

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Käyttö ja käynnissäpito

Iina Asplund

ÖLJYSÄILIÖIDEN MUUTTAMINEN KAUKOLÄMPÖAKUIKSI

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

ASPLUND, IINA

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Toukokuu 2014

Avainsanat

Öljysäiliöiden muuttaminen kaukolämpöakuiksi

35 sivua

Pt. tuntiopettaja Hannu Sarvelainen

Lahti Energia Oy

kaukolämpö, kaukolämpöakku, öljysäiliö, terässäiliö

Työssä on tarkasteltu eri vaihtoehtoja, millä tavoin käytöstä poistuneet teräsöljysäiliöt voitaisiin muuttaa kaukolämpöakuiksi. Alustavasti harkitaan muutettavan vain toinen säiliöistä kaukolämpöakuksi, jotta kokeilemalla saataisiin varmuus kaukolämmön varastointikapasiteetin kaksinkertaistamisen kannattavuudesta. Tilannetta voidaan myös simuloida tietokoneella, jolloin kustannusten kannattavuutta voidaan kokeilla etukäteen.

Tarkkoja laskelmia kustannuksista ei ole tehty, sillä toteutustapa päätetään jatkotutkimuksen perusteella. Hankkeen toteuttamisen kustannuksia ja hyötyjä on arvioitava. Lahti Energian toiminnan kannalta käytännön hyöty jäisi mahdollisesti vähäiseksi, sillä Lahti Energialla on jo käytössä kaukolämpöakku, jonka lisäksi säiliö tai säiliöt tulisivat. Yhteensä näiden kahden säiliön tuottama lämmönvarastointitilavuuden lisäys ei ole riittävän suuri mahdollistamaan uusia lämmönvarastoinnin käyttötapoja, kuten viikkosäätöä. Investoinnin lisäksi kaukolämpökalla on käyttökustannuksia.

Hankkeen investointikustannuksen arvio on 430 000 €. Arvio on kuitenkin vain suuntaa antava, sillä se on laskettu Kaukolämmön käsikirjan esittämien funktioiden perusteella. Kaavat eivät välttämättä sovellu kovin tarkkaan kustannusarviointiin, ja ne on laadittu tyypillisen kaukolämpökun rakentamisen ja kytkennän mukaan. Rakennettaessa kaukolämpöakku valmiiseen säiliöön ja mahdollisesti valmiita kytkentöjä hyödyntäen, kustannuksissa saatetaan säästää. Mikäli valmiita kytkentöjä hyödynnetään, on toteutuksen toimittava käytännössä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

ASPLUND, IINA

Transforming Oil Tanks to Thermal Storage

Bachelor's Thesis

35 pages

Supervisor

Hannu Sarvelainen, Lecturer

Commissioned by

Lahti Energia Oy

May 2014

Keywords

district heating, thermal storage, oil tank, steel tank

The objective of the thesis was to explore how two oil tanks could be transformed to thermal storage for a district heating system. Objective was also to evaluate the need for added thermal storage capacity.

In this thesis, different alternatives were considered to transform oil tanks to thermal storage. The steel oil tanks are not used to store oil anymore. It was assumed that at first only one of the two tanks would be transformed into a thermal storage in order to experience the consequences of added thermal storage capacity. A computer simulation might help evaluate whether this project is worth an investment.

Accurate costs were not calculated, as it is not decided how the oil tanks would be transformed to thermal storage or connected to the district heating system. The investment needed for the project is approximately 430 000 €. It is possible that the cost would be less than approximated as in this case the existing tanks, pumps and pipe system could be used. If the project is executed using existing equipment the created system has to function correctly.

Further research is needed to discover the financial benefit and practical function of added thermal storage capacity. One of the interviewees speculated it would not be profitable to add thermal storage capacity for daily need as even the existing capacity might be more than enough. If a long term thermal storage were to be considered, the two oil tanks would not be large enough.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	LAHTI ENERGIA OY	6
3	KAUKOLÄMPÖ	7
	3.1 Kaukolämmön kilpailukyky	8
	3.2 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	9
	3.3 Lämmönlähteet	10
4	KAUKOLÄMPÖAKKU	11
	4.1 Erilaisia kaukolämpöakkuja	12
	4.2 Lahti Energian nykyinen kaukolämpöakku	14
	4.3 Kaukolämpöakun dimensiot	17
5	ÖLJYSÄILIÖIDEN MUUTTAMINEN KAUKOLÄMPÖAKUIKSI	17
	5.1 Teho ja energiasisältö	18
	5.2 Kaukolämpöakun kytkeminen kaukolämpöverkkoon	18
	5.3 Eristys	19
	5.4 Mittaukset, hälytykset ja ohjaus	20
	5.5 Laitteisto	21
	5.5.1 Pumput ja putkistot	21
	5.5.2 Diffusorit	22
	5.5.3 Korroosionesto	23
6	INVESTOINNIN KANNATTAVUUS	25
	6.1 Kustannusarvio	25
	6.2 Kaukolämpöakun käyttötarve	28
	6.3 Muutokset lämmön varastoinnin tarpeessa	30
	6.4 Vastapainesähkön tuotannon optimointi	30
7	JATKOSSA TUTKITTAVAA	31
8	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Lahti Energian Teivaanmäen voimalaitosalueella on kaksi teräsöljysäiliötä, joissa ei ole enää säilytetty öljyä. Niille oli jo haettu purkuluvat, mutta tahdottiin vielä pohtia, voisiko säiliöitä jotenkin hyödyntää.

Kaksi 5 000 m³ suuruista terässäiliötä, joiden yhteistilavuus on siis 10 000 m³, on ajateltu muutettavan kaukolämpöakuiksi. Hankkeen toteutusta on kuitenkin suunniteltava, jotta voidaan arvioida paras mahdollinen toteutus rakenteellisen yksinkertaisuuden, kaukolämpöverkkoon liittämisen, tuoton ja kustannusten kannalta. On mahdollista, että hanketta ei toteuteta, mikäli se osoittautuu kannattamattomaksi.

Lahti Energialla on ennestään 10 000 m³ suuruinen kaukolämpöakku, joka on ollut toiminnassa vuodesta 1985. Kaukolämpöakku tulee olemaan käytössä jatkossakin, ja öljysäiliöitä harkitaan muutettavan kaukolämpöakuiksi lisätehon tai pelkän lisäkapasiteetin vuoksi.

Työssä tarkoitetaan yleisesti kaukolämpökalla säiliötä, joka on kytketty kaukolämpöverkkoon, ja sen lämpöä varastoivana massana ja lämmön kuljetukseen käytetään vettä. Ainoastaan erilaisia kaukolämpöakkuja esittelevässä kappaleessa on kerrottu muistakin lämmönvarastointitavoista.

Maanpäällinen, terässäiliökaukolämpöakku on eristettävä lämpöhäviöiden ehkäisyksi. Säiliö on liitettävä kaukolämpöverkkoon, jonka välityksellä kaukolämpö jaetaan asiakkaille. Säiliön korkeuden on oltava sopiva suhteessa säiliön halkaisijaan, ja säiliöön ladattavan ja sieltä purettavan veden virtauksen on oltava oikeanlainen, jotta lämpötilojen mukaan kerrostuneen veden lämpötilakerrokset eivät sekoittuisi keskenään. Virtauksen jakajia kutsutaan diffuusoreiksi.

Kaukolämpöakun käyttötarpeita voi olla monia, ja yrityksen sisällä eri henkilöt saattavat keskittyä eri käyttötapoihin. Kaukolämmöstä vastaaville on merkittävää, voidaan-ko kaukolämpöakusta sillä hetkellä purkaa lämpöä kaukolämpöverkkoon, tai kuinka kauan kaukolämpöakusta saadaan vettä kaukolämpöverkon suurissa vuotoissa. Tuote-

tun sähkön ja lämmön hintoja tarkkailevat henkilöt sen sijaan ovat kiinnostuneita selvittämään, miten kaukolämpöakun käytöllä voidaan tuottaa suurin taloudellinen hyöty.

Tämä opinnäytetyö on tukena päätöksenteolle, toteutetaanko hanke vai ei. Työ rajautui sen mukaan, mitä tietoa on saatavilla, ja mitä on mielekästä tässä vaiheessa suunnitella.

2 LAHTI ENERGIA OY

Lahti Energian päätuotteet ovat sähkö ja kaukolämpö, jotka tuotetaan yhteistuotannossa kierrätyspolttoaineella, maakaasulla, kivihiilellä, puulla ja biokaasulla. Lahti Energialla on myös osuus vesivoimaa, tuulivoimaa ja ydinvoimaa osakkuusyhtiöiden kautta. Yhtiö toimittaa kaukolämpöä Lahteen, Hollolaan, Nastolaan ja Asikkalaan, mutta sähköä se myy kaikkialle Suomeen. (Lahti Energia Oy 2014a.) Vuonna 2013 Lahti Energia möi sähköä 89 107 asiakkaalle, kaukolämpöä 8 080 asiakkaalle, maakaasua 341 asiakkaalle ja höyryä 9 asiakkaalle. Lahti Energian tytäryhtiö LE-Sähköverkko Oy vastaa sähkön siirrosta. Sen asiakkaita oli 83 152. (Lahti Energia Oy 2014b.) Lahti Energialla on yksi kaukojäähdytysasiakas.

Vuonna 2013 Lahti Energialla työskenteli vuoden lopussa 254 henkilöä. Sen liikevaihto oli 183,3 miljoonaa euroa, ja liikevoitto oli 8,2 miljoonaa euroa. Investoinnit olivat yhteensä 58,1 miljoonaa euroa. (Lahti Energia Oy 2014b.)

Lahti Energian kotisivuilla kerrotaan yrityksen visioksi olla vuonna 2020 itsenäinen, kannattava, luotettava ja edistyksellinen energiakonserni, johon tullaan mielellään töihin. Strategiana on kannattava kasvu, ja arvoja ovat tahto kehittää, halu saada aikaan ja aito yhteistyö. (Lahti Energia Oy 2014b.)

Kaasutustekniikkaan perustuva voimalaitos, Kymijärvi II, tukee osaltaan valtakunnallista ja alueellista jätehuollon kehittämistavoitetta. Voimalaitos käyttää polttoaineenaan jättepolttoainetta, joka lajitellaan sen syntypaikalla ja käsitellään jätteenkäsittelylaitoksessa. Tämän ansiosta jätekeskuksiin loppusijoitettavaa jätettä jää vähemmän, eikä loppusijoitusalueita tulla tarvitsemaan tulevaisuudessa niin paljoa. Jätteiden hyödyntämistä nousee huomattavasti, kun niiden energiasisältö saadaan hyötykäyttöön. (Lahti Energia Oy 2004, 3.) Poltettavan kaasun puhdistus mahdollistaa höyryn korke-

an paineen ja lämpötilan, jolloin sähköntuotannon hyötysuhde saadaan maksimoitua. Kattilan jälkeen myös syntyneet savukaasut puhdistetaan. (Lahti Energia Oy 2004, 21.) Kestävän kehityksen foorumi valitsi Kymijärvi II -voimalaitoksen Vuoden ilmas-toteoksi vuonna 2011 (Lahti Energia Oy 2012).

Kun uudet EU:n ilmansuojelumääräykset astuvat voimaan, vuonna 1975 käyttöönotet-tua Kymijärvi I -voimalaitosta voidaan käyttää vuoden 2016 alusta alkaen enää 17 500 tuntia, ellei siihen tehdä tarvittavia muutoksia päästöjen vähentämiseksi. Ajan saatossa voimalaitokseen on tehty uudistuksia, mutta sen käyttöikä huomioiden laitokseen ei enää ole kannattavaa investoida. Kymijärvi II ei yksinään riitä ratkaisuksi, joten Lahti Energia Oy on aloittanut Bio2020-hankkeen Kymijärvi I:n korvaamiseksi biopoltto-ainetta pääpolttoaineenaan käyttävällä monipolttoainevoimalaitoksella. (Lahti Energia Oy 2013, 11.)

Laitos rakennetaan Kymijärven voimalaitosalueelle, jossa sijaitsee nykyään myös uu-della laitoksella korvattava Kymijärvi I -voimalaitos. Uusi laitos tulee olemaan väliot-tovastapainelaitos, joka tyypillisesti tuottaa tehokkaasti sähköä ja lämpöä niiden yh-teistuotannossa. Laitoksen polttoaineena voidaan käyttää biopolttoaineiden lisäksi maatalouden biomassoja, kierrätyspolttoainetta, turvetta, hiiltä ja maakaasua. Tulevan voimalaitoksen käyttöönoton myötä Lahti Energian käyttämistä polttoaineista jopa 70 prosenttia tulee olemaan uusiutuvia ja hiilidioksidipäästöt vähenevät oleellisesti. (Lah-ti Energia Oy 2013, 11 - 12.)

3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö tuotetaan keskitetysti ja jaetaan kuluttajille joko vetenä tai höyrynä kau-kolämpöverkon kautta. Tuotetulla lämmöllä voidaan lämmittää rakennuksia ja käyttö-vettä. (Koskelainen et al. 2006, 25.) Euroopassa kaukolämmön siirtoaineena on vesi, mutta ainakin Pohjois-Amerikassa siirtoaineena on yleensä höyry. Höyryllä toimiva järjestelmä on kuitenkin osoittautunut eurooppalaista järjestelmää tehottomammaksi. Euroopan järjestelmissä veden maksimilämpötila on tavallisesti 120 - 130 °C, mutta esimerkiksi Tanskassa jakelulämpötila on yleisesti 90 °C. Venäjällä kaukolämpöveden maksimilämpötila voi olla jopa 150 °C. (Koskelainen et al. 2006, 29.) Korkeat lämpö-tilat ovat hyödyllisiä kun siirtomatkat ovat suuria, sillä meno- ja paluulämpötilojen eron suurentuessa siirtokapasiteetti kasvaa ja pumppauskustannukset pienevät (Koske-

lainen et al. 2006, 137). Kuitenkin sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötysuhde on parempi matalammilla menoveden lämpötiloilla, jolloin voimalaitoksen sähköntuotannon kapasiteetti lisääntyy (Koskelainen et al. 2006, 29).

Asiakkaat ovat kytkettyinä kaukolämpöverkkoon joko suoralla tai epäsuoralla kytkennällä. Nämä eroavat toisistaan siten, että suorassa kytkennässä asiakkaan patteriverkossa tai ilmanlämmityskojeessa kiertää kaukolämpövesi, kun taas epäsuorassa kytkennässä näissä on asiakkaan oma vesikierto, ja lämpö otetaan kaukolämpöverkosta lämmönsiirtimillä. Kytkennästä riippumatta käyttövesi lämmitetään aina omassa lämmönsiirtimessään. Suomessa suora kytkentä on harvinainen. (Koskelainen et al. 2006, 43.)

Kun kaksiputkijärjestelmään perustuvassa kaukolämpöverkossa kierrätetään vettä, kulkee vesi kuumana menoputkea pitkin asiakkaalle. Veden luovutettua lämpöä asiakkaalle, se palaa viileämpänä paluuputkessa takaisin lämmityslaitoksille, joissa se lämmitetään uudelleen ja syötetään taas menoputkeen. Vettä kierrätetään kaukolämpöverkossa pumppaamalla. (Koskelainen et al. 2006, 43.)

Kaukolämpöverkossa kiertävästä vedestä on putkiston suojaamiseksi poistettu mekaaniset epäpuhtaudet ja korroosiota aiheuttavat kaasut, kuten happi. Kaukolämpöverkon keskipaine pidetään riittävän korkeana veden höyrystymisen estämiseksi. (Koskelainen et al. 2006, 44.) Mikäli vesi pääsee höyrystymään putkessa, se lauhtuu taas vedeksi keskipaineen noustessa, mikä synnyttää vesi-iskun, joka saattaa rikkoa laitteita pitkänkin etäisyyden päässä (Koskelainen et al. 2006, 335). Painetta korotetaan menojohdossa tuotantolaitosten pumpuilla ja tarvittaessa paineenkorotuspumpuilla, jotta verkon jokaisessa osassa on säätöä varten riittävän suuri paine-ero. Myös paluuputken painetta voidaan tarvittaessa korottaa pumpuilla. (Koskelainen et al. 2006, 44.)

3.1 Kaukolämmön kilpailukyky

Harvaan asutuilla alueilla ja asiakkaiden tehontarpeen ollessa pieni kaukolämpö ei välttämättä ole kannattavaa, sillä jakeluverkko vaatii suuren osan koko kaukolämpöjärjestelmän investoinneista. Merkittävää kilpailukyvyn kannalta on, että asiakkaat kulluttavat riittävästi kaukolämpöä verkon kokoon nähden. Mikäli jakeluverkko on suuri

suhteessa toimitettuun tehoon, investoinnin takaisinmaksuaika pitenee. (Koskelainen et al. 2006, 26.)

Talokohtaisessa lämmityksessä asiakkaan vaihtoehto kaukolämmölle on yleensä oma kattilalaitos. Se ei juuri eroa keskitetystä lämmöntuotannosta hyötysuhteeltaan tai tuotantokustannuksiltaan, mutta keskitetyssä lämmöntuotannossa päästöjen vähentäminen on yleensä tehokkaampaa. Päästöjen vähentämisen kustannustehokkuus onkin yhä tärkeämpi kaukolämmön kilpailuvaltti, kun hiilidioksidipäästöjä on rajoitettava. Päästöjen tehokas vähentäminen on juuri keskitetylle lämmöntuotannolle mahdollista, sillä lämpöä voidaan tuottaa sähkön ja lämmön yhteistuotannolla, polttoaineeksi on mahdollista valita jokin vähäpäästöinen vaihtoehto ja savukaasujen puhdistus on tehokasta. Myös teollisuuden hukkalämpöä voidaan ottaa kaukolämpöverkkoon. (Koskelainen et al. 2006, 25 - 27.)

Suurten voimaloiden kilpailuetuna on myös mahdollisuus hyödyntää uusia teknologioita taloudellisesti. Uudistukset vaativat investointeja, ja keskitetyssä järjestelmässä ne on mahdollista jakaa useiden asiakkaiden kesken. Tämän vuoksi suuria laitoksia ohjataan pienentämään päästöjään asettamalla niiden päästörajat vastaamaan parasta käytettävissä olevaa teknologiaa. Pienille laitoksille sen sijaan ei aseteta yhtä tiukkoja päästörajoja, sillä niihin ei olisi välttämättä taloudellisesti kannattavaa toteuttaa tarvittavia uudistuksia. Samantasoista tekniikkaa kuin suurille laitoksille päästöjen vähentämiseksi ei ole edes kehitetty pienille laitoksille tai kiinteistökohtaisille lämmöntuottajille. Kiinteistökohtaisille lämmöntuottajille ei ole asetettu lainkaan päästörajoja. (Koskelainen et al. 2006, 28.)

Kaukolämpöä tuottavat yritykset voivat tarjota myös kaukojäähdytystä osana liiketoimintaa, sillä niillä on valmiina tarvittava organisaatio sekä tekniikkaa ja osaamista. Keskitetty jäähdytys voi vastata keskitettyä lämmitystä hyödyiltään ja kilpailutekijöiltään. (Koskelainen et al. 2006, 26.)

3.2 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Suomessa lähes 80 % kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Sähköstä Suomessa tuotetaan lähes kolmasosa yhteistuotannossa, mikä on enemmän kuin missään muualla. Euroopan unionin, eli EU:n sähköntuotannosta vain 10 % oli

peräisin yhteistuotannosta vuonna 2006. Tavoitteeksi asetettiin kaksinkertaistaa osuus vuoteen 2010 mennessä, sillä sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon katsotaan olevan merkittävin yksittäinen keino kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi EU:ssa. Myös Suomessa yhteistuotanto on yhä tärkeämpää. Yhteistuotannon hiilidioksidipäästöt ovat noin 350 kilogrammaa pienemmät megawattituntia kohden kuin erillistuotannossa, ja se on noin 30 % erillistuotantoa energiatehokkaampaa. (Koskelainen et al. 2006, 27.)

Koska Suomi on edelläkävijä yhteistuotannossa, on maalla merkittävä vientietu kasvavilla markkinoilla. Tuotannossa syntyy hiilidioksidin lisäksi myös muita päästöjä kuten typenoksideja ja hiukkaspäästöjä, joille on annettu suurimmat sallitut määrät savukaasuissa. Myös savukaasujen puhdistustekniikassa Suomi on kansainvälisesti parhaiden joukossa. (Koskelainen et al. 2006, 27.)

3.3 Lämmönlähteet

Kaukolämmön tuotannossa käytettävät polttoaineet voidaan käsittelyominaisuuksiensa perusteella jaotella kiinteisiin, nestemäisiin ja kaasumaisiin polttoaineisiin. Biopolttoaineita ovat kiinteistä polttoaineista turve, puu ja yhdyskuntajäte sekä nestemäisistä polttoaineista jätevesilietteet ja teollisuuden jäteliemet. Biopolttoaineista turvetta lukuun ottamatta kaikki luetellut ovat uusiutuvia polttoaineita. Turve on fossiilinen polttoaine, kuten myös kiinteisiin polttoaineisiin lukeutuva hiili, nestemäisistä polttoaineista öljy ja kaasumaisista polttoaineista nestekaasu ja maakaasu. (Koskelainen et al. 2006, 260.)

Päästöjä on sitouduttu vähentämään kansainvälisesti, minkä vuoksi polttoaineen valintaan on kiinnitettävä huomiota päästöjen suhteen. Maakaasu on vähäpäästöisistä polttoaineista suosituin. Lämpöarvoa kohti sen hiilidioksidin ominaispäästö on vain noin 60 % kivihiileen verrattuna. (Koskelainen et al. 2006, 27 - 28.) Kombiprosessilla, jossa on sekä kaasua että höyrypiiriä, on huomattavasti parempi sähköntuotannon hyötysuhde kuin höyryvoimalaitoksella. Hiukkaspäästöjä maakaasulaitoksella ei ole juuri lainkaan. (Koskelainen et al. 2006, 28; 303.)

Maakaasua parempi hiilidioksidipäästöjen kannalta ovat biopolttoaineet, joiden nettovaikutus hiilidioksidipäästöihin on nolla. Biopolttoaineiden käyttö on kannattavaa lä-

hinnä keskitetyssä tuotannossa, sillä sen käsittely ja vastaanotto vaativat suuremmat tilat kuin kaasu- ja öljypolttoaineiden käsittely ja vastaanotto, logistinen puoli on paremmin hallittavissa keskitetyssä tuotannossa, sen hyötysuhde ei ole hyvä pienissä laitoksissa ja esimerkiksi hiukkaspäästöjen taloudellisen hallinnan mahdollistamiseksi laitoksen on oltava riittävän suuri. (Koskelainen et al. 2006, 28.)

Jätteillä tuotettu energia yhdessä kaukolämmön kanssa voivat taata todella pienet kokonaispäästöt. Lämmityksen kokonaispäästöissä kaukolämmön kanssa yhtä alhaisiin määriin yltävät vain ydinvoimalla tuotettu sähkölämmitys ja lämpöpumppulämmitys. (Koskelainen et al. 2006, 28.)

Polttoaineilla tuotetun kaukolämmön lisäksi lämpöä voidaan ottaa myös teollisuuden hukkalämmöstä. Ensisijaisesti prosessissa syntynyt lämpö hyödynnetään lämmön synnyttäneessä prosessissa, jonka jälkeen tehokkainta on hyödyntää lämpö itse teollisuuslaitoksessa. Vasta näiden jälkeen yli jäänyt lämpö kannattaa kenties hyödyntää muualla, kuten kaukolämpönä. Lämpötehon on kuitenkin oltava riittävä, jotta hyödyntäminen olisi kannattavaa. Mikäli hukkalämpöä otetaan kaukolämpöverkkoon, on huomioitava sen saantiajat, ja varmistettava korvaava lähde silloin, kun teollisuuslaitos ei ole käynnissä. (Koskelainen et al. 2006, 28.)

4 KAUKOLÄMPÖAKKU

Kaukolämmön ja sähkön kulutuksessa on vaihtelua, mutta niiden vaihtelu ei johdu täysin samoista syistä. Kaukolämmön kulutusta voi osittain ennustaa kuluttajien tyypillisen kulutuskäyttäytymisen sekä vuodenaikojen keskilämpötilojen mukaan. Sää kuitenkin vaihtelee satunnaisesti, ja ulkolämpötilalla on suuri merkitys kaukolämmön tarpeeseen. Sähkön kulutus riippuu pitkälti viikon tai vuorokauden ajankohdasta, joten tilastollinen ennustus on helpompaa. Sähkön kulutus ei ole yhtä vahvasti yhteydessä säähän kuin kaukolämmön kulutus. (Koskelainen et al. 2006, 383.)

Sähkön- ja lämmönkulutuksen eriaikaisen vaihtelun vuoksi sähkön ja lämmön yhteistuotannossa joudutaan tuotantoa harkitsemaan tilannekohtaisesti. Mikäli sähkönkulutus on suhteessa suurta kaukolämmönkulutukseen, on joko tuotettava tarvittava määrä sähköä itse, jolloin syntyy ylimääräistä lämpöä, tai ostettava sähköä valtakunnanverkosta. Laitoksen rakennusaste määrää, kuinka paljon laitoksesta saadaan sähkötehoa

lämpötehoa kohden. Mikäli lämmönkulutus on suuri suhteessa sähkönkulutukseen, voidaan lämmöntuotantoa tehostaa vesikattilaenergialla. (Koskelainen et al. 2006, 383.)

Ilman kaukolämmön varastointia sähköntuotannossa syntynyt ylimääräinen lämpö menee hukkaan. Kaukolämpöverkkoa voidaan hyödyntää lämmön varastointiin, mutta on myös mahdollista rakentaa verkkoon liitettävä kaukolämpöakku. Kaukolämpöakkuun varastoidaan sähköntuotannossa syntynyttä lämpöä, mikäli lämmönkulutus ei ole sillä hetkellä riittävän suurta, jolloin se jää talteen myöhempää käyttöä varten, eikä lämpöä tarvitse ajaa lauhteeksi. Kaukolämpöakkua purettaessa saadaan käytettyä edullisemmin tuotettua lämpöä sen sijaan, että ylimääräinen lämmöntarve pitäisi kattaa kalliimmalla lämpöenergialla. (Koskelainen et al. 2006, 383.)

Lämmön varastoinnin lisäksi kaukolämpöakkua voidaan käyttää vesireservinä kaukolämpöverkon vauriotapauksissa (Koskelainen et al. 2006, 384). Tällöin kaukolämpöakun on oltava kytketty suoraan kaukolämpöverkkoon. Lahti Energian nykyistä kaukolämpöakkua käytetään myös vähentämään kaukolämpöverkon painevaihteluita (Kuusela et al. 1988, 76).

Kaukolämpöakulla voidaan siirtää voimalaitoksen suurinta tuotantoa siihen ajankohtaan, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan sähköpörssissä. Esimerkiksi kevättalvella lämmöntarve on yöllä suurempi kuin päivällä, mutta sähkön hinta on päivällä suurempi. Päivällä voidaan tuottaa taloudellisemmin sähköä, jos syntyvä lämpö saadaan otettua talteen ja purettua yöllä pienemmän tuotannon aikana. (Lehto-Peippo 2003.)

4.1 Erilaisia kaukolämpöakkuja

Kaukolämpöä voidaan varastoida pitkäaikaisesti tai lyhytaikaisesti. Pitkäaikaisvarastoinnissa lämpöä voidaan varastoida useita kuukausia. Lyhytaikaisvarasto sen sijaan on mitoitettu lyhyempikestoiseksi, tuntien tai päivien tarpeelle. (Kara 1987, 45 - 46.)

Varastoitaessa lämpöä pitkäaikaisesti voidaan käyttää lämpöä varastoivana massana ja lämmön kuljetukseen muutakin kuin vettä. Aineen olomuodonmuutokseen eli faasi-muutokseen perustuva varastointi ja kemialliseen reaktioon perustuva varastointi toimivat siten, että varastoivaan massaan tuotetaan lämpöä sitova tai lämpöä vapauttava

muutos. Kemialliseen reaktioon perustuvassa lämmönvarastoinnissa varastointikyky on noin kymmenkertainen veteen verrattuna, mutta tämä ratkaisu on vielä kehitysvaiheessa. (Koskelainen et al. 2006, 385.)

Lyhytaikaisvarastoinnissa käytetään tyypillisesti vettä varastoimaan ja kuljettamaan lämpöä. Mikäli säiliö on paineeton, vesi ei saa ylittää 100 °C lämpötilaa, mutta paineistetussa säiliössä voidaan käyttää korkeampaa lämpötilaa. Kustannussyistä suuret säiliöt rakennetaan paineettomiksi. Mikäli säiliön paine ei vastaa kaukolämpöverkon painetta, on säiliön ja kaukolämpöverkon välissä oltava paineenalennus- tai paineenostoasema. (Koskelainen et al. 2006, 386.)

Maan pinnalle tai kokonaan tai osittain maahan upotettu terässäiliö eristetään lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Eristämättömän maanalaisen kalliovaraston lämpöhäviöt pienentyvät itsestään muutaman vuoden käytön jälkeen. (Koskelainen et al. 2006, 386 - 387.)

Terässäiliö voidaan kytkeä kaukolämpöverkkoon ilman lämmönsiirrintä, mutta esimerkiksi betonisäiliö on liitettävä aina lämmönsiirrimellä, sillä siitä liukenee veteen epäpuhtauksia (Koskelainen et al. 2006, 389).

Kaukolämpöverkkoon varastoidaan lämpöä nostamalla kaukolämpöveden menolämpötilaa. Myös paluuveteen voidaan varastoida energiaa, jolloin siihen sekoitetaan ohiusventtiilin kautta menovettä. Ulkolämpötilan mukaan määräytyvää menolämpötilan säätökäyrää voidaan nostaa, jos ennakoitujen sääolosuhteiden, eli tuulennopeuden tai ilman kosteuden kasvu tai ulkolämpötilan lasku, tai tilastolliset kaukolämmön vuorokautiset kulutushuiput edellyttävät sitä. Menoveden lämpötilan säätönopeus on normaalisti 1 - 2 °C kuuden minuutin aikana, jotta kaukolämpöverkkoon ei aiheudu lämpörasitusta. Säätökäyrän ylityksen yläraja on 20 °C, sillä asiakaslaitteiden säätö vaikeutuu korotetun lämpötilan vuoksi vesivirran pienentyessä. Kaukolämpöverkon suunnittelulämpötilaa ei kuitenkaan saa ylittää. (Koskelainen et al. 2006, 336 - 337.) Tyypillisesti menoveden lämpötilaa nostetaan 5 - 15 °C, ja latausta pidetään kahdesta kolmeen tuntiin (Koskelainen et al. 2006, 389). Kaukolämmön lämpötilan nosto kuitenkin vähentää sähköntuotantoa. Kaukolämmön käsikirjassa kerrotaan, että tavallisessa vastapainevoimalaitoksessa 1 °C lämpötilan nousu paluuvvedessä vähentää säh-

köntuotantoa noin 0,2 % ja menovedessä 1 °C lämpötilan nousu vähentää sähköntuotantoa noin 1 %. (Koskelainen et al. 2006, 298.)

Taulukossa 1 on Suomessa rakennettuja kaukolämpöakkuja, jotka ovat terässäiliöitä. Lahti Energian 200 m³ kokoinen kaukolämpöakku on nykyään kaukojäähdytyskäytössä.

Taulukko 1 Suomessa rakennettuja terässäiliöakkuja (Koskelainen et al. 2006, 396)

Paikka	Tilavuus m³	Kap. MWh	Maksimiteho	Pääpolttaine MW	Käyttöönottovuosi
Espoo, Otaniemi ⁽¹⁾	500	20	10	Kaasu	1974
Oulu	15 000	800	80	Turve	1985
Oulu (kallio)	190 000	10000	80	Turve	1996
Lahti	10 000	450	40	Hiili	1985
Lahti	200	9	1	Kaasu	1989
Naantali	15 000	690	82	Hiili	1985
Helsinki, Salmisaari ⁽²⁾	2*10 000	1000	130	Hiili	1987
Helsinki, Vuosaari	26 000	1400	130	Kaasu	1997
Saarijärvi ⁽¹⁾	350	21	3	Turve	1988
Kouvola	10 000	420	72	Kaasu	1988
Hämeenlinna ⁽²⁾	10 000	320	50	Hiili	1988
Hyvinkää	10 000	350	50	Kaasu	1988
Vantaa ⁽³⁾	20 000	900	50	Hiili	1990
Rovaniemi	10 000	450	30	Turve	1998
Kokkola	3 200	185	50	hake, turve	2001
Turku	6 000	300	60	Hiili, puu	2003
Yhteensä	346 250	17 315	918		

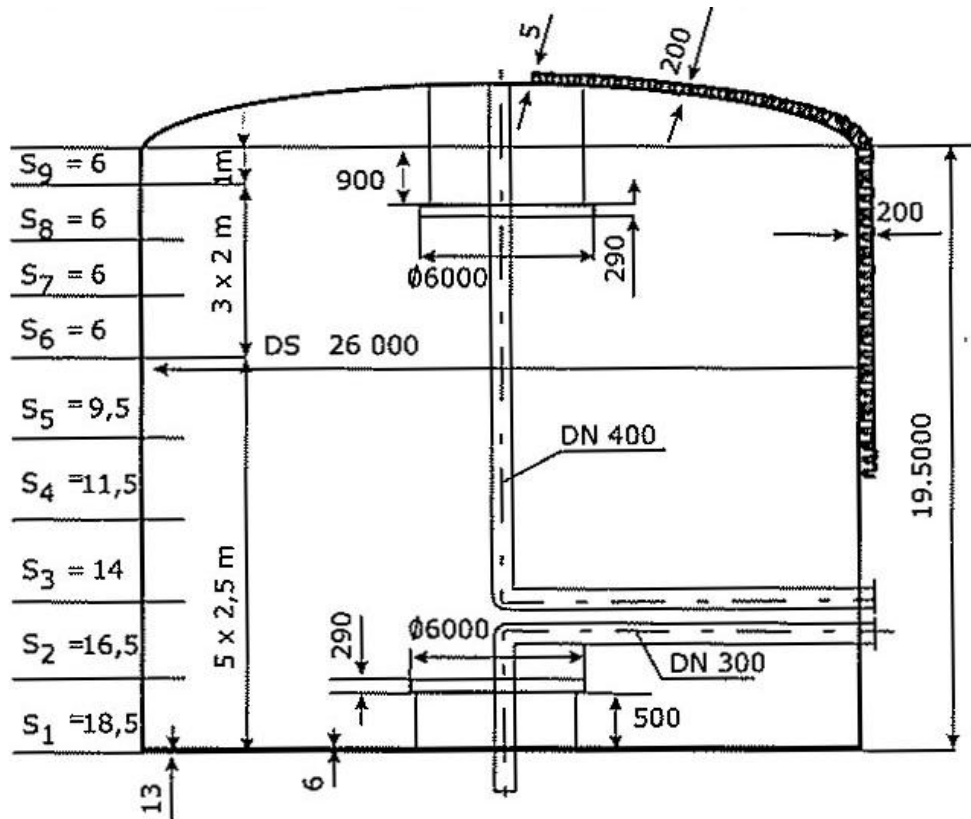
1) paineistettu 2) kytkentä lämmönsiirtimellä 3) muutettu vanhasta öljysäiliöstä

4.2 Lahti Energian nykyinen kaukolämpöakku

Kun Lahti Energian nykyistä 10 000 m³:n kaukolämpöakkua suunniteltiin 1980-luvun alussa, oli Teknologian tutkimuskeskus, VTT vastikään tutkinut kaukolämpöakkujen kannattavuutta monissa Suomen kaupungeissa. Tällöin todettiin, että pitkäaikaisten kausivarastojen investointikustannukset olisivat liian suuria niiden kookkaan tilavuus-

den vuoksi, eikä Suomeen kannattaisi sellaisia rakentaa. (Kuusela et al. 1988, 15.) Suomen väkiluku oli vuoden 1950 lopussa noin 4 miljoonaa, vuoden 1990 lopussa noin 5 miljoonaa ja vuoden 2013 lopussa noin 5,5 miljoonaa. Vuonna 2040 väkiluvun arvioidaan olevan noin 6 miljoonaa. (Tilastokeskus 2014.) On mahdollista, että esimerkiksi väestön kasvaessa, tekniikoiden kehittyessä tai ihmisten muuttaessa tiheämmin asutuille alueille ja kaukolämmön yhä yleistyessä olisivat suuret kausivarastotkin kannattavia. Kyseisen tutkimuksen nimeä ei ole mainittu, joten siinä huomioituista tekijöistä ei ole tietoa.

Kausivarastoa ei edes harkittu rakennettavan VTT:n tutkimustulosten vuoksi, joten kaukolämpöakun optimikoko arvioitiin viikko- ja vuorokausikäytön mukaan. Maksimitilavuus määräytyi suureksi osin sijaintipaikan perusteella. Tutkimuksessa huomautetaan, ettei koon optimointi olisi rajoitteista huolimattakaan täysin varmaa, sillä kannattavuuteen vaikuttaa esimerkiksi eri polttoaineiden hintojen suhteellinen kehitys tulevaisuudessa. Maiseman ulkonäön vuoksi säiliö suunniteltiin samankorkuiseksi kuin kaksi vieressä sijaitsevaa öljysäiliötä. Kaukolämpöakulle kaivettiin noin viisi metriä syvä kuoppa, jotta tilavuudeksi saataisiin suunniteltu $10\,000\text{ m}^3$. Tutkimuksessa todetaan, että normaalisti tämän kaukolämpöakun koko energiasisältöä ei saada yhden vuorokauden aikana käyttöön, mutta viikonloppuisin ja voimalaitosten vauriotilanteissa suuremmasta tilavuudesta olisi hyötyä. (Kuusela et al. 1988, 14 – 15.)



Kuva 1 Lahti Energian kaukolämpöakku (Koskelainen et al. 2006, 386)

Lahti Energian nykyistä kaukolämpöakkuja käytetään lisäämään vastapainesähköntuotantoa ja vähentämään lauhdutussähkön tuotantoa sekä vähentämään lämpökeskusten käyttöä. Kaukolämpöakku on myös varalämmönlähde laitosten vikaantuessa ja varavesisäiliö kaukolämpöverkon suuremmissa vuodoissa. Tämä kaukolämpöakku on lisäksi liitetty kaukolämpöverkkoon niin, että se toimii kaukolämpöverkon paisuntasäiliönä. (Kuusela et al. 1988, 76.) Kaukolämpöakku on kytketty kaukolämpöverkkoon suoralla kytkennällä, minkä vuoksi vedenotto kaukolämpökästä kaukolämpöverkkoon ja kaukolämpöverkon painenvaihteluiden vähentäminen ovat mahdollisia (Kuusela et al. 1988, 3).

Kaukolämpöverkkoon purettavan veden lämpötilan on oltava sama kuin menoveden asetusarvo. Esimerkiksi talvisin menoveden lämpötilan asetusarvo on yli 100 °C, eikä niin kuumaa vettä saa ladata paineistamattomaan kaukolämpöakkuun. Tällöin säiliötä ladattaessa on liian kuumen veden lämpötilaa laskettava sekoittamalla siihen kylmempää paluuvettä. Purettaessa vesi voidaan priimata, eli sen lämpötila voidaan korottaa menoveden asetusarvoon tuottamalla Teivaanmäen kaasuturbiinilla asetusarvoa kuumempaa vettä ja sekoittamalla sitä tarvittava määrä kaukolämpökästä purettuun veteen.

1980-luvulta 2010-luvulle lienee tapahtunut monia muutoksia, jotka vaikuttavat kaukolämpöakun kannattavuuteen. Investointikustannuksista säiliön, tarvikkeiden, palkkojen ja tutkimuksen prosentuaaliset osuudet kokonaiskustannuksista voivat olla hyvinkin erisuuruiset nykyään 1980-luvun osuuksiin verrattuna. Öljysäiliöiden muuttaminen kaukolämpöakuiksi on lisäksi poikkeuksellinen hanke, sillä rakentamis- ja materiaalikustannukset ovat oletettavasti pienemmät kuin normaalisti, sillä säiliöt ovat jo olemassa. Tämän vuoksi hankkeen investointikustannusten arviointiin ei voi sellaisenaan käyttää yleisiä tilavuuden mukaan tehtyjä arvioita kaukolämpöakun kustannuksista.

4.3 Kaukolämpöakun dimensiot

Vesi kerrostuu lämpötilan mukaan, joten suuri korkeus/halkaisijasuhde on hyödyllinen. Kuitenkin säiliön rakenteen lujuuden on oltava vaatimusten mukainen, jolloin korkeuden lisääntyessä myös kustannukset kasvavat, mikä rajoittaa korkeutta suurilla säiliöillä. Jotta veden lämpötilakerrokset eivät sekoittuisi keskenään, virtaus pyritään saamaan mahdollisimman tasaiseksi erilaisilla ohjaimilla. (Kara 1987, 48). Ohjaimia kutsutaan myös jakajiksi tai diffuusoreiksi (Koskelainen et al. 2006, 386). Nyt tutkitavassa tapauksessa säiliöt on jo rakennettu, joten tilavuutta ei voida valita.

5 ÖLJYSÄILIÖIDEN MUUTTAMINEN KAUKOLÄMPÖAKUIKSI

Öljysäiliöt on rakennettu säiliöstandardin mukaan, joten ne soveltuvat lujuudeltaan ainakin paineistamattomiksi kaukolämpöakuiksi. Öljyn tiheys ei poikkea veden tiheydestä kovin paljoa, joten öljysäiliöiden voidaan olettaa olevan riittävän lujia myös vedellä täytettäviksi. Säiliöt on tarkastettu viimeksi vuonna 2013, jolloin mitattiin rakenteiden paksuutta, tutkittiin, onko säiliöissä korroosiota, ja tarkastettiin hitsausaumoja (Inspecta Oy 2013).

Öljysäiliöiden korkeus/halkaisijasuhde on 0,80. VTT:n julkaisemassa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin 20 000 m³ suuruisen öljyterässäiliön muuttamista lämpövarastoksi, todettiin, että suositusten mukaan korkeus/halkaisijasuhteen tulisi olla 1,5 - 1,8 (Forsström & Sipilä 1993). Reijo Karan teoksessa Energian varastointi todetaan korkeus/halkaisijasuhteen voivan olla pienemmällä säiliöillä 0,5 - 1,5 (Kara 1987, 48).

Nyt tarkasteltavien öljysäiliöiden tilavuus on 5 000 m³ säiliötä kohden. Lahti Energian nykyisen kaukolämpöakun korkeus/halkaisijasuhde on 0,75. Kokemuksen perusteella siis 10 000 m³ suuruinen kaukolämpöakku on toimiva korkeus/halkaisijasuhdeella 0,75. Öljysäiliö on tilavuudeltaan vain puolet nykyisestä kaukolämpöakusta, joten 0,80 on todennäköisesti riittävä korkeus/halkaisijasuhde.

5.1 Teho ja energiasisältö

5 000 m³ suuruisen kaukolämpöakun energiasisältö on noin puolet Lahti Energian nykyisen, 10 000 m³ suuruisen kaukolämpöakun energiasisällöstä, kun säiliöstä tehdään paineeton, ja siihen varastoidun veden lämpötilat ovat vastaavat kuin nykyisessä kaukolämpöakussa. 40 °C lämpötilaerolla nykyisen kaukolämpöakun energiasisältö on noin 450 MWh (Kuusela et al. 1988). Puolet siitä on 225 MWh. Samalla mitoitusteholla, eli 40 MW, kaukolämpöakun lataus- ja purkausaika olisi noin 5 tuntia 30 minuuttia.

5.2 Kaukolämpöakun kytkeminen kaukolämpöverkkoon

Lahti Energian nykyistä kaukolämpöakkaa rakentaessa sen katonharjan oli tarkoitus tulla samalle korkeudelle kuin niiden kahden öljysäiliön katonharjojen, joiden muuttamista kaukolämpöakuiksi tässä työssä suunnitellaan. Kaukolämpöakun kuoppaa ei voitukaan kaivaa riittävän syväksi, joten kaukolämpöakun katonharja on noin puoli metriä korkeammalla kuin öljysäiliöiden. Mikäli nykyinen kaukolämpöakku yhdistettäisiin suoraan näihin kahteen kaukolämpöakuiksi muutettavaan säiliöön, olisi nykyisen kaukolämpöakun pinnankorkeutta ehkä laskettava. Nesteen pinta asettuu yhdistetyissä säiliöissä samalle korkeudelle samansuuruisen paineen vallitessa pinnoissa (Bohl 1988, 30). Nykyisen kaukolämpöakun pinnan alentaminen ainakin vähentäisi siihen ladattavissa olevaa energiaa, laajentaisi yläosan höyrytilaa suurentaen höyryntarvetta ja muuttaisi diffuusion sijaintia pinnankorkeuteen nähden. Tulisi selvittää, miten suora yhteys säiliöiden välillä vaikuttaisi lämpötilakerrokseen, mikäli sellainen aiottaisiin tehdä.

Kytkemällä öljysäiliö epäsuoralla kytkennällä, eli lämmönsiirtimen välityksellä kaukolämpöverkkoon ei kaukolämpöveden painetta tarvitsisi laskea verkon puolella vastaanottamaan normaalia ilmanpainetta. Kaukolämpöveden on kuitenkin siirrettävä tarvitta-

va lämpötila, joten virtaus mitoitetaan sen mukaan. Painetta saattaa siis joutua joka tapauksessa alentamaan ennen lämmönsiirrintä ja korottamaan syötettäessä lämmitettyä vettä kaukolämpöverkon menoputkeen. Myös lämmönsiirtimessä voi olla laitekohtaisia rajoituksia virtausnopeudelle ja paineelle.

Jos kaukolämmön varastointiin arvioidaan tarvittavan vain lisäkapasiteettia, eli nykyisen kaukolämpöakun purkaus- ja latausteho on sopiva, voidaan öljysäiliö liittää nykyisen akun putkistoon, ja purkaa ja ladata lämpöä samoilla pumpuilla kuin nykyistä kaukolämpöakkuja. Lämmönvarastointikapasiteetti kasvaisi 50 % muutettaessa vain toinen säiliöistä, ja kaukolämpöakkuja käytettäisiin vuorotellen. Kaukolämpöakut eivät olisi kuitenkaan toisiinsa suoraan yhteydessä, jotta ei aiheutuisi ongelmia veden pinnankorkeuden pyrkiessä samalle tasolle kahdessa erisuuruudessa säiliössä. Putkiin lisättäisiin tarvittavat venttiilit, jotka avaamalla tai sulkemalla ohjattaisiin vesivirta aina sillä hetkellä käytössä olevaan akkuun. Suoralla kytkennällä kaukolämpöakut toimisivat vuorotellen myös paisuntasäiliönä. Olisi varmistettava, ettei kytkentä haittaisi kaukolämpöverkon toimintaa.

Teivaanmäen voimalaitoksella on tarpeettomaksi jäänyt meno- ja paluuputki, joita voi hyödyntää uuden kaukolämpöakun kytkentään, mikäli putket ovat mitoitustehon kannalta sopivan kokoiset. Putket kulkevat kaasuturbiinille, mikä on tarpeen silloin, kun kaukolämpöakusta purettavan veden lämpötilaa on korotettava kaukolämmön menoveden asetusarvoon.

5.3 Eristys

Kaukolämpöakku, joka on terässäiliö, on eristettävä lämpöhäviöiden ehkäisemiseksi. Kun lisätään toinen kaukolämpöakku jo olemassa olevan kaukolämpöakun kanssa vuorotellen käytettäväksi, saatetaan lisäkapasiteetiksi tehtyä kaukolämpöakkuja käyttää harvemmin. Tällöin voi olla olennaista eristää säiliö niin, että lämpöhäviöitä syntyy mahdollisimman vähän. Jos tarvittava eristepaksuus on liian suuri kustannuksiltaan, voi olla kannattavinta jättää lisäämättä kapasiteettia.

Lämpöenergian johtuminen eristekerroksen läpi voidaan laskea kaavasta (1).

$$\phi = \lambda A \frac{\Delta T}{l} = \frac{A}{R} \Delta T \quad (1)$$

jossa Φ = siirtyvä lämpöenergia (W)

λ = lämmönjohtavuus (W/mK)

A = pinta-ala (m²)

ΔT = pintalämpötilojen erotus (K)

l = eristekerroksen paksuus (m)

R = 1/ λ = eristekerroksen lämmönvastus = lämpöisolanssi (m²K/W)

k = 1/R = λ /l = lämmönläpäisykerroin (W/m²K)

5.4 Mittaukset, hälytykset ja ohjaus

Kaukolämpöakku pyritään automatisoimaan mahdollisimman pitkälle, jotta käyttö on helppoa. Operaattorin tarvitsee ainoastaan käynnistää ja pysäyttää lataus tai purku. Kaukolämpöakku ohjataan Lahti Energialla käytössä olevalla MetsoDNA-järjestelmällä, jossa näkyvät myös tilatiedot, mittaustiedot ja hälytykset.

Kaukolämpöakun lataus- ja purkausteho näkyy valvomon monitorilla sekä kaukolämpöakun kuvissa että yleiskuvassa, josta käy ilmi esimerkiksi kaukolämmön tuotanto eri tuotantolaitoksilta ja asiakkaiden kaukolämmön kulutus. Lataus- ja purkaustehon lisäksi valvomosta voidaan seurata latauksen ja purkauksen vesivirtaa.

Säiliön lämpötilaa on mitattava riittävän monesta kohdasta, jotta tiedetään veden kerrosten lämpötilat, joista järjestelmä laskee automaattisesti kaukolämpöakussa sillä hetkellä olevan energiasisällön. Tällöin operaattori osaa pysäyttää latauksen tai purkauksen ennen kuin veden lämpötila ei enää sovellu lataukseen tai purkaukseen. Eri kerrosten lämpötilat ja ladattavan ja purettavan veden lämpötilat näkyvät monitorilla. Kaukolämpöakun alaosan lämpötilasta voi tulla valvomoon hälytys, mikäli se uhkaa nousta liian korkeaksi ladattaessa kaukolämpöakkuja. Alaosassa tahdotaan pitää kerros viileää vettä pohjan lämpöliikkeiden estämiseksi. Yläosasta purettavan lämpötilan on sen sijaan oltava riittävän korkea, jotta kaukolämpöverkon ongelmaton toiminta voi-

daan taata. Myös liian matalasta purkauslämpötilasta viedään hälytys valvomoon. Tarvittaessa kaukolämpöakusta purettu vesi korotetaan kaukolämpöveden menolämpötilan asetusarvoon Teivaanmäen kaasuturbiinilla.

Kaukolämpöakun pinnankorkeutta mitataan myös. Sen täytyy olla asetetuissa rajoissa, jotta esimerkiksi diffuusorin sijainti on pinnankorkeuteen nähden hyvä tasaisen virtauksen takaamiseksi. Jos vedenpinta laskee liian matalalle tai nousee liian korkeaksi, on säätölaitteissa todennäköisesti vikaa, eikä kaukolämpöakku toimi oikein. Epäsuoralla kytkennällä tehty kaukolämpöakku todennäköisesti vuotaa, jos pinnankorkeus laskee liikaa.

Höyrytila on pidettävä pienellä ylipaineella säiliön yläosan happikorroosion estämiseksi, joten siinä on oltava jatkuva mittaus, ja siitä viedään hälytys valvomoon paineen pudottua hälytysrajan alapuolelle. Höyrykehittimeltä tulee höyryä automaattisesti lisää, kun paine putoaa alle höyrynpaineen asetusarvon. Liian suuren paineen estämiseksi kaukolämpöakku varustetaan vesilukolla, joka päästää ylimääräisen paineen pois.

Kaikki tiedot tallentuvat järjestelmään, josta ne voidaan ottaa tarkasteluun.

5.5 Laitteisto

5.5.1 Pumput ja putkistot

Putkistojen materiaalikustannukset lienevät verrattavissa kaukolämpöverkon rakentamisen materiaalikustannuksiin. Työ sen sijaan todennäköisesti teetetäisiin ulkopuolisilla, jotta yrityksen omat työntekijät voisivat keskittyä tavallisiin työtehtäviinsä.

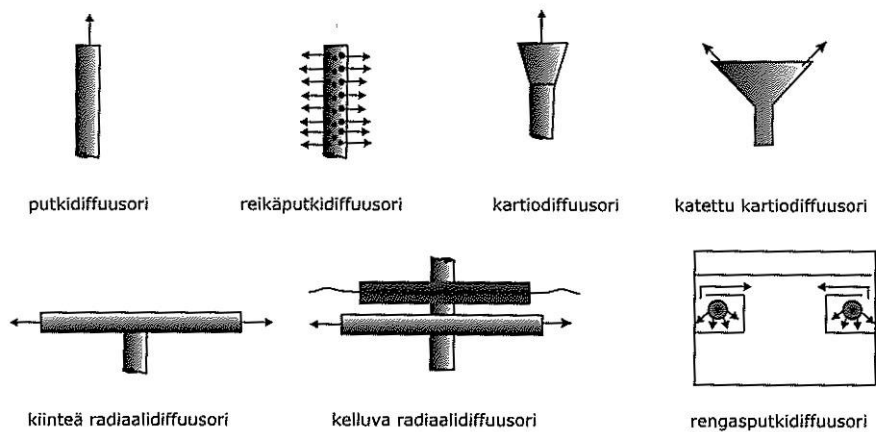
Putken koko valitaan vaaditun tehon määrittelemän siirrettävän vesivirran mukaan. Alustava suunnitelma on, että uusi kaukolämpöakku liitetään samaan kaukolämpöverkon osaan kuin nykyinen kaukolämpöakku, jotta kaukolämpöverkossa tapahtuvat uuden kaukolämpöakun käyttämisestä aiheutuvat tilanteet olisivat helposti arvioitavissa ja hallittavissa. Kytkennässä voitaisiin hyödyntää nykyisen kaukolämpöakun kytkentöjä.

Pumpun koko on optimoitava tarvittavan pumppaustehon mukaan niin, että käyttökustannukset ovat mahdollisimman pienet. Pumpun hankintahintaa tulee myös arvioida suhteessa käyttökustannussäästöihin.

Hankittavien pumppujen lukumäärä riippuu kytkennästä. Jos kytkeä uusi kaukolämpöakku suoralla kytkennällä niin, että nykyisen kaukolämpöakun pumpuilla voidaan käyttää molempia kaukolämpöakkuja, ei pumppujen hankinnasta tule kustannuksia. Epäsuoralla kytkennällä pumppuja tarvitaan sekä kaukolämpöakun vesivirran ohjaamiseen että kaukolämpöverkon vesivirran ohjaamiseen, sillä näiden välissä on lämmönsiirrin.

5.5.2 Diffuusorit

Vesi kerrostuu lämpötilan mukaan niin, että kuuma vesi asettuu viileämmän veden päälle. Jotta kaukolämpöakusta saataisiin tehokkaasti purettua lämpöä, on kuumaan ja viileän veden sekoittumista pyrittävä rajoittamaan. On myös tärkeää, että pohjalla on vakiolämpöistä viileää vettä, jotta pohjalle muodostuisi eristekerros, eikä pohjalevyjen lämpötila vaihtelisi suuresti. Ylimpänä oleva kuumin vesikerros on myös eristävä. Lämpökerrosten sekoittumiseen vaikuttaa myös säiliön korkeuden ja halkaisijan suhde, jonka kasvaessa lämpötilakerrosten sekoittuminen heikkenee (Kara 1987, 48).



Kuva 2 Diffusoreja (Koskelainen et al. 2006, 387)

Diffuusorin mitoittamisessa olennainen luku on Frouden luku. Frouden luku saadaan kaavasta (2), kun virtausnopeus diffuusorissa jaetaan redusoidun maan vetovoiman kiihtyvyyden ja karakteristisen pituuden tulon neliöjuurella. (Kuusela et al. 1988, 17.)

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g'l}} \quad (2)$$

jossa	v on	virtausnopeus jakajassa
	g' on	redusoitu maan vetovoiman kiihtyvyys. $g' = g(\rho_1 - \rho_2) / \rho_1$, jossa ρ_1 ja ρ_2 ovat gradienttikerroksen ala- ja yläpuolella olevien nestekerrosten tiheydet
	l on	karakteristinen pituus, joksi valitaan tavallisesti gradienttikerroksen etäisyyden neliö jakajasta jaettuna gradienttikerroksen korkeudella

Frouden luvun sallittu maksimi vaihtelee eri lähteissä. Kolmessa eri lähteessä on suurimmaksi sallituksi arvoksi annettu 0,04; 1,0 ja 1,5. Kaavasta (2) voidaan kuitenkin päätellä, että lämpötilakerrosten sekoittumista vältetään parhaiten asentamalla diffuusori kauas kuuman ja kylmän veden rajana olevasta gradienttikerroksesta. (Kuusela et al. 1988, 17.)

On tehty kokeellisia virtausmittauksia, joiden perusteella voidaan selvittää diffuusorin korkeus/halkaisijasuhde ja optimaaliset mitat. Virtausnopeuden on oltava riittävän pieni sen vuoksi, ettei liikemäärän vuoksi säiliön seinämään aiheutunut impulssi sekoita lämpötilakerroksia. Diffuusorit lisätään sekä lataus- että purkauspäähän. Imutapahtuman mitoitus ei ole yhtä kriittistä kuin ulospuhalluksen. (Kuusela et al. 1988, 17 - 19.)

5.5.3 Korroosionesto

Kaukolämpöakku ei ole täysin tiivis, joten sinne pääsee happea. Säiliössä on kaukolämpövettä, josta happi on poistettu, mutta happi liukenee veteen sekä aiheuttaa säiliön kosteassa yläosassa korroosiota. Säiliötä on jotenkin suojattava korroosiolta.

Nykyisen akun korroosio estetään Clayton-höyrykehittimellä, josta syötetään höyryä akun yläosa höyrytilaan, joka pidetään pienessä ylipaineessa. Samalla laitteella poistetaan happi myös kaukolämpöverkkoon syötettävästä vedestä. Mikäli höyrykehitin on riittävän tehokas, sen tuottamaa höyryä voidaan edellisten lisäksi käyttää myös uudessa kaukolämpöakussa. Lahti Energian Clayton-höyrykehittimen teho on 392 kW ja se tuottaa höyryä 626 kg/h. Jos laite ei kykene tuottamaan riittävästi höyryä, voidaan höyryä tuottaa erillisellä sähkökäyttöisellä höyrystimellä. Sähkökäyttöinen höyrystin ei välttämättä ole hankinta- ja käyttökustannuksiltaan kannattava vaihtoehto.

Höyrytilan sijaan säiliö voidaan pitää hapettomana muillakin keinoilla. Vaihtoehtona on esimerkiksi typpi, jolla muut kaasut syrjäytettäisiin säiliön yläosasta. Typeä liukenee veteen (Helsingin laskentasaatio Oy 2014). Sitä myös poistuu vesilukon kautta veden pinnankorkeuden noustessa. Olisi selvitettävä, onko ratkaisu taloudellisesti kannattava, ja soveltuuko se kaukolämpöakkuun.

On myös tiettyjä kemikaaleja, joita lisätään kaukolämpöveden estämään korroosiota. Ne eivät kuitenkaan estäisi säiliön vedenpinnan yläpuolelle jäävän tilan korroosiota. Veteen liukenisä säiliön yläosasta esimerkiksi happea, jonka vuoksi korroosiota estäviä kemikaaleja jouduttaisiin lisäämään kaukolämpöakun veteen. Tämä vaikeuttaisi kaukolämpöveden laadun ylläpitoa, ja lisäisi tarvetta kemikaaleille. On parempi käsitellä kaukolämpövesi keskitetysti, jotta kaukolämpöveden laadun ylläpito on mahdollisimman helppoa ja edullista.

Kaukolämpöverkon paineen tasaamiseen käytetään paisuntasäiliöitä, joten sellaista voisi ajatella käytettävän myös kaukolämpöakun pinnankorkeuden vaihtelun aiheuttaman painenvaihtelun tasaamiseen, jolloin säiliö saataisiin suljettua erilleen ulkoilmasta. Kuitenkaan korroosioneston kustannusten kannalta siitä tuskin on hyötyä, sillä paisuntasäiliössä on estettävä hapen liukeneminen veteen aivan kuten kaukolämpöakussakin, minkä vuoksi se lienee kannattavampaa toteuttaa suoraan kaukolämpöakkuun. Vaikka paisuntasäiliön korroosionesto olisi toteutettavissa kustannustehokkaammin kuin kaukolämpöakussa, kaukolämpöakun vesitilavuuden muutokset ovat niin suuria, että paisuntasäiliöön tuskin olisi järkevää investoida. Paisuntasäiliötä olisi todennäköisesti oltava useita, jotta tilavuus olisi riittävän suuri.

6 INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

6.1 Kustannusarvio

Kaukolämmön käsikirjassa on esitetty kaksi kuvaajaa kaukolämpöakun kustannuksista. Kuvaajat ovat kaukolämpöakun kustannus säiliön tilavuuden funktiona ja kaukolämpöakun kytkentäkustannus lämpötehon funktiona. (Koskelainen et al. 2006, 399.) Nyt tarkasteltavassa hankkeessa ei voida suoraan arvioida kustannuksia ainakaan säiliön tilavuuden funktiona esitetyn kuvaajan mukaan, koska hankkeen kustannukset tuskin vastaavat kuvaajaa täysin, sillä säiliöt on jo rakennettu. Kytkentäkustannuksiin vaikuttaa se, saadaanko kytkennässä hyödynnettäviä jo olemassa olevia putkia ja laitteita.

Säiliön perustukset, pohja, vaippa ja katto on rakennettu, joten enää tarvitsee eristää säiliöt ja pellittää eristeet, lisätä diffusorit, toteuttaa hapenpoisto, toteuttaa automaatio ja ohjaus sekä liittää kaukolämpöakut kaukolämpöverkkoon. Liittämiskustannuksiin vaikuttaa se, miten kaukolämpöakku liitetään verkkoon. Aiemmin mainituista kuvaajista toisessa on terässäiliön epäsuoran kytkennän kustannukset lämpötehon funktiona, ja sitä voidaan käyttää tukena arvioitaessa kytkentäkustannuksia (Koskelainen et al. 2006, 399). On mahdollista, että kuvaajan selityksessä on virhe, sillä Kaukolämmön käsikirjan sivulla 392 annetaan suorasta kytkennästä esimerkiksi terässäiliö ja epäsuorasta kytkennästä kallio- tai betonisäiliö sen perusteella, että suorassa kytkennässä veden on oltava hyvin puhdasta, mikä ei välttämättä ole mahdollista kallio- tai betonisäiliöissä (Koskelainen et al. 2006, 392). Lisäksi kytkentäkustannusten kuvaajassa kalliosäiliön kustannukset ovat korkeammat, ja ne kasvavat jyrkemmin lämpötehon kasvaessa, joten oletetaan, että kuvaajat ovat epäsuorasti kytketty kalliosäiliö ja suorasti kytketty terässäiliö.

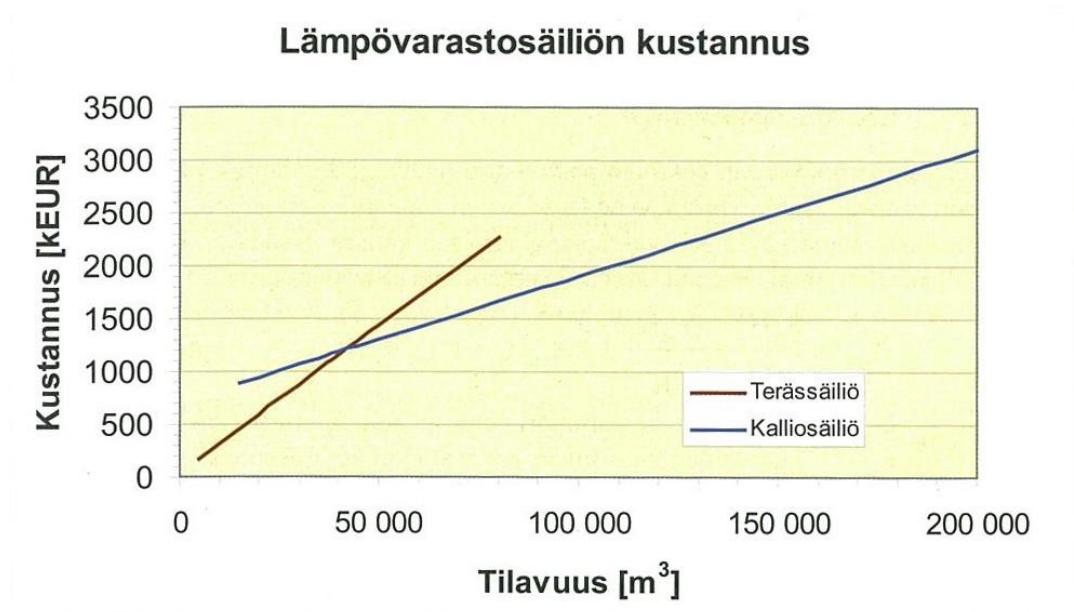
Alustavasti on ajateltu muutettavan vain toinen öljysäiliö kaukolämpöakuksi. Kaukolämmön käsikirjan kuvaajia voidaan hyödyntää kustannusten arvioinnissa, vaikka hanke ei olekaan aivan tyypillinen kaukolämpöakun rakentaminen. Riippuu toteutustavasta, kuinka paljon säästetään investointikustannuksissa hyödynnettäessä jo olemassa olevaa järjestelmää. On mahdollista, että kustannukset ovat pienemmät kuin alusta asti toteutettavassa kaukolämpöakussa. Tällä oletuksella kuvaajien mukaiset kustannukset olisivat suurimmat mahdolliset.

Kuvan 3 kuvaajassa terässäiliön kustannus tilavuuden funktiona on noin $0,028 * V + 30$, jossa V on säiliön tilavuus kuutiometreinä. Sijoitettuna kaavaan säiliön tilavuus $5\ 000\ m^3$, saadaan kustannukseksi 170 tuhatta euroa eli 170 000 €.

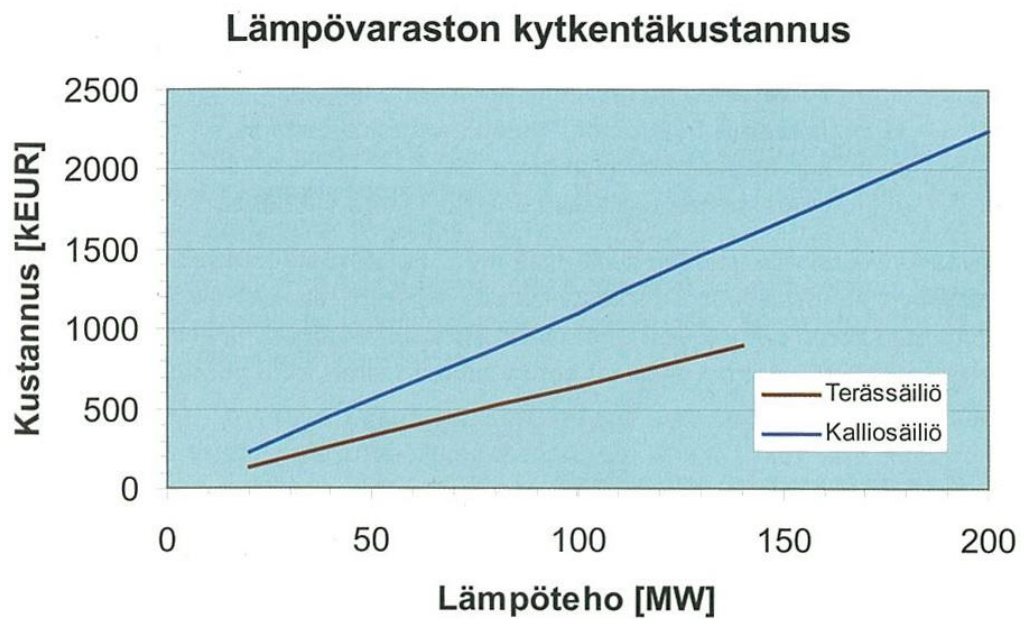
Jos kuvaajan selityksessä on virhe, eli terässäiliön kytkentäkustannus on laskettu suoralla kytkennällä, suorasti kaukolämpöverkkoon kytketyn terässäiliön kytkentäkustannus olisi samalla lämpöteholla kuin nykyinen kaukolämpöakku, jonka lämpöteho on 40 MW, noin 260 000 €. Tässä tapauksessa voidaan varmaan hyödyntää nykyisen akun kytkentää, jolloin kytkentäkustannukset olisivat pienemmät. Jos tahdotaan tarkastella muidenkin lämpötehojen mukaisia kytkentäkustannuksia, sijoitetaan lämpöteho kaavaan $6,358 * \Phi + 5,26$, jossa Φ on lämpöteho megawatteina.

Yhteiskustannukset olisivat tämän arvion perusteella korkeintaan 430 000 €, mikäli funktioiden laatija on ottanut kaikki kustannukset huomioon. Lähteessä ei ole selostettu, millä perusteilla funktiot on laadittu. Kuten todettu, kustannukset voivat jäädä pienemmiksi, kun jo olemassa olevia säiliöitä, putkistoja ja pumppuja voidaan hyödyntää.

Hanke kilpailutetaan, ja edullisimman tarjouksen tekijä saa työn, jos hanke päätetään toteuttaa.



Kuva 3 Kaukolämpöakun kustannus tilavuuden funktiona (Koskelainen et al. 2006, 399)



Kuva 4 Kaukolämpöakun kytkentäkustannus kaukolämpöverkkoon lämpötehon funktiona (Koskelainen et al. 2006, 399)

6.2 Kaukolämpöakun käyttötarve

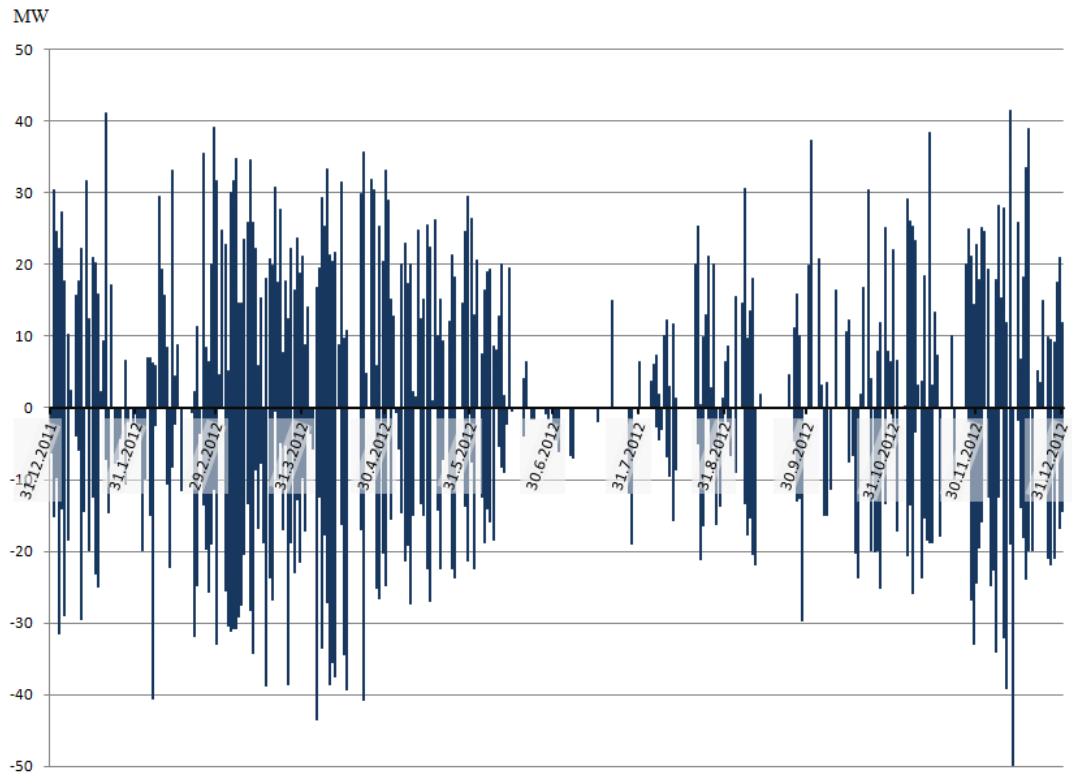
Monessa lähteessä mainitaan, että kaukolämpöakun käytöllä saadaan vähennettyä kallista öljyllä tuotettua lämpöä. Lahti Energian lämpökeskukset toimivat kuitenkin pääsääntöisesti maakaasulla, vaikkakin niitä voidaan käyttää tarvittaessa öljyllä. Lämpökeskuksilla tuotettu energia on joka tapauksessa kalliimpaa kuin päävoimalaitoksilla tuotettu energia.

Investoinnin kannattavuus riippuu kaukolämpöakun taloudellisesta tuotosta verrattuna kustannuksiin, joista suurimpia ovat investointikustannukset, käyttökustannukset ja kaukolämpöakusta aiheutuneiden lämpöhäviöiden kustannukset (Koskelainen et al. 2006, 400).

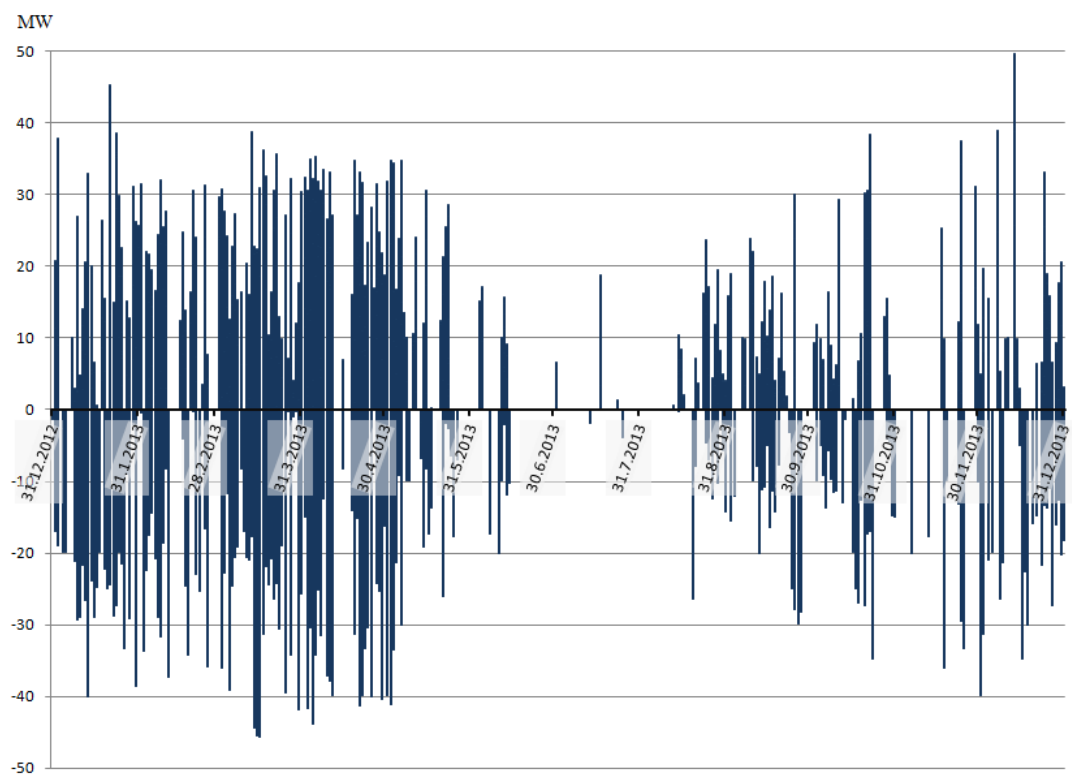
Arvioitaessa tarvetta kaukolämmön varastoinnin lisäkapasiteetille tai lämpötehoksi voidaan tarkastella aiempien vuosien tilastoja kaukolämpöakun latauksesta ja purkauksesta. Historiatietojen lisäksi tulee arvioida myös tulevaisuuden tarvetta kaukolämpöakulle. Alla on vuosien 2012 ja 2013 tilastoitujen lataus- ja purkutehojen mukaan laaditut kaaviot. Kaavioista on nähtävissä vuodenaikojen vaikutus kaukolämpöakun käyttöön. Pylväskaavion vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla lataus- ja purkausteho megawatteina. Positiivinen lukema on purkutehoa ja negatiivinen on latausteho.

Kaukolämpöakkua on ladattu ja purettu vuonna 2012 noin 20 000 MWh ja vuonna 2013 noin 22 000 MWh tuhannen megawattitunnin tarkkuudelle pyöristettynä. Minimilataus- ja purkaustehon, 2 MW, alle jääviä arvoja ei ole otettu huomioon, sillä ne ovat muun säädön aiheuttamia, eikä silloin ole ladattu tai purettu kaukolämpöakkua.

Kesäaikaan lämmöntarpeen ollessa pieni, lämpöä ajetaan paljon lauhteeksi, eikä sitä ole juuri tarvetta varastoida. Talvisin kylmimpinä aikoina lämmöntarve on suurimmillaan, eikä lämpöä riitä kaukolämpöakkuun varastoitavaksi.



Kuva 5 Kaukolämpöakun käyttö vuonna 2012 (Lahti Energia Oy 2014c)



Kuva 6 Kaukolämpöakun käyttö vuonna 2013 (Lahti Energia Oy 2014c)

6.3 Muutokset lämmön varastoinnin tarpeessa

Lahti Energian tytäryhtiön, LE-Sähköverkko Oy:n käyttöpäällikkö Pasi Heinonen arvioi, että kaukolämpöakun käyttö on vähentynyt Kymijärvi II -voimalaitoksen valmistuttua. Lämpöä tuotetaan päävoimalaitoksilla paljon, eikä kaukolämpöä ole tarvinnut juuri kaukolämmön edullisemman tuotannon vuoksi käyttää. (Heinonen 2014.)

Vuonna 2016 Kymijärvi I -voimalaitoksen käyttöaika on rajoitettava, jolloin kaukolämmön varastoinnille voisi olla lisätarvetta. Lisäkapasiteetin tarve olisi kuitenkin niin suuri, ettei varastointikapasiteetin kaksinkertaistamisella olisi merkittävää vaikutusta. Kymijärvi I -voimalaitoksen tuottamaa lämpöä korvaamaan olisi kyettävä purkamaan pitkän aikaa lämpöä, jota varastoitaisiin Kymijärvi I -voimalaitoksen tuottaessa pitkiä aikoja ylimääräistä lämpöä. (Heinonen 2014.) Lahti Energian tavoitteena on saada Kymijärvi I -voimalaitoksen korvaava monipolttoainevoimalaitos käyttöön vuonna 2020. Muutaman vuoden suuren lisätarpeen vuoksi tuskin on kannattavaa investoida pitkäaikaisvarastoon, sillä niiden investointikustannukset ovat yleensä todella suuret.

Päävoimalaitosten käynnistyksen ja pysäytyksen yhteydessä on hetki, jolloin kaukolämmön suurempi varastointikapasiteetti olisi tarpeen. Tällöin tarvittaisiin viikkosäätöön riittävän suuri kaukolämpöakku, eli öljysäiliöt eivät yhdessäkään riitä kattamaan lisätarvetta. (Heinonen 2014.) Näitä tilanteita on harvoin, joten investoinnin takaisinmaksuaika olisi varmaankin liian pitkä.

Nastolan kaukolämpöverkko liitettiin Lahden kaukolämpöverkkoon, mikä on saattanut lisätä kaukolämpöakun vuorokausisäädön tarvetta (Heinonen 2014).

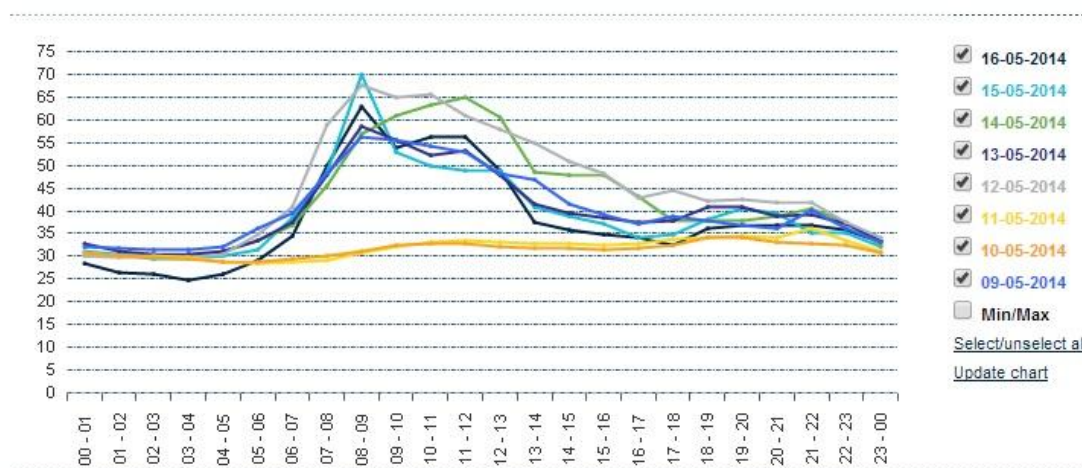
6.4 Vastapainesähkön tuotannon optimointi

Kuten aiemmin todettiin, kaukolämpöä ladataan voidaan siirtää voimalaitoksen suurinta tuotantoa siihen ajankohtaan, jolloin sähköntuotannosta saadaan paras hyöty. Nykyään Lahti Energian kaukolämpöakun tärkein tehtävä on vastapainesähkön tuotannon optimointi (Rajala 2014).

Rakennusaste tarkoittaa voimalaitoksen tuottaman lämpötehon määrää suhteessa tuotettuun sähkötehoon. Tavallinen kaukolämmitysvastapainevoimalaitoksen rakennusaste

te on 0,5. Tämä tarkoittaa sitä, että sähkötehoa saadaan 1 osa ja lämpötehoa 2 osaa. Mikäli kaukolämpöakkuja olisi käytetty ainoastaan vastapainesähkön tuotannon optimointiin, olisi vuodessa saatu rahallista hyötyä noin puolet ladatusta ja puretusta lämmöstä kerrottuna keskimääräisellä rahallisella hyödyllä megawattituntia kohden. Kaukolämpöakkuja purettaessa syntyy käyttökustannuksia, jotka vähennetään saadusta hyödystä.

Sähköpörssin sähkönhinta megawattituntia kohden vaihtelee, joten rahallisen hyödyn laskemiseksi olisi tarkasteltava aina hetkellisiä sähkönhintoja latauksen ja purkauksen aikana. Kuvassa 7 on sähkön pörssihinnat aikavälillä 9.5.2014 - 16.5.2014. Kuvaajan vaaka-akselilla on kellonajat tunneittain ja pystyakselilla on sähkön pörssihinta, €/MWh. Käyrän väri kertoo, mistä päivämäärästä on kyse. Lauantaina ja sunnuntaina, 10.5. ja 11.5., sähköhinnassa ei ole tapahtunut suuria vaihteluita, ja hinta on ollut alhainen. Arkipäivinä sähkönhinta on päiväsaikaan korkeammalla kuin öisin.



Kuva 7 Sähköpörssin hinta viikonpäivän ja kellonajan mukaan ajalla 9.5.2014 - 16.5.2014 (Nord Pool 2014)

7 JATKOSSA TUTKITTAVAA

Tässä työssä ei ole laskettu hankkeen toteuttamisen tarkkoja kustannuksia, vaan kustannusarvio on tehty sen perusteella minkä suuruiset kaukolämpöakun rakennus- ja kytkentäkustannukset yleensä ovat Energiategollisuus ry:n laatimien kustannusfunktioiden mukaan. Tällainen arvio on vain alustava ja jokseenkin epätarkka, sillä öljysäiliön muuttaminen kaukolämpöakuksi poikkeaa kaukolämpöakun tavallisesta rakenta-

misesta. On selvitetävä esimerkiksi laitteiden, kytkennän ja eristyksen kustannukset, ja kilpailutettava hankkeen toteutus.

Lopullista toteutusta ei ole ratkaistu, vaan on ainoastaan esitetty erilaisia vaihtoehtoja. Tulee selvittää, millainen ratkaisu on investointikustannuksiltaan kannattavin hyötöyn nähden. Ratkaisun ei tule myöskään olla liian monimutkainen, jotta se tulee varmasti toimimaan myös käytännössä. Suunnittelussa tarvitaan asiantuntemusta, jottei ratkaisu osoittaudu kelvottomaksi, kun investointi on jo tehty.

Jotta voitaisiin arvioida paremmin 5 000 tai 10 000 m³:n lämmönvarastointikapasiteetin lisäyksen tuottavuutta, saattaa olla tarpeen simuloida tilannetta ennen investointia. On huomioitava kuitenkin, ettei tietokonesimulaatiolla saada täysin varmoja tuloksia, sillä aivan kaikkea merkittävää ei välttämättä tiedetä tai voida ottaa huomioon. Tulevaisuudessa voi tapahtua ennakoimattomia muutoksia, jotka vaikuttavat kannattavuuteen. Tietokonesimulaatiossa ei ehkä kyetä huomioimaan aivan kaikkia tekijöitä, sillä todellisuus saattaa olla liian monimutkainen simuloitavaksi täydellisesti.

8 YHTEENVETO

Kirjallista lähdemateriaalia öljysäiliöiden muuttamisesta kaukolämpöakuiksi ei ole juuri saatavilla. Kaukolämpöakuista muutenkin on melko vähän yksityiskohtiin meneviä teoksia, mutta toisaalta kaukolämpöakkuihin liittyvät laskelmat voivat olla turhan monimutkaisia opinnäytetyön laajuuteen nähden. Kaukolämpöakun kokoa ei voi kuitenkaan yleensä optimoida kovin tarkasti, sillä energianhankintatilanteessa voi tapahtua muutoksia, joita ei ole mahdollista ennakoida. Myös vuosittainen tarve kaukolämpökulle voi vaihdella, jolloin arvioitu takaisinmaksuaika saattaa muuttua.

Kun otetaan huomioon kaukolämpöakun investoinnin suuruus suhteessa esimerkiksi uusien voimalaitosten rakentamiseen, ovat hankkeen kustannukset melko pienet. Mikäli hanke ei tuotakaan yhtä hyvin kuin arvioitiin, taloudellinen menetys ei liene yritykselle kohtalokas. Kaukolämpöakku ei toisaalta ole yhtä olennainen osa kaukolämmöntuotantoa kuin voimalaitokset, jotka ovat toiminnalle välttämättömiä. Nyt suunnitella oleva öljysäiliöiden muuttaminen kaukolämpöakuiksi ei välttämättä olisi merkittävä parannus kaukolämpöjärjestelmään, sillä Lahti Energiolla on jo yksi vuorokau-

sisäätöön soveltuva kaukolämpöakku. 5 000 m³ tai 10 000 m³ suuruinen lisäkapasiteetti olisi vain vuorokausisäädön jatke.

Jos hanke toteutetaan, kaukolämpöäkuksi muutetaan ensin todennäköisesti vain toinen öljysäiliöistä. Mikäli uusi kaukolämpöakku toimii moitteettomasti ja siitä saadaan esimerkiksi taloudellista hyötyä, voidaan tulevaisuudessa harkita toisenkin säiliön muuttamista kaukolämpöäkuksi. Mahdollisten ongelmien ilmetessä taloudellinen menetys ei ole niin suuri kuin se olisi, jos molemmat säiliöt olisi muutettu kaukolämpöäkuiksi. Jos toinen säiliö muutetaan myös kaukolämpöäkuksi, voidaan tehdä jotain paremmin ensimmäisen säiliön antaman kokemuksen perusteella.

Voidaan harkita tietokonesimulaation tekemistä, jolla kokeiltaisiin teoreettisesti hankkeen toteutuksen vaikutuksia ennen päätöstä hankkeen toteuttamisesta.

LÄHTEET

- Bohl, W. Suom. Krannila, M. 1988. Teknillinen virtausoppi. 2. painos. Tampere: Oy Sonator Ab.
- Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- Forsström, J., Sipilä, K. 1993. Öljyterässiiliöiden muuttaminen lämpövarastoksi. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus.
- Heinonen, P. Puhelinhaastattelu 14.5.2014. Lahti: Lahti Energia Oy.
- Helsingin laskentasäätö Oy. Täyttö. Saatavissa: <http://www.hls.fi/taytto.html> [viitattu 14.5.2014].
- Inspecta. 2013. Teivaanmäen öljysäiliöiden tarkastuspöytäkirjat.
- Kara, R. 1987. Energian varastointi. Espoo: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry.
- Kuusela, P., Nikkanen, A., Sipilä, K., Öberg, T. 1988. Lahden energialaitoksen lämpövaraston koerakentaminen. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Lahti Energia Oy. 2004. Jätepolttoaineen energiahyötykäyttöhankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Lahti: Lahti Energia Oy.
- Lahti Energia Oy. 2012. Lahti Energian Kymijärvi II -voimalaitos on Vuoden ilmastoteko. Saatavissa: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/ajankohtaista/lahti-energian-kymijaervi-ii-voimalaitos-on-vuoden-ilmastoteko> [viitattu 28.4.2014].
- Lahti Energia Oy. 2013. Bio2020-hanke ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B7D430413-9862-47C2-8FFE-8C1534FC8D%7D/58880> [viitattu 29.4.2014].
- Lahti Energia Oy. 2014a. Monipuolinen energia-alan yritys. Saatavissa: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia> [viitattu 3.5.2014].

Lahti Energia Oy. 2014b. Avaintiedot Lahti Energiasta. Saatavissa:
<http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/502> [viitattu 3.5.2014].

Lahti Energia Oy. 2014c. Kaukolämpöakun tilastoidut lataus- ja purkaustehot.

Lehto-Peippo L. 2003. Kaukolämpöakku kuin termospullo. Kaleva 25.2.2003. Saatavissa: <http://www.kaleva.fi/uutiset/pohjois-suomi/kaukolampoakku-kuin-termospullo/496369/> [viitattu 13.5.2014].

Nord Pool. 2014. Sähkön pörssihinnat. Saatavissa: <http://www.nordpoolspot.com/> [viitattu 16.5.2014].

Rajala, M. Haastattelu 15.5.2014. Lahti: Lahti Energia.

Tilastokeskus. 2014. Väestö. Saatavissa:
http://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_vaesto.html [viitattu 23.4.2014].