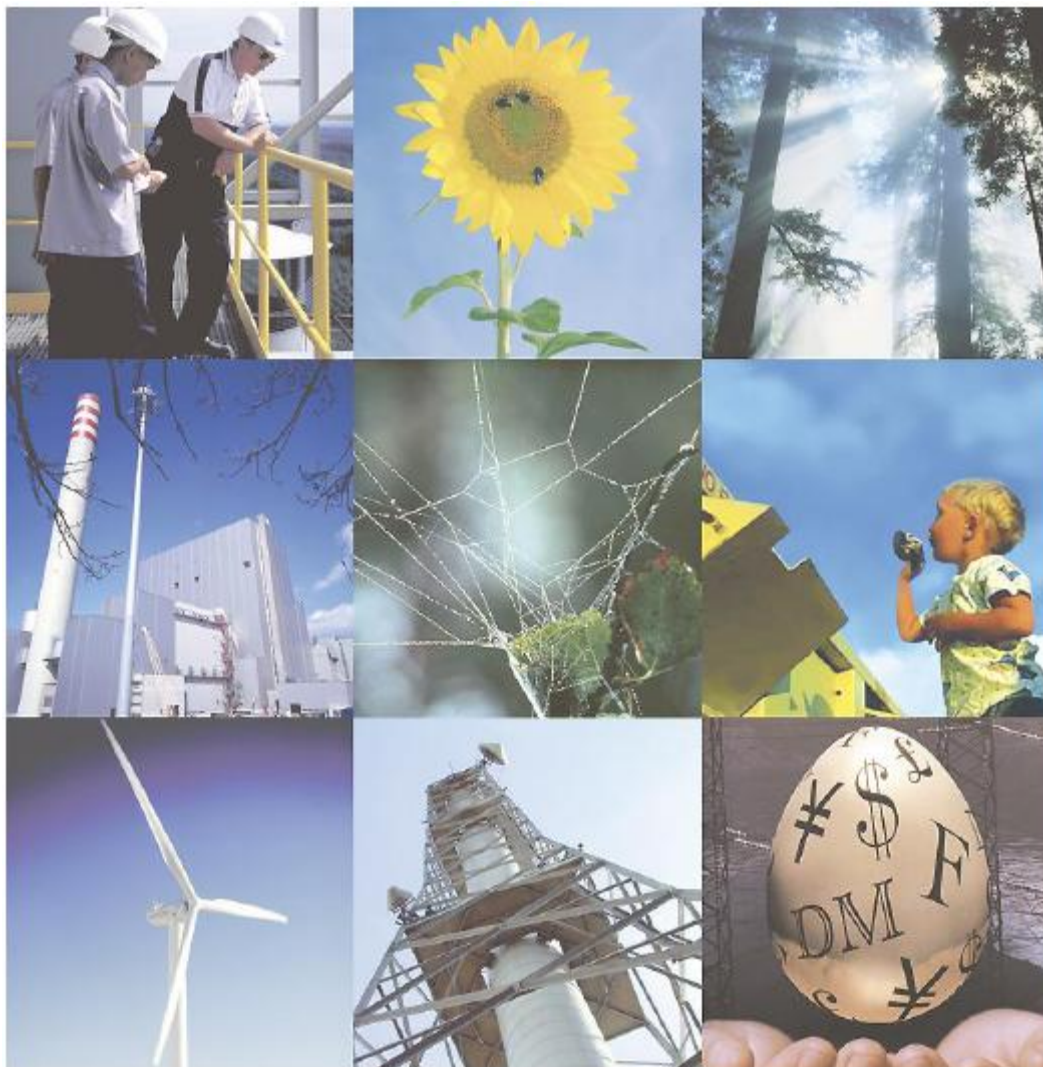




Energiateollisuus ry

Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla

Päiväys 30.05.2014

Viite 16ENN0271-E0001

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen taustaa

Uusiutuvan energian hyödyntämiseen tähtäävät tuotantotekniikat ovat kehittyneet ja yhdessä energiapoliittisten ohjauskeinojen kanssa ne ovat luoneet uusia mahdollisuuksia pientaloalueiden lämmittämiseen.

Energiateollisuus ry:n strategiana on suunnata kaukolämmitystoimintaa myös pientalovaltaisemman kaukolämmittämisen suuntaan.

Kaukolämmityksen kilpailukyky ei ole paras mahdollinen matalan tehotiheyden omaaville pientaloalueilla, joilla kiinteistöjen lämmöntarve on entistä paremman eristystason myötä pienentynyt ja tulee tulevaisuudessa vielä entisestäänkin pieneneään.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka uusien pientaloalueiden kaukolämmitys olisi kustannustehokkainta toteuttaa ns. kevennetysti tehontarpeiden, lämpötilatasojen, johtorakenteiden, kytkentätapojen, rakentamis- ja käyttökustannusten ym. kannalta.

Vastaava selvitys on tehty 1980-luvulla, mutta olosuhteet kaukolämpöalalla ovat sen jälkeen muuttuneet merkittävästi.

Tutkimus suoritettiin ns. vertailevana tutkimuksena niin, että valitulle tarkastelualueelle suunniteltiin aluelämpöjärjestelmä kaikilla vertailuun otetuilla kytkentäjärjestelmien ja johtorakenteiden yhdistelmillä samoilla suunnittelu- ja mitoitusperiaatteilla niin, että vertailtavat järjestelmät ovat mahdollisimman hyvin keskenään vertailukelpoisia. Mitoitukset suoritettiin Energiateollisuus ry:n suunnitteluohjeiden mukaan.

Vertailuun ei otettu mukaan tarkastelualueen ulkopuolisia kustannuksia esimerkiksi lämmön tuotantoon tai ns. pääkaukolämpöverkkoon eikä myöskään tarkastelualueen kaukolämpöjohtojen päällystekustannuksia, koska ne vaihtelevat suuresti paikkakunnasta ja kaukolämpöjärjestelmästä riippuen. Tarkastelun vaihtoehtokohtaiset kokonaiskustannukset eivät siten ole absoluuttisia kokonaiskustannuksia.

Tutkimuksen tulokset ja johtopäätökset

Työn tarkoituksena oli verrata erilaisista kevennetyistä kytkentäjärjestelmistä ja johtorakenteista muodostettuja tarkasteluvaihtoehtoja keskenään ja vertailujärjestelmään, joka oli ns. perinteinen kaukolämpöjärjestelmä. Periaatteena oli, että johtorakenteet valittiin markkinoilla olevista todellisista johtorakenteista monipuolisesti ja niin, että niistä oli saatavissa todellista kustannustietoutta, jota käytettiin tarkastelun kustannuslaskennassa. Myös tarkasteluun valitut kytkentäjärjestelmät olivat todellisia järjestelmiä, mutta niin, että vaihtoehtoisissa oli mukana myös kaksi järjestelmää, joissa vain joko lämmitys tai lämmin käyttövesi tuotetaan kaukolämmöllä.

Kaukolämpöjohtojen eristysmateriaalit ovat vuosien mittaan kehittyneet ja kaukolämpöjohtoelementtien eristyspaksuudet kasvaneet. Tästä syystä lämpöhäviöiden osuus kokonaiskustannuksissa ei tuo suuria eroja järjestelmien välille. Myöskään pienehkön aluelämpöverkon painehäviökustannukset eivät ole merkittäviä. Suurimmat erot syntyvät investointikustannuksista. Tästä syystä lämmönmyyjän kannalta edullisimmaksi järjestelmäksi osoittautui teräksisin virtausputkin toteutettu vertailujärjestelmä, joka ei edellytä alueellista ”lämmönkäsittely”-yksikköä.

Johtopäätöksiä:

- Ns. normaali kaukolämpöjärjestelmä toteutettuna Fe Mpuk-johtorakenteella on kilpailukykyinen kevennetyihin kaukolämpöjärjestelmiin verrattuna pientalovaltaisten aluelämpöjärjestelmien toteutuksessa.
- Aluelämpöverkon kaukolämmityksen kannattavuutta parantaa jokainen yksittäinenkin rivi- tai kerrostaloyhtiö pelkkään omakotitaloalueeseen verrattuna.
- Ns. kevennettyjen kaukolämpöjärjestelmien kannattavuutta rasittavat tyypillisesti alueen reunalle tarvittavat ”lämmön käsittely”-yksiköt, joissa toteutetaan esim. lämmön siirto toisioverkkoon, menoveden lämpötilan säätö tai pumppaus.
- Lämmityksen tehontarpeiden pienentyessä lämpimän käyttöveden edellyttämät tehontarpeet korostuvat alueellisen kaukolämpöverkon mitoituksessa. Mahdollisuus pienempiin lämpimän käyttöveden tehontarpeisiin mahdollistaisi osin pienemmät putkikoot ja siten pienemmät investointi- ja käyttökustannukset aluelämpöverkossa.
- Muovisiin virtausputkiin perustuvien johtorakenteiden käyttö on parhaiten kilpailukykyistä teräksisiin virtausputkiin perustuviin johtorakenteisiin nähden pienehköissä aluelämpöverkoissa, joissa ns. twin-johdon käyttö voidaan maksimoida ja alueellinen ”lämmön käsittely”-yksikkö voidaan joko kokonaan välttää tai toteuttaa hyvin pienin investointikustannuksin.

Tiukentuvat rakentamisen energiamääräykset vähentävät kaukolämmön tarvetta. Kaukolämmön rakentamisen voidaan kuitenkin todeta edelleenkin olevan kannattavaa lämmönmyyjän kannalta tarkastelualueen kaltaisilla pientalovaltaisilla alueilla käytettäessä alueen kannalta optimaalisia kytkentätapoja ja johtorakenteita.

Lisätietoja antaa:

Harri Muukkonen
Pöyry Finland Oy, 010 3311
S-posti: harri.muukkonen@poyry.com

KAUKOLÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KEVENTÄMISMAHDOLLISUUDET MATALAN ENERGIAN KULUTUKSEN ALUEILLA

SISÄLLYSLUETTELO

ABSTRACT

1	TAUSTAA	5
2	TUTKIMUKSEN SUORITUSTAPA	5
3	NYKYTILANTEEN KARTOITUS	6
3.1	Yleistä	6
3.2	Katsaus tehtyihin tutkimuksiin	6
3.3	Käyttökokemuksia	7
4	TARKASTELTAVAT ALUELÄMPÖJÄRJESTELMÄT	8
4.1	Periaatteet tarkasteltavien järjestelmien valinnalle	8
4.2	Kytkeäjäjärjestelmät	8
4.2.1	Yleistä	8
4.2.2	Järjestelmä 1: Alueellinen sekoitusjärjestelmä	9
4.2.3	Järjestelmä 2: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä	10
4.2.4	Järjestelmä 3: Lämmin käyttövesi -järjestelmä	11
4.2.5	Järjestelmä 4: Alueellinen paluuviesijärjestelmä	13
4.2.6	Järjestelmä 5: Vertailujärjestelmä	14
4.3	Johtorakenteet	15
4.3.1	Yleistä	15
4.3.2	Johtorakenne 1	16
4.3.3	Johtorakenne 2	16
4.3.4	Johtorakenne 3	17
4.3.5	Johtorakenne 4	17
4.4	Vertailtavat yhdistelmät	17
5	TARKASTELUALUE JA LÄHTÖTIEDOT	17
5.1	Tarkastelualue	17
5.2	Lähtötiedot	19
5.2.1	Alueen kiinteistötiedot	19
5.2.2	Kiinteistöjen lämmityksen tehon ja energian tarpeet	19
6	MITOITUS- JA LÄMPÖHÄVIÖLASKENNEN PERIAATTEET	19
6.1	Kaukolämpöjohtojen mitoituksen ja painehäviölaskennan periaate	19
6.2	Aluelämpöjohtojen lämpöhäviölaskennan periaate	20
7	KUSTANNUSVERTAILU	21

7.1	Yleistä	21
7.2	Alueen investointikustannukset lämmönmyyjälle	21
7.3	Alueen lämpöhäviökustannukset	22
7.4	Alueen pumppauskustannukset	23
7.5	Sähkön käyttö kuluttajalla	23
7.6	Alueen käyttö- ja kunnossapitokustannukset	23
7.7	Kustannukset kaukolämpöasiakkaille	23
7.8	Kustannukset yhteensä	24
7.9	Keventämisen vaikutus kaukolämmityksen taloudellisuuteen	26
8	KANNATTAVUUSVERTAILU	26
8.1	Yleistä	26
8.2	Kannattavuus kaukolämpöyhtiön kannalta	26
8.3	Kannattavuus kaukolämpöasiakkaan kannalta	28
8.4	Vaiheittainen rakentaminen	29
9	HERKKYYSTARKASTELUT	32
9.1	Kuvaukset herkkyystarkasteluista	32
9.1.1	Herkkyystarkastelu 1: Omakotitaloalue	34
9.1.2	Herkkyystarkastelu 2: Kaukolämpöverkkoon liittymisaste 65 %	35
9.1.3	Herkkyystarkastelu 3A: Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Fe Mpuk	36
9.1.4	Herkkyystarkastelu 3B: Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Pe 2Mpuk+Pe Mpuk	37
9.1.5	Herkkyystarkastelu 4: Laskenta korotetuilla energian hinnoilla	37
9.2	Tulokset	37
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	40

Liitteet

1	Tarkastelujärjestelmien ja herkkyystarkasteluiden aluekartat
2	Kaukolämpöjohtojen mitoitus- ja painehäviölaskennan periaatteet
3	Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviölaskennan periaatteet

ABSTRACT

Study background

The production techniques aiming to utilize more renewable energy have improved and together with energy political directing methods they have created new possibilities to warm-up one-family house areas.

The strategy of the Finnish Energy Industries is to aim the focus also on district heating of one-family house areas.

The competitiveness of district heating is not the best one in the low intensity areas, usually in one-family house areas, where the heat demand has decreased because of better insulations used which is expected still to decrease in the future.

The aim of this study was to determine with lightened structure of district heating what is the most cost-effective way to make the district heating system in the one-family house areas by considering the heat requirements, temperature levels, pipe structures, connection methods, building and operational costs etc.

The corresponding study has been made in the 1980s, but after that the circumstances of district heating industry have changed significantly.

The study was made as a comparative study so that the chosen areas were designed to have a local district heating system with all the combinations of the compared connections and pipe structure methods, with the same designing and dimensioning parameters so that the comparison could be done as well as possible. Dimensioning was made according to instructions of district heat designing of Finnish Energy Industries

External costs of the study area were not included in the comparison, for example heat production costs or costs from the main district heating network, neither the chosen areas pipe coating costs, because the cost changes a lot depending on the geographical location and district heating system. The alternative costs of the total cannot be considered as absolute total costs in this study.

Results and Conclusions of the Study

The main purpose of this study was to compare different systems composed of multiple lightened connections and pipe structures of district heating systems together and to the reference systems that was so called typical Finnish district heating system without any modifications. The basic rule was to choose the pipe structures from typical Finnish pipe producer with versatility so that the real costs were known and the cost was included in the cost accounting. The connected systems chosen to be compared, too, were real ones so that the alternative systems had two optional systems where the whole heating system or only domestic hot water was produced with district heating.

Materials of district heating pipelines insulation have developed a lot as well as thicknesses of the district heating pipe elements has grown during the years. Because of this the heat loss calculation does not make any major difference between the systems. Also the difference of pressure losses of a small district heating systems is not remarkable high. The biggest differences were found in investment costs. Because of this the most cost effective way from the point of view of a heat sales company, was a system where hydraulic pipes were constructed of steel-material that does not require a local heat unit.

Conclusions:

- So called normal district heating system build up with Fe Mpuk pipes is competitive compared to the lightened structure district heating systems in the areas of one-family houses.
- The profitability of a local district heating network can be improved even by one connected block of flat or row-house compared only to one-family house area.
- The profitability of so called lightened structure district heating systems is typically burdened with the heat treating units in the end of the network, where for example the limit of primary and secondary network is located, adjustment of the supply temperature is done or the pumping is situated.
- When the heating capacity is decreasing, the heating capacity needed by domestic hot water is emphasized when designing the network and pipe connections. The possibility to decrease the heat consumption of domestic hot water system would provide partially the possibility to install smaller pipe dimensions and by that it would decrease the investment and operational costs in the local district heating network.
- Systems based on the plastic pipes are the best ones to compete with the corresponding steel ones in the small local district heating systems, where the utilization of so called twin pipes can be maximized and the local heat treatment unit is not needed at all or can be installed and build-up with low costs.

The restricted construction energy regulations decrease the need of heating capacity of district heating. However, it can be stated that it's still profitable to build district heating systems from the heating company's point of view in the single-house areas studied when using the most optimized ways of connections and pipe types.

1 TAUSTAA

Uusiutuvan energian hyödyntämiseen tähtäävät tuotantotekniikat ovat kehittyneet ja yhdessä energiapoliittisten ohjauskeinojen kanssa ne ovat luoneet uusia mahdollisuuksia pientaloalueiden lämmittämiseen.

Energiateollisuus ry:n strategiana on suunnata kaukolämmitystoimintaa myös pientalovaltaisemman kaukolämmittämisen suuntaan.

Kaukolämmityksen kilpailukyky ei ole paras mahdollinen matalan tehotiheyden omaaville pientaloalueilla, joilla kiinteistöjen lämmöntarve on entistä paremman eristystason myötä pienentynyt ja tulee tulevaisuudessa vielä entisestäänkin pienenevään.

Energiateollisuus ry:n toimeksiannosta Pöyry selvittää kuinka uusien pientaloalueiden kaukolämmitys olisi kustannustehokkainta toteuttaa ns. kevennetysti nykyisten tehontarpeiden, lämpötilatasojen, johtorakenteiden, kytkentätapojen, rakentamis- ja käyttökustannusten ym. kannalta.

Vastaava selvitys on tehty 1980-luvulla, mutta olosuhteet kaukolämpöalalla ovat sen jälkeen muuttuneet merkittävästi.

2 TUTKIMUKSEN SUORITUSTAPA

Tutkimus suoritettiin vastaavilla periaatteilla kuin 1980-luvalla tehty tutkimus. Periaatteena oli, että tutkittavat järjestelmät ja johtorakenteet ovat olemassa olevia ja käytettyjä ratkaisuja, joista on myös todellista kustannustietoa saatavilla.

Tutkimus suoritettiin ns. vertailevana tutkimuksena niin, että valitulle tarkastelualueelle suunniteltiin aluelämpöjärjestelmä kaikilla vertailuun otetuilla kytkentäjärjestelmien ja johtorakenteiden yhdistelmillä samoilla suunnittelu- ja mitoitusperiaatteilla niin, että vertailtavat järjestelmät ovat mahdollisimman hyvin keskenään vertailukelpoisia. Mitoitukset suoritettiin Energiateollisuus ry:n suunnitteluohjeiden mukaan.

Kaikkien vertailtavien järjestelmien osalta määritettiin alueellisesti

- investointikustannukset
- lämpöhäviökustannukset
- pumppauskustannukset.

Koska tutkimuksen tarkoituksena oli suorittaa vertailu alueellisten järjestelmien osalta, ei muita kustannuksia otettu vertailuun mukaan. Täten esimerkiksi lämmöntuotannosta, muusta kuin tarkastelualueen kaukolämpöverkosta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvia todellisuudessa alueelle kohdistuvia kustannuksia ei vertailuun otettu mukaan.

Tarkastelualue on todellisuudessaakin olemassa oleva kaukolämmitetty omakotitaloalue. Alueen kaavoitusta kuitenkin muutettiin tutkimusta varten niin, että joitakin omakotitalotontteja yhdistettiin suuremmiksi tonteiksi, jolloin alueelle saatiin omakotitalojen lisäksi kaksi kerrostaloa ja kolme rivitaloyhtiötä.

3 NYKYTILANTEEN KARTOITUS

3.1 Yleistä

Tutkimuksen aluksi kartoitettiin kirjallisuusselvityksenä Suomessa ja muualla käytössä olevia ns. kevennettyjä kytkentäratkaisuja ja johtorakenteita.

3.2 Katsaus tehtyihin tutkimuksiin

Alla on esitetty kansainvälisiä ja suomalaisia tutkimuksia kevennetyistä kaukolämpöjärjestelmistä.

- ”Low Temperature DH for Future Energy Systems (LTDH)”, Tanskan teknisen yliopiston tutkimus (www.energiforskning.dk). Tutkimuksessa haetaan ratkaisuja tuottaa matalan lämpötilan (menolämpötila: 50-55 °C) kaukolämpöä energiatehokkaissa rakennuksissa käyttäen uusiutuvaa energiaa. Tutkimuksessa etsitään myös ratkaisua legionella-bakteerin estämiseen matalissa lämpimän käyttöveden lämpötiloissa. Samaan aikaan Teknisellä yliopistolla on käynnissä ”4th generation district heating”-tutkimus, joka tutkii matalan lämpötilan kaukolämmön ratkaisuja ja pyrkii parantamaan taloudellisia ja ympäristöllisiä puolia kaukolämmössä.
- Ecoheat4cities, Wp2–green labeling criteria, Task 2.2. Improvement potential of the DHC –report, (2011) (www.ecoheat4cities.eu), Tanskan Tekninen Instituutti. Raportissa on esitetty mm. seuraavat kaksi kytkentä-tapaa:
 - o Rakennuksen lämmönsiirrin on kytketty kaukolämpöverkon paluuputkeen, (35-40 °C), josta saadaan suoraan lämmitys lattia- tai ilmastointilämmityksenä. Käyttövesi lämmitetään lämpöpumpulla / aurinkolämmöllä lämminvesivaraajassa.
 - o Kaukolämpöjärjestelmässä hyödynnetään lämminvesivaraajaa. Menovesi on talvella 60 °C, joka riittää käyttöveden lämmittämiseen. Kesällä 45 °C:n kaukolämpövesi ns. priimataan lämpimän käyttöveden edellyttämään lämpötilaan lämminvesivaraajassa sähkövastuksen avulla.
- Fjärrsyn, ruotsalainen tutkimus: Nästa generations fjärrvärme (2012). Tutkimuksessa on otettu esille mm. seuraavat kytkentävaihtoehdot:
 - o Lämpimän käyttöveden varaaja on kytketty suoralla kytkennällä kaukolämpöverkkoon.
 - o Alueellinen kaukolämpöverkko, jossa on kiinteistökohtaiset lämpimän käyttöveden varaajat.
 - o Alueellinen kaukolämpöverkko, jossa on suora kytkentä lämmityspattereihin ja lämmintä käyttövettä varten on kiinteistökohtaiset lämmönsiirtimet.
 - o Alueellinen kaukolämpöverkko, joka on toteutettu kiinteistökohtaisilla lämmityksen lämmönsiirtimellä ja, jossa lämmin käyttövesi jaetaan kiinteistökohtaisesti suoralla kytkennällä (Grudis-tekniikka).

- Energiateollisuus ry, Kaukolämpöjärjestelmän paluuveden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä – selvitys (2010). Selvityksessä on otettu esille mm. seuraavat kytkentävaihtoehdot:
 - Lämmin käyttövesi lämmitetään kaukolämmön menovedellä ja huonetilojen lämmittämiseen tarvittava lämpö otetaan kaukolämpöverkon paluuedestä. Vaihtoehdossa tarvitaan katujohdosta kolme putkea lämmönjakokeskukselle (kolmiputkijärjestelmä) normaalin kahden asemasta. Kaksi putkista toimii tuloputkena, joista toinen on kytketty katujohdon menolinjaan ja toinen paluulinjaan. Yksi putkista toimii molemmille tuloputkille paluujohtona.
 - Kaukolämpöverkon paluuedestä otetaan tarvittava lämpö lämpimän käyttöveden ja huonetilojen lämmittämiseen. Tarvittava lämpimän käyttöveden loppulämpötila saavutetaan kiinteistökohtaisesti sähkölämmitystä käyttäen.
 - Kaukolämpöverkon paluuedestä otetaan lämpö huonetilojen lämmittämiseen ja saatavissa oleva lämpö lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämpimän käyttöveden lämpötila nostetaan lämpöpumppua käyttäen tarvittavalle lämpötilatasolle.
- Energiateollisuus ry, Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat – selvitys (2011). Selvityksessä on esitelty mm. seuraavia kytkentätapoja:
 - Tasaajasäiliö lämpimän käyttöveden kierrossa
 - Käyttövesivaraaja latauskierukalla
 - Käyttövesivaraaja lämmönvaihtimella.

3.3 Käyttökokemuksia

Syyt vaurioihin ovat kevennetyllä kaukolämpötekniikalla toteutetuilla alueilla pitkälti samat kuin ns. perinteisen kaukolämpötekniikan alueillakin. Epätiivis suojakuoriliitos mahdollistaa ulkopuolisen veden pääsyn vaurioittamaan virtausputkia. Syynä tyypillisesti on maanpainauma tai asennusvirhe. Yleistä on myös ulkopuolinen väkivalta, jolloin esimerkiksi kaivinkone vaurioittaa kaukolämpöjohtoa.

Suoran kytkennän järjestelmissä joissain tapauksissa ongelmalliseksi on tullut ilma, jota korjaus- ja uudisrakennustoissa pääsee virtausputkistoon. Suoran kytkennän järjestelmissä ilma hakeutuu ylimpiin kohtiin, joita tyypillisesti ovat kiinteistöjen lämmönluovutuslaitteet. Ilman saaminen pois järjestelmästä saattaa olla hyvinkin hankalaa.

Vanhimmissa, tyypillisesti 80-luvulla, muovisin virtausputkin ja putkiston osin toteutetuissa kevennetyn kaukolämpötekniikan järjestelmissä ongelmana on ollut happidiffuusion eston puuttuminen koko järjestelmästä tai osasta siitä. Tästä on aiheutunut hapen pääsy järjestelmään aiheuttamaan korroosiota metallipinnoilla kuten tyypillisesti radiaattoreissa. Syntynyt sakka on aiheuttanut kertymiä pattereiden pohjalle ja tukkeumia järjestelmän ahtaissa kohdissa kuten patteriventtiileissä. Uudemmissa muoviputkijärjestelmissä tätä ongelmaa kehittyneiden materiaalien ansiosta ei enää juurikaan ole ollut.

4 TARKASTELTAVAT ALUELÄMPÖJÄRJESTELMÄT

4.1 Periaatteet tarkasteltavien järjestelmien valinnalle

Periaatteena tarkasteltavien järjestelmien valinnalle pidettiin sitä, että johtorakenteet ovat olemassa olevia rakenteita, joita on asennettu vastaaviin käyttötarkoituksiin ja, joista on luotettavaa ja todellista teknistä ja kustannustietoa saatavissa.

Virtausputkimateriaalien osalta tavoitteena oli mahdollisimman kattava otos markkinoilla käytettävistä materiaaleista. Tutkimukseen haluttiin mukaan sekä jäykkiä että joustavia johtorakenteita.

KytKentäperiaatteiden osalta tavoitteena oli selvittää suorien ja epäsuorien kytKentätapojen eroja. Toisaalta tavoitteena oli hakea kaukolämmityksen ääripäitä ottaen huomioon yhä tiukkenevat kiinteistöjen energiansäästövaatimukset.

Johtorakenteiden ja tarkasteltavien järjestelmien tuli olla sellaisia, että ne voidaan yhdistää mahdollisimman kattavasti.

4.2 KytKentäjärjestelmät

4.2.1 Yleistä

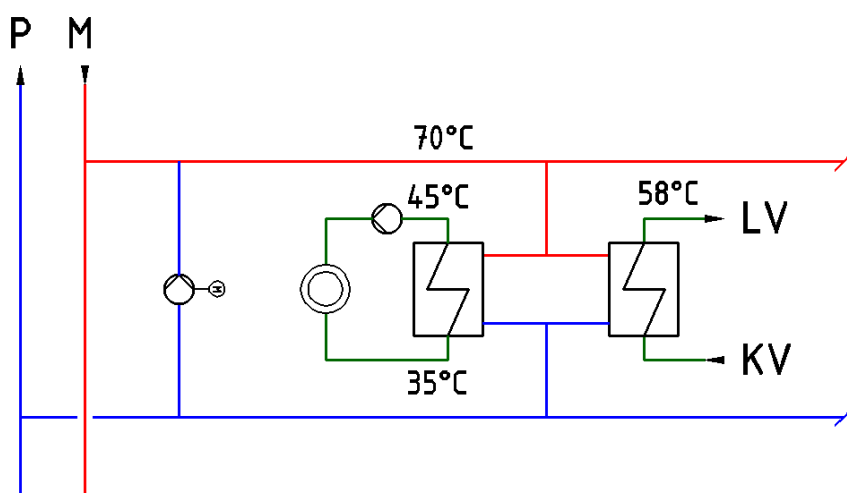
Seuraavissa kappaleissa on esitelty selvitykseen valittujen kytKentäjärjestelmien periaatekaaviot, ominaispiirteet sekä toimintalämpötilat. Toimintalämpötilat perustuvat teoreettisiin tarkasteluihin ja käytännön havaintoihin. Toimintalämpötiloja hyödynnettiin sekä mitoituksissa että lämpöhäviö- ja pumppauskustannusten määrittämisessä.

4.2.2 Järjestelmä 1: Alueellinen sekoitusjärjestelmä

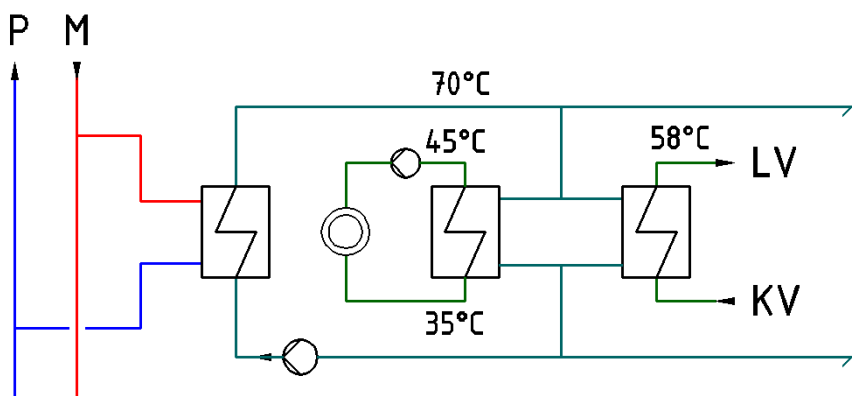
Ominaispiirteet:

- Kaukolämmöllä tuotetaan sekä lämmitys että lämmin käyttövesi
- Alueverkon kytkentä on suora, alueellinen menoveden lämpötilan säätöpiiri ($T_m=70\text{ °C}$, vakio)
- Talon lämmitysjärjestelmän kytkentä on epäsuora
- Talon käyttöveden lämmityksen kytkentä on epäsuora
- Alueverkon mitoitus: 1,6 MPa, 120 °C / 0,6 MPa, 90 °C
- Talon lämmitysjärjestelmän (toisiopiiri) mitoituslämpötilat: 45/35 °C
- Asuntojen märkätilat lämmitetään, myös kesällä, kaukolämmöllä (maks. ~30 °C)

Käytetty jatkossa nimitystä: Järjestelmä 1.

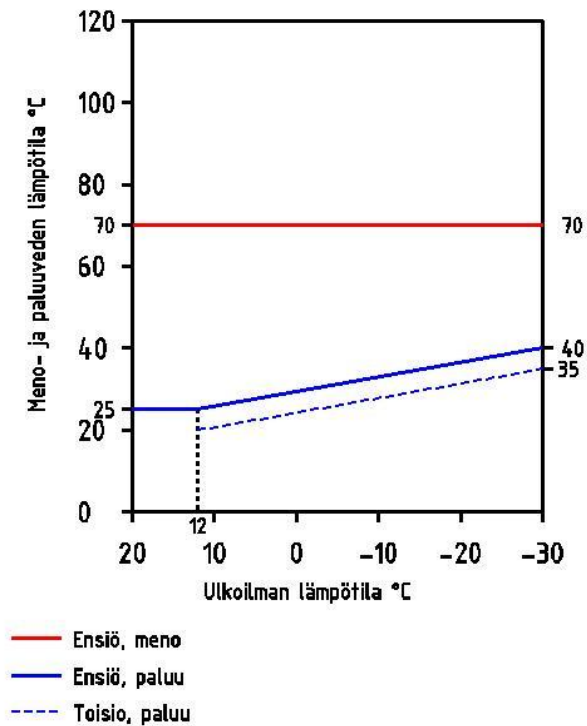


Kuva 1. Järjestelmän 1 periaatekytkentä 1, alueellisella sekoituspiirillä (teräsputkirakenteissa)



Kuva 2. Järjestelmän 1 periaatekytkentä 2, alueellisella lämmönsiirtimellä (muoviputkirakenteessa)

KytKentä 1: Alueellinen sekoitusjärjestelmä



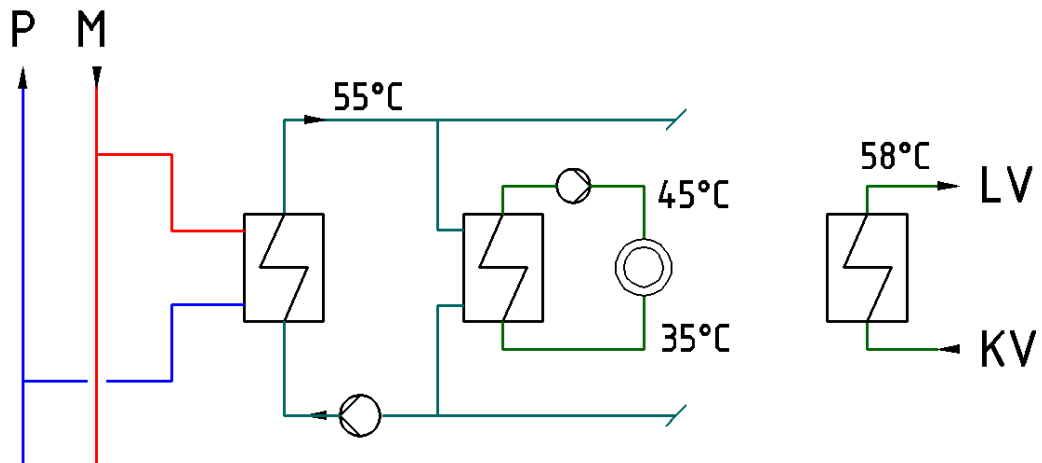
Kuva 3. Järjestelmällä 1 toteutetun aluelämmitysverkon meno- ja paluuvien lämpötilat ulkoilman lämpötilan funktiona

4.2.3 Järjestelmä 2: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä

Ominaispiirteet:

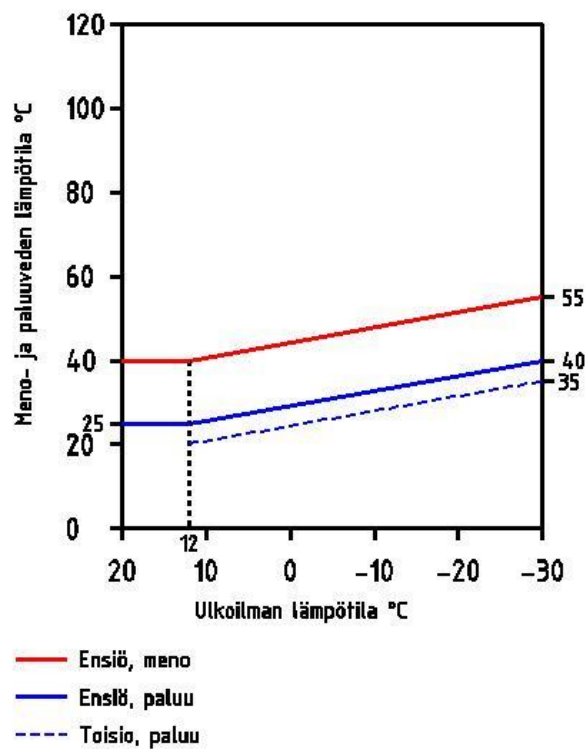
- Kaukolämmöllä tuotetaan vain lämmitys
- Alueverkon kytKentä on epäsuora, alueellinen lämmönsiirrasema
- Talon lämmitysjärjestelmän kytKentä on epäsuora
- Talon lämpimän käyttöveden lämmitys: sähköllä (lämminvestivaraaja)
- Alueverkon mitoitus: 0,6 MPa, 90 °C
- Talon lämmitysjärjestelmän (toisiopiiri) mitoituslämpötilat: 45/35 °C
- Asuntojen märkätilat lämmitetään, myös kesällä, kaukolämmöllä (maks. ~30 °C)

Käytetty jatkossa nimitystä: Järjestelmä 2.



Kuva 4. Järjestelmän 2 periaatekytkentä

KytKentä 2: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä



Kuva 5. Järjestelmällä 2 toteutetun aluelämmitysverkon meno- ja paluuvien lämpötilat ulkoilman lämpötilan funktiona

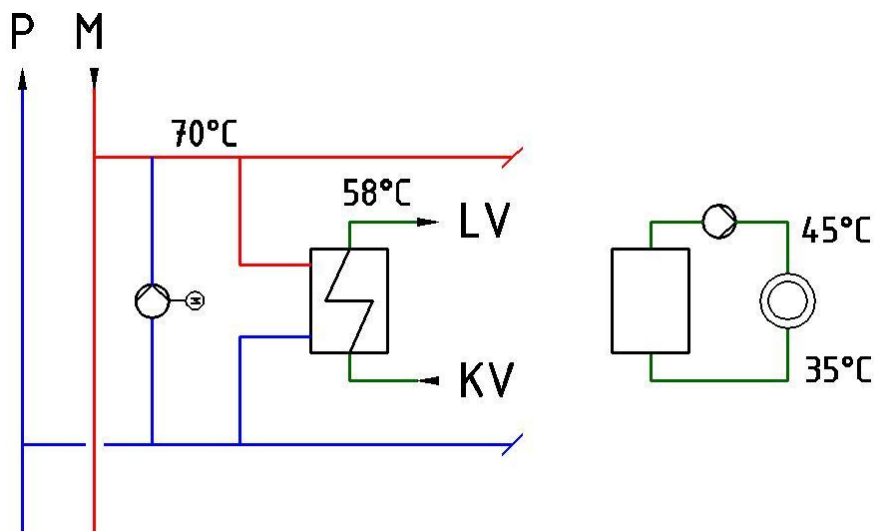
4.2.4 Järjestelmä 3: Lämmin käyttövesi -järjestelmä

Ominaispiirteet:

- Kaukolämmöllä tuotetaan lämmin käyttövesi
- Alueverkon kytkentä on suora
- Talon lämmitys tuotetaan esimerkiksi sähköllä
- Talon käyttöveden lämmityksen kytkentä on epäsuora

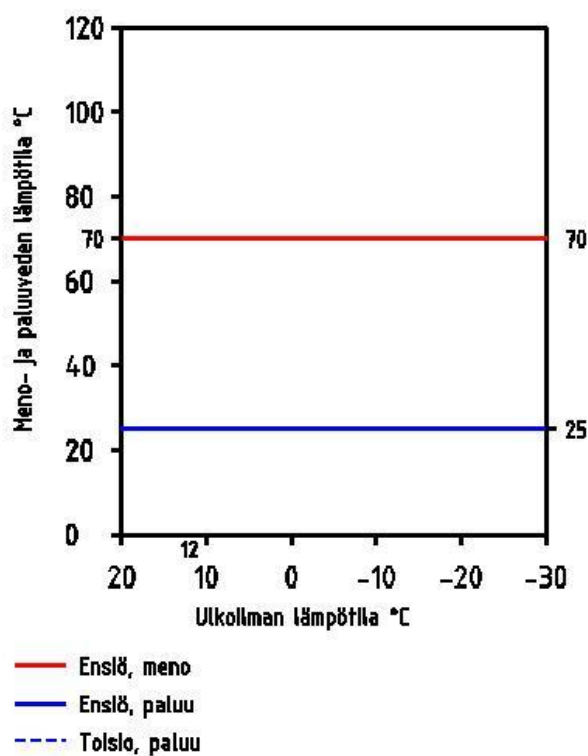
- Alueverkon mitoitus: 1,6 MPa, 120 °C
- Talon lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat: 45/35 °C

Käytetty jatkossa nimitystä: Järjestelmä 3.



Kuva 6. Järjestelmän 3 periaatekytkentä

KytKentä 3: Lämmin käyttövesi -järjestelmä



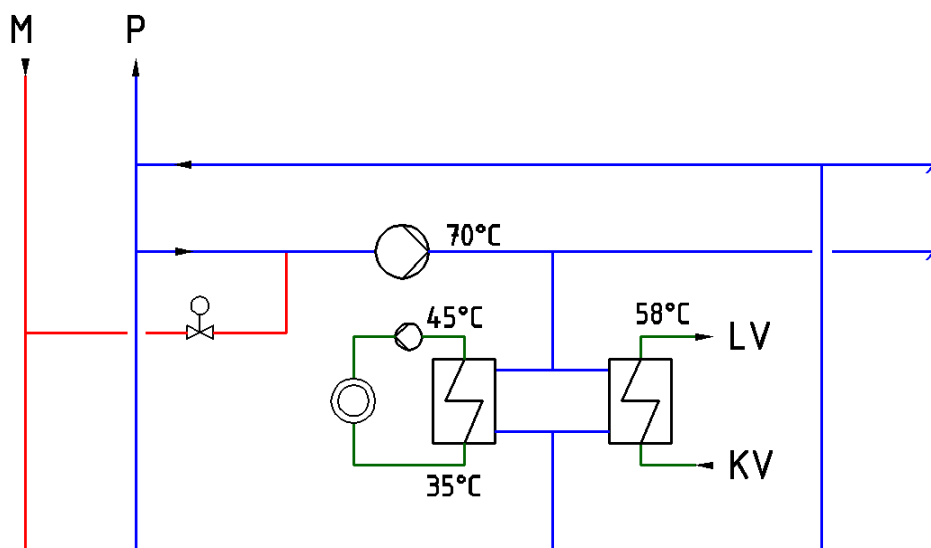
Kuva 7. Järjestelmällä 3 toteutetun aluelämmitysverkon meno- ja paluuvien lämpötilat ulkoilman lämpötilan funktiona

4.2.5 Järjestelmä 4: Alueellinen paluuviesijärjestelmä

Ominaispiirteet:

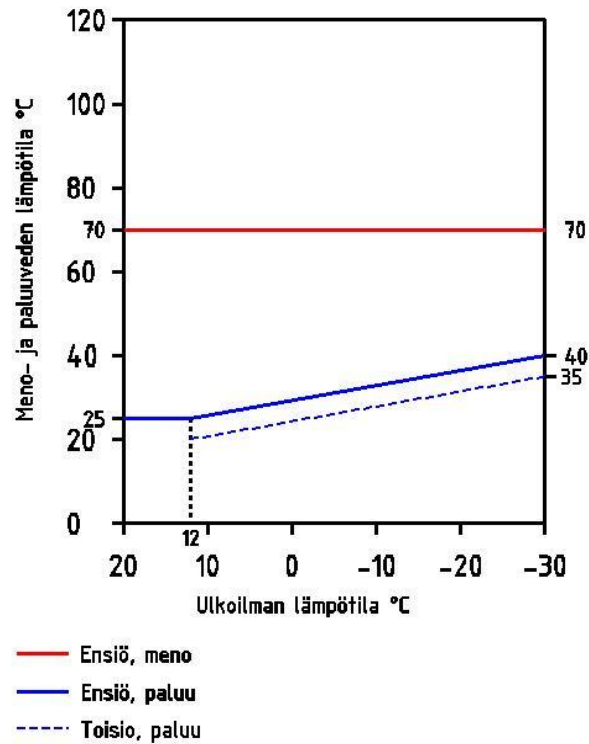
- Kaukolämmöllä tuotetaan sekä lämmitys että lämmin käyttövesi
- Alueverkon kytkentä on suora, alueellinen menoveden lämpötilan säätöpiiri ($T_m=70\text{ °C}$, vakio)
- Talon lämmitysjärjestelmän kytkentä on epäsuora
- Talon käyttöveden lämmityksen kytkentä on epäsuora
- Hyödynnetään kaukolämpöverkon paluuvettä, jolla ensisijaisesti lämmitetään alueelle menevä kaukolämpövesi. Menoveden lämpötila nostetaan asetusarvoonsa ns. priimaamalla kaukolämpöverkosta otettavalla menovedellä
- Tarvitsee alueellisen priimaussäätöpiirin, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi alueen nurkalla olevassa kaukolämpökaivossa tai lähimmän kiinteistön lämmönjakokeskuksessa
- Alueverkon mitoitus: 1,6 MPa, 90 °C
- Talon lämmitysjärjestelmän (toisiopiiri) mitoituslämpötilat: 45/35 °C
- Asuntojen märkätilat lämmitetään, myös kesällä, kaukolämmöllä (maks. ~30 °C)

Käytetty jatkossa nimitystä järjestelmä 4.



Kuva 8. Järjestelmän 4 periaatekytkentä

KytKentä 4: Alueellinen paluuviesijärjestelmä



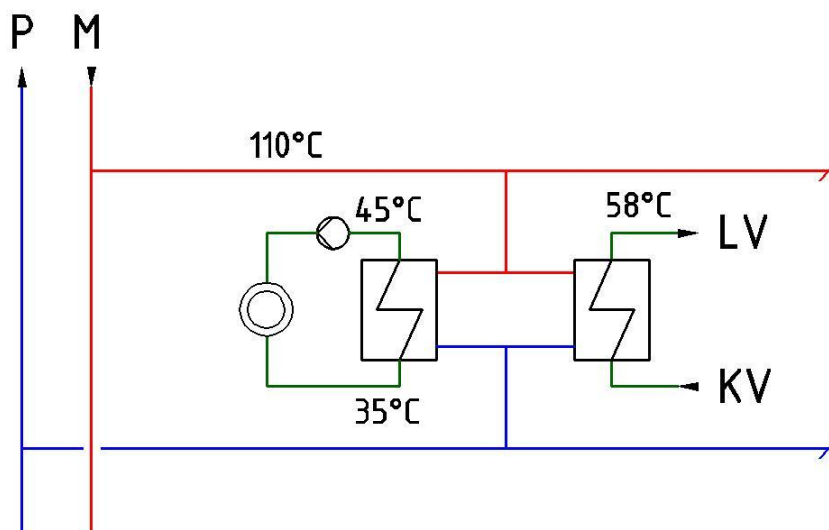
Kuva 9. Järjestelmällä 4 toteutetun aluelämmitysverkon meno- ja paluuviesin lämpötilat ulkoilman lämpötilan funktiona.

4.2.6 Järjestelmä 5: Vertailujärjestelmä

Ominaispiirteet:

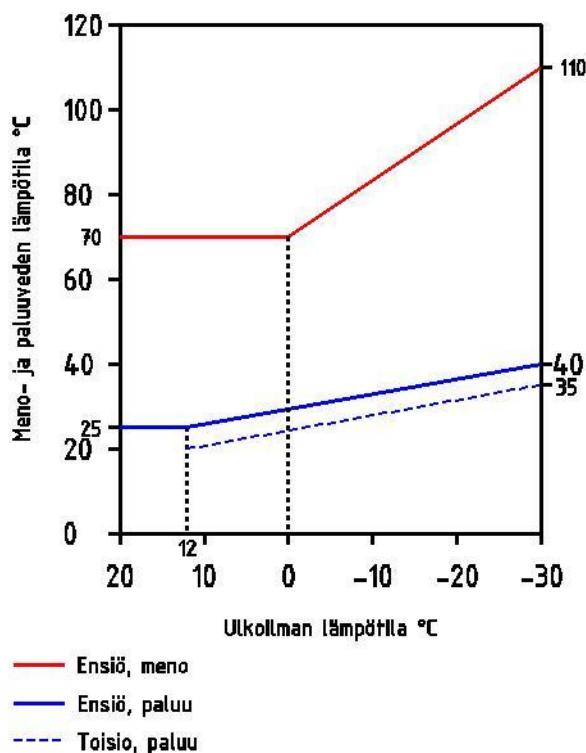
- Perinteinen kaukolämpöjärjestelmä
- Kaukolämmöllä tuotetaan sekä lämmitys että lämmin käyttövesi
- Alueverkon kytKentä on suora ($T_m=110$ °C, maks.)
- Talon lämmitysjärjestelmän kytKentä on epäsuora
- Talon käyttöviesin lämmityksen kytKentä on epäsuora
- Alueverkon mitoitus: 1,6 MPa, 120 °C
- Talon lämmitysjärjestelmän (toisiopiiri) mitoituslämpötilat: 45/35 °C
- Asuntojen märkätilat lämmitetään, myös kesällä, kaukolämmöllä (maks. ~30 °C)

Käytetty jatkossa nimitystä: Järjestelmä 5.



Kuva 10. Järjestelmän 5 periaatekytkentä

KytKentä 5: Vertailujärjestelmä



Kuva 11. Järjestelmällä 5 toteutetun aluelämmitysverkon meno- ja paluuvien lämpötilat ulkolämpötilan funktiona.

4.3 Johtorakenteet

4.3.1 Yleistä

Alla olevassa taulukossa on esitelty selvityksessä käytettyjen johtorakenteiden yleisiä ominaisuuksia. Putkimateriaaleissa Fe viittaa rautaputkeen, Rst ruostumattomaan teräsputkeen ja Pe muoviputkeen.

Johtorakenne		Fe Mpuk	Fe 2Mpuk	Rst 2Mpuk	Rst Mpuk	Pe 2Mpuk	Pe Mpuk
		kiinteä	taipuisa	taipuisa	taipuisa	taipuisa	taipuisa
Virtausputki		Fe	Fe	Rst Fe	Rst Fe	Pex	Pex
Koko		DN 20-200	20-28 mm	DN 20-100	DN 20-50	DN 20-125	DN 20-50
Virtausputken karheus	mm	0,1	0,1	-	-	0,01	0,01
Eristeen lämmönjohtavuus	W/mK	0,028	0,025	0,027	0,027	0,024	0,024
Kuoren lämmönjohtavuus	W/mK	-	-	0,430	0,430	0,33	0,33

Taulukko 1. Johtorakenteiden yleisiä ominaisuuksia

Pääperiaatteena alueverkkojen suunnittelussa johtorakenteiden suhteen pidettiin sitä, että rakennetta, jossa sekä meno- että paluuputket ovat saman suojakuoren sisällä (Mpuk), käytetään niin suuressa määrin kuin on mahdollista. Vasta kun mitoitus edellytti suurempaa virtausputkikokoa kuin Mpuk-rakenteesta löytyi, käytettiin johtorakennetta, jossa on erilliset meno- ja paluuputkielementit (2Mpuk).

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tutkimuksessa tarkasteltavina olleet alueverkon johtorakenteet.

4.3.2 Johtorakenne 1

Ominaispiirteet:

- Katujohdot: Fe Mpuk
- Talojohdot: Fe Mpuk
- Teräksisellä virtausputkella varustettu kaksiputkielementti, jossa on kiinnivaahdotettu polyuretaanieristys. Ulkokuori on polyeteenimuovia. Toimitetaan kankina.
- Koot: DN 20-200.

4.3.3 Johtorakenne 2

Ominaispiirteet:

- Katujohdot (kaikki) ja talojohdot (rivi- ja kerrostalot): Fe Mpuk
- Talojohdot (omakotitalot): Fe 2Mpuk (taipuisa)
- Talojohdot (omakotitalot): Taipuisalla teräksisellä virtausputkella varustettu kaksiputkielementti, jossa on kiinnivaahdotettu polyuretaanieristys. Ulkokuori on polyeteenimuovia. Toimitetaan kiepeissä.
- Koot: Fe Mpuk DN 20-200 ja taipuisa Fe 2Mpuk DN 20-28.

4.3.4 Johtorakenne 3

Ominaispiirteet:

- Katujohdot (suurimmat): Rst 2Mpuk (taipuisa)
- Katujohdot (pienimmät) ja talojohdot (kaikki): Rst Mpuk (taipuisa)
- Ruostumattomalla teräksisellä virtausputkella varustettu taipuisa yksi- tai kaksiputkinen kaukolämpöjohto, jossa on kiinnivaahdotettu polyuretaanieristys. Ulkokuori on polyeteenimuovia.
- Koot: DN 20-100 / DN 20-50.

4.3.5 Johtorakenne 4

Ominaispiirteet:

- Katujohdot (suurimmat): Pe 2Mpuk (taipuisa)
- Katujohdot (pienimmät) ja talojohdot (kaikki): Pe Mpuk (taipuisa)
- Muovisella virtausputkella (PEX) varustettu kaukolämpöjohto, jossa on kiinnivaahdotettu polyuretaanieristys. Ulkokuori on polyeteenimuovia.
- Koot: DN 20-125 / DN 20-50
- Max. 95 °C / 0,6 MPa.

4.4 Vertailtavat yhdistelmät

Vertailua varten kytkentäjärjestelmistä ja johtorakenteista muodostettiin kaikki mahdolliset yhdistelmät, jotka on esitetty alla olevassa taulukossa (KT=kerrostalo, RT=rivitalo, OKT=omakotitalo).

Johtorakenne	Järjestelmä n:o				
	1	2	3	4	5
1. Fe Mpuk	x	x	x	x	x
2. Katujohdot Fe Mpuk + talojohdot Fe Mpuk (KT/RT) / taipuisa Fe 2Mpuk (OKT)	x	x	x	x	x
3. Katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk + Rst Mpuk (katujohdot/talojohdot)	x	x	x	x	x
4. Katujohdot taipuisa muoviputki Pe 2Mpuk + Pe Mpuk (katujohdot/talojohdot)	¹⁾ x	x	-	-	-

1) Ns. sekoituskytkennän tilalla alueverkon pääverkosta erottava lämmönsiirrin-yksikkö

Taulukko 2. Tutkitut kytkentäjärjestelmät ja johtorakenteet

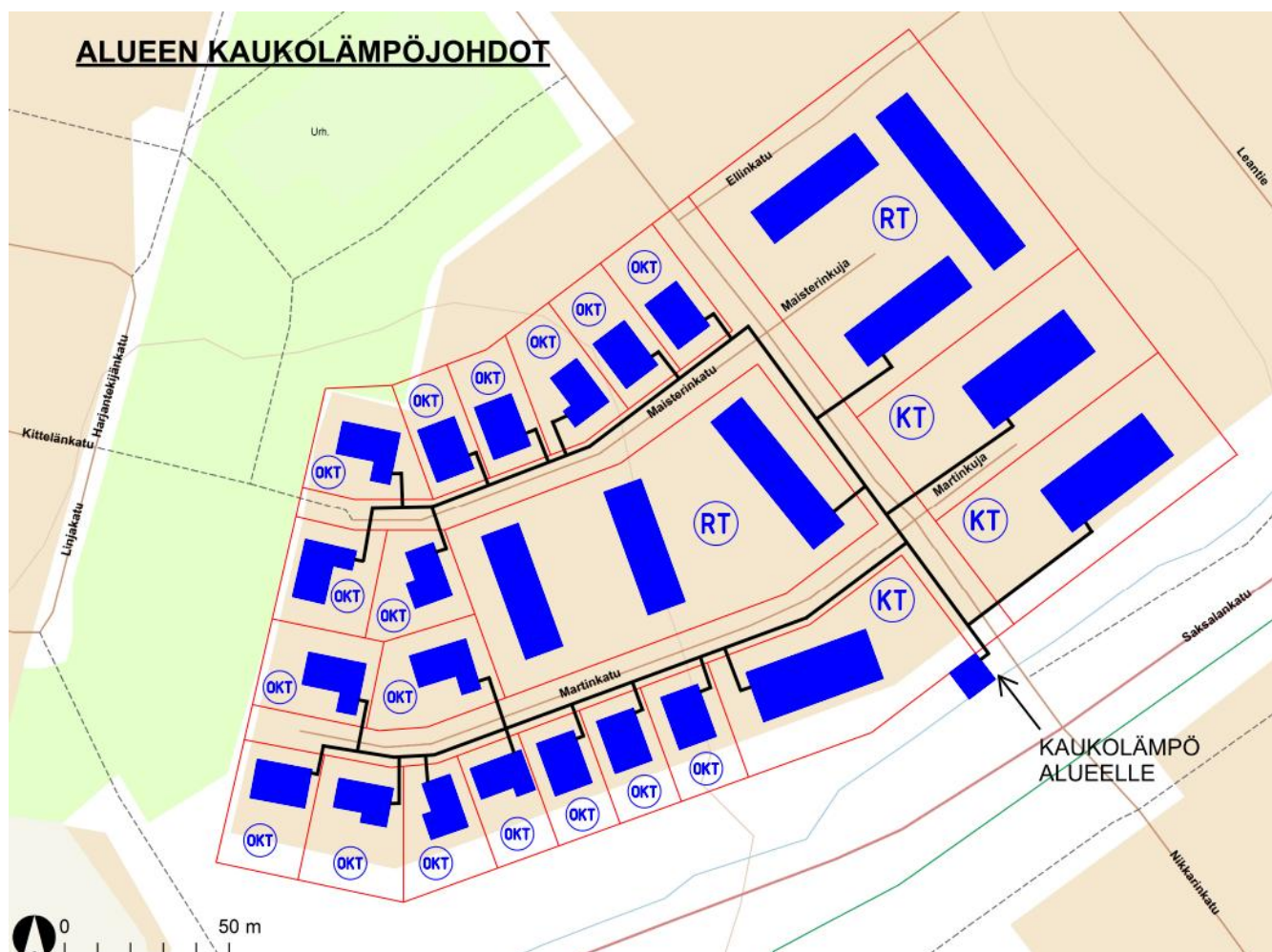
Eri kytkentäjärjestelmien ja johtorakenteiden yhdistelmien osalta muovisten virtausputkien käyttö rajoittuu paineenkestoarvoista johtuen kytkentäjärjestelmään 2, jossa on alueellinen lämmönsiirrin. Järjestelmästä 1 on tehty mahdollinen myös muovisille virtausputkille erottamalla muoviputkivaihtoehdossa tarkastelualue muusta kaukolämpöverkosta alueellisen lämmönsiirtimen avulla.

5 TARKASTELUALUE JA LÄHTÖTIEDOT

5.1 Tarkastelualue

Tarkastelualue on olemassa oleva kaukolämmitetty omakotitaloalue, jota muutettiin siten, että joitakin omakotitalotontteja yhdistämällä muodostettiin tarkastelua varten muutama rivitalo- ja kerrostalotontti.

Tarkastelua varten alue oletettiin uudisrakennusalueeksi, jossa on yhteensä 26 kiinteistöä, joista 17 on omakotitaloja, 6 rivitalorakennusta (= 2 rivitaloasiakasta) ja 3 kerrostaloa. Pientalot, rivitalot ja kerrostalot on oletettu keskenään samanlaisiksi. Tarkastelualue alueen kaukolämpöjohtoineen on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Tarkastelualue

Tarkastelualueen on oletettu sijaitsevan Jyväskylässä, jonka ulkolämpötilan pitkän ajanjakson kuukausittaisia keskiarvoja on käytetty laskennan pohjana alueen paine- ja lämpöhäviökustannuksia määritettäessä.

5.2 Lähtötiedot

5.2.1 Alueen kiinteistötiedot

Tavoitteena oli määrittää tarkasteltavat omakoti-, rivi- ja kerrostalot siten, että ne kuvaisivat mahdollisimman hyvin tyypillisiä nykyisin ja tulevaisuudessa rakennettavia kiinteistöjä tarkastelualueella vastaavilla asuinalueilla.

Taulukossa 3 on esitetty tarkastelussa käytettyjen tyyppitalojen keskeiset tiedot:

TYYPITALOT	Tonttien määrä	Rakennusten tilavuus/tontti	Asuinkerrosten lkm	Huone korkeus	Rakennusten kerrosala/tontti	Asuntojen määrä/tontti	Asuntojen koko	Tontin koko
	[kpl]	[m ³]	[kpl]	[m]	[m ²]	[kpl]	ka [m ²]	n. [m ²]
Mallitalo								
Omakotitalo	17	560	1	3,3	170	1	170	800-900
Rivitalo	2	5600	1	3,3	1700	18	94	8500
Kerrostalo	3	10000	5	3,2	3100	40	78	3400

Taulukko 3. Tarkastelualueen tyyppitalot ja -tontit

5.2.2 Kiinteistöjen lämmityksen tehon ja energian tarpeet

Alue oletettiin uudisrakennusalueeksi, joten kiinteistöjen lämmityksen tehon- ja energiantarpeiden oletettiin olevan yhä tiukentuvien energiansäästövaatimusten mukaisia. Alla olevassa taulukossa on esitetty laskennassa käytetyt parametrit, kuten lämmityksen ja lämpimän käyttöveden kiinteistökohtaiset energiamäärät ja mitoitusvahvuudet.

	Lämmitys	Lämmin käyttövesi	Yhteensä	Rakennus-tilavuus	Kiinteistön ala	Kulutus	Kulutus	Lämmityksen huipunkäyttöaika ⁽¹⁾	Lämmitys ⁽²⁾	LKV ⁽³⁾
Kiinteistö	MWh/a	MWh/a	MWh/a	m ³	m ²	kWh/m ³	kWh/m ²	h / vuosi	kW	kW
Pientalo	8	7	15	560	170	27	88	2200	3,6	60
Rivitalo	80	70	150	5600	1700	27	88	2200	36,4	250
Kerrostalo	115	115	230	10000	3100	23	74	2200	52,3	314

1) Tyypillinen huipunkäyttöaika

2) Lämmitys-mitoitus (kW) = Lämmitys (MWh/kiinteistö) / Lämmityksen huipun käyttöaika * 1000

3) Lämmin käyttövesi-mitoitus (ET:n kaava, Kaukolämpökäsikirja s.64)

Taulukko 4. Kiinteistöjen tehon ja energian tarpeet

6 MITOITUS- JA LÄMPÖHÄVIÖLASKENNEN PERIAATTEET

6.1 Kaukolämpöjohtojen mitoituksen ja painehäviölaskennan periaate

Jokaisen kytkentäjärjestelmän kaikille kaukolämpöjohtojen on tehty mitoituslaskenta. Mitoitusperusteena on käytetty Energiategollisuus ry:n suositukseen L11/2013 ”Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamisohjeet” pohjautuen suurinta sallittua painehäviötä < 3 bar/johto-km talojohdot ja < 2 bar/johto-km katujohdot. Mitoittavaksi tehoksi on määrätynyt joko lämmityksen tai lämpimän käyttöveden edellyttämän kaukolämpövesivirran suuruus; suurempi vesivirta on ollut putken mitoituksen peruste.

Lämpimän käyttöveden osalta on otettu huomioon käyttöveden käytön risteilevyys Energiateollisuus ry:n ”Kaukolämmön käsikirjan” esittämän kaavan mukaisesti.

Yksittäisen kaukolämpöputken painehäviö on laskettu painehäviölaskentapohjalla, johon on syötetty veden mitoitusvirtaus, lämpötila, paine ja putken karheus. Laskennassa kertavastusten suuruudeksi on oletettu 20 %. Näin on saatu valittua johtosuuksittain oikean kokoiset kaukolämpöputket huomioiden putkien suurin sallittu ominaispainehäviö.

Tarkempi selostus kaukolämpöputkien mitoituksesta ja painehäviölaskennasta on esitetty liitteessä 2. Tarkastelualueen eri tarkasteluvaihtoehtojen putkimitoituskartat on esitetty liitteessä 1.

6.2 Aluelämpöjohtojen lämpöhäviölaskennan periaate

Alueen lämpöhäviöt on määritetty erikseen jokaiselle tarkasteluvaihtoehdolle.

Kaukolämpöputkien lämpöhäviöt on laskettu käyttämällä Energiateollisuus ry:n nettisivuilta löytyviä seuraavia laskentapohjia: ”Kaukolämpöjohtojen eristyspaksuuden optimointityökalu _2 Mpuk_20091104 sekä -Mpuk_20091104”, (<http://energia.fi/julkaisut/laskentatyokalut>). Laskentapohjiin on syötetty jokaisen järjestelmän spesifiset tiedot eri putkikokojen mukaan:

- lämpötilan keskiarvo kuukausittain (meno ja paluu)
- eristeen ja kuoren lämmönjohtavuus
- virtausputken ja suojakuoren halkaisijat ja seinämävahvuudet

Tiedot eri johtorakenteiden ominaisuuksista on saatu putkitoimittajilta ja Energiateollisuuden kokemuksiin perustuvista tiedoista. Laskennasta saadusta tuloksesta, lämpöhäviöteho [W/m], on saatu jokaisen yksittäisen putken lämpöhäviöteho [W] kertomalla putken ominaislämpöhäviöteho putken pituudella. Laskenta on suoritettu vuoden jokaiselle kuukaudelle käyttäen ko. kuukauden keskimääräistä ulkoilman lämpötilaa vastaavia kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötiloja laskennan lähtötietoina. Kuukausittaiset lämpöhäviöenergiat on saatu kertomalla johtosuuden lämpöhäviötehot kuukauden tuntimäärällä. Koko alueen lämpöhäviöenergia on saatu laskemalla yhteen alueen kaikkien putkiosuuksien lämpöhäviöenergiat.

Tarkempi selostus aluelämpöverkon lämpöhäviölaskennasta on esitetty liitteessä 3.

7 KUSTANNUSVERTAILU

7.1 Yleistä

Kustannusvertailu eri tarkasteluvaihtoehtojen välillä suoritettiin siten, että kaikille tarkasteluvaihtoehdoille laskettiin samoja periaatteita noudattaen lämmönmyyjälle aiheutuvat alueverkon investointikustannukset sekä vuosittaiset lämpöhäviö- ja pumppauskustannukset. Kustannusvertailussa ei otettu huomioon muita kustannuksia, koska ne vaihtelevat paikkakunnasta ja tapauksesta riippuen hyvinkin paljon. Tällaisia kustannuksia ovat mm.:

- Kaukolämpöjohtokaivantojen päällystekustannukset, jotka voivat kustannusvaikutukseltaan olla hyvin erilaiset
- Lämmöntuotantolaitos- ja lämmön tuotantokustannukset, joihin vaikuttaa mm. käytettävät polttoaineet ja se tuotetaanko lämpö voimalaitoksissa vai lämpökeskuksissa.
- Kaukolämmön siirtojohtokustannukset lämmön tuotantopaikasta tarkastelualueelle sekä tästä aiheutuvat lämpöhäviö- ja pumppauskustannukset
- Käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä pääverkon että tarkastelualueen osalta.
- Kiinteät yleiskustannukset.

Huomioon otettavaa on lisäksi se, että perustarkastelussa alue oletettiin rakennettavaksi täysin valmiiksi yhden vuoden aikana, jolloin kaikki investoinnit syntyvät yhdellä kertaa. Tämä ei luonnollisesti ole realistista, mutta selvityksen tarkoituksena oli nimenomaan tarkasteluvaihtoehtojen keskinäinen vertailu, jolloin tämä menettely yksinkertaisti tarkastelua. Selvityksessä on myöhemmin herkkyystarkastelu, joka kuvaa realistisempaa alueen valmistumista useamman vuoden kuluessa.

7.2 Alueen investointikustannukset lämmönmyyjälle

Lämmönmyyjän investointeihin on selvityksessä laskettu mukaan seuraavat kustannukset:

- Aluelämpöverkon liitos pääkaukolämpöverkkoon
- Alueellinen lämmönjakokeskus, joka kytkentävaihtoehdosta riippuen toimii menoveden lämpötilan säätöyksikkönä ja kaukolämpöpumppaamona tai alueellisena lämmönsiirrinasemana (järjestelmät: 1, 2, 3 ja 4)
- Aluelämpöverkon kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset (materiaalit, rakennustekniset työt, putkiasennustyöt ja liitostyöt)
- Kiinteistökohtaiset lämmönmittauskeskusten materiaali- ja asennustyöt.

Investointikustannuslaskelmat perustuvat todellisiin yksikkökustannuksiin, jotka on saatu kaukolämpöyhtiöiltä ja eri johtorakenteiden valmistajilta/edustajilta. Ns. alueellinen lämmönjakokeskus on laskelmissa mukana ns. maanalaisena elementtikaivotyypin ratkaisuna, josta on ollut käytettävissä todellisia toteutuneita kokonaiskustannuksia.

Tarkasteluvaihtoehtojen yhteenlasketut investointikustannukset on esitetty alla olevassa taulukossa n:o 5.

Investointi, €	Järjestelmä no				
Johtorakenne	1	2	3	4	5
1. Fe Mpuk	210 711	206 662	213 091	210 711	110 711
2. Fe Mpuk / taipuisa Fe 2Mpuk	214 778	208 794	217 262	214 778	114 882
3. Taipuisa Rst 2Mpuk / Rst Mpuk	289 887	258 652	292 267	289 887	189 887
4. Taipuisa Pe 2Mpuk / Pe Mpuk	216 301	206 901	-	-	-

Taulukko 5. Tarkastelualueen investointikustannukset lämmönmyyjälle

Järjestelmä 5 (vertailujärjestelmä) on investoinneiltaan selvästi edullisin. Suurin syy on se, että kyseisessä järjestelmässä ei tarvita ns. alueellista lämmönjakokeskusta/pumppaamo. Alueellisen lämmönjakokeskuksen/pumppaamon kokonaisinvestoinniksi on arvioitu 100 000 €.

Kun vertaillaan järjestelmässä 2 eri johtorakenteiden investointikustannuksia keskenään, niin voidaan havaita, että perinteinen teräsputkirakenne (Fe Mpuk) ja taipuisa muoviputki-rakenne (Pe 2Mpuk/Pe Mpuk) ovat edullisimmat, Fe Mpuk / taipuisa Fe Mpuk –johtorakenne lähes saman hintainen sekä ruostumaton taipuisa 2 Mpuk/Mpuk-johtorakenne luokkaa 25...35 % kalliimpi kuin edullisin eli Fe Mpuk-johtorakenne.

7.3 Alueen lämpöhäviökustannukset

Lämpöhäviölaskennan periaatteet on esitetty edellä kohdassa 6.2 ja liitteessä 3.

Vuosikustannukset on laskettu tuotetun lämmön hinnalla 30 €/MWh (alv 0 %).

Tarkasteluvaihtoehtojen lämpöhäviökustannukset (€/vuosi, alv 0 %) on esitetty alla olevassa taulukossa.

Lämpöhäviökustannukset, €/a	Järjestelmä no				
Johtorakenne	1	2	3	4	5
1. Fe Mpuk	2 262	1 971	2 178	2 262	2 337
2. Fe Mpuk / taipuisa Fe 2Mpuk	2 526	1 890	2 433	2 526	2 613
3. Rst 2Mpuk / Rst Mpuk	4 278	2 475	4 122	4 278	4 365
4. Pe 2Mpuk / Pe Mpuk	3 339	2 082	-	-	-

Taulukko 6. Tarkastelualueen lämpöhäviökustannukset

7.4 Alueen pumppauskustannukset

Alueen painehäviöt on saatu määrittelemällä jokaisen putken painehäviö lämmityksen kuukausittaisen keskiarvovirtauksen mukaan. Kuukausittaiset keskiarvoiset painehäviölaskennat ja pumppauksen sähkönkulutus on esitetty tarkemmin liitteessä 2. Tähän on lisätty kuluttajan vaatima 0,6 bar paine-ero ja mahdollinen lämmönsiirtimen aiheuttama painehäviö. Pumppauksen (pumppu+moottori) hyötysuhteena on käytetty 0,6. Tuloksena saatu vuosittainen pumppaussähkön kulutus on kerrottu sähkön hinnalla 80 €/MWh (alv 0 %), jolloin on saatu vuosittainen pumppauskustannus.

Pumppauskustannukset (€/vuosi, alv 0 %) on esitetty alla olevassa taulukossa.

Pumppauskustannukset, €/a	Järjestelmä no				
Johtorakenne	1	2	3	4	5
1. Fe Mpuk	43	173	16	43	38
2. Fe Mpuk / taipuisa Fe 2Mpuk	43	173	16	43	38
3. Rst 2Mpuk / Rst Mpuk	42	173	16	42	38
4. Pe 2Mpuk / Pe Mpuk	56	175	-	-	-

Taulukko 7. Tarkastelualueen pumppauskustannukset

7.5 Sähkön käyttö kuluttajalla

Järjestelmässä 2 lämmin käyttövesi ja järjestelmässä 3 lämmitys on tuotettu sähköllä. Sähkön hintana kuluttajalle on käytetty 110 €/MWh (alv 0 %). Sähkön käytön kustannukset (€/vuosi, alv 0 %) on esitetty alla olevassa taulukossa.

Sähkön käyttö, €/a	Järjestelmä no				
Johtorakenne	1	2	3	4	5
1. Fe Mpuk	-	66 440	70 510	-	-
2. Fe Mpuk / taipuisa Fe 2Mpuk	-	66 440	70 510	-	-
3. Rst 2Mpuk / Rst Mpuk	-	66 440	70 510	-	-
4. Pe 2Mpuk / Pe Mpuk	-	66 440	-	-	-

Taulukko 8. Tarkastelualueen sähkön käyttö kuluttajalla

7.6 Alueen käyttö- ja kunnossapitokustannukset

Lähtökohtana on ollut, että tarkastelualueen käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat samanarvoisia kaikilla tarkasteluvaihtoehdoille. Tästä johtuen käyttö- ja kunnossapitokustannuksia ei ole otettu huomioon laskennassa. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset vaihtelevat muutenkin vuodesta toiseen, jonka takia tarkkaa vuosittaista kustannusta on hankala arvioida.

7.7 Kustannukset kaukolämpöasiakkaille

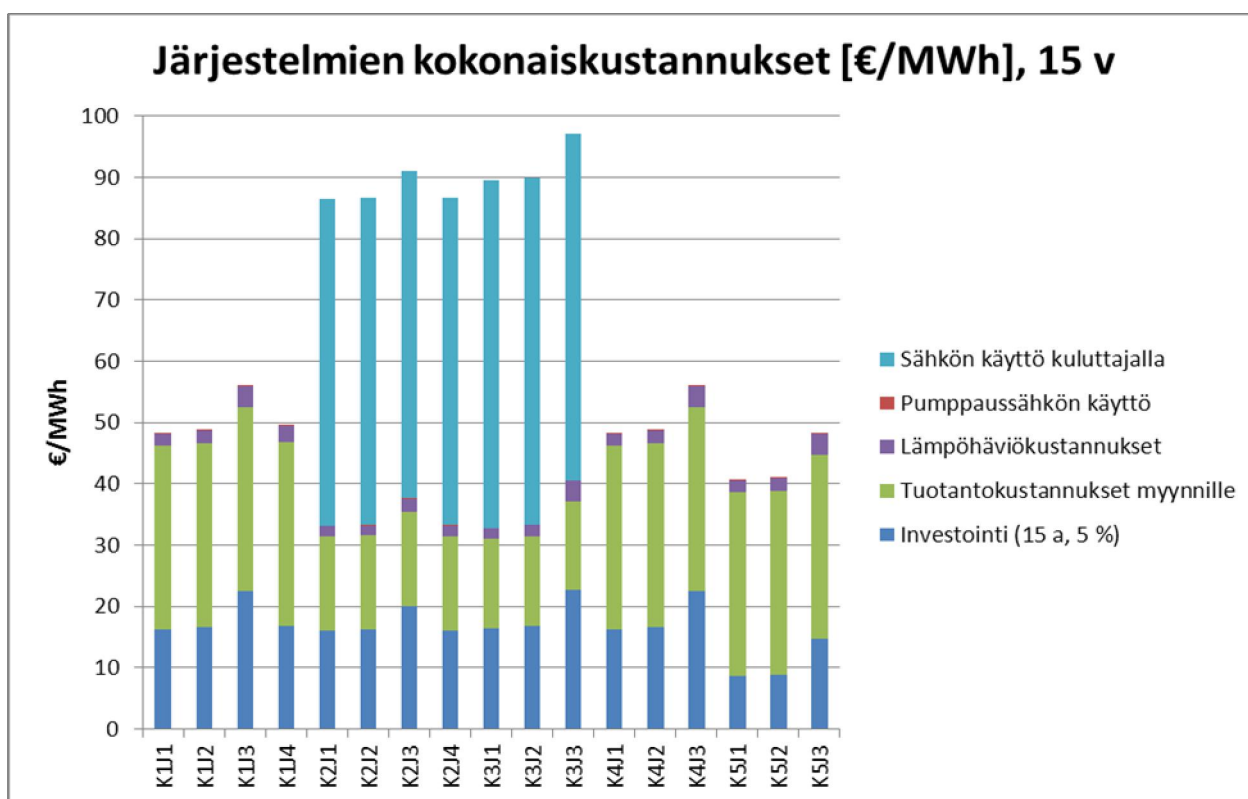
Kustannusvertailu on tehty lämmönmyyjän kannalta. Ainoastaan järjestelmissä joissa joko lämmin käyttövesi tai lämmitys on tuotettu jollain muulla kuin kaukolämmöllä, on kustannukset huomioitu kustannusvertailussa. Järjestelmässä 2 käyttövesi ja järjestelmässä 3 lämmitys on oletettu tuotettavaksi sähköllä.

Kohdan 7.8 kustannusten yhteenvedoissa on esitetty myös em. kaukolämpöasiakkaalle koituvaa sähkökustannus, jotta on mahdollista saada käsitys kokonaiskustannuksista, joissa ovat mukana sekä lämmitys että lämmin käyttövesi.

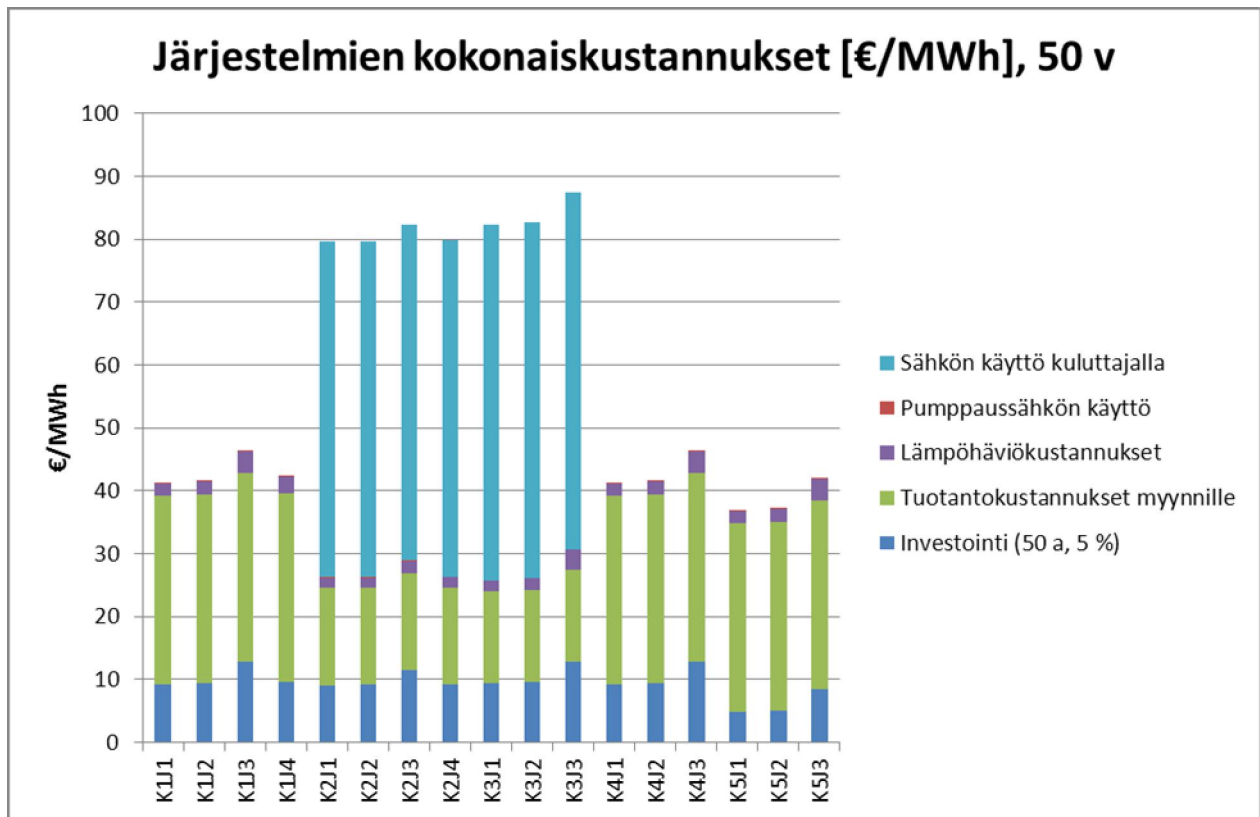
7.8 Kustannukset yhteensä

Määritettäessä järjestelmien kokonaiskustannuksia on investointi jaettu vuosikustannuksiksi käyttäen 5 %:n reaalikoroa. Tuotantokustannukset myydylle lämmölle (30 €/MWh, alv 0 %), lämpöhäviökustannukset, pumppaussähkön käyttö ja sähkön käyttö kuluttajilla ovat suoraan vuosittaisia kustannuksia.

Alla olevissa kuvaajissa on esitetty eri järjestelmien kokonaiskustannukset 15 ja 50 vuoden tarkastelujaksoissa. Järjestelmien kokonaiskustannukset on ilmoitettu myytävää lämpöenergiaa kohden [€/MWh, alv 0 %]. Kuvaajissa merkinnät K1...K5 viittaavat kytkentäjärjestelmiin ja merkinnät J1...J4 viittaavat johtorakenteisiin.



Kuva 13. Järjestelmien kokonaiskustannukset [€/MWh], 15 v, 5 %



Kuva 14. Järjestelmien kokonaiskustannukset [€/MWh], 50 v, 5 %

15 ja 50 vuoden kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että vertailujärjestelmä (K5J1) on edullisin. Kokonaiskustannus 15 vuoden tarkastelujaksolla on 40,5 €/MWh ja 50 vuoden tarkastelujaksolla 36,8 €/MWh.

Järjestelmissä 2 ja 3, joissa on käytetty sähköä lämmityksen tai lämpimän käyttöveden tuottamiseen, on kokonaiskustannus yli kaksinkertainen vertailujärjestelmään verrattuna. Kaikista kytkentäjärjestelmistä kallein on kytkentäjärjestelmä K3J3, jossa lämmitys on tuotettu sähköllä. Kokonaiskustannus 15 vuoden tarkastelujaksolla on 97,1 €/MWh ja 50 vuoden tarkastelujaksolla 87,4 €/MWh.

Kaikissa järjestelmissä lämpöhäviöiden ja pumppaussähkön merkitys kokonaiskustannuksiin on vähäinen.

7.9 Keventämisen vaikutus kaukolämmityksen taloudellisuuteen

Vertailujärjestelmä (järjestelmä 5) eli nykyisen kaltainen kaukolämpöjärjestelmä osoittautui tutkimuksessa edullisimmaksi järjestelmäksi.

Yhtenä syynä ns. kevennettyjen järjestelmien heikkoon menestymiseen vertailussa on se, että kevennetyt järjestelmät tarvitsevat tyypillisesti jonkinlaisen alueellisen yksikön, jossa toteutetaan järjestelmästä riippuen lämmönsiirto, menoveden säätö, alueverkon pumppaus ym. Tämä yksikkö voidaan toteuttaa maanpäällisenä tai maanalaisena ratkaisuna, mutta se on aina suuruudeltaan niin suuri investointi, että se on rasite alueverkon taloudelle. Koska muissa investointikustannuksissa, lämpöhäviö- ja pumppauskustannuksissa ei synny järjestelmien välillä isoja eroja, on ns. normaali kaukolämpöjärjestelmä, joka ei edellytä alueellista ”lämmön käsittely”-yksikköä, kilpailukykyinen ns. kevennettyihin järjestelmiin verrattuna tarkastelualueella.

8 KANNATTAVUUSVERTAILU

8.1 Yleistä

Työssä vertailtiin kaukolämmön kannattavuutta tarkastelualueella kaukolämpöyhtiön ja kaukolämmön asiakkaan kannalta.

Kannattavuusvertailussa ei ole huomioitu seuraavia kaukolämmön kuluja:

- tuotantoinvestoinnit
- investointikustannukset muuhun kaukolämpöverkkoon
- käyttö- ja kunnossapitokustannukset
- päällysteen investointi

Kaukolämpöön liittyvät maksavat liittyessään kaukolämpöön liittymismaksun kaukolämpöyhtiölle. Liittymismaksun suuruus perustuu tilaustehoon tai tilausvesivirtaan. Liittymismaksulla katetaan liittymisestä aiheutuvia kustannuksia. Suomen keskimääräinen liittymismaksu 1.1.2013 omakotitaloille oli 3600 €, rivitalolle 9100 € ja kerrostalolle 20 700 €.

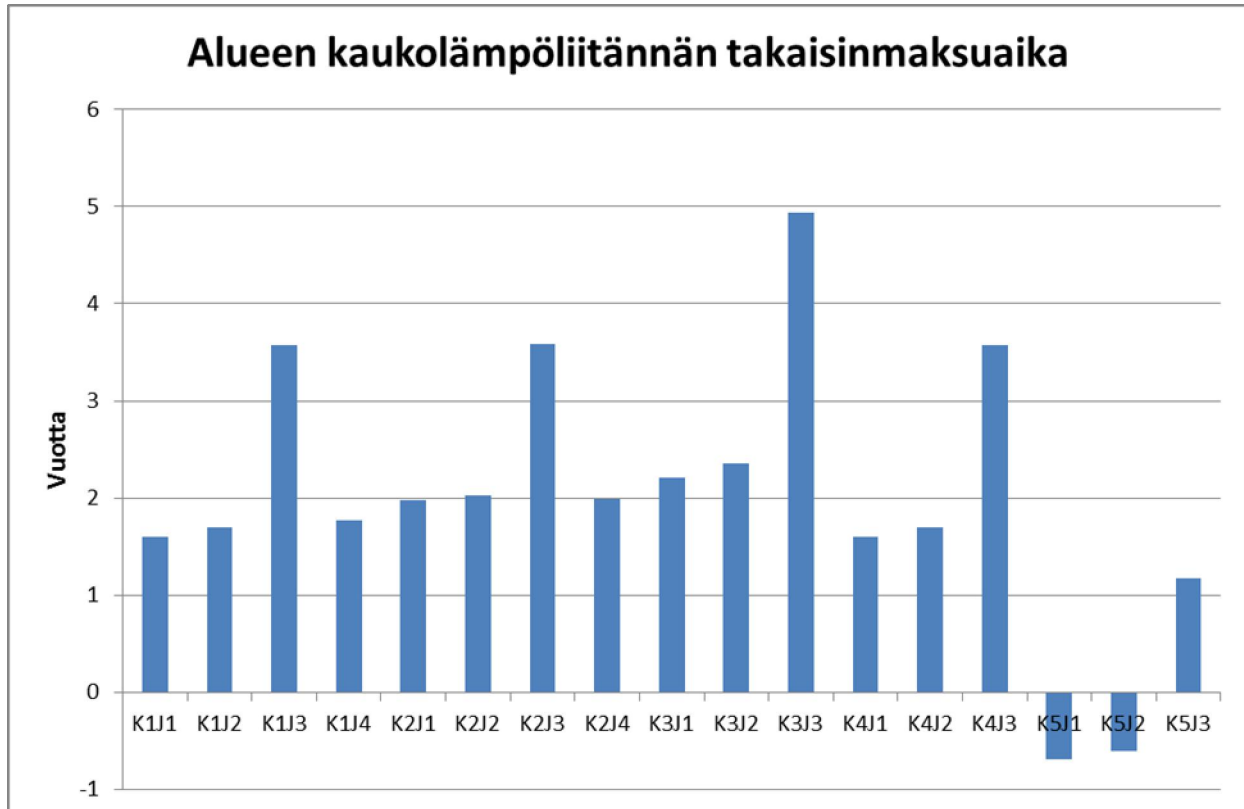
Kaukolämmön hinta koostuu kiinteästä perusmaksusta ja kulutetun energian mukaan maksettavasta energiamaksusta. Perusmaksua voidaan kutsua myös tehomaksuksi tai vesivirtamaksuksi, sillä sen suuruus määräytyy kiinteistön tarvitseman maksimikaukolämpötehon tai – vesivirran perusteella.

Perusmaksun suuruus (alv 0 %) oli 1.1.2013 Suomessa omakotitalolle keskimäärin 330 €/vuosi, rivitalolle 1720 €/vuosi ja kerrostalolle 5100 €/vuosi. Energiamaksu on kaikille saman kaukolämpöverkon asiakkaille sama. Suomen keskimääräinen energiamaksu (alv 0 %) 1.1.2013 oli 47,7 €/MWh.

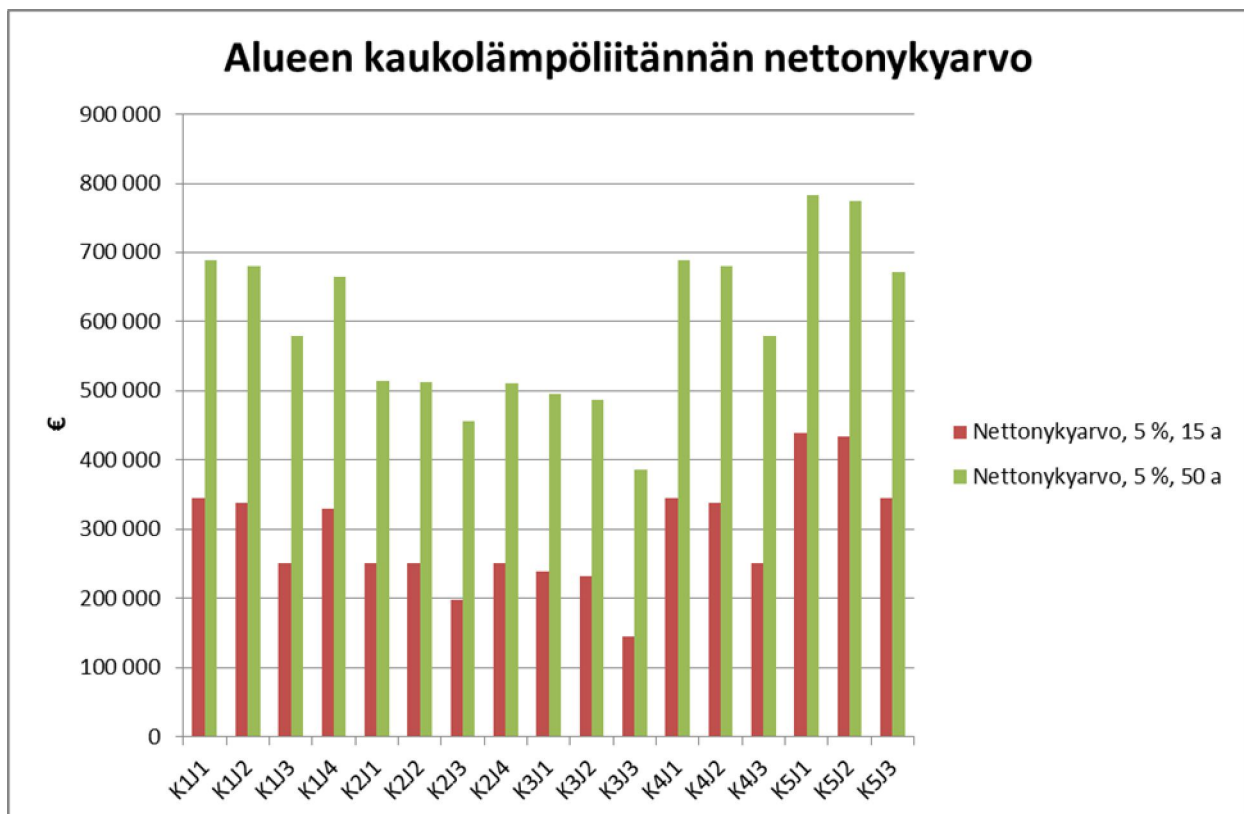
8.2 Kannattavuus kaukolämpöyhtiön kannalta

Kaukolämpöyhtiöltä vaadittava investointi pienenee liittyvien maksamien liittymismaksujen myötä. Tämän nettoinvestoinnin lisäksi kaukolämpöyhtiölle muodostuu kustannuksia mm. lämmön tuottamisesta, lämpöhäviöistä sekä pumppauskustannuksista. Tuloja kaukolämpöyhtiö saa perusmaksuina ja energiamaksuina asiakkailta.

Em. investoinnista, kustannuksista ja tuloista saadaan määritettyä alueen kaukolämmön liittämisen kannattavuus. Laskenta on tehty Suomen keskimääräisillä arvoilla, mutta huomioitavaa on suuret vaihtelut kaukolämmön hinnassa kaukolämpöverkosta riippuen. Takaisinmaksuaika kertoo kuinka kauan kestää, että asiakkaan maksamat maksut ovat kattaneen kaukolämpöyhtiön investoinnin. Nettonykyarvo kertoo, paljonko järjestelmä on tuottanut rahaa tarkastelujakson aikana. Kuvassa 15 on esitetty vaihtoehtojen takaisinmaksuaika ja kuvassa 16 nettonykyarvo kahdella laskenta-ajalla, 15 ja 50 v. Tarkastelut on suoritettu 5 %:n reaalikorolla.



Kuva 15. Tarkastelualueen kaukolämpöliittännän takaisinmaksuaika



Kuva 16. Tarkastelualueen kaukolämpöliittännön nettonykyarvo

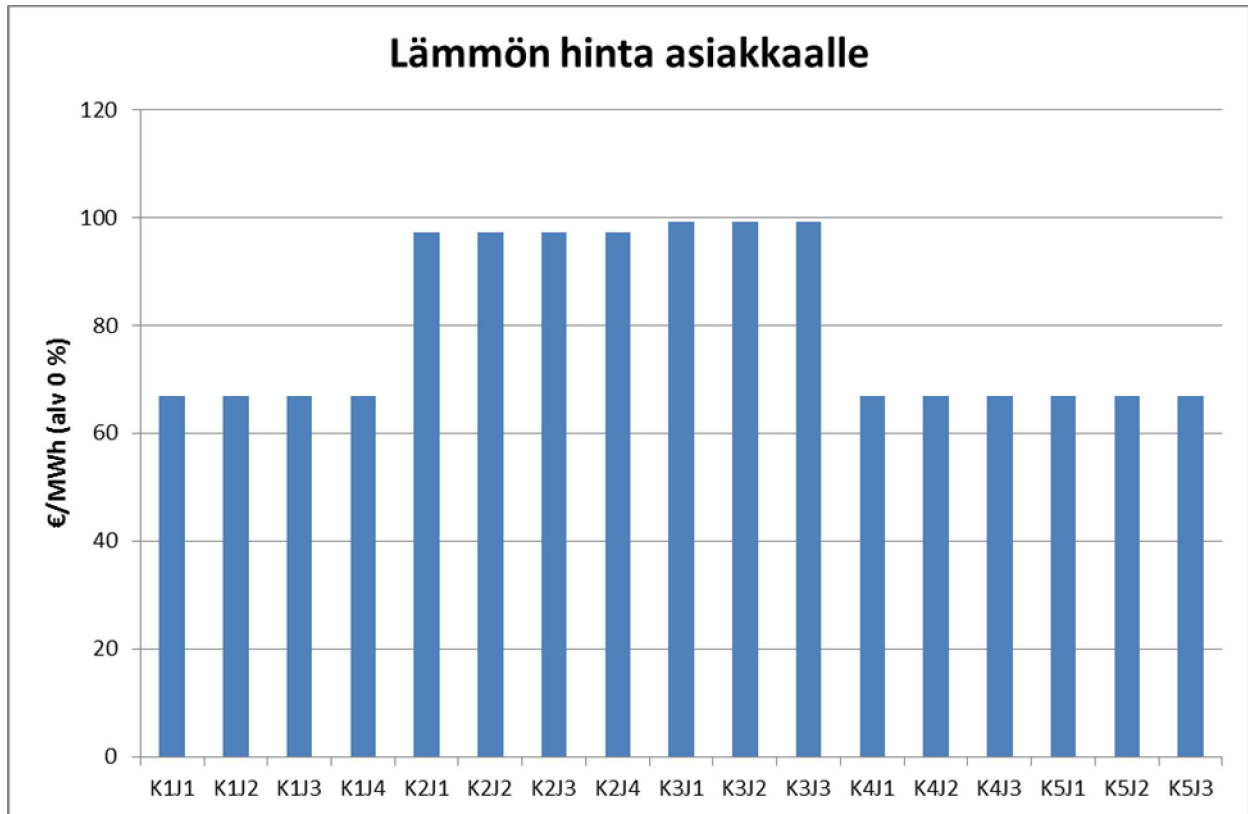
Alueen kaukolämpöliittännön takaisinmaksuaika parhailla järjestelmillä (kytkentä 5, johtorakenteet 1 ja 2) on jopa negatiivinen eli kaukolämmön liittymismaksut ovat liittämiskustannuksia suuremmat. Myös muissa järjestelmissä takaisinmaksuajat ovat hyvin lyhyitä, jolloin alueen kaukolämpöön liittäminen olisi kaukolämpöyhtiön kannalta hyvin kannattavaa. Alue tuottaisi kaukolämpöyhtiölle 5 % reaalikorolla 15 vuodessa noin 200 000 - 400 000 € ja 50 vuodessa noin 500 000 – 800 000 €.

On huomioitavaa, että tämä tarkastelu ei kuvaa todellista kannattavuutta. Lämmöntuotannosta, pääverkosta, kaivantojen päällystystyöstä, käytöstä ja kunnossapidosta sekä kiinteistä yleiskuluista aiheutuvia, todellisuudessa alueelle kohdistuvia kustannuksia ei siis tässä ole huomioitu. Samoin perustarkasteluissa kaikkien alueverkon kiinteistöjen oletetaan liittyvän kaukolämpöön ensimmäisenä toimintavuonna, jolloin myös tehtäisiin kaikki alueverkon investoinnit. Laskenta on tehty myös Suomen keskimääräisillä arvoilla. Todellisuudessa kaukolämpöön todennäköisesti liittyttäisiin useamman vuoden kuluessa ja osa kiinteistöistä jäisi mahdollisesti liittymättä kokonaan. Myös alueverkon investoinnit jakautuisivat useammalle vuodelle, mutta pääpaino investoinneissa olisi todennäköisesti ensimmäisenä vuotena. Myös jokaisessa kaukolämpöverkossa lämmöntuotantokustannukset ja lämmön hinta todellisuudessa eroavat toisistaan.

8.3 Kannattavuus kaukolämpöasiakkaan kannalta

Tarkasteluvaihtoehtoissa 1, 4 ja 5 kaikki asiakkaiden kuluttama lämpö on kaukolämpöä. Tarkasteluvaihtoehtoissa 2 ja 3 osa lämmöntarpeesta katetaan sähköllä. Kuvaan 17 on laskettu Suomen keskimääräisillä (1.1.2013) kaukolämmön hinnoilla ja sähkön hinnalla 110 €/MWh (alv 0 %) asiakkaiden keskimäärin lämmön hinta.

Oletuksena on, että kaikki liittyjät maksavat täyden kaukolämmön perusmaksun. Lämmön hinta ei sisällä asiakkaan investointeja, kuten lämmönjakokeskusta ja kaukolämmön liittymismaksua.



Kuva 17. Lämmön hinta asiakkaalle keskimäärin.

Sähköä kuluttamattomilla kytkennöillä 1, 4 ja 5 lämmön hinta on kuluttajalle sama, koska erot tarkasteluvaihtoehdoissa kohdistuvat kaukolämpöyhtiön investointeihin. Sähköä kuluttavat tarkasteluvaihtoehdot 2 ja 3 ovat asiakkaalle selkeästi kalleimpia.

8.4 Vaiheittainen rakentaminen

Perustarkasteluissa laskentaa oli yksinkertaistettu siten, että alue rakennetaan kerralla, jolloin investointi tapahtuu kerralla ja tuloja lämmön myynnistä alkaa tulla täysimääräisesti heti investoinnin jälkeisenä vuotena. Todellisuudessa alue rakennettaisiin kuitenkin vaiheittain esimerkiksi viiden vuoden aikana, jolloin suuri osa investoinneista tehdään aikaisemmin kuin tuloja lämmön myynnistä syntyy. Myöskään kaikki potentiaaliset asiakkaat eivät kaukolämpöön liittyisi, vaan osa valitsisi jonkin toisen lämmitysjärjestelmän. Vaiheittain rakentamisen tarkastelussa investoinnit tapahtuvat ennen liittymismaksua ja tuloja.

Seuraavassa taulukossa on esitetty investointien, liittymismaksujen ja tulojen vaiheistus.

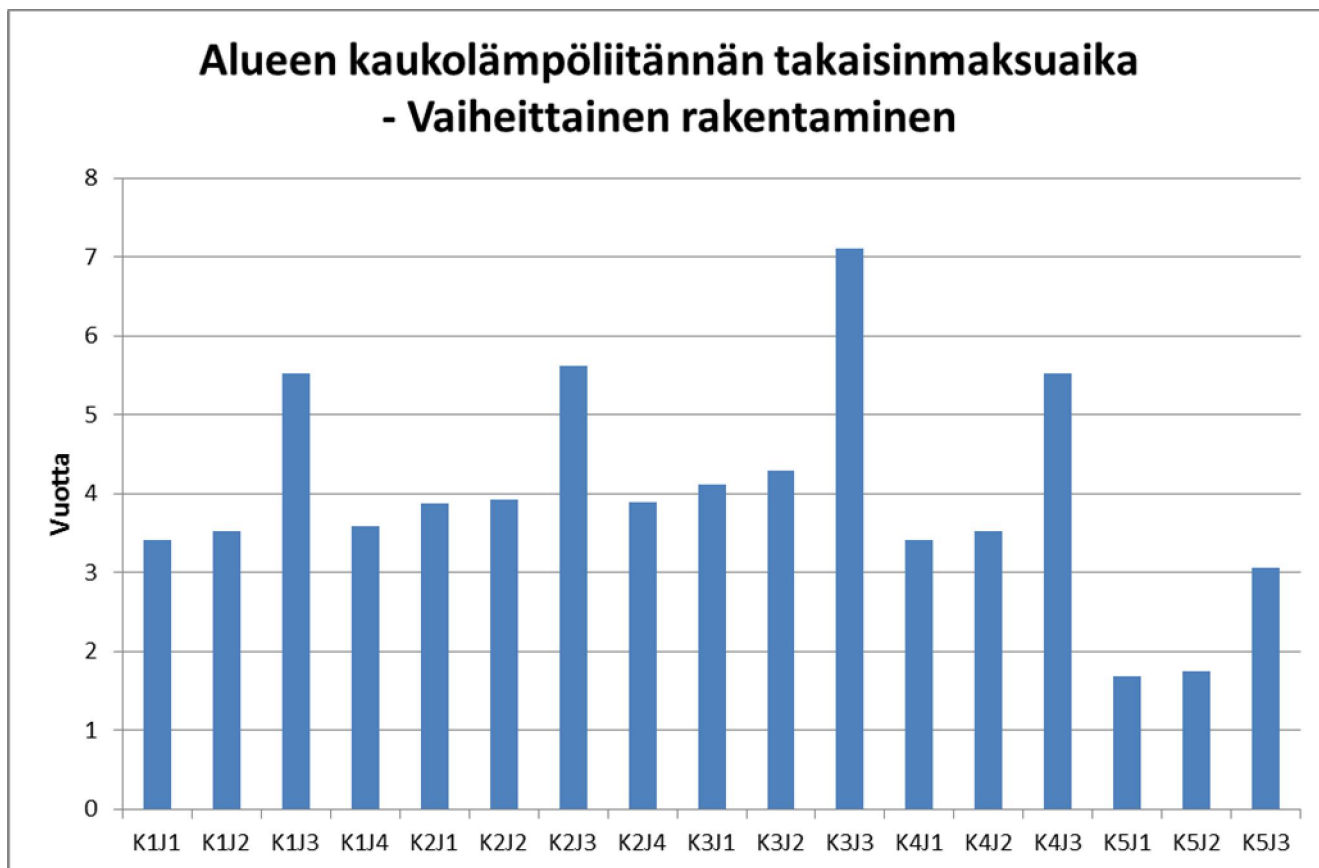
	Investoinnit	Liittymismaksut	Tulot
1. vuosi	70 %	25 %	25 %
2. vuosi	10 %	25 %	50 %
3. vuosi	10 %	25 %	75 %
4. vuosi	8 %	15 %	90 %
5-N. vuosi	0 %	0 %	90 %

Taulukko 9. Vuotuisten investointien, liittymismaksujen ja tulojen osuus perustarkastelun arvoista.

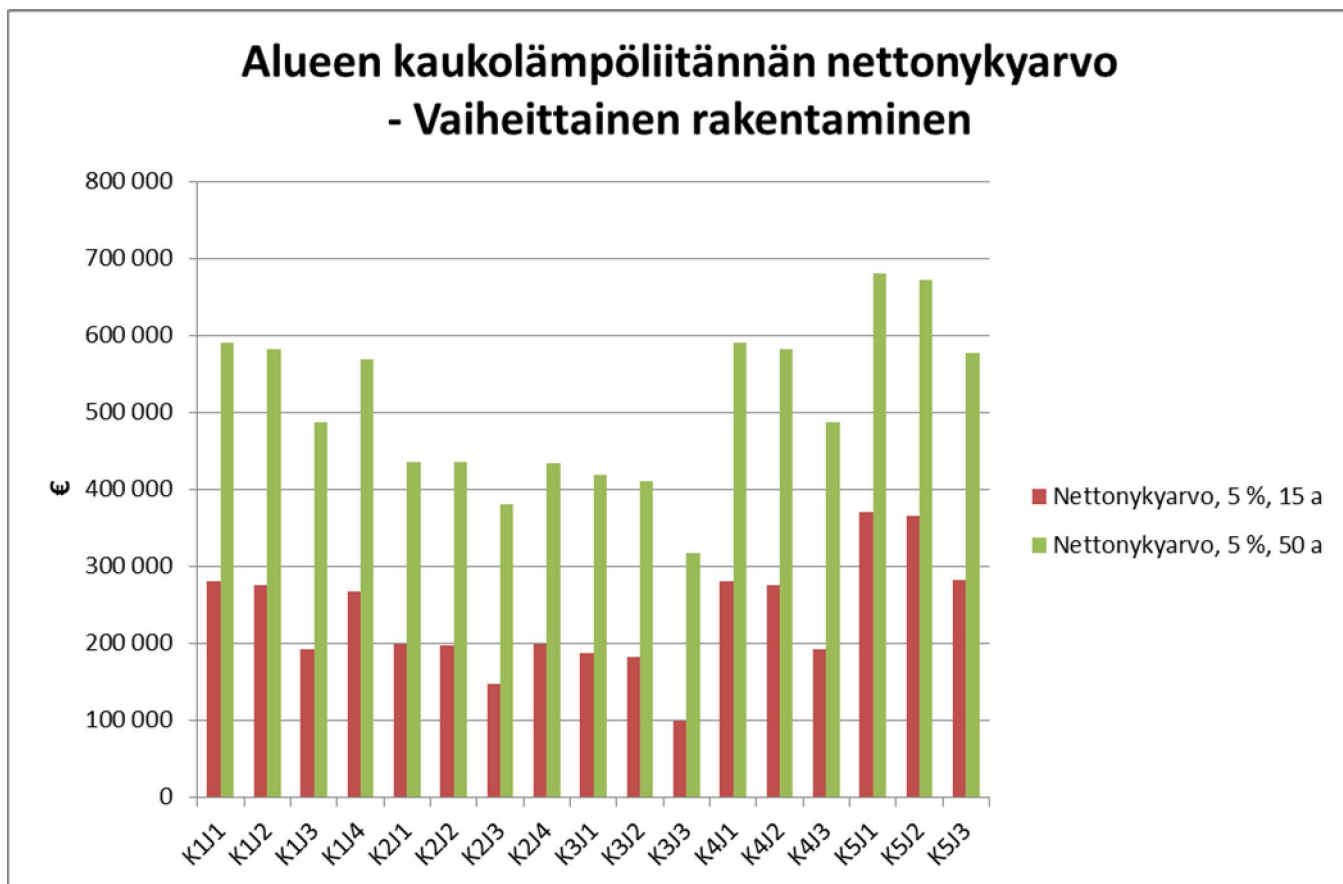
Suurin osa kaukolämpöverkosta rakennetaan ensimmäisenä vuotena, jolloin suurin osa investoinnista tulee ensimmäiselle vuodelle. Asiakkaiden liittyessä kaukolämpöön seuraavina vuosina rakennetaan liityntöjä liittyjille, jolloin myös myöhemmille vuosille tulee investointeja. Esimerkkilaskennassa on oletettu, että neljäntenä vuotena kaikki kaukolämpöliitynnät on toteutettuna. Kuitenkin noin 10 % myytävästä lämmöstä on oletettu jäävän toteuttamatta. Tällöin investoinneista jää tekemättä noin 2 %.

Liittymismaksut toteutuvat liittymisten yhteydessä. Esimerkkilaskennassa on oletettu, että kolmena ensimmäisenä vuotena liittyy 25 % potentiaalisista liittyjistä kunakin vuotena ja neljäntenä vuotena 15 %. 10 % potentiaalista liittyjistä jättää liittymättä kaukolämpöön. Tulot lämmön myynnistä vastaa liittymisiä siten, että neljännessä vuodesta eteenpäin 90 % potentiaalisista asiakkaista on liittynyt kaukolämpöön.

Seuraavissa kuvissa on esitetty alueen kaukolämpöliittymän takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo määritettynä em. oletuksin.



Kuva 18. Tarkastelualueen kaukolämpöliittämän takaisinmaksuaika vaiheittaisessa rakentamisessa.



Kuva 19. Tarkastelualueen kaukolämpöliittännön nettonykyarvo vaiheittaisessa rakentamisessa.

Vaiheittainen rakentaminen ei muuta tarkasteluvaihtoehtojen kannattavuuden järjestystä, mutta se heikentää kannattavuutta kaukolämpöyhtiön kannalta. Vaihtoehtojen takaisinmaksuaika pitenee perustarkasteluun verrattuna noin 2 vuotta sekä 50 vuoden nettonykyarvo alenee noin 100 000 € ja 15 vuoden luokkaa 50 000 €.

9 HERKKYYSTARKASTELUT

9.1 Kuvaukset herkkyystarkasteluista

Herkkyystarkastelu 1 - Omakotitaloalue:

- Vertailutarkastelualueen kerrostalot ja rivitalot on muutettu omakotitaloiksi, jolloin tarkastelualueella on yhteensä 44 omakotitaloa, joiden mukaan alueverkko on mitoitettu
- Vertailujärjestelmän mukainen kytkentä Fe Mpuk johtorakenteella.

Herkkyystarkastelu 2 - Kaukolämpöverkkoon liittymisaste 65 %:

- Vertailutarkastelualueen kiinteistöistä 65 % liittyy kaukolämpöverkkoon. Liittymislaskelma on tehty vuosienergioiden perusteella, jolloin kaukolämpöverkkoon liittyy 13 omakotitaloa, 1 rivitalo ja 2 kerrostaloa.
- Alueverkon mitoitus vertailujärjestelmän mukaisesti
- Vertailujärjestelmän mukainen kytkentä Fe Mpuk johtorakenteella.

Herkkyystarkastelu 3A - Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Fe Mpuk:

- Vertailujärjestelmän mukainen kytkentä Fe Mpuk johdolla
- Kaukolämmön kulutusluvut vuosittain on tiputettu ”lähes nollaenergia”-tasolle. Omakotitalon lämmityksen kulutus on muutettu 8 -> 3 MWh/a ja lämmin käyttövesi 7 -> 4 MWh/a. Omakotitalon energian kulutuksen vähentymisen suhdetta on käytetty laskettaessa rivitalon ja kerrostalon energian kulutuksia.
- Lämmityksen mitoitusteho on laskettu lämmityksen huipunkäyttöajan 2200 h/vuosi mukaan. Lämpimän käyttöveden mitoitusteho on laskettu 10 °C normaalia matalammalla menolämpötilalla. Alueverkko on mitoitettu vastaamaan matalampia mitoitustehoja. Alla olevassa taulukossa on esitetty yhteenveto energiantarpeista ja mitoitustehoista:

	Lämmitys	LKV	Yhteensä	Lämmitys	LKV
Kiinteistö	MWh/a	MWh/a	MWh/a	kW	kW
Pientalo	3	4	7	1,4	48
Rivitalo	30	40	70	13,6	238
Kerrostalo	43	66	109	19,5	302

Taulukko 10. Herkkyystarkastelu 3: kiinteistöjen tehon ja energian tarpeet

Herkkyystarkastelu 3B - Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Pe 2Mpuk+Pe Mpuk:

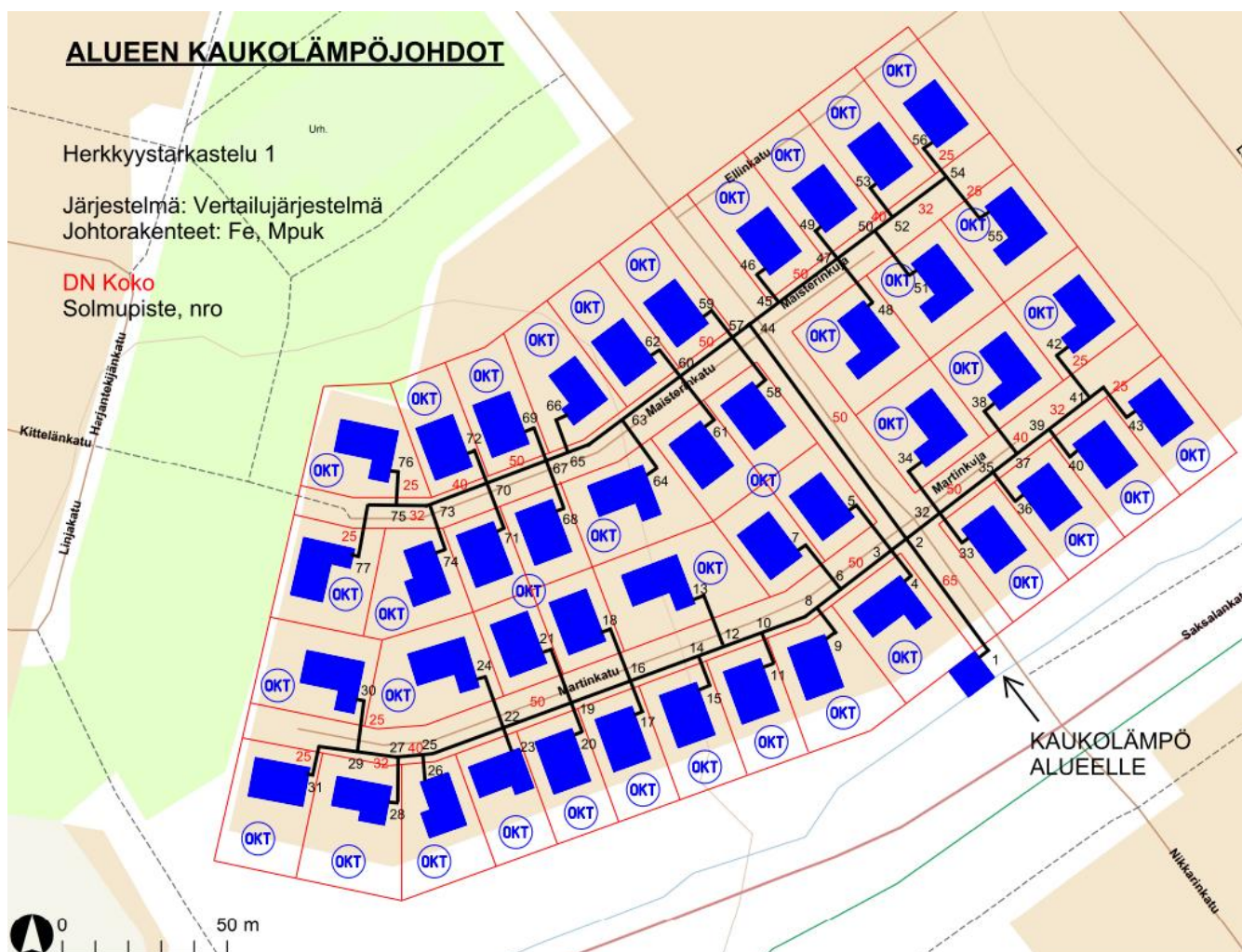
- Herkkyystarkastelu 3B:ssa on käytetty samoja energiamääriä ja mitoitustehoja kuin 3A:ssa, mutta kyseessä on alueellinen sekoitusjärjestelmä 1, periaatekytkentä 2, eli lämmönsiirrin ja johtorakenteena Pe 2Mpuk+Pe Mpuk.

Herkkyystarkastelu 4 - Laskenta korotetuilla energian hinnoilla:

- Alueverkon mitoitus vertailujärjestelmän mukaisesti
- Vertailujärjestelmän mukainen kytkentä Fe Mpuk johtorakenteella
- Kustannuslaskelmat on tehty lämpöenergian hinnalla 50 €/MWh (alv 0 %) ja sähköenergian hinnalla 100 €/MWh (alv 0 %) sekä lisäksi on oletettu 3 %:n vuotuinen energian reaalihinnannousu.

9.1.1 Herkkyystarkastelu 1: Omakotitaloalue

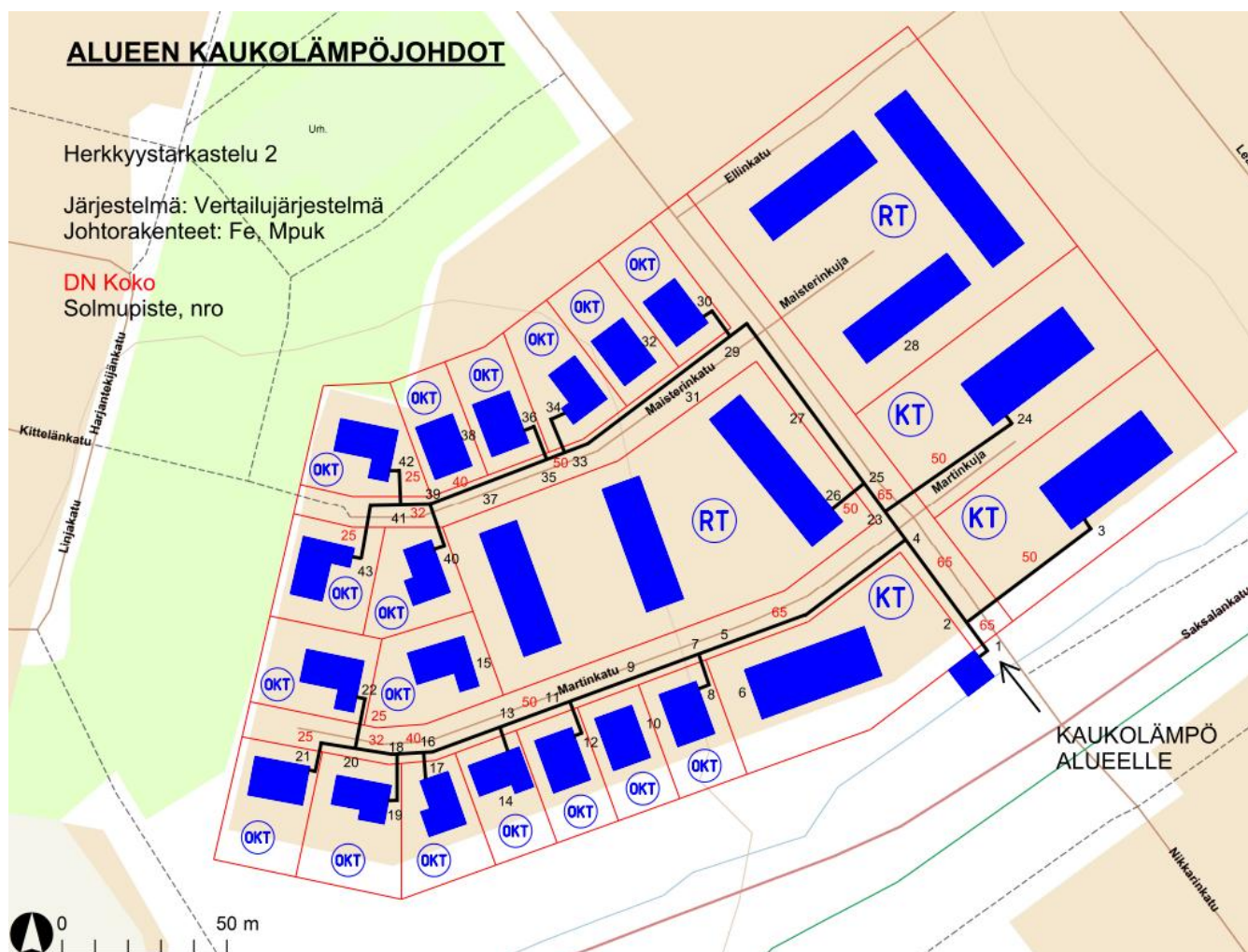
Alla olevassa kuvassa on esitetty herkkyystarkastelu 1:n mukainen tarkastelualue.



Kuva 20. Tarkastelualue, herkkyystarkastelu 1

9.1.2 Herkkyystarkastelu 2: Kaukolämpöverkkoon liittymisaste 65 %

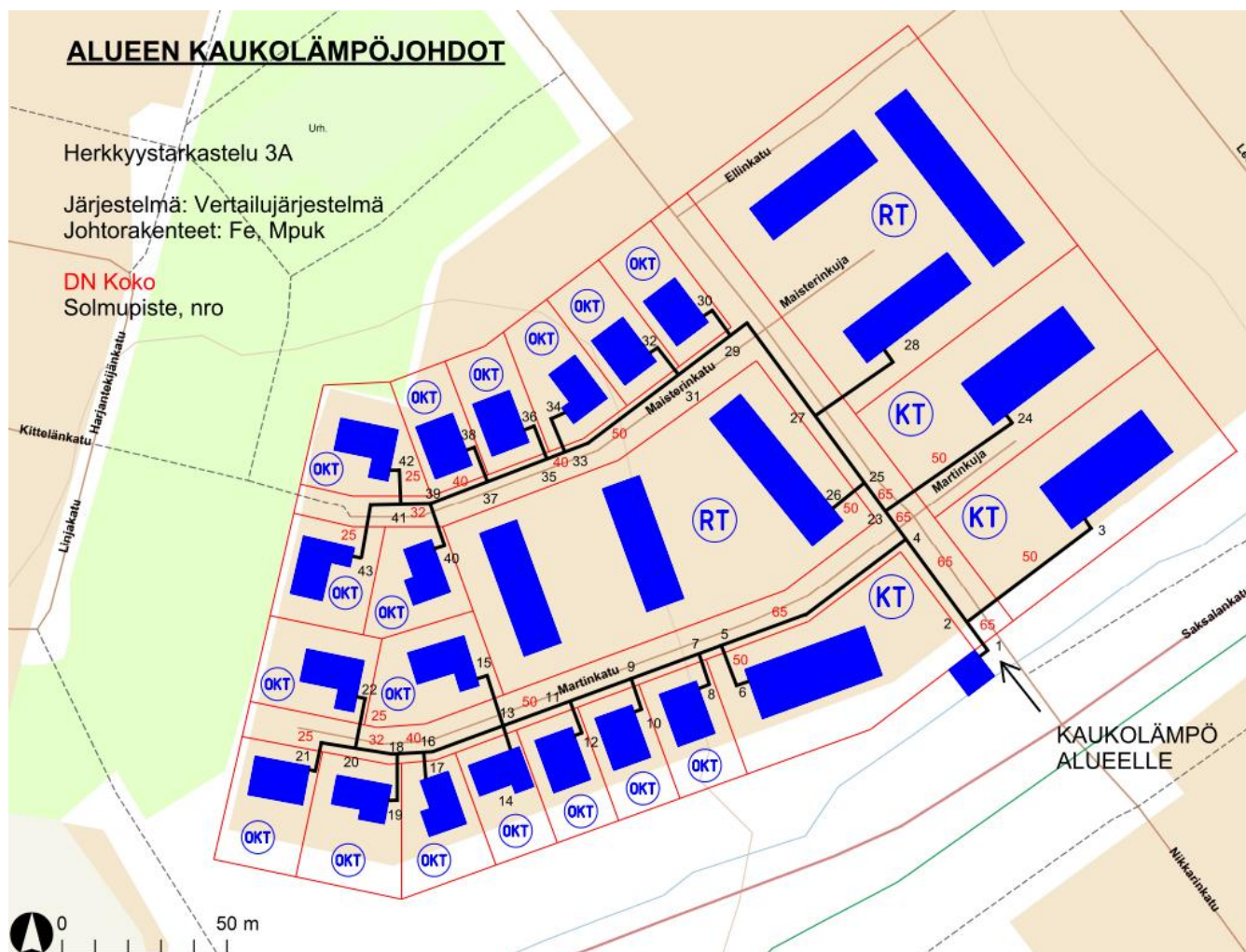
Alla olevassa kuvassa on esitetty herkkyystarkastelu 2:n mukainen tarkastelualue.



Kuva 21. Tarkastelualue, herkkyystarkastelu 2

9.1.3 Herkkyystarkastelu 3A: Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Fe Mpuk

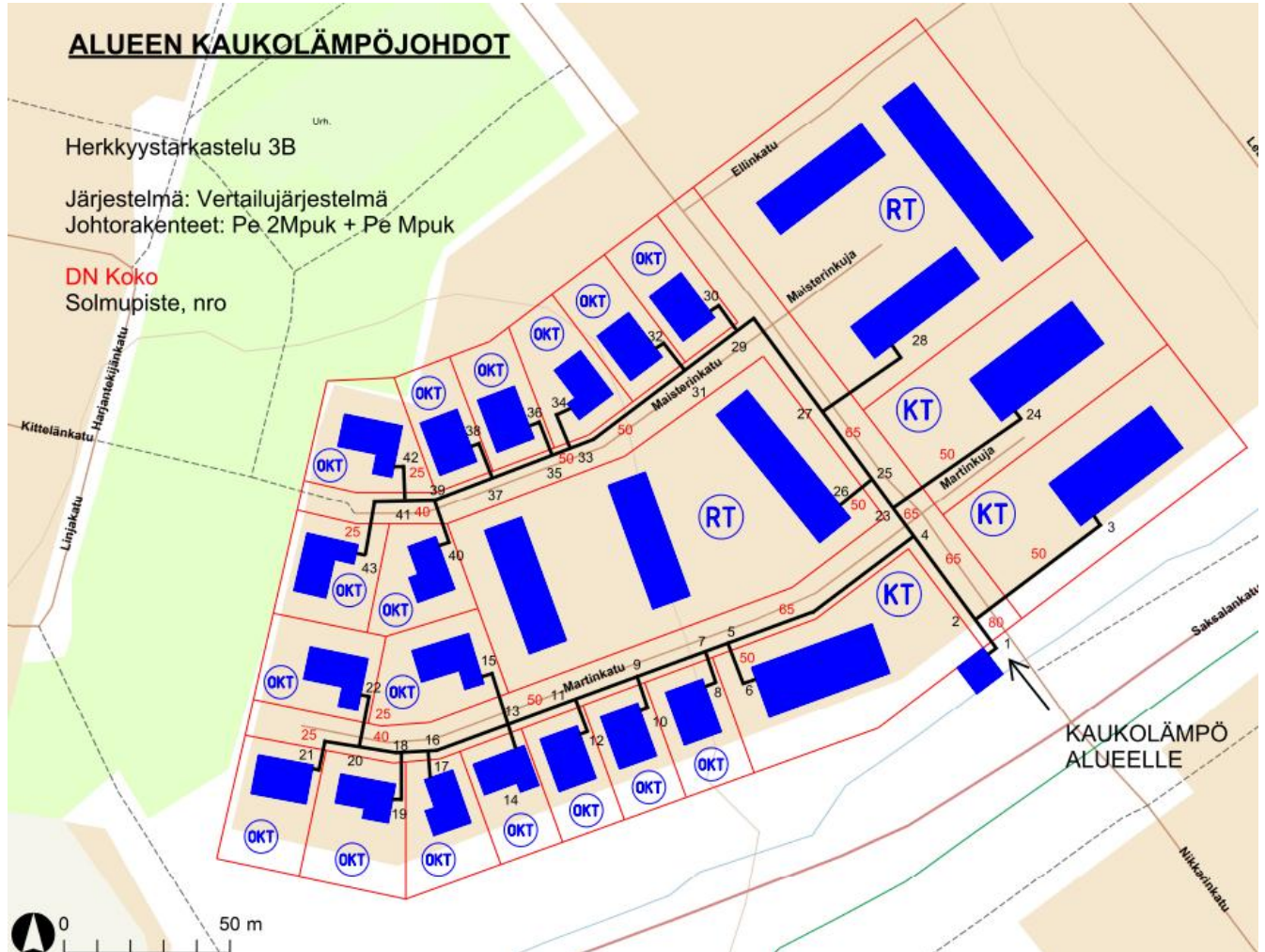
Alla olevassa kuvassa on esitetty herkkyystarkastelu 3A:n mukainen tarkastelualue.



Kuva 22. Tarkastelualue, herkkyystarkastelu 3A

9.1.4 Herkkyystarkastelu 3B: Talojen ”lähes nollaenergia” –mitoitus, Pe 2Mpuk+Pe Mpuk

Alla olevassa kuvassa on esitetty herkkyystarkastelu 3B:n mukainen tarkastelualue



Kuva 23. Tarkastelualue, herkkyystarkastelu 3B

9.1.5 Herkkyystarkastelu 4: Laskenta korotetuilla energian hinnoilla

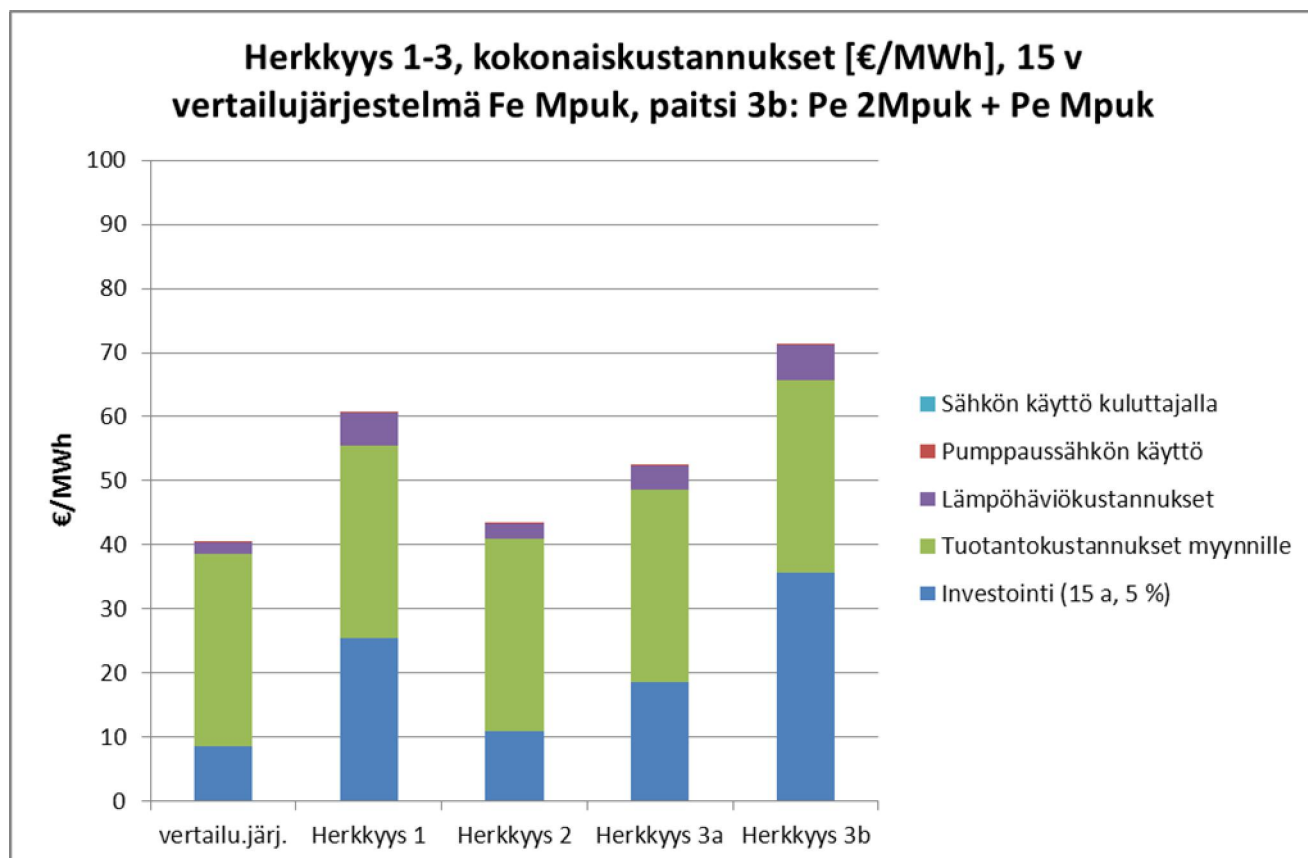
Herkkyystarkastelu 4:n tarkastelualue on vertailujärjestelmän mukainen.

9.2 Tulokset

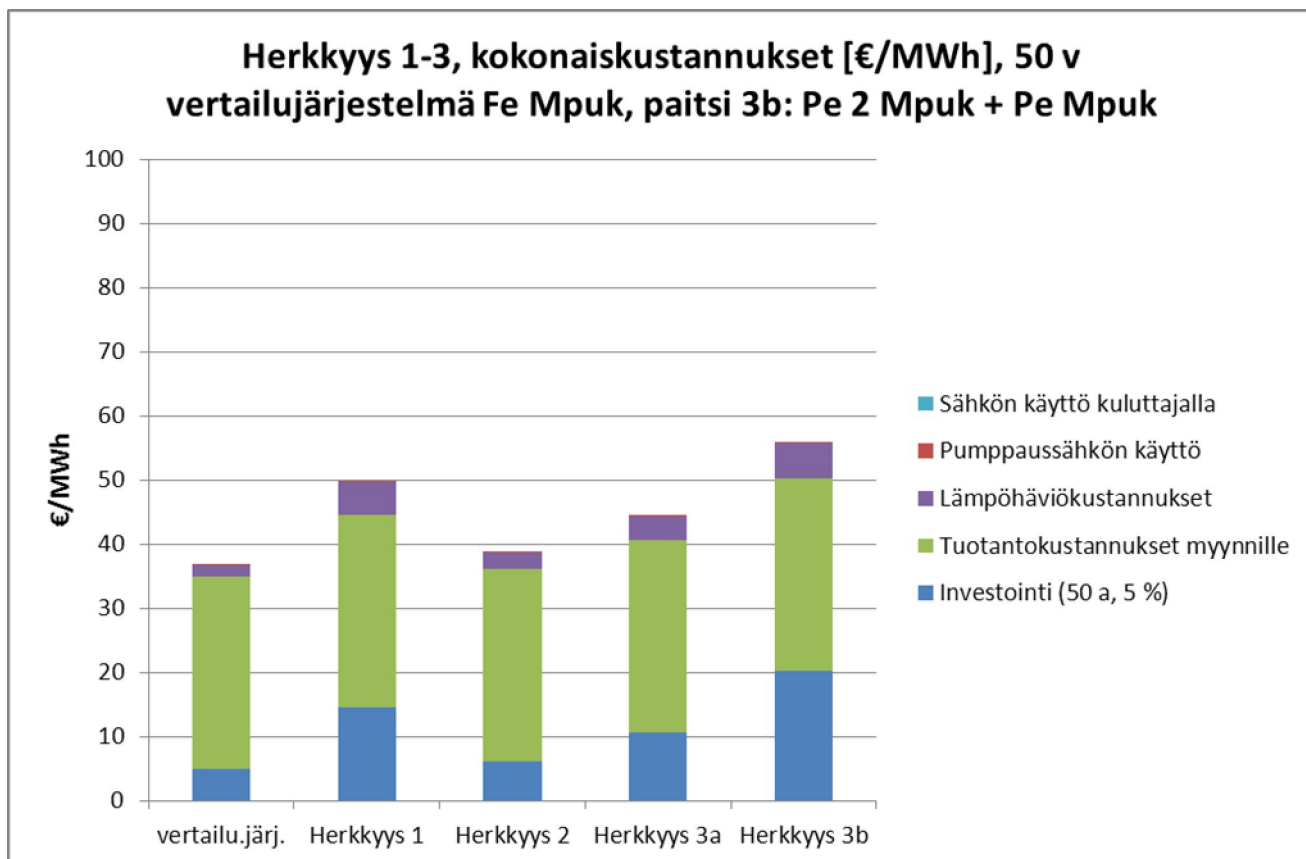
Herkkyystarkasteluissa määritettäessä järjestelmien kokonaiskustannuksia on investointi jaettu vuosikustannuksiksi käyttäen 5 %:n reaalikoroa. Tuotantokustannukset myynnille, lämpöhäviökustannukset, pumppaussähkön käyttö ja sähkön käyttö kuluttajalla lukemat ovat suoraan vuosittaisia kustannuksia.

Alla olevissa kuvaajissa on esitetty herkkyystarkasteluiden 1-3 kokonaiskustannukset ja herkkyystarkastelu 4:n kokonaiskustannusten kasvu 15 ja 50 vuoden tarkastelujaksoissa. Kuvaajissa herkkyystarkasteluita on vertailtu vertailujärjestelmään. Järjestelmien kokonaiskustannukset on ilmoitettu muodossa lämmönmyyntiä kohden [€/MWh].

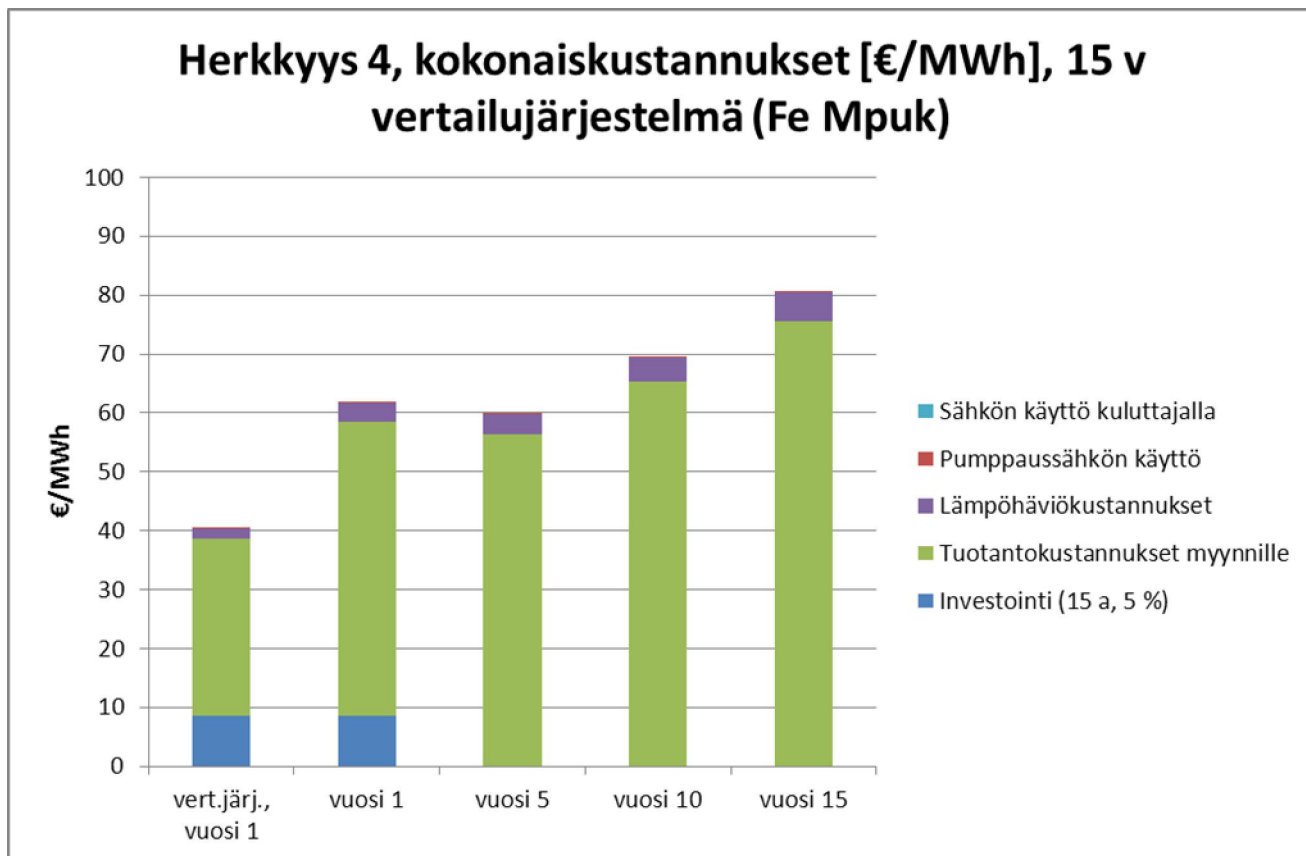
Vertailujärjestelmänä on ns. perinteinen kaukolämpöjärjestelmä lukuunottamatta muoviputkijohtorakennetta, jossa kytkentäjärjestelmänä on ns. sekoitusjärjestelmä varustettuna alueellisella lämmönsiirrinasemalla.



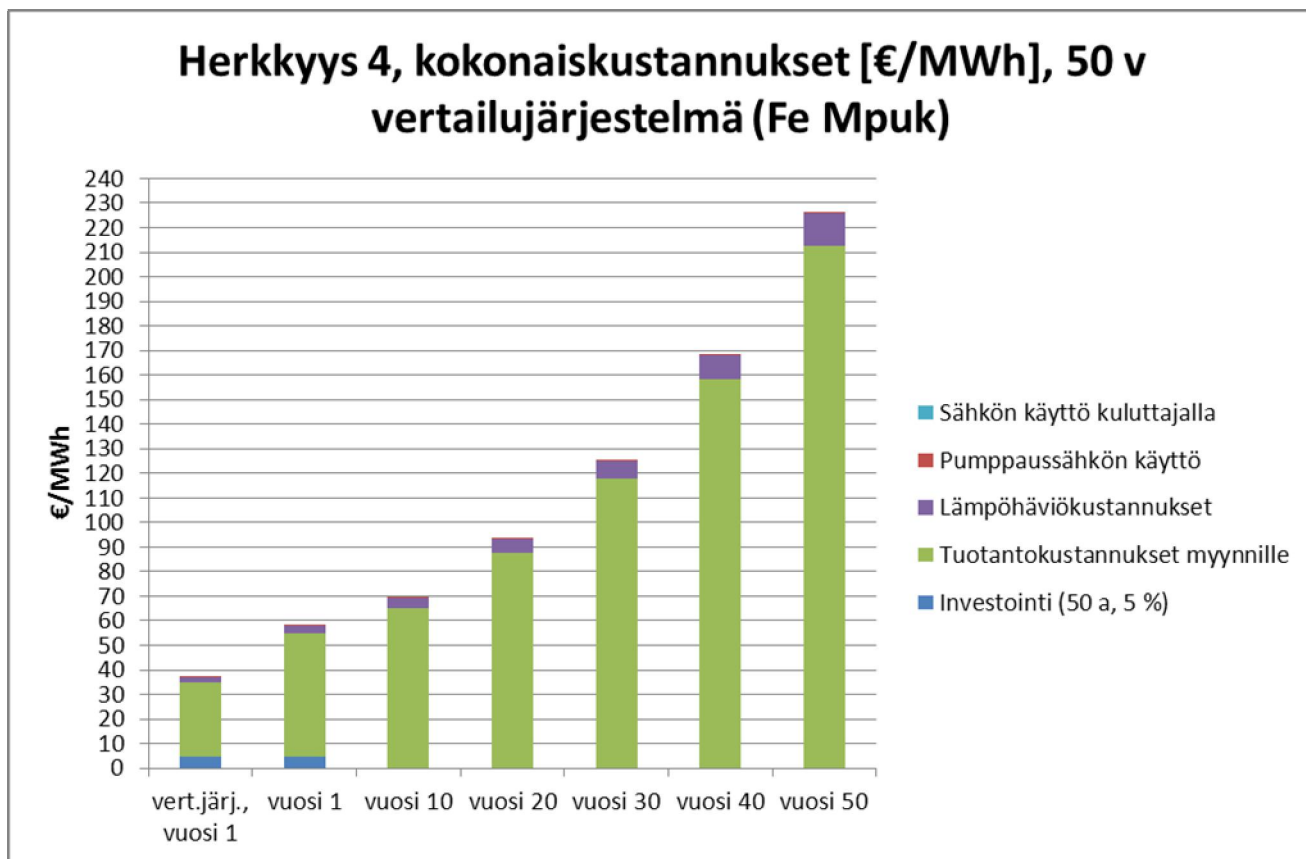
Kuva 24. Herkkyystarkasteluiden 1-3 kokonaiskustannukset [€/MWh], 15 v, 5 %



Kuva 25. Herkkyystarkasteluiden 1-3 kokonaiskustannukset [€/MWh], 50 v, 5 %



Kuva 26. Herkkyystarkastelun 4 kokonaiskustannukset [€/MWh], 15 v, 5 %



Kuva 27. Herkkyystarkastelun 4 kokonaiskustannukset [€/MWh], 50 v, 5 %

Herkkyystarkasteluiden 1-3 15 ja 50 vuoden kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että vertailujärjestelmä (K5J1) on edullisin. Herkkyystarkastelu 2 on lähimpänä vertailujärjestelmää. Siinä investoinnin osuus on selkeästi pienempi kuin muissa herkkyystarkasteluissa. Herkkyystarkastelu 2:ssa kaikki kuluttajat eivät liittyneet kaukolämpöön, mikä selittää osaltaan pienemmät investoinnit. Herkkyystarkastelu 3B on investoinniltaan selkeästi kallein, mikä selittyy sillä, että muoviputkesta tehty alueverkko on liitetty kaukolämpöverkkoon lämmönsiirraseman välityksellä.

Herkkyystarkastelu 4:ssä (15 ja 50 v.) voidaan kuvaajista nähdä kuinka tuotantokustannukset myynnille kasvavat vuosittain, kun kustannuslaskelmat on tehty lämpöenergian hinnalla 50 €/MWh ja sähköenergian hinnalla 100 €/MWh sekä lisäksi on oletettu 3 %:n vuotuinen energian reaalihinnannousu.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli verrata erilaisista kevennetyistä kytkentäjärjestelmistä ja johtorakenteista muodostettuja tarkasteluvaihtoehtoja keskenään ja vertailujärjestelmään, joka oli ns. perinteinen kaukolämpöjärjestelmä. Periaatteena oli, että johtorakenteet valittiin markkinoilla olevista todellisista johtorakenteista monipuolisesti ja niin, että niistä oli saatavissa todellista kustannustietoutta, jota käytettiin tarkastelun kustannuslaskennassa. Myös tarkasteluun valitut kytkentäjärjestelmät olivat todellisia järjestelmiä, mutta niin, että vaihtoehtoissa oli mukana myös kaksi järjestelmää, joissa vain joko lämmitys tai lämmin käyttövesi tuotetaan kaukolämmöllä.

Työn tarkoituksena oli verrata nimenomaan keskenään tarkasteluvaihtoehtoja. Tästä syystä mukaan otettiin vain tarkastelualueen ne kustannukset, joissa järjestelmien välillä oli perustellusti eroa. Kustannukset, joihin tarkasteltavan järjestelmän valinta ei suoranaisesti vaikuta kuten investoinnit lämmön tuotantoon ja muuhun kaukolämpöverkkoon, käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä aluelämpöjohtokaivantojen päällystetyöt jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Tarkastelussa mukana olevat kustannukset eivät siten ole aluelämpöverkon absoluuttisia kokonaiskustannuksia.

Kaukolämpöjohtojen eristysmateriaalit ovat vuosien mittaan kehittyneet ja kaukolämpöjohtoelementtien eristyspaksuudet kasvaneet. Tästä syystä lämpöhäviöiden osuus kokonaiskustannuksissa ei tuo suuria eroja järjestelmien välille. Myöskään pienehkön aluelämpöverkon painehäviökustannukset eivät ole merkittäviä. Suurimmat erot syntyvät investointikustannuksista. Tästä syystä lämmönmyyjän kannalta edullisimmaksi järjestelmäksi osoittautui teräksisin virtausputkin toteutettu vertailujärjestelmä, joka ei edellytä alueellista ”lämmön käsittely”-yksikköä.

Selvityksen perusteella keskeisiä tarkasteluvaihtoehtojen keskinäiseen kilpailukykyyn vaikuttavia seikkoja ovat mm.:

1. Mitoituslämpötilaero: Mitä suurempana mitoituslämpötilaero voidaan pitää sitä pienemmät mitoitusvesivirrat, putkikoot, investointikustannukset ja johtokoosta johtuvat lämpöhäviöt.
2. Tarvittava lämpimän käyttöveden lämpötila: Lämmityksen tehontarpeiden pienentyessä yhä suurempi osa aluelämpöverkon kaukolämpöjohdoista tulee mitoittavaksi lämpimän käyttöveden tehontarpeiden perusteella. Jos lämpimän käyttöveden lämpötilaa voitaisiin alentaa, selvittäisiin osassa aluelämpöverkkoa pienemmillä putkidimensioilla. Tämä näkyisi mm. pienempinä investointi- ja lämpöhäviökustannuksina.
3. Lämpimän käyttöveden tuottaminen kiinteistökohtaisesti muulla tavalla kuin kaukolämmöllä: Selvityksen perusteella lämmön myyjän ja todennäköisesti myös kiinteistön kannalta on järkevää tuottaa sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden tarvitsema lämpö kaukolämmöllä jos alueella on kaukolämpö tarjolla.
4. Lämmitysenergian tuottaminen kiinteistökohtaisesti muulla tavalla kuin kaukolämmöllä: Selvityksen perusteella lämmön myyjän ja todennäköisesti myös kiinteistön kannalta on järkevää tuottaa sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden tarvitsema lämpö kaukolämmöllä jos alueella on kaukolämpö tarjolla.
5. Alueverkon rakennuskanta: Alueverkon kaukolämmityksen kannattavuutta parantavat merkittävästi yksittäisetkin kaukolämmittävät rivi- ja kerrostalot siihen verrattuna, että alue on pelkkä omakotitaloalue.
6. Alueverkon rakentuminen: Mitä nopeammin alue saadaan kaukolämmön piiriin, sitä parempi on kaukolämpötoiminnan kannattavuus.
7. Alhainen menolämpötila kaikkina vuodenaikoina: Alhainen menolämpötila mahdollistaa muovisten virtausputkien käytön alueella, mutta aiheuttaa pienen mitoituslämpötilaeron. Tästä aiheutuvat suuremmat mitoitusvesivirrat, osin suuremmat putkikoot, investointien ja lämpöhäviöiden putkikoosta aiheutuva kasvu.

8. Pääkaukolämpöverkon paluuveden käyttäminen aluelämpöverkon osittaiseen lämmittämiseen: Ei välttämättä aikaansaa hyötyä itse aluelämpöverkossa. Tapauskohtaisesti hyötyä saattaa syntyä pääkaukolämpöverkon puolella.
 9. Suora/epäsuora alueellinen kytkentä: Alueellinen ”lämmön käsittely”-yksikkö aiheuttaa lisäinvestointeja ja lisääntyviä käyttö- ja kunnossapitokustannuksia, jotka saattavat olla hyvinkin merkittäviä alueen kaukolämpötoiminnan kannattavuudelle. Edellyttää tapauskohtaista harkintaa ja ”edullista” sijoituspaikkaa ko. alueelliselle yksikölle.
 10. Suora/epäsuora kiinteistökohtainen kytkentä: Käyttökokemusten ja aluelämpöverkon rakennus- ja kunnossapitotöiden kannalta epäsuora kytkentä on suositeltavampi. Tällöin vältetään mm. ilmaongelmat kiinteistöjen lämmönluovutuslaitteissa.
 11. Taipuisa johtorakenne: Hyötyä saadaan lähinnä talojohtojen rakentamisessa. Minimoi putkiliitospaikat. Hyödyn suuruus vaihtelee tapauskohtaisesti.
 12. Kaksiputkirakenne (meno- ja paluuputket saman suojakuoren sisällä): Hyötyä saatavissa mm. investointi- ja lämpöhäviökustannuksissa ns. yksiputkirakenteeseen verrattuna.
 13. Muoviputkijohtorakenne: Etuina ovat mm. taipuisa rakenne, pienikokoinen virtausputki ja putkiliitoskohtien minimointi. Haittapuolena ovat mm. kaksiputkirakenteen puuttuminen suuremmista putkidimensioista sekä joidenkin valmisosaelementtien puuttuminen. Edellyttää tyypillisesti alueellista lämmönsiirrinasemaa. Soveltuu parhaiten pieneköihin aluelämpöverkkoihin.
- Tiukentuvat rakentamisen energiamääräykset vähentävät kaukolämmön tarvetta. Kaukolämmön rakentamisen voidaan kuitenkin todeta edelleenkin olevan kannattavaa lämmönmyyjän kannalta tarkastelun alueen kaltaisilla pientalovaltaisilla alueilla käytettäessä alueen kannalta optimaalisia kytkentätapoja ja johtorakenteita.

ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.1.1

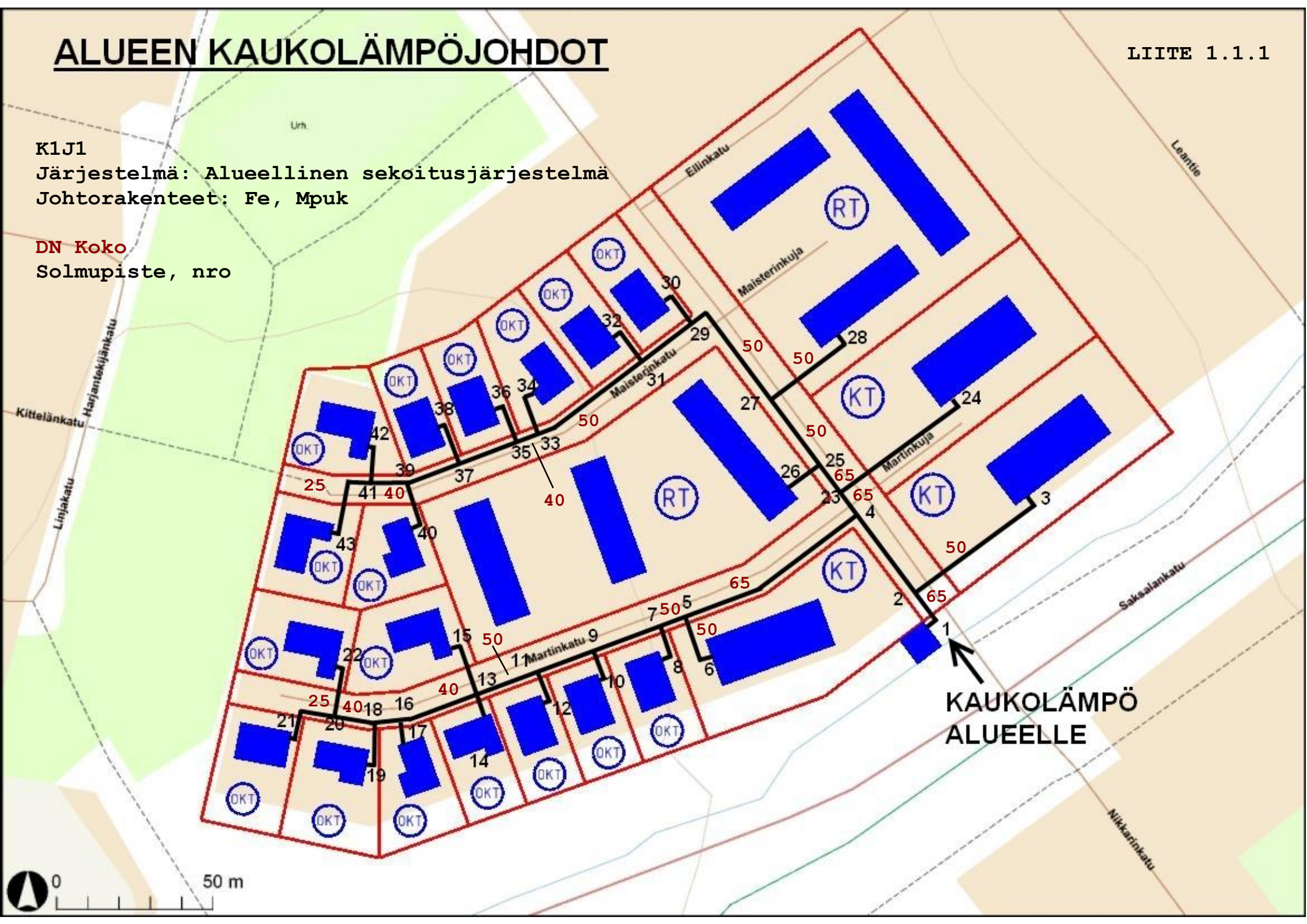
K1J1

Järjestelmä: Alueellinen sekoitusjärjestelmä

Johtorakenteet: Fe, Mpuk

DN Koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.1.2

K1J2

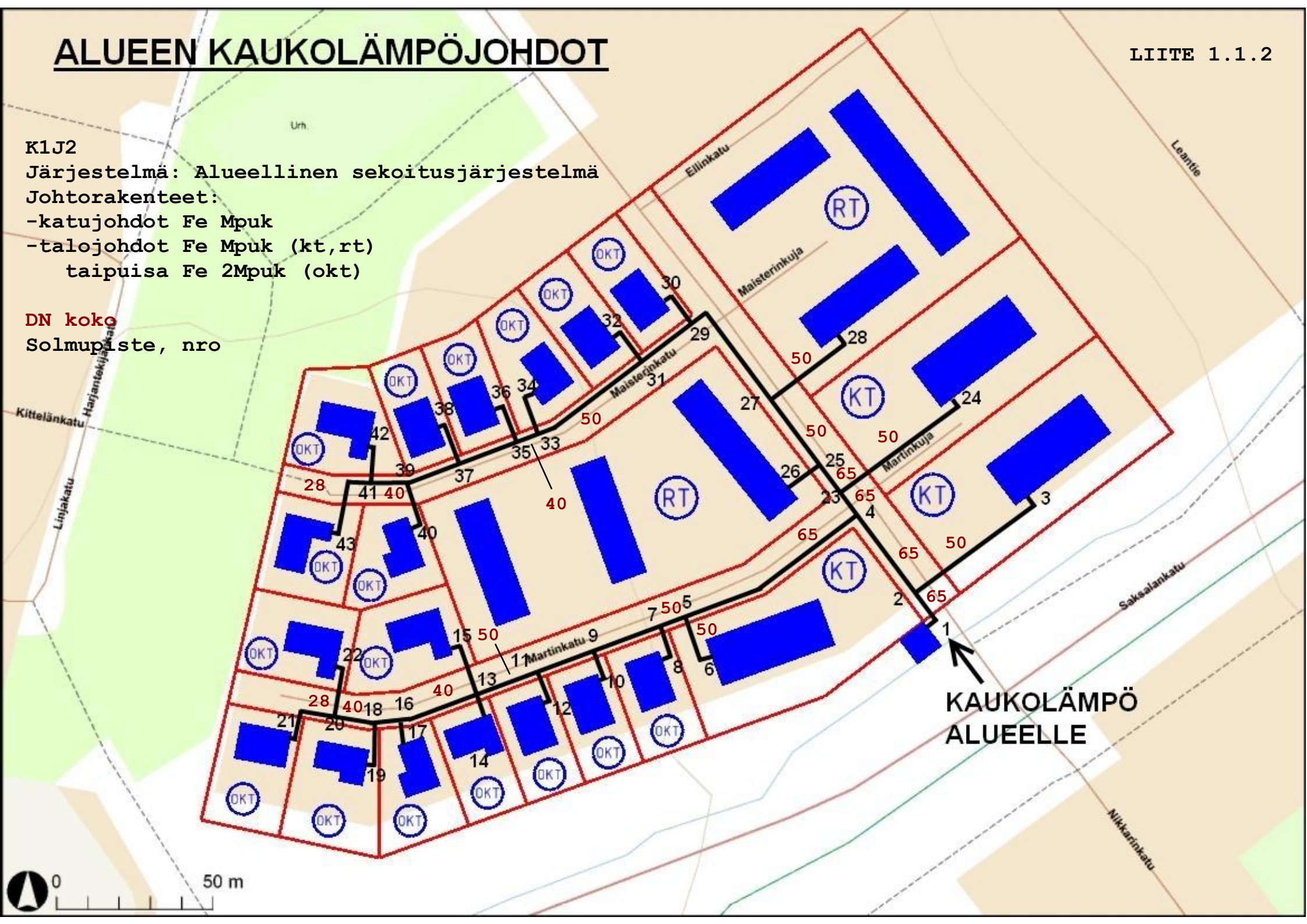
Järjestelmä: Alueellinen sekoitusjärjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot Fe Mpuk
- talojohdot Fe Mpuk (kt,rt)
- taipuisa Fe 2Mpuk (okt)

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.1.3

K1J3

Järjestelmä: Alueellinen sekoitusjärjestelmä

Johtorakenteet:

-katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk/

taipuisa Rst Mpuk

-talojohdot taipuisa Rst Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.1.4

K1J4

Järjestelmä: ALueellinen sekoitusjärjestelmä
(lämmönsiirtimellä)

Johtorakenteet:

- katujohdot taipuisa Pe 2Mpuk/
taipuisa Pe Mpuk
- talojohdot taipuisa Pe Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.2.1

K2J1

Järjestelmä: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä

Johtorakenteet: Fe Mpuk

DN Koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.2.2

K2J2

Järjestelmä: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot Fe Mpuk
- talojohdot Fe Mpuk (kt,rt)
- taipuisa Fe 2Mpuk (okt)

DN Koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.2.3

K2J3

Järjestelmä: Kaukolämpö/sähkö-järjestelmä

Johtorakenteet:

-katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk/

taipuisa Rst Mpuk

-talojohdot taipuisa Rst Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.2.4

K2J4

Järjestelmä: Kaukolämpö/Sähkö-järjestelmä

Johtorakenteet:

-katujohdot taipuisa Pe 2Mpuk/

taipuisa Pe Mpuk

-talojohdot taipuisa Pe Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.3.1

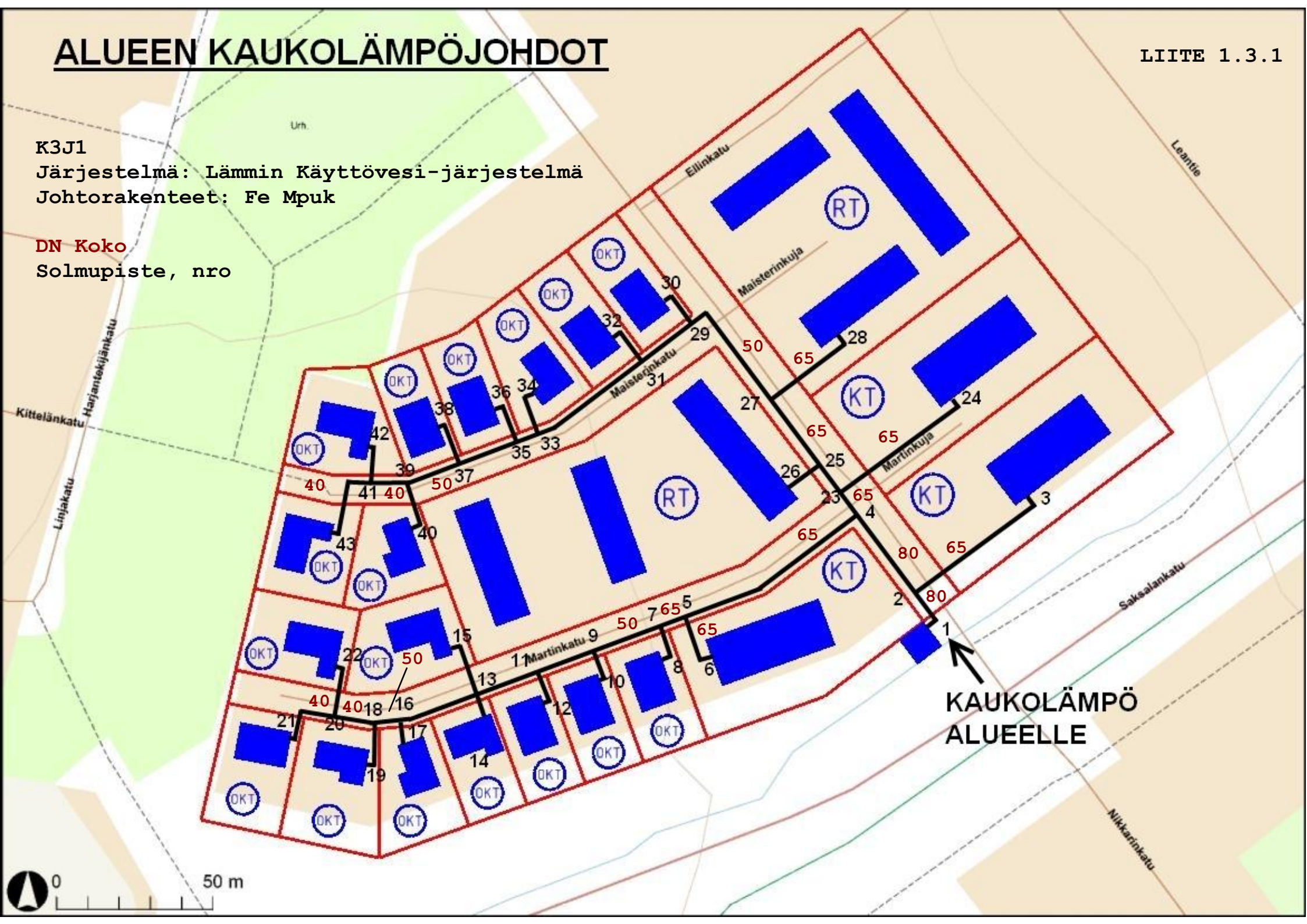
K3J1

Järjestelmä: Lämmin Käyttövesi-järjestelmä

Johtorakenteet: Fe Mpuk

DN Koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.3.2

K3J2

Järjestelmä: Lämmin käyttövesi-järjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot Fe Mpuk
- talojohdot Fe Mpuk (kt,rt)
taipuisa Fe 2Mpuk (okt)

DN Koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.3.3

K3J3

Järjestelmä: Lämmin käyttövesi-järjestelmä

Johtorakenteet:

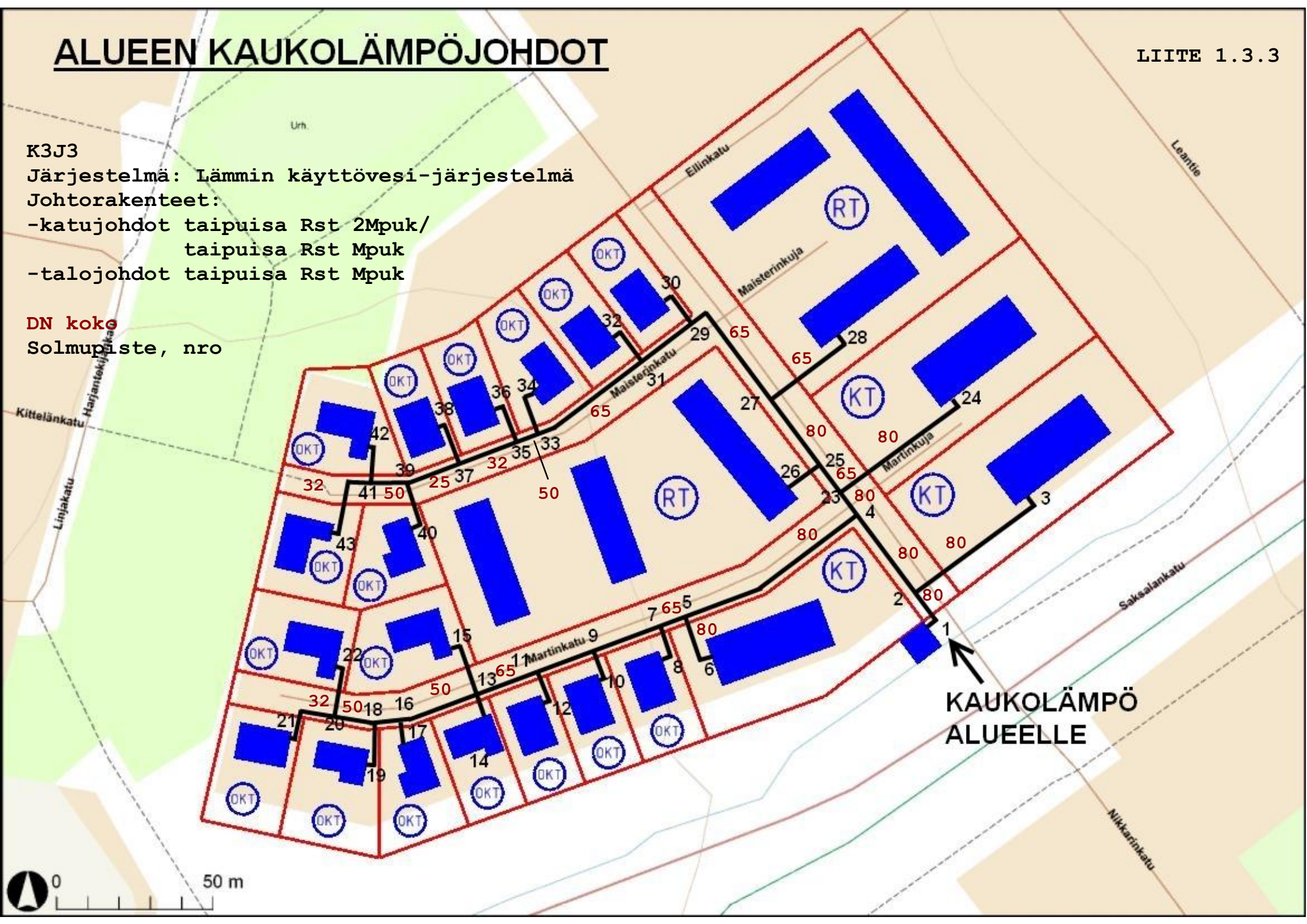
-katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk/

taipuisa Rst Mpuk

-talojohdot taipuisa Rst Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.4.1

K4J1

Järjestelmä: Alueellinen paluuviesijärjestelmä

Johtorakenteet: Fe Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.4.2

K4J2

Järjestelmä: Alueellinen paluuviesijärjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot Fe Mpuk
- talojohdot Fe Mpuk (kt,rt)
- taipuisa Fe 2Mpuk (okt)

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.4.3

K4J3

Järjestelmä: Alueellinen paluuviesijärjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk/
taipuisa Rst Mpuk
- talojohdot taipuisa Rst Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.5.1

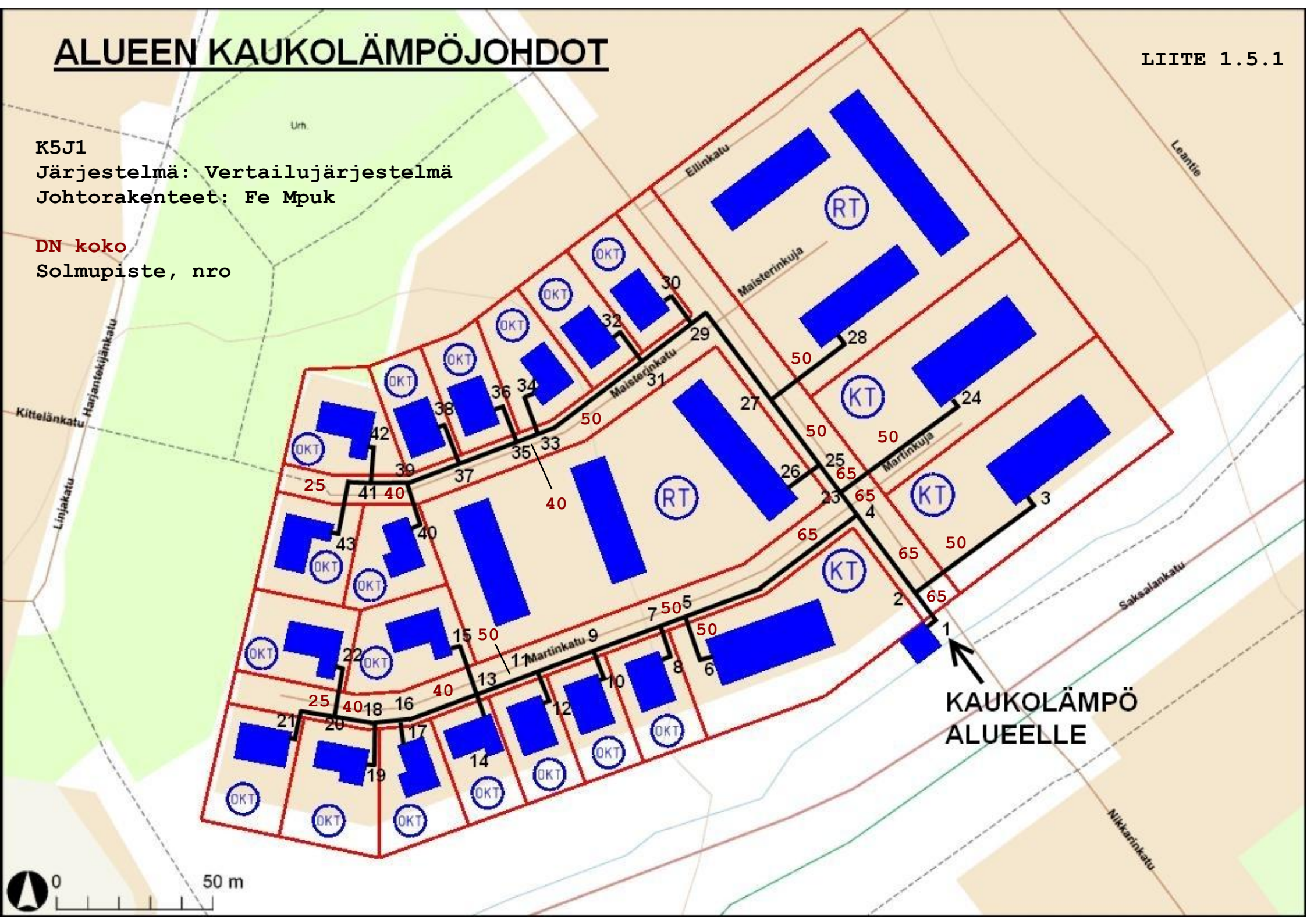
K5J1

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä

Johtorakenteet: Fe Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.5.2

K5J2

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot Fe Mpuk
- talojohdot Fe Mpuk (kt,rt)
taipuisa Fe 2Mpuk (okt)

DN koko

Solmupiste, nro



ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1.5.3

K5J3

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä

Johtorakenteet:

- katujohdot taipuisa Rst 2Mpuk/
taipuisa Rst Mpuk
- talojohdot taipuisa Rst Mpuk

DN koko

Solmupiste, nro

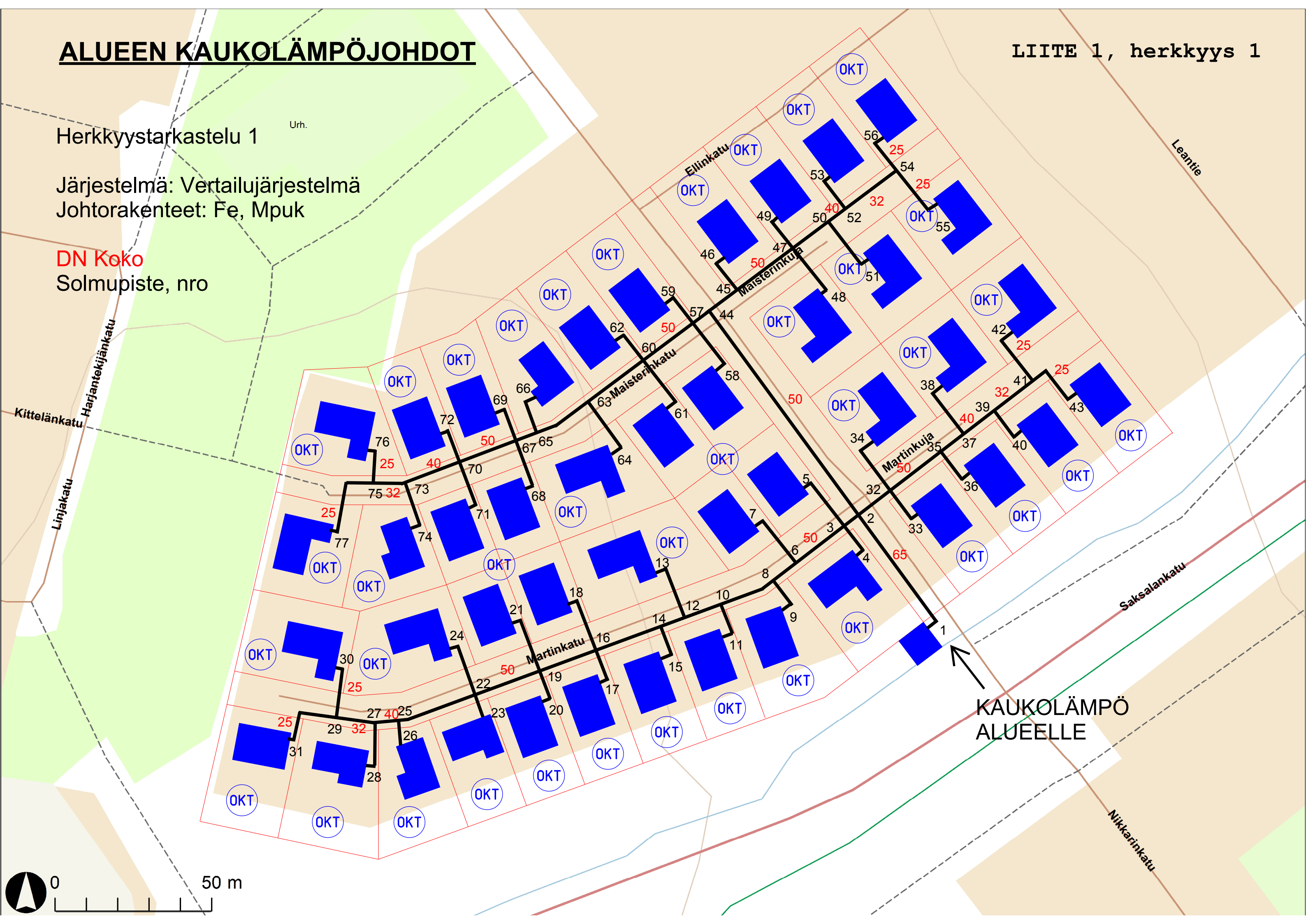


ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1, herkkyys 1

Herkkyystarkastelu 1
Järjestelmä: Vertailujärjestelmä
Johtorakenteet: Fe, Mpuk

DN Koko
Solmupiste, nro



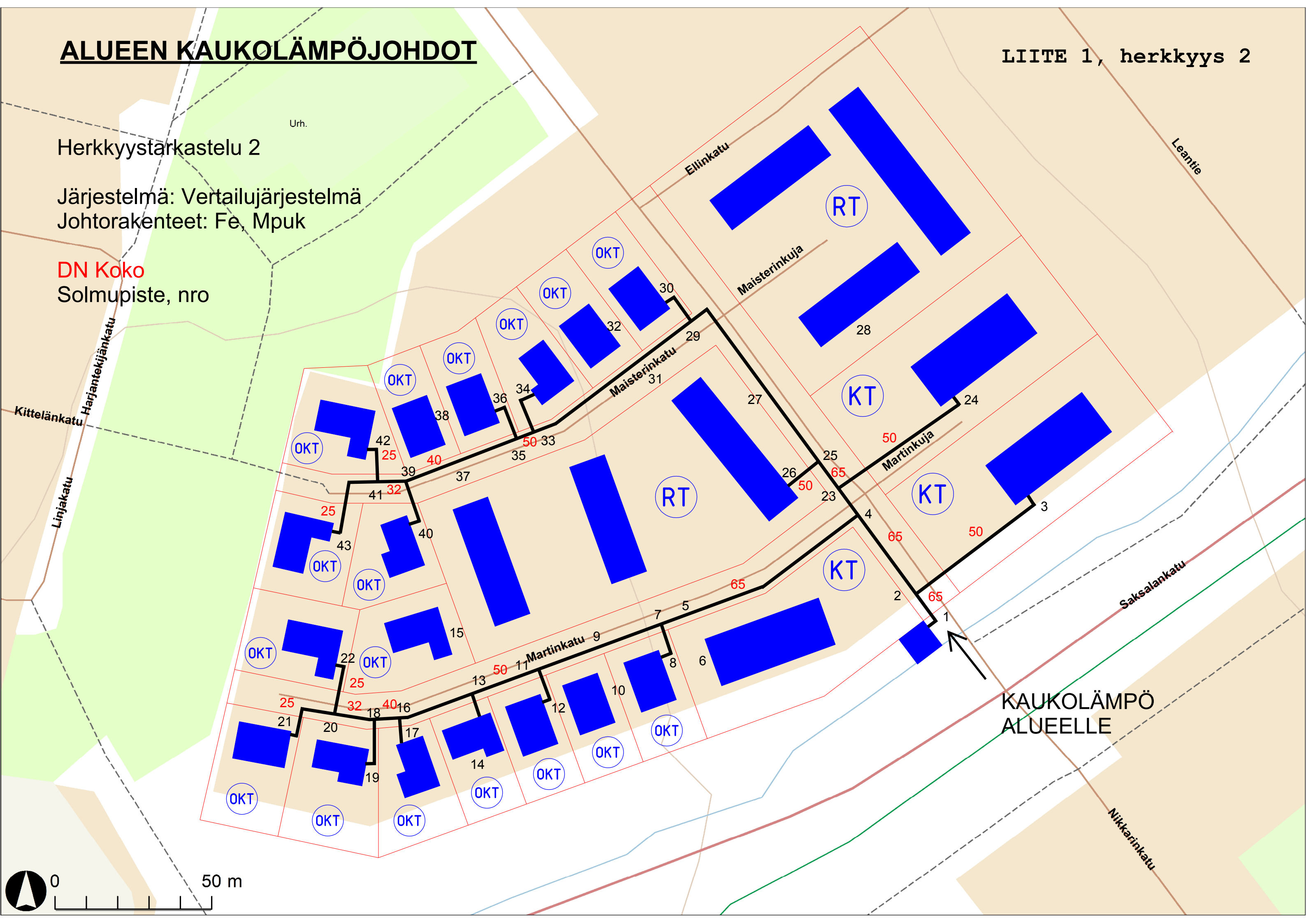
ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1, herkkyys 2

Herkkyystarkastelu 2

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä
Johtorakenteet: Fe, Mpuk

DN Koko
Solmupiste, nro



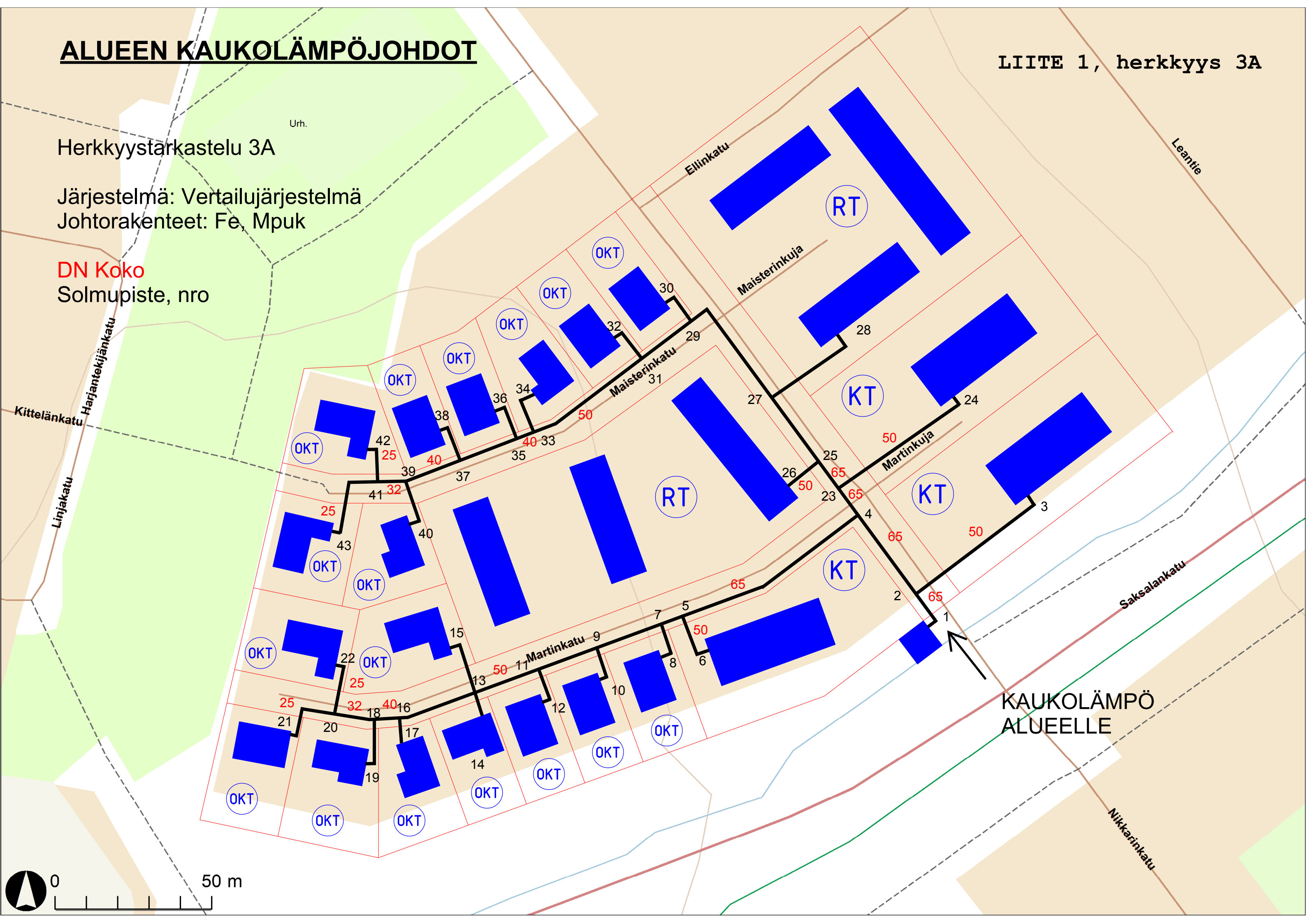
ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1, herkkyys 3A

Herkkyystarkastelu 3A

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä
Johtorakenteet: Fe, Mpuk

DN Koko
Solmupiste, nro



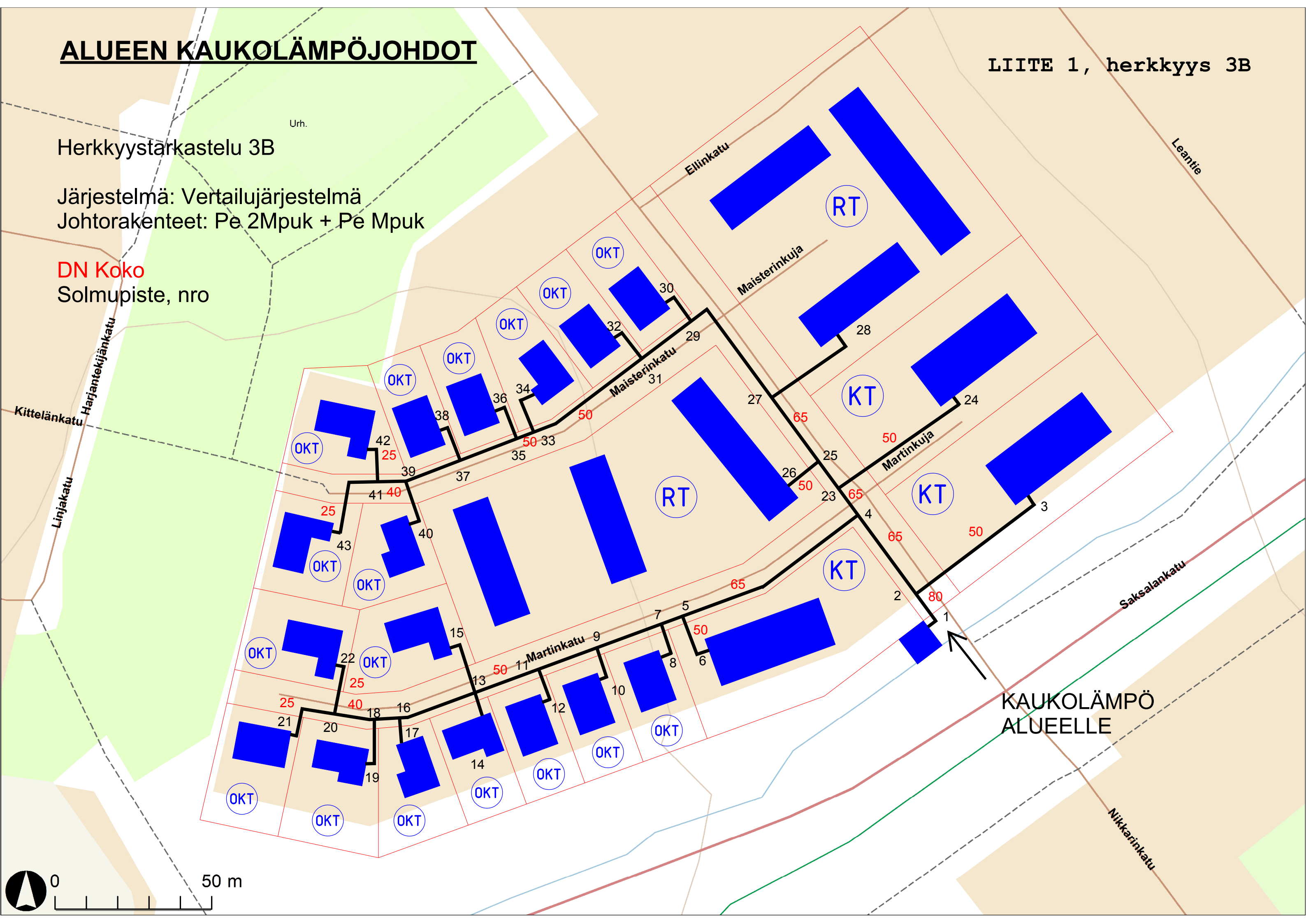
ALUEEN KAUKOLÄMPÖJOHDOT

LIITE 1, herkkyys 3B

Herkkyystarkastelu 3B

Järjestelmä: Vertailujärjestelmä
Johtorakenteet: Pe 2Mpuk + Pe Mpuk

DN Koko
Solmupiste, nro



KAUKOLÄMPÖJOHTOJEN MITOITUS

Alla on esitetty jokaiselle kaukolämpöputkelle tehty mitoituslaskenta

"Kaukolämmitysjärjestelmien keventämismahdollisuudet matalan energian kulutuksen alueilla" – tutkimus, ET

Järjestelmä	5	-	
Johtorakenne	1	-	
Eristeen lämmönjohtavuus	0,026	W/m	(W/m -luku on laskettu ET:n laskentapohjalla)
Eristysluokka	3	-	
Fe Mpuk, Teräsputki, karheus	0,046	Mm	
Veden ominaislämpökapasiteetti	4,2	kJ/kg*K	

										1.	2.	3.	3.	3.	4.	5.	6.
																	* lisätty 20%
															kertavastusta		
															meno /		
															paluu		
															painehäviö		
															painehäviö		
															putkikoko		

KAUKOLÄMPÖJOHTOJEN PAINEHÄVIÖLASKENTA

- Jokaisen kaukolämpöputken (meno ja paluu) painehäviö laskettu erikseen
- Laskenta tehty painehäviölaskentapohjalla, johon on syötetty veden virtaus, lämpötila, paine ja putken karheus. Tämän jälkeen on valittu oikea putkikoko
- Putken pituudeksi määritetty 1200 m, jolloin saatu tulokseksi bar/km – lukema oletetulla putkiston 20 %:n kertavastuksella

2. PROPERTIES OF WATER	Units	PIPE INLET	PIPE OUTLET	Total pressure drop [bar]
Medium		Water	Water	
Mass flow rate	kg/s	0,317		
Temperature in the pipe inlet / outlet	°C	70,0	70,0	
Adiabatic temperature in the outlet (Steam)	°C			
Pressure in the pipe inlet /outlet	bar(a)	4,0	2,77	1,229
3. PIPING DATA	Units	Value		
Diameter	DN	25		
Diameter, inside	mm	28,50		
Diameter, Wall thickness	mm		33,7 x 2,6	
Roughness (k)		0,046		
Length	m	1200		(+20 % lisätty "kertavastusta")
Design pressure	MPa	?		
Design temperature	°C	?		
Nominal pressure	PN	?		
Heat loss (Insulation)	W/m	0		
Piping material		AISI 316		
Density (Piping material)	kg/m ³	8238		
Volume (Piping material/ Medium)	m ³	0,30	0,77	
Weight (Pipe empty/ filled with medium)	kg	2 511	3 260	

PAINEHÄVIÖLASKENTA KUUKAUSIKESKIARVOILLA

- Jokaiselle meno- ja paluuputkelle on painehäviön kuukausikeskiarvo
- Yksittäisen putken kuukauden keskimääräinen vesivirta on saatu kertomalla putken lämmityksen mitoitusvesivirta kuukausi- ja mitoitusvesivirtojen suhteella. Kk- ja mitoitusvesivirtojen laskennassa on käytetty ulkoilman lämpötiloja vastaavia meno- ja paluulämpötiloja
- Kuukauden keskiteho on laskettu kaavalla = lämmityksen mitoitus-teho * $(21 - T_{ulko}) / (21 - T_{mit.})$. Tulko on Jyväskylän lentokentän ulkolämpötilan kuukausikeskiarvo vuosilta 1981-2010 (ilmatieteenlaitos.fi), $T_{mit.}$ on -30°C
- Mitoitus-teho on laskettu rakennusten lämmityksen yhteistehona = $17 \cdot 3,6 + 2 \cdot 36,4 + 3 \cdot 52,3 = 290,9 \text{ kW}$
- Kuukauden keskiarvoiset vesivirrat ja meno- ja paluulämpötilat on syötetty edellisellä sivulla esiteltyyn painehäviölaskentapohjaan, josta on saatu putkille jokaisen kuukauden painehäviön keskiarvo

Kuukausi ja mitoitusvirtausten suhteen laskenta:

		Mitoituslämmitysteho	Tulko = - 30°C	290,9	kW	mit. virtaus	0,99	kg/s						
			Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Kuukauden keskiteho	kW	167	168	141	107	69	42	26	39	70	99	131	155	
kk ja mitoitusvirtausten suhde		0,82	0,83	0,77	0,62	0,378	0,22	0,14	0,21	0,38	0,57	0,74	0,80	
Kuukauden lämpötilaero	°C	49	49	44	41	44	45	45	45	44	42	43	47	
kk vesivirtaus	kg/s	0,82	0,82	0,76	0,62	0,37	0,22	0,14	0,21	0,38	0,56	0,73	0,79	

PAINEHÄVIÖLASKENTA, PUMPPAUKSEN SÄHKÖNKULUTUS

- Pumppaussähkön kulutus on laskettu alla olevassa taulukossa
- Painehäviö = putkien painehäviö on laskettu yhteen. Laskennassa on otettu huomioon verkon ylähaaran ja alkuosuuden putkien painehäviöt
- Kuluttajille on varattu paine-eroa 0,6 bar
- Virtaus on kuukauden keskiarvovirtaus verkon ensimmäisessä putkessa
- Pumpun hyötysuhteeksi on valittu 0,85, jota on käytetty ET:n ”Energiatehokkuusselvitys kaukolämmityksen pumppausjärjestelyistä”, 2009. Lämmönsiirrintapauksissa, joissa on oma pieni kiertopumppu, tulisi hyötysuhteen olla n. 0,5.
- Sähköteho laskettu kaavalla: $\text{virtaus} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \text{nostokorkeus} / \text{hyötysuhde}$
- Pumppaussähkön kulutus on laskettu kertomalla teho jokaisen kuukauden tuntimäärällä. Alla esimerkki: järjestelmä 5, johtorakenne 1

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	yksikkö
painehäviö	0,016	0,016	0,014	0,010	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,009	0,013	0,015	bar
+ kuluttaja	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	bar
pumpun nostokorkeus	0,616	0,616	0,614	0,610	0,604	0,603	0,603	0,603	0,604	0,609	0,613	0,615	bar
pumpun nostokorkeus	6,16	6,16	6,14	6,10	6,04	6,03	6,03	6,03	6,04	6,09	6,13	6,15	m
virtaus	0,815	0,817	0,758	0,615	0,374	0,229	0,229	0,229	0,378	0,563	0,732	0,790	kg/s
hyötysuhde (pumppu+moottori)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
Sähköteho	57,9	58,1	53,7	43,3	26,1	16,0	16,0	16,0	26,4	39,5	51,8	56,1	W
Pumppaussähkön kulutus	43	39	40	31	19	12	12	12	19	29	37	42	kWh
Pumppaussähkön kulutus koko vuosi	335 kWh												

LÄMPÖHÄVIÖLASKENTA

Putkien lämpöhäviölaskentaesimerkki (ET:n laskentapohja): Järjestelmä 5, johtorakenne 1, Fe Mpuk

Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviölaskenta

Lämmönsiirto-ominaisuudet

Eristeen lämmönjohtavuus	LAM_I	0,028W/mK
Kuoren lämmönjohtavuus	LAM_C	0,430W/mK
Maaperän lämmönjohtavuus	LAM_G	1,5W/mK

Maan pinnan lämmönsiirtokerroin	ALFA_GS	12W/m2K
Eristyssuhde	SIGMA	-0,96335

Mitat

Peittösyyvyys	0,6m
---------------	------

Lämmön keskihinta pitoaikana

Lämpötilat

Menolämpötila	78°C
Paluulämpötila	32°C
Maaperän lämpötila	-6,2°C

	Virtaus-putken ulkohal-kaisija	Suoja-kuoren ulkohal-kaisija	Suoja-kuoren seinämä-paksuus	Materi-aalikus- tannus	Maarak. + putkias- kustannus	Eriste	Puolet virtausputkien keskipisteiden etäisyydestä	Upotus-syvyys	Puolet elementin lämpö-häviöstä	Lämmön-siirto- kerroin ympäris- töön		
	DN	dt, m	Ds, m	t, m	€/m	€/m	D _I , m	D, m	H, m	qs, W/m	hs	sigma
	20	0,0269	0,14	0,003	29	87	0,134	0,023	0,670	5,169	0,4801	-0,9634
	25	0,0337	0,16	0,003	32	90	0,154	0,026	0,680	5,476	0,5086	-0,9634
	32	0,0424	0,2	0,003	36	97	0,194	0,031	0,700	5,341	0,4960	-0,9634
	40	0,0483	0,2	0,0032	40	99	0,194	0,034	0,700	6,068	0,5636	-0,9634
	50	0,0603	0,225	0,0034	46	105	0,218	0,040	0,713	6,778	0,6295	-0,9634
	65	0,0761	0,28	0,0039	55	112	0,272	0,048	0,740	6,736	0,6257	-0,9634
	80	0,0889	0,315	0,0041	65	120	0,307	0,057	0,758	7,173	0,6662	-0,9634
	100	0,1143	0,4	0,0048	80	130	0,390	0,070	0,800	7,126	0,6618	-0,9634
	125	0,1397	0,45	0,0052	99	145	0,440	0,085	0,825	8,099	0,7523	-0,9634
	150	0,1683	0,5	0,0056	124	163	0,489	0,104	0,850	9,575	0,8893	-0,9634
	200	0,2191	0,63	0,0066	170	200	0,617	0,132	0,915	10,082	0,9364	-0,9634

Puolet elementin lämpöhäviöstä

menolämpötila, °C	81	81	75	70	70	70	70	70	70	70	73	78
paluulämpötila, °C	32	32	31	29	26	25	25	25	26	28	30	32
ka ulkolämpötila (1980-2010) °C	-8,3	-8,5	-3,8	2,2	8,9	13,7	16,5	14,1	8,8	3,6	-2,0	-6,2
Kuukaudet	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
DN												
20	5,473	5,490	4,797	3,995	3,302	2,855	2,618	2,821	3,311	3,835	4,519	5,169
25	5,798	5,816	5,082	4,232	3,499	3,024	2,774	2,988	3,507	4,062	4,787	5,476
32	5,655	5,672	4,957	4,128	3,412	2,950	2,705	2,915	3,421	3,962	4,669	5,341
40	6,425	6,445	5,632	4,690	3,877	3,352	3,074	3,312	3,887	4,502	5,305	6,068
50	7,176	7,198	6,290	5,238	4,330	3,743	3,433	3,699	4,341	5,028	5,925	6,778
65	7,133	7,155	6,252	5,206	4,304	3,720	3,412	3,676	4,315	4,997	5,889	6,736
80	7,595	7,619	6,658	5,544	4,583	3,962	3,634	3,915	4,595	5,321	6,271	7,173
100	7,545	7,568	6,614	5,507	4,553	3,936	3,610	3,889	4,564	5,286	6,229	7,126
125	8,576	8,602	7,517	6,260	5,175	4,473	4,103	4,420	5,188	6,008	7,080	8,099
150	10,138	10,170	8,887	7,400	6,117	5,288	4,850	5,226	6,133	7,103	8,370	9,575
200	10,675	10,708	9,357	7,792	6,441	5,568	5,107	5,502	6,458	7,479	8,813	10,082

LÄMPÖHÄVIÖLASKENTA

- Jokaiselle meno- ja paluuputkelle on laskettu edellisellä sivulla esitetyllä laskentapohjalla lämpöhäviö [W/m] ottaen huomioon eristeen lämmönjohtavuus, ulkolämpötila, veden meno- ja paluulämpötila.
- Putken kuukausittainen lämpöhäviö [kWh] on saatu laskemalla: putken pituus* W/m*kuukauden tuntimäärä/1000. Alla olevassa taulukossa on esimerkki laskennasta (järjestelmä 5, johtorakenne 1)
- Mpuk-johdoilla W/m-luku on sama meno- ja paluuputkilla (puolet elementin lämpöhäviöstä), kun taas 2Mpuk-putkilla on erilliset W/m-luvut meno- ja paluuputkilla

				Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Koko vuosi
				Lämpöhäviö	Lämpöhäviö	Lämpöhäviö	Lämpöhäviö	Lämpöhäviö	Lämpöhäviö	Lämpöhäviö
putki	putki	putken								
alkusolmu	loppusolmu	pituus								
no	no	[m]		[W/m]	[W/m]	[W/m]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Alempi haara:										
meno	21	20	26	5,798	5,816	5,082	112,2	101,6	98,3	966,8
paluu	21	20	26	5,798	5,816	5,082	112,2	101,6	98,3	966,8
meno	22	20	21	5,798	5,816	5,082	90,6	82,1	79,4	780,9
paluu	22	20	21	5,798	5,816	5,082	90,6	82,1	79,4	780,9

- Jokaisen meno- ja paluuputken kuukausittaiset lämpöhäviöt on laskettu yhteen
- Lämmön myynti on laskettu kertomalla kuukauden keskiteho (kalvossa 6) kuukauden tunneilla
- Lämpöhäviö kuukausittain on laskettu: Lämpöhäviö kk / (Lämpöhäviö kk +Lämmön myynti kk)
- Alla olevassa taulukossa on esimerkki laskennasta (järjestelmä 5, johtorakenne 1)

	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Koko vuosi	
Lämpöhäviö kuukausittain	9,0	8,2	7,9	6,4	5,5	4,6	4,3	4,7	5,3	6,3	7,2	8,5	77,9	MWh
Lämmön myynti kuukausittain	124,3	113,1	105,2	77,2	51,3	30,0	19,1	29,3	50,1	73,8	94,5	115,4	883,4	MWh
Lämpöhäviö kuukausittain	6,8 %	6,8 %	7,0 %	7,6 %	9,6 %	13,2 %	18,5 %	13,7 %	9,6 %	7,9 %	7,1 %	6,9 %	8,1 %	