

Energiaväylä

Pienen aluelämpöverkon hyödyntäminen
matalalämpöisenä sekä lämmönlähteiden ja
säästöjen tarkastelu

OSA 2 KOHDETARKASTELU

Kari Kauppila
EnerSys CM Oy

Toukokuu 2018

Kari Kauppila

17.5.2018/5.6.2018

SISÄLLYSLUETTELO

1	ALKUSANAT	2
2	TARKASTELUKOHTEN KUVAUS.....	3
2.1	KOHTEN YLEISKUVAUS JA TIEDOT	3
2.2	KOHTEN ERITYISLÄHTÖKOHDAT	4
2.2.1	Verkon nykyiset lämpöhäviöt	4
2.2.2	Aluelämpöverkossa käytetyt lämpötilatasot.....	4
2.2.3	Lämpöhäviöiden jakautuminen	5
3	MAHDOLLISUUDET ALENTAA LÄMPÖTILATASOA	5
4	LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN KOHTEESSA	7
4.1	YLEISTÄ	7
4.2	LÄMMÖNLÄHTEET	7
4.2.1	Muuntamon hukkalämpö	7
4.2.2	Energiakaivot	8
4.2.3	Ulkoilma	8
4.3	LÄMPÖPUMPPUTEKNIikka	8
5	TARKASTELUVAIHTOEHTOJEN MÄÄRITTELEMINEN	9
5.1	VE 0A LÄMPÖTILATASOJEN ALENTAMINEN	9
5.2	VE 1 MAALÄMPÖPUMPPU	9
5.3	VE 2 LÄMMÖN TALTEENOTTO MUUNTAMOSTA.....	10
6	TALoustARKASTELU.....	12
6.1	INVESTOINTIARVIOT	12
6.2	KÄYTTÖKUSTANNUKSET	12
6.3	HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT.....	13
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	14

LIITTEET

- | | |
|---|--|
| 1 | Tarkastelukohteen aluelämpökartta |
| 2 | Eritelty talouslaskelma nykyhintatasolla |

1 ALKUSANAT

Tämä kohdekohtainen tarkastelu on tehty osana EnergiaVäylä-hankkeeseen liittyviä erillistarkasteluja.

Tämä osaraportti 2 sisältää annettuun esimerkkikohteeseen laaditun tarkastelun. Tämän lisäksi on laadittu erillinen raportti (osaraportti 1), jossa käsitellään yleisellä tasolla matalalämpötilaisia aluelämpöverkkoja ja lämpöpumpun hyödyntämistä niissä.

Kohdekohtainen tarkastelu on jouduttu suorittamaan rajallisen budjetin vuoksi suhteellisen pintapuolisesti tarkoituksena tuoda esiin toisaalta mahdollisuuksia ja toisaalta teknis-taloudellisia haasteita, jotka voidaan ratkaista mahdollisissa jatkokehityshankkeissa.

Tässä tarkastelussa rajoitutaan käsittelemään pelkästään lämpöpumpputekniikan mahdollisuuksia, koska kaukolämpöyhtiö on jo itse selvittänyt aikaisemmin muita vaihtoehtoja.

Tämän raporttiversiön 17.5.2018/5.6.2018 sivulla 14 olevan kohdan ”Yhteenveto ja johtopäätökset” viimeiseen kappaleeseen on lisätty erityismaininta aluemuuntamon hukkalämmön talteenoton potentiaalista, koska tämä asia kannattaa alustavien selvitysten perusteella noteerata mahdollisena jatkotutkimushankkeena.

2 TARKASTELUKOHTTEEN KUVAUS

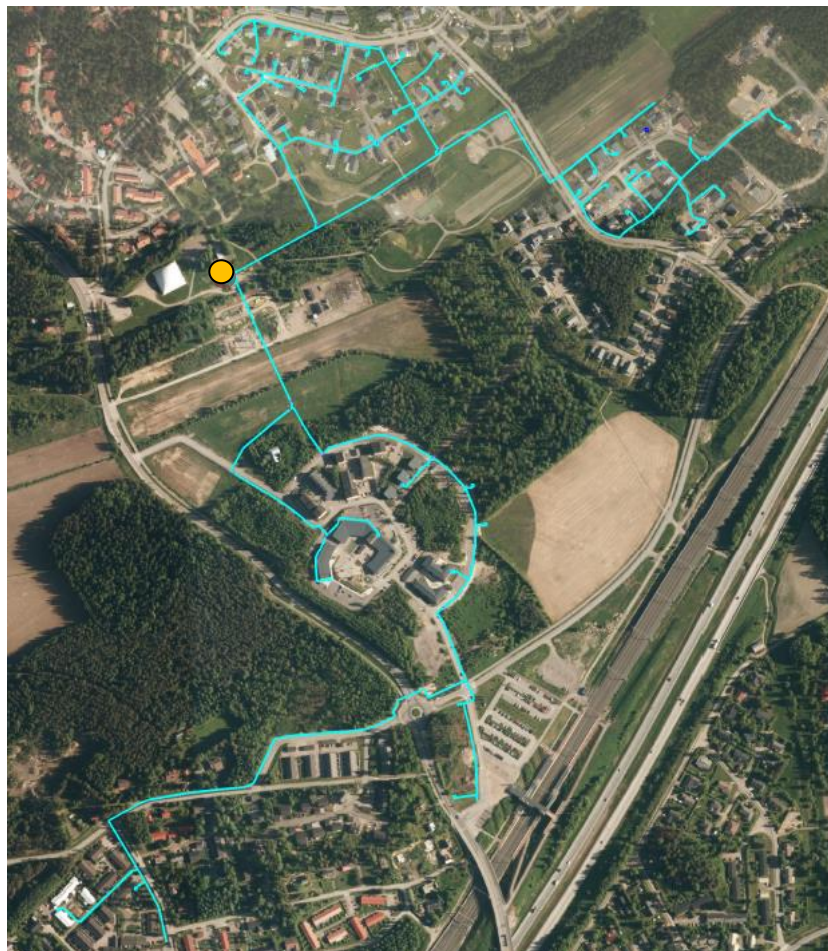
2.1 Kohteen yleiskuvaus ja tiedot

Tarkastelukohteena on Etelä-Suomessa sijaitseva 2010 – 2011 rakennettu pienehkö aluelämpöverkko, jota lämmitetään maakaasulla toimivalla lämpökeskuksella. Lämmön kokonaistoimitus verkkoon oli 2832 MWh vuonna 2017 sisältäen verkostohäviöt ja huipputeho noin 0,8 MW.

Verkon voi jakaa tarkastelumielessä kahteen haaraan, pohjoiseen ja eteläiseen, joiden keskellä sijaitsee maakaasulämpökeskus käsittäen 0,6 ja 1,4 MW kaasukattilat.

Pohjoinen haara käsittää käytännössä pelkkiä pientaloja (36 liittyjää), jotka sijaitsevat vielä suurehkolla, harvaan rakennetulla alueella. Pohjoishaaraan liitettyjen kuluttajien yhteenlasketuksi lämmön tarpeeksi on ilmoitettu noin 500 MWh/v. Kanavapituutta tulee talohaarat mukaan lukien noin 3400 m, joten verkon energiatiheys on hyvin pieni.

Eteläiseen haaraan on liitetty suurempia kuluttajia käsittäen pääosin asuntoyhtiöitä, kuluttajamääräksi on ilmoitettu 9 ja yhteenlasketuksi lämmön tarpeeksi 1000 - 1100 MWh/v. Kanavapituutta talohaarat mukaan lukien on noin 2500 m, joten verkon energiatiheys on merkittävästi suurempi kuin pohjoisella alueella, mutta silti matala verrattuna kaupunkien keskustoihin.



Kuva 1 Verkon yleiskuva, lämpökeskuksen paikka merkitty keltaisella ympyrällä

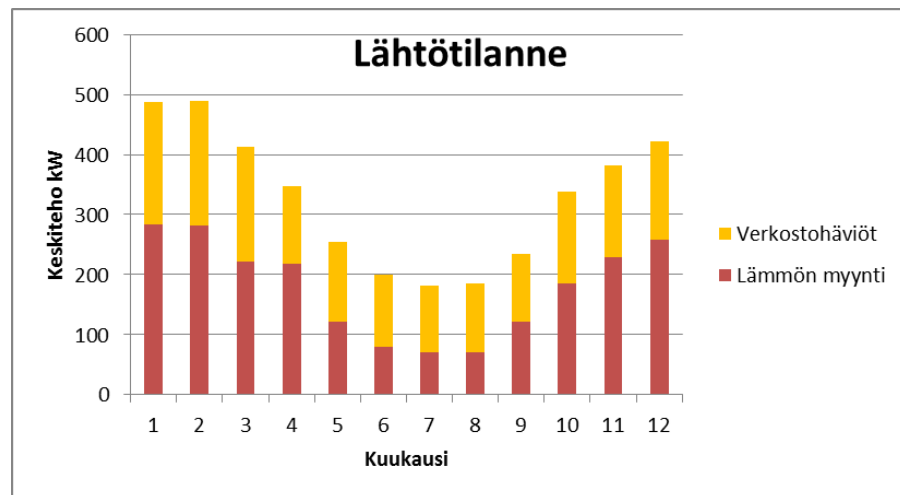
Muu osa kulutuksesta muodostuu verkostohäviöistä, joiden osuudeksi on ilmoitettu vuonna 2017 1275 MWh eli noin 45 % kokonaiskulutuksesta (kuva 2). Verkoston päärunkojen, varsinkin eteläisen runkolinjan mitoituksessa on otettu huomioon alueen kasvuvара ja mahdollinen liittäminen päätaajaman kaukolämpöverkkoon, mikä ei toistaiseksi ole ollut lämpöyhtiön selvitysten mukaan kannattavaa.

2.2 Kohteen erityislähtökohdat

Kohteen erityislähtökohdat liittyvät pieneen energiatihyteen ja siitä seuraaviin suhteellisen suuriin verkostohäviöihin. Pienet kuormat ja pitkät siirtoyhteydet aiheuttavat lisäksi merkittävän lämpötilan alenemisen siirtoverkossa varsinkin lämpökeskukselta kauimmaiselle kuluttajalle. Tämä pakottaa pitämään menoveden lähtölämpötilaa korkealla tasolla ja vaatii lisäksi erikoisjärjestelyjä riittävän virtaaman ylläpitämiseksi verkon kaikissa osissa (läpivirtauspisteet, lisätietoa jäljempänä).

2.2.1 Verkon nykyiset lämpöhäviöt

Verkoston ilmoitetut lämpöhäviöt olivat 2017 yhteensä 1275 MWh, joka on 45 % verkon koko tuotantotarpeesta. Suurissa kaukolämpöverkoissa häviöiden osuus on vain luokkaa 5..10 %, mutta häviöiden osuus kasvaa väkisin energiatihyden pienentyessä. Verkostohäviöiden osuus ja jakauma on esitetty kuvassa 2.

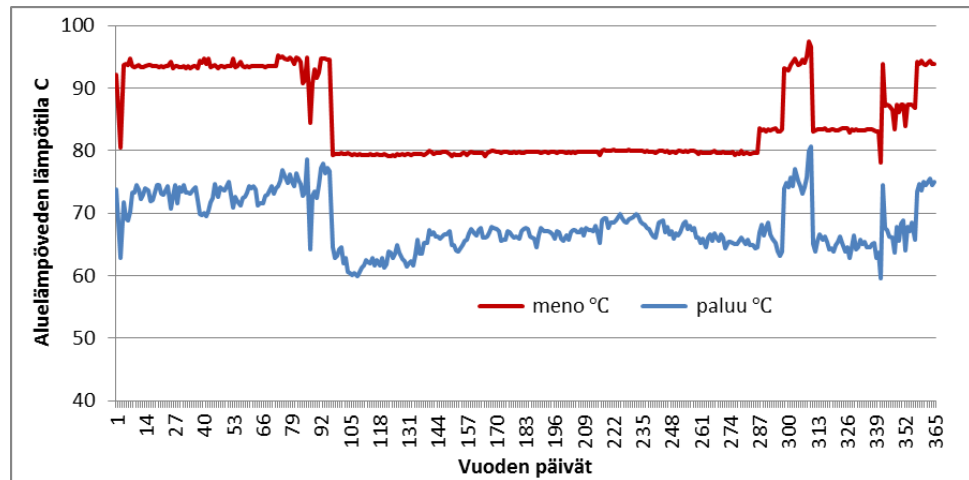


Kuva 2

Lämmön kokonaiskulutuksen jakauma v. 2017 esitettynä kuukausikeskitehoina. Häviöiden ilmoitettu jakauma noudattaa suunnilleen verkostolämpötilojen ja maan lämpötilojen eroa.

2.2.2 Aluelämpöverkossa käytetyt lämpötilatasot

Aluelämpöverkon menoveden lämpötilaa säädetään nykytilanteessa suoraan kattilalämpötilan avulla. Kattilalämpötilaa taas muutetaan käsin vuodenaikojen mukaan. Kuvassa 3 on esitetty toteutuneet lämpötilat lämpökeskukselta mitattuna:



Kuva 3 Aluelämpöverkon lämpötilatasot lämpökeskukselta mitattuna 2017

Lämpötilatasot ovat olleet melko korkeat, varsinkin menovesi kesäaikaan ja paluuveden lämpötila ympäri vuoden.

Korkean menoveden lämpötilan syynä on ollut ensinnäkin varautuminen menoveden lämpötilan suureen alenemaan lämpökeskukselta kauimmaiselle kuluttajalle ja toisaalta tarkan menoveden säätöautomatiikan puuttuminen.

Korkean paluulämpötilan syynä on verkon säätämättömät läpijuoksutukset, joiden avulla pyritään varmistamaan riittävä virtaama verkossa, jotta vesi siis ylipäättään vaihtuisi myös verkon latvaosissa eikä jäähtyisi liikaa matkalla.

Menojohdon keskimääräinen jäähtymäksi lämpökeskukselta kuluttajalle on laskettu tehojen ja virtaamien perusteella noin 5 K talvella ja 4 K kesällä, mutta todellinen jäähtymä voi olla verkon äärimmäisiin pisteisiin jopa 15 K. Kuluttajalle on taattu minimilämpötila on +65°C, jolloin lämpökeskukselta lähtevän veden tulisi olla kesällä vähintään +80°C.

2.2.3 Lämpöhäviöiden jakautuminen

Verkon pohjoinen haara käsittää pelkkiä pientaloja, joiden yhteen laskettu lämmön nettotarve on noin 500 MWh/v. Pohjoisen haaran verkostohäviöiden osuus on noin puolet kokonaishäviöstä eli luokkaa 600 MWh/v. Kanavapituutta on talohaarat mukaan lukien noin 3,4 km, joten kulutus suhteutettuna siirtoverkoston määrään on hyvin matala (125 MWh/km), mikä selittää häviöiden suuren osuuden.

Eteläisen haaran nettokulutus on noin 1000 MWh/v ja kanavapituus talohaarat mukaan lukien noin 2,5 km, joten kulutuksen suhde kanavapituuteen on kolminkertainen. Varsinkin eteläisessä verkostohaarassa on lisäksi kasvupotentiaalia, jonka realisoituminen parantaa tilannetta.

3 MAHDOLLISUUDET ALENTAA LÄMPÖTILATASOA

Huomautettakoon aluksi, että uudet kohteet on mahdollista suunnitella toimimaan huomattavasti matalammille lämpötilatasoille (lisätietoa Osaraportti 1), mutta mahdollisuudet alentaa lämpötilatasoja olemassa olevissa verkoissa ovat rajallisemmat. Tässä esimerkkitarkastelussa on käyty läpi näitä mahdollisuuksia olemassa olevassa kohteessa.

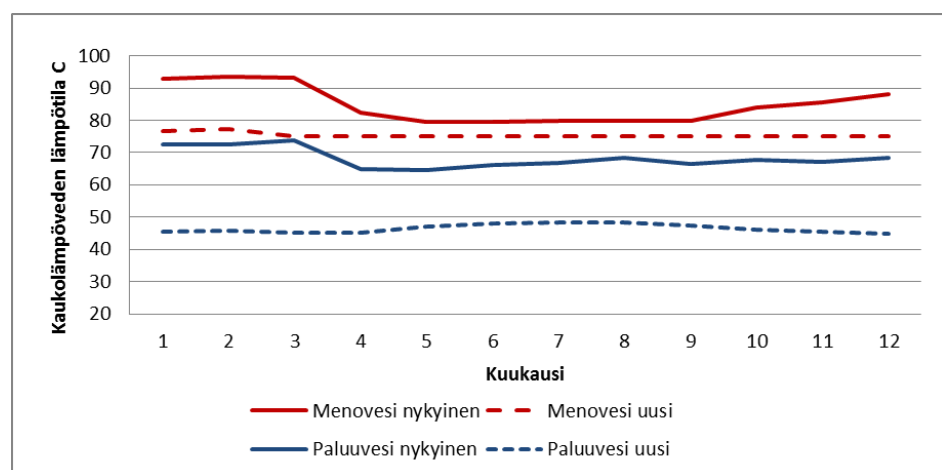
Aluelämpöverkon lämpötilatasoa ja virtaamia ei tällä hetkellä säädetä tarpeen mukaisesti vaan verkossa käytetään kausittain aseteltavia vakio­lämpötilatasoja ja säätämättömiä läpivirtauksia.

Mahdollisuuksia lämpötilatasojen alentamiseen parantaa se, että kaikki verkostoon liitetyt kuluttajat ovat suhteellisen uusia rakennuksia, joiden lämmitysverkostot ja lämmönsiirtimet on mitoitettu toimimaan matalammalla lämpötilalla kuin vanhemmat rakennukset.

Lämpötilatasojen alentaminen tapahtuu siten, että sekä menoveden säätö- että virtaamat muutetaan tarpeen mukaan ohjatuksi. Toimenpiteet ovat esimerkiksi seuraavat.

- Lämpökeskuksen päähän asennetaan toimiva lämpötilasäätö, jota voidaan ohjata sekä ulkolämpötilan, että muun tiedon perusteella
- Verkoston päissä (tai lähes päissä) olevien rakennusten lämmönjakokeskuksiin asennetaan lämpötilaohjattu läpivirtausventtiili, jolla säädetään läpivirtausta tarpeen mukaan.
- Kaikille kuluttajille on asennettu kaukolueuttava energiamittari, mutta osalle kuluttajista mittari, josta voi lukea energiatietojen lisäksi lämpötiloja. Mittareilla voitaisiin seurata menoveden lämpötilan lisäksi esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämpötilaa, jotta lämpötilatasojen riittävyys kiinteistön puolella voidaan varmistaa.
- Pääpumppuun asennetaan taajuusmuuttajaan perustuva kierroslukusäätö, jotta pumppaus mukautuu paremmin verkoston vaihteleviin virtaustarpeisiin.
- Eteläisin verkostohaara koostuu noin 150 m pituisesta DN 150 runkolinjaparista, johon ei ole kytketty yhtään kuluttajaa. Tämän verkostohaaran lämpötila kannattaa pudottaa minimitasolle (esim. +20 °C) käyttäen sopivantyyppistä säätöventtiiliä verkoston päässä.
- Pohjoisen verkostohaaran itäisimmässä päässä on vain yksi pientalo pitkän talojohdon päässä. Tälle kuluttajalle voisi olla mahdollista hankkia lämmön myyjän toimesta esim. erillinen sähkövaraaja varmistamaan lämpimän käyttöveden riittävyyttä, jonka jälkeen kyseisen verkostohaaran lämpötilan voisi antaa pudota pelkän lämmitysverkoston vaatimalle tasolle (lattia­lämmitys? -> alle 50 °C kaukolämpövesi riittäisi).

Em. muutosten jälkeen verkoston lämpötilatasot voisivat olla osapuilleen kuvan 4 mukaiset verrattuna nykyiseen käytäntöön, jolloin lämpöhäviöt pienenisivät alustavan laskelman mukaan noin 25 % eli nykytasolta 1275 MWh/v noin 950 MWh/v tasolle. Käytetään jatkolaskelmissa kuitenkin hiukan pessimistisempää olettamusta 1000 MWh/v.



Kuva 4 Kuukausikeskilämpötilojen mukaan lasketut aluelämpöverkon veden lämpötilat nykykäytöllä (yhtenäiset viivat) ja säästötoimenpiteiden jälkeen (katkoviivat)

Saatu tulos perustuu siis yksinkertaistettuun teoreettiseen tarkasteluun ja mahdollisuudet käytännön kohteissa tulee selvittää erikseen. Todellinen lämpötilan alentamisvarahan voidaan selvittää hyvinkin tarkasti, jos kohteeseen asennetaan edellä kuvattuja kontrollimittauksia ja lämpötilaa säädetään niiden perusteella.

4 LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN KOHTEESSA

4.1 Yleistä

Tämän selvitystyön yleisosassa (osa 1) on selostettu lämpöpumpputekniikan hyödyntämisen yleisvaatimukset aluelämpöympäristössä. Korkeiden lämpötilavaatimusten vuoksi tarkastelukohteessa painottuu kyky tuottaa korkeata lämpötila riittävän hyvällä hyötysuhteella. Kohteen kokoluokka ym. huomioon ottaen itse lämpöpumpputekniikkaan ei ole mahdollista panostaa kovin paljon, joten kannattavuus riippuu pitkälti saatavissa olevista lämmönlähteistä.

4.2 Lämmönlähteet

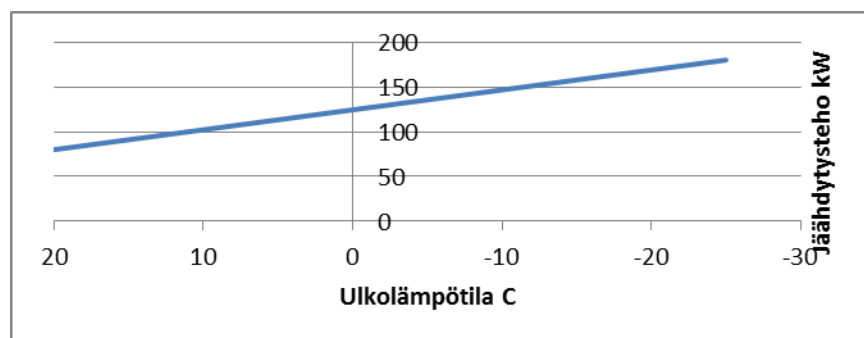
Käytettävissä tai mahdollisesti käytettävissä olevat, volyymiltään riittävän suuret lämmön lähteet ovat tässä tapauksessa

1. Lähellä sijaitsevan muuntamon hukkalämpö
2. Energiakaivot
3. Ulkoilma

Seuraavassa on käyty läpi em. lämmönlähteiden käytön yleisiä edellytykset tässä kohteessa. Yleiset edellytykset on käyty läpi Osaraportissa 1.

4.2.1 Muuntamon hukkalämpö

Lämpökeskuksen naapurissa noin 100 m lämpökeskukselta on alumuuntamo, joka käsittää kaksi suurtehomuuntajaa. Muuntajia jäähdytetään öljykierron avulla ilmalauhduttimella ja häviöteho riippuu tehokuormasta, joka on taas sidoksissa ulkolämpötilaan. Saatujen tietojen perusteella muuntajien yhteisen jäähdytysteho on kesällä luokkaa 80 kW ja talvella kuormasta riippuen 140 – 180 kW. Häviökuormista on muodostettu laskentaa varten alla olevan kuvan näköinen lämpötilariippuvuus. Jäähdytyskierron lämpötilaksi on ilmoitettu 30 . 40°C eli lämpötilataso on lämmönlähteenä optimaalinen.



Kuva 5 Laskennassa käytettävä jäähdytystehon lämpötilariippuvuus

4.2.2 Energiakaivot

Lämpökeskus tontti sijaitsee kartan mukaan vähintään II luokan pohjavesialueen reunalla, joten tämä voi asettaa lisävaatimuksia lämpökaivojen sijoitukselle, rakenteelle ja seurannalle. Pahimmillaan lupaehdot voivat estää energiakaivojen rakentamisen, joten lupaehdot kannattaa tarvittaessa selvittää etukäteen.

Teknisesti ottaen lämpökeskuksen lähialueella on tällä hetkellä käytännössä rajattomasti tilaa lämpökaivoille, joten alueellisten reunaehtojen ei oleteta rajoittavan lämpökaivojen hyödyntämistä.

4.2.3 Ulkoilma

Ulkoilmaa voidaan käyttää joko apulämmönlähteenä geoenergiakentän rinnalla tai erillisen ulkoilmasta veteen lämpöä siirtävän lämpöpumpun avulla.

Ensimmäisessä tapauksessa periaate on yksinkertaisesti se, että ulkoilmaa käytetään ensisijaisena lämmönlähteenä aina kun ulkoilma johtaa parempaan käyttötalouteen kuin maaperän käyttö (esim. kevään lämpimillä keleillä energiakaivojen ollessa talven jäljiltä kylmiä). Lisäksi ulkoilmaa käytetään energiakentän lataamiseen silloin kun ulkoilman lämmönlähdekapasiteetista on ylijäämää. Ulkoilman lämpö voidaan kerätä talteen esimerkiksi jäähdytyslaitoksissa käytettävillä puhaltimilla varustetuilla nestejäähdyttimillä, jotka mitoitetaan käyttötarkoitukseen sopiviksi. Nestejäähdyttimen lämmönsiirtotehon kasvattaminen on varsin halpaa, joten nestejäähdyttimen kapasiteetti kannattaa mitoittaa siten, että osa kapasiteetista voidaan käyttää energiakentän lataamiseen kesällä.

Ilma-vesi-lämpöpumpun tapauksessa vaadittava korkea lämpötilataso rajoittaa käyttömahdollisuuksia ja käytön kannattavuutta. Tietynlainen, esimerkiksi kohdassa 5.3. kuvattu ulkoilmalämpöpumpun osakäyttö voi kuitenkin olla järkevää.

4.3 Lämpöpumpputekniikka

Muuntamon hukkalämmön hyödyntämismahdollisuus parantaisi lämpöpumpputekniikan kilpailukykyä tässä kohteessa olennaisesti, koska melko yksinkertaisesti toteutettavalla lämpöpumppulaitoksella on mahdollista päästä hyvään käyttötalouteen.

Luonnon lämmönlähteitä käytettäessä hyvälläkään tämän kokoluokan lämpöpumpulla on vaikea päästä juuri yli 2,5 vuosilämpökertoimeen. Lisätietoa seuraavassa kohdassa, jossa on määritelty laskennalliset tarkasteluvaihtoehdot.

5 TARKASTELUVAIHTOEHTOJEN MÄÄRITTELEMINEN

Alustavaa taloustarkastelua varten tässä kohdassa on määritelty joitakin tarkasteluvaihtoehtoja, joiden taloutta verrataan laskennallisesti nollavaihtoehtona käytettävään nykytilanteeseen.

5.1 VE 0A Lämpötilatasojen alentaminen

Vaihtoehto VE 0A tarkoittaa sitä, että investoidaan keinoihin, joiden avulla voidaan minimoida nykyisessä aluelämpöverkossa käytettävät lämpötilatasot.

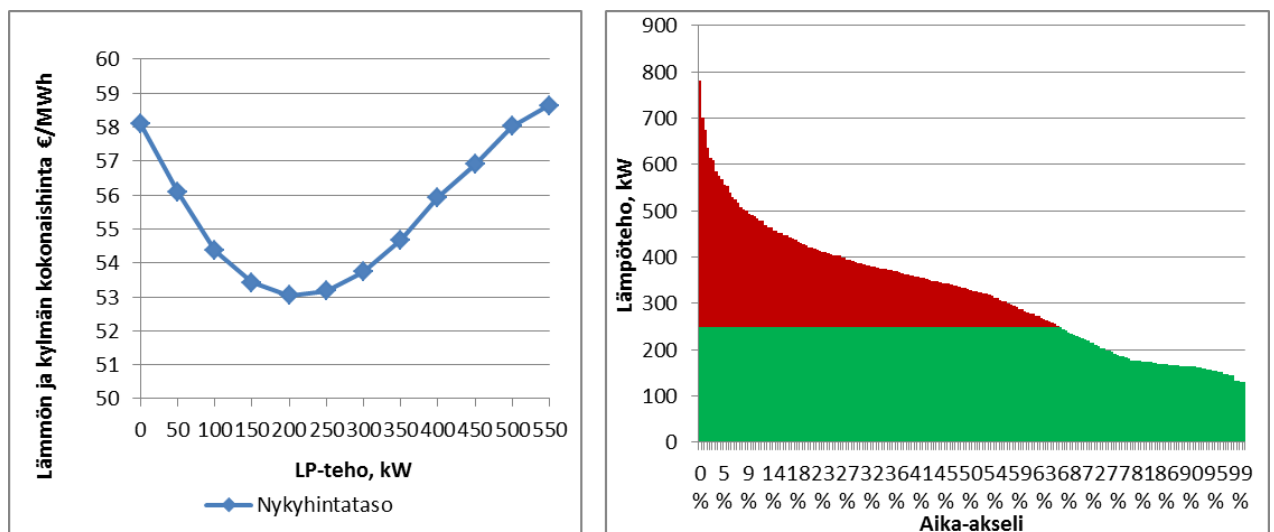
Lämpötilatasojen alentamisen keinot ja oletetut vaikutukset on kuvattu edellä kohdassa 3. Jäljempänä esitetyissä lämpöpumppuun perustuvissa vaihtoehdoissa on oletettu, että myös vaihtoehdon VE 0A toimenpiteet toteutetaan, jolloin verkoston lämpötilatasot saadaan lämpöpumpulle sopivammiksi ja häviöt pienenevät.

Investoinnin suuruudeksi on arvioitu alustavasti 30 000 € alv 0 talousvertailua varten. Huomattakoon, että todellinen investointisumma voi olla merkittävästikin suurempi, mikäli esimerkiksi kenttäasennukset toteutetaan oletuksia suuremmalla laajuudella.

5.2 VE 1 Maalämpöpumppu

Maalämpökeskuksen yhteyteen asennetaan esimerkiksi tehdasvalmis lämpöpumppukontti, joka liitetään aluelämmön paluulinjaan sarjaan nykyisen maakaasukattilan kanssa. Putkiasennustyön tarve näyttäisi olevan vähäinen, koska pääputket on liitetty suurempaan maakaasukeskuksen ulkokautta, jolloin liittyminen tähän ei vaadi välttämättä edes maankaivua.

Maalämpöpumpun tehoa optimoitaessa mitoituskuorman oletetaan pienentyneen lämpöhäviöiden pienenemisen vuoksi hiukan yli 2500 MWh/v tasolle, mikä johtaa kuvan 6a mukaisesti noin 250 kW lämpöpumpputehoon, kun käyttö- ja pääomakustannuksille haetaan minimiä. Pienehkön mitoitusasteen syynä on korkeat lämpötilatasot ja maakaasulämmön hinta suhteessa lämpöpumppulämmön hintaan. Tälläkin mitoitusasteella on päästävissä kuitenkin noin 70 % energiakattavuuteen kuvan 6b pysyvyyskäyräkuvan mukaisesti.



Kuva 6a ja b Mitoitusoptimikäyrä ja sitä optimimitoitusta vastaava energiakattavuus

Todellisuudessa laitos kannattaa toteuttaa siten, että sekä lämpöpumpputehoa että kenttäkapasiteettia voitaisiin joustavasti lisätä lämpökuorman kasvaessa, mikä on tehtävissä, kunhan laajennusvaraukset otetaan huomioon suunnitelmissa.

Päälämmönlähteenä käytettäisiin geoenergiakenttää ja apulämmönlähteenä ulkoilmakeräintä. Kun lämpökaivot ryhmitellään riittävän tehokkaasti ja apulämmön lähteenä käytetään ulkoilmaa, kokonaiskapasiteetin tarve on noin 10 km. Lämpökaivot voidaan asentaa esimerkiksi pitkiin riveihin lämpökeskuksen viereisten teiden varrelle tai ryhmitellä erillisiksi 10 – 12 kaivon ryhmiksi, jotka yhdistetään runkolinjaparilla lämpökeskukseen. Kummallakin tavalla pitkäaikaisen toimivuuden vaatima maamassaa on saatavissa lämpökaivojen vaikutuspiiriin. Ryhmittely kannattaa aina suunnitella tarkasti, jotta saavutettaisiin saanto/kustannusoptimi ja yhteensopivuus lämpöpumpun kanssa.

Lämpöpumppujärjestelmän alustava investointiarvio on noin 0,5 miljoonaa euroa (alv 0) asennettuna alv 0. Kustannuksia aiheutuu lisäksi projektinhoidosta, suunnittelusta ym. ottaen huomioon, että laitos tulee suunnitella kohteeseen räätälöitynä jo korkeiden lämpötilatasojenkin vuoksi.

Kuten edellä on todettu, pohjavesialueiden läheisyys voi vaikuttaa tämän vaihtoehdon toteutukseen ja toteutettavuuteen.

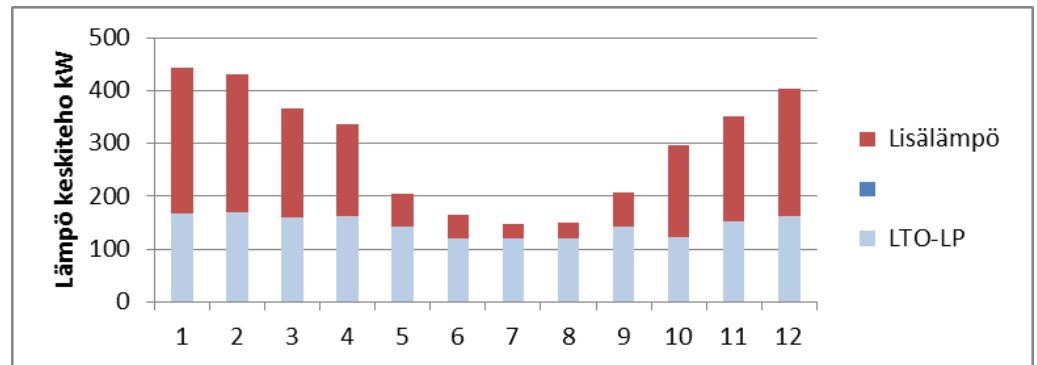
5.3 VE 2 lämmön talteenotto muuntamosta

Myös tässä vaihtoehdossa lämpöpumppu kannattanee hankkia asennusvalmiina konttiratkaisuna. Lämpöpumppu mitoitetaan muuntamon jäähdytystarpeen mukaan noin 250 kW lämpöteholle. Koska lämmönlähde on edullinen, lämpöpumppu voidaan helposti suunnitella tuottamaan vähintään 80-asteista vettä.

Lämpökeskuksesta vedetään lämmön talteenottoa varten muuntamolle PEH-putkipari, jonka sisällä kiertää esim. glykoliliuos. Kanavapituutta tulee noin 150 m. Eritykseksi riittänee esimerkiksi kevyt styrox-eristys. Lämpö otetaan talteen esimerkiksi siten, että muuntajien öljykiertoon ensimmäiseksi asennetaan lämmönsiirrin, jolla lämpö siirretään liuoskiertoon. Nykyinen ilmajäähdytys jätetään sellaisenaan varmistamaan jäähdytystä, jolloin nykyinen jäähdytysjärjestelmä näkee uuden tilanteen vain pienentyneenä jäähdytyskuormana.

Liuoskierron lämpötila voidaan mitoittaa noin 5 K öljykierron lämpötilaa alemmas, jolloin näissä oloissa tälle toiminta-alueelle suunniteltu/optimoitu lämpöpumppu pystyy tuottamaan noin +75-asteista vettä jopa 3,5 lämpökertoimella.

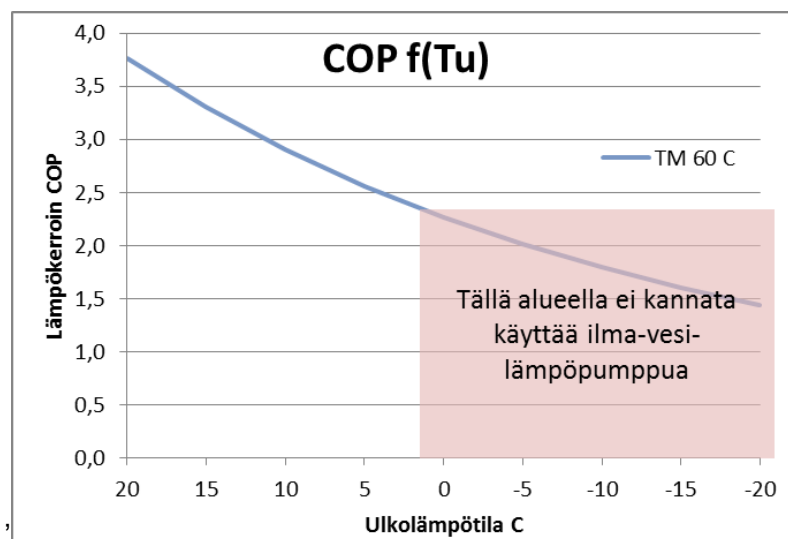
Saatujen tietojen ja tehtyjen olettamusten perusteella muuntamon hukkalämmöllä voitaisiin kattaa verkon lämmön tarpeesta kuvan mukaisesti puolet ottaen huomioon pienentyneet verkostohäviöt. Kuvan tolpat on esitetty havainnollisuuden vuoksi keskitehoina, joista näkyy että kesäkuukausien kuormaa ei aivan pystytä täyttämään pelkän muuntamon lämpöpumpulla vaan vajausta on 30 – 50 kW.



Kuva 7

Muuntamon hukkalämpöä hyödyntävä lämpöpumppu suhteutettuna lämpökuormaan. Laskennallinen energiaperiteito on 50 %, mutta lämpöpumpun teho ei riitä aivan koko kesäkuorman ajoon.

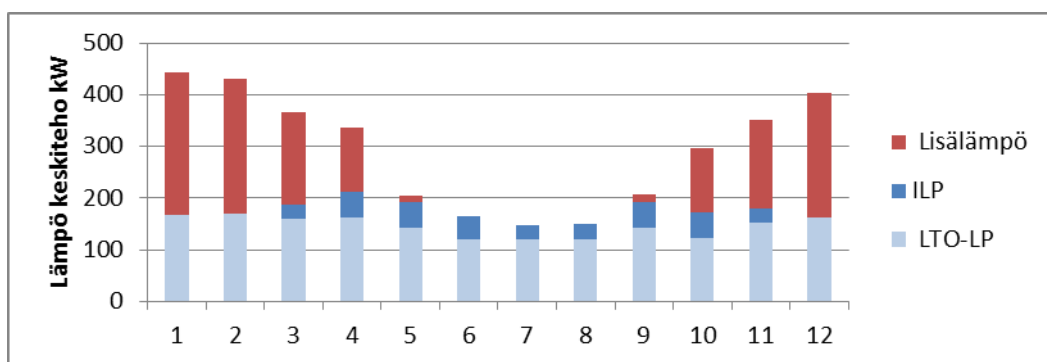
Tässä olisi mahdollista hyödyntää ilmalämpöpumppua siten, että ensimmäiseksi paluulinjaan asennettaisiin ilma-vesilämpöpumppu, jolla esilämmitettäisiin paluuvettä. Ilmalämpöpumpun teho mitoitettaisiin siten, että maakaasukattilat voitaisiin sammuttaa koko kesäksi. Ilmalämpöpumpullakin on päästävässä kohtuullisen hyvään hyötysuhteeseen, kun sitä käytetään paluuveden esilämmitykseen ulkoilman ollessa lämmintä. Kuvassa on laskettu erään ilma-vesilämpöpumpun COP-käyrä $+60^{\circ}\text{C}$ tuottolämpötilalla. Nykyisillä maakaasun ja sähkön hintasuhteilla ilmalämpöpumpun käyttöraja vastaa COP 2,0 – 2,5 eli käyttö on kannattavaa ulkolämpötilaan $0 \dots +5^{\circ}\text{C}$ saakka.



Kuva 8

Erään ilma-vesilämpöpumpun laskennallinen COP-käyrä tuottolämpötilalla $+60^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilasta riippuen.

Kuvassa on esitetty tuotantojakauma, kun mukaan on otettu nimellisteholtaan 60 kW ilma-vesilämpöpumppu, jolla on päästävässä maksimissaan noin 10 % energiaosuuteen, mutta etuna on mahdollisuus sammuttaa kaasukattilat kesäksi.



Kuva 9 Nimellisteholtaan noin 60 kW tehoinen ilma-vesilämpöpumppu lisättynä tuotantojakaumaan (tummemman sininen alue). Tehoa saadaan sen verran lisää, että kaasukattiloita ei tarvita kesällä.

Kuvatun lämpöpumppujärjestelmän hinta jäänee noin 300 000 € tasolle, koska energiakaivoja ei tarvita.

6 TALOUSTARKASTELU

6.1 Investointiarviot

Eri vaihtoehtojen hyvin alustavat investointiarviot (alv 0) ovat siis:

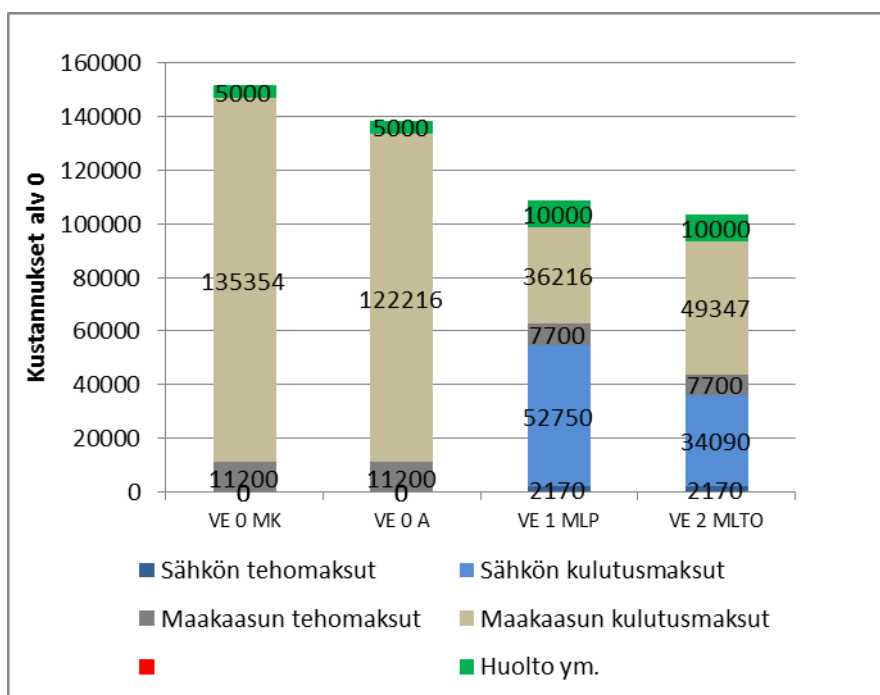
VE0+ Lämpötilatasojen alentaminen	30 000 €
VE 1 Maalämpöpumppu	500 000 €
VE 2 LTO muuntamolta	330 000 €

6.2 Käyttökustannukset

Eri vaihtoehdoille on laskettu alustavat käyttökustannukset nykyhintatasolla seuraavin lähtöolettamuksin

- Maakaasun laskentahintana käytetään lämpöyhtiöltä saatua laskentahintaa 50 €/MWh alv 0. Hinta on määritelty nykyisen kaltaiselle tehoprofiilille. Jotta hintaa voitaisiin soveltaa myös huippukuorman ajoon, hinta on jaettava tehosta riippuvaan osaan ja kulutuksesta riippuvaan osaan. Kulutuksesta riippuvan osan suuruudeksi on oletettu 40 €/MWh ja loput olevan tehomaksua siten, että keskihinnaksi tulee 50 €/MWh.
- Lämpöpumppujen Sähkö oletetaan hankittavan verkkoyhtiön pienjännitetehotariffilla ja sähkön ostohintana käytetään 35 €/MWh (alv 0). Sähkön kokonaishinnaksi ilman teho- ja perusmaksuja saadaan tällöin 75 €/MWh. Tehomaksut lasketaan kussakin vaihtoehdossa käytön mukaan.

Kuvaan 10 on laskettu eri vaihtoehtojen käyttökustannukset nykyhintatasolla. Tehtyjen olettamusten perusteella laskien käyttökustannuksiltaan edullisin on vaihtoehto VE2, joka mahdollistaa n. 50 000 € vuosisäästöt. Laskentaerittely on esitetty liitteessä 2.



Kuva 10 Eri vaihtoehtojen käyttökustannukset nykyhintatasolla

Taulukossa 1 on esitetty korottoman takaisinmaksuajan laskenta. Lyhimpään takaisinmaksuaikaan päästään vaihtoehdossa VE 0 A, mutta suurimpiin säästöihin vaihtoehdossa VE 2 takaisinmaksuajan ollessa 7 v.

Maalämpövaihtoehdon taloutta heikentää korkeasta lämpötilatasosta aiheutuva matalahko lämpökerroin ja maakaasun suhteellisen edullinen hinta. Kevyttä öljyä vastaan vaihtoehdon VE 1 takaisinmaksuaika putoaisi noin puoleen.

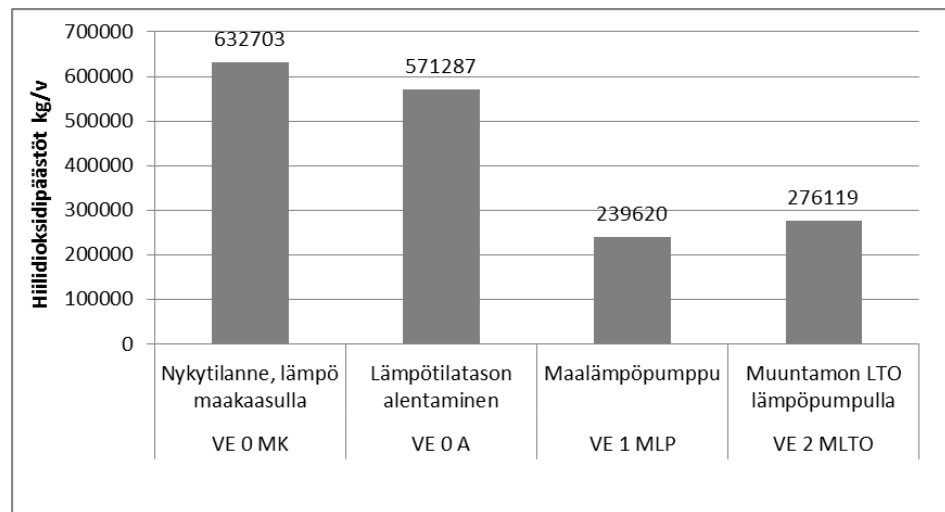
Taulukko 1 Eri vaihtoehtojen korottomat takaisinmaksuajat

Takaisinmaksulaskelma			VE 0 MK	VE 0 A	VE 1 MLP	VE 2 MLTO
2. Lämmitys ja jäähdytys yhteensä						
Kokonaisinvestointikustannukset	€	0	30000	500000	330000	
Investointiero	€	0	30000	500000	330000	
Säästö perusvaihtoehtoon nähden		€/v	0	13139	42719	48248
Lisäinvestoinnin takaisinmaksuaika		v		2,3	11,7	6,8

6.3 Hiilidioksidipäästöt

Lämpöpumppujen päästöetu on kasvanut sähkön tuotannon päästöjen pienentymisen myötä. Suomessa käytetyn sähkön ominaispäästöt ovat pudonneet jo alle 100 kg CO₂/MWh, joten tehokkaalla lämpöpumpulla ominaispäästöt jäävät tasolle 20 .. 30 kg/CO₂ tuotettua MWh kohti.

Käyttämällä sähkön päästökertoimenä mainittua 100 kg CO₂/MWh ja maakaasun 201 kg CO₂/MWh eri vaihtoehdoille saadaan kuvan 11 mukaiset päästöt. Päästöt voidaan siten noin puolittaa lämpöpumppujen avulla.



Kuva 11 Eri vaihtoehtojen laskennalliset hiilidioksidipäästöt

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä selvitettiin mahdollisuuksia alentaa olemassa olevan aluelämpöverkon lämpötilatasoa lämpöhäviöiden pienentämiseksi ja lämpöpumpputekniikan hyödyntämistä säästöjen aikaan saamiseen.

Tarkastelukohteena on käytetty pienehköä aluelämpöverkkoa, jossa lämpöhäviöiden osuus on poikkeuksellisen suuri (nykyisin luokkaa 45 % lämmön tuotantotarpeesta 2832 MWh v. 2017) pienen energiatiheuden vuoksi.

Alustavien laskelmien perusteella verkoston lämpötilatasoa voisi olla mahdollista alentaa menoveden osalta noin 10 astetta ja paluuveden osalta vielä enemmän, kun menoveden lämpötilaa aletaan säätää tarveperusteisesti kuluttajilta mitattavien lämpötilatietojen perusteella ja kaikkein kauimpana sijaitsevien kuluttajien lämpimän käyttöveden riittävyys varmistetaan sähkövaraajin. Lämpöhäviöiden laskennallinen vähenemä olisi tällöin luokkaa 25 %.

Lämpöpumppuvaihtoehtoista parhaalta vaikuttaa muuntamon hukkalämmön hyödyntämiseen perustuva ratkaisu, jossa lisänä voidaan käyttää ilma-vesilämpöpumppua kesällä. Alustava investointiarvio on luokkaa 330 000 € alv 0 ja laskennallinen säästö nykyhintatasolla luokkaa 50 000 €/v (alv 0), jolloin investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi luokkaa 7 v. Samalla tuotannon hiilidioksidipäästöt vähenisivät noin puoleen.

Muuntamoiden hukkalämmön hyödyntämisellä voi olla laajempaakin potentiaalia ja merkitystä. Muuntamot näyttäisivät tarjoavan erinomaisen lämmönlähteen, koska ne sijaitsevat yleensä kuluttajien lähellä ja niiden hukkalämpökuorma lisääntyy lämmitystarpeen kasvaessa. Myös lämpötilataso näyttäisi olevan sopiva ja lämmön talteenotto helpohkosti järjestettävissä. Asiaa on mahdollista selvittää lisää ja varmistaa esimerkiksi pilot-hankkeen avulla. Samalla voitaisiin arvioida hukkalämpöpotentiaalia selvittämällä muuntamokantaa ja muuntamoiden sijoitusta.

ALUELÄMPÖKARTTA



TALOUSVERTAILULASKELMA					
Kohde:	Energiaväylä/Nivos		Kaikki hinnat alv 0		
Pvm:	17.5.2018				
Laskentatapa:	Peruslaskentatapaus nykyhin		Annuiteetti	3,5 %	
				15	
Lämmitysenergian bruttotarve	2832 MWh/v			0,087	
		VE 0 MK	VE 0 A	VE 1 MLP	VE 2 MLTO
		Nykytilanne, lämpö maakaasulla	Lämpötilatason alentaminen	Maalämpöpumppu	Muuntamon LTO lämpöpumpulla
Energiahinnat					0 %
Maakaasun hinta ilman tehomaksuja	€/MWh	43,0	43,0	43,0	43,0
Sähkön hinta ilman tehomaksuja	€/MWh			75,0	75,0
Energiatase					
Nettolämpökuorma		1558	1558	1558	1558
Häviöt		1275	1000	1000	1000
Kokonaislämpökuorma (sis. alueverkoston häviöt)		2833	2558	2558	2558
Lämpöpumpputeho	kW			250	250
Lämpöpumppulämmön osuus		100 %	0 %	70 %	60 %
Lämpöpumppulämmön määrä	MWh		0	1800	1525
Maakaasulämpö	MWh	2833	2558	758	1033
Lämmityksen polttoainetase					
Lämpöpumpun hyötysuhde				256 %	336 %
Maakaasun käytön hyötysuhde		90 %	90 %	90 %	90 %
Lämpöpumppusähkö	MWh/v			703	455
Maakaasun käyttö	MWh/v	3148	2842	842	1148
Ilmaisenergia	MWh/v			1097	1071
Lämmityskustannukset					
Maakaasun tehomaksut	€/v	11200	11200	7700	7700
Sähkön perus- ja tehomaksut	€/v	0	0	2170	2170
LP sähkön muuttuvat	€/v		0	52750	34090
Maakaasun kulutusmaksut (energia, siirto, verot)	€/v	135354	122216	36216	49347
Lämmityksen käyttö- ja huoltokustannukset	€/v	5000	5000	10000	10000
Lämmityskustannukset yhteensä	€/v	151554	138416	108836	103306
Ero perusvaihtoehtoon nähden	€/v	0	-13139	-42719	-48248
Lämmitysenergian keskihinta	€/MWh	53,50	54,11	42,55	40,39
Maakaasulämmön hinta		51,73	52,16	57,94	55,23
Investointikustannukset		VE 0 MK	VE 0 A	VE 1 MLP	VE 2 MLTO
Tarkastelulaaajuuden mukaan laskettuna		0	30000	500000	330000
Takaisinmaksulaskelma		VE 0 MK	VE 0 A	VE 1 MLP	VE 2 MLTO
2. Lämmitys ja jäähdytys yhteensä					
Kokonaisinvestointikustannukset	€	0	30000	500000	330000
Investointiero	€	0	30000	500000	330000
Säästö perusvaihtoehtoon nähden	€/v	0	13139	42719	48248
Lisäinvestoinnin takaisinmaksuaika	v		2,3	11,7	6,8
Kokonaisvuosikustannukset		VE 0 MK	VE 0 A	VE 1 MLP	VE 2 MLTO
Lämmityksen muuttuvat vuosikustannukset	€/v	151554	138416	108836	103306
Pääomakustannukset	€/v	0	2605	43413	28652
Kokonaiskustannukset yhteensä	€/v	151554	141020	152248	131959
Lämmön ja jäähdytyksen kok. keskihinta	€/MWh	53	55	60	52
Ero perusvaihtoehtoon nähden	€/v	0	-10534	694	-19596