.1.2. Maalämpöpumput

Maalämpöpumppu on kehittynyt ja verrattain käyttövarma tekninen laite, jonka aiemmat ongelmat johtuivat enemmän virheellisistä lämmitysjärjestelmien ja liuospiirien mitoituksista ja asennuksista kuin lämpöpumpusta. Maalämpöpumppu voi olla varustettu käyttövesivaraajalla, milloin maasta tai vedestä saatava lämpö viedään putkistoa pitkin jäätymättömän liuoksen avulla ensin höyrystin-lämmönsiirtimelle, jossa lämpö siirtyy kylmäaineeseen. Lämpö siirtyy kylmäaineesta ensin varaajaan höyrynjäähdytin-lämmönsiirtimessä käyttöveden kuumentamista varten. Tämän jälkeen kylmäaineen lämpöä siirretään vielä lauhdutin-lämmönsiirtimen avulla käyttöveteen ja/tai matalalämpöiseen lattialämmitysjärjestelmään. Maalämpöpumppu voi toimia myös ilman käyttövesivaraajaa, jolloin maasta saatu lämpö viedään jäätymättömän liuoksen avulla höyrystin-lämmönsiirtimen kautta kylmäaineeseen ja edelleen lauhdutin-lämmönsiirtimen avulla matalalämpöiseen lattialämmitysjärjestelmään ja/tai käyttöveteen. (Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Maalämpöpumput ovat erilaisia riippuen juuri lämmön lähteestä. Maalämpö on aurinkoenergiaa, joka varastoituu maaperään auringon säteilyn, lämpimän ilman ja sateiden kautta. Kun hyödynnetään maaperän energiaa, asennettavan lämmönkeruuputkiston mitoitus on prosessin vaativin osuus. Mutkittleva putkisto asennetaan vaakasuoraan maahan noin 0,7–1,2 metrin syvyyteen putkilenkin välin ollessa aina vähintään 1,2 metriä. Mitoitus on aina yksilöllistä kohteesta riippuen. Mitoituksen optimointiin liittyy useita epävarmuustekijöitä ja toisiaan vastaan vaikuttavia mitoitussuureita. Taulukossa 3.1 on ohjeellisia arvoja lämpöenergialle, mikä voidaan saada vuosittain maaperästä Suomen olosuhteissa. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Taulukko 3.1 Maasta putken pituusyksikköä saatava energia Suomen oloissa.

Sijainti	Savi kWh/m	Hiekka kWh/m
Etelä-Suomi	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi	30...35	0...10

(Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Viime aikoina on yleistynyt menetelmä jossa lämmön lähteenä toimii porakaivo. Halkaisijaltaan 10–15 cm kaivo porataan rakennuksen viereen maksimissaan 200 metrin syvyyteen. Kaivoon upotettavat putket liitetään alapäästä toisiinsa messinkisellä U-putkella. 2-putkijärjestelmän lisäksi käytetään 3- ja 4-putkijärjestelmää. Suurissa järjestelmissä kaivoja voidaan porata noin 10–20 m välein ja kytkeä ne rinnakkaisiksi putkisilmukoiksi erillisten ulkoisten kytkentäkaivojen avulla. Porakaivon tehollinen syvyys tulee siitä, kuinka monen metrin syvyydeltä kaivo on täyttynyt vedellä. Porakaivomenetelmän avulla saadaan noin kaksinkertainen energiansaanti putkimetriä

kohti maaperän pintaan asennettavaan putkeen verrattuna, mutta alkuinvestointi on suurempi. Suljetuissa järjestelmissä pumpattava neste menee suoraan höyrystimelle, kun taas avoimissa järjestelmissä pumpataan itse pohjavettä porakaivosta lämmönsiirtimelle, josta lämpö siirretään jäätymättömän väliainepiirin kautta höyrystimelle. Itse pohjavesi pumpataan takaisin joko samaan tai läheiseen kaivoon. Tällaiset avoimet järjestelmät sopivat paremmin suuremman mittakaavan järjestelmiin. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

3.1.3. Ilmalämpöpumput

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmön rakennuksen jäteilmasta höyrystin- tai liuos patterin avulla. Lämpö luovutetaan lauhdutin patterien avulla lämmitysverkon veteen, tuloilmaan tai veden lämmittämiseen käyttövaraajaan. Poistoilmalämpöpumppu voikin toimia asunnon lämpöpumppuna, lämminvesivaraajana tai ilmastointikoneena. Laite mahdollistaa myös kesäaikaisen jäähdytyksen ja toinen etu maalämpöpumppuun nähden ovat jonkin verran alhaisemmat kokonaishankintakustannukset. Haittana on se, että järjestelmä kattaa vuositasolla vain osan rakennuksen lämmitystarpeesta ja rinnalla täytyy olla jokin toinen lämmitysmenetelmä. Lämpökerroin asettuu vuositasolla noin 1,5–2,2 välille. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Ulkoilmalämpöpumput jakaantuvat kahteen eri tyyppiin. Nämä ovat ilma-ilma-lämpöpumppu ja ilma-vesi-lämpöpumppu. Ilma-ilma lämpöpumpusta lämpö kerätään ulkoilmasta puhallin/höyrystinyksikön avulla, joka on sijoitettu ulkoseinälle. Lämmön luovutus tapahtuu suoraan sisäilmaa yhden tai useamman puhallin/lauhdutinyksikön kautta. Ulkoilman lämpötilan tulee olla yli -10 °C, jotta ilma-ilma-lämpöpumppua voidaan käyttää. Lämpökerroin asettuu Suomessa vuositasolla noin 1,8–2,2 välille asennuskustannusten ollessa melko pienet ja käyttövarmuuden erittäin hyvä. Ilma-vesi lämpöpumpussa lämpö kerätään ulkoilmasta puhallin/höyrystinyksikön avulla. Käyttöraja tulee vastaan, kun ulkoilman lämpötila on -12 – -15 °C. Lämpö luovutetaan lauhdutin-lämmönsiirtimessä lämmitysverkoston veteen ja/tai käyttöveden esilämmittimeen. Järjestelmässä on samat hyödyt ja haitat mitä mainittiin ilma-ilma -lämpöpumpuille. Lämpökerroin asettuu vuositasolla 1,5 ja 2,0 välille. Ilma-ilma-lämpöpumpun lämpökerroin on korkeampi kuin ilma-vesi-järjestelmän, koska edellisessä lauhtumislämpötila on yleensä alhaisempi. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

3.1.4. Vesilämpöpumppu

Vesilämpöpumpun lämmön lähteenä on vesistö. Vesistön (järvi, lampi, merenranta) tulisi olla jo rannan läheisyydessä noin 2 metriä syvä. Putkien asennustekniikka on

lähimain sama kuin maaperän lämpöä käytettäessä, mutta vesistöjen tapauksessa putket on ankkuroitava jyrkein betonipainoin vesistön pohjaan. Putkien täytyy myös olla jään pinnan alapuolella, jotta jää ei revi putkia. Lisäksi putket on eristettävä rantavedestä rakennukseen asti, jotta ne eivät luovuttaisi lämpöä kylmään maahan. Vuodessa saatava energia on noin 70–80 kWh putkimetriä kohti. Kyseessä on siis erittäin tehokas menetelmä, jos sopiva paikka on tarjolla. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

Yksi tuore esimerkki vesistöstä lämmönlähteenä on Vaasan vuoden 2008 asuntomessualueelta. Meren pohjaan on porattu seitsemän kilometriä putkistoa vaakatasoon. Jokaisessa talossa on oma erillinen lämpöpumppu, jolla meriveden lämpö saadaan asuntoihin hyödynnettäväksi. Asuntomessualueelle on tulossa noin 33 000 k-m² ja noin 800 asukasta. Rakennettava lämmitysverkko on suunniteltu niin, että sillä pystytään kattamaan kaikkien kiinteistöjen lämmityksen tarve. Järjestelmä mahdollistaa myös kiinteistöjen jäähdityksen lämpiminä aikoina. (Kaupunkisuunnittelu, Vaasan kaupunki 2006, s. 5; Sainio 2007)

3.1.5. Jätevesilämpöpumppu

Jätevesi on uusi tehokas lämmönlähde lämpöpumppuihin. Marraskuussa 2007 otettiin käyttöön maailman suurin samassa prosessissa sekä puhdistetusta jätevedestä että merivedestä kaukolämpöä ja -jäähditystä tuottava laitos. Tämä Katri Valan lämpö- ja jäähdityslaitos toimii lämpöpumpputekniikalla tuottaen 90 MW kaukolämpöä ja 60 MW kaukojäähditystä. Kyseisen laitoksen hiilidioksidipäästöt ovat tutkitusti 80 % pienemmät, kuin mitä ne olisivat vaihtoehtoisilla tuotantoratkaisuilla (Helsingin Energia 2008). Myös Turun Energia on rakentamassa puhdistettua jätevettä hyödyntävän lämpöpumpun. Kyseessä on sekä kaukolämpöä että -jäähditystä tuottava laitos, jonka vastaavat tehot ovat 18 MW ja 35 MW. Saatava energia vastaa noin 4000 pientalon vuotuista energiankulutusta. (Turun kaupunki 2007)

3.1.6. Suorahöyrystinlämpöpumppu

Suorahöyrystinlämpöpumpussa lämmön keruu tapahtuu suoraan kylmäainepiirin kupariputkella, jossa kylmäaineen höyrystyminen tapahtuu. Käytössä ei siis ole erillistä liuospiiriä lämmön keruuputkistona. Tällaiset lämpöpumput ovat poistuneet Suomen markkinoilta lähes kokonaan, koska niiden voiteluainekierroissa on esiintynyt merkittäviä vaikeuksia. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007)

3.1.7. Lämpöpumppujen lämpökertoimet

Lämpöpumppujen lämpökertoimet vaihtelevat lämpöpumpusta ja lämmönlähteestä sekä muista olosuhteista riippuen. Taulukossa 3.2 näkyy tiivistetysti Suomessa käytettävien lämpöpumppujen lämpökertoimia. Taulukkoon on lisäksi kerätty Ruotsissa käytettävien suuren mittakaavan (5 MW) lämpöpumppujen lämpökertoimia.

Taulukko 3.2 Lämpöpumppujen keskimääräisiä vuosilämpökerroin.

Lämpöpumpputyyppi	Keskimääräinen vuosilämpökerroin
Maalämpöpumppu	2,6–3,6
Poistoilmalämpöpumppu	1,5–2,2
Ilma-ilmalämpöpumppu	1,8–2,2
Ilma-vesilämpöpumppu	1,5–2,0
Suuret lämpöpumput(Ruotsi)	3,5
• teollisuuden jätelämpö, geoterminen lämpö, jätevesi	yli 3,5
• meri- tai järvesi	3,0

(Kowacki 2007, s. 15; Suomen lämpöpumppuyhdistys 2007)

Lämpöpumppujen tapauksessa on kompressorin vaatimaa sähköenergiaa lukuun ottamatta kyseessä uusiutuva energialähde lämmönkeruupaikasta riippumatta. Automaatioaste on yleensä hyvinkin korkea, jolloin käyttö on vaivatonta. Päästöjä syntyy huomattavasti vähemmän kuin suorassa sähkölämmityksessä. Huonoina puolina voi mainita erityisesti maalämpöpumppujen kalliit alkuinvestointikustannukset. Lämpöpumput eivät myöskään Suomen oloissa välttämättä riitä kattamaan koko lämmitystarvetta, jolloin tarvitaan lisäksi jokin muu lämmitysmuoto. Lämpöpumpun tuottaman lämmön kustannukset ovat myös riippuvaisia sähkön hinnan kehityksestä. (Suomen Pellettilämmitys Oy 2007)

Suomessa astui vuoden 2008 alusta voimaan laki energiatodistuksesta, josta saadaan selville juuri rakennuksen energiatehokkuus. Yksi tehokkuuden tekijä on pienellä häviöllä toimiva lämmitysjärjestelmä (Onninen Group 2006). Suomessa ei ainakaan vielä olla siirtymässä primäärienergian tarkasteluun ja rajoittamiseen. Lämpöpumppulämmityksessä tarvitaan sähköä, joten primäärienergiatarkastelussa lämpöpumput eivät olisi läheskään niin energiatehokkaita kuin perinteisessä tarkastelussa. (Hassi 2001)

3.2. Pellettilämmitys

Pellettilämmityksestä kiinnostuttiin ensimmäisen kerran öljykriisin jälkeen 1970-luvulla Yhdysvalloissa. Fossiilisille polttoaineille pyrittiin löytämään korvaajaa, koska raakaöljyn hinta oli korkea ja pelättiin öljylähteiden hupenemista. Uhkana olivat myös

ympäristöongelmat ja tämänkin takia puupellettitekniikan suosio kasvoi. Tällä hetkellä merkittävät pellettimarkkinat ovat Yhdysvalloissa, Saksassa, Kanadassa, Ruotsissa, Tanskassa, Suomessa ja Itävallassa. Ruotsi on EU:n johtava puupellettien tuottaja ja kuluttaja. Siellä puupellettien tuotanto alkoi valtion tuella 1980-luvulla. Lämmitysöljyn hinnan romahdus ajoi kuitenkin monet pellettiyrittäjät konkurssiin ja romahdutti pelletin suosion. Kiinnostus bioenergian käyttöön kasvoi öljyn hinnan noustessa 1990-luvun alkupuolella. Esimerkiksi Ruotsissa oli silloin kaksi tehdasta, jotka valmistivat 100 000 tonnia puupellettiä vuodessa kun taas vuonna 1998 tehtaiden lukumäärä oli noussut 25:een ja ne tuottivat yhteensä miljoona tonnia vuodessa. Suomessa kiinnostus puupellettejä kohtaan on herännyt vasta viime aikoina. Pääasialliset käyttökohteet ovat olleet suurkiinteistöt. Pellettien vuosituotanto Suomessa oli vuonna 1998 10 000 tonnia kun taas vuonna 2003 pellettitehtaita oli jo 15 ja tuotanto oli yli 130 000 tonnia. Suomessa onkin koko Euroopan suurin prosentuaalinen kasvuvauhti pellettien käytössä. (Alakangas et al. 2002, s.17; Tulisijaopas 2007)

3.2.1. Puupelletti

Puupelletti on yleisin pellettilajike. Puupelletin valmistusmateriaali on hienojakoinen puuaines, joka puristetaan koneellisesti lyhyeksi sylinterimäiseksi poltettavaksi kappaleeksi ilman sidosaineita. Halkaisija on yleensä alle 25 mm ja pituus 5-20 mm. Raaka-aineena toimi puu- ja metsäteollisuudesta saatava sahajauho, kutterilastu tai hake. Pellettien raaka-aineena on käytetty puuaineksen lisäksi myös paperiteollisuuden sivutuotetta (ligniini), maatalouden peltojätettä ja turvetta. Puupelletin käsittelystä aiheutuu pölyhaittoja tuotantolaitoksella ja poltosta syntyy tuhkaa. Tuhka sisältää runsaasti kotipuutarhan lannoitteena hyödyllisiä ravintoaineita kuten magnesiumia, kaliumia, kalsiumia ja fosforia (Tulisijaopas 2007). Puupelletin ominaisuuksia on eritelty alla olevassa taulukossa 3.3.

Taulukko 3.3 Puupelletin ominaisuuksia.

Tiheys	550 – 700 kg/m ³
Tehollinen lämpöarvo	17,0 – 17, 9 MJ/kg polttoaine (4,7 – 5,0 MWh/t)
Kosteus	6 – 10 %
Tuhkapitoisuus	0,3 – 0,8 %
Rikkipitoisuus	0,01 – 0,02 %
Sisältää typpeä noin	0,05 % kuivapainosta
Raaka-aineet	Sahanpuru, kutterilastu, puun hiontapöly
Tilan tarve	n. 1,5 m ³ /tonni
Verrattuna kevyeen polttoöljyyn	1000 l öljyä vastaa 2,1 tonnia pellettiä
	1 tonni öljyä vastaa 3,3 i-m ³ pellettiä

(Alakangas et al. 2002, s.17; Tulisijaopas 2007)

3.2.2. Turvepelletti

Turvepelletit valmistetaan kuivatusta jysinturpeesta samalla tekniikalla kuin puupelletit. Myöskään turvepellettien valmistukseen ei tarvita minkäänlaisia lisäaineita. Turvepelletissä yhdistyvät turpeen ja pelletin ominaisuudet ja sillä on korkea lämpöarvo (VAPO Oy 2007). Alla olevassa taulukossa 3.4 näkyy Vapon Haukinevan tehtaalla tuotettujen turvepelletin ominaisuuksia.

Taulukko 3.4 Turvepelletin ominaisuuksia.

Tehollinen lämpöarvo	18,6 – 21,4 MJ/kg polttoaine
Kosteus	8 – 10 %
Tuhkapitoisuus	1,1 – 4,0 % kuiva-aineesta
Rikkipitoisuus	0,04 – 0,3 % kuiva-aineesta
Sisältää tyyppä noin	0,7 – 1,7 % kuiva-aineesta

(VAPO Oy 2007)

3.2.3. Lämmittäminen

Pelletillä toteutettu keskuslämmitys on verrattavissa öljylämmitykseen. Tarvittavat laitteet ovat seuraavat:

- pellettikattila
- pellettipoltin
- pellettivarasto
- pelletinsiirtolaite

Pelletti tuodaan pellettisiiloon säiliöautolla. Varaston eli siilon tulee olla tilava, kuiva, pölytiivis ja sähkötön. Sopiva varasto esimerkiksi omakotitalolle on kahdeksan kuutiota, joka kattaa 4000 kg:n pellettikuormalla vuoden lämmitysenergian tarpeen (Motiva Oy, Puupelletit 2003). Siilosta pelletti siirtyy siirtoruuvien kautta polttimelle. Poltin lämmittää kattilaa, joka puolestaan lämmittää patteriverkostoa ja esimerkiksi lattialämmityksen. Käyttövesi lämmitetään kattilassa olevan levylämmönsiirtimen tai lämminvesikierukan kautta. Pelletillä toimiva keskuslämmitys saattaa vaatia hieman enemmän huoltoa, kuin esimerkiksi öljyllä toimiva. Tuhkaa syntyy jonkin verran ja puhdistustarve voi olla parikymmentä minuuttia kahdessa viikossa tai vain kerran pari vuodessa järjestelmän automaation tasosta riippuen. On olemassa myös pellettitakkoja, jotka voivat olla keskuslämmityksen ohella apu-/lisälämmityksenä. Pellettitakalla voidaan teholuokasta riippuen lämmittää n.50–150 m² tilaa. (Suomen Pellettilämmitys Oy 2007)

Pellettilajeille löytyy erilaisia käyttökohteita. Puupelletti sopii hyvin esimerkiksi omakotitalon keskuslämmitykseen. Turvepelletin polttoa voi hyödyntää erityisesti suurissa kiinteistöissä ja voimalaitoksissa korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käytön. Vaatimuksena on turpeen polttoon sopiva laitteisto. Turvepelletti voi olla muun muassa hyvänä tukipolttoaineena lämpö- ja voimalaitoksissa (VAPO Oy 2007). Karkean lajittelun mukaan pellettilämmitys sopii 15 - 40 kW:n tehoalueella omakoti- ja rivitalon tai esimerkiksi vapaa-ajan asunnon lämmittämiseen. Lämpö- ja voimalaitosten osalta pelletit sopivat suurien kiinteistöjen lämmittämiseen noin 40–300 kW tai pieniin aluelämpölaitoksiin 100–1000 kW. 200 kW:sta ylöspäin pelletti voi olla kostean hakkeen joukossa seospolttoaineena. Pelletti voi myös olla voimalaitoksilla hiilen joukossa seospolttoaineena vähentämässä hiilidioksidipäästöjä. Suurista seospolttolaitoksista voidaan mainita Tukholman lähistöllä sijaitseva Hässelbyverket, joka on maailman suurin yksittäinen pelletinkäyttäjä. Kyseinen laitos tuottaa kolmella kattilalla ja niihin liitetyillä turbiineilla 210 MW lämpöä ja 75MW sähköä. (Alakangas et al. 2002, s. 44; Motiva Oy, Puupelletit 2003)

3.2.4. Pellettilämmityksen etuja ja haasteita

Pelletin eduksi voi sanoa sen kotimaisuuden ja uusiutuvuuden. Pelletti on tällä hetkellä edullinen polttoaine öljyyn verrattuna. Sitä pidetään hiilidioksidi-neutraalina polttoaineena, koska vapautuvan hiilidioksidin ajatellaan sitoutuvan takaisin metsään. Pelletti myös soveltuu lämmityksessä aina takasta suuriin voimalaitoksiin. Huonoja puolia ovat suurehko varastointitarve esimerkiksi öljylämmitykseen verrattuna. Järjestelmä vaatii lisäksi huoltoa useammin kuin monet muut lämmitysjärjestelmät. Korkea automaatioaste on silti mahdollista (Suomen Pellettilämmitys Oy 2007). Pellettilämmityksestä aiheutuu lisäksi pienhiukkaspäästöjä keskimäärin 20 mg/MJ. Pellettilämmitys ei yleensä ole käytössä ainoana lämmitysjärjestelmänä. Kun järjestelmää joudutaan huoltamaan, korjaamaan tai kun kesäaikaan on pienempi lämmitystarve, suositellaan jotain varalämmitysmuotoa kuten öljy, sähkövastukset, aurinkolämpökeräin tai varaava tulisija. (Motiva Oy, Puupelletit 2003)

3.3. Kaukolämpö

Kaukolämmön historia ulottuu vuoteen 1622, jolloin hollantilainen keksijä Cornelius Drebbler sai idean lämpimän veden jakeluun perustuvasta verkosta. Ensimmäinen kaupallinen höyrykaukolämmitysjärjestelmä käynnistyi Yhdysvalloissa New Yorkin osavaltiossa vuonna 1877. Suomessa kiinnostuttiin kaukolämmöstä, kun huomattiin, että teollisuuden lauhdelämpöä voitaisiin hyödyntää rakennusten lämmittämiseen ja vesikaukolämmitys käynnistyiikin Helsingissä 1950-luvun alkupuolella. Kaukolämpö on

Suomessa perustunut koko ajan pääosin sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. (Koskelainen et al. 2006, s.32–34)

Kaukolämmitystä harjoitetaan nykyään ympäri maailmaa. Yhdysvalloissa 4 % lämmöntarpeesta katetaan kaukolämmöllä. Euroopassakin on yli sata miljoonaa kaukolämmön käyttäjää. Aasian kehittyvillä markkinoilla muun muassa Kiinassa kaukolämmön käyttö yleistyy vähentäen samalla ympäristön kuormitusta. Ylivoidmaisesti suurin kaukolämpömaa on kuitenkin Venäjä, jossa lämmön toimitus on luokkaa 1 700 TWh vuodessa. Järjestelmä on Venäjällä kuitenkin kauttaaltaan erittäin huonossa kunnossa, joten häviöt ovat suuret. (Koskelainen et al. 2006, s.32–34)

3.3.1. Lämmön jakelujärjestelmä

Vesikaukolämpöjärjestelmä on kokonaisuus, johon kuuluvat lämpöä tuottavat lämmityslaitokset, kaukolämpöverkko eli lämmön siirtoon rakennettu putkisto ja asiakkaan laitteet lämmön vastaanottoa ja jakelua varten. Verkkoon menevä vesi lämmitetään voimalaitosten lämmönsiirtimissä tai lämpölaitosten kattiloissa ja se luovuttaa lämpöään asiakkaiden lämmönsiirtimissä tai lämmönkulutuskojeissa ja palaa sitten laitoksille takaisin lämmitettäväksi. Vesi kiertää kaukolämpöverkossa lämmityslaitosten yhteydessä olevien- ja verkolle erikseen sijoitettujen pumppujen avulla. Perinteisessä kaksiputkijärjestelmässä menoveden lämpötilaa säädellään ulkolämpötilan mukaan vastaamaan asiakkaiden tarpeita, jolloin myös liian korkean menolämpötilan aiheuttamat lämpöhäviöt minimoituvat. Verkon keskipaine pidetään riittävän korkeana, jotta vesi ei pääse höyrystymään. Kaukolämpöverkon putkistoa suojellaan puhdistamalla kiertovesi mekaanisista epäpuhtauksista ja korroosiota aiheuttavista kaasuista. (Koskelainen et al. 2006, s.44)

Yksi kaukolämmön jakeluun liittyvä tärkeä tekijä on risteily. Risteily tarkoittaa sitä, että kaukolämpöasiakkaiden kuormitukset vaihtelevat, eli kulutushuiput eivät ole samanaikaisia. Kun asiakkaan tilaustehoa arvioidaan, käytössä on suurin tehontarve. Asiakaskohtainen tehontarpeen vaihtelu arvioidaan eri osatekijöiden perusteella. Tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa vuorokaudenaika, viikonpäivä, ulkoilman lämpötila ja satunnaisvaihtelut. Asiakkaiden kulutushuiput eivät ole samanaikaisia, joten tehontarpeen vaihtelut tasaantuvat jakeluverkossa. Satunnaisvaihteluiden tasaantuminen on sitä todennäköisempää mitä enemmän yksittäisiä käyttökohteita on kytketty tarkasteltavaan kokonaisuuteen. Siirtotehon tarve on alueellisessa verkossa siis aina pienempi kuin alueen asiakkaiden tehontarpeen summa ja tätä suhdetta kutsutaan risteilykertoimeksi. Risteilykerroin (r) määritellään kaavassa (3):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \phi_i(t_{\max})}{\sum_{i=1}^m \phi_{N,i}} \quad (3)$$

missä

i on ryhmän tai asiakkaan indeksi

m on asiakkaiden määrä

$\phi_i(t_{\max})$ on asiakkaan tai ryhmän i mitattu tehontarve tarkasteltavana huipputehon tarpeen hetkenä $t_{\max}$

$\phi_{N,i}$ on asiakkaan tai ryhmän nimellistehontarve (mitoitusteho)

(Koskelainen et al. 2006, s.45)

Risteilyn takia siirtotehon huippu ei ole asiakkaiden kulutushuippujen summa, vaan kyseinen teho määritetään erilaisten laskelmien avulla. Asiakkaan tai ryhmän tehon tarpeen jakaumaa voidaan kuvata vaihtelukäyrällä ja/tai pysyvyyskäyrällä. Vaihtelujakauman avulla pystytään laskemaan asiakkaan tai ryhmän tehontarpeen keskiarvo ja varianssi. Vaihtelujakaumat voidaan myös laskea yhteen, jos ne ovat toisistaan riippumattomat ja tällöin saadaan yhteisen tehonvaihtelun keskiarvo ja varianssi. Yhteisen vaihtelukäyrän huipputehoksi valitaan sitten laskennallisesti normaalijakaumasta teho, jonka ylittyminen on tarpeeksi epätodennäköistä. (Koskelainen et al. 2006, s.45–46)

3.3.2. Lämmön tuotanto

Lämpöä tuotetaan erillisissä lämpökeskuksissa tai lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa. Lämpökeskuksissa tuotetaan pelkkää lämpöä. Laitoksen osat näkyvät seuraavassa luettelossa:

- tuhkan ja polttoaineen käsittelylaitteisto
- polttolaitteisto
- kattila
- pumpput, putket ja muut apulaitteet
- automaatio- ja sähkölaitteet
- usein savukaasujen puhdistuslaitteet

Suomessa yhteistuotannolla katetaan suurin osa kaukolämmöstä. Yhteistuotantoon sopivia voimalaitostyypppejä ovat teollisuuden ja kaukolämmön vastapainevoimalaitokset. Höyryvoimalaitos voi toimia vastapainevoimalaitoksena,

jolloin lauhduttamisen sijaan höyry johdetaan höyryturpiinin jälkeen kaukolämmönsiirtimelle tai välitosta suoraan höyrynkäyttäjille. Kombivoimalaitoksella on kyseessä yhdistetty höyry- ja kaasuturbiiniprosessi, jossa höyryn lämpöenergiaa saadaan valjastettua kaukolämmön käyttöön. (Koskelainen et al. 2006, s.44)

3.3.3. Kaukolämmön etuja ja haasteita

Kaukolämpöön liittyy paljon hyötyjä ja mahdollisuuksia. Sitä pidetään energiatehokkaana ja ympäristöystävällisenä lämmitysmuotona. Helppokäyttöisyydestä kertoo se, että asiakkaalta ei edellytetä huolto- ja käyttötyötä ja järjestelmä on muutenkin käyttövarma. Tuotannon jako eri tuotantomuotojen kesken on tehokasta ja varakapasiteetti on yleisesti hyödynnettävissä. Yhteistuotanto hyödyttää myös sähkön tuotantoa ja prosesseissa on mahdollista käyttää jätelämpölähteitä sekä edullisia ja vähäpäästöisiä polttoaineita. Kaukolämpöverkko mahdollistaa kiinteistöjen lämmityksen lisäksi mahdollisuudet kaukojäähdytykseen ja matalalämpötilaisen lämmön hyödyntämiseen esimerkiksi sulanapidossa. (Koskelainen et al. 2006, s.25).

Helsinki on toiminut edistyksellisesti uusien energialähteiden hyödyntämisessä kaukolämmityksessä. Marraskuussa 2007 otettiin käyttöön maailman suurin samassa prosessissa sekä puhdistetusta jätevedestä että merivedestä kaukolämpöä ja kesällä jäähdytystä tuottava laitos. Tämä Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos toimii lämpöpumpputekniikalla tuottaen 90 MW kaukolämpöä ja 60 MW kaukojäähdytystä. (Helsingin Energia, tiedote 2007).

Kaukolämpöön liittyy tiettyjä haasteita. Kaukolämpö ei sovellu kovin harvaan rakennetuille alueille, koska siirtohäviöt ovat tällöin suuret. Lisäksi investoinnit ovat kalliita. Rahoituksen puute voi olla ongelma ja koska kaukolämpöä tuotetaan suuressa mittakaavassa, vaarana on lisäksi epäterve kilpailu ja sääntely. Yleisesti loppukäyttäjän sijaan rakennuttaja valitsee kiinteistön lämmitysratkaisun (Koskelainen et al. 2006, s.25). Joskus kesäaikaan kaukolämpöä joudutaan lisäksi tuottamaan huonolla hyötysuhteella, koska sähköpörssistä saatu sähkö voi olla niin halpaa, että yhteistuotanto ei kannata. Kaukolämpötoiminnan kannalta tämä ei ole negatiivinen asia, koska esimerkiksi maakaasulla toimivien lämpökeskusten hyötysuhde on yli 90 %. Koko energiayhtiön kannalta tämä voi puolestaan olla negatiivinen asia, koska vastapainevoimalaitokset eivät ole toiminnassa.

3.4. Lämmönjakojärjestelmät

Lämmönjakojärjestelmällä tarkoitetaan niitä lämmitysjärjestelmän osia, joilla tuotettu lämpö siirretään kiinteistön sisällä. Näitä laitteistoja ovat erilaiset siirtoputkistot ja –

kanavistot sekä huonetilojen ja tuloilman lämmityslaitteet. Lämmönjakojärjestelmän valinnalla on suuri merkitys siihen millä lämpöä kannattaa tuottaa. Perusratkaisuja lämmönjaolle ovat vesikeskuslämmitys, ilmakiertoiset lämmitysjärjestelmät ja huonekohtainen sähkölämmitys. (Motiva Oy 2007)

3.4.1. Vesikeskuslämmitys

Vesikeskuslämmitys on toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen. Järjestelmään kuuluu lämmönkehityslaitte, jossa vesi lämmitetään. Lämmitetty vesi kiertää pattereissa tai lattialämmityspotkissa ja luovuttaa lämpönsä huonetilaan. Lämmönlähteitä voi olla yksi tai useampia. Pientaloasukas voi muuttaa säätökäyrän avulla lämpötilaa lämmönjakokeskuksessa ja huonekohtaisia lämpötiloja voi säätää pattereista tai jakosäätimen säätöventtiilin avulla. (Motiva Oy 2007)

Vesikeskuslämmitys voidaan jakaa kolmeen eri lämmönjakotapaan. Ensimmäinen ja yleisin on vesipatterijärjestelmä. Toinen järjestelmä on lattialämmitys, jota käytetään usein erillisinä kosteissa tiloissa. Kolmannessa vaihtoehdossa yhdistyvät sekä patteri- että lattialämmitysjärjestelmä ja tässä vaihtoehdossa molemmille osasysteemeille tulee olla oma kiertoveden lämpötilan säätö. (Motiva Oy 2007)

Lämmönkehittimen tehontarve määritellään lämpimän käyttöveden tarpeen ja huonelämmön mukaan. Edellisessä kappaleessa käsitellyistä vaihtoehdoista erityisesti lattialämmitys kasvattaa suosiotaan uusissa pientaloissa. Kyseessä on matalalämpöinen lämmönjakojärjestelmä, koska lattiarakenteessa kiertää alle 40 °C vesi. Esimerkiksi maalämmön hyödyntäminen onnistuu parhaiten vesikiertoisessa lattialämmitysjärjestelmässä. Yleisesti vesikeskuslämmityksen lämmönlähteitä ovat öljy, puu, pelletti, sähkö, kaukolämpö tai aurinkolämpö. Tarkastelun alla oleva pellettilämmitys toteutetaan yleisesti yhdessä varaajalla varustetun tai suoran vesipatterijärjestelmän kanssa. (Saikkonen 2002, s. 11)

3.4.2. Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät

Ilmakiertoiset lämmönjakojärjestelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään, joita kaikkia yhdistää se, että huoneiden lämmitys tapahtuu ilman avulla. Näiden järjestelmien markkinaosuus on pientalojen osalta noin 2 %. Ympäristöystävällisyyden määrää käytetty energiamuoto ja lämmönkehityksen hyötysuhde. Ilmalämmityksessä käytetään ikkunan eteen asetettuja säleikköjä, joista sähkövastuksilla tai vesipattereilla lämmitetty ilma jaetaan huoneisiin. Ilmanvaihtolämmityksessä käytetään tulo- ja poistoilmanjakojärjestelmää, joka on varustettu lämmön talteenotolla. Jakolaitteet ovat seinissä tai katossa. Tämä järjestelmä sopii pientaloon, joka kuluttaa vähän energiaa eikä tarvitse erillistä lämmönjakojärjestelmää. Kolmas tyyppi on ilmakiertoinen

lattia lämmitetty ilma kulkee suljetussa kanavistossa talon lattialaatasta. Tässä järjestelmässä myös ilmanlämmityslaitteet asennetaan lattialaataan. (Motiva Oy 2007)

Erityyppisiin ilmakiertosiin lämmönjakojärjestelmiin on vakiintunut eri lämmitysmuotoja. Ilmanvaihtolämmityksessä voidaan hyödyntää vaihtoehtoisesti kaikkia eri lämmitysmuotoja ja lämpö voidaan ottaa myös varaajasta. Lattia lämmitetyksen ohella ilmanvaihtolämmitys on matalalämpöinen lämmönjakojärjestelmä, joten se sopii hyvin esimerkiksi maalämmön kaltaisen uusiutuvan energialähteen hyödyntämiseen. Ilmalämmityksen lämmönlähteeksi sopii hyvin muun muassa kaukolämpö.

3.4.3. Sähkölämmitys

Sähkölämmityksen lämmönjakotavat voidaan jakaa neljään ryhmään. Lattia lämmitetyksessä kaapelit asennetaan eristetyn betonilaatan sisään. Tässä järjestelmässä on käytössä joko suora- tai varaava lattia lämmitetty. Varaavassa järjestelmässä jopa 90 % vuotuisesta lämmitysenergiasta saadaan halvemmalla yösähköllä ja järjestelmää voidaan täydentää esimerkiksi katto- tai patterilämmityksellä (Saikkonen 2002, s.16). Patterilämmitysjärjestelmissä sähköpatterit sijoitetaan ikkunoiden alle ja lämpö siirtyy huoneeseen lämmittimen ulkopinnasta. Patterilämmityksessä voidaan käyttää myös yhdistelmälämmittimiä, joissa lämpö siirtyy ulkopintojen lisäksi lämmittimen läpi virtaavan ilman mukana. Kolmas järjestelmä on kattolämmitys, jossa sisäkattoon asennetaan lämmityselementit, jotka lämmittävät kattoverhoilun, joka luovuttaa lämmön edelleen huoneilmaan. Neljäntenä järjestelmänä on ikkunalämmitys, joka korvaa ikkunoiden alle asennettavat patterit. Ikkunalämmitys perustuu ikkunoiden pintaan asennettuun sähköä johtavaan kalvoon, joka johtaa lämmön lasin sisäpintaan, mistä lämpö siirtyy edelleen huoneeseen. (Motiva Oy 2007)

4. RAKENNUSTEN LÄMMITYSTEHDON JA -ENERGIAN TARPEEN LASKEMINEN

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa ohjeet rakennusten lämmitystehon ja -energian tarpeen laskemiseksi. Tässä luvussa esitetään teoreettinen tausta, jonka avulla laskelmat voi suorittaa. Lisäksi esitellään teoreettista taustaa sille, kuinka lämmitystehon ja -energian tarvetta voidaan arvioida tilastollisin menetelmin olemassa olevasta rakennuskannasta saatavien tietojen avulla.

4.1. Lämmitysteho ja -energia laskennallisilla menetelmin

Rakennuksen tehontarve määritellään seuraavasta kaavasta:

$$\phi_{rakennus} = H_{kok} (T_s - T_u) + \phi_{kv} - \phi_s \quad (4)$$

missä

H_{kok} on rakennuksen ominaislämpöhäviö, joka sisältää johtumishäviön, vuotoilmanhäviön ja ilmanvaihdon

T_s on mitoituksen sisälämpötila

T_u on alueen mitoitusulkolämpötila

ϕ_{kv} on käyttöveden tuntinen keskiteho

ϕ_s on sisäiset lämpökuormat ja auringon säteily

Tässä työssä ϕ_s jätetään huomioimatta, koska sillä ei ole normaalissa taloudessa merkittävää vaikutusta rakennuksen tehontarpeeseen. Lämmitysenergian tarve määritellään seuraavien kaavojen avulla:

$$Q = \int_0^T \Phi dt = \int_0^T H_{\text{kok}} (T_s - T_u) dt + Q_{\text{lkv}} \quad (5)$$

$$Q = Q_{\text{häviö}} - \eta Q_s \quad (6)$$

missä

$Q_{\text{häviö}}$ on rakennuksen kokonaislämpöhäviö, joka sisältää rakenteiden läpi johtuvan energian, vuotoilman lämmityksen tarvitseman energian ja osittain ilmanvaihdon lämmityksen energian

η on sisäisten energioiden hyväksikäyttöaste

Q_s on sisäisten lämmönlähteiden ja auringon säteilyn energia

(Airaksinen et al. 2006, s. 7; Koskelainen et al. 2006, s. 56)

4.1.1. Vaipan lämpöhäviö/johtumishäviö

Vaipan ominaislämpöhäviö/johtumishäviö lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$\begin{aligned} \sum H_{\text{joht}} = & \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) \\ & + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \end{aligned} \quad (7)$$

missä

H_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin

A on rakennusosan pinta-ala

Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot löytyvät rakentamismääräyskokoelman osasta C3. (Ympäristöministeriö 2007, osa D3)

Rakenteiden läpi johtuva energia saadaan seuraavasta kaavasta:

$$Q_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (T_s - T_u) \Delta t \quad (8)$$

missä

Q_{joht} on rakenteiden läpi johtuva energia

T_s on mitoituksen sisälämpötila

T_u on jakson keskimääräinen ulkolämpötila

Δt on jakson aika

4.1.2. Vuotoilman lämpöhäviö

Vuotoilman ominaislämpöhäviö saadaan seuraavasta kaavasta:

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (9)$$

missä

$H_{vuotoilma}$ on vuotoilman ominaislämpöhäviö

ρ_i on ilman tiheys

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta saadaan taas kaavasta:

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} V \quad (10)$$

missä

$n_{vuotoilma}$ on rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h

V on rakennuksen ilmatilavuus

Vuotoilman lämmityksen energia saadaan seuraavasta kaavasta:

$$Q_{vi} = H_{vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t \quad (11)$$

missä

Q_{vi} on vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia

T_s on mitoituksen sisälämpötila

T_u on jakson keskimääräinen ulkolämpötila

Δt on jakson aika

4.1.3. Ilmanvaihdon lämpöhäviö

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) \quad (12)$$

missä

ρ_i on ilman tiheys

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti

$q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta

t_d on ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde

t_v on ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde

r on muuntokerroin, joka huomioi ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan

η_a on ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde

Tässä työssä ei huomioida ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikasuhteita. Lisäksi muuntokertoimen oletetaan olevan yksi, jolloin on kyseessä ilmanvaihtojärjestelmän ympärivuorokautinen käyntiaika. Lämmön talteenoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 30 %. Poistoilmavirta voidaan määrittää rakennusmääräyskokoelman osan D2 avulla. (Ympäristöministeriö 2007, osa D2, s. 17, 21 ja osa D3)

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{iv} = H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t \quad (13)$$

missä

T_s on mitoituksen sisälämpötila

T_u on jakson keskimääräinen ulkolämpötila

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia

(Koskelainen et al. 2006, s. 56)

4.1.4. Käyttöveden lämmitys

Käyttöveden lämmitysteho saadaan seuraavasta kaavasta:

$$\phi_{kv} = \rho_v c_{pv} \dot{V}_{kvm} (T_{lv} - T_{kv}) \quad (14)$$

missä

$\dot{V}_{kvm}$ on lämpimän käyttöveden tilavuusvirta

ρ_v on veden tiheys

c_{pv} on veden ominaislämpö

T_{lv} on lämpimän käyttöveden lämpötila

T_{kv} on kylmän käyttöveden lämpötila

Tilavuusvirta saadaan määritettyä rakentamismääräyskokoelman osan D1 avulla. Vesikalusteille on määritelty normivirtaamat, joiden yhteenlasketun virtaaman avulla pystytään määrittämään kokoelman taulukoiden avulla itse tilavuusvirta (Ympäristöministeriö 2007, osa D1, s. 35–36). Käyttöveden lämmityksen mitoituksessa käytetään tuntikeskiarvoja, jotka voidaan laskea karkeasti joko lämpimän käyttöveden tilavuusvirran tai asuntojen lukumäärän avulla. Käyttöveden tuntikeskiteho (kW) saadaan käyttöveden tilavuusvirran avulla seuraavasta kaavasta:

$$\phi_{lkv} = 0,35 \dot{V}_{kvm} \rho_v c_{pv} \Delta T - 14,1, \text{ jos } \dot{V}_{kvm} \leq 0,5 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (15)$$

$$\phi_{lkv} = 0,2 \dot{V}_{kvm} \rho_v c_p \Delta T, \text{ jos } \dot{V}_{kvm} > 0,5 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (16)$$

missä

$\dot{V}_{kvm}$ on lämpimän käyttöveden tilavuusvirta

ρ_v on veden tiheys

c_{pv} on veden ominaislämpö

ΔT on lämpimän ja kylmän käyttöveden erotuslämpötila

Käyttöveden tuntikeskiteho (kW) voidaan laskea myös rakennuksen asuntojen lukumäärän mukaan seuraavien kaavojen avulla:

$$\phi_{lkv} = 0,49 * N + \sqrt{60,8 * N - 24,3} - 1,3, \text{ jos } N \leq 5 \quad (17)$$

$$\phi_{lkv} = 0,28 * N + \sqrt{19,9 * N - 7,9} + 7,3, \text{ jos } N > 5 \quad (18)$$

missä

N on rakennuksen asuntojen lukumäärä

Kaavat 15–18 ottavat huomioon risteilyn, mikä tarkoittaa tehontarpeiden vaihtelun tasaantumista. Suomen kaukolämpö ry:n Suositus K15/1998 sisältää myös taulukon tuntisen käyttöveden lämmitysteholle asuinrakennuksessa suoraan asuntojen lukumäärän mukaan. (Suositus K15/98, liite1)

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia häviöittä saadaan seuraavasta kaavasta:

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) \quad (19)$$

missä

Q_{lkv} on käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia

ρ_v on veden tiheys

c_{pv} on veden ominaislämpö

T_{lv} on lämpimän käyttöveden lämpötila

T_{kv} on kylmän käyttöveden lämpötila

V_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus

Kaukolämmön käsikirjassa on taulukoitu lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia henkilömäärän ja asunnon kerrosalan mukaan. Lämpimän käyttöveden kulutus voidaan laskea karkeasti näiden tietojen perusteella seuraavasta kaavasta:

$$V_{lkv} = V_{lkv,om.br} A_{br} = V_{lkv,om.henk.} n \Delta t \quad (20)$$

missä

$V_{lkv,om.br}$ on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus

A_{br} on rakennuksen kerrosala

Δt on jakson aika päivinä

n on henkilömäärä

$V_{lkv,om.henk.}$ on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus

Tässä työssä käytetään kerrosalan mukaan määritettyjä ominaiskulutuksia asuinrakennuksille. (Koskelainen et al. 2006, s. 57)

4.1.5. Sisäiset lämmönlähteet ja aurinkolämpö

Sisäiset lämmönlähteet vaikuttavat lämmitysenergiankulutukseen. Sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteistä rakennukseen tuleva energia saadaan seuraavasta kaavasta:

$$Q_s = Q_{säh} + Q_{hlö} + Q_{läm.kuor.} + Q_{aur} + Q_{lkv,hyöty} \quad (21)$$

missä

$Q_{säh}$ on valaistuksesta ja koneista vapautuva energia

$Q_{hlö}$ on henkilöiden luovuttama lämpöenergia

$Q_{läm.kuor.}$ on tilojen lämmitysjärjestelmästä sisään vapautuva hyötyenergia

Q_{aur} on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva suora auringon säteilyenergia

$Q_{lkv,hyöty}$ on lämpimän käyttöveden laitteista vapautuva hyödyksi saatava energia

4.2. Tilastollisista menetelmistä

Muuttujan jakaumaa voidaan tutkia tunnuslukujen avulla. Tunnusluvun valintaan vaikuttaa mitta-asteikon luonne. Kun kyseessä on mitta-asteikko, jossa muuttujat voidaan jakaa yksikäsitteiseen suuruusjärjestykseen, mediaani on hyvä tunnusluku. Mediaani on jakauman keskimäinen luku tai parillisen havaintomäärän tapauksessa kahden keskimäisen luvun keskiarvo. Mediaani sopii aritmeettista keskiarvoa paremmin kuvaamaan jakaumaa, jossa on suuria yksittäisiä poikkeamia, koska ne eivät vaikuta mediaaniin samalla tavalla. Vaikka käytettäisiin mediaania, keskiarvo on hyvä tunnusluku vertailua varten. Kun muuttujan jakauma on oikealle vino eli sisältää suuria yksittäisiä arvoja, keskiarvo on mediaania suurempi. Muuttujan jakauman ollessa vino vasemmalle keskiarvo on vastaavasti mediaania pienempi. Keskihajonta taas on luku, joka kuvaa muuttujan arvojen vaihtelua keskiarvon ympärillä. (Taanila 2007)

5. KAAVOITUSALUEEN LÄMMITYSTEHDON JA -ENERGIAN TARPEEN MÄÄRITTÄMINEN

Tässä luvussa on tarkoitus määrittää jokaiselle osayleiskaavavaihtoehdolle lämmitystehon ja -energian tarve, jotta myöhemmin olisi mahdollista mitoittaa alueille erilaisia lämpöverkkovaihtoehtoja. Jotta voitaisiin määrittää koko alueiden tehon- ja energiantarpeet, ensin täytyy määrittää tyyppitalojen vastaavat. Rakennustyyppit ovat kerrostalot (yhden asunnon pinta-ala 80 k-m²), rivitalot (yhden asunnon pinta-ala 95 k-m²) ja erillispientalot (yhden asunnon pinta-ala 175 k-m²). Laskennan haaste piilee siinä, että kaavoitusalueen rakennuksista ei ole vielä tässä vaiheessa erityisen tarkkoja tietoja, joten laskelmat ovat arvioita. Kullekin rakennustypille tulisi kuitenkin löytää mahdollisimman järkevät ja totuudenmukaiset arvot, jotta lämmitysjärjestelmien mitoitus onnistuisi. Luvun alussa esitellään eri osayleiskaavavaihtoehdot ja niissä esiintyvät tyyppirakennukset.

5.1. Nurmi-Sorilan osayleiskaavavaihtoehdot

Nurmi-Sorilan osayleiskaavan suunnittelualue on noin 17 km²:n kokoinen alue Nurmin ja Sorilan kyläkeskusten yhteydessä. Alue sijaitsee Näsijärven rannassa noin 12 km:n päässä Tampereen keskustasta koilliseen. Muita alueen rajaajia ovat etelässä Jyväskylään johtava valtatie numero yhdeksän ja idässä 400 kV:n voimalinja, Nätäsuo sekä Lintukalliontie. Pohjoisessa alue rajoittuu Iso-Lumojajärveen ja lännessä Aitolahden vanhaan kirkkoon. Nurmi ja Sorila ovat nykytilanteessaan maaseutukyliä ja alueen asukasluku on tällä hetkellä noin 750 asukasta. Asunnot ovat pääasiassa omakotitaloja. Alueella on lisäksi muutama maatila. Tampereen kaupungin tarkoituksena on luoda alueelle suuri asutusalue huomioiden kuitenkin entinen asutus, luontokohteet ja maisema- ja kulttuuriarvot. Kaavoitusalueeseen on liitetty myös Tarastejärven alue, mutta tässä työssä tarkastelun kohteena on pelkästään Nurmi-Sorila. (Tampereen kaupunki 2007)

Nurmi-Sorilan osayleiskaavasta on tehty kolme alustavaa luonnosvaihtoehtoa. Kaikissa vaihtoehdoissa on suunniteltu riittävä asukasmäärä hyvien liikenneyhteyksien ja peruspalveluiden turvaamiseen. Tampereen kaupunki on julkaissut 1.6.2007 selostuksen, jossa nämä vaihtoehdot on esitelty. Vaihtoehdot ovat nimeltään Kehäkaupunki-, Järvikaupunki- ja Pientalokaupunki-vaihtoehto (Tampereen kaupunki

2007). Liitteessä 1 näkyvät kaikki kolme osayleiskaavavaihtoehtoa erittelyineen ja selityksineen.

5.1.1. Osayleiskaavavaihtoehtoisissa esiintyvät tyyppirakennukset

Liitteessä 1 näkyvissä osayleiskaavavaihtoehtoisissa esiintyy yhteensä kolmesta kaavamerkintää, jotka kuvaavat erilaisista rakennustyypeistä muodostuvia pysyvän asumisen ja työpaikkojen alueita. Kyseiset kaavamerkinnät ovat liitteen 1 oikeassa reunassa olevat kolmesta ylittä merkintää. Kaavoitusvaihtoehtoisissa on vain viisi erilaista rakennustyyppiä ja saman rakennustyyppin muodostamien alueiden kaavamerkintöjen erot johtuvat pelkästään alueiden tonttitehokkuuksien ja korttelikaavioiden eroista. Nämäkin erot ovat kuitenkin niin pieniä, että saman rakennustyyppin muodostamat alueet voidaan käsitellä samanlaisina. Taulukossa 5.1 on esitelty tässä tutkimuksessa käytettävät rakennustyypit. Ensimmäisessä sarakkeessa suluissa oleva tekijä kuvaa kyseisen rakennustyyppin muodostamia liitteessä 1 näkyviä alueita vastaavia kaavamerkintöjä.

Taulukko 5.1 Osayleiskaavavaihtoehtoisissa esiintyvät rakennustyypit kategorioittain.

Rakennustyyppi (kaavamerkintä)	Asuntojen lkm rakennuksessa	Ala km ²	Kerroslukumäärä
Asuinkerrostalo (AK, AK-1)	9	720	3
Keskustakerrostalo (C)	12	960	3
Rivitalo (AP, AP-2)	5	475	2
Erillispientalo (AP-1, AOM, AM, AT-1, AT-2)	1	175	2
Työpaikkarakennus (PY, TP)		960	3

(Tampereen kaupunki 2007, julkaisematon Excel-tiedosto)

Tyyppi AM eli maalaistaloasuminen on mukana vielä siinä vaiheessa, kun lasketaan yleiskaavavaihtoehtojen kokonaislämmitysenergian ja -tehon tarvetta. Myöhemmässä verkon mitoituksessa se jätetään kuitenkin pois tarkastelusta, koska maatalovaltaiset alueet ovat niin harvaan asuttuja, että lämpöhäviöt kasvavat tällaisilla alueilla kohtuuttoman suuriksi, jos ne liitetään lämmitysverkkoon. Työpaikkarakennukset ja niistä muodostuvat alueet käsitellään pääosin keskustakerrostalojen lailla. Myöhemmässä mitoittamisessa tämän kategorian käsittelyyn tulee joitakin muutoksia johtuen siitä, että kyseessä ei ole tavallinen asuinrakennustyyppi.

5.1.2. Kehäkaupunki – vaihtoehto

Kehäkaupunki – vaihtoehdon suunnittelun lähtökohtana on viedä uusi Kaitavedentie eli maantie 388 mahdollisimman kauas Nurmin ja Sorilan kyläkeskuksista. Liikenne on ohjattu tässä vaihtoehdossa siten, että ohitustie kulkee Tarastejärven eritasoliittymästä lähtien alueen itäpuolta ja yhtyy nykyiseen Kaitavedentiehen Sorin keskuksen pohjoispuolella. Nykyinen Kaitavedentie muuttuu pienemmäksi pääkokoojaluokkaiseksi kaduksi. Nykyisen Kaitavedentien länsipuolelle on myös suunniteltu pääkokoojaluokkainen katu, joka yhdistää kyläkeskusten palvelut toisiinsa. Kevyen liikenteen pääreitit on tässä suunnitelmassa sijoitettu kokoojakatujen varsille ja molempien keskusten palvelut ovat saavutettavissa. (Tampereen kaupunki 2007)

Kehäkaupunki – vaihtoehdossa pääkeskus palveluineen on Nurmissa vanhan Kaitavedentien varrella. Sorilassa sijaitisi pienempi lähipalvelukeskus. Alueelle on tässä vaihtoehdossa kaavailtu noin 11 000 asukasta. Asumisen kerrosalaa on noin 530 000 k-m² ja työpaikka- sekä teollisuuskorttelialaa 42 ha. Suurin osa työpaikka- ja teollisuuskorttelialasta sijaitsee kuitenkin Tarastejärven alueella, jota ei tässä työssä oteta huomioon. Taulukossa 5.2 näkyy asumisen jakautuminen Kehäkaupunki – vaihtoehdossa. (Tampereen kaupunki 2007)

Taulukko 5.2 Erityyppisten asuntojen lukumäärä ja asumisen jakautuminen kerrosneliömetrien suhteen Kehäkaupunki – vaihtoehdossa.

KEHÄKAUPUNKI	asuntojen lkm	%-osuus (k-m ²)
Asuinkerrostalot ja keskustakerrostalot (asunto 80 k-m ²)	1300	24
Rivitalot (asunto 95 k-m ²)	3200	48
Erillispientalot (asunto 175 k-m ²)	600	15
Työpaikkarakennukset		13
yhteensä	5100	100

(Tampereen kaupunki 2007)

Kuten kaikkiin suunnitelmiin, myös Kehäkaupunkivaihtoehtoon liittyy sekä hyviä puolia että haasteita. Tässä työssä kiinnostuksen kohteena on erityisesti energiatalous. Keskusta-alueiden tiivis rakentaminen on energiatehokas ratkaisu. Vilkkaimman liikenneväylän vieminen pois keskusta-alueiden läheisyydestä ei sinänsä vaikuta energiankulutukseen, mutta sillä on positiiviset vaikutukset alueen ilman laatuun. (Tampereen kaupunki 2007)

5.1.3. Järvikaupunki – vaihtoehto

Järvikaupunki – vaihtoehdon suunnittelun lähtökohtana on muodostaa kaavoitusalueen eteläosaan Näsijärven rantaan toimiva monipuolinen keskusta-alue kaupunginosan

asukkaille. Pääkeskus sijoittuisi siis suunnitelmassa Nurmin eteläosaan kun taas pienempi lähipalvelukeskus on suunniteltu Sorilaan. Nurmin veden äärellä oleva keskusta on suunniteltu vilkkaaksi ja tiiviiksi sekä palveluiltaan että asunnoiltaan. Kaavoitusalueen muut osat on ajateltu pientalovaltaisiksi. Alueelle on tämän suunnitelman mukaan tarkoitus sijoittaa noin 12 000 asukasta. Asumiseen kerrosalaa on noin 570 000 k-m² ja teollisuuden ja työpaikkojen korttelialaa noin 54 ha. Asuntojen läheisyyteen on joissakin kohdissa osoitettu myös alueita, joilla olisi hevosenkasvatusta ja muuta elinkeinotoimintaa. Taulukossa 5.3 näkyy asumisen jakautuminen Järvikaupunki – vaihtoehdossa.

Taulukko 5.3 Erityyppisten asuntojen lukumäärä ja asumisen jakautuminen kerrosneliömetrien suhteen Järvikaupunki-vaihtoehdossa.

JÄRVIKAUPUNKI	asuntojen lkm	%-osuus (k-m ²)
Asuinkerrostalot ja keskustakerrostalot (80 k-m ²)	1500	24
Rivitalot (95 k-m ²)	3000	37
Erillispientalot (175 k-m ²)	900	22
Työpaikkarakennukset		17
Yhteensä	5400	100

(Tampereen kaupunki 2007)

Järvikaupunki – vaihtoehdossa on sekä hyviä että haasteellisempia puolia. Keskusta-alueiden läheisyyden tiivis rakentaminen on erittäin energiatehokasta. Tässä vaihtoehdossa on myös tihein pääväyläverkosto, joka luultavasti olisi kaikista toimivin.

5.1.4. Pientalokaupunki – vaihtoehto

Pientalokaupunki – vaihtoehdon lähtökohtana on pyrkiä vastaamaan pientalotonttien kysyntään Tampereen alueella. Tässä vaihtoehdossa rakentaminen on melko homogeenista ja levittäytyy kolmesta vaihtoehdosta laajimmalle. Palvelut sijoittuvat Nurmin ja Sorilan keskuksiin, mutta mitään tiivistä rakentamista ei ole tulossa keskustan ympärille. Alueelle on Kehäkaupunkivaihtoehdon tapaan kaavailtu noin 11 000:a asukasta. Asuinkerrosalaa on mitoitettu alueelle noin 630 000 k-m² ja teollisuus- ja työpaikkakorttelialaa noin 26 ha. Liikenneväylien osalta suurin muutos on se, että Vanhaa Kaitavedentietä on kaavailtu nelikaistaiseksi ja täten vilkkain liikenneväylä kulkee kaavoitusalueen läpi. Taulukko 5.4 esittää asumisen jakautumisen Pientalokaupunki – vaihtoehdossa.

Taulukko 5.4 Erityyppisten asuntojen lukumäärä ja asumisen jakautuminen kerrosneliömetrien suhteen Pientalokaupunki – vaihtoehdossa.

PIENTALOKAUPUNKI	asuntojen lkm	%-osuus (k-m ²)
Asuinkerrostalot ja keskustakerrostalot (80 k-m ²)	200	8
Rivitalot (95 k-m ²)	3300	42
Erillispientalot (175 k-m ²)	1500	40
Työpaikkarakennukset		10
yhteensä	5000	100

(Tampereen kaupunki 2007)

Pientalokaupunki – vaihtoehto on tietyllä tavalla kaikista ristiriitaisin vaihtoehto. Se on näistä kolmesta ehdotuksesta asukasta kohden kallein. Vaihtoehto ei ole kovin energiatehokas, koska asunnot ovat suurimmaksi osaksi pientaloja. Toisaalta tällaisten asuntojen kysyntä on suuri ja kohtuuhintaisista tonteista on suoranainen pula Tampereen alueella.

5.2. Tyypitalojen lämmitystehon ja -energian tarpeen tilastollinen määrittäminen

Tässä luvussa pyritään laskemaan tilastollisin menetelmin ominaistehon tarve (W/k-m²) ja ominaislämmön tarve (kWh/k-m²) luvussa 5.1.1 esitellyille eri osayleiskaavavaihtoehtoisissa esiintyville rakennustyypeille. Nämä rakennustyypit jaettiin luvussa 5.1.1 viiteen eri kategoriaan. Kun tyyppirakennuksille halutaan laskea ominaislämmön ja -tehon tarpeet, kategorioita voidaan edelleen yhdistellä kolmeen osaan niin, että asuinkerrostalot, keskustakerrostalot ja työpaikkarakennukset käsitellään pelkästään kerrostaloina.

Rakennuksista ei ole saatavissa erityisen tarkkoja tietoja, joten tyyppirakennusten ominaiskulutuksen määrittämiseksi voidaan käyttää olemassa olevan uuden rakennuskannan tietoja. Tässä työssä käytetään apuna Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöön liitettyjen käyttöpaikkojen vuoden 2006 mittauksia, mistä saadaan kyseisen vuoden mitatut rakennusten lämmitysenergian kulutukset ja sopimusteho, joka on laskennallinen suure. Otantaan valitaan rakennuksia, jotka ovat valmistuneet vuosien 2001 ja 2005 välillä. Valitut kolme taloryhmää ovat käyttötarkoituksen mukaan kerrostalot, rivitalot ja erillispientalot. Otantaan ei valita vuonna 2006 valmistuneita rakennuksia, koska näissä kohteissa lämmitysenergian kulutus ei ollut vuoden 2006 loppuun mennessä vielä vakiintunut normaalille tasolle. Jokaiseen kolmeen tyyppiryhmään pyrittiin valitsemaan mahdollisimman monta eri rakennusta.

Rakennuksista tarvittavat tiedot ovat

- rakennustyyppi
- valmistumisvuosi
- kerrosala
- lämmitysenergiankulutus
- sopimusteho
- asuntojen lukumäärä rakennuksessa

Tilastoista (Kaukolämpö- ja maakaasutoiminta 2006) saatavien tietojen avulla voidaan jokaiselle kolmelle eri rakennustyyppille laskea ominaisuuksia eli lämmitysenergian ja -tehon tarve kerrosneliömetriä kohti. Ominaislämmitysteho ilmoitetaan vielä tässä vaiheessa ilman käyttöveden tehontarvetta eli mitoitustehona. Tämä johtuu siitä, että kun myöhemmässä vaiheessa mitoitetaan suurempia asutusalueita, saadaan laskettua tarkasti käyttöveden tuntikeskitehot kaavoitusalueen asuntojen lukumäärän mukaan. Käyttöveden tehontarpeessa otetaan huomioon rakennuskohtainen risteily. Kullekin tilastoista poimittavalle rakennukselle saadaan tässä vaiheessa laskettua lämmitystehon tarve ilman käyttövettä, kun sopimustehosta vähennetään kaavojen (17) ja (18) avulla laskettu tai Kaukolämpö ry:n suosituksesta K15/1998 saatu rakennuksen käyttöveden lämmityksen tuntikeskiteho. Mitattu lämmitysenergia sääkorjataan mitoituksessa käytettävälle perustasolle. Rakennuksen lämmitysenergiasta noin 75 % on säiden mukaan muuttuvaa osuutta ja tämä osuus normeerataan perustasolle vuoden 2006 ja Tampereen vertailuarvona käytettävän lämmöntarveluvun avulla. Kaikki tässä luvussa esitetyt lämmitysenergiat on sääkorjattu.

Ensimmäiseksi tarkastellaan **kerrostaloja**. Vuosien 2001 ja 2005 väliltä valitaan otantaan 95 rakennusta. Jokaiselle rakennukselle lasketaan lämmitysenergian tarve/kerrospinta-ala (kWh/k-m^2) ja lämmitysteho ilman käyttövettä/kerrosala (W/k-m^2). Tilastoissa on ilmoitettu sopimusteho, johon sisältyy käyttöveden tuntikeskiteho. Lämmitysteho ilman käyttövettä saadaan Suomen Kaukolämpö ry:n suosituksen K15/1998 avulla, missä on tilastoitu lämpimän käyttöveden tuntikeskitehot asuinrakennuksissa asuntojen lukumäärän mukaan.

Kun jokaiselle otannan rakennukselle on laskettu ominaislämmitysteho ja -energia, koko otantaa voidaan havainnollistaa erilaisten keskilukujen avulla. Taulukoissa 5.5 ja 5.6 on esitetty kuvaavia keskilukuja vuoden 2001 ja 2005 välillä valmistuneille kerrostaloille.

Taulukko 5.5 Kerrostalojen ominaislämmitystehon keskilukuja.

Lämmitysteho ilman lämmintä käyttöväettä/Kerrosala	W/k-m ²
Keskiarvo	68,2
Keskihajonta	20,4
Mediaani	69,2

Taulukko 5.6 Kerrostalojen ominaislämmitysenergian keskilukuja.

Lämmitysenergia/Kerrosala	kWh/k-m ²
Keskiarvo	166
Keskihajonta	48,4
Mediaani	167

Seuraavaksi tarkastellaan **rivitaloja** tilastojen perusteella. Otantaan valitaan 44 vuosien 2001 ja 2005 välillä valmistunutta rivitaloa. Vastaavasti kuten kerrostaloille myös rivitaloille määritetään ominaislämmitysteho ja -energia. Näille lasketaan keskilukuja, jotka näkyvät taulukoissa 5.7 ja 5.8.

Taulukko 5.7 Rivitalojen ominaislämmitystehon keskilukuja.

Lämmitysteho ilman lämmintä käyttöväettä/Kerrosala	W/k-m ²
Keskiarvo	63,0
Keskihajonta	19,0
Mediaani	66,8

Taulukko 5.8 Rivitalojen ominaislämmitysenergian keskilukuja.

Lämmitysenergia/Kerrosala	kWh/k-m ²
Keskiarvo	171
Keskihajonta	46,2
Mediaani	174

Viimeisenä tarkastellaan yhden asunnon taloja eli niin sanottuja **erillispientaloja**. Vuosien 2001–2005 otantaan saadaan 86 kohdetta. Kuten kerrostaloille ja rivitaloille, näille lasketaan ominaislämmitystehot ja -energiat. Yhden asunnon taloille saadaan myös helposti laskettua lämmitystehon tarve ilman käyttöväettä, koska asuntojen määrä on yksi jokaisessa rakennuksessa. Taulukoissa 5.9 ja 5.10 on esitetty yhden asunnon taloille ominaislämmitystehon ja -energian keskilukuja.

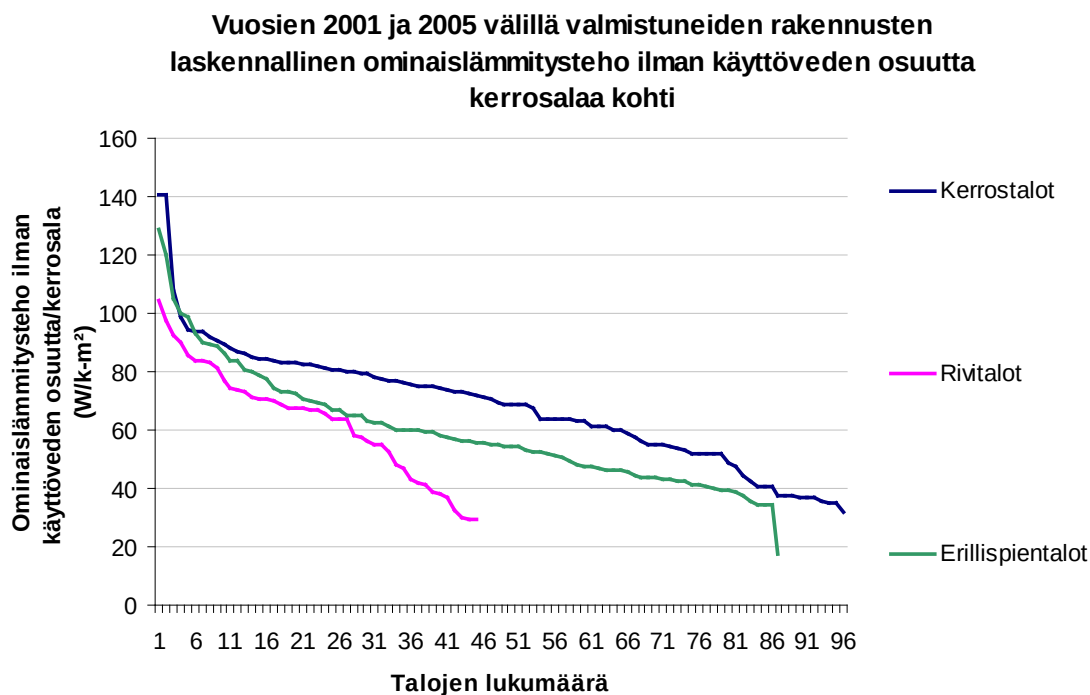
Taulukko 5.9 Yhden asunnon talojen ominaislämmitystehon keskilukuja.

Lämmitysteho ilman lämmintä käyttöväettä/Kerrosala	W/k-m ²
Keskiarvo	60,0
Keskihajonta	19,8
Mediaani	56,5

Taulukko 5.10 Yhden asunnon talojen ominaislämmitysenergian keskilukuja.

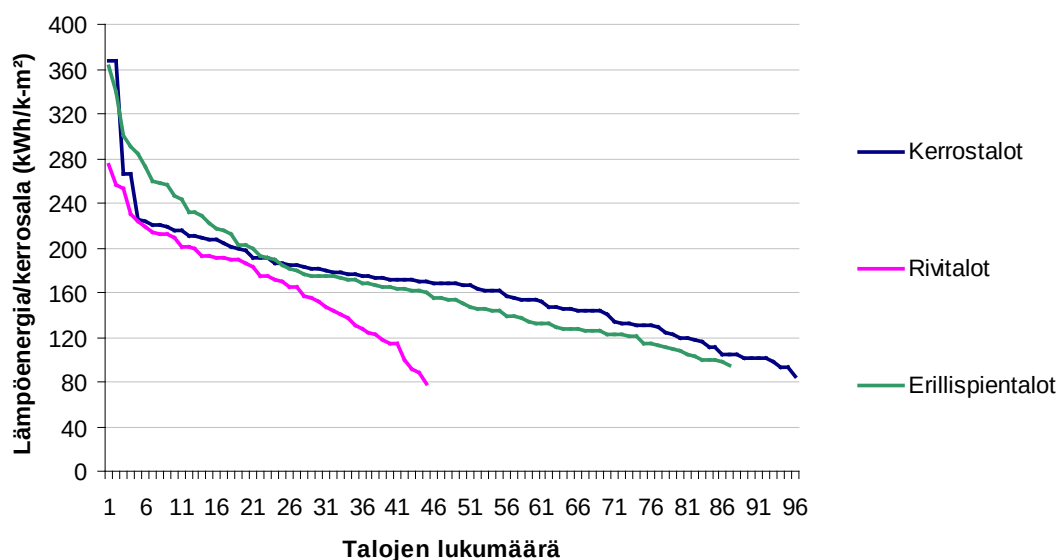
Lämmitysenergia/Kerrosala	kWh/k-m ²
Keskiarvo	169
Keskihajonta	56,3
Mediaani	162

Kuvissa 5.1 ja 5.2 näkyy tyyppirakennusten ominaislämmitystehon ja -energian vaihtelu pysyvyyskäyrillä kuvattuna.



Kuva 5.1 Vuosien 2001 ja 2005 välillä valmistuneiden rakennusten laskennallisten ominaislämmitystehojen pysyvyyskäyrät ilman käyttöveden osuutta.

**Vuosien 2001 ja 2005 välillä valmistuneiden rakennusten
lämmitysenergia kerrosalaa kohti**



Kuva 5.2 Vuosien 2001 ja 2005 välillä valmistuneiden rakennusten vuonna 2006 mitattujen, sääkorjattujen ominaiskulutusten pysyvyyskäyrät.

Edellä olevista kahdesta kuvaajasta ja aiemmin taulukoiduista keskiluvuista huomataan, että rakennusten ominaislämmitystehot ja -energiat vaihtelevat huomattavasti. Rakennuksen pinta-alalla ei vaikuta olevan suurta merkitystä saatuihin arvoihin, vaan kyse talojen rakennustavasta.

5.3. Tyypitalojen vertailevat laskelmat

Tässä luvussa lasketaan ensin tämänhetkisten rakentamismääräysten pohjalta ominaislämmitystehot ja -energiat osayleiskaavavaihtoehtoissa esiintyvien rakennusten tyyppiasunnoille. Tämän laskennan perusteella saadaan myös luvussa 5.1.1 esitellyille tyyppirakennuksille kokonaislämmitystehot ja -energiat. Tarkastelun epävarmuutta lisää se, että kaavoitusalueen tyyppitaloista ei ole saatavissa täysin tarkkoja tietoja, joten laskelmat perustuvat osittain oletuksiin ja vertailuarvoihin. Laskennassa käytetään Dofenergia – nimistä ohjelmaa, jossa laskelmat perustuvat luvussa neljä esitettyihin Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisiin kaavoihin. Laskentaan liittyy suureita, jotka pysyvät samana jokaisen tyyppitalon laskennassa. Ne on esitetty taulukossa 5.11.

Taulukko 5.11 Tyyppitalojen lämmitysenergian ja -tehon laskennassa esiintyviä muuttumattomia suureita.

Suure	Arvo
Ilman tiheys ρ_i	1,293 kg/m ³
Ilman ominaislämpö c_{pi}	1,01 kJ/(kgK)
Veden tiheys ρ_v	1000 kg/m ³
Veden ominaislämpö c_{pv}	4,19 kJ/(kgK)
ΔT	50 °C

(Haavisto et al. 1991, s. 78–79)

Seuraavassa kolmessa alaluvussa on myös esitetty lähtötietoja kolmelle erilaiselle mitoituksessa käytetyille tyyppitalolle.

5.3.1. Erillispientalon laskennan lähtötiedot

Kaavoitustiedoissa esitellyn erillispientalon kerrospinta-ala on 175 m², asukasmäärä on keskimäärin 2,69 asukasta ja kerroslukumäärä 2. Huonekorkeuden arvioidaan olevan 2,80 m. Lämmitettävä sisätilavuus on 460,82 m³ ja rakennustilavuus 612,50 m³. Taulukossa 5.12 on esitetty rakennuksen vaipan osien pinta-alat ilmansuunnittain. Vaipan osien mitat ilmoitetaan rakennuksen sisämittoina.

Taulukko 5.12 Erillispientalon vaipan osien pinta-alat ilmansuunnittain

	Yläpohja m ²	Alapohja m ²	Seinä m ²	Ikkuna m ²	Ovi m ²
Pohjoinen			46,76	7,00	2,00
Etelä			42,76	11,00	2,00
Länsi			44,04	3,00	
Itä			43,04	4,00	
Yhteensä	80,64	80,64	176,60	21,00	4,00

Ikkunoiden oletetaan olevan 12 % kerrospinta-alasta ja ikkunat on jaettu niin, että etelään päin on eniten ikkunapinta-alaa, kun taas länteen päin olevaa ikkunapinta-alaa on vähiten.

Laskenta on toteutettu Suomen rakentamismääräyskokoelman vertailuarvojen perusteella. Lämpötila- ja säteilytiedot on määriteltä rakentamismääräyskokoelman osan D5 vyöhykkeen 2 tietojen perusteella, johon myös Nurmi-Sorilan alue kuuluu. (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 58) Rakennuksen sisäisten lämpökuormien tehoksi, mihin kuuluu sekä ihmisten että eri laitteiden luovuttama lämpöteho, asetettiin 6 W/m² (Ympäristöministeriö 2007, osa D5). Lämpökapasiteetti rakennustilavuutta kohti laskettiin rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukon 8.9. avulla, missä keskiraskasrakenteiselle pientalolle teholliseksi lämpökapasiteetiksi

määritellään $70 \text{ Wh/(k-m}^2\text{K)}$. Lämpökapasiteetti/rakennustilavuus on silloin $20 \text{ Wh/m}^3\text{K}$. (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 49) Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteesta valittiin kaukolämmölle annettu arvo, joka on D5:n mukaan yksi. (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 14) Koneelliseen ilmanvaihtoon vaikuttaa rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku, joka on 50 Pa:n paine-erolla ja keskimääräisellä ilmanpitävyydellä D5:n mukaan pientalolle 4 l/h . (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 21)

Vaipan tiedot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaiset, missä lämmönläpäisykertoimille määritellään seuraavat tässä laskennassa sovelletut maksimiarvot:

- seinä $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- yläpohja $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
- alapohja $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ikkuna, ovi $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

(Ympäristöministeriö 2007, osa C3, s. 5)

Tässä työssä ikkunat ja ovet lasketaan kuhunkin ilmansuuntaan samana pintana. Tyypitalossa oletetaan olevan koneellinen ilmanvaihto, joka on päällä koko ajan. Lämmön talteenoton vuosihyötysuhteeksi otetaan D2:ssa määrätty 30% . (Ympäristöministeriö 2007, osa D2, s. 17, 21) Suunniteltu keskimääräinen koneellinen ilmavirta saadaan arvioitua osan D2 avulla, jossa asuinrakennuksille vaadituksi ulkoilmavirraksi on ilmoitettu niin sanotuille puhtaille tiloille eli olo- ja makuuhuoneille $0,5 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$. Jos puhtaiden tilojen osuuden arvioidaan olevan 115 m^2 koko asunnon sisämittojen mukaan lasketusta huoneistopinta-alasta, niin koneellisen ilmavirran arvoksi saadaan $207 \text{ m}^3\text{/h}$. (Ympäristöministeriö 2007, osa D2, s. 21) Lämmitysenergian tarvetta selvitetessä otetaan huomioon myös lämpimän käyttöveden kulutus. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti tyyppirakennukselle valitaan asuinrakennukselle määritetty vuosittainen ominaiskulutus $600 \text{ dm}^3\text{/k-m}^2$ vuodessa, joten tässä tapauksessa saadaan kokonaiskulutukseksi $105 \text{ m}^3\text{/vuosi}$.

Rakennuksen lämmitystehon tarpeen laskeminen eroaa jonkin verran lämmitysenergian tarpeen laskemisesta. Laskennassa ei oteta huomioon sisäisiä lämmönlähteitä, koska niiden vaikutus on vähäinen. Myöskään auringon säteilylämpöä ja rakennuksen rakenteiden lämpökapasiteettia ei huomioida. Käyttöveden osuus lämmitystehosta lasketaan alueittain ottaen huomioon risteily. Dofenergia-ohjelman avulla saadaan laskettua ominaistehon tarve (W/K), joka muutetaan tehon tarpeeksi mitoituslämpötilojen avulla, jotka ovat Tampereen alueella $21 \text{ }^\circ\text{C}$ (sisälämpötila) ja $-29 \text{ }^\circ\text{C}$ (ulkolämpötila). (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 50)

5.3.2. Kerrostalon laskennan lähtötiedot

Kaavoitustiedoissa esitellyn asuinkerrostalon laskelmat suoritetaan yhdelle läpitalon huoneistolle ja laskelmien yhteydessä otetaan huomioon koko rakennuksen kerroslukumäärä. Huoneiston kerrospinta-ala on 80 m², asunnon sisäkorkeus 2,8 m ja asukasmäärä 1,70 asukasta. Lämmitettävä sisätilavuus on 200,03 m³ ja rakennustilavuus 260 m³. Taulukossa 5.13 on esitetty huoneiston vaipan osien pinta-alat ilmansuunnittain.

Taulukko 5.13 Kerrostaloasunnon vaipan osien pinta-alat ilmansuunnittain.

	Yläpohja m ²	Alapohja m ²	Seinä m ²	Ikkuna m ²	Ovi m ²
Pohjoinen			16,08	3,20	2,00
Etelä			12,88	6,40	2,00
Länsi					
Itä					
Yhteensä	71,44	71,44	28,96	9,60	4,00

Huoneiston ajatellaan olevan pohjois-etelä – suunnassa oleva läpitalon huoneisto. Länsi- ja itäseiniä ei huomioida, koska ne ovat sisäisiä huoneistojen välisiä seiniä ja lämpötilojen ajatellaan olevan samat kaikissa huoneistoissa. Kerrostaloasunnon ikkunoiden määräksi mitoitetaan erillispientalon tapaan 12 % kerrospinta-alasta.

Kerrostaloasunnon laskelmat tehtiin Suomen rakentamismääräyskokoelman määräystason mukaan. Erillispientalon tapaan sää- ja säteilytiedot määräytyivät D5:ssä ilmoitetun vyöhykke kahden mukaan. Sisätilojen osalta sisäisten lämpökuormien tehoksi asetettiin tässäkin tapauksessa 6 W/m² (Ympäristöministeriö 2007, osa D5). Lämpökapasiteetiksi rakennustilavuutta kohti saatiin osan D5 mukaan keskiraskasrakenteiselle asuinkerrostalolle 49 Wh/m³K. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteeksi valittiin tässäkin tapauksessa yksi ja koneelliseen ilmanvaihdon laskemisessa tarvittavaksi rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvuksi asuinkerrostalolle 50 Pa:n paine-erolla ja keskimääräisellä ilmanpitävyydellä 2,5 1/h (Ympäristöministeriö 2007, osa D5, s. 21). Lämmönläpäisykertoimet ovat seinien, ikkunoiden ja ovien kohdalla samat kuin erillispientalon tapauksessa, mutta ylä- ja alapohjan tapauksessa koko rakennuksen kerroslukumäärä otetaan huomioon siten, että lämmönläpäisykertoimien arvot jaetaan kolmella. Yläpohjan lämmönläpäisykerroin on silloin 0,053 W/m²K ja alapohjan 0,083 W/m²K. Lämpimän käyttöveden kulutus lasketaan erillispientalon tapaan ja kerrostaloasunnolle saadaan arvo 48 m³/vuosi. Kerrostaloasunnon ilmanvaihdon ajatellaan olevan koneellinen ja päällä koko ajan. Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on 30 %. Jos kerrostaloasunnon puhtaiden tilojen pinta-alan oletetaan olevan 50 m², niin osan D2 avulla suunnitelluksi koneelliseksi ilmapirraksi saadaan 90 m³/h (Ympäristöministeriö 2007, osa D2). Lämmitystehon tarve lasketaan samalla tavalla kuin erillispientalon tapauksessa.

5.3.3. Rivitalon laskennan lähtötiedot

Asuinrivitalo määritellään kaksikerroksiseksi. Yhden asunnon kerrospinta-ala on 95 m², huonekorkeus 2,80 m ja asukasmäärä 2,02. Lämmitettävä sisätilavuus on 238,34 m³ ja rakennustilavuus 299,25 m³. Kyseessä on pohjois-etelä -suunnassa oleva läpitalon huoneisto, jolloin ainoastaan päätyseinät huomioidaan. Taulukossa 5.14 on ilmoitettu huoneiston vaipan sisäosien pinta-alat ilmansuunnittain. Ikkunoiden pinta-ala on 12 % huoneiston kerrospinta-alasta.

Taulukko 5.14 Rivitaloasunnon vaipan osien pinta-alat ilmansuunnittain.

	Yläpohja m ²	Alapohja m ²	Seinä m ²	Ikkuna m ²	Ovi m ²
Pohjoinen			26,00	3,80	2,00
Etelä			22,00	7,60	2,00
Länsi					
Itä					
Yhteensä	42,56	42,56	48,00	11,40	4,00

Rivitalonkin tapauksessa sisäisten lämpökuormien tehoksi valittiin 6 W/m² (Ympäristöministeriö 2007, osa D5) ja sää- ja säteilytiedot otettiin D5:ssä esitetyn vyöhykkeen kaksi tiedoista. Lämpökapasiteetiksi rakennustilavuutta kohti valittiin osan D5 mukaan keskiraskasrakenteiselle pientalolle merkityt tiedot ja rivitaloasunnolle saatiin tulos 32 Wh/m³K. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteeksi valittiin edelleen yksi ja vaipan ilmanvuotoluvuksi valittiin D5:n mukaan keskimääräisellä ilmanpitävyydellä 3 1/h. Lämmönläpäisykertoimet ovat samat, kuin mitä erillispientalon osalta. Käytössä on koneellinen ilmanvaihto, joka on päällä koko ajan ja lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on 30 %. Rivitaloasunnon puhtaiden tilojen yhteispinta-alaksi arvioidaan noin 65 m², jolloin D2:n avulla suunnitelluksi koneelliseksi ilmapirraksi saadaan 117 m³/h (Ympäristöministeriö 2007, osa D2). Lämmitystehon tarve lasketaan samalla tavalla kuin esiteltiin erillispientalolle.

5.3.4. Laskennan tulokset

Laskennan tuloksena saadaan ominaislämmitysenergian ja -tehon tarpeet eri tyyppirakennuksille. Vertailun vuoksi kerros- ja rivitaloasunnoille lasketaan lämmitysenergian tarve myös siten, että huoneistot olivat itä-länsi- ja länsi-itä suunnassa. Etelä-pohjois-suunnassa olevalle kerrostaloasunnolle lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 114,5 kWh/k-m². Kahden muun laskelman tulokset olivat 115,4 kWh/k-m² (itä-länsi) ja 115,4 kWh/m² (länsi-itä). Koska kaikki rakennukset eivät kuitenkaan todennäköisesti tule olemaan samansuuntaisesti, myöhemmässä mitoituksessa lämmitysenergian tarpeelle käytetään näiden kolmen luvun keskiarvoa. Myös rivitalolle tehtiin vertailevia laskelmia ja tulokset ovat kerrostalon tuloksia

vastaavassa järjestyksessä 109,34 kWh/m², 111,5 kWh/m² ja 111,5 kWh/m². Rivitaloalueiden mitoituksessa käytetään vastaavasti näiden kolmen luvun keskiarvoa. Taulukossa 5.15 on ilmoitettu alueiden mitoituksessa käytettävät laskennan tuloksena saadut ominaislämmitysenergian ja -tehon tarpeet.

Taulukko 5.15 Tyypitalojen ominaislämmitysenergian ja -tehon tarpeet.

Rakennustyyppi	Erillispientalo	Kerrostalo	Rivitalo
Lämmitysenergian tarve (kWh/m ²)	130,4	115,1	111,0
Mitoituslämmitysteho (W/m ²)	53,3	40,6	46,6

Kerros- ja rivitalorakennuksen lämmitysenergian ja -tehon tarpeet ovat jonkin verran pienempiä kuin omakotitalon. Yksi syy on se, että laskennassa käsiteltiin kerros- ja rivitalojen osalta tyyppiasuntolina läpitalon huoneistoja, joissa oli kaksi seinää, joiden läpi ei tapahtunut lainkaan lämpöhäviöitä. Toinen syy on se, että laskennassa ei huomioitu erikseen yhteisten tilojen kuten rappukäytävien osuutta. Nämä ovat myös lämmitettyjä tiloja, joskaan niille ei vaadita samanlaisia lämpötiloja kuin asuinhuoneistoille. Asuinalueiden mitoituksessa erot tasaantuvat osittain, koska alueiden rakennusoikeudet sisältävät myös yhteiset tilat. Läpitalon huoneistot ovat joka tapauksessa parhaita kuvaamaan yleisimpiä kerros- ja rivitaloasuntoja.

5.4. Saatujen tulosten vertailu ja jatkomitoitusmenetelmän valinta

Tilastojen avulla saatujen ja uuden rakentamismääräyskokoelman mukaan laskettujen rakennusten ominaislämmitysenergioiden ja -tehojen tarpeet poikkeavat toisistaan merkittävästi. Tilastoista saadut suureet ovat kautta linjan suurempia kuin laskennalliset tulokset. Tätä voi selittää usealla tekijällä. Otannassa on hyvin erityyppisiä rakennuksia, jotka valittiin tarkasteluun vain tyyppin perusteella ja ne voivat osittain vääristää saatuja arvoja. Rakennustapa ja pinta-ala vaihtelivat huomattavasti. Esimerkkialueelle valmistuvat talot rakennetaan uusien tiukentuneiden rakennusmääräysten mukaisesti, joita käytettiin myös luvun 5.3 laskennassa. Merkittävää rakentamismääräyksissä on vaipan eristystiiviuden parantaminen ja poistoilman vähintään 30 %:n lämmön talteenotto, joka puuttuu tilastoista poimituista rakennuksista.

Koska uusille kaavoitusalueille tulevat talot rakennetaan voimassa olevien rakentamismääräysten puitteissa, myöhemmässä mitoituksessa on järkevää käyttää luvun 5.3 laskennan tuloksia. Myöhempiä tarkasteluja varten on hyvä määritellä myös osayleiskaavavaihtoehtoisissa esiintyvien tyyppirakennusten lämmitystekot ja -energiat. Kyseiset tyyppirakennukset on esitelty aiemmin luvussa 5.1.1 ja alla olevassa taulukossa 5.16 esitellään uudestaan rakennustyyppit täydennettynä lämmitystekon ja -

energian tarpeilla. Lämmitystehoissa ei ole mukana lämpimän käyttöveden tehon tarvetta. Lämpimän käyttöveden osuus otetaan mukaan alueiden mitoituksessa, jolloin huomioidaan asuntokohtainen risteily.

Taulukko 5.16 Osayleiskaavavaihtojen rakennustyyppien tietoja.

Rakennustyyppi (lyhenne)	Asuntojen lkm	Ala k-m ²	Kerrosluku- määrä	Lämmön tarve MWh	Tehon tarve kW
Asuinkerrostalo (AK, AK-1)	9	720	3	82,9	29,2
Keskustakerrostalo (C)	12	960	3	110	39,0
Rivitalo (AP, AP- 2)	5	475	2	52,7	22,1
Erillispientalo (AP- 1, AOM, AM, AT- 1, AT-2)	1	175	2	22,8	9,33
Työpaikkarakennus (PY, TP)		960	3	110	39,0

5.5. Osayleiskaavavaihtoehtojen lämmitystehtojen ja -energioiden tarpeet

Osayleiskaavavaihtoehtojen kokonaislämmitystehon ja -energian tarpeet voidaan määrittää laskettujen tyyppiasuntojen ominaiskulutusten avulla. Nurmi-Sorilan eri osayleiskaavavaihtoehtoista on laadittu karttakuvat, joissa alueet on jaettu talotyyppien mukaan. Karttakuvat alue-erittelyineen ja selityksineen ovat nähtävissä liitteessä 1. Osayleiskaavavaihtoehtojen karttakuvissa näkyy oikeassa alareunassa myös Tarastejärven alue, mutta sitä ei tarkastella tässä työssä.

Jokaisesta kaavoitusalueella esiintyvistä rakennustyyppistä tarvitaan alueiden lämmitystehtojen ja -energioiden laskemiseksi seuraavat tiedot:

- asukkaiden lukumäärä/asunto
- asuntojen lukumäärä/rakennus

Lisäksi jokaisen osayleiskaavavaihtoehdon eri alueista tarvitaan seuraavat tiedot:

- kaavamerkintä (rakennustyyppi)
- rakennusoikeus (k-m²)
- asukasmäärä

Näiden tietojen ja laskennallisesti määritettyjen tyyppiasuntojen ominaiskulutusten avulla saadaan laskettua jokaiselle osayleiskaavavaihtoehdolle paloittain lämmitystehon

ja -ergian tarpeet. Tämän jälkeen yhdistämällä alueet saadaan laskettua kaikille kolmelle osayleiskaavavaihtoehdolle kokonaislämmitystehon ja -energian tarpeet. Alueiden lämmitystehojen ja -energioiden laskeminen on esitetty vaiheittain taulukossa 5.17.

Taulukko 5.17 Osayleiskaavavaihtoehtojen rakennustyyppin mukaan jaoteltujen yksittäisten alueiden lämmitystehon ja -energian tarpeen laskeminen.

Kaavoitusalueelle asuinkerrostaloalueen ilman käyttövetä numeroidun tehontarve	Alueen rakennusoikeus (k-m ²) x kerrostalolle laskettu ominaislämmitysteho ilman käyttövetä
Alueen asuntojen lukumäärä	Alueen asukkaiden lukumäärä / rakennustyyppille annettu asukkaiden lukumäärä/asunto
Alueen käyttöveden tuntikeskiteho	Tuntikeskiteho kaavoilla (17) ja (18), kun N on alueen asuntojen lukumäärä
Koko alueen lämmitystehon tarve	Kaavoitusalueelle numeroidun asuinkerrostaloalueen tehon tarve ilman käyttövetä + Alueen käyttöveden tuntikeskiteho
Alueen lämmitysenergian tarve	Alueen rakennusoikeus (k-m ²) x kerrostalolle laskettu ominaislämmitysenergia

Taulukossa 5.18 on listattu eri osayleiskaavavaihtoehtojen kokonaistulokset. Luvuissa on mukana osayleiskaavavaihtoehdoissa esiintyvien julkisille palveluille ja hallinnolle merkittyjen alueiden lämmitystehon ja -energian tarpeet. Kyseiset alueet on laskettu tyyppikerrostalon ominaiskulutusten mukaan, mutta niissä ei ole mukana käyttöveden tehontarvetta. Tämä johtuu siitä, että toisaalta mitoitusteho on luultavasti hieman yläkanttiin ja toisaalta käyttöveden tehon tarve on huomattavasti pienempi kuin asuinrakennuksissa.

Taulukko 5.18 Osayleiskaavavaihtoehtojen kokonaislämmitystehon ja -energian tarpeet.

Osayleiskaavavaihtoehto	Lämmitysteho MW	Lämmitysenergia GWh
Kehäkaupunki	31,8	72,4
Järvikaupunki	37,0	85,1
Pientalokaupunki	34,9	77,8

Tässä taulukossa on laskettu koko alueiden energian- ja tehon tarpeet. Tarkastelussa ovat siis mukana myös maatilat. Kun osayleiskaavavaihtoehdoille mitoitetaan erilaisia verkkoratkaisuja, joitakin alueita jää tarkastelun ulkopuolelle, jolloin lämmitysenergia ja -tehon tarpeet muuttuvat hieman. Taulukosta huomataan, että Järvikaupunki-vaihtoehdossa on suurin kokonaislämmitystehon ja -ergian tarve. Toiseksi suurimmat arvot ovat Pientalokaupunki-vaihtoehdossa ja kolmanneksi suurimmat Kehäkaupunki-vaihtoehdossa. Lämmitystehon ja -energian kulutukseen tuovat oman lisänsä myös verkon putkistohäviöt, joita käsitellään työn myöhemmässä vaiheessa. Eri osayleiskaavavaihtoehtojen suunnitellut asukasmäärät ja

rakennusoikeudet eroavat jonkin verran toisistaan. Taulukossa 5.19 on esitetty asukas- ja kerrosalakohhtaisia lämmitystehon ja -energian tarpeita.

Taulukko 5.19 Eri osayleiskaavavaihtoehtojen lämmitysenergian ja -tehon tarpeet asukasmäärien ja kerrosalojen suhteen.

Ominaisuudet	Kehäkaupunki	Järvikaupunki	Pientalokaupunki
kW/k-m ²	0,051	0,051	0,054
MWh/k-m ²	0,12	0,12	0,12
kW/asukas	3,0	3,1	3,2
MWh/asukas	6,6	7,1	7,1

5.6. Tulevaisuuden muutoksia lämmitystehon ja -energian tarpeissa

Vuoden 2008 alussa voimaan tullut uusi rakennusten energiatodistus asettaa rakentamismääräyskokoelman ohella paineita rakennusten energian- ja tehon tarpeen pienentämiseen. Energiatodistus ilmoittaa rakennuksen kuluttaman vuosittaisen energian (kWh/k-m²) ja rakennus sijoitetaan tämän mukaan luokkaan A-G, missä A on vähän energiaa kuluttava ja G paljon energiaa kuluttava. Energiatodistus vaaditaan, kun rakennus tai sen osa otetaan käyttöön, myydään tai vuokrataan. Ennen lain voimaantuloa (1.1.2008) valmistuneille enintään kuuden asunnon taloille ja omakotitaloille todistus on vapaaehtoinen. Todistusta ei vaadita myöskään vapaa-ajan-asunnoille, teollisuusrakennuksille ja suojelukohteille (Ympäristöministeriö 2008). Energiatodistuksen seurauksena on se, että kuluttaja pääsee vertailemaan rakennusten energiatehokkuutta, ja tätä kautta energiaa paljon kuluttavat rakennukset eivät ole enää niin houkuttelevia ostopäätöksiä tehtäessä.

Jotkut asiantuntijat uskovat lämmitysenergian kulutuksen pienenevän juuri energiatodistuksen myötä. Keskeinen syy on se, että tietoisuus kuluttajien keskuudessa lisääntyy ja tämän takia rakentamisessa pyritään tekemään entistä energiatehokkaampia ratkaisuja. Professori Olli Seppänen Teknillisen korkeakoulun konetekniikan osastolta ei sinänsä usko energiatodistuksen vaikuttavan dramaattisesti energiankulutukseen. Asiantuntijat ovat kuitenkin yhtä mieltä siitä, että lämmitysenergian kulutus tulee pienenevän. Liitteessä 2 on esitetty Tampereen kaukolämmitettyjen talojen ominaiskulutus osittain ennusteena vuosina 1980–2020. Kuvaajasta huomataan, että lämmitysenergian kulutus on jo laskenut ja näyttäisi edelleen laskevan. Toisaalta rakennusten sähkön kulutus on kasvanut. Liitteen 2 kuvaajaan on merkitty myös erilaisia portaittaisia arvoja ominaiskulutuksille. Näitä selvitetään myöhemmin tämän luvun lopussa. Lämmitysenergian ja sähkön kulutuksen välillä näyttäisi olevan yhteys ja syitä voidaan arvioida. Muun muassa ilmalämpöpumppujen lisääntyvä käyttö tulee pienentämään kaukolämpöenergian tarvetta. Koneellinen ilmastointi lisää sähkön kulutusta. Lämmön talteenotolla varustettu ilmastointilaite pienentää lisäksi

lämmitysenergian kulutusta. Myös kodin lisääntyvät sähköiset laitteet osaltaan lisäävät sähkön kulutusta ja niistä talteen saatava hukkalämpö pienentää lämmitysenergian tarvetta. (Brunnilla 2007, haastattelu; Seppänen 2008, sähköpostihaastattelu)

Lämmitystehon tarpeen arvellaan myös pienenevän vaikkakin hillitymmin kuin lämmitysenergian tarpeen. Tehon tarve voi pienentyä eristysten paranemisen myötä. Ilmaston lämpeneminen voi aikanaan vaikuttaa mitoituslämpötiloihin ja tätä kautta tietysti myös lämmitystehon ja -energian tarpeeseen.

Ympäristöministeri Jan Vapaavuoren mukaan rakentamisen energiamääräyksiä kiristetään 30–40 % ja määräykset tulevat voimaan vuonna 2010 ja tämä vaikuttaa merkittävästi lämmitystehon ja -energian kulutukseen. Vapaavuoren mukaan tulevaisuudessa voitaisiin joissain tapauksissa jopa puuttua kuluttajan oikeuteen valita kiinteistönsä lämmitysmuoto. Käytännössä tämä tarkoittaa kaukolämmön edistämistä ja suoran sähkölämmityksen rajoittamista. Taustalla vaikuttaa vahvana EU:n energiatehokkuusvaatimus, mikä tarkoittaa energiankulutuksen pienentämistä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Tähän liittyy Suomen lupaus vähentää kasvihuonepäästöjään vuoden 1990 tasosta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Energiatehokkuusvaatimukseen liittyen on tavoitteena myös kasvattaa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian osuus 20 %:iin samassa ajassa. Suomelle on esitetty tätä osuutta nostettavaksi jopa 38,5 %:iin kokonaiskulutuksesta. Tällainen tavoite olisi kuitenkin todella haastava ja tilanne on vielä auki päätösten osalta. Tällä hetkellä Suomessa rakennusten kokonaisenergiankulutus on 40 % kaikesta energiankäytöstä ja 30 % kasvihuonepäästöistä. Rakennuksen lämmityksen osuus on puolestaan 23 % koko energiankulutuksesta. Rakennukset kuluttavat siis huomattavan osan kokonaisenergiasta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2007; Törmänen 2007; Ympäristöministeriö 2002)

Asiantuntijan arvion mukaan lämmitysenergian tarve voisi pienentyä jo lähivuosina jopa noin 15–20 % (Brunnilla 2007, haastattelu). Edellisissä kappaleissa esitettyjen tietojen valossa lämmöntarve voisi hieman pidemmällä aikavälillä pienentyä entisestään jopa 40 %. Herkkyystarkastelua varten kulutuksen pienenemiselle valitaan prosenttiosuudet 20 %, 30 % ja 40 %. Pienenemän prosenttiosuuksille asetetut portaat ovat arvioita, mutta niitä voidaan perustella joillakin seikoilla. Ensimmäinen porras 20 % perustuu EU:n energiatehokkuustavoitteeseen. Tavoite tulee luultavasti vaihtelevaan sektoreittain eri osa-alueilla, mutta koska rakennusten lämmitys kuluttaa ison osan kokonaisenergiasta, prosenttiosuutta voidaan soveltaa suoraan yhtenä herkkyystarkastelun portaana. Ympäristöministeri Jan Vapaavuoren esittelemät vuonna 2010 voimaan tulevat kiristyvät rakennusten energiamääräykset ja aiemmissa kappaleissa esitellyt tekijät kuten energiatodistus asettavat kaksi jälkimmäistä porrasta.

Lämmitystehon tarpeen suhteen arviot eivät ole niin yksiselitteisiä. Lämmitystehon tarve ei luultavasti pienene lämpimän käyttöveden osalta, ellei ilmasto lämpene huomattavasti. Käyttöveden osuus lämmitystehosta tuleekin luultavasti kasvamaan. Lämmitystehon tarpeen pieneneminen tapahtuu siis muuttuvasta osasta, joka koostuu johtumistehosta rakenteiden läpi, ilmanvaihdon lämmityksen vaatimasta

tehosta ja vuotoilman lämmityksen tarvitsemasta tehosta (Seppänen 2008). Lämmitystehon tarpeen muuttuvalle osalle voidaan herkkyytarkastelua varten vastaavasti arvioida pienenemisprosentit 20 %, 30 % ja 40 %. Silloin asutusalueen mitoituksessa otetaan samalla tavalla huomioon risteily käyttöveden kulutuksen kautta, jonka oletetaan muuttuvan vain asuntojen lukumäärän mukaan. Kulutuksen pienenemistä on todella vaikea arvioida. Käyttöveden lämmityksen osuus koko lämmitystehon tarpeesta on noin 25 %. Kerrostaloille se oli kaukolämmön asiakastilastojen mukaan noin 20 %, rivitaloille 25 %, ja omakotitaloille noin 30 %. Keskilukuna voidaan käyttää 25 %:a. Kun lämmitystehon tarpeen pieneneminen lasketaan muuttuvalle osalle mainituilla prosenttiosuuksilla, kokonaistehon tarpeelle voidaan arvioida pienenemäprosentit (15 %, 22,5 % ja 30 %). Taulukossa 5.20 on esitetty eri osayleiskaavavaihtoehtojen lämmitystehojen ja -energioiden pienenevät arvot. Näissä arvoissa ei ole mukana verkon lämpö- ja tehohäviöitä.

Taulukko 5.20 Lämmitysenergian ja -tehon tarpeen pienenemisen myötä arvioituja Nurmi-Sorilan osayleiskaavavaihtoehtojen kulutuksia.

	Järvikaupunki	Kehäkaupunki	Pientalokaupunki
Lämmitysenergian pienenemä	Lämmitysenergian tarve GWh		
20 %	68,1	57,9	62,2
30 %	59,6	50,7	54,5
40 %	51,1	43,4	46,7
Kokonaislämmitystehon pienenemä	Lämmitystehon tarve MW		
15 %	31,5	27,0	29,7
22,5 %	28,7	24,6	27,0
30 %	25,9	22,3	24,4

Liitteeseen 2 on merkitty Tampereen kaukolämmitettyjen talojen ominaiskulutuksen lisäksi Nurmi-Sorilan eri osayleiskaavavaihtoehtojen keskimääräinen ominaiskulutus. Suurinta ominaiskulutusta vastaava porras kuvaa tämän hetkistä rakentamismääräystasoa. Seuraavat portaavat kuvaavat lähtötilannetta, jossa rakennusten lämmöntarve on nykyistä määräystasoa alhaisempi. Pisteet on asetettu tiettyjen vuosien kohdalle, mutta koska lämmön tarpeen muutosta on vaikeaa ennustaa, vuodet ovat tässä tapauksessa sattumanvaraisia. Saadut Nurmi-Sorilan ominaiskulutukset ovat huomattavasti pienempiä kuin kaikkien Tampereen kaukolämmitettyjen rakennusten keskimääräiset arvot. Ero johtuu ensisijaisesti siitä, että suurinta osaa koko kaukolämmitetystä rakennuskannasta ei ole rakennettu uusien määräysten mukaan, vaan ne ovat vanhoja rakennuksia, joiden lämmöneristys ei ole niin hyvä. Tässä luvussa esiteltiin aiemmin perusteluja koko rakennuskannan ominaiskulutukselle piirretyn käyrän muodolle. Nurmi-Sorilan ominaiskulutukselle esitetyt mahdolliset ennusteet puoltavat sitä näkemystä, että uusien, vähemmän lämpöä tarvitsevien rakennusten myötä keskimääräinen rakennusten ominaiskulutus pienenee. Tätä kautta kaukolämmön myynnin kasvu hidastuu.

6. VERKON MITOITTAMINEN

Osayleiskaavavaihtoehdoille voidaan mitoittaa erilaisia verkkoja. Mitoittaminen on karkea, koska uusista alueista ei ole tarkkoja tietoja muun muassa rakennusten sijaintien suhteen. Mitoittamisen ja myöhemmin luvussa 7 tapahtuvan kustannusten laskemisen avulla saadaan tietoa siitä, minkälainen verkko on kannattava ja mitä vaihtoehtojen järjestelmien kustannukset saisivat olla. Mitoittamisen periaate on sama jokaisessa kahdeksassa verkkovaihtoehdossa.

Verkon piirtämisessä ja sen erilaisten suureiden laskemisessa käytetään apuna Xpower -nimistä ohjelmaa. Se tietojärjestelmä, jolla mallinnetaan kaukolämpöverkon rakenne. Xpowerin avulla saadaan lisäksi laskettua suunnitelmiin piirretyt putkimetrit tyypeittäin. Putkien lämpö- ja tehohäviöt saadaan laskettua eri putkityypeille määriteltujen ominaishäviöiden avulla. Mitoituksessa esiintyvät rakennustyypeille käytetään kategorioittain yleisnimityksiä, jotka vastaavat kaikkia samaan kategoriaan kuuluvia rakennuksia. Asuinkerrostalot ilmoitetaan lyhenteellä AK, keskustakerrostalot lyhenteellä C, rivitalot lyhenteellä AP, erillispientalot lyhenteellä AP-1 ja työpaikkarakennukset lyhenteellä PY.

Jokainen luvussa 6 mitoitettavasta kahdeksasta verkkovaihtoehdosta tarkastellaan omana alueverkkonaan. Jos alue päätetään liittää kaukolämpöön, olemassa olevasta kaukolämpöverkosta rakennetaan jokaisessa suunnitteluvaihtoehdossa siirtojohto Nurmi-Sorilan alueelle. Johto on täysin samanlainen kaikissa tapauksissa. Nurmi-Sorilan etäisyys olemassa olevasta verkosta on noin 4,7 km ja tämä on samalla tulevan siirtojohdon pituus. Siirtojohto rakennetaan putkesta, jonka tyyppi on DN200-2Mpuk ja tämä tulee myös siirtojohdon tyyppiä. Johto kulkee Aitolahdentietä myötäillen. Siirtojohdon häviöt ovat siis samat jokaisessa luvun 6 verkkovaihtoehdossa ja niitä käsitellään verkostolaskennan yhteenvedon yhteydessä alaluvussa 6.4

6.1. Kehäkaupunki – vaihtoehdon verkko

Kehäkaupunki – vaihtoehdolle määritetään tässä työssä kolme erilaista verkkovaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on sellainen, jossa lämmityksen piiriin kuuluvat pelkät kerrostalot. Toisessa vaihtoehdossa rivitalot ovat mukana kerrostalojen lisäksi. Kolmannessa vaihtoehdossa kaikki tarkasteltavalla osayleiskaava-alueella olevat rakennusalueet liitetään lämmityksen piiriin. Jokaisesta vaihtoehdosta jää pois joitakin alueita suurien etäisyyksien ja harvan rakennuskannan takia. Vaihtoehtojen yhteydessä ilmoitetaan lisäksi silloisen suunnittelun alueen lämmitystehon ja -energian tarve.

6.1.1. Pelkät kerrostalot

Kerrostaloalueet kattavaan verkkoon sisällytetään kaikki kerrostaloalueet yhtä pohjoisreunassa olevaa aluetta lukuun ottamatta. Aluetta ei ole järkevää sisältää tarkasteluun sen pienen lämmitystehon ja -energian tarpeen ja muihin kerrostaloalueisiin nähden kaukaisen sijainnin takia. Taulukossa 6.1 näkyy eri rakennusten määrä tyypeittäin. Taulukossa on lisäksi esitetty asukkaiden lukumäärä ja lämmön- ja tehontarve.

Taulukko 6.1 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun pelkät kerrostalot kattavan verkkoalueen rakennusten lukumäärä ja asukasmäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
AK	119	1822	9,85	4,06
C	40	811	4,39	1,82
yht.	159	2633	14,2	5,88

Kaikkien osayleiskaavavaihtoehtojen ja jokaisen suunnitellun verkon kohdalla verkko rakentuu samoista elementeistä. Verkon osia ovat suuret runkojohdot, asuinalueille menevät jakojohdot ja rakennuksiin menevät talojohdot, jotka koostuvat jakojohdosta tontin rajalle menevästä osuudesta sekä tontilla rakennukseen menevästä osuudesta. Putkien lämpö- ja tehohäviöt voidaan määrittää johtotyyppin mukaan. Eri putkille on määritetty keskimääräinen ominaislämpöhäviö ja ominaistehohäviö, kun verkoston mitoituslämpötilat ovat 120 °C/79 °C. Putkien häviöiden laskenta tapahtuu näiden suureiden perusteella. Ne on esitetty taulukossa 6.2. Mitoitetun lämpöverkon putkimetrit näkyvät taulukossa 6.3. Taulukossa on esitetty myös putken tyyppi sekä johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Taulukko 6.2 Putkien ominaisteho- ja ominaislämpöhäviöt tyypeittäin.

Putkityyppi 2Mpuk	Lämpöhäviö kWh/m, a	Häviöteho W/m
DN25	149	17,0
DN40	177	20,1
DN50	198	22,5
DN65	235	26,8
DN80	243	27,7
DN100	254	28,9
DN125	296	33,7
DN150	354	40,3
DN200	387	44,1

Taulukko 6.3 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun pelkät kerrostalot kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppijä kohti ja johtojen vuosittaiset lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot 2Mpuk	AK m	C m	yht. m	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN40	1190	596	1786	0,316	0,0359
Jakojohdot					
DN40	389		389	0,689	0,00782
DN50	162	131	293	0,580	0,00695
DN100	607	257	864	0,219	0,0250
Runkojohdot					
DN125			940	0,278	0,0317
DN150			551	0,195	0,0222
yht.			4823	2,28	0,130

Talojohtojen pituudet on arvioitu Miikka Kankaan diplomityönä laatiman sovelluksen avulla, jossa kerrostalon yhteenlaskettu keskimääräinen talojohdon pituus on 30 m. Tyypiksi määritellään DN40-2Mpuk. Alueelle suunniteltujen korttelikaaviohahmotelmien perusteella tässä työssä oletetaan, että kolme tyypin AK ja AK-1 kerrostalot on liitetty jakojohdooton yhteisellä talojohdolla. Tyypin C kerrostalot puolestaan yhdistetään jakojohdooton siten, että kaksi rakennusta liitetään yhdellä talojohdolla. Muut johtotyypit on mitoitettu johtotyypin tehonsiirtokyvyn mukaan. Kullekin asuinalueelle on määritelty lämmitystehon tarve risteily huomioiden. Tämän mukaan pystytään määrittämään jakojohdooton koot. Runkojohdooton koot määräytyvät vastaavasti niiden reitin varrella olevien alueiden tehontarpeiden summana.

6.1.2. Kerros- ja rivitalot

Tähän verkkovaihtoehtoon sisällytetään kaikki muut Kehäkaupunki – vaihtoehtoon asuin- ja asuinrivi-alueet yhtä, muista alueista etäällä olevaa rivitaloaluetta lukuun ottamatta. Taulukossa 6.4 näkyy rakennusten lukumäärä rakennustyyppittain sekä alueen lämmön- ja tehontarve. Alueelle tulevat putkimetrit, putkityypit ja lämpö- ja tehohäviöt näkyvät taulukossa 6.5.

Taulukko 6.4 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun pelkät kerros- ja rivitalot kattavan verkkoalueen rakennusten lukumäärä ja asukasmäärä tyyppittain sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
AK	119	1822	9,85	4,06
C	66	1341	7,26	3,00
AP	610	6228	32,5	15,3
yht.	795	9391	49,6	22,4

Taulukko 6.5 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun kerros- ja rivitalot kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppijä kohti ja johtojen vuosittaiset lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot (2Mpuk)	AK m	C m	AP m	yht. m	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN40	1200	990	5083	7273	1,29	0,146
Jakojohdot						
DN40	389			389	0,0689	0,00782
DN50	162	131		293	0,0580	0,00695
DN65			673	673	0,158	0,0180
DN80			380	380	0,0923	0,0105
DN100	607	524	1662	2793	0,709	0,0807
DN125			640	640	0,189	0,0216
DN150			1003	1003	0,355	0,0404
Runkojohdot						
DN125				735	0,218	0,0248
DN150				895	0,317	0,0361
DN200				3153	1,22	0,139
yht.				18227	4,68	0,532

Mitoitus on tehty samalla periaatteella kuin pelkät kerrostaloalueet kattavan verkon tapauksessa. Rivitalon talojohdotyypiksi on määritetty DN40-2Mpuk. Talojohdon pituus on keskimäärin yhteensä 25 m. Jakojohdosta tontin rajalle menevän johdon pituus on tästä 10 m ja loppu 15 m. Työssä oletetaan, että kolme rivitalorakennusta on liitetty jakojohdoon yhteisellä talojohdolla.

6.1.3. Koko alue

Kattavimpaan verkkoon sisällytetään kaikki alueet pois lukien yksi syrjässä oleva alue (PY) sekä maatilat (AM). Tämä voidaan perusteella sillä, että maatila-alueet ovat erittäin harvaan rakennettuja ja näin ollen kaukolämmön näkökulmasta siirtohäviöt kasvaisivat liian suuriksi. Pois luettu PY on myös syrjässä muista rakennetuista alueesta ja sen lämmitystehon ja -energian tarve on suhteellisen pieni. Siirtohäviöt tulisivat tässäkin tapauksessa kohtuuttoman suuriksi. Rakennusten lukumäärä tyypeittäin näkyy taulukossa 6.6.

Taulukko 6.6 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun koko alueen kattavan verkon rakennusten lukumäärä ja asukasmäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh)	Tehontarve MW
AK	119	1822	9,85	4,06
C	66	1341	7,26	3,00
AP	624	6370	33,2	15,6
AP-1	437	1370	11,6	5,19
PY	81	0	8,91	3,14
yht.	1327	10903	70,8	31,0

Julkisen palvelun- ja hallinnon alueilla PY oleva rakennusten lukumäärä on määritetty kerrostaloasumisen tyyppin C mukaan. Tehontarpeessa ei ole huomioitu käyttöveden tehontarvetta. Tämä perustellaan sillä, että luultavasti PY-alueiden tehontarve on hieman yläkanttiin mitoitettu kerrostalojen perusteella. Lisäksi käyttöveden tehontarvetta on erittäin vaikea arvioida, koska rakennusten toiminnoista ei ole tarkkoja tietoja. Taulukossa 6.7 näkyvät alueelle tulevat putkimetrit ja johtotyypit.

Taulukko 6.7 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppijä kohti.

Talojohdot 2Mpuk	AK m	C m	AP m	AP-1 m	PY m	yht. m
DN25				5675		5675
DN40	1200	990	5200		810	8200
Jakojohdot						
DN40	389			162		551
DN50	162	131				293
DN65			770		271	1041
DN80			380	573	158	1111
DN100	607	524	1662	1578		4371
DN125			640			640
DN150			1003			1003
Runkojohdot						
DN100						1980
DN150						2073
DN200						3562
yht.						30500

Omakotitalon talojohtotyyppiksi on määritetty DN25-2Mpuk. Talojohdon keskimääräinen pituus on yhteensä 13 m. Jakojohdosta tontin rajalle menevän johdon pituus on tästä 5 m ja loppu 8 m. Lämpö ja tehohäviöt on esitetty taulukossa 6.8.

Taulukko 6.8 Kehäkaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon putkien lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot	Lämpöhäviö	Tehohäviö
2Mpuk	GWh/a	MW
DN25	0,846	0,0964
DN40	1,45	0,165
Jakojohdot		
DN40	0,0975	0,0111
DN50	0,0580	0,00659
DN65	0,245	0,0279
DN80	0,270	0,0308
DN100	1,11	0,126
DN125	0,189	0,0216
DN150	0,355	0,0404
Runkojohdot		
DN100	0,503	0,0572
DN150	0,734	0,0835
DN200	1,38	0,157
yht.	7,24	0,823

Julkisen hallinnon ja palvelun alueiden talojohdon lämpö- ja tehohäviöt lasketaan kerrostalojen tietojen avulla. Kyseisistä alueista ei ole olemassa tietoja muun muassa rakennusten lukumäärän suhteen, joten rakennukset oletetaan tyyppikeskustakerrostalojen kokoisiksi. Kunkin PY-alueen rakennusten lukumäärä ja tätä kautta talojohdon lukumäärä saadaan jakamalla rakennusoikeus(k-m²) tyyppikeskustakerrostalon kerrosneliömetreillä.

6.2. Järvikaupunki – vaihtoehdon verkko

Kehäkaupunki – vaihtoehdon tapaan myös Järvikaupunki – vaihtoehdolle mitoitetaan kolme erilaista verkkoratkaisua, joista ensimmäinen kattaa pelkät asuinkerrostaloalueet. Toinen vaihtoehto sisältää lisäksi asuinrivitaloalueet ja kolmas vaihtoehto kaikki alueet. Maatilat on jätetty tarkastelun ulkopuolelle niiden suurten etäisyyksien ja harvan sijoittelun takia.

6.2.1. Pelkät kerrostalot

Kerrostalovaihtoehdossa kaikki liitteeseen 1 merkityt asuinkerrostaloalueet kuuluvat verkon piiriin. Taulukossa 6.9 näkyy rakennusten lukumäärä tyypeittäin. Taulukossa 6.10 näkyvät alueelle tulevat johtotyypit ja putkimetrit sekä johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Taulukko 6.9 Järvikaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun kerrostalot kattavan verkkoalueen asukasmäärä ja rakennusten lukumäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehon tarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
AK	125	1907	10,3	4,27
C	85	1740	9,41	3,91
yht.	210	3647	19,7	8,18

Taulukko 6.10 Järvikaupunki-vaihtoehdolle mitoitettujen pelkät kerrostalot kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppien kohti ja johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot 2Mpuk	AK m	C m	yht. m	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN40	1260	1290	2550	0,451	0,0513
Jakojohtot					
DN50	75	217	292	0,0578	0,00657
DN65		269	269	0,0632	0,00721
DN100	937	754	1691	0,430	0,0489
Runkojohdot					
DN80			1397	0,339	0,0387
DN200			1646	0,637	0,0726
yht.			7845	1,98	0,225

Mitoitus on tehty samalla periaatteella kuin Kehäkaupunki – vaihtoehdossa.

6.2.2. Kerros- ja rivitalot

Kerros- ja rivitalovaihtoehdossa liitteen 1 asuinkerros- ja asuinrivitalot kuuluvat lämpöverkon piiriin. Taulukossa 6.11 on eriteltynä rakennusten lukumäärä tyypeittäin. Johtotyytit ja putkimetrit sekä verkon lämpö- ja tehohäviöt näkyvät taulukossa 6.12.

Taulukko 6.11 Järvikaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun kerros- ja rivitalot kattavan verkkoalueen asukasmäärä ja rakennusten lukumäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehon tarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
AK	125	1907	10,3	4,27
C	85	1740	9,41	3,91
AP	565	5770	30,1	14,2
yht.	775	9417	49,8	22,4

Taulukko 6.12 Järvikaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun kerros- ja rivitalot kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppinä kohti ja johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot (2Mpuk)	AK m	C m	AP m	yht. m	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN40	1260	1290	4700	7250	1,28	0,146
Jakojohdot						
DN40			75	75	0,0133	0,00151
DN50	75	217		292	0,0578	0,00657
DN65		269	593	862	0,203	0,0231
DN80			356	356	0,0865	0,00986
DN100	937	754	1528	3219	0,818	0,0930
DN125			1181	1181	0,350	0,0398
Runkojohdot						
DN100				915	0,232	0,0264
DN150				2383	0,844	0,0960
DN200				2783	1,08	0,123
yht.				19316	4,96	0,565

6.2.3. Koko alue

Koko Järvikaupunki-vaihtoehdon kattavaan lämpöverkkoon sisältyvät kaikki alueet lukuun ottamatta yhtä julkisen palvelun ja hallinnon aluetta (PY) ja maatiloja (AM) Syynä ovat jälleen pitkät etäisyydet ja tätä kautta suuret siirtohäviöt. taulukossa 6.13 on esitetty rakennusten lukumäärä tyypeittäin. Johtotyypit ja putkimetrit näkyvät taulukossa 6.14 ja taulukossa 6.15 näkyvät johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Taulukko 6.13 Järvikaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun koko alueen kattavan verkkovaihtoehdon asukasmäärä ja rakennusten lukumäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
AK-1	125	1907	10,3	4,27
C	85	1740	9,41	3,91
AP	565	5770	30,1	14,2
AP-1	843	2399	20,4	9,14
PY	123	0	13,5	4,78
yht.	1741	11816	83,7	36,3

Taulukko 6.14 Järvikaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppijä kohti.

Talo- johdot 2Mpuk	AK m	C m	AP m	AP-1 m	PY m	yht. m
DN25				10956		10956
DN40	1260	1290	4700		1230	8480
Jako- johdot						
DN25				128		128
DN40				391	55	446
DN50	75	217	400	406	151	1249
DN65		269	318	1509		2096
DN80				1778	380	2158
DN100	937	254	1528	786	811	4316
DN125			1181			1181
Runko- johdot						
DN80						497
DN125						3980
DN150						1327
DN200						5993
yht.						42807

Taulukko 6.15 Järvikaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon putkien lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot 2Mpuk	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN25	1,63	0,186
DN40	1,50	0,170
Jakojohdot		
DN25	0,0191	0,00218
DN40	0,0789	0,00897
DN50	0,247	0,0281
DN65	0,493	0,0561
DN80	0,524	0,0598
DN100	1,10	0,125
DN125	0,350	0,0398
Runkojohdot		
DN80	0,121	0,0138
DN125	1,18	0,134
DN150	0,470	0,0535
DN200	2,32	0,264
yht.	10,08	1,143

6.3. Pientalokaupunki – vaihtoehdon verkko

Pientalokaupunki – vaihtoehdolle laaditaan vain kaksi erilaista verkkovaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa verkko kattaa alueen asuinkerros- ja asuinrivitalot. Toisessa vaihtoehdossa verkko kattaa kaikki alueet yksi julkisen palvelun- ja hallinnon alue (PY) ja maatilat (AM) pois lukien. Vaihtoehtoon on kaavoitettu niin vähän kerrostaloasumista, että pelkät kerrostalot kattava lämpöverkko olisi tehoton. Mitoitus tapahtuu seuraavissa kahdessa alaluvussa esitetyissä vaihtoehdoissa kuten aiempienkin vaihtoehtojen kohdalla.

6.3.1. Kerros- ja rivitalot

Kerros- ja rivitalovaihtoehdossa lämpöverkko kattaa kaikki Pientalokaupunki-vaihtoehdossa liitteeseen 1 merkityt asuinkerros- ja asuinrivitaloalueet. Taulukossa 6.16 on esitetty rakennusten lukumäärä tyypeittäin. Verkon putkityypit ja johtometrit sekä lämpö- ja tehohäviöt on merkitty taulukkoon 6.17.

Taulukko 6.16 Pientalokaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun kerros- ja rivitalot kattavan verkkoalueen asukasmäärä ja rakennusten tyypeittäin sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
C	55	1118	6,05	2,59
AP	568	5802	30,3	14,4
yht.	623	6920	36,4	17,0

Taulukko 6.17 Pientalokaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun kerros- ja rivitalot kattavan verkon johtometrit malleittain eri rakennustyyppinä kohti ja johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot 2Mpuk	C m	AP m	yht. m	Lämpöhäviö GWh	Tehohäviö MW
DN40	840	4725	5565	0,985	0,112
Jakojohdot					
DN40	114		114	0,0202	0,00229
DN50		429	429	0,0849	0,00965
DN65	273	303	576	0,135	0,0154
DN80	637	983	1620	0,394	0,0449
DN100		1246	1246	0,316	0,0360
DN125		442	442	0,131	0,0149
DN150		680	680	0,241	0,0274
Runkojohdot					
DN65			359	0,0844	0,00962
DN150			257	0,0910	0,0104
DN200			3427	1,33	0,151
yht.			14715	3,81	0,434

6.3.2. Koko alue

Koko Pientalokaupunki-vaihtoehdon kattavaan verkkoon kuuluvat kaikki alueet lukuun ottamatta maatiloja (AM) ja yhtä julkisen palvelun- ja hallinnon aluetta (PY). Taulukossa 6.18 on eritelty rakennusten lukumäärä tyypeittäin. Alueen johtotyypit ja putkimetrit on esitetty taulukossa 6.19 ja taulukossa 6.20 on esitetty johtojen lämpö- ja tehohäviöt.

Taulukko 6.18 Pientalokaupunki-vaihtoehdolle suunnitellun koko alueen kattavan verkon asukasmäärä ja rakennusten lukumäärä tyypeittäin sekä lämmön- ja tehontarve.

Rakennustyyppi	Lukumäärä	Asukkaita	Lämmöntarve GWh	Tehontarve MW
C	55	1118	6,05	2,59
AP	568	5802	30,3	14,4
AP-1	1260	3808	23,3	14,4
PY	60	0	6,58	2,32
yht.	1943	10728	75,2	33,7

Taulukko 6.19 Pientalokaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon johtometrit tyypeittäin eri rakennustyyppinä kohti.

Talojohdot 2Mpuk	C m	AP m	AP-1 m	PY m	yht. m
DN25			16385		16385
DN40	840	4725		600	6165
Jakojohdot					
DN40	114				114
DN50		299	893		1192
DN65	273	303	2332	467	3375
DN80	637	983		243	1863
DN100		511	3528		4039
DN125		1247			1247
DN150		680			680
Runkojohdot					
DN65					943
DN125					1120
DN150					2407
DN200					5322
yht.					44852

Taulukko 6.20 Pientalokaupunki-vaihtoehdolle mitoitettun koko alueen kattavan verkon putkien lämpö- ja tehohäviöt.

Talojohdot 2Mpuk	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN25	2,44	0,279
DN40	1,09	0,124
Jakojohdot		
DN40	0,0202	0,00229
DN50	0,236	0,0268
DN65	0,793	0,0905
DN80	0,453	0,0516
DN100	1,03	0,117
DN125	0,369	0,0420
DN150	0,241	0,0274
Runkojohdot		
DN65	0,222	0,0253
DN125	0,332	0,0377
DN150	0,852	0,0970
DN200	2,06	0,235
yht.	10,18	1,153

6.4. Verkostolaskennan yhteenveto

Mitoitetuista verkkovaihtoehtoista voidaan esittää joitakin tunnuslukuja, jotka helpottavat vaihtoehtojen vertaamista toisiinsa. Taulukossa 6.21 on esitetty tunnuslukuja Kehäkaupunki-vaihtoehdon eri verkkosuunnitelmille.

Taulukko 6.21 Kehäkaupunki-vaihtoehdon eri verkkosuunnitelmien tunnuslukuja.

Tunnusluvut	Kerrostalot	Kerros- ja rivitalot	Koko alue
lämpöhäviö	0,138	0,086	0,093
verkon hyötysuhde (myynti/hankinta)	0,862	0,914	0,907
lämpöhäviö/johtometri(kWh/m)	473	257	237
myynti/johtometri(MWh/m)	2,94	2,72	2,32
lämpöhäviö/asukas(MWh/asukas)	0,866	0,498	0,664
lämpöhäviö/rakennus(MWh/rakennus)	14,3	5,89	5,46
lämmöntarve/asukas(MWh/asukas)	5,39	5,28	6,49

Taulukosta voidaan päätellä joitakin asioita. Häviöiden suhteen kerrostalot kattava verkkovaihtoehto vaikuttaa epäedullisimmalta. Verkon häviöiden osuus on 0,138. Koko alueen kattavassa verkossa ovat mukana myös julkisen palvelun- ja hallinnon alueet. Tämä vaikuttaa joihinkin arvoihin. Voidaan olettaa, kyseisillä alueilla on vaikutusta esimerkiksi asukaskohtaiseen lämmöntarpeeseen, joka on koko alueen kattavassa vaihtoehdossa huomattavasti suurempi kuin kahdessa aiemmassa. Toki omakotitalojen sisällyttäminen alueeseen myös kasvattaa lukua omalta osaltaan. Taulukossa 6.22 on esitetty vastaavat tunnusluvut Järvikaupunki-vaihtoehdon eri verkkosuunnitelmille.

Taulukko 6.22 Järvikaupunki-vaihtoehdon eri verkkosuunnitelmien tunnuslukuja.

Tunnusluvut	Kerrostalot	Kerros- ja rivitalot	Koko alue
lämpöhäviö- %	0,091	0,091	0,107
verkon hyötysuhde(myynti/hankinta)	0,909	0,909	0,893
lämpöhäviö/johtometri(kWh/m)	252	257	235
myynti/johtometri(MWh/m)	2,51	2,58	1,96
lämpöhäviö/asukas(MWh/asukas)	0,543	0,527	0,853
lämpöhäviö/rakennus(MWh/rakennus)	9,43	6,40	5,79
lämmöntarve/asukas(MWh/asukas)	5,40	5,29	7,08

Koko alueen kattava verkko näyttäisi tässä tapauksessa lämpöhäviön perusteella epäedullisimmalta vaihtoehdolta. Kerros- ja rivitalot kattava vaihtoehto vaikuttaa lämpöhäviön ja verkon hyötysuhteen valossa parhaalta vaihtoehdolta. Viimeisenä tarkastellaan Pientalokaupunki-vaihtoehdon vastaavia tunnuslukuja taulukossa 6.23.

Taulukko 6.23 Pientalokaupunki-vaihtoehdon eri verkkosuunnitelmien tunnuslukuja.

Tunnusluvut	Kerros- ja rivitalot	Koko alue
lämpöhäviö	0,095	0,119
verkon hyötysuhde(myynti/hankinta)	0,905	0,881
lämpöhäviö/johtometri(kWh/m)	259	227
myynti/johtometri(MWh/m)	2,47	1,68
lämpöhäviö/asukas(MWh/asukas)	0,551	0,949
lämpöhäviö/rakennus(MWh/rakennus)	6,12	5,24
lämmöntarve/asukas(MWh/asukas)	5,26	7,01

Pientalokaupungille ei mitoitettu lainkaan pelkästään asuinkerrostalot kattavaa verkkovaihtoehtoa, koska tämä olisi ollut tehoton vähäisten kerrostaloasuntojen ja suurten siirtoetäisyyksien takia. Lämpöhäviö on Pientalokaupunkivaihtoehdon molemmissa verkkosuunnitelmissa suurempi, kuin kahden muun osayleiskaavavaihtoehdon vastaavat. Lisäksi verkon hyötysuhde on huonompi. Tässä kappaleessa esitettyjen tunnuslukujen valossa näyttäisi siltä, että pientalovaltainen kaavavaihtoehto olisi huonoin keskitetyn lämmityksen kannalta.

Edellisissä luvuissa 6.1-6.3 esitellyt verkkovaihtoehdot käsiteltiin omina alueverkkoinaan. Jos Nurmi-Sorilan alue päätetään liittää kaukolämpöön, olemassa olevasta kaukolämpöverkosta rakennetaan siirtojohto alueelle. Siirtojohto on samanlainen jokaisessa vaihtoehdossa ja sen tiedot näkyvät taulukossa 6.24. Taulukkoon on myös merkitty, siirtojohdon sisältävä kaukolämpöratkaisu vaikuttaa lämpöhäviöihin.

Taulukko 6.24 Kaukolämpöratkaisussa Nurmi-Sorilan alueelle rakennettavan siirtojohdon ominaisuudet sekä eri verkkovaihtojen lämpöhäviöt.

Johtotyyppi	Pituus m	Lämpöhäviö GWh/a	Tehohäviö MW
DN200-2Mpuk	4700	1,82	0,207
Kokonaislämpöhäviö siirtojohdon vaikutus huomioiden			
	Kerrostaloalueen verkko	Kerros- ja rivitalot kattava verkko	Koko alueen verkko
Kehäkaupunki	0,224	0,116	0,113
Järvikaupunki	0,162	0,120	0,124
Pientalokaupunki		0,134	0,138

Pelkät kerrostalot kattava verkko vaikuttaa näiden lukujen perusteella kannattamattomalta, koska häviöiden osuus kasvaa huomattavan suureksi. Tässä luvussa esitettyjen tunnuslukujen avulla ei kuitenkaan voida suoraan määrittää eri verkkovaihtoehtojen paremmuusjärjestystä, vaan kannattavuuden tarkastelussa vaikuttavat muutkin tekijät, kuten investointien suuruus ja asiakkailta saatavat maksut. Näitä tekijöitä käsitellään seuraavassa luvussa 7.

7. KUSTANNUSLASKENTA

Tässä luvussa lasketaan Nurmi-Sorilan eri osayleiskaavavaihtoehtojen verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset. Verkon rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia voidaan arvioida, kun tiedetään alueen eri putkityypit, -pituudet ja rakennettava maaperä. Verkon mitoittaminen on ollut karkea ja kustannukset ovat asiantuntijoiden avulla laadittuja arvioita. Materiaalien ja toteuttamisen yksikköhinnat perustuvat Tampereen Sähkölaitoksen hinta-arvioihin.

Luvun lopussa vertaillaan keskenään alueita ja niille muodostettuja erilaisia verkkovaihtoehtoja. Alueille muodostetaan kustannusten rajahintoja kaukolämmön kannattavuuden tarkastelun välineiksi ja sallittuja hankintahintoja vaihtoehtoisille keskitetyille ratkaisuille. Lisäksi tarkastellaan sitä, miten mahdollinen kulutuksen pieneneminen vaikuttaa esimerkkialueisiin.

7.1. Verkon kustannukset

Eri verkkovaihtoehtojen lasketaan kokonaisinvestoinnit. Lämpöverkosta aiheutuvat kustannukset koostuvat rakennusteknisistä töistä, putkitöistä materiaaleineen, eristystöistä materiaaleineen ja suunnittelu ym. töistä. Laskenta perustuu pitkälti rakennuttamisen ammattilaisten arvioihin. Virhemarginaalien pienentämiseksi jokaiselle verkkosuunnitelmalle lasketaan kaksi eri kokonaisinvestointiarviota, joista toinen on perusvaihtoehto ja toinen haastavan ympäristön vaihtoehto. Todelliset kustannukset asettuvat todennäköisesti näiden kahden vaihtoehtojen välille.

7.1.1. Perusvaihtoehto

Tässä laskentatavassa laskenta suoritetaan erikseen runkojohdoille, jakojohdoille ja talojohdoille. Kaikkien osayleiskaavavaihtoehtojen tapauksessa käytetään samoja laskennan periaatteita ja laskennan osa-alueilla on käytössä tietyt oletukset. Laskennassa oletetaan, että mitään ylimääräisiä kustannuksia ei aiheudu.

Runkojohdojen aiheuttamat kustannukset lasketaan 300 m osissa ja johtotyyppinä on jakojohdo + yhdysventtiili. Runkolinjat kulkevat suurimmaksi osaksi tielinjoja pitkin eri osayleiskaavavaihtoehtojen alueilla. Kun kyseessä on uusi kaavoitettu tielinja, pintamateriaalin oletetaan olevan sora koko 300 m matkalla ja kaivumenetelmä

on maankaivu. Jos johtolinja myötäilee olemassa olevaa säilytettävää tietä, kaivumenetelmän oletetaan olevan sama, mutta pintamateriaaliksi määritellään asfaltti. Jokaisella 300 m osalla oletetaan olevan siltajärjestelyjä.

Jakojohtojen aiheuttamat kustannukset lasketaan erikseen jokaiselle runkolinjasta rakennusalueelle haaroittuvalle jakojohdolle. Jakojohtojen arvioidaan olevan suoria, koska niiden muotoa on hyvin vaikea arvioida tässä vaiheessa. Pituudet on arvioitu myös Xpower -ohjelman avulla alueen koon mukaan. Haaroitustapa on haaroitus poraamalla runkolinjasta ja johtotyyppi on jakojohdo+yhdyssventtiili. Suunnitteluun kuluva työaika ja tätä kautta suunnittelun kustannukset arvioidaan kunkin jakojohdon pituuden mukaan. Kullekin johto-osalle arvioidaan samat liikenteen siltajärjestelyt kuin runkolinjojen tapauksessa. Pintamateriaaliksi määritetään sora koko matkalle ja vastaavasti kaivumenetelmäksi maankaivu.

Talojohtojen aiheuttamia kustannuksia arvioitaessa voidaan laskea hinta putkipituutta kohti kullekin aiemmissa kappaleissa esitellylle talojohtotyyppille. Tämän perusteella saadaan talojohtojen yhteiskustannukset. Omakotitalon talojohdon aiheuttamia kustannuksia määritettäessä pintamateriaalin oletetaan olevan sora ja kaivumenetelmän maankaivu koko matkalta. Kyseessä on uudiskohde ja haaroitus tapahtuu poraamalla jakojohdosta. Lisäksi tarvitaan yksi kevyen liikenteen ajosilta (pituus 2,4 m), ja suunnitteluun varataan aikaa 1 h. Mittauskeskuksen vesivirran oletetaan olevan välillä 0,0–2,0 m³/h. Rivitaloille, kerrostaloille ja muille rakennuksille yhteisiä lähtötietoja ovat yksi raskaan liikenteen ajosilta 3,6 m yhtä johtoa kohti ja se, että ne ovat uudiskohteita. Lisäksi niillä oletetaan olevan sama pintamateriaali, kaivumenetelmä, haaroitustapa ja suunnittelu-aika kuin omakotitalon talojohdolla. Kolmelle viimeiselle vaihtoehdolle mittauskeskuksen vesivirraksi määritellään 2,8–6,0 m³/h. Johtotyypit ja pituudet eriävät ja ne on esitetty aiemmin luvuissa 6.1–6.3.

Siirtojohto olemassa olevasta kaukolämpöverkosta Nurmi-Sorilaan on täysin samanlainen jokaisessa suunnitteluvaihtoehdossa. Johto kulkee Aitolahdentien vieressä ja sen pituus on noin 4,70 km. Komponentit ovat samat kuin muillakin johdoilla. Investointeja lisäävät kuitenkin jonkin verran muun muassa lukuisat sillat ja arvioidut lisätyöt. Kaukolämmön asiantuntijat ovat arvioineet investoinnin kyseiselle johto-osalle. Seuraavissa kolmessa taulukossa on eritelty eri verkkovaihtojen kokonaisinvestoinnit. Taulukoissa on mukana siirtojohdon aiheuttama kustannus. Taulukossa 7.1 näkyvät Kehäkaupunki – vaihtoehdolle suunniteltujen kolmen eri verkkovaihtoehdon hinnat. Taulukossa 7.2 näkyvät vastaavat tiedot Järvikaupunki – vaihtoehdolle.

Taulukko 7.1 Kehäkaupunki – vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset perusvaihtoehdossa.

	Kerrostalot milj. EUR	Kerros- ja rivitalot milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	0,30	1,20	1,73
Jakojohdot	0,20	0,93	1,28
Talojohdot	0,32	1,39	3,12
Siirtojohto	1,91	1,91	1,91
Yht.	2,73	5,43	8,04

Taulukko 7.2 Järvikaupunki – vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset perusvaihtoehdossa.

	Kerrostalot milj. EUR	Kerros- ja rivitalot milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	0,62	1,32	2,71
Jakojohdot	0,32	0,88	1,68
Talojohdot	0,45	1,37	4,35
Siirtojohto	1,91	1,91	1,91
Yht.	3,30	5,48	10,65

Taulukossa 7.3 näkyvät Pientalokaupungin vastaavat tiedot. Poikkeuksena on se, että pientalokaupungille ei ole mitoitettu lainkaan sellaista vaihtoehtoa, missä pelkästään kerrostalot kuuluisivat lämpöverkon piiriin. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä osayleiskaavavaihtoehdossa on niin vähän kerrostaloalueita, että ratkaisu olisi pitkien siirtoyhteyksien takia kannattamaton.

Taulukko 7.3 Pientalokaupunki – vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset perusvaihtoehdossa.

	Kerros- ja rivitalot milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	1,02	2,34
Jakojohdot	0,77	1,78
Talojohdot	1,08	5,70
Siirtojohto	1,91	1,91
Yht.	4,78	11,73

7.1.2. Haastava ympäristö

Verkon investoinnille lasketaan myös kalliimpi vaihtoehto, joka ottaa huomioon mahdollisista erityistöistä ja lisämateriaaleista aiheutuvat lisäkustannukset. Laskenta suoritetaan pääosin samoin periaattein kuin perusvaihtoehdossa, mutta joitakin eroja on. Kaikkien eri verkkovaihtojen johtopituudet ja -tyypit säilyvät samana. Lisäksi olemassa olevasta verkosta Nurmi-Sorilaan rakennettava siirtoputki säilyy samana myös

kustannuksiltaan. Tämä johtuu siitä, että siirtojohto tulee jo rakennetulle alueelle ja investointi on siis tarkasti arvioitavissa.

Talojohtojen aiheuttamien kustannusten laskennan lähtötietoihin tulee joitakin muutoksia. Suunnitteluun kuluva aika ja siltajärjestelyt kasvavat. Talojohtoon mitoitetaan yksi 90 asteen kulma. Muut lähtötiedot säilyvät samana. Rivitalon ja kerrostalon talojohtoon mitoitetaan kaksi raskaan liikenteen ajosiltaa yhden sijaan. Suunnitteluun varattava aika lisääntyy ja johtoon tulee yksi kulmaelementti. Muut lähtötiedot säilyvät samana.

Runkojohtojen aiheuttamien kustannusten määrittämiseen tulee joitakin eroja optimaaliseen vaihtoehtoon verrattuna. Johtohinnat lasketaan 300 m johto-osille tyypeittäin sekä olemassa olevaan tien tapauksessa että asfaltoimattoman pätkän tapauksessa. Liikennejärjestelyihin lisätään viisi raskaan liikenteen siltaa. Lisäksi 1/3 kaivutyöstä mitoitetaan louhekaivuksi. Suunnitteluun varataan enemmän tunteja ja muutamia lisätöitä. Johto-osille mitoitetaan myös kolme kulmaelementtiä. Muut lähtötiedot säilyvät samana.

Jakojohtojen aiheuttamia kustannuksia ei lasketa erikseen jokaiselle jakojohdolle, vaan jokaiselle jakojohdoissa esiintyvälle putkityypille lasketaan metrihinta 200 m mitoitusosan avulla. Suunnitteluun varataan 40 h. Maankaivun osuus on 180 m ja louhekaivun osuus 20 m. Johto-osalle mitoitetaan kaksi kulmaelementtiä ja joitakin lisätöitä. Muut lähtötiedot säilyvät samana.

Saatujen metrihintojen avulla voidaan laskea eri verkkovaihtoehtojen investoinnit, kun putkimetrit ja – tyypit ovat tiedossa. Taulukoissa 7.4, 7.5 ja 7.6 on esitetty investoinnit eriteltyinä.

Taulukko 7.4 Kehäkaupunki-vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset haastavassa ympäristössä.

	Kerrostalo milj. EUR	Kerros- ja rivitalo milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	0,36	1,39	2,03
Jakojohdot	0,23	1,08	1,53
Talojohdot	0,97	4,59	6,51
Siirtojohto	1,91	1,91	1,91
Yht.	3,47	8,97	11,98

Taulukko 7.5 Järvikaupunki-vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset haastavassa ympäristössä.

	Kerrostalo milj. EUR	Kerros- ja rivitalo milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	0,74	1,58	3,17
Jakojohdot	0,37	1,01	1,84
Talojohdot	1,28	4,49	8,80
Siirtojohto	1,91	1,91	1,91
Yht.	4,30	8,99	15,72

Taulukko 7.6 Pientalokaupunki-vaihtoehdon verkkovaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset haastavassa ympäristössä.

	Kerros- ja rivitalot milj. EUR	Koko alue milj. EUR
Runkolinjat	1,18	3,59
Jakojohdot	0,86	2,04
Talohdot	3,56	9,25
Siirtojohto	1,91	1,91
Yht.	7,51	16,79

7.2. Lämmityksen kustannusten rajahintojen määrittäminen

Esimerkkiyrityksessä kaukolämpö- ja maakaasutoiminta ostaa asiakkaille myytävän lämmön ja häviöiden osuuden sisäisesti energiantuotannolta, joka toimii lämmön tuottajana. Tässä työssä sekä alueelle myytävä lämpö että häviöt käsitellään yhdessä eli lasketaan kokonaiskustannusten rajahintaa. Keskihinnan sijaan lasketaan rajahintaa, koska sen avulla huomioidaan tehon tarpeen lisäys ja mahdollinen lisätuotantokapasiteetin tarve. Rajahinnan avulla selviää, onko alue kannattava vai kannattamaton.

Keskitetyn lämmityksen kannattavuuden perusteita voidaan määrittää seuraavalla kaavalla. Vasemmalla puolella kaavassa ovat kaukolämpö- ja maakaasutoiminnan kulut ja oikealla puolella tuotot. Kaavan avulla lasketaan sallittua kustannusten rajahintaa h_{kust} , eli sitä hintaa, mitä kaukolämpö- ja maakaasutoiminta voi korkeintaan maksaa hankittavasta lämmöstä energiantuotannolle, että toiminta olisi vielä kannattavaa. Kaavan avulla voidaan vertailla eri verkkovaihtoehtoja toisiinsa ja saada tietoa niiden kannattavuudesta.

$$W_{hank} * h_{kust} + a * H_{inv} \\ = W_{myynti} * h_{energia} + H_{perus} + a * H_{liittymät} + a * H_{johto} \quad (22)$$

missä

W_{hank} on alueen lämmöntarve häviöt mukaan lukien (MWh)

h_{kust} on kustannusten rajahinta (EUR/MWh)

a on investoinnin pitoajan ja laskentakoron mukaan määritettävä annuiteettitekijä

H_{inv} on kokonaisinvestointi tämänhetkisin hintatiedoilla (EUR)

H_{perus} on tilausvesivirran mukaan määräytyvät perusmaksut (EUR)

$h_{energia}$ on energian hinta (EUR/MWh)

$H_{liittymät}$ on liittymismaksut (EUR)

H_{johto} on johtomaksut (EUR)

Investointi aiheuttaa kaukolämmön myyjälle kustannuksia ja näiden kustannusten vuosittainen lyhennys määritellään tässä tutkimuksessa annuiteettimenetelmän avulla. Investoinnille määritetään tietty laskentakorko ja pitoaika ja näiden avulla määräytyy annuiteettitekijä a . Asiakkailta saatavat kertaluontoiset maksut koostuvat johtomaksusta ja liittymismaksusta. Liittymismaksu määräytyy asiakkaan tilausvesivirran perusteella. Tilausvesivirta taas saadaan laskettua, kun tiedetään asiakkaan mitoitusteho käyttöveden tuntikeskiteho mukaan lukien (Kangas 2006). Asiakas voi olla yksittäinen omakotitalo tai esimerkiksi kolmen asuinkerrostalon ryhmä. Johtomaksu taas määräytyy talojohdon pituudesta asiakkaan tontilla sekä talojohdon koosta. Kaavassa johto- ja liittymismaksut on kerrottu annuiteettitekijällä samoin kuin kokonaisinvestointi. Tämä johtuu siitä, että näille tekijöille on määritetty tietty korko ja kuoletusaika. Tässä tutkimuksessa kuoletusajaksi on asetettu 20 vuotta ja laskentakoroksi 8 %.

Asiakkailta saatavat toistuvat maksut ovat perusmaksu ja energiamaksu. Perusmaksu määräytyy asiakkaan sopimustehon avulla määritettävän tilausvesivirran mukaan. Energian hinta (EUR/MWh) on kaukolämpö- ja maakaasutoiminnan hinnaston perusteella vakio ja maksu määräytyy kulutuksen mukaan. Kaikki edellä esitetyt maksut ovat määriteltävissä kaukolämmön olemassa olevien hinnastojen ja eri verkkovaihtoehtojen laskettujen rakennusten ja alueiden tietojen perusteella.

Eri verkkovaihtojen kustannusten rajahinnat määritetään kahdelle eri tapaukselle. Kaukolämmön kannattavuuden tarkastelua varten kustannusten rajahinnat määritellään siten, että kokonaisinvestointeihin otetaan mukaan siirtojohdon aiheuttamat kustannukset. Kun halutaan laskea sallittua kustannusten rajahintaa vaihtoehtoisille keskitetyille menetelmille, kokonaisinvestoinneista jätetään pois siirtojohdon aiheuttamat kustannukset. Liitteissä 3 ja 4 olevissa käyrästäisissä on kuvattu kaavan (22) avulla eri verkkovaihtoehtojen saatuja kustannusten rajahintoja. Kaavioissa näkyvät sekä perusvaihtoehtojen että haastavan ympäristön mukaan lasketut hinnat. Todelliset kustannusten rajahinnat asettuvat todennäköisesti näiden hintojen välille. Liitteen 3

vaihtoehtoissa investointeihin on sisällytetty alueverkon aiheuttamien kustannusten lisäksi myös siirtojohdon kustannukset, eli kyse on kaukolämpöratkaisusta. Liitteessä 4 osayleiskaavavaihtoehtoja on tarkasteltu ”suljettuina” verkkoalueina, jolloin siirtojohdon aiheuttamat kustannukset ja häviöt eivät ole mukana. Molemmissa liitteissä on lisäksi laskettu kustannusten rajahinnat keskimääräisillä investointikustannuksilla. Liitteiden 3 ja 4 kuvaajiin ei merkitä euromääräisiä kustannusten rajahintoja. Liitteessä 3 olevissa kuvaajissa yhden ruudun suuruinen nousu y-akselilla vastaa 1 EUR/MWh nousua kustannusten rajahinnassa. Liitteen 4 kuvaajissa samansuuruinen nousu y-akselilla vastaa 0,4 EUR/MWh nousua.

Käyrästöissä kuvataan myös lämmöntarpeen muuttumista. Jokaisen käyrän suurinta hintaa ja suurinta lämmöntarvetta vastaava piste on se, missä katettaisiin koko suunnitellulle verkkoalueelle mitoitettu lämmöntarve tämän hetkiselällä määräystasolla. Kustannusten rajahinta on siis se summa, mitä voitaisiin maksaa hankittavasta lämmöstä niin, että suunniteltu verkkoalue olisi juuri ja juuri kannattava. Käyrän muut pisteet kuvaavat tilannetta, missä suunnitellun verkkoalueen kokonaislämmön tarve olisi pienempi, johtuen rakennusten pienemmästä lämmöntarpeesta. Lämmöntarpeen pienenemistä käsiteltiin luvussa 5.6. Ensimmäinen esitetty piste vastaa siis 100 % lämmöntarvetta, seuraava 80 % lämmöntarvetta ja kaksi viimeistä edelleen 70 % ja 60 % lämmöntarvetta. Oletetaan, että jokaisessa pisteessä on kyseessä lopputilanne ja koko suunniteltu alue ja lämpöverkko on rakennettu valmiiksi. Lisäksi jokaisessa pisteessä oletetaan, että alueen lämmöntarve ei ole pienentynyt suuremmasta arvosta, vaan on koko ajan ollut pistettä vastaavan arvon suuruinen, ja että kaikki verkkosuunnitelmaan sisältyvät rakennukset liittyvät kaukolämpöön.

Myös mitoitusteho muuttuu kulutuksen pienenemisen myötä. Lämmitystehon muutoksen määrittämiseen käytetään niin ikään luvussa 5.6 määriteltyjä tehoportaita. Tämä tarkoittaa sitä, että lämmitysenergian tarpeen ollessa lähtötilanteessa 80 % tämän hetkisestä mitoituksesta kokonaislämmitysteho on 85 % ja edelleen 77,5 % ja 70 %. Pienempi mitoitusteho vaikuttaa asiakkaiden tilausvesivirtaan ja tätä kautta perusmaksuihin, liittymismaksuihin ja johtomaksuihin. Verkon kokonaisinvestoinnin oletetaan olevan sama, vaikka kulutus pienenee. On mahdollista, että investoinnit pienenisivät jonkin verran, mutta putkien mitoituksen pohjana olevat tehoportaat ovat suuret, joten muutos olisi pieni. Tarkastelu on karkea, mutta kuvaa jollain tasolla rajahintojen muutosta lämmöntarpeen pienenemisen myötä.

7.3. Kustannuslaskennan yhteenveto

Kustannusten rajahinnoille piirretyistä liitteiden 3 ja 4 kuvaajista saadaan paljon tietoa Nurmi-Sorilan alueen eri osayleiskaava- ja verkkovaihtoehtojen kannattavuuteen liittyen. Kustannusten rajahinnoissa näkyy eroja sekä alueittain että verkkotyypeittäin. Lisäksi lämmön- ja tehontarpeen pieneneminen muuttaa rajahintoja. Kuvaajiin on

piirretty katkoviivalla alueet, jotka pitävät sisällään saadut käyrät. Näiden alueiden muotojen merkitystä käsitellään myös seuraavissa alaluvuissa.

7.3.1. Kaukolämpöratkaisu

Aluksi tarkastellaan niitä liitteen 3 tapauksia, missä siirto johdon aiheuttamat kustannukset lisätään kokonaisinvestointeihin. Kyseessä ovat siis kustannusten rajahinnat alueverkolle ja siirto johdolle eli tarkastellaan alueen liittämistä olemassa olevaan kaukolämpöön. Kehäkaupunkivaihtoehdossa kerros- ja rivitalot kattava verkko vaikuttaisi kannattavimmalta vaihtoehdolta ja koko alueen kattava verkko tulee heti sen jälkeen. Sen sijaan pelkät kerrostalot kattava verkko vaikuttaa huomattavasti huonommalta vaihtoehdolta. Tämä johtune siitä, että tässä verkkovaihtoehdossa suhteelliset häviöt ovat erittäin suuret lähinnä pitkän siirto johdon takia.

Käyrien muoto on erityinen. Pelkät kerrostalot kattavan verkkovaihtoehdon lämmön kustannusten rajahinnat nousevat jyrkästi lämmön- ja tehontarpeen kasvaessa. Tähän on kaksi syytä. Toinen syy on se, että asiakkailta saatavat perusmaksut kasvavat kerrostaloilla jyrkästi sopimustehon suurentuessa. Tämä lisää kaukolämmön myyjän tuottoja. Toinen syy on se, että kerrostaloalueet kattavan verkon häviöiden osuus hankinnasta on paljon suurempi kuin kahdessa muussa verkkovaihtoehdossa ja myynnin kasvaessa portaittain häviöiden osuus myös laskee jyrkemmin. Kahdessa muussa verkkovaihtoehdossa käyrät nousevat hieman loivemmin. Niiden suhteelliset häviöt eivät kasva niin voimakkaasti lämmön tarpeen kasvaessa. Käyrien epätasainen muoto johtuu siitä, että johto-, liittymis- ja perusmaksut määräytyvät tilausvesivirran mukaan portaittain. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakkailta saatavat maksut voivat pysyä ensin samana vaikka tilausvesivirta hieman kasvaisi sopimustehon suurenemisen myötä ja sitten seuraavalla teho/energiaportaalla suurentua kautta linjan.

Järvikaupunki- ja Pientalokaupunkivaihtoehdossa pätevät samat perustelut kuin Kehäkaupunkivaihtoehdossa. Järvikaupunkivaihtoehdossa kerrostalot kattavan verkon ja muiden verkkovaihtoehtojen erot eivät ole niin suuria kuin Kehäkaupunkivaihtoehdossa. Sen sijaan kerros- ja rivitalot kattava verkkovaihtoehto vaikuttaa selvemmin parhaalta vaihtoehdolta. Pientalokaupunkivaihtoehdossa ei mitoitettu lainkaan pelkät kerrostalot kattavaa verkkovaihtoehtoa kerrostalojen vähäisyyden takia. Kerros- ja rivitalot kattava verkkovaihtoehto vaikuttaa rajahintojen perusteella hieman kannattavammalta kuin koko alueen kattava verkko, mutta laaditut kaksi vaihtoehtoa ovat kustannusten rajahinnoiltaan hyvin lähellä toisiaan.

Kaikissa vaihtoehdoissa korkein kustannusten rajahinta tämän hetkisillä kustannus- ja hintatiedoilla on kerros- ja rivitalot kattavalla verkolla. Kerrostalovaihtoehdot ovat selvästi huonoimmat jo esitettyjen syiden johdosta. Koko alueen tapauksessa pientalojen mukaan tulon myötä siirtohäviöt ja verkon investointikustannukset kasvavat huomattavasti, ja saadut lisätuotot eivät riitä kattamaan näitä häviö- ja investointikuluja. On kuitenkin mielenkiintoista huomata, että

lämmön- ja tehontarpeen pienenemisen myötä koko alueen kattavan verkon kustannusten rajahinnat lähestyvät kerros- ja rivitalot kattavan verkon vastaavia tai ovat jopa suurempia. Tätä voidaan selittää sillä, että tässä työssä mitoitettujen tyyppierillispientalojen johto-, perus- ja liittymismaksut eivät tämän hetkisen kaukolämmön hinnoittelun perusteella muutu, vaikka lämmön- ja tehontarve muuttuisivat. Koko alueen kattavan verkkovaihtoehdon asiakkailta saatavat maksut eivät siis pienene niin jyrkästi kuin kerros- ja rivitalot kattavan verkon vastaavat.

Kaikki osayleiskaavavaihtoehtojen verkkosuunnitelmat yhdistävästä kaaviosta nähdään vaihtoehtojen keskinäinen järjestys kustannusten rajahintojen suhteen. Kokonaisinvestoinneille on käytetty peruskustannusten ja haastavan ympäristön kustannusten keskiarvoja. Kuvaajan perusteella pelkät kerrostalot kattavat verkkovaihtoehdot ovat edelleen kaikista huonoimpia. Tämän hetkisillä kustannus- ja hintatiedoilla Kehäkaupunkivaihtoehdon kerros- ja rivitalot kattava verkko on paras. Heti sen jälkeen tulee Järvi kaupungin vastaava ja hyvin lähellä on myös Kehäkaupunkivaihtoehdon koko alueen kattava verkko. Pientalokaupunkivaihtoehto vaikuttaa heikoimmalta kerrostalot kattavia verkkovaihtoehtoja lukuun ottamatta. Syinä ovat hajanainen asutus ja pientalovaltaisuus.

Kaukolämmön investointipäätöksiin saadaan tärkeää tietoa näiden kuvaajien avulla. Saatua kustannusten rajahintoja voidaan verrata tämän hetkisiin kaukolämmön kustannusten rajahintoihin, jolloin tietyllä kateprosentilla voidaan määrittää osayleiskaavavaihtoehdon ja verkkosuunnitelman kannattavuus. Tässä luvussa esiteltujen kustannusten rajahintojen tapauksessa täytyy kuitenkin huomioda, että lämmön- ja tehontarpeen pienentyessä myös asiakkaan maksamat myynnin keskihinnat kasvavat, jolloin asiakkaan investoiminen johonkin vaihtoehtoiseen lämmitysmuotoon saattaa olla kannattavampaa kaukolämpöön verrattuna. Tätä aihetta käsitellään myöhemmin yksityistalouksiin keskittyvässä tarkastelussa.

7.3.2. Alueverkko

Tässä luvussa tarkastellaan osayleiskaavavaihtoehdoille mitoitettujen alueverkkojen, lämmön kustannusten rajahintoja kuvaavia, liitteessä 4 esitettyjä käyriä. Tarkastelussa saadaan rajahinnat verkkovaihtoehdoille, joissa siirtojohdon aiheuttamat kustannukset eivät sisälly kokonaisinvestointeihin. Kehäkaupunkivaihtoehdossa asuinkerros- ja asuinrivitalot sisältävä verkko vaikuttaa edelleen kannattavimmalta. Koko alueen kattava verkko tulee seuraavana ja pelkät asuinkerrostalot kattava verkko viimeisenä. Kehäkaupunkivaihtoehto sisältää suhteellisen vähän asuinkerrostaloja ja nämä alueet sijaitsevat etäällä toisistaan, jolloin pelkät kerrostalot kattavan alueverkon suhteelliset häviöt kasvavat suuriksi.

Käyrien muotoon pätevät edellisessä alaluvussa 7.3.1 esitetyt perusteet siirtojohdon vaikutus pois lukien, mutta joitakin poikkeavuuksia on havaittavissa. Kun käyriä luetaan oikealta vasemmalle, eräissä tapauksissa kustannusten rajahinnat

nousevat, vaikka kulutus pienenee. Tämä vaikuttaa mahdottomalta, koska lämmön myynnin pienentyessä myyntituotot pienenevät. Selitys löytyy kaukolämmön tämän hetkisestä hinnoittelutavasta. Kaukolämmön myyjä maksaa energiantuotannolle sekä myytävästä lämmöstä että syntyvistä häviöistä. Sen lisäksi myynnin keskihinta kasvaa lämmön- ja tehontarpeen pienentyessä portaittain. Kustannusten rajahinnan erikoinen nouseminen eräissä tapauksissa kulutuksen kuitenkin pienentyessä, johtuu siitä, että kaukolämmön myyjä saa suhteessa enemmän tuottoja asiakkailtaan myymästään pienemmästä lämpömäärästä myynnin keskihinnan nousun myötä. Keskihinta voi nousta huomattavasti, koska vaikka lämmön- ja tehontarve pienenisivät, aiemmin esitellyn hinnoittelun portaittaisen luonteen vuoksi asiakkailta saatavat maksut eivät välttämättä pienene. Myöhemmin tulevan yksityistaloudellisen tarkastelun yhteydessä puututaan juuri siihen, mikä on asiakkaan kannalta kannattavaa.

Järvikaupunkivaihtoehdossa asuinkerros- ja asuinrivitalot kattava verkko vaikuttaa kannattavimmalta, mutta eroa Kehäkaupunkivaihtoehtoon on siinä, että kun siirtojohtoon aiheuttamat häviökustannukset poistuvat, asuinkerrostalot kattava verkko on kannattavampi kuin koko alueen kattava verkko. Pientalokaupunkivaihtoehdossa koko alueen kattava verkko on selvästi kannattamattomampi vaihtoehto. Käyrien muotoihin pätevät edellä esitetyt perusteet.

Kaikki osayleiskaavavaihtoehdot kokoavassa keskihintojen avulla laaditussa kuvaajassa asuinkerros- ja asuinrivitalot kattavat verkkovaihtoehdot ovat rajahintojen puitteissa parhaat. Kehäkaupunkivaihtoehdon verkko on näistä kannattavin. Seuraavana tulevat Kehäkaupunkivaihtoehdon koko alueen kattava verkko ja perässä asuinkerrostaloalueet kattavat verkkovaihtoehdot. Näiden jälkeen tulee Järvikaupunkivaihtoehdon koko alueen kattava verkko ja viimeisenä Pientalokaupunkivaihtoehdon vastaava.

7.3.3. Kaukolämpöratkaisun ja alueverkon erot

Kahdessa edellisessä alaluvussa tarkasteltiin Nurmi-Sorilan keskitettyjen lämmitysratkaisujen lämmön kustannusten rajahintoja kahdessa eri tapauksessa. Ensin tarkastelu tehtiin siten, että alue liitettäisiin olemassa olevaan kaukolämpöverkkoon siirtojohtolla. Tämän jälkeen kustannusten rajahinnat määriteltiin alueen ollessa omana alueverkkonaan, jolloin saatiin ne kustannukset, millä lämpö voitaisiin hankkia alueelle millä tahansa lämpöverkossa toimivalla keskitetyllä lämmitysjärjestelmällä.

Tarkastelun tuloksissa on eroja. Alueverkon tapauksessa asuinkerrostalot kattavat verkkovaihtoehdot ovat suhteellisesti kannattavampia johtuen siitä, että siirtojohtoon aiheuttamat häviökustannukset eivät ole mukana. Siirtojohtoon aiheuttamien häviöiden takia myös kustannusten rajahinnat ovat useita euroja pienempiä kaukolämpöratkaisussa. Kustannusten rajahintoja ei voi kuitenkaan suoraan verrata toisiinsa kannattavuutta ajatellen, koska kaukolämmön tapauksessa saatuja hintoja täytyy verrata vallitseviin kaukolämmön hankinnan hintoihin, kun taas alueverkon

tapauksessa saatuja rajahintoja verrataan muihin keskitetyn lämmöntuotannon menetelmien hintoihin.

Liitteissä 3 ja 4 esitettyjen rajahintakäyrästäjen muodostamat alueet on rajattu suurpiirteisesti katkoviivan avulla ja näiden alueiden perusteella voidaan tehdä joitakin päätelmiä. Huomataan, että kaukolämpöratkaisuissa alueiden muoto on alhaalta ylhäältä hyvin loiva ja terävöityy alaspäin mentäessä. Tämä johtuu siitä, että kerrostalovaltaisille alueille investoitaessa, kustannusten rajahinta laskee voimakkaasti lämmöntarpeen ollessa pieni. Vastaavasti kun kaukolämpö on rakennettu tarpeeksi isolle alueelle, jossa on myös rivitaloja ja erillispientaloja, hieman suuremmalla rakennusten lämmöntarpeella ei vaikuttaisi olevan niin suurta merkitystä. Alueverkkoratkaisussa katkoviivalla rajatut alueet ovat tasaisempia ja ympyränomaisia. Selitys löytyy pienemmistä suhteellisista häviöistä. Kerrostalovaltaiset alueet muuttuvat huomattavasti kannattavimmaksi, kun siirtojohdon aiheuttamat häviö- ja investointikustannuksia ei ole. Pientalokaupunkivaihtoehdon koko alueen kattava verkko vaikuttaa alueverkkoratkaisussakin huonolta. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että hyvin pientalovaltaiset alueet ovat suurien siirtoetäisyyksien ja alueen kokoon nähden pienen kulutuksen takia epäedullisimpia kohteita keskitetylle lämmitykselle.

8. YKSITYISTALOUDELLINEN TARKASTELU

Tässä luvussa suoritetaan suppeahko yksityistaloudellinen vertailu talokohtaisten lämmitysjärjestelmien ja kaukolämpöratkaisun välillä. Talotyypeistä käsitellään ainoastaan erillispientaloja ja kaukolämpöratkaisun lisäksi vertailussa ovat porakaivon avulla toimiva maalämpöpumppu- ja pellettiratkaisu. Tarkasteltava tyyppierillispientalo on esitelty kappaleessa 5.3.1. Sen mitoitus-teho on 9,33 kW ja käyttövesi mukaan lukien 14,33 kW. Vuotuinen lämmöntarve on 22,8 MWh. Kaukolämpöratkaisussa talojohdon pituudeksi asetetaan tässä tutkimuksessa käytetty 25 m, josta 15 m sijaitsee asiakkaan tontilla. Hintatietoja on kartoitettu eri internetlähteistä ja kysely suomalaisilta laitemyyjiltä. Näiden tietojen perusteella on arvioitu eri lämmitysjärjestelmistä aiheutuvat keskimääräiset kustannukset. Taulukossa 8.1 on esitetty karkeasti kunkin järjestelmän investoinnista ja lämmittämisestä aiheutuvat kustannukset.

Taulukko 8.1 Maalämpö-, pelletti- ja kaukolämpöjärjestelmän investointi- ja vuosittaiset käyttökustannukset tyyppierillispientalolle tämän hetkisillä karkeilla hinta-arvioilla.

	Maalämpö EUR	Pellettilämmitys EUR	Kaukolämpö EUR
Lämpöpumppu	7500		
Keruuputkisto (porakaivo)	6000		
Asennus- ja käyttöönotto	2000		
Vesikiertoinen lattialämmitys	4300	4300	
Kattila+poltin+spiraali+siilo (käyttöönottoineen)		10 000	
Piippu		800	
Kaukolämpöputkisto+lämmönjakohuone, asennuksineen			6800
Liittymismaksu	400		2400
Vesikiertoinen patterilämmitys			3600
Järjestelmän investointi	20 500	15 100	12 800
vuosittaiset lämmityskustannukset	680	1200	1340

(Alanen et al. 2003, s. 25; Kivimäki, Nordic Fabrikant 2008; Motiva Oy, Pientalon lämmitysjärjestelmien vertailupalvelu 2007; Pekkanen, Ariterm Oy 2008; Skaffari, Gebwell Oy 2008; Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2007; Talotarvike.com 2008; Pellettienenergia 2008)

Taulukossa esiintyvät hinnat ovat suuntaa antavia arvioita. Lämpöpumpun lämpökertoimen oletetaan olevan kolme. Sähkön ja pelletin hinnoiksi on asetettu tämän

hetkiset keskimääräiset hinnat. Kaukolämmön hinnat perustuvat Tampereen Sähkölaitoksen hintatietoihin. Kaukolämmön tapauksessa investointikustannukset vaihtelevat tonttijohdon mukaan.

Taulukosta huomataan, että kaukolämmön investointikustannus on pienin, mutta itse lämmityskustannukset ovat suurimmat. Maalämpöjärjestelmässä on puolestaan suurimmat investointikustannukset, mutta vuosittaiset käyttökustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin kahdessa muussa järjestelmässä. Pellettilämmitys sijoittuu kustannuksiltaan kahden muun järjestelmän väliin. Kustannuksissa ei oteta huomioon huoltokustannuksia, jotka voivat esimerkiksi pellettilämmityksessä nousta jopa yli kahteen senttiin kilowattitunnilta vuosittaisen puhdistuksen ja huollon takia. Kaikista järjestelmistä aiheutuu jonkin verran huoltokustannuksia, mutta maa- ja kaukolämmitystä voidaan pitää suhteellisen huoltovapaina järjestelminä.

Tampereen kaupungilta on mahdollista hakea energia-avustusta laiteinvestointien osalta kaikkiin edellä esiteltyihin lämmitysjärjestelmiin. Kaukolämmölle voi saada (liittymismaksu mukaan lukien) 10 % avustuksen. Maalämpö- ja pellettilämmitysjärjestelmien laiteinvestointeihin voidaan myöntää 15 % avustus. Töistä aiheutuneet kustannukset ovat kotitalousvähennyksen piirissä. (Tampereen kaupunki, asuntotoimi 2008)

Lämmityksen käyttökustannukset ovat riippuvaisia käytetyn polttoaineen hinnasta. Lämpöpumppulämmityksessä oleellista on sähkön hinta. Energiamarkkinaviraston sivuilla on raportti sähkön hinnan kehityksestä erilaisilla tyyppikuluttajilla. Sähkön hinta on noussut erillispientalokuluttajalla tasaisesti vuodesta 1991 ja viime vuosina nousu on ollut kiihtyvää, noin luokkaa 0,25 snt/kWh vuodessa. Maalämpöpumppu on riippuvainen sähköstä, joten sähkön hinnan nousu voi vaikuttaa kuluttajien ostopäätöksiin. (Energiamarkkinavirasto 2008) Pelletin hintakehitys on ollut nouseva, mutta suhteellisen maltillinen verrattuna öljyyn ja sähköön (Pellettienergia, Energian hintakehitys 2002–2008). Pelletin hinta on kuitenkin puupellettien osalta hyvin riippuvainen suomalaisesta metsäteollisuudesta, joka elää murroskautta. Kaukolämmön hintakehitys on myös ollut nouseva, mutta suhteellisen vakaa (Tiitinen 2008). Hintaan vaikuttaa suuresti se, millä kaukolämpöä tuotetaan. Myös päästökauppaneukanismi tuo oman lisänsä hintaan samoin kuin sähkön tapauksessa.

Eri lämmitysmenetelmille saatuja keskikustannuksia voidaan arvioida pidemmällä aikavälillä. Tässä työssä tarkastelujaksoksi valitaan 20 vuotta, jota käytettiin myös kaukolämpö- ja alueverkkoratkaisujen kustannusten rajahintojen määrittämisessä luvussa 7.2. Laskentakoroksi asetetaan 5 %, jollin diskonttaustekijä on 12,462. 20 vuoden aikaiset lämmityskustannukset diskontataan nykyhetkeen ja lisätään investointikustannuksiin. Taulukossa 8.2 näkyvät investointikustannusten ja diskontattujen käyttökustannusten yhteenlasketut arvot kullekin järjestelmälle.

Taulukko 8.2 Eri järjestelmien investointikustannukset ja nykyhetkeen diskontatut käyttökustannukset.

	Maalämpö EUR	Pellettilämmitys EUR	Kaukolämpö EUR
Järjestelmän investointi	20 500	15 100	12 800
Nykyhetkeen diskontatut käyttökustannukset	8470	14 950	16 700
Yhteensä	28 970	30 000	29 500

Nykyarvomenetelmän perusteella lämpöpumppulämmitys vaikuttaa edullisimmalta vaihtoehdolta. Kaukolämpöratkaisu tulee seuraavana ja pelletti viimeisenä. Erot eivät ole suuret ja tarkastelun karkeus ja arvioidut hinnat vaikuttavat tuloksiin. Tässä tarkastelussa ei huomioida järjestelmien huoltokustannuksia, joilla voi olla suuri merkitys. Tulokset ovat siis pelkästään suuntaa antavia.

Laskettujen tulosten pohjalta on vaikeaa vetää täysin yksiselitteisiä johtopäätöksiä, koska asiakas voi tehdä valintansa monin eri perustein. Tarkastelu on siinä mielessä karkea, että se ei ota huomioon polttoaineiden erilaista hinnan kehitystä. Kaukolämmön hintakehitys on ollut sähköön ja pellettiin nähden suhteellisen vakaata. Sähkön ja pelletin suuret hintaheilahtelut lisäävät osaltaan niitä hyödyntävien lämmitysjärjestelmien epävarmuutta tulevaisuudessa. Tarkastelussa ei huomioida myöskään saatavia energia-avustuksia, jotka voivat lisätä pelletti- ja maalämmityksen houkuttelevuutta kaukolämpöön verrattuna. Yksi lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttava tekijä voi olla myös järjestelmän helppous. Pellettilämmitys on kahteen muuhun järjestelmään verrattuna työläs, koska se vaatii polttoainevaraston täyttämistä ja puhdistusta. Lisäksi pellettilämmitysjärjestelmä vaatii enemmän tilaa kuin kaksi muuta vaihtoehtoa. Pellettilämmityksestä aiheutuvat pienhiukkaspäästöt voivat myös olla esteenä talokohtaisten järjestelmien laajamittaiselle käytölle. Kaukolämmön houkuttelevuutta voi lisätä se, että kyseessä on keskitetty järjestelmä, joka ei vaadi asiakkaalta suurempia säätötoimenpiteitä.

Puhtaasti taloudellisesta näkökulmasta kaukolämpö ei välttämättä ole pitkällä aikavälillä edullisin vaihtoehto erillispientalolle. Kaukolämmön hinnoittelu tapahtuu siten, että kaukolämpöön liitetyn erillispientalon vuosittaisista maksuista, jotka sisältävät sekä vakiona pysyvän perusmaksun että kulutuksen mukaan määräytyvän energiamaksun, perusmaksun osuus on suhteellisen suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että jos rakennusten lämmön tarve on tulevaisuudessa pienempi, erillispientalon kulutettua MWh:a kohti maksama summa kasvaa. Maa- ja pellettilämmityksen tapauksessa asiakas ei huolto- ja investointikustannuksia lukuun ottamatta joudu maksamaan muusta kuin kuluttamastaan lämmöstä.

9. TULOSTEN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn alussa tälle tutkimukselle esitettiin neljä keskeistä kysymystä, joihin toivottiin löydettävän vastaukset tutkimuksen edetessä. Ensimmäinen kysymys oli selvittää, minkälaisella laskentamallilla voitaisiin arvioida kaukolämmön kustannuksia uusilla kaavoitusalueilla. Uusien asuinalueiden kaavoitukseen liittyy paljon muuttujia. Kaavoitusvaiheessa on haasteellista arvioida alueen lämmön tarvetta, kun ei ole varmuutta lopullisesta asukasmäärästä ja mahdollisista kaukolämpöön liittyvistä kuluttajista. Lisäksi uudet alueet ovat hyvin erilaisia sekä maastoltaan että etäisyyksiltään, joten tarkastelu vaatii jonkin asteista lämpöverkon mitoittamista. Haasteen asettaa myös se, että alueiden valmistumisaikataulu ei välttämättä ole varma, jolloin mahdolliset lämmöntarpeen muutokset vaikuttavat arvioituun kulutukseen.

Tässä työssä tehtiin yksityiskohtainen mitoitus erään uuden kaavoitusalueen eri osayleiskaavavaihtoehtojen alue- ja kaukolämpöratkaisuille. Keskeisenä tuloksena mitoituksen perusteella laadittiin kustannuslaskennan kaava, jonka avulla voitiin mitoittautuloksia käyttäen vertailla erilaisia verkko- ja osayleiskaavavaihtoehtoja keskenään kustannusten rajahinnan perusteella. Laadittu laskentakaava on hyvä väline uusien alueiden kustannusten tarkasteluun. Sitä ei kuitenkaan voida käyttää ilman melko yksityiskohtaista selvitystä tarkasteltavasta alueesta. Ensimmäiseen kysymykseen voidaan vastata siten, että keinot uusien alueiden kustannusten tarkasteluun ovat olemassa, mutta yksiselitteistä nopeaa tapaa ei ole, vaan aina vaaditaan jonkinasteinen mitoitus- ja laskentatyö. Menetelmät ja työkalut löytyvät tästä tutkimuksesta.

Toisena kysymyksenä oli tarkastella, mitkä ovat lämpöä myyvän yrityksen näkökulmasta keskitetyn lämmityksen kustannusten rajahinnat eri kaavoitusvaihtoehtojen kanssa. Tässä tutkimuksessa olivat tarkasteltavana Nurmi-Sorilan eri osayleiskaavavaihtoehdot. Vastaus kysymykseen löytyi vaihtoehtojen vertailuun laaditun kustannuslaskennan kaavan avulla. Muuttujaksi asetetaan lämmön kustannusten rajahinta. Mitä suurempi rajahinta saadaan tuloksena, sitä houkuttelevampi kaava-/verkkovaihtoehto on. Kaavan avulla herkkyytettiin myös tulevaisuuden lopputilanteita, joissa rakennusten lämmöntarpeet ovat muuttuneet, jolloin nähtiin muutosten vaikutukset rajahintoihin.

Kolmantena kysymyksenä oli tarkastella sitä, miten tulevaisuuden tiukentuvat rakentamismääräykset ja tätä kautta mahdollisesti pienenevä lämmitystehon ja -energian tarve vaikuttavat kaukolämmön kustannuksiin. Vastaukset löytyivät kustannuslaskentaan laaditun kaavan avulla saaduista kuvaajista. Asiantuntijahaastatteluiden ja määräysmateriaalin pohjalta laadittiin tietyt

ennusteportaat tulevaisuuden pienenevälle lämmöntarpeelle. Ennusteportaiden pohjalta laadittujen käyrästöjen perusteella havaittiin, että lämmitysenergian ja -tehon tarpeen pieneneminen vaikuttavaa negatiivisesti kaukolämpötoiminnan kannattavuuteen ja hidastaa mahdollisesti kaukolämmön myynnin kasvua. Mahdollisten muutosten seurauksina saadut tulokset olivat suurimpia kerrostalovaltaisilla alueilla ja pienimpiä pientalovaltaisilla alueilla. Tämä johtuu siitä, että kaukolämmön hinnoittelurakenteessa kerrostalojen maksuista suurin osa muodostuu energiamaksusta, kun taas pientaloilla kiinteiden maksujen osuus on suhteessa isompi. Toisaalta kaukolämmön houkuttelevuus pientaloasiakkaiden joukossa heikkenisi huomattavasti, jos rakennusten lämmöntarve pienenisi, koska lämmön keskihinta kasvaisi kiinteän maksuosuuden kasvun myötä.

Viimeisenä kysymyksenä esitettiin: ”Mitä lämmitysvaihtoehtoja asiakkaalla on ja mitä kustannukset ovat eri vaihtoehtojilla asiakkaan näkökulmasta?” Työn loppuun laadittiin karkea yksityistaloudellinen tarkastelu, jonka vastaukset olivat moniselitteisiä. Tarkastelu suoritettiin vain tyyppierillispientalolle ja vertailtavat järjestelmät olivat maalämpöpumppu (porakaivo), pellettilämmitys ja kaukolämpö. Jos polttoaineen hinnankehitystä ei oteta huomioon, 20 vuoden tarkasteluajanjaksolla maalämpöpumppu vaikuttaa taloudellisimmalta ratkaisulta. Kaukolämpö on toiseksi edullisin ja pellettilämmitys kallein. Kuluttajan valintaan vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät kuten järjestelmän helppous, mikä parantaa kaukolämmön asemaa. Toisaalta myös polttoaineiden epävakaa hinnankehitys voi vaikuttaa valintaan. Lisäksi tulevaisuuden mahdollisesti pienemmät uudisrakennusten energian tarpeet voivat kallistaa kuluttajan valintaa muiden kuin kaukolämmön suuntaan, koska kaukolämmössä kiinteillä maksuilla on suhteellisen suuri osuus lämmön myyntihinnasta. Kaukolämmön hinnoittelurakenne on kuitenkin laadittu tämän hetkisen tilanteen mukaan ja hinnoitteluperusteiden muuttaminen on aina mahdollista. Tämän työn pohjalta voisi tehdä jatkotutkimusta kaukolämpötoiminnan kannattavuuteen liittyen, jossa hinnoittelurakenne voisi olla yksi tutkimuskohde.

LÄHTEET

Airaksinen, M., Dokka, T., Hagengran, P., Johannesson, G., Kalema, T., Keski-Opas, J., Pylsy, P., Pöysti, M., Rapp, K., Öberg, M. 2006. Nordic Thermal Mass-Effect on Energy and Indoor Climate. Tampere University of Technology, Institute of Energy and Process Engineering, Report 184. 105 pp.

Alakangas, E., Paju, P. 2002. Puupellettien tuotanto-, jakelu- ja käyttöketjun tekniikka, talous ja markkinat. Jyväskylä, OPET Finland, VTT prosessit. 73 s. +liitt. 26 s.

Alanen, V-M., Kokkonen, A., Nalkki, J., Puhakka, A., Rousku, P. 2003. Pellettilämmitysopas, Perustietoa pellettilämmityksestä. Helsinki, Joensuu, Motiva Oy, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, ISBN 951-604-030-6. 33 s.

Bentley, R.W. 2002. Global oil and gas depletion: an overview. Energy Policy 30, pp. 189–205.

Brunnila, Juha. LVI-tarkastusinsinööri, Tampereen kaupunki. Tampere. Haastattelu 20.12.2007.

Cuomo, V., Grevers, W., Jank, R., Lavagno, E., Macchiato, M., Ryden, B., Schlenzig, C., Steidle, T. 2000. Energy Conservation in Buildings and community Systems Program, Annex 33, Advanced Local Energy Planning (ALEP)-a Guidebook. International Energy Agency. 203 pp.

Energiamarkkinavirasto. Eräiden tyyppikäyttäjien sähkön verollisen kokonaishinnan kehitys vuodesta 1992 lähtien [WWW]. 2008 [viitattu 15.4.2008]. Saatavissa: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehitys0802.xls>.

European Commission. Intelligent Energy Europe, Energy Efficiency projects-Buildings [WWW]. 13.3.2008 [viitattu 15.3.2008]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/buildings_en.htm.

Haavisto, A., Karkela, L., Kervinen, M., Seppänen, R., Smolander, J., Tiihonen, S., Wuolijoki, H. 1991. maol-aulukot. 1. uudistettu painos. Helsinki, Kustannusyrhtiö Otava. 159 s.

Hassi, S. Sähkölämmityksen lämmöneristysvaatimukset [WWW]. Eduskunta. 1.11.2001 [viitattu 7.1.2008]. Saatavissa: http://www.eduskunta.fi/faktatmp/utatmp/akxtmp/kk_1109_2001_p.shtml.

Helsingin Energia. Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos vihittiin käyttöön, tiedote [WWW]. 1.3.2007 [viitattu 8.1.2008]. Saatavissa: http://www.helsinginenergia.fi/media/t07/0301_katrivala.html.

Helsingin Energia. Kaukojäähdytys [WWW]. [viitattu 8.1.2008]. Saatavissa: <http://www.helsinginenergia.fi/kaukojaahdytys/>.
[http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot/279,2,Dia 2.](http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot/279,2,Dia%202)

International Energy Agency [WWW]. 2007 [viitattu 18.11.2007]. Saatavissa: <http://www.iea.org/about/docs/iea2007.pdf>.

Kalema, T. 2008. ENER-5050 LVI-tekniikka, Heating and Ventilating Engineering. Osa 2. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 193 s.

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

Kaukolämpö- ja maakaasutoiminta. KL-käytöt-2006. Tampere, Tampereen Sähkölaitos. Julkaisematon Excel-tiedosto.

Kaupunkisuunnittelu, asemakaavoitus. 2006. Vaasan kaupunki. 28 s.

Kivimäki, J. Laskelma. 9.4.2008. Nordic Fabrikant. 2 s.

Koljonen, T., Sipilä, K. 1998. Uudemman absorptiojäähdytstekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. Espoo, VTT Tiedotteita 1926. 55 s.

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

Motiva Oy. 2003. Puupelletit-nykyaikainen lämmitystapa. Helsinki, Motiva Oy. 8 s.

Motiva Oy. Lämmönjako siirtää lämpöä [WWW]. 2007 [viitattu 9.1.2008]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/lammonjakosiirtaalam poa/](http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/lammonjakosiirtaalam_poa/).

Motiva Oy. Pientalon lämmitysjärjestelmien vertailupalvelu [WWW]. 2007, 27.2.2008 [viitattu 14.4.2008]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/vertailupalvelu/energia hinnat.html](http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/pientalonlammitysjarjestelmat/vertailupalvelu/energia_hinnat.html).

Mäkinen, A. 2006. Lämpöpumppu lämmityksessä ja jäähdytyksessä-energiataseiden simulointi. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Energia- ja prosessiteknikan laitos. 91 s. +liitt.6 s.

Nowacki, J-E. 2007. Heat pumps in energy statistics-Suggestion. Stockholm, Swedish Energy Agency, STEM dnr: 17-07-3784. 23 pp.

Onninen Group. Nettlehti-1-2006, Energiatodistukset [WWW]. [viitattu 5.1.2008]. Saatavissa: <http://www.onninen.fi/onninen/nettilehdet/nettilehti-1-2006/energiatodistukset.html>.

Opetushallitus. Kestävä kehitys, Agenda 21 [WWW]. 2007 [viitattu 1.12.2007]. Saatavissa: <http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/keke/keke1/agenda21.html>.

Pekkanen Jouko. 2008. Aluemyyntipäällikkö, Ariterm Oy.Tampere. Puhelinhaastattelu 11.4.2008.

Pellettienergia. Energian hintakehitys 2002–2008 [WWW]. Öljy- ja kaasualan keskusliitto, Energiamarkkinavirasto, Vapo Oy. 2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: http://pellettienergia.fi/ladattavat/Energian_hintakehitys.gif.

Pellettienergia. Pellettilämmityksen kustannuslaskuri [WWW]. Suomen pellettienergiayhdistys ry. 2008 [viitattu 15.4.2008]. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/laskuri.html>.

Saikkonen, J. 2002. Pientalon lämmitysjärjestelmän valinta ja siihen vaikuttavat tekijät saneerauskohteessa. Esimerkkikohteena on asuinrivitalo. Joensuu, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Oppimateriaalia. 28 s. +liitt. 2 s.

Sainio, S. Merenpohjan lämpöenergia ilmaista asuntomessualueella [WWW]. Vaasa, Pohjalainen. 14.2.2007 [viitattu 25.1.2008]. Saatavissa: <http://www.pohjalainen.fi/teemat/messutarticle.jsp?category=178&p=5&article=173805>.

Saint Gobain Isover Oy. Energialaskenta ja energiatehokkuusdirektiivin tulkinta [WWW]. 2002 [viitattu 6.1.2008]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/fi/Yritysesittely/Uutisia+ja+ajankohtaista/Saint-Gobain+Isover+Oy+mukana+selvitt%C3%A4m%C3%A4ss%C3%A4+sek%C3%A4+energialaskentaa+ett%C3%A4+energiatehokkuusdirektiivin+tulkintaa/>.

Seppänen, O. Rak 0. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan perusteet [WWW]. LVI-tekniikka, TKK. Syksy 2005 [viitattu 4.1.2008]. Saatavissa: <http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/rrtp/2005/luennot/luentomateriaali/rrtp8.pdf>.

Seppänen, Olli. Professori, Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio. Helsinki. Sähköpostihaastattelu 9.1.2008.

Skaffari, H. Laskelma. 10.4.2008. Gebwell Oy. 2 s.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumput [WWW]. [viitattu 2.12.2007]. Saatavissa: http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=76.

Suomen Pellettilämmitys Oy [WWW]. [viitattu 4.12.2007]. Saatavissa: <http://www.spell.fi/>.

Suositus K15/98. 1998. Tilausteho ja – vesivirta, Määritys ja tarkistaminen. Suomen Kaukolämpö ry. 23 s. +liitt. 12 s.

Taanila, A. Tunnusluvut [WWW]. Liiketalous-Pasila. HAAGA-HELIA ammattikorkeakoulu. 2007 [viitattu 15.1.2008]. Saatavissa: <http://myy.helia.fi/~taaak/k/tunnu.htm>.

Talotarvike.com. Schiedel valmishormit [WWW]. 2008 [viitattu 15.4.2008]. Saatavissa: http://www.talotarvike.com/kauppa/product_catalog.php?c=224.

Tampereen kaupunki, asuntotoimi. Energia-avustus pientaloille [WWW]. 27.2.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: www.tampere.fi/asuminen.

Tampereen kaupunki, kaavoitus. Nurmi-Sorilan osayleiskaavojen luonnosvaihtoehdot, mitoitus, asuminen ja keskimääräiset tontit ja korttelit. 2007. Tampere. Julkaisematon Excel-tiedosto. 3 s.

Tampereen kaupunki, yleiskaavoitus. Nurmi-Sorila [WWW]. 2007 [viitattu 3.1.2008]. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/kaupunkisuunnittelu/kaavoitus/yleiskaavoitus/nurmisorila.html>.

Tiitinen, M. Kaukolämmön reaali-hinnan kehitys [WWW]. Energiateollisuus. 26.2.2008 [viitattu 16.4.2008]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammonkeskihinnankehitys.pdf>

Tulisijaopas. Puupelletti tutuksi [WWW]. [viitattu 3.12.2007]. Saatavissa: <http://www.tulisijaopas.com/pelletti.htm>.

Turun kaupunki. Turku Energia hankkii Kakolan lämpöpumppulaitoksen rakennus- ja kiinteistötekniset työt YIT:ltä [WWW]. Turku. 26.10.2007 [viitattu 20.1.2008]. Saatavissa: <http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=78369&nodeid=4910>.

Työ- ja elinkeinoministeriö. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia [WWW]. 31.12.2007 [viitattu 5.1.2008]. Saatavissa: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2542>.

Törmänen, E. Eristysmääräykset kiristyvät, sähkölämmitys pannaan [WWW]. Tekniikka ja Talous. 20.11.2007 [viitattu 27.1.2008]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/ilmastonmuutos/article48409.ece>.

VAPO Oy. Vapo pelletti [WWW]. [viitattu 7.12.2007]. Saatavissa: http://www.vapo.fi/fin/yksityisasiakkaat/lammityspolttoaineet/pelletit/yleista_pelletista/?id=1688

Ympäristöministeriö. Energiatodistus [WWW]. 3.4.2008 [viitattu 21.1.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=259753&lan=FI>.

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma [WWW]. 2007 [viitattu 10.1.2008]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=198063&lan=fi>.

Ympäristöministeriö. Uudet vaatimukset vähentävät rakennusten energiankulutusta [WWW]. 6.11.2002 [viitattu 30.1.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=66594&lan=fi>.

LIITTEET

Liite 1: Nurmi-Sorilan osayleiskaavaluonnosvaihtoehdot selityksineen

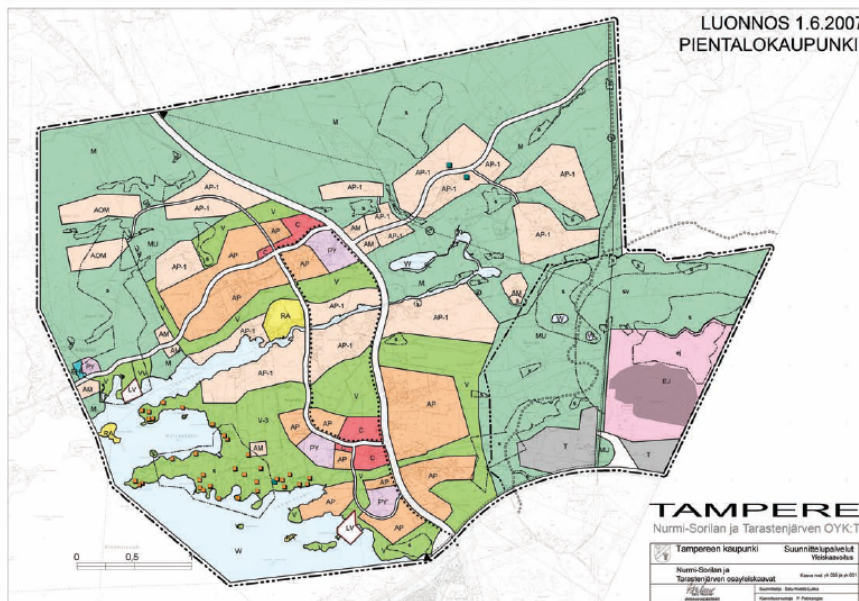
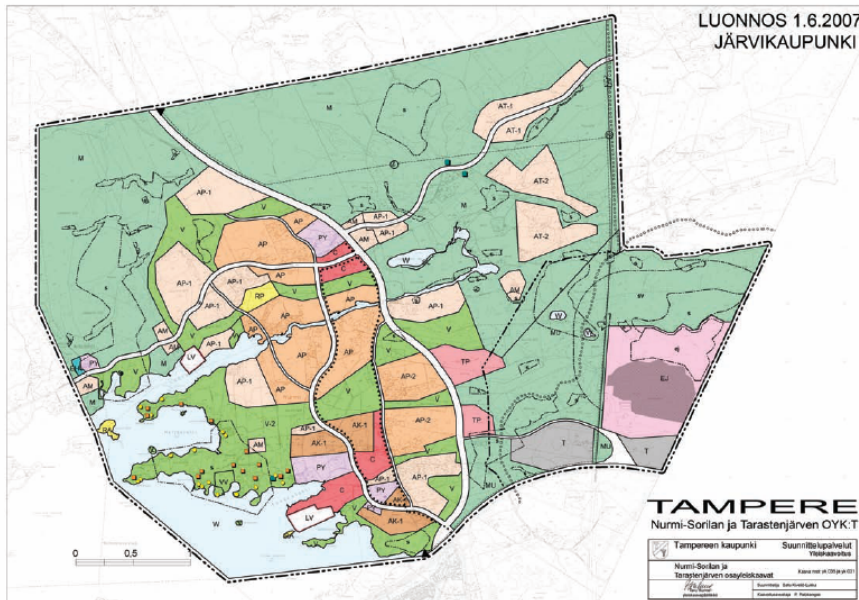
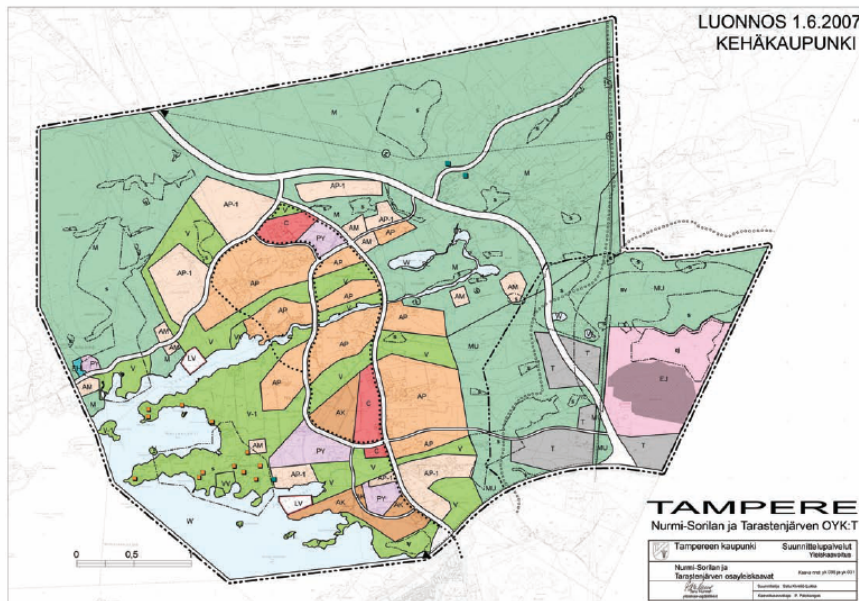
Liite 2: Tampereen kaukolämmitettyjen rakennusten mitattu/ennustettu ominaiskulutus 1980–2020, sekä portaittainen ennuste tulevaisuuden ominaiskulutuksen muutoksesta Nurmi-Sorilan kaavoitusalueella

Liite 3: Kustannusten rajahinnat kaukolämpöratkaisuille

Liite 4: Kustannusten rajahinnat alueverkkoratkaisuille

Liite 1: Nurmi-sorilan osayleiskaavaluonnosvaihtoehdot selityksineen

NURMI-SORILAN JA TARASTENJÄRVEN OSAYLEISKAVALUONNOSVAIHTOEHDOT 1.6.2007



OSAYLEISKAAVAMERKINNÄT JA MÄÄRÄYKSET

YLEISMÄÄRÄYKSET:

Viheryhteystarve tulee tutkia Sorilanjoen rannoilla.
KERROSTALOVALTAINEN ASUNTOALUE.
Rakennukset saavat olla enintään kolme-nelikerroksisia.

AK

AK-1

AP

AP-1

AP-2

AOM

AM

AT-1

AT-2

C

PY

T

TP

V

V-1

V-2

V-3

RA

RP

LV

VV

EJ

EH

SL

M

MU

W

Muinaismuistokohde.

M

MU

W

Liikennealue

Kevyen liikenteen reitti

Ohjeellinen pääsuojareitti

Kunnan raja.

Yleiskaava-alueen raja.

Alueen raja

Osa-alueen raja.

Alueen osa, jolla on luonnonsuojelullista arvoa.

Aluetta saattavat koskea luonnonsuojelun erityismääräykset.

Alueen rajaus ja suojelun tapa määntellään ko. laissa esitetyllä tavalla.

Suojavyöhyke.

Alueelle ei saa sijoittaa asutusta, työpaikkoja, palveluja eikä virkistystoimintoja.

Lähtöalue.

Ympäristö- tai maisemavaurion korjaustarve.

Asuinrakennus.

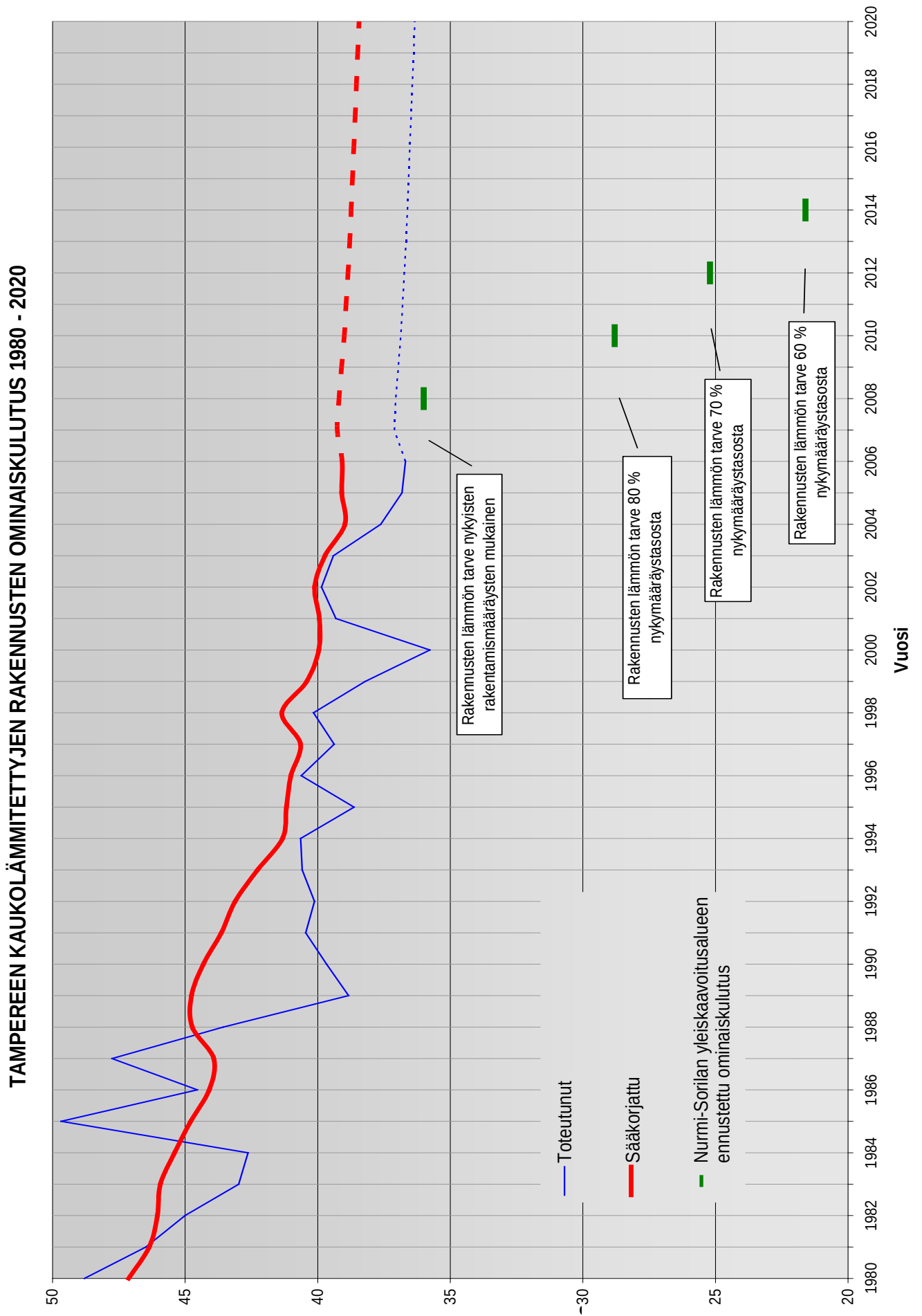
Loma-asunto.

Voimalinjan yhteystarve.

Linjasta ei ole suunniteltu.

110 - 400KV sähkölinja

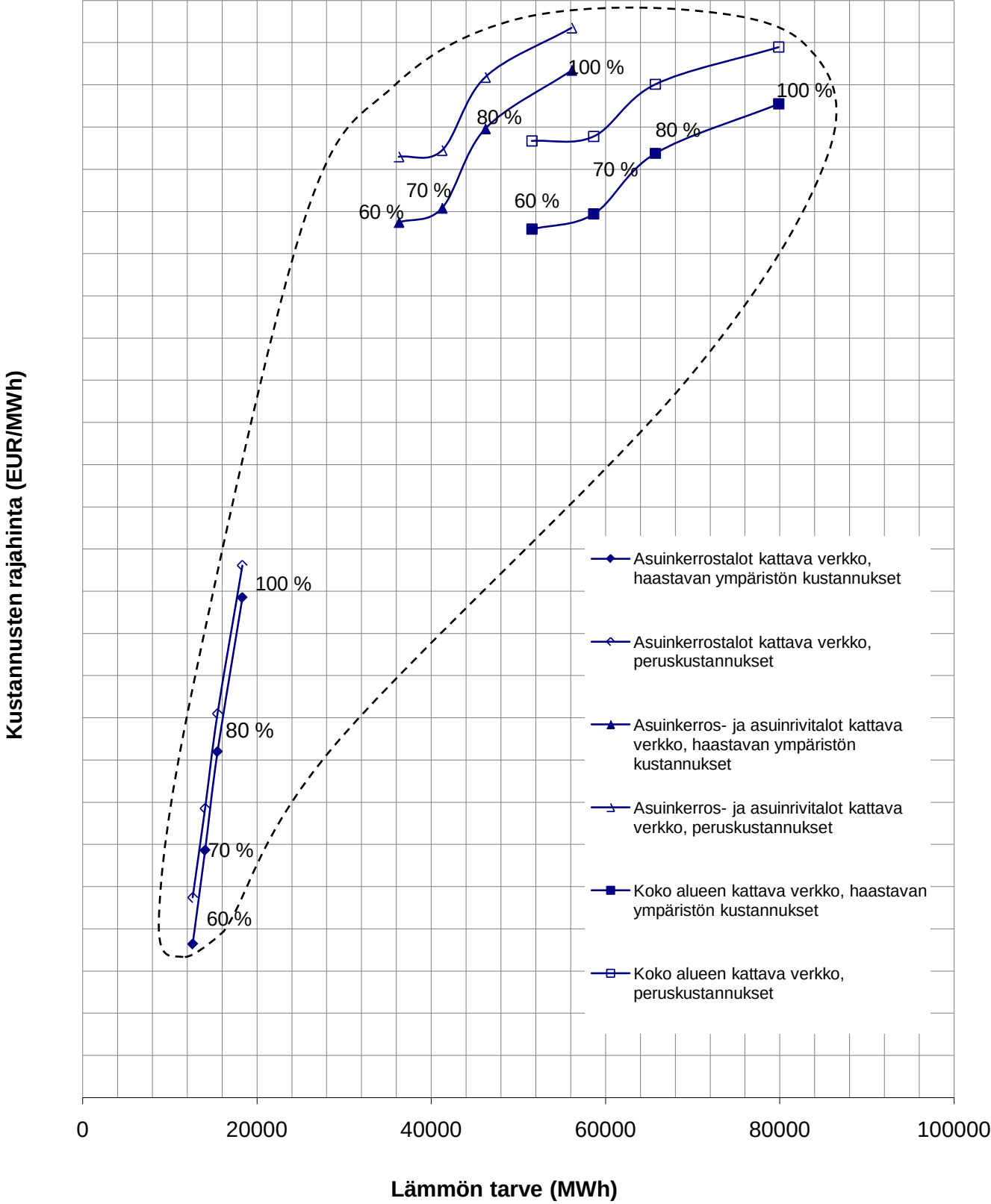
Liite 2: Tampereen kaukolämmitettyjen rakennusten mitattu/ennustettu ominaiskulutus 1980-2020 sekä portaittainen ennuste Nurmi-Sorilan ominaiskulutuksen muutoksesta tulevaisuudessa



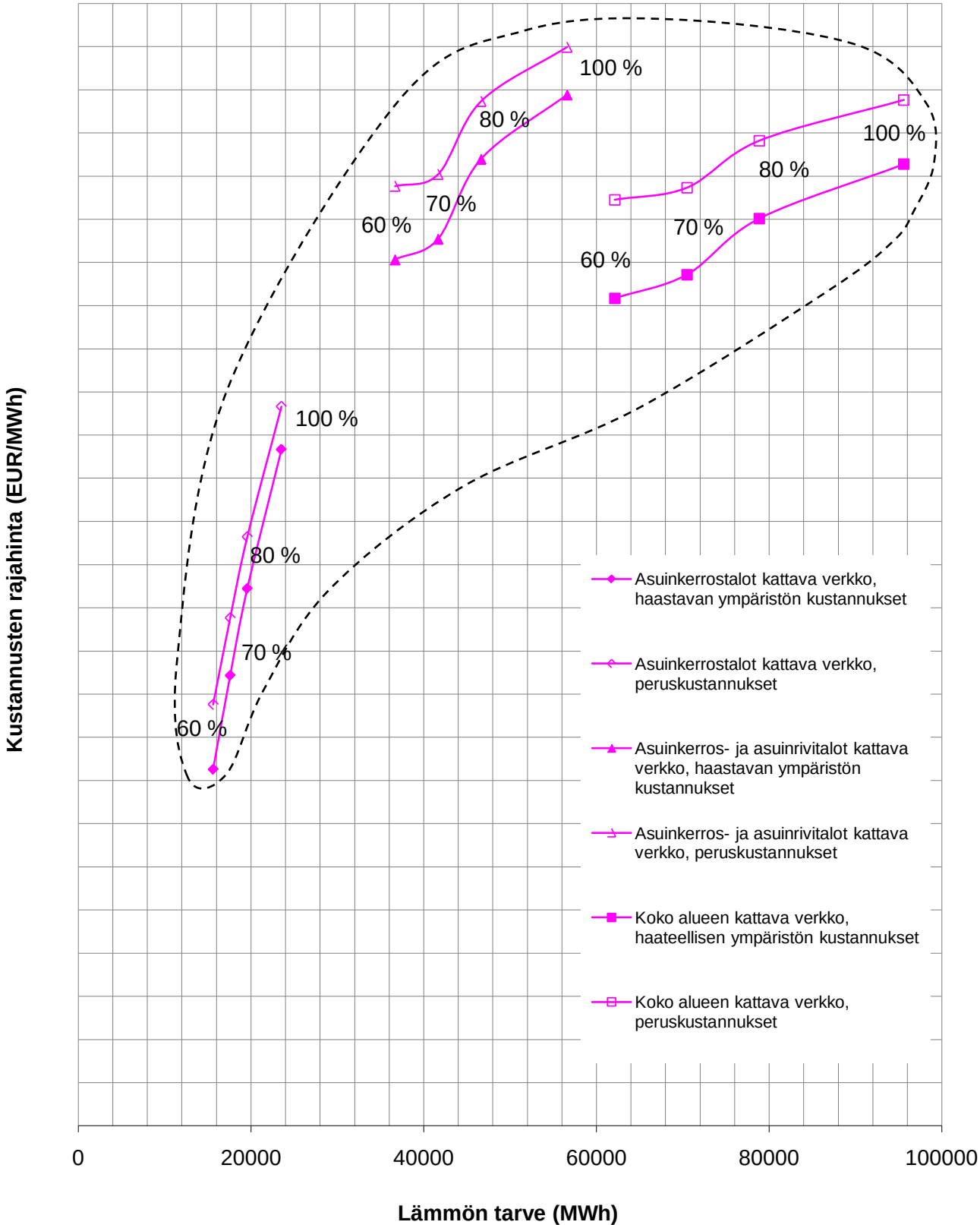
Liite 3(1): Kustannusten rajahinnat kaukolämpöratkaisuille

Kustannusten rajahinnat kaukolämpöratkaisulle, herkkyytettynä lämmitysenergian ja -tehon portaittaisella pienenemisellä
Prosenttiluku kuvaa rakennusten energiankulutustasoa, 100 % kuvaa nyky määräysten mukaan tehtyjä taloja

Kehäkaupunkivaihtoehto

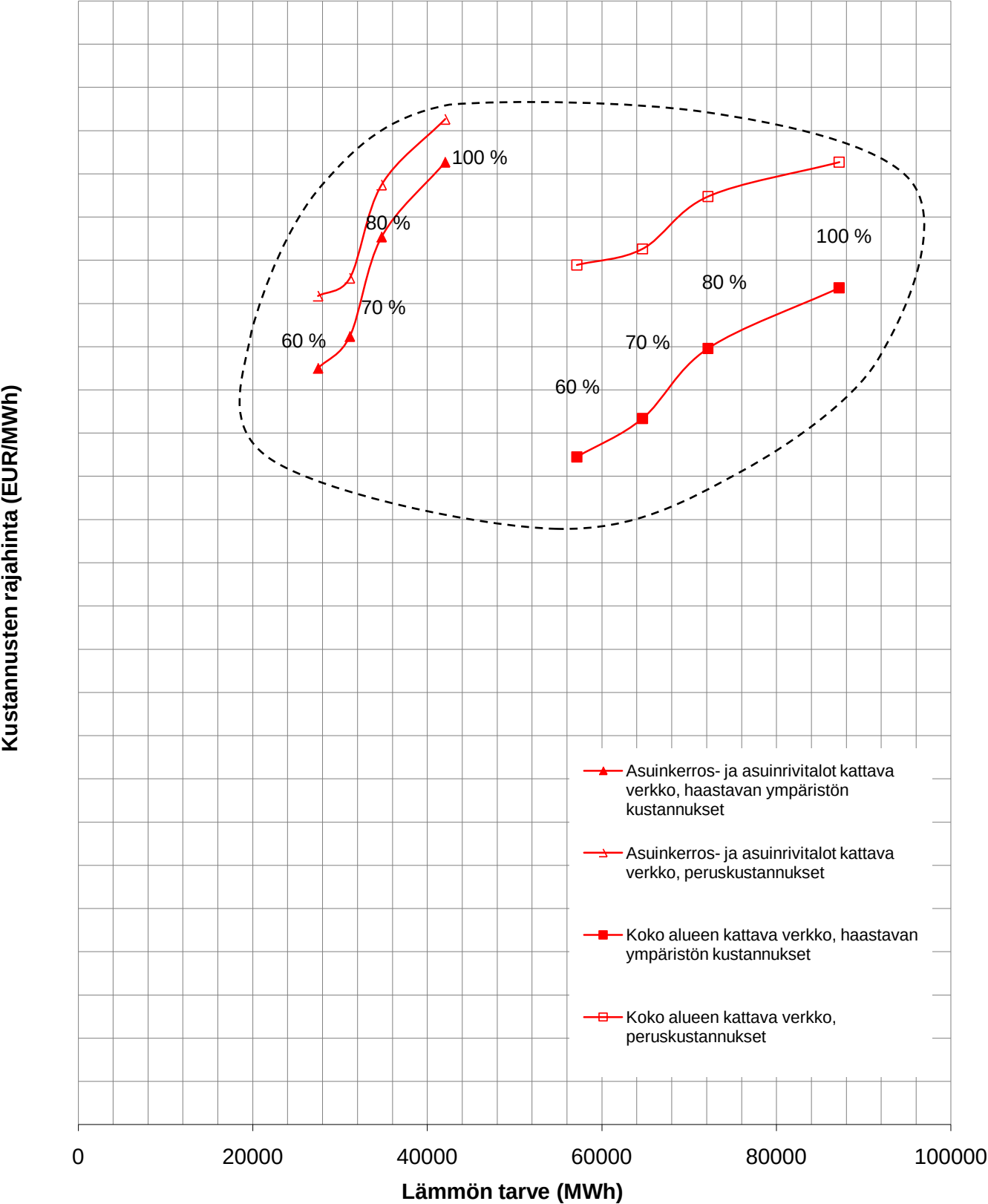


Järvi-kaupunkivaihtoehto

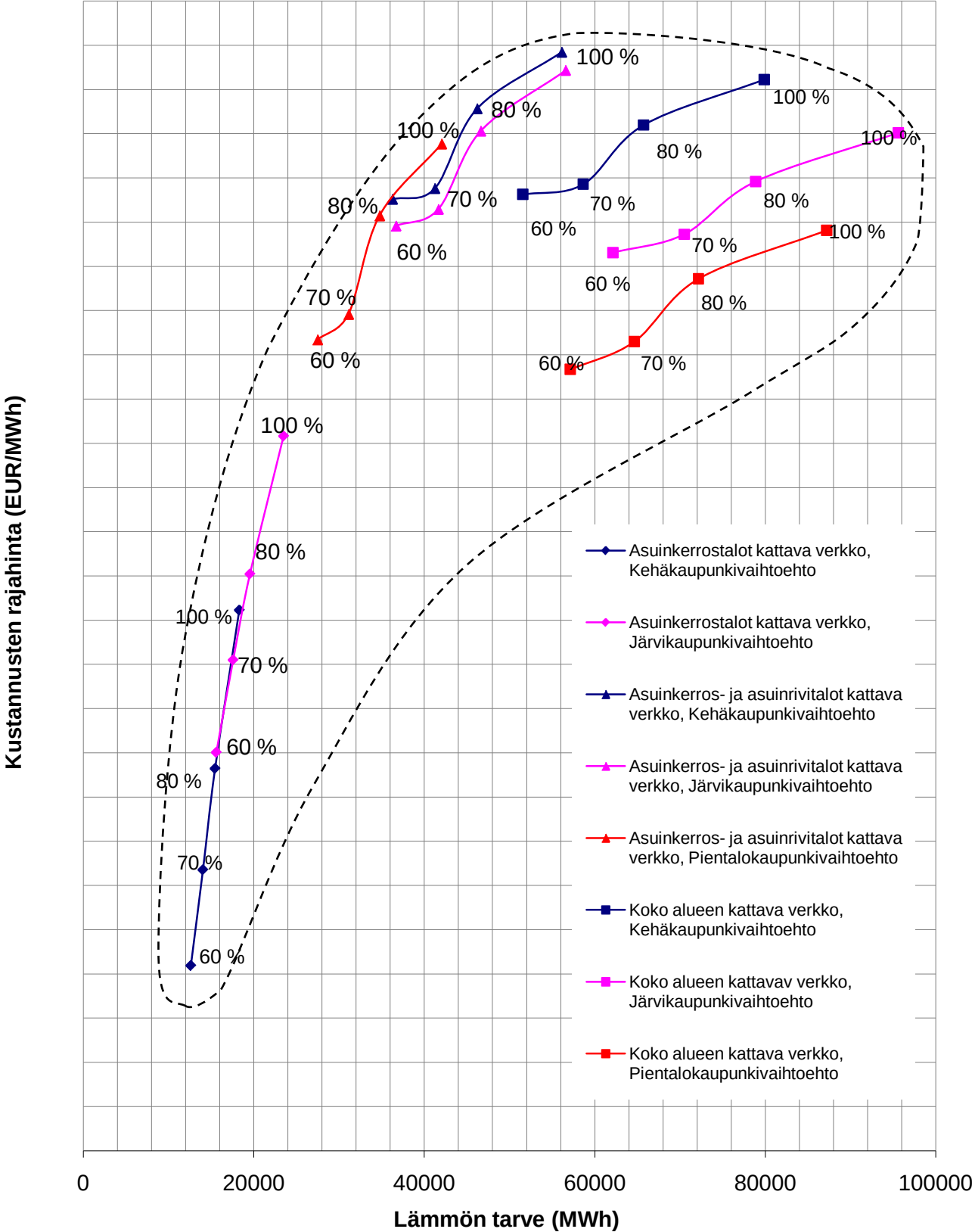


Kustannusten rajahinnat kaukolämpöratkaisuille, herkkyytettynä lämmitysenergian ja -tehon portaittaisella pienenemisellä
Prosenttiluku kuvaa rakennusten energiankulutustasoa, 100 % kuvaa nykymääräysten mukaan tehtyjä taloja

Pientalokaupunkivaihtoehto

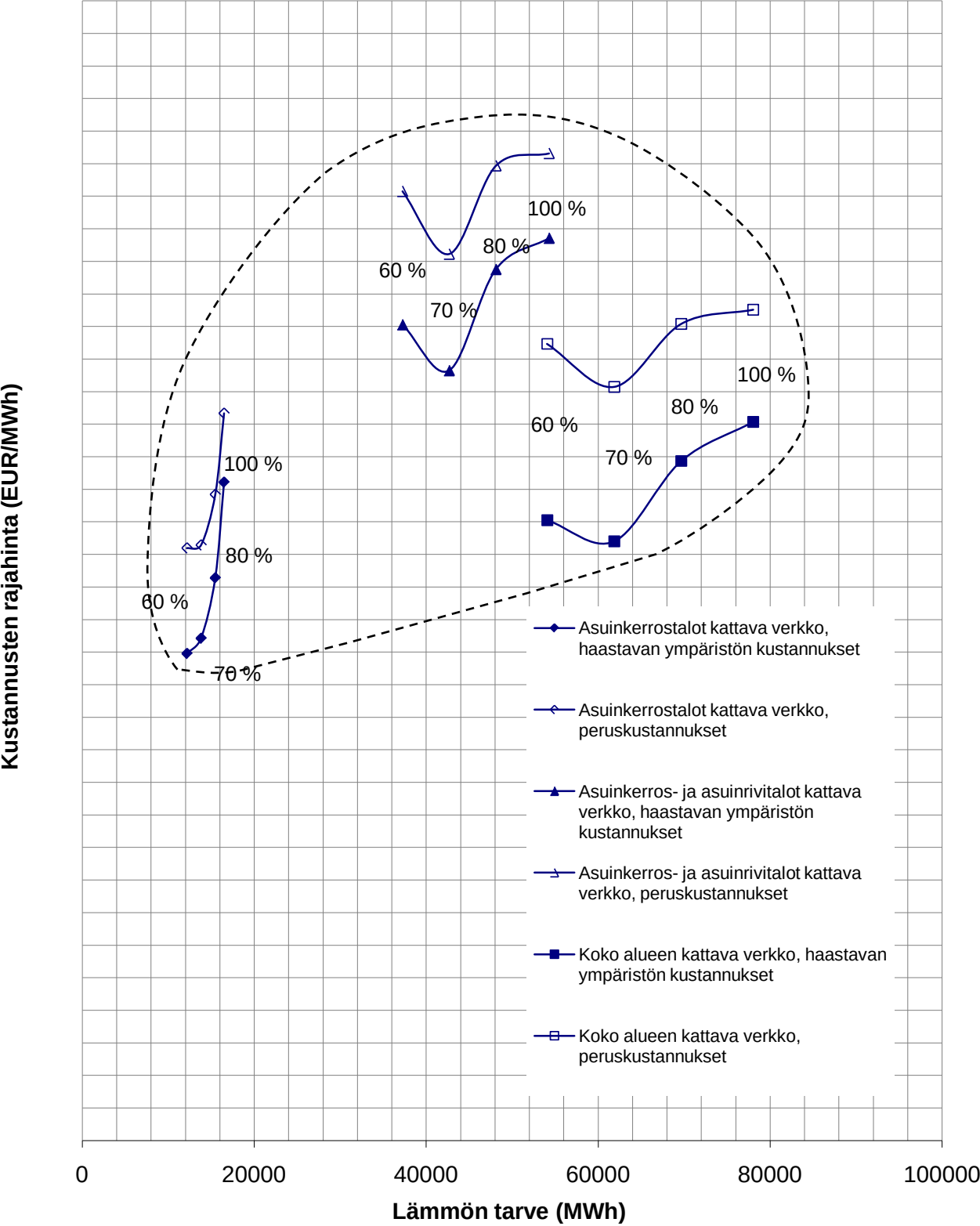


Kaikki vaihtoehdot keskimääräisillä kustannuksilla

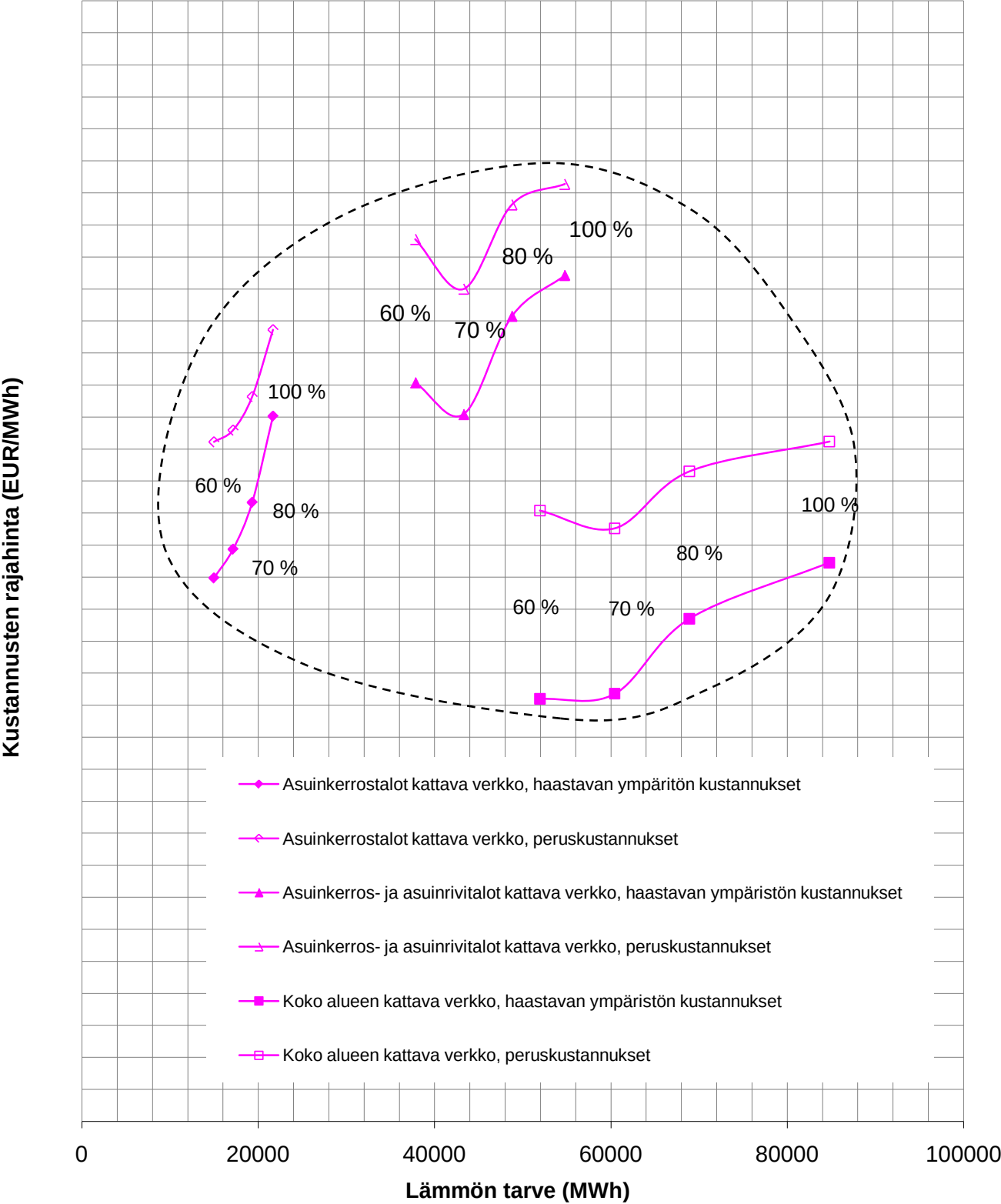


Kustannusten rajahinnat alueverkolle, herkkyytettynä lämmitysenergian ja -tehon portaittaisella pienenemisellä
Prosenttiluku kuvaa rakennusten energiankulutustasoa, 100 % kuvaa nykymääräysten mukaan tehtyjä taloja

Hankinnan rajahinnat alueverkolle Kehäkaupunkivaihtoehdossa, herkkyytettynä portaittain lämmitysenergian ja -tehon pienenemisellä

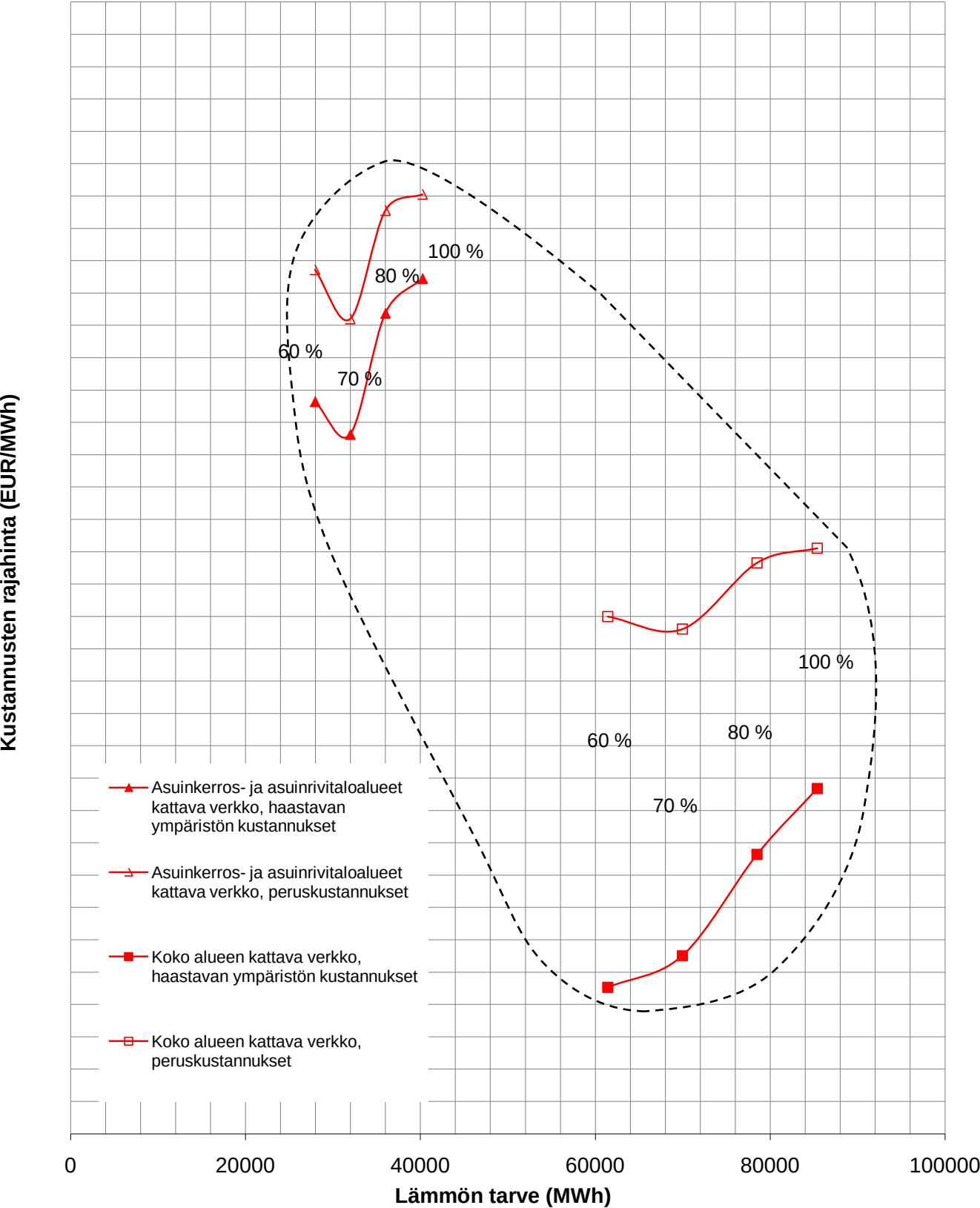


Hankinnan rajahinnat alueverkolle Järvikaupunkivaihtoehdossa, herkkyytettynä portaittain lämmitysenergian ja -tehon pienenemisellä



Kustannusten rajahinnat alueverkkoratkaisuille, herkkyytettynä lämmitysenergian ja -tehon portaittaisella pienenemisellä
Prosenttiluku kuvaa rakennusten energiankulutustasoa, 100 % kuvaa nyky määräysten mukaan tehtyjä taloja

Pientalokaupunkivaihtoehto



Kaikki vaihtoehdot keskimääräisillä kustannuksilla

