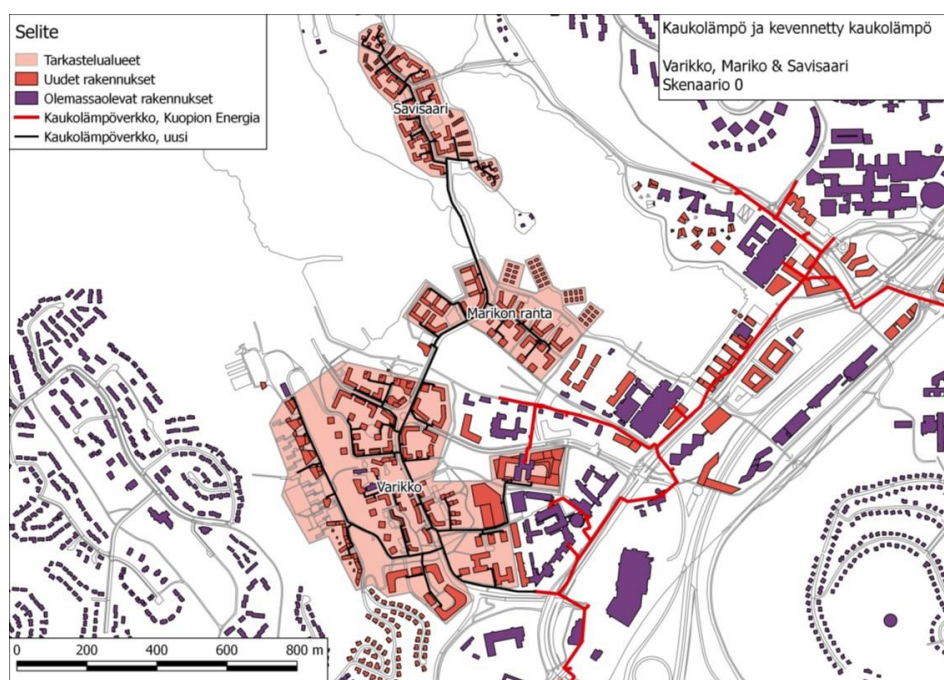


LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYS- VERKOSTOT TULEVAISUUDEN SAVILAHDESSA - SELVITYSTYÖ

Kuopion kaupunki



Asiakirjan nro:

1

Laadittu:

21.3.2018

Selvityksen laatija:

Juha Viholainen - Granlund Consulting
Jussi-Pekka Kuivala - Greenfield Consulting
Oskari Fagerström - Greenfield Consulting

Tarkastaja/laadunvarmistaja:

Lassi Loisa - Granlund Consulting

Tiivistelmä

Tässä selvityksessä on tutkittu kaukoenergiaverkkojen kannattavuutta Savilahden uusien asuinalueiden Varikon, Marikon rannan sekä Savisaaren rakentumisen näkökulmasta. Työn keskeisimpinä tavoitteina on ollut selvittää kevennetyn kaukolämpöverkon (matalalämpöverkon) kannattavuutta perinteiseen kaukolämpöverkkoon verrattuna, tutkia kaukojäähdytysverkon laajentamisen kannattavuutta Savilahden alueelle, sekä osoittaa lämpö- ja kylmäakkujen käytön edellytyksiä kaukoenergiaverkkojen ja alueen rakennusten energianhankinnan tukena.

Selvitystyö perustui Savilahden alueen nykyisiin kehityssuunnitelmiin (Maankäytön yleissuunnitelma, 2018), sekä tietoihin alueen energiayhtiön (Kuopion Energia Oy) nykyisistä energijärjestelmistä ja niiden kehittämissuunnitelmista. Kaukoenergiaverkkojen kannattavuuteen liittyviä muuttujia ja epävarmuustekijöitä tarkasteltiin energiantarvetta kuvaavien skenaarioiden avulla, joissa huomioitiin mahdollisia muutoksia energiamääräyksissä, vaihteluväli rakentamisen määrässä ja energiaverkkoihin liittymisen asteiden eroissa. Skenaarioiden perusteella laadittiin perustellut verkostovaihtoehdot ja määritettiin niiden elinkaarikustannukset energian tuottajan näkökulmasta. Selvitystyön toteuttamista on ohjannut erillinen ohjausryhmä, johon kuuluivat Tapio Kettunen ja Retu Ylinen (Kuopion kaupunki), sekä Perttu Nuutinen ja Petri Turtiainen (Kuopion Energia Oy).

Kannattavuustarkastelujen perusteella havaittiin, että perinteisen kaukolämpöverkon elinkaarikustannukset 30 vuoden tarkasteluajana ovat laskelmien mukaan 8-10 % kevennettyä kaukolämpöverkkoa pienemmät. Merkittävin syy perinteisen kaukolämpöverkon pienempiin elinkaarikustannuksiin on pienempi investointi, sekä havainto, että kevennetyllä kaukolämpöverkostolla ja perinteisellä kaukolämpöverkolla ei ole merkittävää eroa verkoston lämpöhäviöissä. Vastaavasti kaukojäähdytysverkkoja koskevat kannattavuuslaskelmat osoittivat, että tehdyillä oletuksilla kaukojäähdytyksen elinkaarikustannus on rakennuskohtaista jäähdytysvaihtoehtoa pienempi kaikissa tarkasteluskenaarioissa. Merkittävin syy kaukojäähdytyksen etuun on suhteessa vähäinen investoinnin tarve kun kaukojäähdytysverkkoja verrataan tilanteeseen, että rakennuksiin hankittaisiin erilliset vedenjäähdytyskoneet. Sen sijaan erilliset lämpö- tai kylmäakut eivät ole Savilahdessa kaukoenergiaverkoissa kannattavia energian tuottajan näkökulmasta. Myös energian ostajan näkökulmasta merkittävien etujen saaminen lämpö- tai kylmävarastoilla on Savilahden kohteiden tapauksessa epätodennäköistä. Alueellisia hyötyjä on kuitenkin saatavissa koko kaukolämpöverkkoa palvelevan lämpövaraston käytöllä kaukolämmön tuotantolaitosten yhteydessä.

Tehty selvitys osoittaa, että energian tuottajan näkökulmasta matalalämpöverkko ei ole perinteistä kaukolämpöverkkoa elinkaarikustannustehokkaampi Savilahden alueella. Toisaalta selvitys vahvistaa, että kaukojäähdytysverkkoa laajentamalla alueen jäähdytystarve voidaan toteuttaa kustannustehokkaammin verrattuna tilanteeseen, että energiaoperaattori tuottaisi vastaavan palvelun rakennuskohtaisilla jäähdytysratkaisulla.

Raportin sisältö

1. Työn rajaus.....	4
1.1 Selvityksessä hyödynnetyt keskeiset lähtötiedot.....	5
1.2 Aiemmat Savilahden aluetta koskevat energianhankintaselvitykset.....	5
2. Työn suorittamistapa.....	6
2.1 Savilahden kehitysskenaariot energiantarve-ennusteeseen.....	6
2.2 Skenaarioiden erot ja perusteluja muuttujille.....	7
2.3 Energiantarvemallin rakentamistapa.....	7
2.4 Energiaverkkojen simulointimallin rakentamistapa.....	8
2.5 Energiaverkkojen reititykset skenaarioissa.....	8
2.6 Elinkaarikustannusvertailun perusteet.....	9
3. Savilahden alueen energiamalli.....	10
3.1 Energiantarve eri skenaarioissa.....	10
3.2 Tehontarve vuoden tunteina ja alueelliset mitoitustehot.....	13
4. Energiaverkot.....	15
4.1 Kaukolämpöverkot.....	15
4.1.1 Matalalämpötila-alueverkon liittäminen perinteiseen kaukolämpöverkkoon.....	18
4.1.2 Johtopäätöksiä kaukolämpöverkostosimulointien tuloksista.....	20
4.2 Kaukojäähdytysverkot.....	21
4.3 Putkimateriaalivaihtoehdot energiaverkoille.....	22
4.3.1 Muoviputkien happidiffuusio kaukoenergiaverkostoissa.....	23
4.3.2 Perustelut materiaalivalinnoille verkostomallinnuksissa.....	23
5. Elinkaarikustannusvertailun tulokset.....	24
5.1 Kaukolämpöverkkojen herkkyytstarkastelu.....	24
5.2 Lämmitysmuotojen vaikutus kevennetyn kaukolämmön toteutettavuuteen ja kannattavuuteen....	26
5.3 Kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkyytstarkastelu.....	27
6. Lämpö- ja kylmävarastojen käytön edellytykset Savilahden alueella.....	31
6.1 Lämpövarastot.....	31
6.2 Kylmävarastot.....	32
7. Energiaverkkojen vertailua koskevat johtopäätökset ja suositukset.....	33

7.1 Kevennettyä kaukolämpöverkon herkkyytstarkastelua koskevat johtopäätökset	33
7.2 Kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkyytstarkastelua koskevat johtopäätökset	33
7.3 Lämpö- ja kylmäakkujen käytön edellytyksiä koskevat johtopäätökset	34
7.4 Suosituksia kestäväen energianhankinnan edistämiseksi Savilahden alueella	34
7.4.1 Aluesuunnittelun keinot	35
7.4.2 Tuotetun tiedon hyödyntäminen ja mahdolliset lisäselvitykset	36

LIITTEET

Liite 1: Laskelmia ja tuloksia

Liite 2: Energiaverkkokartat

1. Työn rajaus

Työn kohteena on Savilahden yleiskaava-alueella Varikon alueen (Varikko), Marikon rannan (Mariko) ja Savisaaren kaukoenergiaverkkojen kannattavuuden herkkyytstarkastelu ja kannattavuuden reunaehtojen selvittäminen. Tarkastelualueen rajaus kartalla on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Selvitykseen sisältyvät Varikon, Marikon rannan ja Savisaaren alueet. Kalliotilojen alueelle suunniteltu rakentaminen sisältyy Varikon alueeseen.

Selvityksellä tarkasteltiin kaukoenergiaverkkojen toteutusvaihtoehtojen kannattavuutta Savilahden alueella. Työn aikana määritetyt painopisteet ja avainkysymykset olivat:

1. Kevennetyn kaukolämpöverkon herkkyytstarkastelu

- Miten erilaiset epävarmuustekijät, kuten energiamääräysten kiristyminen, rakentamisen määrä ja kaukolämmön liittymisaste vaikuttavat kevennetyn kaukolämpöverkon kannattavuuteen perinteiseen kaukolämpöverkkoon verrattuna?

2. Suunnitellun kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkyytstarkastelu

- Mikä on eri verkostolaajennusvaihtoehtojen kannattavuus suhteessa toisiinsa ja rakennuskohtaisiin jäähdytysratkaisuihin verrattuna

3. Lämpö- ja kylmäakkujen käytön edellytykset Savilahdella

- Ovatko kaukoenergiaverkkoihin linkittyvät energiavarastot tai kiinteistökohtaiset energiavarastot perusteltuja alueella?

1.1 Selvityksessä hyödynnetyt keskeiset lähtötiedot

Pääasialliset tietolähteet työssä olivat:

- Savilahden alueen yleiskaavoitustyön ja maankäyttösuunnittelun aineistot (ajallisesti viimeisimpiä käytettiin, mikäli tiedot olivat muuttuneet)
- Kuopion Energian luovuttamat tiedot omasta energiantuotannostaan, kaukoenergiaverkoista ja niihin liittyvistä kustannuksista

Energiantarpeen mallintamisen perustana on käytetty maankäytön yleissuunnitelman (MKYS) yhteydessä tunnistettuja kerrosneliömääriä rakennustyypeittäin (taulukko 1).

Taulukko 1. Savilahden alueen kerrosneliömetrimäärät maankäyttösuunnitelmissa selvityksen ajankohtana (tammikuu 2018).

Rakennustyyppi	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari
liike/toimisto/oppilaitos	103 000 m ²	-	-
asunto	152 000 m ²	75 000 m ²	65 000 m ²
päiväkoti	-	2500 m ²	-
monitoimi	6000 m ²	-	-
kauppa/lähipalvelu	3000 m ²	-	-

Savilahden maankäytön yleissuunnitelman kerrosneliömetrimäärät eivät ole kaikin osin täsmälleen samat kuin yksittäisten kaava-alueiden kerrosneliömetrimäärät. Erot ovat kuitenkin pieniä ja tässä työssä on käytetty, aina kun mahdollista, yksittäisten kaava-alueiden tietoja, koska ne ovat maankäytön yleissuunnitelmaa uudempia.

1.2 Aiemmat Savilahden aluetta koskevat energianhankintaselvitykset

Vuonna 2016 toteutetussa Savilahden vähähiilinen energiamalli (SaVE) – hankkeessa selvitettiin mm. aurinko- ja geoenergian käyttömahdollisuuksia alueella. Selvityksissä havaittiin, että alueella on hyvät edellytykset esimerkiksi nykyisen kaukolämpöverkon laajentamiseen ja matalalämpöverkkojen rakentamiseen. Myös kaukojäähdytyksen sopivuus alueella on todettu hyväksi ja Neulalahtea hyödyntävän vapaajäähdytykseen perustuvaa kaukojäähdytystä on selvitetty aiemmin Savilahtea reunustavilla Kuopion yliopistollisen sairaalan (KYS) ja Yliopistonrannan alueilla. Kaukojäähdytysverkon kannattavuutta onkin edesauttanut erityisesti KYS:n suuri jäähdytystarve. Tällä selvityksellä on tarkoitus tämentää kaukoenergiaverkkojen toteutusvaihtoehtojen kannattavuutta Varikon, Marikon rannan sekä Savisaaren tulevilla uusilla asuinalueilla, ja siten täydentää aiempia selvityksiä.

Viimeisimpiä Savilahden alueen energianhankintaselvityksiä ovat:

- Geoenergiapotentiaaliselvitys Kuopion Savilahden alueelle (FCG, 2016)
- Savilahden aurinkopotentiaaliselvitys (Pöyry, 2016)
- Kaukojäähdytyksen toteutettavuusselvitykset (Greenfield Consulting, 2014–2015)
- Kaukojäähdytyksen laajentaminen KYS:n alueelta (Greenfield Consulting, 2017)

2. Työn suorittamistapa

Työ tehtiin alla olevan kuvan 1 työprosessia noudattaen. Työ aloitettiin määrittämällä skenaariot, joilla voidaan tehdä herkkyystarkastelu erityisesti kaukoenergiaverkoilla hankittavan energian- ja tehontarpeen määrälle.



Kuva 2. Työn toteuttamistavan kuvaus.

Yksinkertaisimmillaan työ jakaantuu seuraavasti kolmeen eri vaiheeseen:

1. Yhdessä kaupungin eri asiantuntijoiden kanssa muodostettujen skenaarioiden kautta tehtiin tutkittaville alueille yhden vuoden energiankulutuksen tuntitehomallit.
2. Tuntitehojen avulla tehtiin alueen kaukoenergian verkostoille laskentamalli ja sitä kautta investointi-, tuotto- ja käyttökustannuslaskelmat
3. Energiaverkkojen talouslaskelmien avulla tehtiin elinkaarikustannusvertailu, josta tehtiin johtopäätökset herkkyystarkasteluun.

2.1 Savilahden kehitysskenaariot energiantarve-ennusteeseen

Savilahden kehitysskenaariot muodostettiin yhdessä projektin avainhenkilöiden kanssa osallistaen mm. aluekehittäjiä sekä Kuopion Energian edustajia. Skenaarioitten perusteella määritettiin teoreettinen vaihteluväli kaukoenergiaverkkojen herkkyystarkasteluja varten: Skenaario 1 kuvaa kaukoenergian näkökulmasta suppeampaa tarvetta ja Skenaario 2 kaukoenergian näkökulmasta laajempaa tarvetta perusskenaarioon (Skenaario 0) verrattuna. Siten skenaarioiden muuttujat tarkastelevat epävarmuustekijöitä liittyen joko suppeampaan tai laajempaan toteutukseen. Skenaariot on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2)

Taulukko 2. Savilahden kehitysskenaariot, joiden avulla tutkitaan kaukoenergioiden kannattavuuden herkkyyttä toteutuksen laajuuden näkökulmasta

Skenaario	Rakennusmääräykset muuttuvat	Rakentamisen määrä (kem ²)	Rakennusten lämmitysenergiavalinnat	Kaukojäähdytykseen liittyminen
Skenaario 0 (perusskenaario)	Nykyiset määräykset (2018)	Maankäytön yleissuunnitelman (MKYS) mukainen rakentaminen	Arvioidaan kaukolämpöön liittyvien määrän nykyisten suunnitelmien pohjalta: 90 % liittyy kaukolämpöön	Asunnot 5 % Toimitilat 30 %
Skenaario 1 (kaukoenergian näkökulmasta suppeampi tarve)	~15 % kiristys rakentamisen energiavaatimuksiin	MKYS:n mukaista hieinan suppeampi rakentaminen: -10 % kokonaiskerrosneliömäärästä	Suurempi osuus geotermialla tai muilla lämmitysmuodoilla: 75 % liittyy kaukolämpöön	Asunnot 0 % ja Toimitilat 15 % hyödyntävät kaukokylmää
Skenaario 2 (kaukoenergian näkökulmasta laajempi tarve)	Nykyiset määräykset (2018)	MKYS:n mukaista hieinan laajempi rakentaminen: + 10 % kokonaisneliömäärästä	Teoreettinen maksimi kaukolämmön osalta ~100 %	Teoreettinen maksimi kaukojäähdytyksen osalta: Asuminen 50 %, toimitilat 100 %

2.2 Skenaarioiden erot ja perusteluja muuttujille

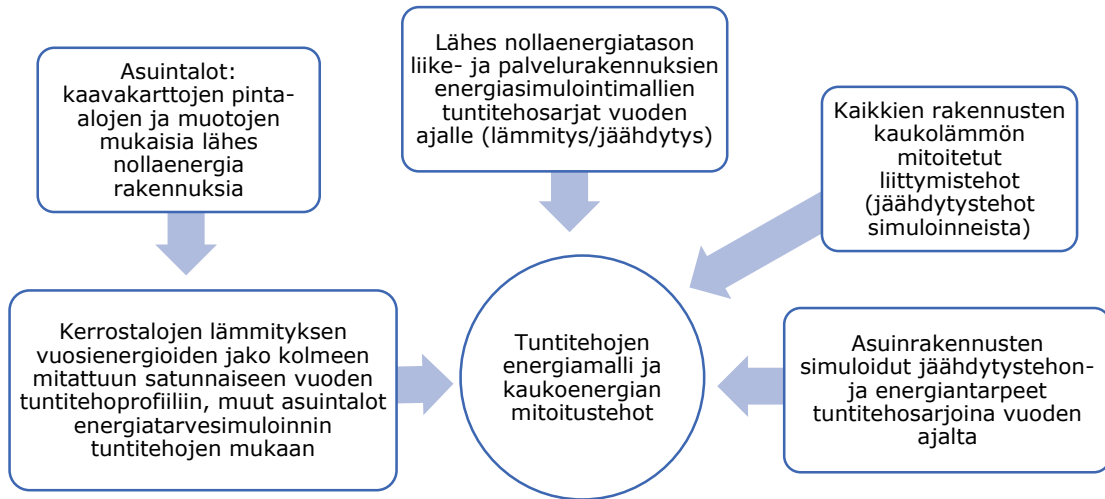
Skenaario 0 kuvaa perusskenaariota, jossa energiantarpeeseen vaikuttavat muuttujat on määritetty nykyisten aluesuunnitelmien perusteella ja todennäköisimmät käytännöt huomioiden. Skenaario 1:ssä valittuja muuttujia on arvioitu siten, että muutoksen suunta on kaukoenergian näkökulmasta suppeampaa energiantarvetta kohti. Vastaavasti Skenaario 2:ssa muutoksen suunta on kaukoenergian näkökulmasta laajempaa energiantarvetta kohti.

Verrattuna perusskenaarioon, Skenaario 1:ssä huomioidaan rakentamismääräysten mahdollinen kiristyminen alueen kehittämisen aikana. Suuruusluokaltaan 15 % kiristys rakennusten energiavaatimuksissa on perusteltu energiatehokkuuspotentiaalin ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta (esim. FinZEB-hankkeen yhteydessä tehtyjen laskelmien mukaan). Suppeampaan rakentamiseen (-10 %) taas voivat vaikuttaa esim. asemakaavotuksen yhteydessä tehtävät tarkennukset tai myöhemmin havaittavat rajoitteet. Energianhankintatapojen osalta mm. ilma-vesilämpöpumppujen ja maalämmön osuus rakennusten energianhankinnassa voi olosuhteet huomioiden olla perusskenaariota korkeampi, perusteluna mm. elinkaarikustannukset ja kiinnostus omaan uusiutuvaan energiantuotantoon. Suppeampi rakentaminen antaa lisäksi lisää tilaa mm. maalämpö- ja vesistölämpöratkaisuille. Koska asuinrakentamisessa ei välttämättä edellytetä esimerkiksi aktiivista tuloilman jäähdytystä, teoreettinen minimi kaukojäähdytykseen liittyvistä asuinrakennuksista on skenaario 1:ssä arvioitu 0 %:iin. Toimitiloilla vastaava luku oletetaan 15 %:iin.

Kaukoenergian näkökulmasta laajempaa tarvetta kuvaava skenaario 2 vastaa perusskenaariota tasoa rakentamismääräysten osalta, mutta rakentamisen määrä on 10 % suurempi. Laajempaan rakentamiseen voivat vaikuttaa esimerkiksi tarpeen perusteella tehtävät linjaukset asumiselle, työpaikoille ja palveluille Savilahden alueen myöhemmissä kehitysvaiheissa. Energianhankinnan näkökulmasta teoreettinen maksimi kaukolämpöön liittyjistä on 100 %, mikäli ratkaisu on selkeästi kilpailukykyisin energianhankintamuoto alueella tulevaisuudessa ja muiden vaihtoehtojen hyödyntämisessä ilmenee merkittäviä rajoitteita. Oletettu teoreettinen maksimi kaukojäähdytykseen liittyjistä on arvioitu tasolle 50 % asunnoista ja 100 % liikerakentamisesta. Liikerakentamisessa kaukojäähdytys on ylläpidollisesta näkökulmasta hyvin kiinnostava kaikille kiinteistönomistajille ja hinnoittelun onnistuessa se voidaan valita helposti. Asuinrakentamisessa puolet kiinteistöistä on jo varsin suuri osuus, koska tämän päivän tavanomaisessa rakentamisessa vain korkean profiilin rakennukset tai muut jossain määrin erikoistapaukset jäähdytetään koneellisesti.

2.3 Energiantarvemallin rakentamistapa

Energiantarvemalli eri kaava-alueille rakennettiin yksittäisten rakennusten energiantarpeesta lähtien. Energiamallissa käytettiin uusien rakennusten energiasimulointimalleja, jotka muokattiin vastaamaan lähes nollaenergiarakentamisen tasoa, mikäli ehto ei täyttynyt.



Kuva 3. Kaava-alueiden energiantarvemallien muodostamistapa.

2.4 Energiaverkkojen simulointimallin rakentamistapa

Energiaverkkojen simulointimallit rakennettiin kaava-alueiden rakennusten lämmitys- ja jäähdytystehojen, maankäytön yleissuunnitelman, sekä Kuopion Energian kaukolämpö- ja jäähdytysverkkokarttojen perustella. Mallinnukseen käytettiin Termis-ohjelmistoa. Energiaverkkomallinnukseen käytetyt mitoitusarvot on esitelty Taulukossa 3.

On huomioitava, että kaukolämpöverkon paluuv veden lämpötila kesällä voi olla huomattavasti korkeampi, luokkaa 50–55 °C, kuin mitoitus tilanteessa (33 °C), kun lämmönkulutus on pieni eikä riittävää jäähtymää saada aikaan. Kulutuksen ollessa pieni voidaan joutua nostamaan verkon virtausta, jotta menolämpötila ei jäähy liikaa. Virtausta ei ole syytä nostaa kohtuuttomasti, vaan tarvittaessa menolämpötilaa nostetaan, jotta lämpötilaero pysyy riittävän suurena, jolloin myöskään virtausta ei tarvitse nostaa kohtuuttomasti.

Taulukko 3. Energiaverkkomallinnuksen mitoitusarvot

Tunnusluku	Mitoitusarvo	Verkot
Lämpötila, meno	115 °C 70 °C 8 °C	kaukolämmön perustapaus (KL) matalalämpö (kevennetty kaukolämpö)(ML) kaukojäähdytys (KJ)
Lämpötila, paluu	33 °C 16 °C	KL, ML KJ
Painehäviö, runkojohdot	1,0 bar/km	
Painehäviö, liittymisjohdot	4,0 bar/km 1,5 bar/km	yleisesti verkon latvaosille
Minimipaine-ero mittauskeskuk- sen yli	0,6 bar	
Tehon risteily, runkojohdot	0,85	

2.5 Energiaverkkojen reititykset skenaarioissa

Skenaarioiden 0, 1 ja 2 myötä määritettiin kolme erilaista energian- ja tehontarvetasoa laadittavia herkkyyksanalyysia varten. Energiaverkkojen mallinnuksessa kaukoenergiaan liittyvät kohteet eri skenaarioissa arvioitiin sijoittumisen ja rakennustyyppien mukaan. Tällöin skenaarioiden väliset erot energian- ja tehontarpeessa voitiin huomioida lisäämällä tai pudottamalla todennäköisimpiä kohteita kaukoenergiaverkoista.

Kaukolämpöverkkojen skenaarioita täydennettiin tarkastelulla, jossa perinteisen ja matalalämpöverkkojen kannattavuutta arvioitiin ilman Savisaaren alueen liittymistä, jolloin energiaverkot mallinnettiin ainoastaan Varikon ja Marikon rannan alueille. Perusteluna tälle nähtiin Savisaaren erillinen sijainti mahdollisten kaukoenergiaverkkojen ääri laidalla, jolloin voidaan tutkia myös suppeamman toteutuksen kannattavuutta.

Myös kaukojäähdytyksen tapauksessa Savisaari on erillisenä ja pienemmän jäähdytystehontarpeen alueena rajattu kaukokylmäverkkomallinnusten ulkopuolelle skenaariossa 0 ja 1. Tämä on perusteltua skenaarioiden 0 ja 1 liittymisasteita koskevien oletusten vuoksi. Energiaverkkojen reititys alueille skenaariotarkasteluissa on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Energiaverkkomallinnuksen vertailuvaihtoehtoisissa huomioitavat alueet.

Verkkomallinnuksessa huomioitavat alueet			
Alue	Kaukolämpö	Kevennetty kaukolämpö	Kaukojäähdytys
Skenaario 0	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko
Skenaario 1	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko
Skenaario 2	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari
Lämpöverkkojen lisätarkastelussa huomioitavat alueet			
Alue	Kaukolämpö	Kevennetty kaukolämpö	
Skenaario 0b	Varikko ja Marikon ranta	Varikko ja Marikon ranta	
Skenaario 1b	Varikko ja Marikon ranta	Varikko ja Marikon ranta	
Skenaario 2b	Varikko ja Marikon ranta	Varikko ja Marikon ranta	

2.6 Elinkaarikustannusvertailun perusteet

Elinkaarikustannukset kattavat koko järjestelmän alkuinvestoinnit, korvausinvestoinnit sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka jaetaan kiinteisiin vuosikustannuksiin ja muuttuviin kustannuksiin. Investointien laskennallinen jäännösarvo otettiin huomioon laskenta-ajan lopussa, mikä on perusteltua eri vaihtoehtojen vertailun vuoksi. Investointierien käyttöiät vaihtelevat huomattavasti, jolloin laskenta-aikaa ei voitu valita tietyn investointierän käyttöiän pituiseksi).

Elinkaarikustannukset laskettiin 30 ja 50 vuoden ajanjaksoille. Laskentakorkona käytettiin 5 %, mutta laskelmissa tarkasteltiin myös 3 ja 8 % vaikusta elinkaarikustannuksiin. Elinkaarikustannusten tunnuslukuina käytettiin kustannusten nykyarvoa ja keskimääräistä energian kustannusta (€/MWh). Kaukolämmön tapauksessa laskettiin myös kevennetyn ja perinteisen vaihtoehdon välinen nettonykyarvo (NNA), jota käytettiin elinkaarikustannusvertailun mittarina. Kaukojäähdytyksen tapauksessa laskettiin nettonykyarvo lisäksi sisäinen korko (IRR) ja keskimääräinen energian kustannus.

Osa-alueiden oletettu rakentumisen vaiheistus otettiin huomioon laskennassa, jolloin esimerkiksi putkistovedot rakennuksiin investoidaan tietyn alueen rakentumisen yhteydessä. Liittymistehon vaiheistuminen vaikuttaa myös tarvittaviin lisäinvestointeihin Savilahden kaukojäähdytyskeskuksessa. Tässä työssä oletettiin osa-alueiden liittyminen täysin rakentuneina kaukoenergiaverkkoihin seuraavan mukaan:

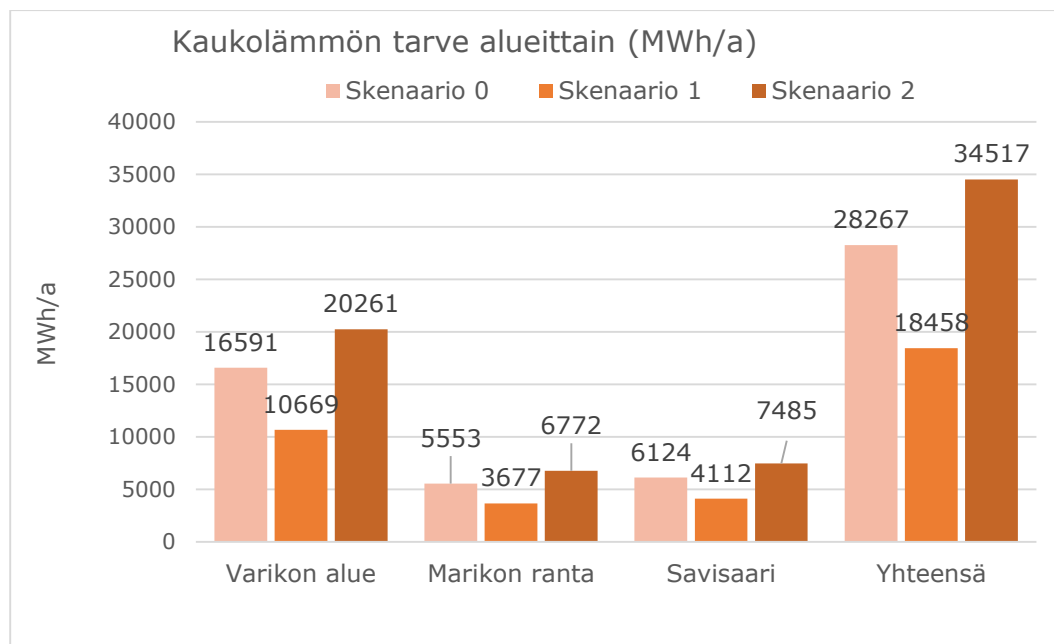
- Varikko vuoteen 2020 mennessä
- Mariko vuoteen 2022 mennessä
- Savisaari vuoteen 2030 mennessä

3. Savilahden alueen energiamalli

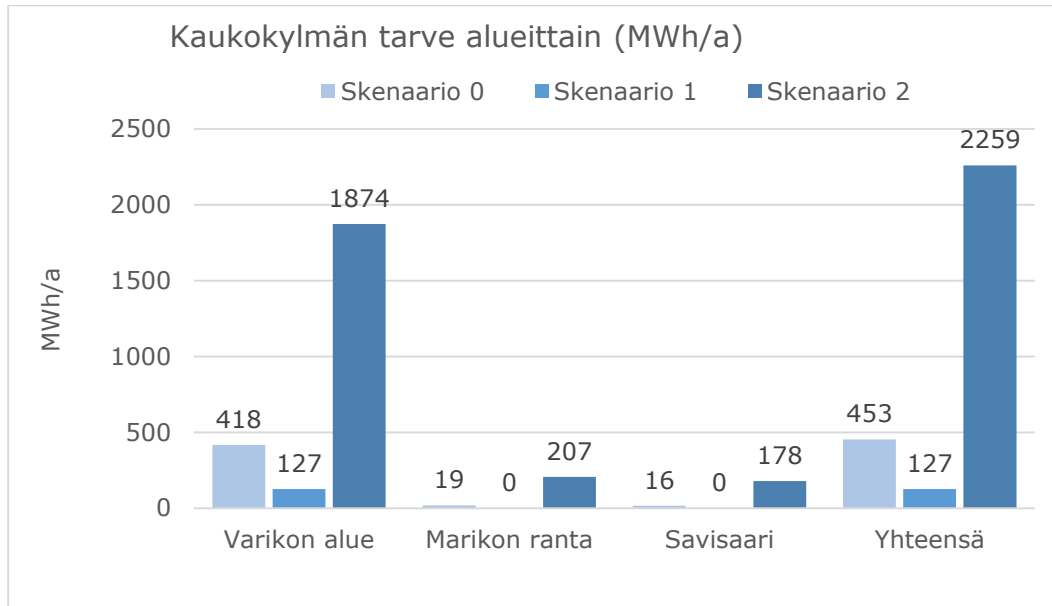
Tässä luvussa on esitetty yleiskaavoitustyön tasolla olevasta aineistosta muodostetut Asevarikon alueen (Varikko), Marikon rannan (Mariko) ja Savisaaren rakennusten kaukoenergiaverkkojen kautta hankittavan energiantarpeen laskentatulokset määritettyjen skenaarioiden mukaisesti. Skenaariotarkasteluiden lähtökohtana on, että koko alue on rakentunut täyteen sille suunnitellun kerrosneliömetrimäärän mukaisesti. Tulokset osoittavat siten olevan mukaisen, lopullisen kaukoenergiantarpeen ja mitoitustehot tarkastelualueella.

3.1 Energiantarve eri skenaarioissa

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty kaukoenergian tarve (kaukolämmön ja kaukokylmän tarve) eri skenaarioiden tapauksessa alueittain. Perusskenaarion (Skenaario 0) tapauksessa kokonaistarve on noin 28,3 GWh/a kaukolämmölle ja 0,5 GWh/a kaukokylmälle tehdyt oletukset huomioiden. Skenaario 1:n tapauksessa kokonaistarve on selvästi pienempi, eli 18,5 GWh/a kaukolämmölle ja 0,1 GWh/a kaukokylmälle. Skenaario 2:n mukainen kaukoenergian tarve on vastaavasti 34,5 GWh/a kaukolämmölle ja 2,3 GWh/a kaukokylmälle.



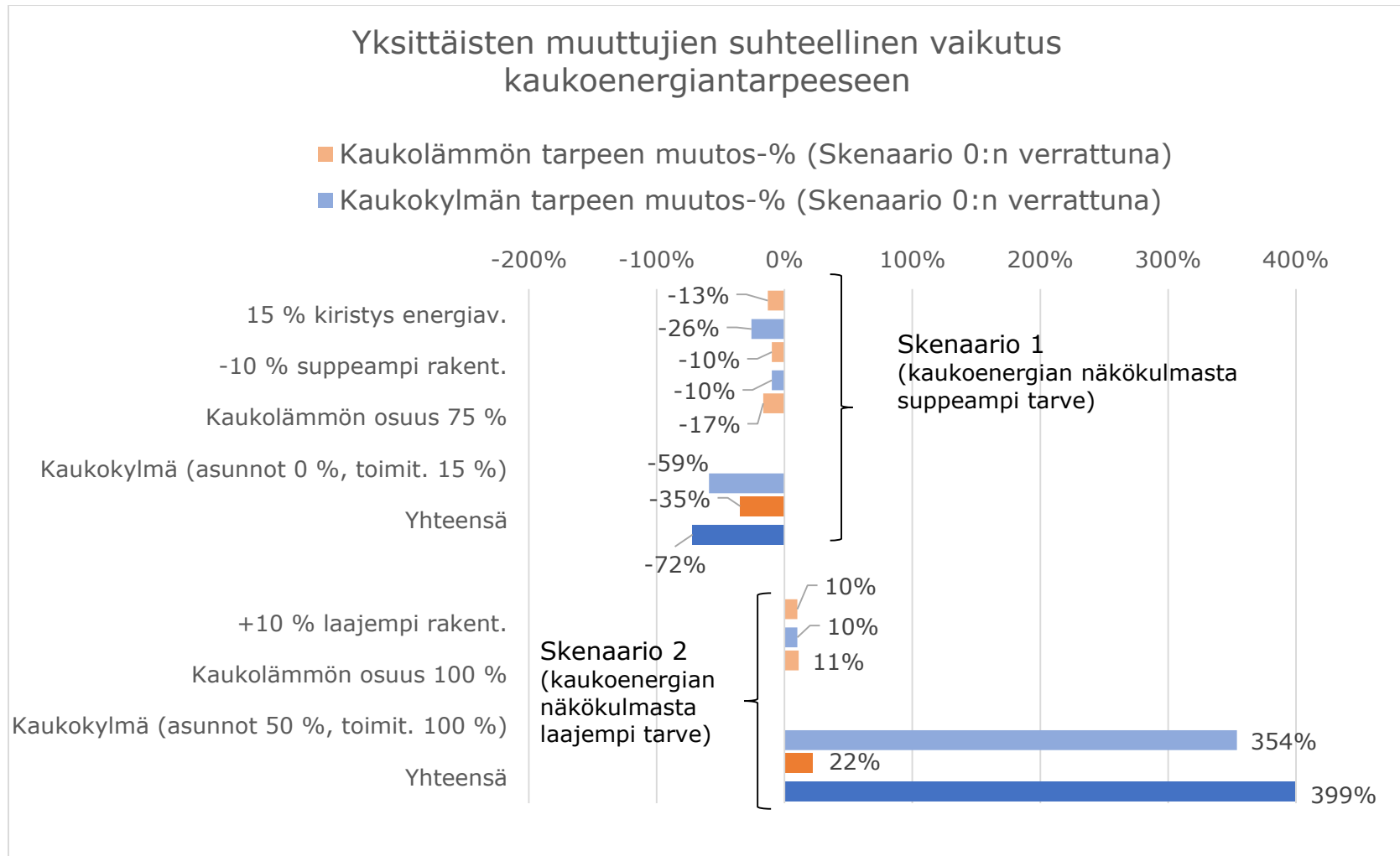
Kuva 4. Kaukolämmön tarve alueittain.



Kuva 5. Kaukokylmän tarve alueittain

Skenaarioiden väliset erot ovat seurausta tehdyistä oletuksista, joilla tutkittiin energiantarpeeseen liittyvien muuttujien vaikutusta kaukoenergiaverkkojen laajuuteen ja niiden kautta hankittavaan energiaan. Yksittäisten muuttujien suhteellinen vaikutus skenaarioiden mukaiseen energiantarpeeseen on esitetty kuvassa 6.

Kuvasta 6 nähdään, että käytännössä Skenaario 1:n tapauksessa kaukolämmön suhteellinen tarve on 35 % ja kaukokylmän tarve 72 % perusskenaariota pienempi. Merkittävin tekijä kaukolämmön tarpeen näkökulmasta on oletus järjestelmään liittyneistä rakennuksista, mutta myös energiamääräysten kiristyminen ja suppeampi rakentaminen vaikuttavat merkittävästi oletettuun hankintamäärään. Kaukokylmän näkökulmasta merkittävin tekijä on oletus kaukokylmään liittyneistä rakennuksista. Tässä tapauksessa Skenaario 1:ssä tehty oletus (asunnot eivät liity kaukokylmään ja toimitilojen liittymisaste on 15 %) pienentää kaukokylmän tarvetta 59 %.

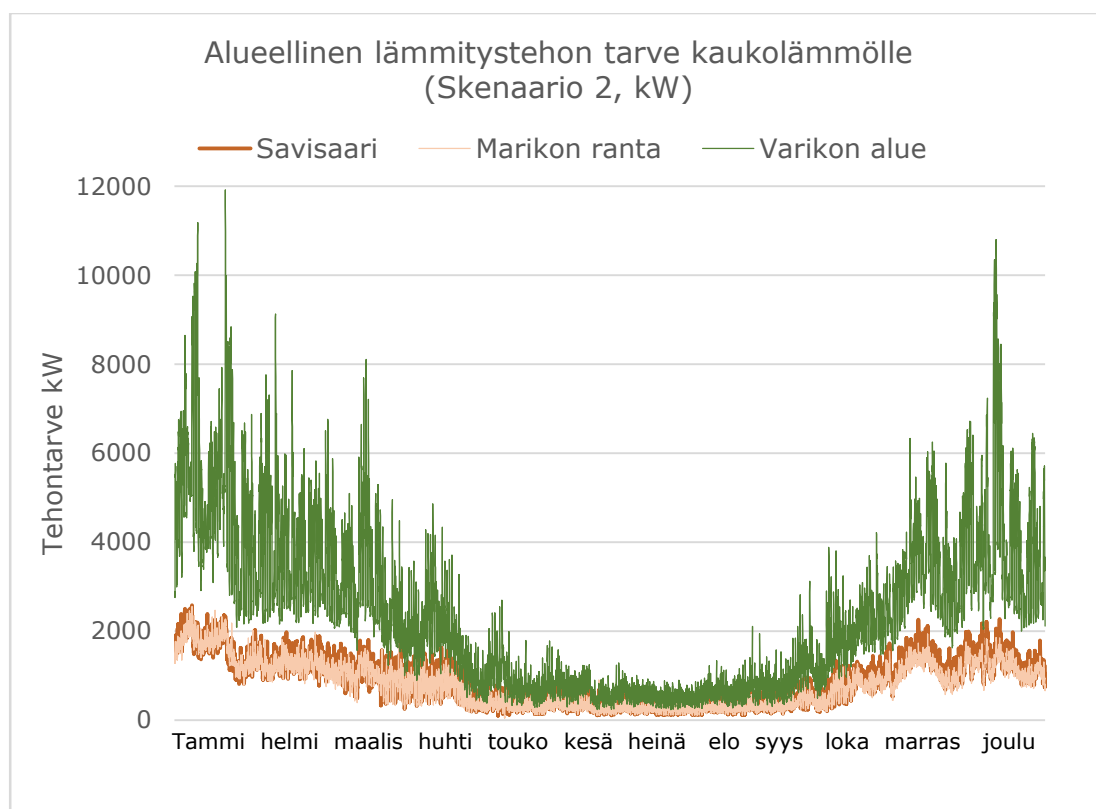


Kuva 6. Kaukoenergiantarpeeseen vaikuttavien tekijöiden suhteellinen vaikutus.

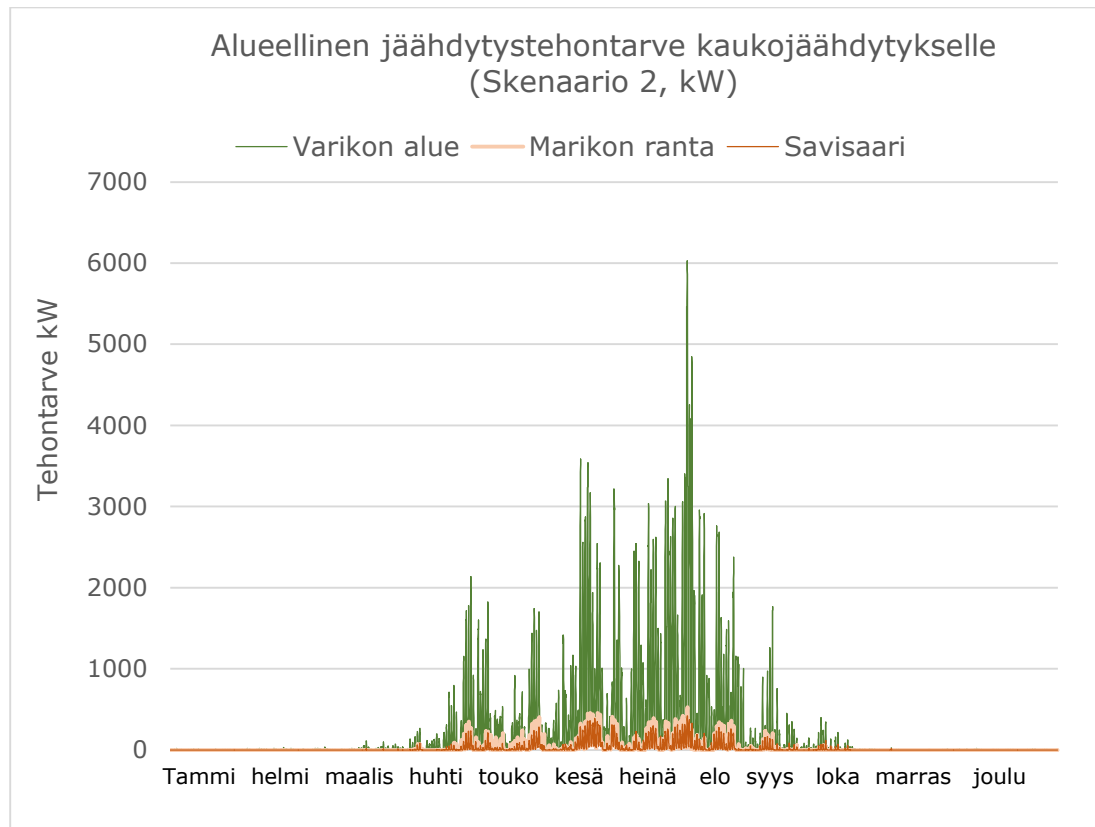
Vastaavasti Skenaario 2:n tapauksessa kaukolämmön tarve on 22 % ja kaukokylmän tarve peräti 399 % suurempi perusskenaarioon verrattuna. Suuri ero kaukokylmän tarpeessa selittyy merkittävästi suuremmalla oletuksella kaukokylmään liittyvistä rakennuksista. Skenaario 0:aa 10 % laajempi rakentaminen ja kaukolämpöön liittyvien osuuden oletaminen 100 %:iin tarkoittaa sitä, että Skenaario 2:n tapauksessa tarkastellaan teoreettista maksimia kaukolämmön tarpeelle.

3.2 Tehontarve vuoden tunteina ja alueelliset mitoitustehot

Alueen energiantarpeen jakautuminen vuoden tuntien mukaan määräytyy eri rakennustyyppien laskennallisen tarpeen ja sääolosuhteiden perusteella. Kuvassa 7 ja 8 on esitetty esimerkki kaukoenergiajärjestelmien kautta hankittavan lämmitys- ja jäähdytystehon tarpeen jakautumisesta vuoden tuntien mukaan. Kuvan tuntitehot kuvaavat kaukoenergian näkökulmista laajempaa skenaariota (Skenaario 2), mutta käytännössä tuntitehojen jakautuminen vuoden eri tunteilla on suhteessa samankaltainen kokonaistehoja lukuun ottamatta, sillä rakennustyyppien jakaumat eivät juuri muutu. Eri skenaarioiden tuntitehot on esitetty liitteessä 1.



Kuva 7. Eri kaava-alueiden lämmitystehon tarpeet yhden vuoden ajalle. Säätilana käytettiin Kuopion alueen tilastosään normaalivuotta 2012.



Kuva 8. Eri kaava-alueiden jäähdytystehon tarpeet laskentamallista yhden vuoden ajalle. Säätinä käytettiin Kuopion alueen tilastosään normaalivuotta 2012.

Alueelliset lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet kaukoenergiaverkoille on esitetty taulukossa 5. Tehontarpeiden mitoituksessa on käytetty tavallisia mitoitusperiaatteita, mutta todellisuuteen tulee varmasti olemaan eroja monista syistä. Esimerkiksi käyttöveden lämmitystehot vaihtelevat rakennusten mukaan ja ilmanvaihdon lämmitysteho riippuu mitoitusperusteesta ja sen varmuuskertoimesta.

Taulukko 5. Eri kaava-alueiden rakennustyyppien lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet (kW) eri skenaarioissa.

Lämpö alueittain	Skenaario 1			Skenaario 1			Skenaario 3		
	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari
asuintalot	8087	3293	4776	5566	2407	3313	9885	4025	5837
liikerakentaminen	6307	0	0	3934	0	0	8008	0	0
kauppa/lähipalvelu	100	0	0	0	0	0	100	0	0
päiväkoti	0	200	0	0	0	0	0	200	0
yhteensä	14494	3493	4776	9500	2407	3313	17993	4225	5837
Jäähdytys alueittain	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari	Varikon alue	Marikon ranta	Savisaari
asuintalot	92	47	38	70	41	26	1008	512	423
liikerakentaminen	1496	0	0	497	0	0	5486	0	0
kauppa/lähipalvelu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
päiväkoti	0	68	0	0	0	0	0	68	0
yhteensä	1588	115	38	567	41	26	6494	580	423

4. Energiaverkot

Verkostokartat kaikille kaukoenergiaverkkovaihtoehdoille esitetään työn liitteessä 2.

Tuloksia kuvaavissa taulukoissa ja kuvaajissa käytetään vertailuvaihtoehdoista seuraavia lyhenteitä:

- KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys
- VM/VMS viittaa tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja
- S0/1/2 viittaa Savilahden kehitysskenaarioihin.

Esimerkiksi nimitys ML_VM_S1 viittaa matalalämpö- (kevennetyn kaukolämmön) verkostoon alueella, joka kattaa Varikon ja Marikon osa-alueet, ja energiantarve määräytyy skenaarion 1 oletusten perusteella.

4.1 Kaukolämpöverkot

Kuvassa 9 on esitetty kaukolämpöverkkojen reititys Skenaario 0:n tapauksessa. Reitityksissä on huomioitu todennäköisimpien kohteiden liittäminen verkkoon (90% rakennuksista) tarkastelualueiden kokonaiskerrosalaan suhteutettuna. Lämmitysverkostojen kartat kaikille skenaarioille on esitetty liitteessä 2.



Kuva 9. Varikon, Marikon ja Savisaaren osa-alueiden lämpöverkkojen reititys (Skenaario 0).

Verkostoreitit perinteiselle kaukolämpöverkolle sekä matalalämpöverkolle mallinnettiin skenaarioiden 0, 1 ja 2 mukaisten energian- ja tehontarpeiden perusteella. Lisäksi lämpöverkot mallinnettiin suppeampien toteutusten näkökulmasta, jossa Savisaaren alue rajattiin verkostojen ulkopuolelle (Skenaariot 0b, 1b ja 2b). Taulukoissa 6 ja 7 esitetään näiden kaukolämpöverkkovaihtoehtojen tunnuslukuja; kokonaisverkostopituus, suurin putkikoko ja kokonaisinvestointi.

Taulukko 6. Perinteisten kaukolämpöverkkovaihtoehtojen tunnuslukuja.

Skenaariot	Verkot	Pituus (m)	Perinteinen kaukolämpö (teräsputki, Fe)	
			Suurin putki (DN)	Investointi (k€)
Skenaario 0b	Varikko & Mariko	5 412	200	1 906
Skenaario 1b	Varikko & Mariko	4 660	200	1 599
Skenaario 2b	Varikko & Mariko	6 420	250	2 191
Skenaario 0	Varikko, Mariko & Savisaari	7 216	250	2 558
Skenaario 1	Varikko, Mariko & Savisaari	6 301	200	2 200
Skenaario 2	Varikko, Mariko & Savisaari	8 392	250	2 946

Taulukko 7. Kevennettyjen kaukolämpöverkkovaihtoehtojen tunnuslukuja.

Skenaariot	Verkot	Pituus (m)	Kevennetty kaukolämpö, (teräsputki, Fe)		Kevennetty kaukolämpö, (muoviputki, PE)	
			Suurin putki (DN)	Investointi (k€)	Suurin putki (DN)	Investointi (k€)
Skenaario 0b	Varikko & Mariko	5 412	300	2 188	315	2 236
Skenaario 1b	Varikko & Mariko	4 660	250	1 820	250	1 863
Skenaario 2b	Varikko & Mariko	6 420	300	2 525	315	2 596
Skenaario 0	Varikko, Mariko & Savisaari	7 216	300	2 979	315	3 028
Skenaario 1	Varikko, Mariko & Savisaari	6 301	300	2 558	315	2 606
Skenaario 2	Varikko, Mariko & Savisaari	8 392	400	3 463	400	3 525

Tehtyjen simulointien ja kustannusarvioiden perusteella kevennetty kaukolämpö muoviputkella on investointikustannuksiltaan hieman kalliimpi kuin teräsputkella. Eristyspaksuuksissa ja lämpöhäviöissä ei ole merkittäviä eroja teräs- ja muoviputkien osalta. Edellä mainittujen seikkojen sekä energiayhtiön esiin tuomien käyttökokemusten perusteella teräsputket on järkevä valita kevennetyn kaukolämmön putkimateriaaliksi.

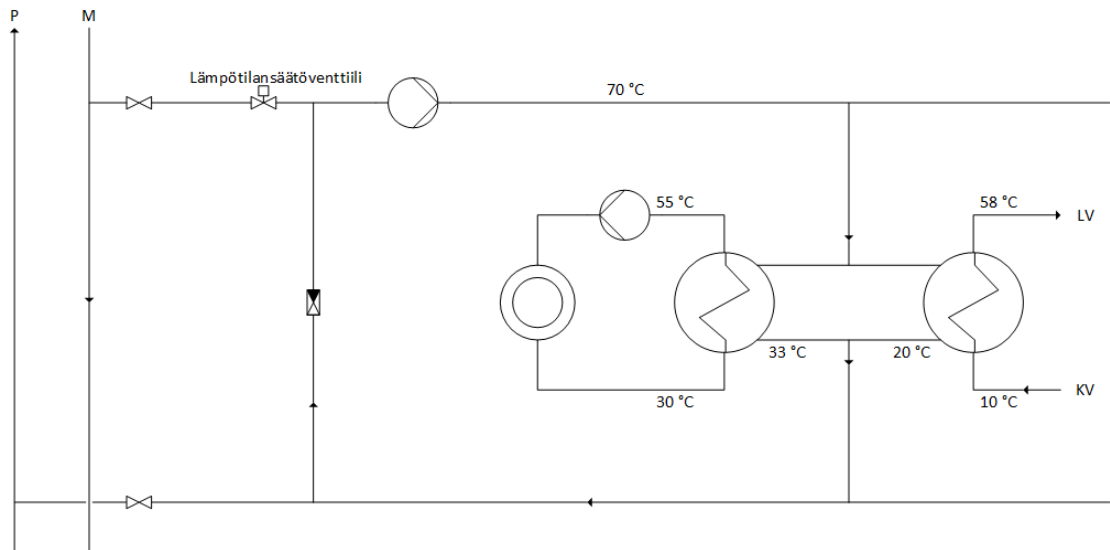
Kaukolämpöverkkojen lämpöhäviöt mallinnettiin kuukausitasolla yllä kuvattujen verkkojen tapauksessa. Lämpöhäviöiden tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 8).

Taulukko 8. Kaukolämpöverkkovaihtoehtojen lämpöhäviömallinnuksen tulokset.

Skenaariot	Verkot	Perinteinen kaukolämpö, teräsputki		Kevennetty kaukolämpö, teräsputki	
		Lämpöhäviö (MWh/a)	Lämpöhäviö (%)	Lämpöhäviö (MWh/a)	Lämpöhäviö (%)
Skenaario 0b	Varikko & Mariko	1 063	6,1 %	1 090	6,2 %
Skenaario 1b	Varikko & Mariko	901	7,4 %	907	7,4 %
Skenaario 2b	Varikko & Mariko	1 241	5,9 %	1 254	5,9 %
Skenaario 0	Varikko, Mariko & Savisaari	1 445	6,4 %	1 450	6,4 %
Skenaario 1	Varikko, Mariko & Savisaari	1 243	7,8 %	1 253	7,9 %
Skenaario 2	Varikko, Mariko & Savisaari	1 650	6,1 %	1 675	6,1 %

4.1.1 Matalalämpötila-alueverkon liittäminen perinteiseen kaukolämpöverkkoon

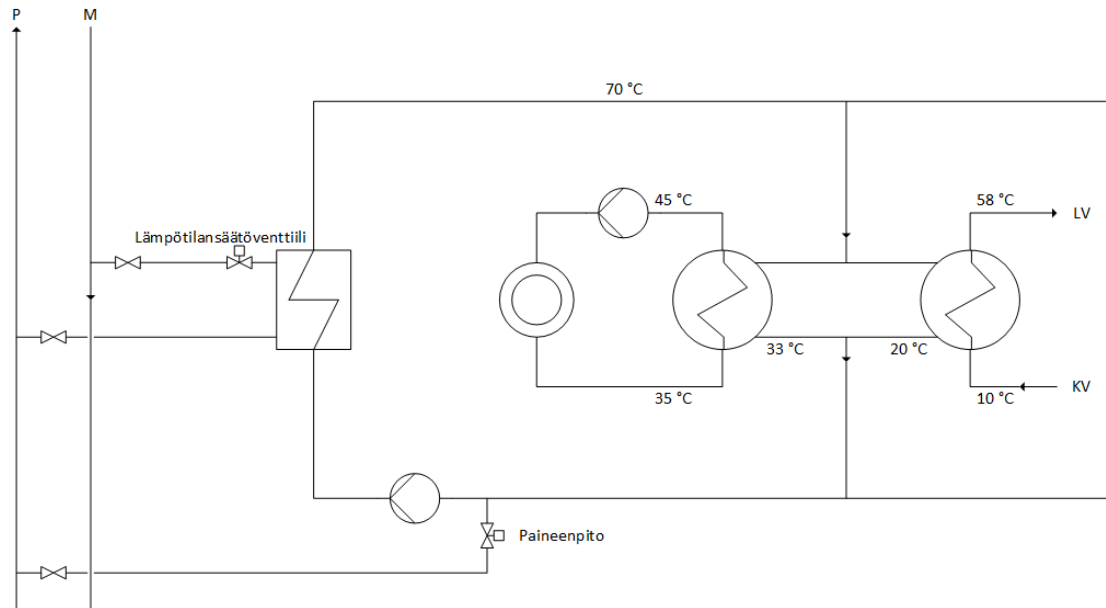
Kuvissa 10 ja 11 on esitetty kaksi eri kytkentätapaa (sekoitussäätö ja lämmönsiirrin), joilla alueellinen matalalämpötilaverkosto-osa voidaan liittää osaksi olemassa olevaa perinteistä kaukolämpöverkkoa.



Kuva 10. Alueellisen matalalämpöverkon liittäminen sekoituskytkennällä kaukolämpöverkkoon.

Huomioita sekoituskytkennästä:

- Alueverkko on hydraulisesti osa pääverkkoa ja sen paineessa.
- Alueverkon pumpun säätää alueverkon paine-eroa, jolloin tarvitaan lämpötilansäätöventtiili pääverkon menoputkesta otettavaan haaraan.
- Alueverkon pumpun häiriötilanteissa pääverkon menoputken sulkuventtiili suljetaan.
- Sekoituskäytännö on edullinen vaihtoehto, mikäli liitettävän verkosto-osan putkimateriaali on teräs (sama kuin pääverkon putkimateriaali).



Kuva 11. Alueellisen matalalämpöverkon liittäminen lämmönsiirrinkytkenällä kaukolämpöverkkoon

Huomioita lämmönsiirrinkytkenästä:

- Etuna on selkeä toimiva kytkentä, jossa alueverkko toimii omana verkkona.
- Alueverkko voi olla omissa, alemmassa paineessa verrattuna pääverkon paineeseen.
- Pumpulla säädetään alueverkon paine-eroa, mutta paineenpitolinja tarvitaan alueverkosta pääverkkoon.
- Lämpötilansäätöventtiiliä käytetään säätämään alueverkon lämpötilaa virtausten avulla.
- Alueverkon pumpun häiriötilanteissa lämpötilansäätöventtiili ja/tai menoputken sulkuventtiili suljetaan.
- Kytkentä mahdollistaa muoviputken käytön, vaikka pääverkon putkimateriaali on teräs.
- Lämmönsiirrin nostaa kustannuksia.

Taulukossa 9 esitetään investointikustannusvertailu matalalämpötila-alueverkon liittämisestä perinteiseen kaukolämpöverkkoon. Kustannuksissa huomioitiin kaikki yllä olevissa kuvissa esitettävät komponentit pois lukien kaukolämmön alajakokeskukset: pumput, paineenpitojärjestelmä, kytkentäputkistot venttiileineen, sähköistys ja automaatio, rakennustyöt sekä suunnittelu ja hankinta.

Taulukko 9. Investointikustannusvertailu matalalämpötila-alueverkon liittämisestä perinteiseen kaukolämpöverkkoon.

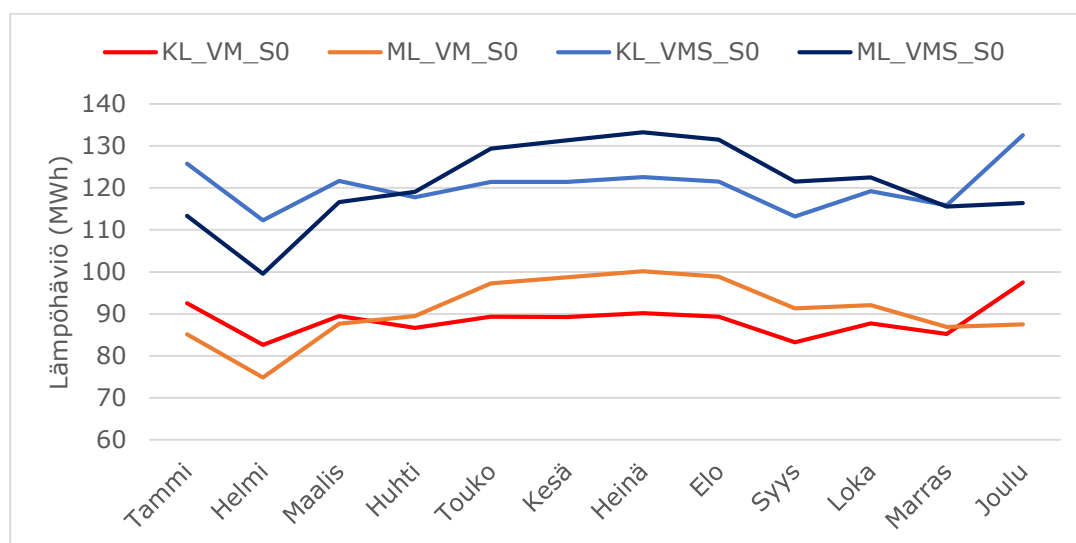
Skenaariot	Verkot	Investointi	
		Sekoituskytkentä (k€)	Lämmönsiirrinkytkentä (k€)
Skenaario 0b	Varikko & Mariko	58	182
Skenaario 1b	Varikko & Mariko	43	129
Skenaario 2b	Varikko & Mariko	67	213
Skenaario 0	Varikko, Mariko & Savisaari	65	205
Skenaario 1	Varikko, Mariko & Savisaari	47	145
Skenaario 2	Varikko, Mariko & Savisaari	76	242

Tuloksista nähdään, että sekoituskytkennän kustannukset ovat merkittävästi pienemmät verrattuna lämmönsiirrinkytkentään johtuen pääosin lämmönsiirrinkytkennässä tarvittavasta lämmönsiirtimestä ja erillisestä paineenpitojärjestelmästä.

4.1.2 Johtopäätöksiä kaukolämpöverkostosimulointien tuloksista

Mitoitustilanteen lämpötilaero on huomattavasti suurempi kevennetyssä kaukolämmössä (70/33 °C) verrattuna perinteiseen kaukolämpöön (115/33 °C), joka johtaa suurempiin virtaamiin ja putkikokoihin, jolloin putkikustannukset kasvavat. Putkikustannukset kasvattavat matalalämpöverkoston kustannuksia 14–18 % perinteiseen kaukolämpöverkkoon verrattuna.

Tulosten perusteella lämpöhäviöt ovat hyvin lähellä toisiaan molemmissa verkostovaihtoehdoissa. Kuvassa 12 on esitetty Skenaarioiden 0b ja 0 mukaisten tarkastelujen lämpöhäviöiden jakautuminen kuukausitasolla perinteisen kaukolämmön (KL) ja matalalämpöverkon (ML) tapauksessa.



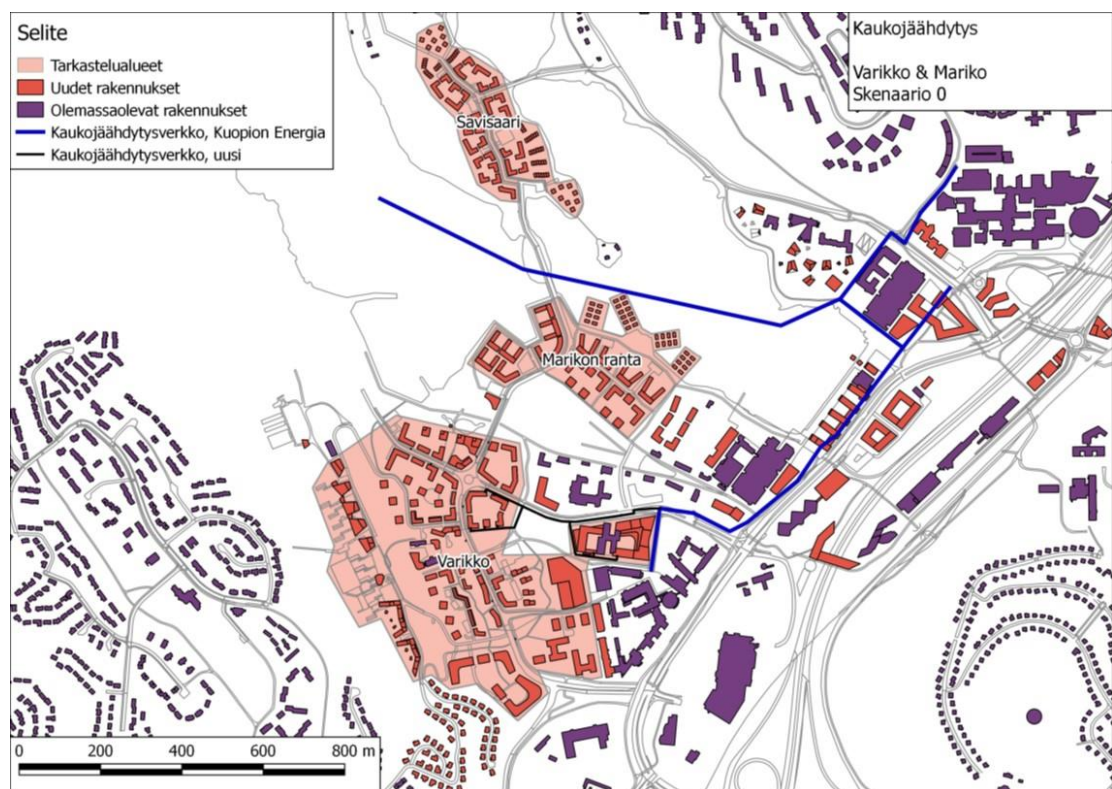
KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennety kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 12. Esimerkki lämpöhäviöiden jakautumisesta kuukausitasolla.

Kuvasta 12 nähdään, että kevennetyssä kaukolämmössä (jossa menolämpötila on vakio 70 °C) lämpöhäviöt ovat suuremmat kesällä, mutta talvella pienemmät. Ilmiötä selittää kevennetyn kaukolämmön suuremmat putkikoot, mutta myös se, että perinteisessä kaukolämmössä menolämpötila pysyy kesäisin melko matalalla tasolla, keskimäärin 75–76 asteessa toukokuulta syyskuun loppuun kaukolämmössä sovellettavan muuttuvan lämpötilan ansiosta.

4.2 Kaukojäähdytysverkot

Kuvassa 13 on esitetty kaukojäähdytysverkon reititys skenaariossa 0. Kuvasta nähdään, että oletusten mukaiset, kaukojäähdytysverkkoon liitetyt kohteet ovat hyvin lähellä nykyisen verkon laajentumispistettä. Käytännössä verkko ulottuu ainoastaan Varikon alueen kohteisiin.



Kuva 13. Mallinnettu kaukojäähdytysverkon laajennus skenaariossa 0.

Ainoastaan skenaario 2:n mukaiset oletukset saavat aikaan sen, että kaukojäähdytysverkko kannattaisi laajentaa Varikkoa laajemmalle alueelle. Vastaavasti tämä pidentää huomattavasti verkostoa skenaarioon 0 tai 1 verrattuna. Kuvassa 14 on esitetty kaukojäähdytysverkon reititys skenaarion 2 tapauksessa. Kaikkien skenaarioiden reittikartat on esitetty liitteessä 2.



Kuva 14. Mallinnettu kaukojäähdytysverkon laajennus skenaariossa 2

Taulukossa 10 on koottu kaukojäähdytysverkkovaihtoehtojen tunnuslukuja: kokonaisverkostopituus, suurin putkikoko ja kokonaisinvestointi.

Taulukko 10. Kaukojäähdytysverkkovaihtoehtojen tunnuslukuja.

Kaukojäähdytys, Fe				
	Verkot	Pituus (m)	Suurin putki (DN)	Investointi (k€)
Skenaario 0	Varikko	849	200	387
Skenaario 1	Varikko	301	200	168
Skenaario 2b	Varikko & Mariko	4 151	400	1 925
Skenaario 2	Varikko, Mariko & Savisaari	5 010	400	2 272

Taulukon tuloksista nähdään, että verkoston laajentaminen vaikuttaa merkittävästi tarvittavaan verkostoinvestointiin. Suppeampaa kaukojäähdytyksen tarvetta kuvaavat oletukset skenaarioissa 0 ja 1 voidaan siten toteuttaa selvästi pienemmällä verkostolla.

4.3 Putkimateriaalivaihtoehdot energiaverkoille

Savilahden energiaverkkojen materiaalina voitaisiin käyttää teräsputkea tai muoviputkea. Muoviputkien materiaalina käytetään yleisesti polyeteeniä (PE). PE-putkea valmistetaan sekä happidiffuusioikalvolla että ilman kalvoa.

Tällä hetkellä edullisin materiaali verkoston rakentamiseen on teräsputki. Teräsputken ja muoviputken kustannusero ei ole kovin suuri, mutta happidiffusiosuojattu putki on koosta riippuen jopa 20...50 % kalliimpaa kuin tavallinen muoviputki. Myös kaukokylmäverkossa muoviputki on investoinniltaan kalliimpaa kuin teräsputki.

4.3.1 Muoviputkien happidiffuusio kaukoenergiaverkostoissa

Diffuusio on ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen pitoisuuserot ajan mittaan. Ilman sisältämä happi pyrkii siten putkiseinämän läpi ja liukenemaan kaukolämpö- tai -jäähdytysveteen. Tätä ilmiötä voidaan esittää diffuusiosuojakalvolla, joka asennetaan putkeen tyypillisesti eristyksen yhteydessä.

Happidiffuusio on ongelma, mikäli muoviputkistossa kiertävä hapekas vesi pääsee kosketuksiin putkistoon liitettyjen teräsosien kanssa, jolloin veteen liuennut happi aiheuttaa korroosiota. Diffuusioikalvolla varustetut putkielementit ovat kustannuksiltaan noin 20–50 % kalliimpia verrattuna diffuusiosuojaamattomiin putkielementteihin. Diffuusiosuojana käytetään yleisimmin metallikalvoa (alumiini) tai kaasunsulkukerrosta (EVOH, eteeni/vinyylialkoholi). Diffuusionopeus riippuu voimakkaasti putkimateriaalin tiheydestä (seinämävahuudesta) ja lämpötilasta; mitä pienempi tiheys ja suurempi lämpötila sitä suurempi happidiffuusio on. Hapenläpäisy alkaa nousta voimakkaasti, kun polyeteenin tiheys on pienempi kuin $0,960 \text{ g/cm}^3$. Esimerkiksi PE 100 -putken tiheys on $0,957\text{--}0,961 \text{ g/cm}^3$ ja PE 80 -putken tiheys on luokkaa $0,930 \text{ g/cm}^3$.

Tässä selvityksessä tarkastelluissa kevennetyn kaukolämmön verkkovaihtoehtoissa isojen putkien osuus (suurempi tai yhtä suuri kuin PE 100) koko verkoston putkipituudesta on 43–50 % riippuen vaihtoehdosta.

4.3.2 Perustelut materiaalivalinnoille verkostomallinnuksissa

Tässä selvityksessä valittiin kevennetyn kaukolämmön putkimateriaaliksi teräs, sillä putkiston kokonaiskustannukset teräksellä ovat hieman pienemmät kuin muoviputkella. Lisäksi valintaa puoltaa se, ettei eristyksen tai tässä tapauksessa lämpöhäviöiden kannalta ole merkitystä valitaanko teräs vai muovi. Mikäli muoviputket varustettaisiin happidiffuusioikalvolla, putkistokustannukset nousisivat 20–50 %.

Tässä selvityksessä on kyseessä erillinen alueverkko, joka muoviputken tapauksessa voidaan eristää täysin teräksisestä pääverkosta lämmönsiirtimellä. Hapesta ei aiheudu ongelmaa, mikäli alueverkon kaikki kiertoveden kanssa kosketuksissa olevat komponentit valmistetaan hapetta sietävistä materiaaleista, esimerkiksi ruostumattomasta teräksestä. Ruostumaton teräs lisäisi alueverkon kustannuksia, mutta tällöin vertailu tulisi tehdä happidiffuusioikalvon ja ruostumattomasta teräksestä aiheutuvien lisäkustannusten välillä.

Edellä mainituilla perusteluilla kaukolämpö mitoitettiin teräsputkin ja kevennetty kaukolämpö sekä teräs- että muoviputkin ilman happidiffuusioikalvoa. Vastaavasti myös kaukojäähdytyksen putkimateriaaliksi verkostomallinnuksessa valittiin teräs.

5. Elinkaarikustannusvertailun tulokset

Tässä luvussa on koottu verkostomallinnuksen perusteella tehtyjen elinkaarikustannusvertailujen tulokset. Tarkemmat laskelmat ja kustannuslajien sisällöt on esitetty liitteessä 1.

5.1 Kaukolämpöverkkojen herkkyytarkastelu

Taulukossa 11 on esitetty koko Savilahden alueen (Varikko, Marikon ranta ja Savisaari) kaukolämpöverkkojen elinkaarikustannusvertailujen tulokset kun energiaverkkoihin liittyviä oletuksia on tutkittu skenaarioiden avulla. Tuloksista nähdään, että perinteinen kaukolämpö on nettonykyarvo-tarkastelussa matalalämpöistä (kevennetty kaukolämpö) verkkoa kannattavampi ratkaisu jokaisessa skenaariossa (Skenaariot 0-2). Perinteisen kaukolämmön elinkaarikustannusten nykyarvot ovat 8–10 % pienemmät verrattuna kevennettyyn kaukolämpöön. Elinkaaren aikaisten investointikustannusten nykyarvot ovat 9–11 % ja kiinteiden ja muuttuvien vuosikustannusten nykyarvot 4–6 % pienemmät perinteisessä kaukolämmössä. Kun huomioidaan hyvin vastaavat tulokset myös suppeamman tarkastelun osalta (Skenaariot 0b, 1b ja 2b), jotka on esitetty taulukossa 12, voidaan päätellä että perinteinen kaukolämpöverkko on elinkaarikustannusten osalta matalalämpöverkkoa edullisempi riippumatta toteutuksen laajuudesta Savilahden verkostovaihtoehtoissa.

Taulukko 11. Kaukolämpöverkkojen elinkaarikustannusvertailu skenaarioittain (mukana Varikon, Marikon rannan ja Savisaaren alueverkot).

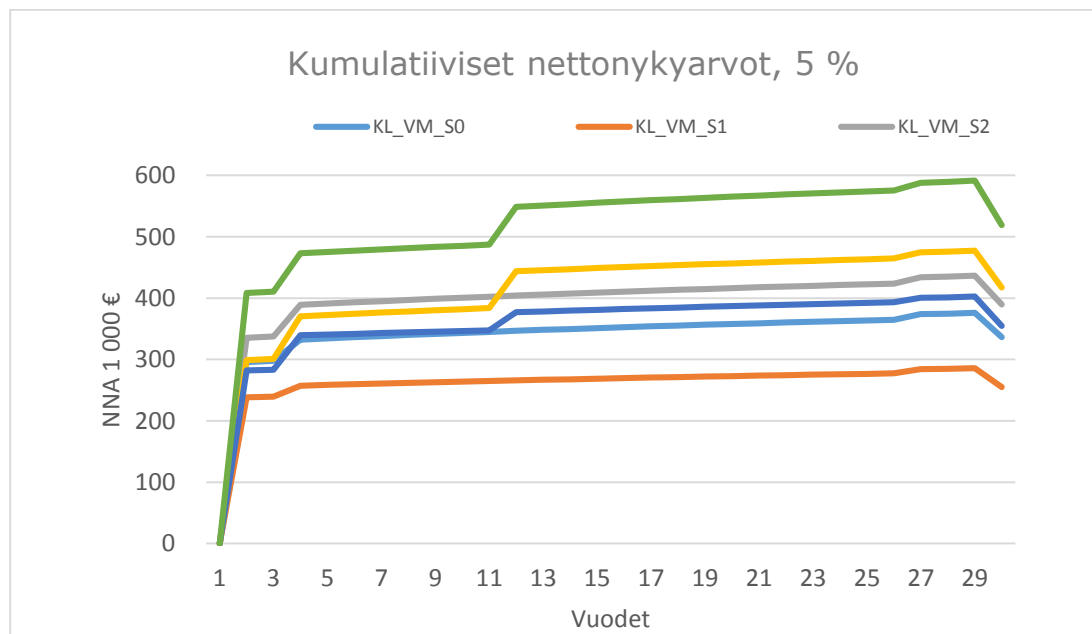
Alueverkko		Varikko, Mariko ja Savisaari		Varikko, Mariko ja Savisaari		Varikko, Mariko ja Savisaari	
Skenaario-oletukset		Skenaario 0		Skenaario 1		Skenaario 2	
Perinteinen (KL) / matalalämpö (ML)		KL	ML	KL	ML	KL	ML
Lämmönkulutus	MWh/a	28 267	28 267	18 458	18 458	34 517	34 517
Verkostopituus	m	7 216	7 216	6 301	6 301	8 392	8 392
Verkoston energiatiheys	MWh/m	3,9	3,9	2,9	2,9	4,1	4,1
Investointikustannukset	k€	4 448	4 965	3 621	4 050	5 252	5 883
Käyttö- ja kunnossapitokustannukset	k€	60,6	64,1	49,7	52,4	71,0	75,4
Nettonykyarvo (NNA)	k€	4 104	4 521	3 326	3 681	4 845	5 364
Keskimääräinen lämmön kustannus	€/MWh	12,4	13,7	15,5	17,2	12,0	13,3

Taulukko 12. Kaukolämpöverkkojen elinkaarikustannusvertailu skenaarioittain (mukana Varikon ja Marikon rannan alueverkot, Savisaari on rajattu verkkojen ulkopuolelle)

Alueverkko		Varikko ja Mariko		Varikko ja Mariko		Varikko ja Mariko	
Skenaario		Skenaario 0b		Skenaario 1b		Skenaario 2b	
Perinteinen (KL) / matalalämpö (ML)		KL	ML	KL	ML	KL	ML
Lämmönkulutus	MWh/a	22 144	22 144	14 346	14 346	27 033	27 033
Verkostopituus	m	5 412	5 412	4 660	4 660	6 420	6 420
Verkoston energiatiheys	MWh/m	4,1	4,1	3,1	3,1	4,2	4,2
Investointikustannukset	k€	3 334	3 700	2 673	2 956	3 934	4 364
Käyttö- ja kunnossapitokustannukset	k€	48,9	52,1	39,8	41,8	58,0	61,4
Nettonykyarvo (NNA)	k€	3 471	3 808	2 779	3 034	4 097	4 487
Keskimääräinen lämmön kustannus	€/MWh	12,0	13,1	14,8	16,2	11,6	12,7

Tuloksista nähdään, että elinkaarikustannuksissa investointikustannukset ovat merkittävimmät: investointien osuus kustannusten nykyarvoista vaihtelee välillä 82–83 %. Kiinteiden vuosikustannusten osuus on 9 % ja muuttuvien kustannusten osuus vaihtelee välillä 9–10 %. Jos Savisaari liitetään kaukolämpöverkkoon, elinkaarikustannusten ero perinteisen ja kevennetyn kaukolämmön välillä pysyy suhteellisesti yhtä suurena kaikissa skenaarioissa verrattuna suppeampaan verkkovaihtoehtoon, jossa on mukana vain Varikko ja Mariko.

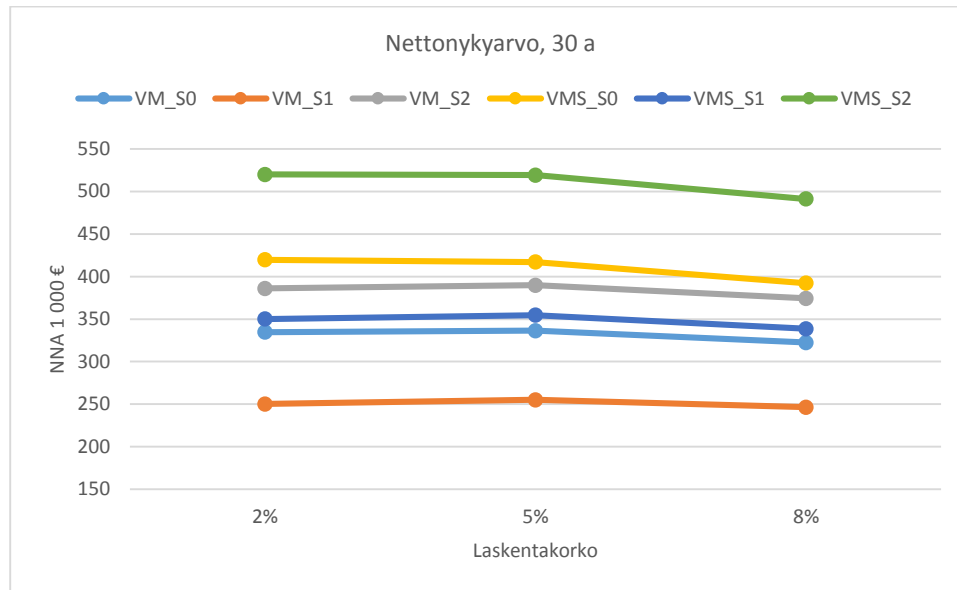
Kuvassa 15 esitetään kaukolämpövaihtoehtojen kumulatiiviset nettonykyarvot, jotka kertovat kevennetyn ja perinteisen kaukolämmön välisen elinkaarikustannuseron kehittymisen. Kuvasta nähdään, että perinteisessä kaukolämmössä saadaan aikaan säästöjä heti laskenta-ajan alusta lähtien kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa.



KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 15. Kaukolämpövaihtoehtojen kumulatiiviset nettonykyarvo (laskentakorko 5 %) vastaaviin matalalämpöverkkoihin verrattuna.

Kuvassa 16 esitetään laskentakoron vaikutus kaukolämpövaihtoehtojen nettonykyarvoihin (30 vuoden laskenta-aika).



KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 16. Laskentakoron vaikutus kaukolämpövaihtoehtojen nettonykyarvoihin, kun laskenta-aika on 30 vuotta.

Tulos osoittaa, että laskentakorolla ei ole vaikutusta siihen, etteikö perinteisen kaukolämmön tapauksessa saataisi kustannussäästöjä verrattuna kevennettyyn kaukolämpöön. Tarkastelu tehtiin myös 50 vuoden laskenta-ajalle, josta oli tehtävissä sama havainto.

5.2 Lämmitysmuotojen vaikutus kevennetyn kaukolämmön toteutettavuuteen ja kannattavuuteen

Tässä työssä tarkasteltiin Savilahden kehitysalueita (Varikko, Mariko ja Savisaari) ja perinteisen ja kevennetyn kaukolämmön välistä kannattavuutta näillä alueilla. Työssä tarkasteltiin kaukolämmön liittymisasteen vaikutusta perinteisen ja kevennetyn kaukolämmön väliseen kannattavuuteen, mutta muutoin eri lämmitysmuotojen vaikutusta ei tarkasteltu kustannus- eikä kannattavuuslaskelmissa.

Matalalämpötilaverkko kytketään pääverkkoon (perinteinen kaukolämpöverkko) joko sekoitus- tai lämmönsiirrinkytkenällä, jolloin alueellisen matalalämpötilaverkon matalammalla menolämpötilalla ei ole vaikutusta pääverkon menolämpötilaan. Työssä oletettiin myös, että alueverkon paluulämpötilat ovat yhtä suuret kummassakin tapauksessa, kevennetyssä (matalalämpö) ja perinteisessä kaukolämmössä. Oletusten perusteella voidaan todeta, että tarkasteltavalla alueellisella matalalämpöverkolla ei ole vaikutusta CHP-laitoksen sähkönsaantiin, sillä matalalämpötilaverkko ei vaikuta pääverkon lämpötilasoihin.

Kevennetyn kaukolämmön matalampi lämpötilataso parantaisi mahdollisen alueellisen lämpöpumpusovelluksen (alueelliseen matalalämpöverkkoon liitettävä keskitetty lämpöpumpulaitos) toteutettavuusmahdollisuuksia sekä kiinteistökohtaisten lämpöpumpusovellusten liittämistä mahdolliseen kaksisuuntaiseen kaukolämpöön. Kaksisuuntaisessa kaukolämmössä energiayhtiö tekee kaukolämpösopimuksen kiinteistön kanssa kiinteistössä

tuotetun lämmön ostamisesta kaukolämpöverkkoon perinteisen lämmönmyyntisopimuksen lisäksi.

Alueellisessa lämpöpumppusovelluksessa säästöä syntyy mm. lämpöpumpun hyötysuhteessa ja mitoituksen kautta investointikustannuksessa, kun menolämpötila (ja menolämpötilan mitoitus) on matalampi verrattuna perinteiseen kaukolämpöön. Perinteisen kaukolämmön tapauksessa olisi kuitenkin syytä tarkastella lämpöpumppulaitoksen rakentamista esimerkiksi huippulämpökattilan yhteyteen, jolloin lämpöpumppu voidaan mitoittaa lähelle matalalämpötilaverkon menolämpötilaa, ja huipputilanteissa, jolloin käytetään huippukattiloita joka tapauksessa, voidaan nostaa lämpöpumppujen tuottaman menoveden lämpötila kaukolämpöverkon vaatimaan menoveden lämpötilaan huippukattiloilla.

Perinteisen kaukolämmön tapauksessa kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen liittäminen mahdolliseen kaksisuuntaiseen kaukolämpöön vaikeutuu, sillä kiinteistökohtaisilla lämpöpumpuilla ei ole mahdollista tuottaa lämpöä kaukolämpöverkon menopuolelle, jos kaukolämpöverkon menolämpötila on suurempi kuin lämpöpumpun suurin mahdollinen menolämpötila. Matalalämpötilaverkon tapauksessa lämpöpumpuilla voidaan siirtää lämpöä verkkoon vuoden ympäri.

5.3 Kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkyytstarkastelu

Taulukossa 13 on esitetty kaukojäähdytysverkkojen elinkaarikustannusvertailuiden ja kannattavuuslaskelmien tulokset kun energiaverkkoihin liittyviä oletuksia on tutkittu skenaarioiden avulla.

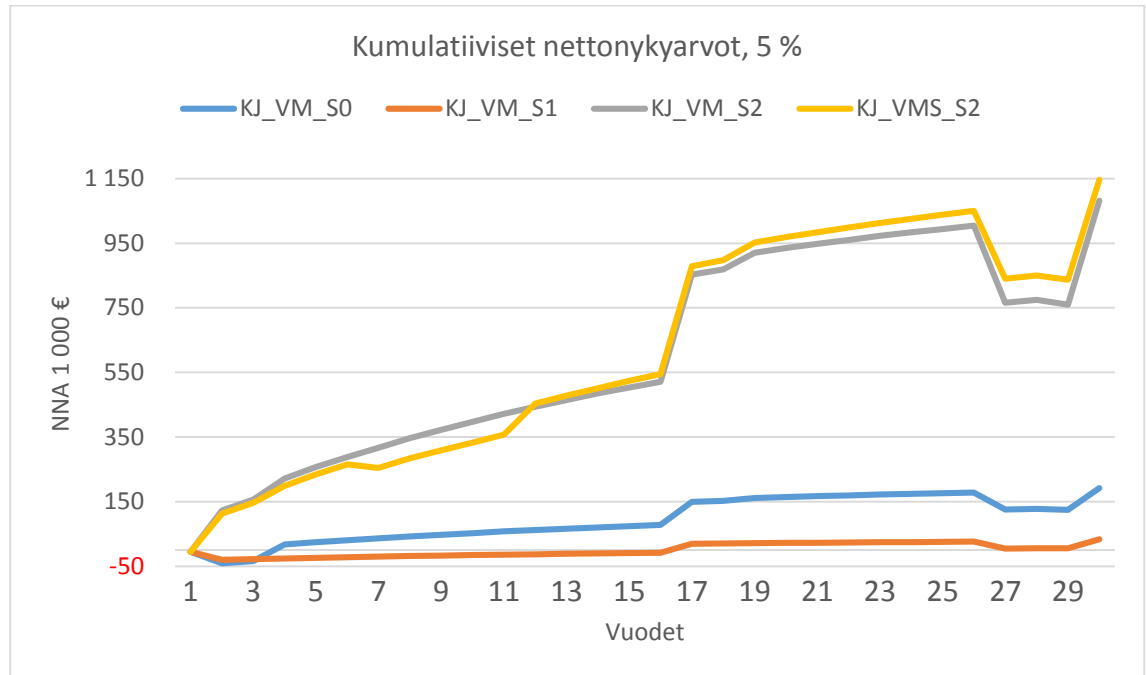
Taulukko 13. Kaukojäähdytysverkkojen laajennusten elinkaarikustannusvertailu

Verkkoalue		Varikko	Varikko	Varikko ja Marikon ranta	Varikko, Marikon ranta ja Savisaari
Skenaario		Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2b	Skenaario 2
Jäähdytyksen kulutus	MWh/a	436	127	2 081	2 259
Verkostopituus	m	849	301	4 151	5 010
Verkoston energiatiheys	MWh/m	0,51	0,42	0,50	0,45
Nettonykyarvo (NNA)	k€	192	33	1 081	1 147
Sisäinen korko	%	42 %	11 %	2 281 %	2 102 %
Keskimääräinen jäähdytyksen kustannus	€/MWh	142,5	192,6	136,3	140,6
Investointikustannukset	k€	814	328	3 741	4 262
Käyttö- ja kunnossapitokustannukset	k€	9,7	3,4	43,8	47,4
Rakennusten vaihtoehtoinen jäähdytysjärjestelmä					
Investoinnit (sis. 20 % hankevarauksen)	k€	823	295	3 915	4 488
Määräaikaishuollot	k€	5,2	1,9	24,8	25,5
Kiinteät vuosikustannukset	k€	6,5	2,5	30,1	34,7
Muuttuvat kustannukset	k€	10,9	3,2	51,8	54,7

Tulokset osoittavat, että kaukojäähdytys on kannattava verrattuna rakennusten vaihtoehtoiseen jäähdytysjärjestelmään (ilmalauhdutteiset sähkökompressoritoimiset vedenjäähdyttimet) kaikissa tarkastelluissa vaihtoehtoisissa. Tämä johtuu etenkin kaukojäähdytyksen avulla saavutettavista vuosittaisista säästöistä käyttökustannuksissa, jotka ovat 55–59 % pienemmät verrattuna rakennusten vaihtoehtoiseen jäähdytysjärjestelmän käyttökustannuksiin. Kaukojäähdytyksen alkuinvestoinnit ovat myös 1–5 % pienemmät kaikissa vaihto-

ehtoissa lukuun ottamatta Varikon ja Marikon alueen skenaarioon 1 (perusskenaarioon nähden pienempi jäähdytystarve) perustuvaan vaihtoehtoa.

Kaukojäähdytyksen elinkaaren aikaisissa investoinneissa syntyy säästöä verrattuna rakennusten vaihtoehtoiseen jäähdytysjärjestelmään kaikissa tarkastelluissa vaihtoehtoissa. Säästöt vaihtelevat välillä 4–18 % skenaarioittain.



KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 17. Kaukojäähdytysvaihtoehtojen kumulatiiviset nettohyödyt (laskentakorko 5 %) rakennuskohtaisiin ratkaisuihin verrattuna.

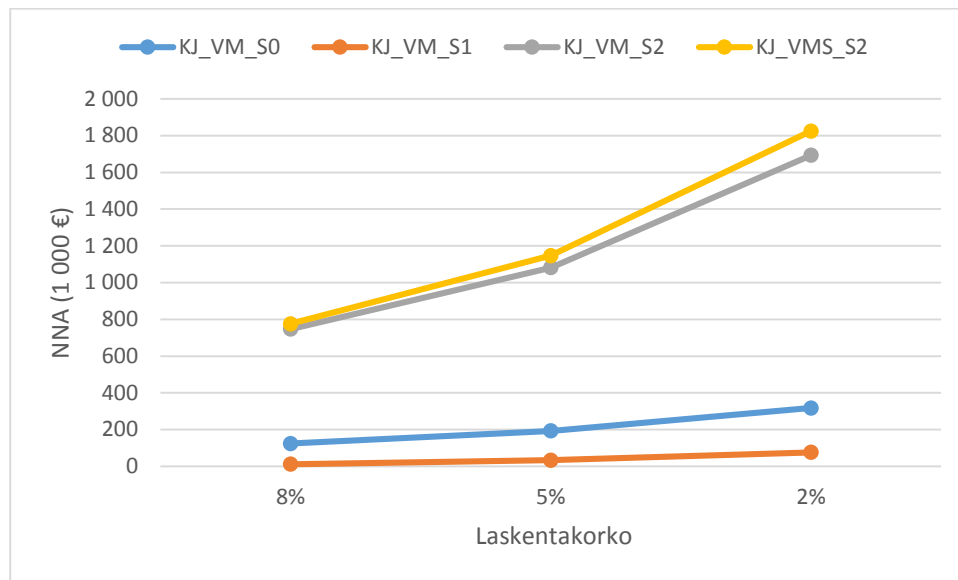
Laskennallinen IRR (projektin sisäinen korko) vaihtelee välillä 11 – 2 281 %. Huomattavan korkea sisäinen korko selittyy aikaansaaduilla säästöillä, jotka alkavat laajimmassa vaihtoehtoissa (Kuva 17) pienemmän projektin kehityskustannuksen jälkeen heti ensimmäisenä vuonna. Kun investointi on miltei olematon ja säästöt vuosikustannuksissa merkittävät, on laskennallinen IRR korkea. Laajimpien vaihtoehtojen nettohyödyt ovat yli miljoona euroa, 1 081 k€ ja 1 147 k€. Varikon ja Marikon alueen skenaarion 0 mukaisen verkkovaihtoehdon nettohyödyt on 192 k€ ja skenaarion 1 mukaisen verkkovaihtoehdon 33 k€.

Siirrettyä jäähdytysenergiaa kohden edullisin elinkaarikustannus (136,3 €/MWh) aiheutuu suppeamman verkkovaihtoehdon (jossa on mukava vain Varikko ja Mariko) skenaariossa 2, mutta perustapauksessa (skenaario 0) tämä kustannus on vain noin 5 % suurempi.

Tulosten perusteella on selvää, että kaukojäähdytyksen laajentumiselle Varikon, Marikon ja jopa Savisaaren alueille on erittäin hyvät taloudelliset edellytykset. Tuloksista nähdään, että skenaarion 2 suurempi jäähdytystarve parantaa kannattavuutta perustapaukseen nähden. Vaikka on epätodennäköistä, että skenaarion 2 mukainen jäähdytystarve toteutuu, niin myös perustapauksen kannattavuus on erittäin hyvä (laskennallinen IRR 42 %). Jopa Savisaaren liittäminen voi tulla kysymykseen, jos jäähdytystarpeen kysyntä on skenaarion 2 mukainen. Tuloksista nähdään, että Savisaaren sisältämissä verkostovaihtoehdoissa

(Skenaario 2) nettonykyarvo on hieman suurempi verrattuna suppeampaan verkkovaihtoehtoon (Skenaario 2b). Savisaaren liittämisen investoinnin tuotto on yli 5 %.

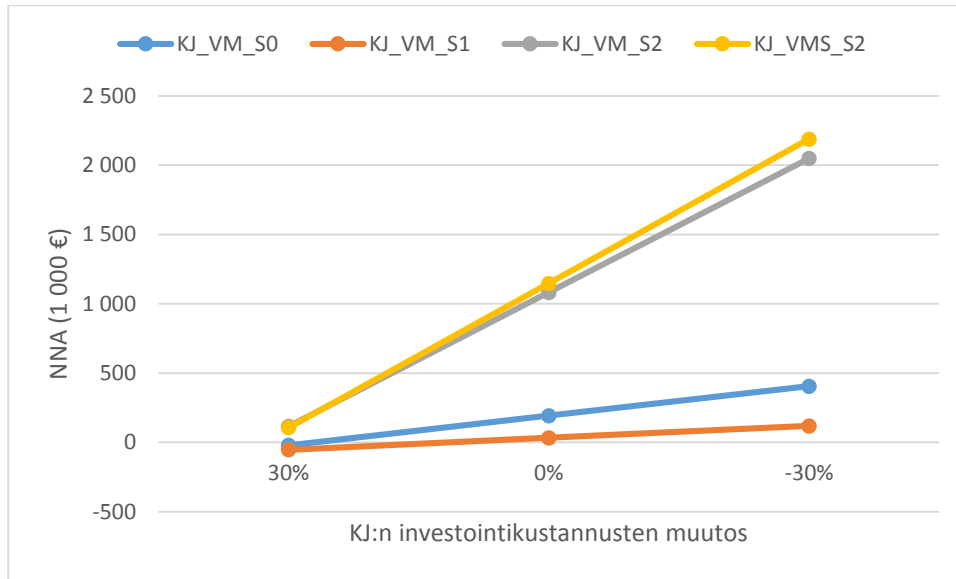
Kun kaukojäähdytysverkon laajennuksen kannattavuutta tarkastellaan laskentakoron vaikutuksen osalta, havaitaan että laskentakoron suurentuessa nettonykyarvot pienenevät. Esimerkiksi 30 vuoden laskenta-ajalla skenaariossa 0 nettonykyarvo nousee perustapauksesta (5 % laskentakorko) 2 %:n laskentakorolla 65 % ja laskee 8 %:n laskentakorolla 36 %.



KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 18. Laskentakoron vaikutus kaukojäähdytysverkkovaihtoehtojen nettonykyarvoihin 30 vuoden laskenta-ajalla.

Kaukojäähdytyksen kannattavuus on laskentojen mukaan erityisen herkkä kaukojäähdytyksen investointikustannusten muutokselle. Kuvasta 19 nähdään, että kaukojäähdytyksen investointikustannusten noustessa 30 % nettonykyarvot laskevat jo negatiivisiksi skenaarioissa 0 ja 1 ja myös kahden laajimman skenaarion nettonykyarvot tippuvat lähelle nollassa. Vastaavasti investointikustannusten laskiessa vaikutus on päinvastainen ja nettonykyarvo luonnollisesti nousee.



KL/ML/KJ viittaa verkostotyyppiin: KL = (perinteinen) kaukolämpö, ML = matalalämpö (kevennetty kaukolämpö) ja KJ = kaukojäähdytys; VM/VMS tarkastelualueisiin: V = Varikko, M = Mariko, S = Savisaari ja; S0/1/2 Savilahden kehitysskenaarioihin.

Kuva 19. Kaukojäähdytysverkon investointikustannusten muutoksen vaikutus vaihtoehtojen nettonykyarvoihin.

Koska muuttuvien kustannusten osuus on merkittävästi suurempi rakennusten vaihtoehtoisessa jäähdytysjärjestelmässä verrattuna kaukojäähdytykseen, nettonykyarvo kasvaa muuttuvien kustannusten noustessa. Muuttuvia kustannuksia aiheutuu sekä kaukojäähdytyksessä että rakennuskohtaisessa jäähdytyksessä pääosin sähkönkäytöstä, joten tämän kustannustekijän kasvu tekee kaukojäähdytysvaihtoehdoista entistä kannattavampia rakennuskohtaisiin vedenjäähdytyskoneisiin verrattuna.

6. Lämpö- ja kylmävarastojen käytön edellytykset Savilahden alueella

Tässä luvussa on käsitelty lämpö- ja kylmävarastojen käytön edellytyksiä ja kannattavuusnäkökulmia suhteessa mallinnettuun alueelliseen energiaprofiiliin, sekä kaukoenergiajärjestelmiä koskeviin johtopäätöksiin. Varastojen mahdollisia edellytyksiä on analysoitu sekä energian myyjän tai tuottajan että kiinteistönomistajan näkökulmasta.

6.1 Lämpövarastot

Lämpövaraston liittämällä osaksi kaukolämpöjärjestelmää saadaan aikaan monia hyötyjä, etenkin kun lämpövarastolla voidaan optimoida CHP-laitoksen tuotantoa:

- Vastapainesähkön tuotantoa voidaan lisätä varastoa lataamalla.
- Säädettyä sähköntuotantopotentiaalia saadaan verkkoon.
- Edullista kaukolämmön perustuotantoa, kuten CHP-tuotantoa, voidaan lisätä (jolloin huipputuotanto vähenee) ja sen kustannuksia optimoida, kun lämpövarastoa ladataan edullisen marginaalikustannuksen aikana ja puretaan kalliimman marginaalikustannuksen aikana.
- Isojen peruskuormalaitosten alarajoissa voidaan varaston avulla korvata menetettyä lämpöenergiaa.
- Varasto voi mahdollisesti vähentää investointitarvetta huippukattiloihin.
- Varasto voi toimia vesireservinä verkoston vauriutilanteissa.

Koska Kuopion Energia on tehnyt investointipäätöksen lämpövaraston rakentamisesta Haapaniemen CHP-laitoksen yhteyteen, on selvää että Savilahden verkostoon ei kannata rakentaa erillisiä pieniä lämpövarastoja. Perusteluna tälle toimii se, että Savilahden alueen kaukolämpöverkko on suhteellisen pieni ja sitä varten tehtävän lämpöakun yksikkökustannus muodostuisi tällöin suhteessa suureksi.

Sen sijaan koko verkkoa palvelevalla CHP-laitoksella lämpövarastosta on järkevä tehdä suurempi ja siten yksikkökustannus on suhteessa pienempi. Lisäksi varastoa on helpompi ja kustannustehokkaampi käyttää koko kaukolämpöverkkoa varten, jolloin sen läpi menevän energian suhde hankintahintaan on edullisempi verrattuna pieniin lähemmäs kulutusta sijoitettaviin varastoihin. Sijoittamalla lämpövarasto tai useampia lämpövarastoja lähemmäs kulutusta siirtolinjojen mitoitus teoriassa pienenee, mutta tästä aiheutunut säästö putkikustannuksissa on olematon Savilahden tarkastelualueilla verrattuna CHP-laitoksen yhteyteen sijoitettavan suuren varaston hyötyihin.

Energian ostajan näkökulmasta kiinteistökohtaiset lämmön varastointimahdollisuudet voivat muodostua Savilahdessa houkutteleviksi vain tietyin edellytyksin. Esimerkiksi kiinteistön lämmitysverkostoon asennettavalla kaukolämmön varaajalla voidaan laskelmien mukaan saada aikaan optimaalisella mitoituksella noin 19 % tehon vähennys. Tällöin 2500 m² kaukolämmöllä lämmitettävässä esimerkkitalossa saavutettiin tämän hetken tehoinnoittelulla 30 vuodessa noin 6000 € elinkaarikustannussäästö, joten takaisinmaksuaika on hyvin pitkä. Tällöin varaaja ei ole energian ostajan näkökulmasta parhaimpia keinoja pienentää energiakustannuksia, mutta toisaalta varauskapasiteetin kasvattaminen kiinteistökohtaisilla varaajilla voidaan nähdä tuki/ohjauskeinona alueellisen lämmön kysyntäjoukon pilotoinnille. Hankintahinta noin 4 m³:n varaajalle on suuruusluokkaa 8000 €, mutta kaukolämmön

piirissä olevissa taloissa tämä olisi kuitenkin lisäkustannus, jota tulisi pystyä kompensoimaan kiinteistönomistajalle esim. lämmitystehon kysyntäjoustop hintaohjauksella.

6.2 Kylmävarastot

Kylmävaraston liittäminen kaukojäähdytysjärjestelmään mahdollistaa vastaavat hyödyt kuin lämpövaraston hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Jäähdytysvaraston avulla tuotannon optimointi perustuu käytännössä sähkön hintojen muutoksiin: sähköä käyttävillä tuotantokoneilla (kuten kompressorijäähdyttimillä tai lämpöpumpuilla) kannattaa ladata varastoa sähkön hinnan ollessa matala ja vastaavasti purkaa varastoa korkean sähkön hinnan aikana.

Jäähdytyksessä vuotuinen kysynnän pysyvyyskäyrä on huomattavasti piikikkäämpi verrattuna kaukolämpöön ja kuumen kesäpäivän jäähdytystarpeen profiilissa on selkeä huippu, jolloin kylmävaraston kannattavuuden tarkastelussa merkittävä tekijä on huipputuotantokapasiteetin tarpeen vähentyminen varaston avulla. Perinteisesti kylmävarastoista on ollut hyvin vaikea saada kannattavia, koska niiden investointi varastoitua energiayksikköä kohti (€/MWh) on usein suurempi tuotannon kapasiteettia kasvattavan investoinnin vaikutukseen verrattuna.

Esimerkiksi aiemman Savilahden kaukojäähdytyspalveluksessa (Sijointupaikkana Huuhan luolastot, 2015) havaittiin, että tarvittavat investoinnit kylmävarastolaitokseen ovat jopa suuremmat kuin lisäinvestoinnit huipputuotantona toimimiin kompressorijäähdyttimiin. Kuopiossa kaukojäähdytyksen vuotuinen tuotanto perustuu arvioiden mukaan jopa 70 %:n osalta vapaajäähdytykseen, jolloin kylmävarastolla ei ole mahdollista lisätä perustuotantoa, eli tässä tapauksessa vapaajäähdytystä. Sen sijaan Savilahden kaukojäähdytyslaitos tulee käytännössä hyödyntämään Neulalahden syvänteestä vapaajäähdytystä rakennettavan vesistöputkiston avulla, ja syvänteen hyödyntämistä luonnollisena kylmävarastona on tutkittu. Näin ollen Varikon, Marikon ja Savisaaren alueelle ei kannatta rakentaa erillisiä kylmävarastoja myöskään kaukojäähdytyksen tarpeisiin. Kiinteistöissä kylmäakkujen myötä saatavat kustannushyödyt ovat mahdollisia lähinnä tietynlaista toimintaa sisältävissä kohteissa, joissa esim. tarvitaan suurta ilmanvaihdon kuivaustehoa. Pieni hyöty selittyy perinteisesti käytetyissä kaukokylmän hinnoittelumalleissa.

7. Energiaverkkojen vertailua koskevat johtopäätökset ja suositukset

Selvityksessä on tutkittu Savilahden alueen jäähdytys- ja lämpöverkkojen toteutusvaihtoehtoja sekä analysoitu näihin linkittyvien energiavarastojen käytön edellytyksiä. Analyysissä huomioitiin kaukoenergiaverkkojen siirtämän energian- ja tehontarpeen mahdolliset epävarmuudet Savilahden alueen kehittymistä kuvaavilla vaihtoehtoskenaarioilla. Skenaariot laadittiin arvioimalla mm. rakentamisen määrää, tulevia energianmääräyksiä, sekä kaukoenergiaverkkoon liittyvien kohteiden suhteellista osuutta energianhankinnassa. Skenaarioiden perusteella laadittiin verkostovaihtoehdot Varikon, Marikon rannan ja Savisaaren alueiden muodostamalle tarkastelualueelle ja toteutettiin elinkaari- ja kannattavuusvertailut. Energian- ja tehontarpeen lisäksi vertailussa arvioitiin tarkasteluajan ja laskentakoron herkkyyttä tuloksiin.

7.1 Kevennettyä kaukolämpöverkon herkkystarkastelua koskevat johtopäätökset

Tärkeimmät havainnot ja selvityksen perusteella tehtävät johtopäätökset perinteisen kaukolämpöverkon ja kevennetyn kaukolämpöverkon (matalalämpöverkon) herkkystarkasteluun liittyen ovat:

- Elinkaarikustannus- ja kannattavuusvertailun perusteella perinteinen kaukolämpöverkko on kevennettyä kaukolämpöverkkoa kannattavampi. Elinkaarikustannukset 30 vuoden tarkasteluajana ovat laskelmien mukaan 8-10 % kevennettyä kaukolämpöverkkoa pienemmät. Kannattavuuden ero on selvä eri skenaarioiden mukaisesti toteutuksen laajuuserosta riippumatta niin suppeammassa kuin laajemmassakin tapauksessa.
- Merkittävin syy perinteisen kaukolämpöverkon pienempiin elinkaarikustannuksiin on pienempi investointi (merkitys on yli 80 % elinkaarenaikaisista kustannuksista). Toinen merkittävä seikka on se, että kevennetyllä kaukolämpöverkolla ja perinteisellä kaukolämpöverkolla ei ole merkittävää eroa lämpöhäviöissä - lämpöhäviöt ovat lähellä toisiaan molemmissa vaihtoehdoissa johtuen mm. kesäajan lämpötilataseista sekä kevennetyn kaukolämpöverkon suuremmista putkikoista.
- Koska energiaverkkojen elinkaarikustannuksissa investoinnin merkitys on tarkastelun mukaan hyvin suuri, Savilahden kaukolämpöverkon tapauksessa on suositeltavaa valita putkimateriaaliksi teräs muoviputken tai diffuusiosuojatun muoviputken sijaan.

7.2 Kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkystarkastelua koskevat johtopäätökset

Tärkeimmät havainnot ja selvityksen perusteella tehtävät johtopäätökset kaukojäähdytysverkon laajentamisen herkkystarkasteluun liittyen ovat:

- Elinkaarikustannus- ja kannattavuusvertailun perusteella voidaan todeta, että kaukojäähdytyksen laajentumiselle Varikon, Marikon ja jopa Savisaaren alueille on erittäin hyvät taloudelliset edellytykset. Kaukojäähdytysverkon kannattavuus suhteessa rakennuskohtaisiin vedenjäähdytyskoneisiin vaihtelee eri skenaarioissa, mutta kaukojäähdytys oli selvästi kannattavampi kaikkein suppeinta skenaariota lukuun ottamatta (jossa ero kaukojäähdytyksen hyväksi oli vertailuvaihtoehdoista pienin). Tehdyillä oletuksilla kaukojäähdytyksen elinkaarikustannus oli kuitenkin rakennus-

kohtaista jäähdytysvaihtoehtoa pienempi kaukojäähdytysverkon tehosta riippumatta.

- Merkittävin syy kaukojäähdytyksen etuun tässä tapauksessa on tarvittavan investoinnin määrä, kun kaukojäähdytysverkko on jo vedetty lähelle Savisaaren aluetta. Laajennukseen tarvittava investointi on siten suhteessa pieni verrattuna tilanteeseen, että rakennuksiin hankittaisiin erilliset vedenjäähdytyskoneet.
- Lopullinen kannattavuus esimerkiksi energian ostajan näkökulmasta määräytyy jäähdytyksen myyjän hinnoittelun perusteella.
- Laskelmien mukaan elinkaarikustannus siirrettyä jäähdytysenergiaa kohden (€/MWh) oli edullisin laajimmassa skenaarioissa, joissa jäähdytystarve on suurin. On kuitenkin huomioitava, että näissä skenaarioissa (Skenaariot 2 ja 2b) oletus asuntojen liittymisasteesta kuvaa teoreettista maksimia, joten niiden toteutuminen ilman erillisiä kannustimia voidaan nähdä perusskenaariota selvästi epätodennäköisempänä. Toisaalta kannattavuus havaittiin hyväksi (sisäinen korko 42 %) myös perusskenaariossa, jossa esim. asuntojen liittymisasteeksi oletettiin 5 % ja toimitilojen 30 % koko Savilahden alueella.

7.3 Lämpö- ja kylmäakkujen käytön edellytyksiä koskevat johtopäätökset

Tärkeimmät havainnot ja selvityksen perusteella tehtävät johtopäätökset lämpö- ja kylmäakkujen käytön edellytyksistä Savilahden alueella ovat:

- Tarkastelun mukaan erilliset lämpö- tai kylmäakut eivät ole Savilahdessa kaukoenergiaverkoissa kannattavia energian tuottajan näkökulmasta. Esimerkiksi lämmön osalta koko verkkoa palvelevalla CHP-laitoksella lämpövarastosta saadaan alueellista varastointia kustannustehokkaampi, sillä tällöin varaston läpi menevän energian suhde hankintahintaan on edullisempi verrattuna pieniin lähemmäs kuluusta sijoitettaviin varastoihin.
- Energian ostajan näkökulmasta kiinteistökohtainen lämpövaraaja ei ole taloudellisesti parhaimpia keinoja pienentää energiakustannuksia, mutta toisaalta varauskapasiteetin kasvattaminen varaajilla voidaan nähdä mahdollisena tuki tai ohjauskeinona alueellisen lämmön kysyntäjoustopilotoinnille.
- Erillisillä kylmäntuotannon varastoilla ei myöskään saada alueellisia etuja, sillä vastaava tehokapasiteetti olisi saavutettavissa edullisemmin kylmän tuotantotehoa lisäämällä (huomioiden tarvittava alkuinvestoinnin rajakustannus tuotannossa).

7.4 Suosituksia kestäväen energianhankinnan edistämiseksi Savilahden alueella

Savilahden alueen tavoitteita ovat mm. ekologisen, taloudellisen, sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyuden huomioiminen, energiatehokkuus, vähähiilisyys sekä elinkaaritalloudellisuus. Energian osalta tavoitteena on hyödyntää monipuolisesti uusiutuvaa energiaa sekä tukea energiatehokasta lämmitystä ja jäähdytystä. Jo aiemmin tehdyissä selvityksissä on tuotu esiin kestäväen energianhankinnan edellytyksiä, kuten aurinko- ja geonergian hyödyntämistä.

Tehty selvitys kuitenkin osoittaa, että matalalämpöverkko ei energian tuottajan näkökulmasta ole perinteistä kaukolämpöverkkoa elinkaarikustannustehokkaampi. Toisaalta selvitys vahvisti, että kaukojäähdytysverkkoa laajentamalla alueen jäähdytystarve voidaan toteuttaa rakennuskohtaisia vedenjäähdytyskoneita edullisemmin. Alueen tavoitteiden näkökulmasta on siten perusteltua edistää näiden ratkaisujen toteutumista unohtamatta kuiten-

kaan myös muita yhtä lailla kestävyystavoitteet täyttäviä energiaratkaisuja esimerkiksi kiinteistötasolla.

Seuraavissa kappaleissa on listattu joitakin tekijöitä ja toimenpiteitä, joilla voidaan tukea kestävää energianhankintaa Savilahden alueella erityisesti laaditun energiaverkkoja koskevan selvityksen tulokset huomioiden.

7.4.1 Aluesuunnittelun keinot

Savilahden lämmön- ja kylmänhankinnan tavoitteita voidaan tukea konkretisoimalla tavoitteiden mukaisten ratkaisun kuvauksia aluekehityksen osapuolille. Tehdyn selvityksen perustella tunnistettuja esimerkkejä tästä ovat:

- Määritetään alueellisia kriteerejä lämmitys- ja jäähdytysratkaisuille (tarkasteluun voidaan liittää toki myös muita energiaan ja kestävyteen liittyviä kriteerejä). Kriteerien noudattamiseen voidaan velvoittaa tontinluovutusehdoissa. Kaavan käyttöä yksittäisten ratkaisujen suosimiseen kannattaa lähtökohtaisesti välttää, sillä kriteerejä voidaan tarkastaa ja peilata tavoitteiden toteutumiseen joustavammin alueen rakentumisen ja käytön aikana, kun taas kaava on luonteeltaan pysyvämpi linjaus. Keinovalikoima on kuitenkin mietittävä tapauskohtaisesti.
- Kestävyyskriteerit sopivat lähtökohtaisesti hyvin myös erilaisiin tonttipisteityksiin ja -kilpailuihin, joissa esimerkiksi parhaiten kriteerejä täyttävät hankkeet saavat valita mieleisensä tontin, tai luovutusmenettely aloitetaan eniten pisteistä saaneista hankkeista.
- Kaukojäähdytyksellä voidaan hyödyntää kohteissa syntyviä kesäajan lämpökuormia, jolloin alueen rakennusten ylijäämälämpö voidaan siirtää kaukolämpöverkoon. Ratkaisu on energian tuottajan näkökulmasta kannattavampi vaihtoehto verrattuna lämmön siirtämiseen matalalämpöverkossa. Luomalla kannustimia kaukojäähdytykselle voidaan lisätä järjestelmään liittyvien kohteiden määrää sekä pyrkiä sitouttamaan kohteita etupainotteisesti ratkaisuun. Tällöin on huomioitava myös houkutteleva kustannusrakenne palvelun käyttäjille.
- Kuopion Energian kestävää lämmöntuotantoa voidaan mahdollisesti tukea myös lämmön kysyntäjoustoratkaisuilla. Lämmön kysynnän hallinta ja ohjaus alueellisesti voi tuotantoprofiilista ja tehoinnoittelusta riippuen tuoda merkittäviä kustannussäästöjä energian tuottajan lisäksi myös käyttäjille. Vaikka kysyntäjoustopuuttavuus riippuu koko kaukolämpöjärjestelmän kysynnänvaihtelusta, Savilahden aluetta voidaan korostaa pilotti- ja kokeilualustana lämmön tehonhallinnalle. Kysyntäjousto riippuu luonnollisesti myös Kuopion energian intresseistä, mutta lähtökohtaisesti tärkeintä Savilahden näkökulmasta olisi tehonhallinnan edellytysten varmistaminen jo rakennusvaiheessa. Käytännössä tätä voisi tukea alueellisilla kriteereillä, joissa veloitetaan rakentajia mahdollistamaan kulutustyyppien etäohjaus sekä mahdollisesti myös kannustimilla lämminvesivaraajien asentamiseen.
- Myös kohteiden lämmönjakotavalla on merkitystä kysyntäjoustopuuttavuuden ja erilaisten energiainnovaatioiden hyödyntämismahdollisuuksiin. Matalalämpöisiin lämmönjakotapoihin kannustamalla luodaan hyvät edellytykset erilaisille lämmönhankintainnovaatioille.
- Savilahden monipuolista energianhankintaa voi edistää myös tonttikohtaisilla tavoitteilla. Tällöin voidaan asettaa tonttikohtaisia kriteerejä tai kannustimia, jolla ohjataan esimerkiksi erilaisten lämpöpumppuratkaisujen tai energiainnovaatioiden hyödyntämistä valituissa kohteissa.

- Kriteerejä, tavoitteita edistävien ratkaisujen kannustimia ja ohjauskeinoja on hyvä pohtia yhdessä alueen toimijoiden kanssa. Näitä ovat mm. alueen kaavoitusyksikkö tukihenkilöineen, energiayhtiöt, mahdolliset kumppanuuskaavoittajat ja rakennusyhtiöt sekä käyttäjiä edustavat tahot ja tulevat kiinteistönomistajat. Usein vuoropuhelussa hyödynnetään erilaisia työpajoja, joissa voidaan esitellä kerättyä selvitystietoa, tehdä niiden perusteella yhteisiä linjauksia sekä sitouttaa siten osapuolia tavoitteiden edistämiseen.

7.4.2 Tuotetun tiedon hyödyntäminen ja mahdolliset lisäselvitykset

Selvityksessä on vertailtu kaukoenergiaverkkojen kannattavuutta paikallisen energiaoperaattorin (Kuopion Energia Oy) näkökulmasta, mutta kuitenkin siten, että vertailu osoittaa käytännössä ratkaisujen omakustannushinnan operaattorille. Esimerkiksi kaukojäähdytysverkon laajennusta on vertailtu tilanteeseen, jossa energiaoperaattori tuottaisi vastaavan palvelun rakennuskohtaisilla jäähdytysratkaisuilla. Siten tuotettuja laskelmia ja vertailuja voi hyödyntää energiaoperaattorin liiketoimintamahdollisuuksien kartoittamisen lähtötietona. Käyttäjän näkökulmasta vertailu täytyisi tehdä rakennuskohtaisten ratkaisujen ja energiatoimijalta hankittavan palvelun aiheuttamien kustannusten perusteella. Tätä näkökulmaa on mahdollista tarkastella täydentävillä laskelmilla esimerkkikohteissa.

Selvityksessä tuotettu tieto on hyödynnettävissä ennen kaikkea alueen kehittämiseen osallistuvien tahojen välisessä vuoropuhelussa. Laadittu selvitys antaa kattavan kuvan kaukoenergiaverkkojen toteutustapojen ja -laajuuksien vaikutuksista niiden investointi- ja elinkaarikustannuksiin Savilahdessa. Tehdyllä skenaarioanalyysillä voitiin myös osoittaa, että eri muuttujat ja epävarmuustekijät, kuten rakentamismääräykset, rakentamisen määrä ja oletukset kaukolämpöverkkoon liittymisasteesta, eivät paikallisen energiaoperaattorin näkökulmasta muuta kannattavuusasetelmaa perinteisen kaukolämpöverkon ja matalalämpöverkon välillä.