

Energiaväylä

Sahanmäen energiaväylän siirtoverkoston mitoitus

Kari Kauppila
EnerSys CM Oy



Uudenmaan liitto
Nylands förbund

TECHVILLA



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kari Kauppila

22.2.2018

SAHANMÄEN ENERGIAVÄYLÄN SIIRTOVERKOSTO

1	ALKUSANAT	2
2	YLEISET LÄHTÖKOHDAT	2
3	KOKO JÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS	3
3.1	LÄMMÖN TUOTANTO.....	3
3.2	SIIRTOVERKOSTOT, YLEISTÄ.....	3
3.3	KULUTTAJALAITTEET	3
4	TARKASTELUALUEEN KULUTUS JA TUOTANTO	4
4.1	LÄMMITYSKUORMAT	4
4.2	LÄMMÖN TUOTANTO.....	5
5	ENERGIAVÄYLÄN SIIRTOVERKOSTO	6
5.1	YLEISTÄ	6
5.2	MITOITUKSEN LÄHTÖOLETTAMUKSET	7
5.3	ESIMERKKIALUEEN VERKOSTOMALLI	7
5.4	KANAVARAKENNE	10
6	ESIMERKKIALUEEN VERKOSTOMITOITUS MATALALÄMPÖTILAISENA ALUELÄMPÖVERKOSTONA	11
7	KUSTANNUSTARKASTELU	13
7.1	INVESTOINTIKUSTANNUKSET.....	13
7.2	SIIRTOVERKOSTON KÄYTTÖKUSTANNUKSET	14
7.3	SIIRTOVERKOSTOJEN KOKONAISKUSTANNUKSET	14
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	15

1 ALKUSANAT

Tässä työssä on käsitelty matalalämpötilaisen energiaväylän siirtoverkoston rakennetta ja mitoitusta kahden eri toteutus esimerkin avulla käyttäen mitoituksen pohjana valittujen todellisten kuluttajien sijainteja ja lämpökuormia.

Alkuperäinen mitoituslaskenta on tehty marraskuussa 2017 osittain puutteellisin lähtötiedoin ylijäämälämmön tuotantopään osalta. Tuotantopäästä on teetetty tämän jälkeen erillinen selvitys (Ylijäämälämmön talteenotto ja varastointi, Novox Oy, 2018), jonka tulokset on otettu huomioon tämän raportin tuloksissa.

Tämän tarkastelun laajuus on rajattu koskemaan pelkästään energiaväylän siirtoverkostoa. Energiaväylän muihin pääosiin on otettu kantaa siltä osin, kun ne liittyvät tämän työn painopistealueeseen.

2 YLEISET LÄHTÖKOHDAT

Energiaväylän ideana on hyödyntää ylijäämälämpövirtoja, joiden lämpötilataso on yleensä niin matala, että ylijäämälämpöä ei ole mahdollista hyödyntää rakennusten lämmityksessä sellaisenaan. Väliin tarvitaan tällöin lämpöpumppu, jota käyttäen matalalämpötilaisen lämpövirran avulla voidaan tuottaa korkeammassa lämpötilassa olevaa hyödyntämiskelpoista lämpöä. Lämpötilan nostamiseen tarvitaan mekaanista energiaa, jota saadaan käytännössä sähkömoottorin pyörittämästä kompressorista.

Tässä työssä on tarkasteltu ensisijaisesti hajautetun tuotannon periaatteen mukaista siirtoverkostoa, jossa talteen otettua ylijäämälämpöä siirretään hyvin matalassa lämpötilassa (lämpötilatason oletettu olevan luokkaa 25/10°C) siirtoverkoston kautta kuluttajien lämpöpumppukeskuksille, jossa lämpötila nostetaan hyödyntämiskelpoiselle tasolle. Energiaväylässä myös yksittäisillä kuluttajilla on mahdollisuus ajaa ylijäämälämpönsä takaisin väylään ja sitä kautta muiden kuluttajien käyttöön (tapaukset joissa ensisijaisen lämmönlähteen ylijäämälämmöstä on tiettyinä aikoina niukkuutta).

Toisena päävaihtoehtona on keskitetty järjestelmä, jossa lämmön tuotanto keskitetään ja lämpö jaetaan valmiiksi hyödyntämiskelpoisessa lämpötilassa, mutta normaalia kaukolämpöä matalammassa lämpötilassa kuluttajille, jolloin kysymyksessä on matalalämpötilainen aluelämpöverkko (lämpötilataso luokkaa +50..75°C). Ylijäämälämmön lämpötilatason nostamiseen hyödyntämiskelpoiselle tasolle tarvitaan tällöin keskitetty lämpöpumppulaitos. Tällaista matalalämpötilaista siirtoverkostoa on tarkasteltu suppeampana rinnakkaistarkasteluna.

Kummassakin järjestelmässä on omat etunsa ja rajoituksensa ja järjestelmän sopivuutta onkin tarkasteltava kulloinkin tapauskohtaisesti.

Kapasiteettia rajoittavaksi tekijäksi oli oletettu ensimmäisen mitoituskierron laskelmissa talteen otettavissa oleva hukkalämpöteho, jonka enimmäismääräksi oli oletettu 3,4 MW perustuen aikaisempiin selvityksiin. Tehdystä tuotantopään selvityksestä käy kuitenkin ilmi, että lämpöä on saatavissa talteen selvästi suuremmalla teholla käyttämällä suoraa poistokaasun lämmön talteenottoa. Menetelmä mahdollistaa myös aikaisemmin käytettyä olettamusta suuremman lämpötilaeron käyttämisen lämmön talteenotossa ja energiaväylässä, mikä mahdollistaa pienemmät putkidimensiot energiaväylän siirtoverkostossa.

3 KOKO JÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS

Tässä työssä rajaudutaan siirtoverkkostoon, joten koko järjestelmää on käsitelty hyvin karkealla ja alustavalla tasolla.

Energiaväylä käsittää periaatteessa samat toiminnot ja pääosat kuin perinteinen kaukolämpöjärjestelmä. Peruserona on se, että osa lämmön tuotannosta tapahtuu asiakaskiinteistöjen yhteydessä lämpöpumppulaitteilla.

Seuraavassa on käyty läpi lyhyesti järjestelmän pääosat ja erot kaukolämpöön.

3.1 Lämmön tuotanto

Energiaväylään on tarkoitus syöttää matalalämpötilaista peruslämpöä, joka muutetaan hyödyntämiskelpoiseen korkeampaan lämpötilaan kuluttajien kiinteistöjen lämpöpumppulaitoksilla.

Tässä tapauksessa peruslämpö on tarkoitus ottaa talteen paikallisen lasivillatehtaan prosessin poistokaasupesurin esipuhdistetusta kiertovedestä. Lämmön talteenotosta on laadittu edellä mainittu erillinen selvitys. Lämmön tuotantopäätä on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.2.

3.2 Siirtoverkotot, yleistä

Siirtoverkotot ovat perusmuodossaan kaksiputkisia, mutta eri järjestelmissä siirrossa käytetyt lämpötilaerot poikkeavat toisistaan merkittävästi, mikä vaikuttaa suoraan siirtoverkostojen putkidimensioiden mitoituksiin:

- 1) Perinteinen kaukolämpöverkosto, mitoituslämpötila meno/paluu 115/55 °C, jolloin lämmön siirrossa on käytettävissä jopa 60 K lämpötilaero,
- 2) Matalalämpötilainen aluelämpöverkosto, jota käytetään esimerkiksi lämpöpumppulaitosten yhteydessä, mitoitus tapauskohtainen, tässä tapauksessa voisi olla esimerkiksi +75/45°C, jolloin lämmönsiirrossa käytettävä lämpötilaero on noin puolet kaukolämmöstä ja maksimivirtaama vastaavasti kaksinkertainen (lisätietoa kohdassa 6).
- 3) Energiaväylä, mitoitus tapauskohtainen riippuen lämmön talteenotto-prosessin ehdoista, tässä tapauksessa oletus +25/10°C, jolloin virtaama kasvaa edelleen ottaen kuitenkin huomioon sen, että osa lämmöstä syntyy kuluttajien päässä lämpöpumppujen kompressorien sähkön muuntuessa lämmöksi.

3.3 Kuluttajalaitteet

Kaukolämmön kuluttajalaitteet muodostuvat lämmönjako- ja mittauskeskuksesta. Ytimen muodostavat lämmönsiirtimet, joissa ensiöpuolen kuuma (kuluttajapäässä max.115°C) ja korkeapaineinen kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä huomattavasti matalammassa lämpötilassa ja paineessa toimivaan kuluttajan lämmityspiiriin. Lämmönsiirtimiä on aina vähintään 2 kpl – lämmitykselle ja käyttövedelle, suuremmissa rakennuksissa voi olla useampia, esim. patteripiirille ja ilmanvaihtopiirille omansa. Myös rakennusten sisäisten verkostojen lämpötilan pääsääntö tapahtuu kaukolämmön jakokeskuksessa.

Energiaväylässä kaikki nämä toiminnot on oletettu korvattavan kuluttajan päähän asennettavalla lämpöpumppukeskuksella, joka kytketään lähtökohtaisesti kaukolämmön talojohtoihin (talojohtojen mitoitus riittävyys varmistettava). Kaukolämmönsiirtimet kuitenkin pääsääntöisesti ohitetaan lämpötilatason alentamiseksi.

4 TARKASTELUALUEEN KULUTUS JA TUOTANTO

Tarkasteltavan järjestelmän piiriin on oletettu liitettävän tässä tarkastelussa noin 7 teollisuusrakennuksen tyyppistä rakennusta, joiden yhteenlaskettu lämpökuorma on noin 14 GWh/v sääkorjattuna. Kaukolämmön kulutustietoihin perustuvat, sääkorjatut kulutukset on esitetty taulukossa 1. Kuluttajat on nimetty verkostohaaran /liityntäpisteen mukaan (kuva 3).

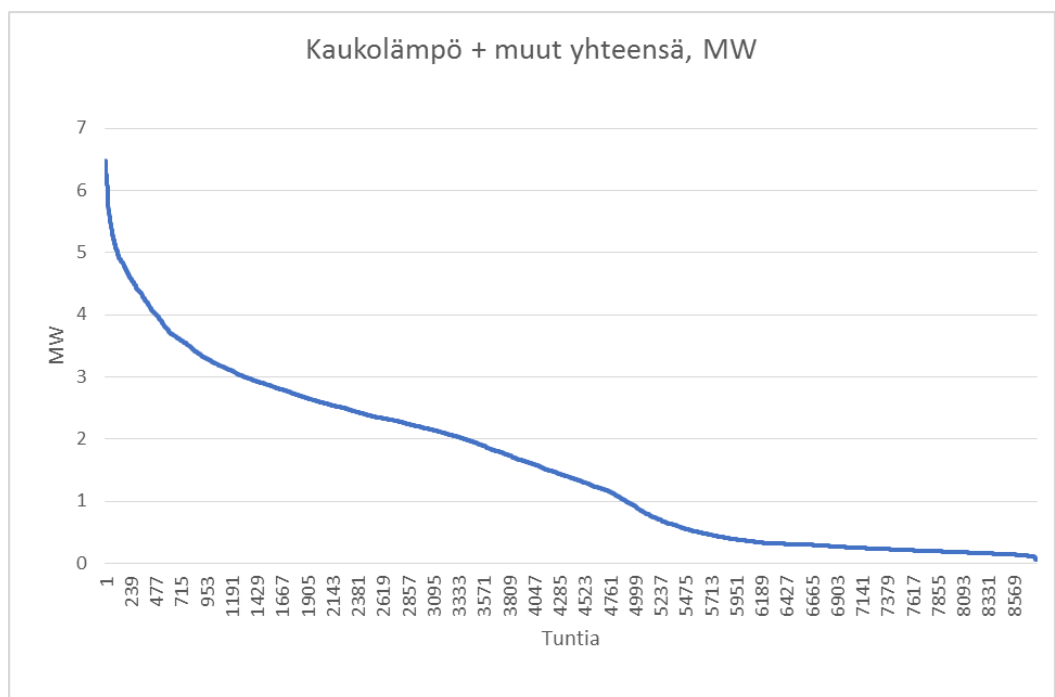
Taulukko 1 Verkoston piiriin lasketut kuluttajat

Nro	Kuluttaja/ Liityntäpiste	KL kulutus MWh/v	Myös maakaasu- lämmitystä
1	B1	1129	
2	B2	3200	x
3	A4	3789	x
4	C4	3116	x
5	A5	1624	
6	A6	661	
7	A7	664	x
	Yht./kesk.	14183	

Hyvinkään kaupungin karttapalvelun johtokarttojen mukaan osalla kuluttajista on myös maakaasuliittymä, mutta prosessilämmön ym. tuotantoon käytettävää maakaasua oletetaan voitavan korvata energiaväylän lämmöllä. Maakaasua oletetaan kuitenkin voitavan jatkossa käyttää myös lämmityksen huippukuorman ajoon.

4.1 Lämmityskuormat

Tarkastelukohteiden lämmityskuormien jakaumista on laadittu erikseen tuntisarjoja, joiden perusteella on muodostettu laskennassa käytetty kokonaiskuormajakauma (pysyvyyskäyrä kuva 1, laatinut Jukka Korri). Huipputehon tarve on maksimissaan noin 6,5 MW ja kesäajan minimiteho alle 200 kW.



Kuva 1 Kuluttajien yhteinen lämmön tarpeen pysyvyyskäyrä (laatinut Jukka Korri)

4.2 Lämmön tuotanto

Tuotantopään selvityksen mukaan tuotannosta on saatavissa ylijäämälämpöä käyttöaikana jopa noin 6 MW, kun lämmön talteenottolaitoksen lämmönsiirtimille ajettavan veden lämpötila on korkeintaan 10°C. Laskentatilanteessa vesi lämpiäisi prosessikaasun avulla 22°C lämpötilaan.

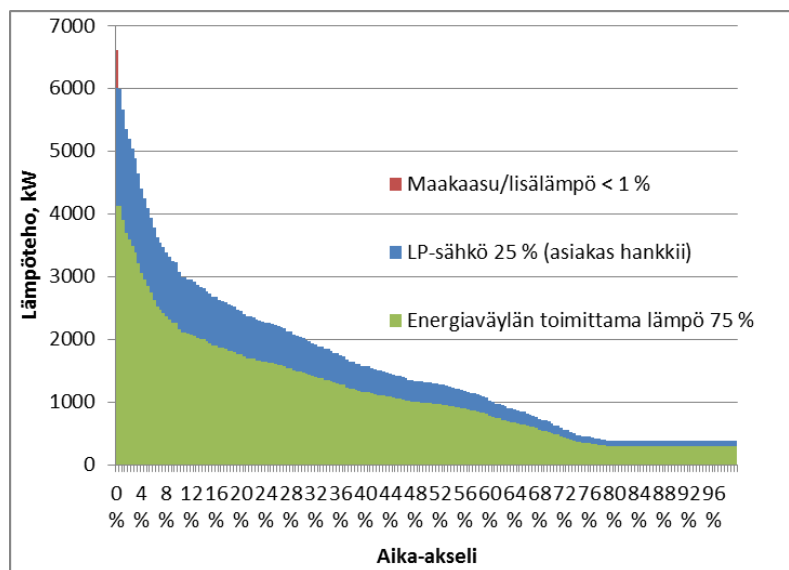
Lämmön talteenoton tehoksi riittää kuitenkin maksimissaan noin 4 MW, jolloin vastavirtalämmönsiirron hyödyntäminen mahdollistaa pienemmällä teholla korkeamman lähtölämpötilan, esimerkiksi noin +25°C talvellakin, jolloin vettä on varaa huippukuormatilanteessa jäähdyttää (kuluttajien lämpöpumppukeskuksilla) hiukan ensimmäisellä laskentakierroksella käytettyä olettamusta enemmän. Siirtoverkoston mitoituksessa käytettävää lämpötilaeroa voidaan näillä perusteilla kasvattaa noin 15 asteeseen (aikaisemmin 10 astetta). Vaikka lämpötilaeroa kasvatetaan vain 5 astetta, suhteellinen lisäys on 50 %, jolloin virtaus pienenee kolmanneksella, mikä johtaa putkidimensioiden pienenemiseen.

Koska ylijäämälämmön tehosaanto on tehdyn tuotantopään selvityksen mukaan suurempi ja siirrossa käytetään suurempaa lämpötilaeroa, verkoston tehokapasiteettia voidaan hiukan lisätä, mitoittaa verkosto esimerkiksi 4 MW:n lämmönsiirtoteholle, vastaten noin 6 MW lämpöpumpputehoa (= kuluttajien lämpöpumppujen teho yhteenlaskettuna).

Lisälämmön määrä jää normaalissa käyttötilanteessa mitättömän pieneksi, mutta kasvaa ylijäämälämmön saannon rajoitustilanteissa (tehossa ja/tai lämpötilatasossa rajoituksia). Lisälämpöä ja varalämpöä voidaan periaatteessa tuottaa lyhytaikaisesti kaasuliittymän omaavien asiakkaiden kaasukattiloilla, jolloin energiaväylä voi kompensoida näille kaasiasiakkaille syntyneet lisäkustannukset.

Myös energiaväylän tuotantopäähän on hankittava kuitenkin riittävän edullista varakapasiteettia pitkäaikaisten seisokkien varalle.

Kuvan 2 periaatteellisessa pysyvyyssäyrässä on esitetty lämmön hankinnan jakautuminen vuositason tilanteessa, jossa energiaväylän lämmön käytettävyyden oletettu 100 prosenttiseksi. Vihreä alue edustaa energiaväylän kautta siirrettyä lämpöä, sininen lämpöpumppujen käyttöenergiaa (oletettu asiakkaan hankkimaksi) ja punainen maakaasulla tehtyä lisälämpöä.



Kuva 2 Asiakkaiden käyttämän lämmön hankinnan jakautuminen

5 ENERGIÄVÄYLÄN SIIRTOVERKOSTO

5.1 Yleistä

Siirtoverkoston materiaalivaatimukset määräytyvät pitkälti lämpötilatason perusteella ja dimensiot taas lämmönsiirrossa käytettävän lämpötilaeron mukaan.

Sekä lämpötilatasot sekä lämmönsiirrossa käytettävissä oleva lämpötilaero määräytyvät pitkälti ylijäämälämmön lähteen ja muiden tuotantopään vaatimusten ja reunaehtojen mukaan, kuten tässäkin tapauksessa. Asiakaslaitteilla saadaan kuitenkin aikaan verkoston jäähtymä, joten asiakkaiden lämpöpumppukeskukset tulee suunnitella ja niitä tulee käyttää siten, että niillä saadaan aikaan kulloinkin haluttu jäähtymä. Siirtoverkon käytöstä vastaavan operaattorin tulee säätää pääpumppausta kulloinkin siten, että halutun jäähtymän aikaan saamiseksi tarvittava virtaus. Kun kysymyksessä on lämpöpumppuun perustuvat laitteet, käyttöteknisesti on edullisempaa säätää virtausta mieluummin yläkanttiin kuin yrittää minimoida, koska lämpöpumput toimivat tällöin paremmalla hyötysuhteella.

Lämpöpumppujen kannalta lämmönlähteen lämpötilatasoa pitäisi nostaa talvella, koska lämpöpumpuista saataisiin enemmän tehoa paremmalla hyötysuhteella. Lämmön talteenoton kannalta tilanne on taas päinvastainen, joten käytännössä energiaväylän lämpötilatasot laskevat hieman talvella.

Matalat lämpötilatasot antavat mahdollisuuden käyttää siirtoverkoston materiaalina PE-muoviputkea, johon perustuva siirtokanava on vastaavan kokoisena selvästi perinteistä teräksistä kaukolämpökanavaa edullisempaa rakentaa. Suuret muoviputket liitetään yhteen käytännössä aina ns. puskuhitsuksella, jossa tasaiseksi höylätyt putken päät liitetään yhteen sulattamalla ja puristamalla sen jälkeen ne yhteen. Asennustyö on nopeaa ja oikein tehty liitos vastaa lujuudeltaan ehjää muoviputkea, joka on mekaanisesti erittäin lujaa.

Matalat lämpötilatasot ja muoviputki mahdollistavat myös edullisen eristämisen käyttäen joko styrox-kourua tai joissakin tapauksessa käyttäen jopa kevytsoraa (kohta 5.4).

Mikäli verkoston materiaalina käytetään PE-putkea, suurin jatkuva käyttölämpötila saa olla +45°C, mutta lyhytaikaiset reilutkin ylitykset ovat mahdollisia. Putkistoa suunniteltaessa on otettava huomioon PEH-materiaalin suuri lämpölaajenemiskerroin (15 x teräs).

Mikäli verkoston lämpötilataso on PE-muoviputken käyttöalueen yläpuolella, suurissa MW-luokan järjestelmissä vaihtoehdoksi jää käytännössä perinteinen teräsputkikanava.

Sen sijaan pienemmissä matalalämpöverkoissa, joissa käyttölämpötila on maksimissaan +75°C, on mahdollista käyttää myös diffuusiosuojattua PEX-muoviputkielementtiä, jonka asentaminen tulee pienemmissä teholuokissa usein teräsputkea edullisemmaksi. Matalalämpöverkostoissa maksimilämpötila kannattaa pyrkiä rajoittamaan mainittuun 75-asteen lämpötilaan, jotta esimerkiksi talojohdoissa olisi mahdollista käyttää PEX-muoviputkielementtejä.

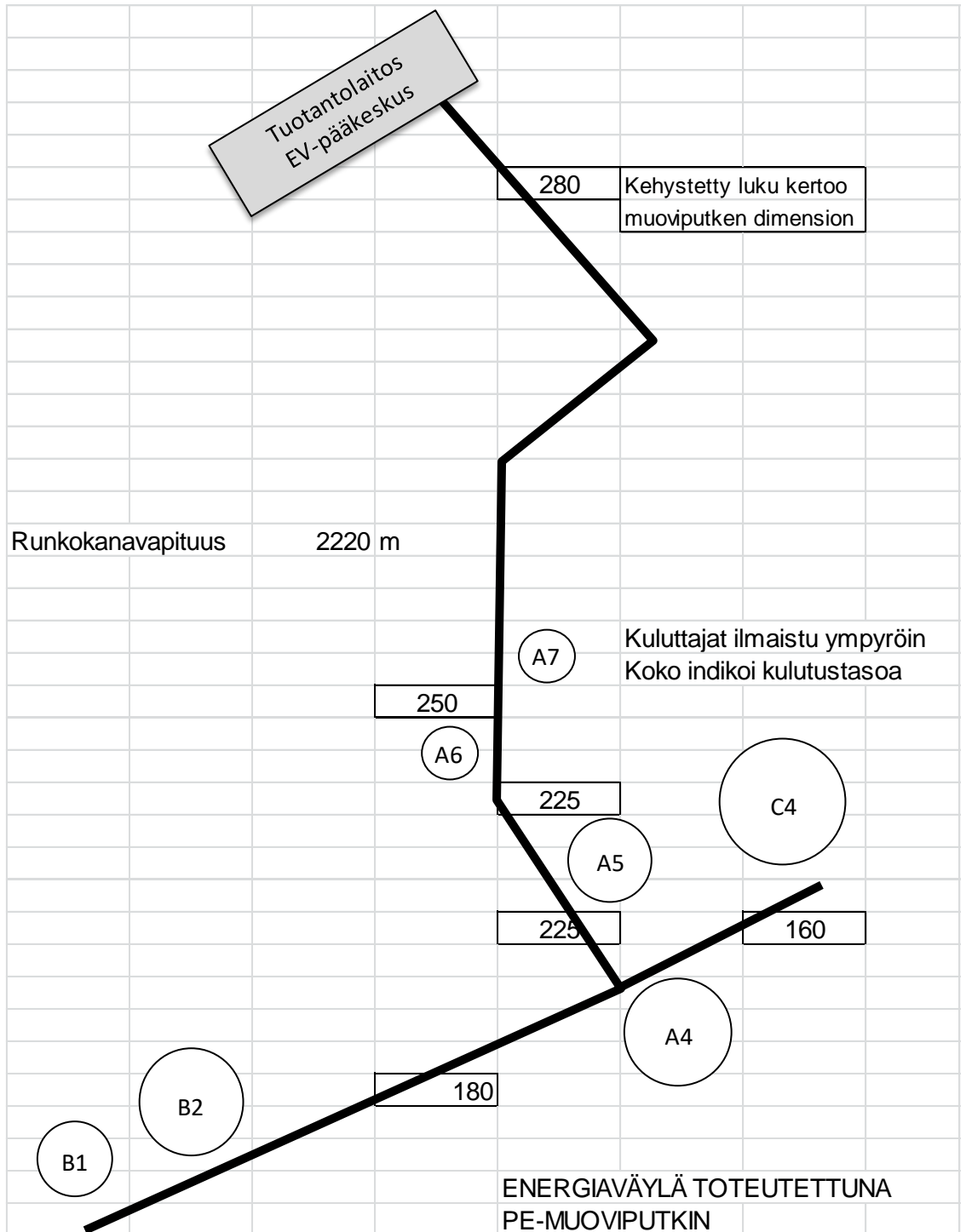
5.2 Mitoituksen lähtöolettamukset

Siirtoverkoston mitoitusjäähdytymäksi on oletettu edellä mainittu 15 astetta ja lämpötilatason pysyvän PE-putken käyttöalueella. Mitoitustilanteen kokonaispainehäviö mitoitetaan laajuudeltaan suppeissa aluelämpöverkoissa suhteellisen pieneksi, jolloin maksimivirtaamat pysyvät järkevissä rajoissa, tässä tapauksessa siirtoverkoston kokonaispainehäviössä pyritään alustavasti noin 100 kPa/suunta tasolle.

Siirtoverkoston pumppaus on käytännössä keskitettävä peruslämmön tuotantopaikalle ja pumppausta säädettävä siten, että kauimmaisella kuluttajalla on käytössään riittävä, noin 50 kPa:n paine-ero. Mitoitus on tehty tässä vaiheessa suhteellisen väljäksi, joten myös lisäkuorman liittäminen on mahdollista tietyin rajoin.

5.3 Esimerkkialueen verkostomalli

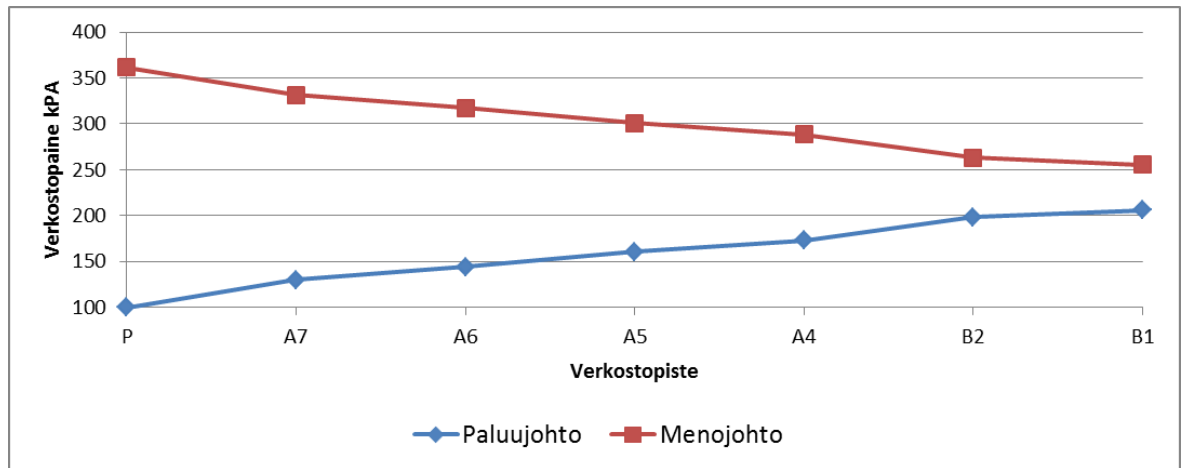
Energiaväylän siirtoverkoston mitoitusta varten on muodostettu kuvan 3 mukainen verkostomalli, johon on merkitty liitettävät kuluttajat ympyröillä, joiden pinta-ala kuvaa lämpökuorman suhteellista suuruutta. Runkokanavapituudeksi on laskettu 2200 m ja kokonaispituudeksi kiinteistöjen liityntäjohdot mukaan lukien noin 2500 m. Kuvaan on laskettu runkoputkien alustavat dimensiot PE-muoviputkien standardimitoilla (neliön sisällä oleva luku, esim. 280 tarkoittaa ulkohalkaisijaltaan 280 mm PE-putkea). Putkena on käytetty SDR 17 luokan putkia (SDR-luokka kertoo halkaisijan suhteen seinämän paksuuteen), joiden paineluokka on yleensä 10 bar.



Kuva 3 Alueverkoston mitoituslaskentaa varten muodostettu verkkomalli, ympyrät kuvaavat kuluttajia ja kehystetyt luvut kullekin osuudelle laskettua putkidimensiota.

Kun verkoston kauimmaisen kuluttajan käyttöön varataan 50 kPa paine-ero, kyseinen mitoitus johtaa maksimissaan noin 260 kPa ulkoiseen nostokorkeuden tarpeeseen ja 15 K lämpötilaerolla syntyvä virtaama on tällöin maksimissaan noin 64 l/s ja pumppaustehon tarve 25 kW.

Painehäviödiagrammista tulee tällöin kuvan mukainen.



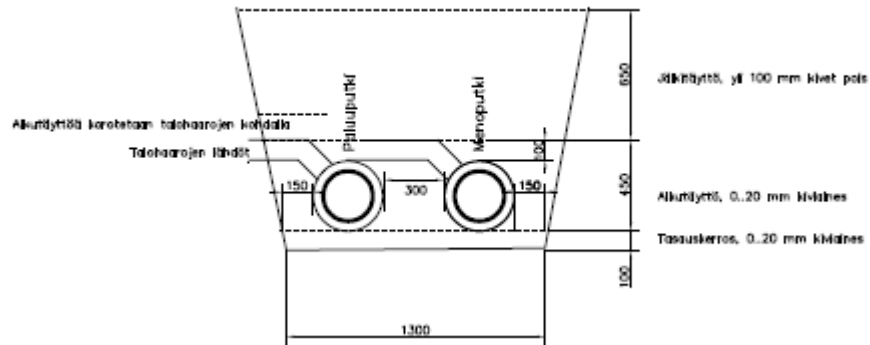
Kuva 4 Valittuja putkikokoja vastaava painediagrammi, jonka mukaan sekä meno- että paluuputkessa syntyy noin 100 kPa suuruinen painehäviö ja kauimmaisen kuluttajan käyttöön varataan 50 kPa paine-ero. Vaaka-akselille merkitty kutakin kuluttajaa vastaavat solmupisteet.

Virtaamaa ja pumppaustehoa kannattaa säätää tarpeen mukaan muistaen, että pumppauksen energian kulutus pienenee verrannollisena pumpun kierrosluvun muutoksen (käytännössä virtaaman) kolmanteen potenssiin:

$$P_1/P_1 = (N_1/N_0)^3$$

5.4 Kanavarakenne

Verkstorakenteen oletetaan vastaavan pääpiirteiltään muoviputkiverkoston rakennetta, mutta erona on poikkeava lämpötilataso ja suuremmat lämpötilavaihtelut. Lähimmät mallit löytynevät suurten maalämpöjärjestelmien kaivokenttien runkoputkistoista, joiden lämpötilatasot ovat varsinkin jäähdytyksen lauhdelämmön ajossa samaa luokkaa. Esimerkki kanavarakenteesta on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5 Esimerkki muoviputkiverkoston kanavarakenteesta esitettynä PEH 250-putkilla, joiden päällä on noin 50 mm styrox-eriste.

Koska ylijäämälämmön oletetaan olevan hyvin edullista ja lämpötilatasot ovat matalat, kanavan eristystason ei tarvitse vastata lähimainkaan perinteisen kaukolämpökanavan eristystasoa, vaan suuruusluokaltaan 50 mm styrox-eriste riittää lämpöhäviöiden pysymiseen normaalin kaukolämpökanaalin tasolla, jopa alle. Jossain tapauksissa muoviputkikanavien eristeenä tai lisäeristeenä on käytetty jopa kevytsoraa, tätäkin kannattaa selvittää.

Eristämisen vaikutus investointiin on melko suuri, joten optimaalisen eristystason ja eristysrakenteen suunnitteluun kannattaa panostaa jonkin verran jatkokehitystyötä.

Talohaarat voidaan ottaa kaukolämmön tapaan vinosti yli käyttäen tehdasvalmiita T-haara ja kulmakappaleita.

Muoviputken suuren lämpölaajenemisen vuoksi runkokanavaan tarvitaan kiintopisteitä kohtiin, joissa lämpöliike on hallittava kuten esimerkiksi talohaarojen lähtöjen paikat, joiden liitoskohdissa ei saa esiintyä lämpöliikettä.

Putkien asennussyvyyteen vaikuttaa mm. kanavan yläpuolisen alueen painokuormat, joten putket joudutaan asentamaan liikennealueilla syvemmälle (tai käyttämään vahvistuskantta) ja putket voidaan asentaa melko pintaan liikennöimättömillä alueilla.

Maanrakennustöissä voidaan noudattaa aivan samoja periaatteita kuin kunnallisteknisten putkistojen asennuksessa eli putkia varten rakennetaan ensin tasainen kova hiekkapeti, jonka päälle putket asennetaan ja tuetaan paikalleen huolellisen alkutyöntö avulla. Lopputyössä voi käyttää yleensä kaivumaata, josta kannattaa poistaa suurimmat kiinteät partikkelit, kivet ym.

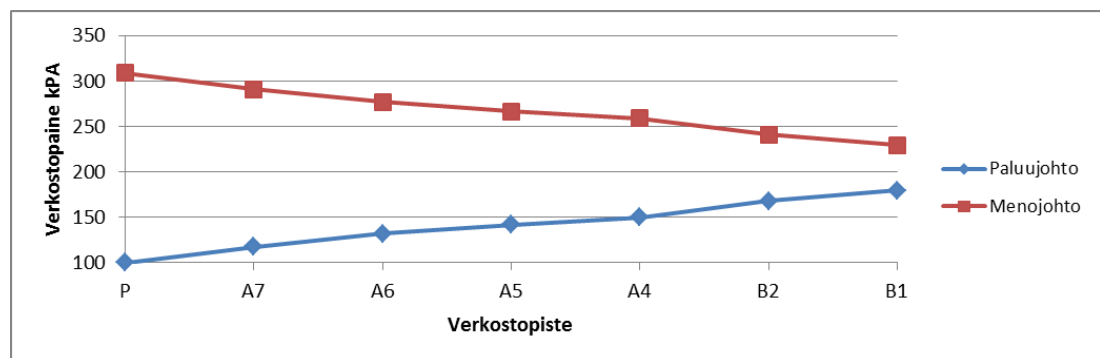
Muoviputkiverkoston painekokeissa on omat erityiskäytäntönsä, joita kannattaa noudattaa. Painekokeet on tehtävä erityisellä huolella, jotta mahdolliset epäonnistuneet liitokset paljastuvat. Hyvin tehtynä muoviputken hitsausliitos vastaa ehjää putkea, jolloin putkisto on erittäin kestävä.

6 ESIMERKKIALUEEN VERKOSTOMITOITUS MATALALÄMPÖTILAISENA ALUELÄMPÖVERKOSTONA

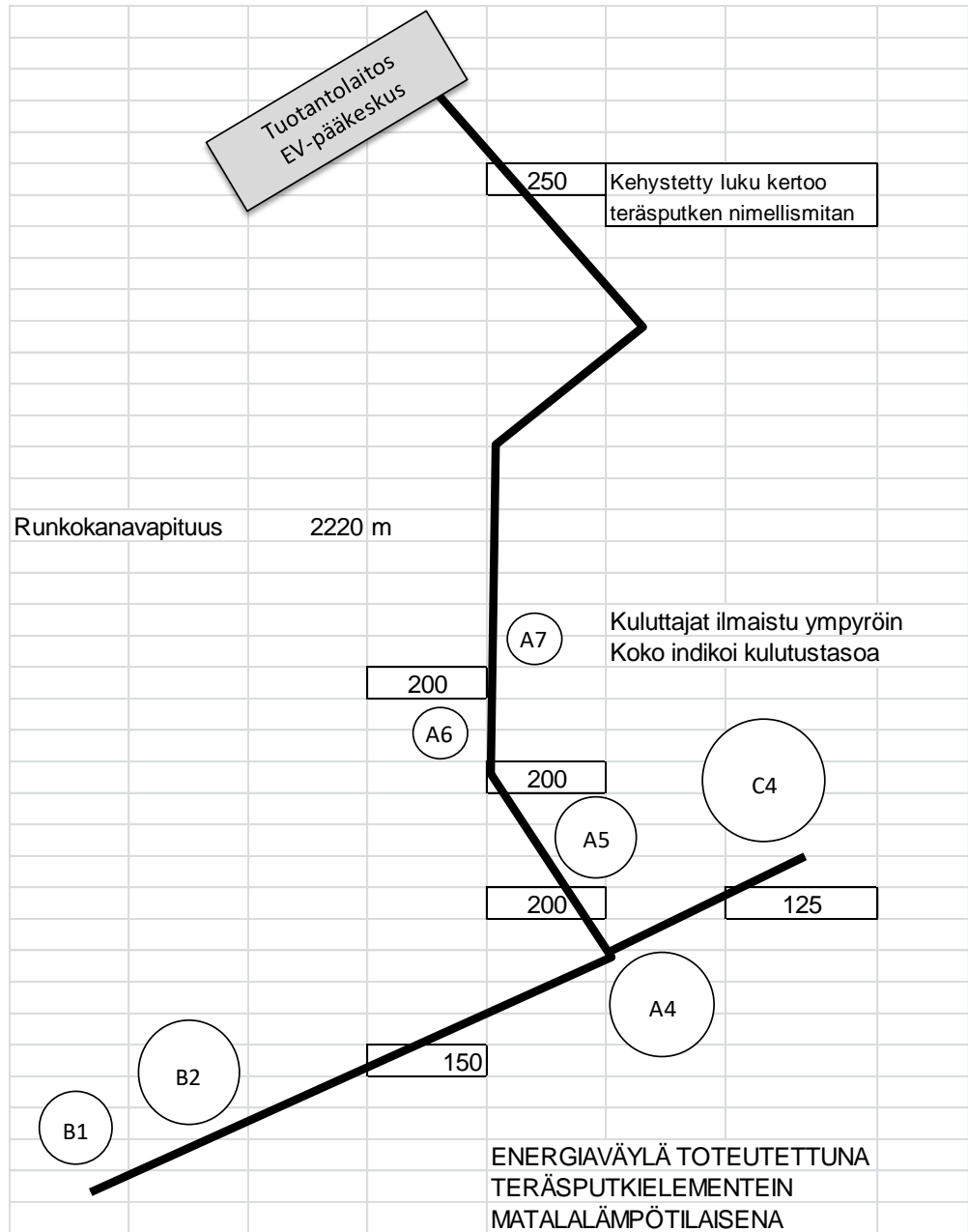
Samoille kuluttajille on tehty vertailun vuoksi mitoituslaskenta perustuen keskitettyyn lämmön tuotantoon ja matalalämpötilaiseen aluelämpöverkoston. Käytetyt olettamukset ovat seuraavat:

- Kaikki lämpö tuotetaan ylijäämälämmön talteenotto paikalla oletuksena keskitetty lämpöpumppulaitos ja sen yhteydessä oleva huippukuormalaitos.
- Lämpötilatasoksi oletettu menovesi maks. 75°C, jolloin talojohdoissa on mahdollista käyttää PEX-muoviputkea. Paluulämpötilaksi oletetaan +45°C, koska vanhoilla verkostoilla ei päästäne alempaan paluulämpötilaan. Mitoittavaksi lämpötilaeroksi tulee tällöin 30 astetta.
- Huomattakoon, että kuluttajien lämmönsiirtimet on mitoitettu pääsääntöisesti 115°C kaukolämmön menovedelle, joten lämmönsiirtimet on ohitettava tai vaihdettava merkittävästi tehokkaampiin, noin 5 K asteisuudella toimiviin siirtimiin.

Verkoston painehäviödiagrammi muodostuu käytetyin olettamuksin kuvan 6 mukaiseksi ja putkikoot kuvan 7 mukaisiksi. 30 K lämpötilaerolla syntyvä virtaama on tällöin maksimissaan noin 52 l/s ja pumppaustehon tarve luokkaa 20 kW.



Kuva 6 Aluelämpöverkon putkiston painehäviödiagrammi



Kuva 7 Matalalämpötilaiselle teräsputkiverkostolle laskettu verkostomalli putkidimensioineen

7 KUSTANNUSTARKASTELU

7.1 Investointikustannukset

Mallinnetuille siirtoverkostoille on arvioitu investointikustannukset seuraavin perustein.

- Urakat on jaettu putkiurakkaan ja maanrakennusurakkaan, maanrakennusurakan hinnoissa ei oleta olevan eroja
- Maanrakennusurakan hintataso on kysytty maanrakennusliikkeeltä vastaten kuvan 5 mukaista kanavarakennetta
- Muoviputkiurakan hinta-arvio perustuu suurten maalämpöjärjestelmien runkoputkistojen kilpailutuksen kautta saatuihin urakkahintoihin
- Teräsputkiverkoston hinta perustuu tiedossa oleviin putkimateriaalihintoihin ja tietoihin kaukolämpökanavan kokonaishinnoista. Kaukolämpökanavan hintataso kysytty myös maanrakennusliikkeeltä

Investointiarviot on esitetty seuraavassa taulukossa 2

Taul 2		Investointiarviot kanavatyypeittäin		
Osa			Muoviputki € alv 0	Teräsputki € alv 0
Putkiurakka			250000	450000
Lämmönsiirtoliuos			50000	
Maanrakennusurakka			400000	400000
Yhteensä			700000	850000
			288	350
			€/m-kanava	€/m-kanava

Muoviputkikanava tulee hiukan edullisemmaksi suuremmasta dimensiosta huolimatta edullisemmän putkilaadun ja putkiasennustyön pienemmän määrän vuoksi.

Teräsputkiverkoston hinta vastaa normaalin DN150 kaukolämpökanavan nykyhintatasoa.

Muoviputkiverkoston mitoituksessa käytetyn lämpötilaeron nostaminen 10 asteesta 15 asteeseen on mahdollistanut koko verkoston putkidimensioiden pienentämisen yhdellä portaalla, jolloin putkimateriaalin halpeneminen on pienentänyt putkiurakan kustannusta 50 000 eurolla verrattuna ensimmäiseen mitoituskierrökseen.

7.2 Siirtoverkoston käyttökustannukset

Verkoston käyttökustannukset muodostuvat lämpöhäviö- ja pumppauskustannuksista. Kummatkin ovat tässä tapauksessa hyvin pienet. PEH-putkiverkoston kokonaislämpöhäviö on laskelman mukaisella kanavarakenteella luokkaa 300 MWh/v ja matalalämpötilaisen aluelämpöverkoston noin 500 MWh/v.

Verkostomitoitukset ovat melko väljät, joten myös pumppauskustannukset jäävät pieniksi. Pumppaussähköä kuluu kummassakin vaihtoehdossa luokkaa 100 MWh/v.

Siirtoverkoston kokonaiskustannukset on koottu taulukkoon 3.

7.3 Siirtoverkostojen kokonaiskustannukset

Taulukkoon 3 on koottu käytetyin olettamuksin lasketut siirtoverkostojen kokonaiskustannukset (ilman hallinnointi yms. kustannuksia). Laskelmissa käytetyt hinnat on esitetty taulukon lähtötiedoissa. Taulukon mukaisesti pääomakustannukset muodostavat selvästi suurimman kustannuserän. Vuotuiset pääomakustannukset on laskettu annuiteettitekijällä 3 %/15 v. Pääomakustannuksia arvioitaessa on hyvä ottaa tietää, että jakeluverkostojen todellinen käyttöikä on huomattavasti pitempi, teräspuutkiverkoston osalta luokkaa 30 - 50 v ja muovipuutkiverkoston osalta jopa pitempi. Lisäksi muovipuutkiverkosto on oikein tehtynä täysin huoltovapaa.

Taulukko 3	Kustannuskoonti				
			Muovipuutki- verkosto	Teräspuutki- verkosto	
Lähtötiedot					
Siirretty energiamäärä		MWh/v	14183	11031	
Verkostoinvestointi		€	700000	850000	
Investoinnin annuiteetti	3,0 %	15	€/v	58637	71202
Pumppaussähkön tarve		MWh/v	100	70	
Pumppaussähkön hinta		€/MWh	100	100	
Lämpöhäviön suuruus		MWh/v	300	500	
Häviölämmön tuotantokustannus		€/MWh	5	25	
Muuttuvat kustannukset					
Pumppauskustannukset		€/v	10000	7000	
Lämpöhäviöt		€/v	1500	12500	
Siirtoverkoston käyttökustannukset		€/v	11500	19500	
		€/MWh	0,81	1,77	
Pääomakustannukset		€/v	58637	71202	
		€/MWh	4,13	6,45	
Siirron kustannukset yhteensä		€/v	70137	90702	
		€/MWh	4,95	8,22	

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä mitoitettiin energiaväylätyyppiseen käyttöön sopiva PE-muoviputkiverkosto ja matalalämpötilaisen aluelämmön siirtoon sopiva teräsputkiverkosto, johon on liitetty 7 suurehkoa teollisuuskuluttajaa (yhteinen lämmön tarve n. 14 GWh/v). Siirtoetäisyyttä ylijäämälämmön synty paikalta lähimmälle kuluttajalle tulee noin 700 m ja runkokanavan kokonaispituus on noin 2,2 km.

Verkostoille tulee hintaa käytetyin olettamuksin nykyhintatasolla (alv 0)

- Muoviputkiverkosto 700 000 € (290 €/kanavametri)
- Matalalämpötilainen teräsputkiverkosto 850 000 € (350 €/kanavametri)

Tehtyjen olettamusten mukaan käyttökustannukset jäävät hyvin edullisiksi 10000 – 20000 €/v, koska sekä lämpöhäviöt että pumppaustarve jäävät pieniksi.

Verkostoa ja kokonaisuutta on mahdollista optimoida seuraavin tavoin:

- Mitoituslaskenta on tehty melko väljän putkiston pohjalta, jolloin mitoitusta tiukentamalla investointikustannuksia voidaan alentaa 5 - 10 %, tosin kasvuvaraa ei tällöin ole ja pumppauskustannukset nousevat hiukan.
- Keskitettyyn lämpöpumppuun perustuvan kokonaiskonseptin osalta lämpöpumppulaitos voi olla mahdollista siirtää lähemmäs kuluttajia, jolloin siirtolinja ylijäämälämmön lähteeltä voidaan rakentaa edullisemmalla muoviputkella. Toisaalta muut kustannukset saattavat nousta, jos laitos irrotetaan teollisuusinfrastruktuurista (mm. sähkön syötön järjestämisen kustannukset).
- Teräsputkiston dimensioita on mahdollisuus pienentää edelleen, jos osa huippulämmöstä tuotetaan asiakkaiden omilla maakaasukattiloilla.
- Muoviputkiverkoston osalta lämpöhäviökustannus on minimaalinen ottaen huomioon ylijäämälämmön edullisen hinnan. Eristystasosta on mahdollista jopa tinkiä edelleen, mikäli tällä saavutetaan selvää säästöä rakentamiskustannuksissa. Juuri tällaista käyttötarkoitusta varten ei liene suunniteltu aikaisemmin optimaalista kanavarakennetta, joten kanavarakenteen suunnitteluun ja optimointiin kannattaa käyttää hiukan panoksia.