



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KAUKOLÄMPÖAKKU- INVESTOINNIN TEKNIS- TALOUDELLINEN SELVITYS

TEKIJÄ/T: Sami Raatikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Sami Raatikainen			
Työn nimi Kaukolämpöakkuinvestoinnin teknis-taloudellinen selvitys			
Päiväys	10.3.2015	Sivumäärä/Liitteet	25/1
Ohjaaja(t) Kuopion Energia Peter Seppälä, Savonia Ritva Käyhkö, Jukka Huttunen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion Energia Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tarkoituksena oli mitoitaa kaukolämpöakun purkausteho, varauskapasiteetti sekä tilavuus Kuopion Energia Oy:lle ja selvittää investoinnin kannattavuus. Tarkastelussa käytettiin vuoden 2013 tuntikohtaisen kaukolämmön kysynnän sekä sähkön markkinahinnan historiatietoja. Energiantuotannon osalta huomioitiin käynnissä olevan savukaasupesuri-investoinnin vaikutukset laitosten käyntiaikoihin sekä tuotantotehoihin.</p> <p>Kaukolämpöakun tilavuudeksi saatiin 6 500 m³, purkaustehoksi 45 MW ja varauskapasiteetiksi 250 MWh. Vuonna 2013 kaukolämpöakku olisi tuottanut noin 270 000 €. 2,3 miljoonan euron investoinnin takaisinmaksuaika on tasaisilla vuosituotoilla noin 11 vuotta korkokannan ollessa 4 %. Näiden tietojen perusteella voidaan sanoa, ettei investointi ole kannattava.</p> <p>Investointiin liittyy lisäksi useita muuttujia ja epävarmuustekijöitä. Ulkolämpötila sekä voimalaitoksien ja lämpökeskuksien käyttöajat muuttuvat vuosittain. Myös kaukolämmön kysyntää ja sähkön hintaa ei voida ennustaa tarkasti.</p>			
Avainsanat Kaukolämpö, kaukolämpöakku, investointi, lämmön varastointi			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Sami Raatikainen			
Title of Thesis A techno-economic analysis of a district heating battery investment			
Date	10.3.2015	Pages/Appendices	25/1
Supervisor(s) Kuopio Energy Peter Seppälä, Savonia Ritva Käyhkö, Jukka Huttunen			
Client Organisation /Partners Kuopio Energy Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to scale the district heating battery discharge power, the charge capacity as well as the volume for Kuopio Energy Ltd. and find out the profitability of the investment. The study used the statistical information of the hourly demand of district heating in 2013 and electricity price history. As regards to energy production it was considered the ongoing flue gas scrubber investment and its effects to power plants' running times and output power.</p> <p>The volume of the district heating battery was calculated to be 6.500 m³, the discharge power was 45 MW and the charge capacity was 250 MWh. In 2013 the district heating battery would have made € 270 000. With € 2.3 million investment, the payback time is with steady revenues approximately 11 years with interest rate of 4 %. Based on these results it can be said that the investment is not profitable.</p> <p>Related to the investment there are several variables and uncertainties. The outdoor temperature as well as operating times of power plants and heating plants change annually. Also the district heating demand and the price of electricity can not be predicted accurately.</p>			
Keywords District heating, district heating battery, investment, heat storage			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Kuopion Energialle vuoden 2015 alussa. Työssä toimi tarkastajina ja ohjaajina Kuopion Energialta tuotantojohtaja Peter Seppälä ja Savoniasta yliopettaja Ritva Käyhkö ja lehtori Jukka Huttunen.

Kuopion Energiaa kiitän mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni heille ja varsinkin Peter Seppälää hänen antamistaan neuvoista ja ohjauksesta. Haluan kiittää myös perhettäni heidän antamastaan tuesta koko opiskeluni ajalta.

Varkaudessa 10.3.2015

Sami Raatikainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	KUOPION ENERGIA OY	8
2.1	Haapaniemi 2	8
2.2	Haapaniemi 3	9
3	KAUKOLÄMPÖ	11
3.1	Kuopion Energian kaukolämpö	11
4	KAUKOLÄMPÖAKKU	13
4.1	Toimintaperiaate.....	13
4.2	Lyhytaikainen- ja pitkäaikainenvarastointi.....	15
4.3	Kaukolämpöakun mitoitus.....	15
4.4	Kaukolämpöakun tilavuus	16
4.5	Kaukolämpöakun kannattavuus.....	16
5	KAUKOLÄMPÖAKKU KUOPION ENERGIALLE.....	18
5.1	Kaukolämpöakun mitoitus.....	19
5.2	Kaukolämpöakun tilavuus	20
5.3	Kaukolämpöakku investoinnin kannattavuus	21
6	YHTEENVETO.....	23

1 JOHDANTO

Kuopion Energia on harkinnut kaukolämpöakun rakentamista yhdeksi tulevaisuuden investoinnin kohteeksi. Kaukolämpöakkuja on rakennettu noin 20 voima- ja lämpölaitoksen yhteyteen Suomessa vuoteen 2006 mennessä (Taulukko 1), joten siitä voisi olla hyötyä myös Kuopion Energialle. Kuopion Energialla kaukolämpöakulla pyrittäisiin korvaamaan lämpökeskuksilla tuottu lämpöenergia halvemmilla polttoaineilla sekä siirtämään voimalaitoksen tuotantokuippua ajankohtaan, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan sähköpörssissä.

TAULUKKO 1. Suomeen rakennetut lämpövarastot (Koskelainen, L. ym. 2006, 396.)

Paikka	Tilavuus m ³	Kap. MWh	Maksimi- teho	Pääpoltto- aine MW	Käyttöön- ottovuosi
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

Kaukolämpöakku on kuin suuri termospullo, pystyssä seisova lieriönmuotoinen, eristetty terässäiliö. Terässäiliö sijoitetaan yleensä maan pinnalle, mutta se voi olla myös osittain upotettuna maahan. Maanpäällisten terässäiliövarastojen maksimitilavuutena voidaan pitää 40 000 m³:ta (Kara, R. 1987, 47), sillä sitä suuremmat säiliöt ovat investointikustannuksiltaan edullisempia louhia kallioihin. Kalliosäiliövarastoja voidaan käyttää suuren varauskapasiteetin ansiosta vuodenaikojen välisen lämmöntarpeen vaihteluiden tasaamiseen, kun taas pienemmät terässäiliövarastot on tarkoitettu yleensä vuorokautisten vaihteluiden tasaamiseen.

Kaukolämpöakun taloudellinen kannattavuus muodostuu investointikustannuksista sekä vuotuisista akun tuomista säästöistä. Säästöjä syntyy kalliimpien polttoaineiden käytön korvaamisesta sekä tuotantohuipun siirrolla kalliimmille tunneille. Investointikustannuksia nostavat säiliön suuri koko ja siihen tarvittavat perustus-, teräs-, eriste- ja työmäärät. Kustannuksia muodostuu myös kaukolämpöakun lämpöhäviöistä ja veden pumppauksesta.

Kaukolämpöakun tilavuus sekä purkausteho sovitetaan kuhunkin kaukolämpöjärjestelmään erikseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on eri lähteitä käyttämällä mitoittaa kaukolämpöakku Kuopion Energian kaukolämpöverkkoon sopivaksi. Lisäksi tarkastellaan valitun kokoisen kaukolämpöakun vuotuisia säästöjä ja kannattavuutta.

2 KUOPION ENERGIA OY

Kuopion Energia Oy:n päätuotteita ovat sähkö ja kaukolämpö, jotka tuotetaan yhteistuotannolla kahdella Haapaniemen voimalaitoksella sekä biokaasulla Pitkälahdessa. Kuopion Energia Oy:n yhtiörakenne koostuu kaukolämmöstä, energiantuotannosta, sähkökaupasta sekä hallinnosta. Sähkönsiirrosta ja sähköverkosta huolehtii Kuopion Energian tytäryhtiö Kuopion Sähköverkko Oy.

Lähes 98 % Kuopion Energian myymästä kaukolämmöstä tuotetaan Haapaniemen voimalaitoksilla yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Huippukuormitustilanteissa sekä mahdollisissa Haapaniemen laitoksen häiriötilanteissa kaukolämpöä tuotetaan myös öljykäyttöisillä lämpökeskuksilla, jotka on sijoitettu eri puolille kaukolämpöverkkoa. Lämpökeskuksia Kuopion Energialla on yhteensä yhdeksän.

Haapaniemen voimalaitoksilla pääpolttoaineina ovat kotimainen turve ja biopolttoaineet sekä kivihilli varapolttoaineena. Biopolttoaine on pääosin puuta. Vuonna 2014 biopolttoaineita käytettiin noin 57 % kokonaispolttoainemäärästä ja turvetta siis noin 43 %. Laitosten ylös- ja alasajoissa käytetään pieniä määriä kevyttä ja raskasta öljyä lämmittämään hiekkapeti. Normaaleissa käyttötilanteissa öljyä ei tarvita. (Kuopion Energia Oy. Kotimaista energiaa.)

Kuopion Energialla on omaa turvetuotantoa, jonka osuus on kokonaispolttoainemäärästä normaalina tuotantovuotena 10-15 %. Biopolttoaineita voidaan varastoida voimalaitoksen lähiterminaaliin Kumpusaareen, jonka maksimitäyttö on 122 000 m³. Terminaali parantaa huoltovarmuutta ja tuo puskurointimahdollisuuksia häiriötilanteissa. (Kuopion Energia Oy. Kotimaista energiaa.)

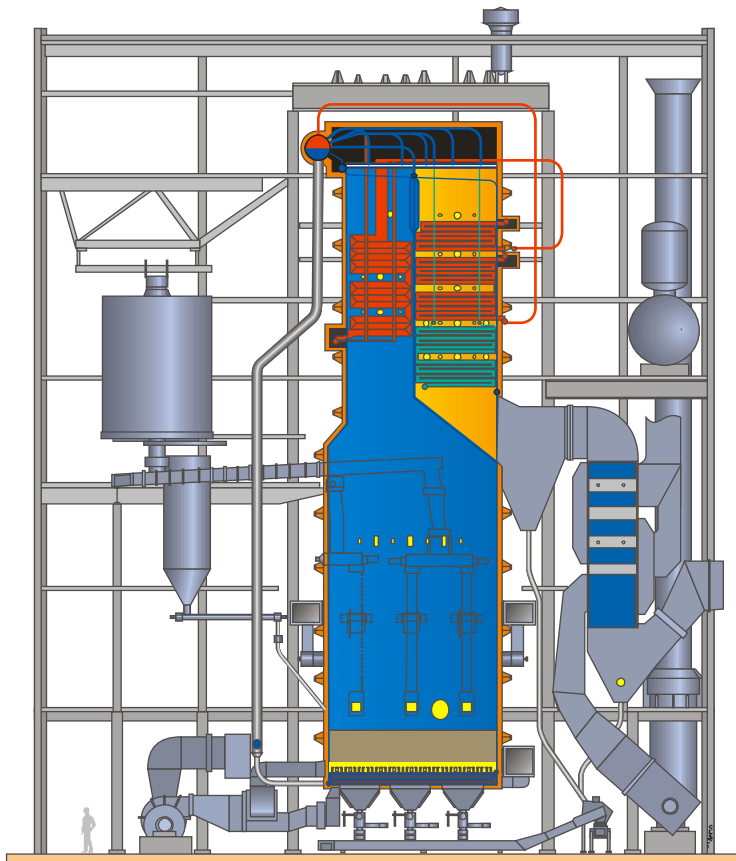
2.1 Haapaniemi 2

Haapaniemi 2 kattila otettiin käyttöön vuonna 1982. Kattila oli jatkoa Haapaniemi 1 kattilalle, joka oli otettu käyttöön vuonna 1972. Molemmat kattilat olivat turvepölypolttokattiloita. (Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset.)

Vuonna 2013 kattila muutettiin kuplaleijupetikattilaksi (Kuva 1) ja luovutus kaupalliseen käyttöön tapahtui lokakuussa 2013. Kuplapetikattilalla saadaan entiseen kattilaan verrattuna sama teho matalammilla tulipesän lämpötiloilla, jolloin typen oksidien muodostuminen vähenee aiempaan nähden. Tulipesään voidaan tarvittaessa ruiskuttaa myös ureaa, joka reagoiessaan kattilassa olevien typen oksidien kanssa laskee päästöjä entisestään. (Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset.)

Palamisilmaa puhalletaan pohjan läpi niin, että hiekkapeti kuplii tulipesän alueella, mutta ei lähde savukaasujen mukaan. Polttoaineen hienojaos palaa tulipesän ylemmissä osissa ja karkeammat jakeet tippuvat pohjalla olevaan kuplivaan hiekkaan. Hiekkaa on kattilan sisässä noin 200 tonnia. (Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset.)

Kattilan höyryteho on 240 MW, virtaus 88 kg/s, lämpötila 530 °C ja paine 115 bar. Sähköä pystytään tuottamaan 60 MW teholla ja kaukolämpöä 150 MW. Pääpolttoaineena käytetään turvetta 0-100 % ja biopolttoaineita 0-100 % täydestä kuormasta. Vuoden 2015 savukaasupesuri-investoinnin myötä maksimikaukolämpöteho nousee 200 MW:iin.

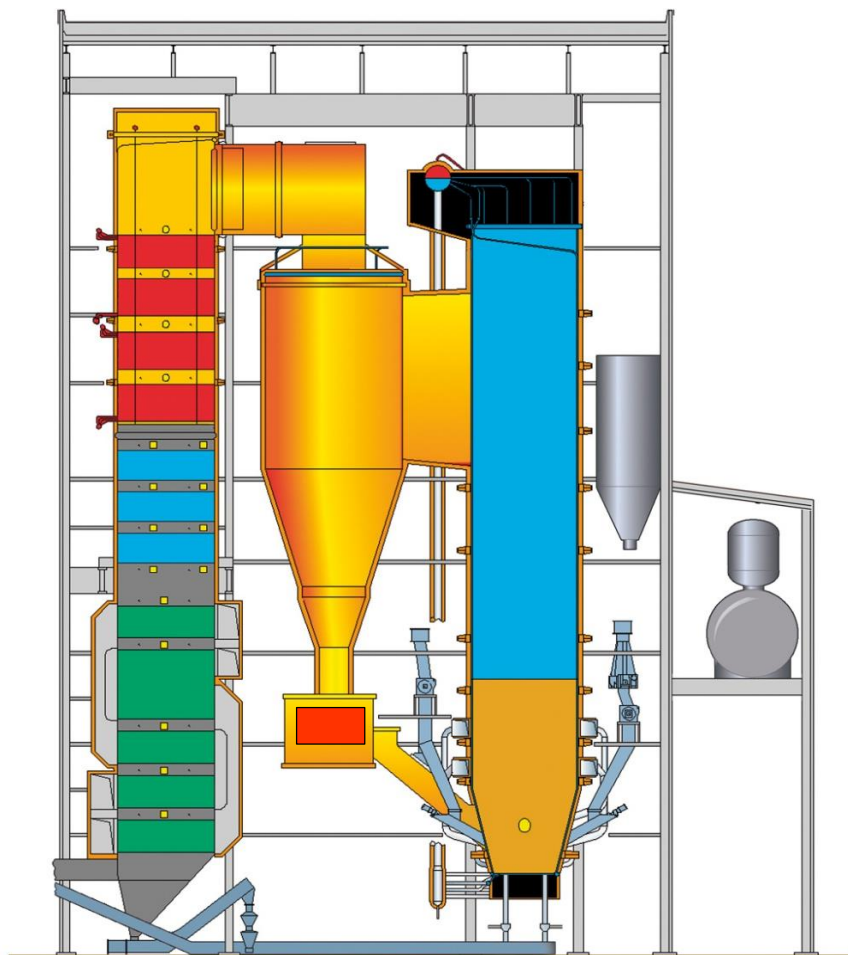


KUVA 1. Haapaniemi 2 Kuplaleijupetikattila

2.2 Haapaniemi 3

Haapaniemi 3 korvasi Haapaniemi 1 kattilan vuonna 2011 ja edustaa parasta saatavilla olevaa teknologiaa. Kattila on kiertoleijupetikattila (Kuva 2), jolla voidaan polttaa hyvin erilaisia polttoaineita. Kattilassa on pohjalla hiekkaa, jonka läpi puhallettava palamisilma saa hiekan lentämään savukaasujen mukaan. Hiekka erotetaan syklonissa, josta hiekka palautetaan takaisin tulipesään. (Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset.)

Kattilan höyryteho on 149 MW, virtaus 60 kg/s, lämpötila 535 °C ja paine 130 bar. Sähköteho on 46 MW ja kaukolämpöteho 100 MW. Kiertoleijupetikattilalla voidaan käytännössä polttaa turvetta ja biopolttoaineita täysin vapaalla suhteella, eli kumman tahansa osuus voi olla välillä 0-100 %. Myös kivihiiltä voidaan polttaa noin 70 % ja ruukohelpiä 10 % täydestä kuormasta. (Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset.)



KUVA 2. Haapaniemi 3 Kiertoleijupetikattila

3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, jota käytetään etenkin kaupungeissa ja taajamissa rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Lähes 3 miljoonaa suomalaista kuuluu kaukolämmön piiriin. (Energiateollisuus ry. Kaukolämmitys.) Kaukolämmityksellä on noin 50 % markkinaosuus Suomen lämmitysmarkkinoista, suurimmissa kaupungeissa jopa 80 – 90 %. (Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. 2006, 5.)

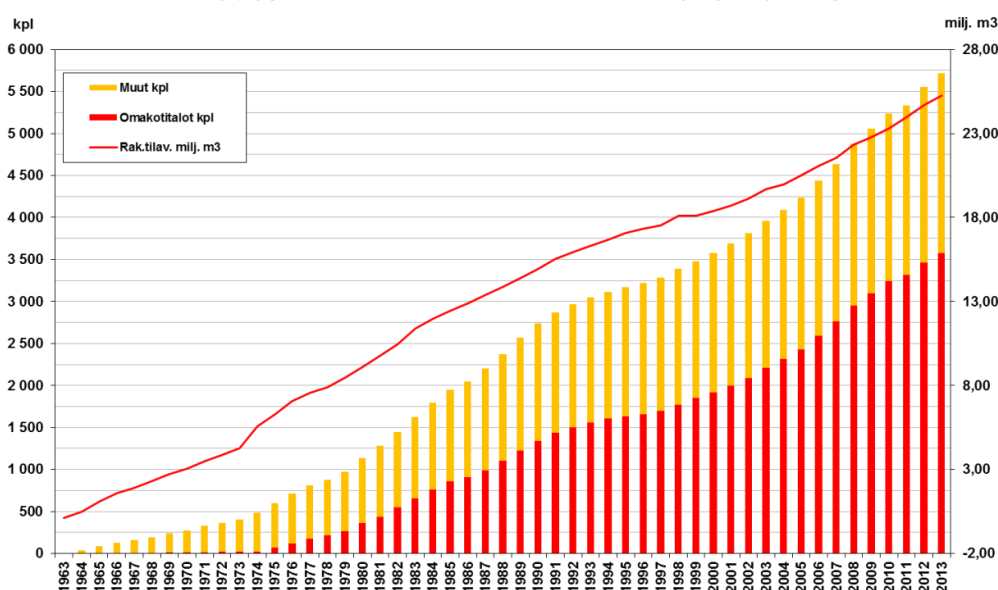
Jopa 80 % kaukolämmöstä saadaan yhteistuonnosta, teollisuuden ylijäämälämmöstä tai kaatopaikkojen biokaasujen poltosta. Pienemmillä paikkakunnilla kaukolämpö tuotetaan pelkkää lämpöä tuottavissa lämpökeskuksissa. (Energiateollisuus ry. Toimintavarma kaukolämpö.) Kaukolämpö on sitä taloudellisempaa mitä tiheimmin rakennettu alue on ja mitä isompia rakennukset ovat. (Energiateollisuus ry. Kaukolämmitys.)

Kaukolämmön hyötyjä ovat sen energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys, koska lämpöä tuotetaan keskitetyssä kohteessa sekä sen toimintavarmuus. Kaukolämmitykseen siirtyminen on merkinnyt ilman puhdistumista kaupungeissa, joissa ennen oli paljon puu- ja öljylämmitteisiä taloja. (Koskelainen, L. ym. 2006, 25.)

3.1 Kuopion Energian kaukolämpö

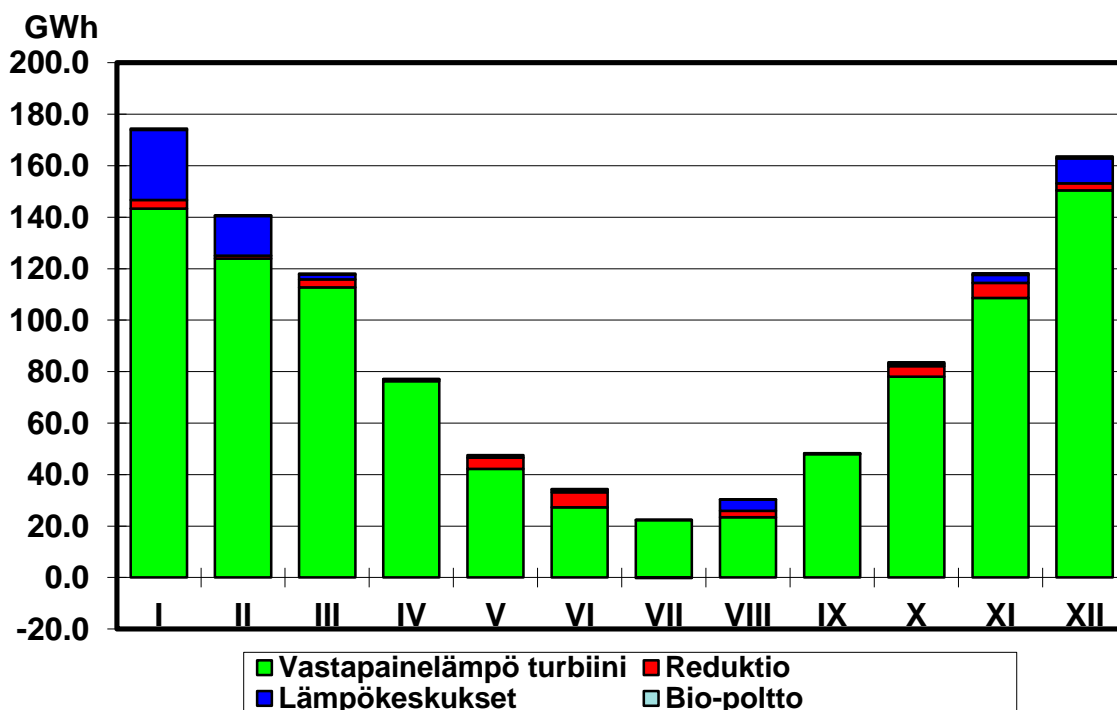
Kuopion Energialla kaukolämmön tuotanto aloitettiin vuonna 1963. Vuonna 2013 kaukolämpöä myytiin noin 860 GWh. Kaukolämpöasikkaita Kuopion Energialla oli vuonna 2013 noin 5 700, joista kiinteistöjä oli noin 2 100 kpl ja pientaloja noin 3 600 kpl (Kuva 3). Kaukolämpöä käyttää noin 80 000 kuopiolaista. Kaukolämpöverkon pituus on noin 460 km ja tilavuus 16 500 m³. (Seppälä, P. 2015.)

Asiakasmäärän (kpl) ja lämmitettävän rakennustilavuuden (milj. m³) kehitys



KUVA 3. Kaukolämmön asiakasmäärä ja rakennetilavuus

Kuopion Energian Haapaniemi 2 ja 3 voimalaitoksilla voidaan tuottaa kaukolämpöä yhteensä 250 MW, mikäli käytetään reduktioajoa. Lisäksi Kuopion Energialla on kahdeksan kiinteää lämpökeskusta ja yksi siirrettävä, joita käynnistetään silloin, kun lämmön tarve lämmönsiirtoverkossa ylittää Kuopion Energian voimalaitoksien lämmöntuotantokyvyn. Kuopion Energia tuotti kaukolämpöä vuonna 2013 yhteensä noin 920 GWh (Seppälä, P. 2015). Suurin kaukolämmön tuotanto sijoittuu tavallisesti joului-, tammi- ja helmikuulle kovien pakkasten ajalle (Kuva 4).



KUVA 4. Kaukolämmön tuontantovaihtelu

Vuonna 2016 tulee voimaan IE-direktiivi, joka asettaa tiukemmat päästövaatimukset yli 50 MW kattilalaitoksille. Tästä syystä vuonna 2015 Kuopion Energian Haapaniemi 2 voimalaitokselle rakennetaan savukaasupesuri. Savukaasupesuri lisää lämmön talteenottoa lähes 50 MW, jolloin kaukolämmön kokonaistuotantokapasiteetti nousee Haapaniemellä noin 300 MW:iin.

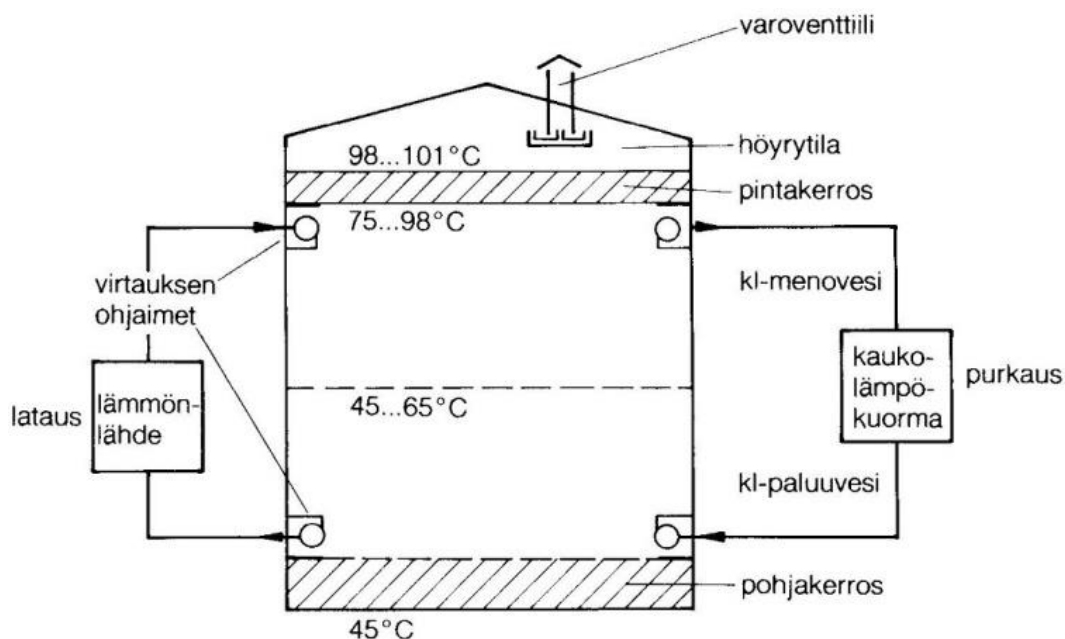
4 KAUKOLÄMPÖAKKU

Vastapainevoimalaitoksessa sähköntuotannossa syntynyttä ylimääräistä lämpöenergiaa voidaan varastoida kaukolämpöverkkoon tai erilliseen kaukolämpöakkuun. (Koskelainen, L. ym. 2006, 383.) Kaukolämpöverkkoon saadaan ladattua lisää lämpöä nostamalla menoveden lämpötilaa korkeammaksi kuin ajotilanne edellyttäisi. Lämpövarasto purkaantuu lämpörintaman saavuttaessa kuluttajalaitteet. (Koskelainen, L. ym. 2006, 389.) Kaukolämpöakkuun varastoitunut energia jää talteen, ja sitä voidaan käyttää myöhemmin. Kaukolämpöakusta aikaisemmin tuotetulla lämpöenergialla saadaan korvattua lämmön huippukulutuksessa kalliimmalla tuotettua lämpöenergiaa. (Koskelainen, L. ym. 2006, 383.)

Kaukolämpöakku voidaan käyttää lämmön varastoinnin lisäksi myös vesireservinä kaukolämpöverkon vauriotapauksissa sekä paisunta-astiana, mikäli se on liitetty suoraan kaukolämpöverkkoon. Suurin osa Suomeen rakennetuista akuista on liitetty suoralla kytkennällä, jossa kaukolämpöverkon vesi kiertää varaston kautta. (Koskelainen, L. ym. 2006.) Kaukolämpöakulla saadaan myös enemmän säädettävää sähköntuotantopotentiaalia sähköverkkoon. (Koskelainen, L. ym. 2006, 384.) Tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitoksen tuotantohuippua voidaan siirtää ajankohtaan, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan sähköpörssissä. Yleisesti voidaan sanoa, että sähkön hinta on päivällä korkeampi kuin yöllä. Varsinkin talvisaikaan kaukolämmön kulutus on yöllä suurempaa kuin päivällä, kun sähkön hinta on korkea. Tällaisessa tilanteessa voimalaitosta käytetään päivällä, kun sähkön hinta on korkea ja akkuun ladattu lämpöenergia otetaan käyttöön yöllä. (Lehto-Peippo, 2003.)

4.1 Toimintaperiaate

Kaukolämpöakku ladattaessa kuuma vesi johdetaan säiliön yläosaan (Kuva 5). Sisään- ja ulosvirtaus pyritään pitämään tasaisena erillisillä virtauksenjakajilla, jotta alaosan kylmempi ja yläosan kuumempi vesi eivät sekoittuisi vaan välille muodotuisi tehokas rajavyöhyke. Rajavyöhyke nousee ja laskee akun varausasteen mukaan korkeussuunnassa. Säiliön pohjalla pidetään aina vakiolämpöinen suojakerros, joka toimii lämmöneristeenä sekä pohjalevyn lämpöliikkeiden estäjänä. (Kara, K. 1987, 48.)



KUVA 5. Säiliövaraston toimintaperiaate

Veden pinnan korkeus voi muuttua säiliössä useita kymmeniä senttejä lämpötilamuutoksen takia. Säiliö on paineen vaihtelun vuoksi varustettava asianmukaisilla varoventtiileillä. Suomessa rakennettujen varaajien varoventtiilin avautumispaine on yleensä 20 – 40 mbar ylipainetta. Kuumuuden ja kosteuden aiheuttama korroosio-ongelma voidaan estää täyttämällä säiliön vapaa tila höyryllä 10 – 25 mbar ylipaineeseen, jolla estetään hapen pääsy vapaaseen tilaan. Höyry voidaan tehdä voimalaitoksien prosessien vesihöyryllä tai erillisellä sähköisellä höyrystimellä. (Koskelainen, L. ym. 2006, 386.)

Kaukolämpöakun käyttöä ohjaavat:

- ulkolämpötila
- sähkön hintataso
- kaukolämmön kulutuksen vuorokausivaihtelu
- voimalaitoksen käyttöaste
- varaston varaustila (Koskelainen, L. ym. 2006, 397.)

Kaukolämpöäkkua puretaan kaukolämpöverkon meno- tai paluuputkeen riippuen lämpötilasta. Mikäli varastoveden lämpötila on alle kulutuksen ohjearvon, varastoa puretaan paluuputkeen. Akku toimii tällöin myös paluuv veden esilämmittimenä. Jos varastoveden lämpötila on yli kulutuksen ohjearvon, varastoa puretaan menoputkeen ja lämpötilan säätö tapahtuu sekoittamalla paluuvettä menoveteen. (Koskelainen, L. ym. 2006, 394.)

4.2 Lyhytaikainen ja pitkäaikainen varastointi

Kaukolämpöä voidaan varastoida lyhytaikaisesti tai pitkäaikaisesti. Lyhytaikainen varastointi soveltuu muutamasta tunnista viikkoon ja pitkäaikainen varastointi useisiin kuukausiin. (Kara, K. 1978, 45.)

Lyhytaikaisvarastointiin parhaiten soveltuu terässäiliö, joka on täytetty vedellä. Vesi toimii varastoivana massana sekä lämpöenergiaa kuljettavana väliaineena. Säiliö on paineeton kun veden lämpötila on alle 100 °C ja paineellinen kun vedenlämpötila ylittää 100 °C. Paineettomatkin säiliöt rakennetaan kestävämmän pientä ylipainetta. Kustannussyistä suuret terässäiliöt rakennetaan paineettomiksi, kun taas pienet säiliöt tavallisesti paineelliseksi. Kaukolämpöverkon ja säiliön paine on oltava sama tai muuten välissä on oltava paineenalennus- tai paineennostoasema. (Koskelainen, L. ym. 2006, 386.) Lyhytaikaisvarastoinnissa voidaan nopeasti purkaa ja ladata kaukolämpöakkuja, joten varaston lämpöhäviöt ovat vain pieni osa verrattuna pitkäaikaisvarastointiin tarkoitettujen kaukolämpöakkujen häviöstä.

Pitkäaikaisvarastointi perustuu faasimuutokseen eli aineen olomuodon muutokseen ja kemialliseen reaktioon. Varastoivana massana ja lämmön kuljetukseen käytetään muutakin kuin vettä. Faasimuutokseen perustuvassa varastoinnissa massa tuotetaan lämpöä sitova tai lämpöä vapauttava muutos. Kemialliseen reaktioon perustuva varastointi on vielä kehitysvaiheessa, jossa ongelmaksi on muodostunut reaktioiden toistettavuus. Varastointikyky veteen verrattuna on kuitenkin noin kymmenkertainen. (Koskelainen, L. ym. 2006, 385.)

4.3 Kaukolämpöakun mitoitus

Kaukolämpöakun mitoitukseen vaikuttaa ensisijaisesti kaukolämpöjärjestelmä, johon se liitetään. Kaukolämmön kulutuksen vuorokautiset vaihtelut saadaan selvitettyä kaukolämpölaitosten käyttöohjelman historiatiedoista. Yleinen ohje on, että purkaustehon tulisi olla 10–15 % huipputehon arvosta ja varauskapasiteetilla tulisi olla 2–4 tunnin varauskyky täydellä teholla, jos lämpövarastoa ei käytetä varatehon varmistamiseen. (Kaaranka, J. 2013, 11.)

Varauskapasiteetti voidaan määritellä myös tutkimalla sähkön hintahistoriatietoja aiemmilta vuosilta ja katsoa, kuinka paljon pystyttäisiin akun avulla siirtämään kalliita tunteja halvempaan ajanjaksoon. Purkausteho voidaan määritellä sopivan suuruiseksi tutkimalla voimalaitoksen ajotilanteita eli kuinka paljon pystyttäisiin nostamaan kaukolämmön tuotantoa ja siirtämään ylimääräinen lämpö akkuun myöhempää käyttöä varten. Tällöin joudutaan ottamaan huomioon myös laitoksen minimi- ja maksimitehot.

Suomeen on tähän mennessä rakennettu noin kaksikymmentä kaukolämpöakkuja, joita vertaamalla toisiinsa voidaan myös arvioida mitoitusta. Vertailemalla Suomessa paineettomien suoran kytkennän kaukolämpöakkujen varauskapasiteettia tilavuuden funktiona saadaan yhtälö 1:

$$Q_{akku}(V) = 0,0529 \cdot V_{akku} - 67,81 \quad (1)$$

jossa $Q_{akku} = \text{kaukolämpöakun varauskapasiteetti [MWh]}$

$V_{akku} = \text{kaukolämpöakun tilavuus [m}^3\text{]} \text{ (Kaaranka, J. 2013, 11.)}$

4.4 Kaukolämpöakun tilavuus

Kaukolämpöakun tilavuuteen vaikuttaa kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötilaero. Kaavalla 2 voidaan laskea kaukolämpöakun tilavuus, kun tiedetään kaukolämpöakun varauskapasiteetti, meno- ja paluueden lämpötilaero ja veden ominaislämpökapasiteetti.

$$E = m \cdot c_p \cdot \Delta T \leftrightarrow m = \frac{E}{c_p \cdot \Delta T} \quad (2)$$

jossa $E = \text{akun varauskapasiteetti [MWh]}$

$m = \text{akun vesimäärä [kg]}$

$\Delta T = \text{meno - ja paluueden lämpötilaero [}^\circ\text{C]}$

$c_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg}^\circ\text{C]} \text{ (Huhtinen, M. ym. 2008, 58.)}$

Kaukolämpöakun tilavuus ei ole kuitenkaan kokonaan käytettävissä akun varaukseen. Säiliössä on ylä- ja alarajat, joista saadaan akun varaukseen käytettävissä oleva tilavuus. Yleensä akun varaukseen käytettävissä oleva tilavuus on noin 94 % säiliön kokonaistilavuudesta. (Kaaranka, J. 2013, 12.) Kaukolämpöakun tilavuus voidaan tällöin laskea kaavalla 3.

$$V_{akku} = \frac{E}{\eta_t \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (3)$$

jossa $\eta_t = \text{akun tilavuuden hyötysuhde}$

Vertaamalla Suomessa rakennettujen kaukolämpöakkujen varauskapasiteetin suhdetta tilavuuteen saadaan ratkaistua kaavasta 1 tilavuudeksi

$$V_{akku} = \frac{Q_{akku} + 67,81}{0,0529} \quad (4)$$

4.5 Kaukolämpöakun kannattavuus

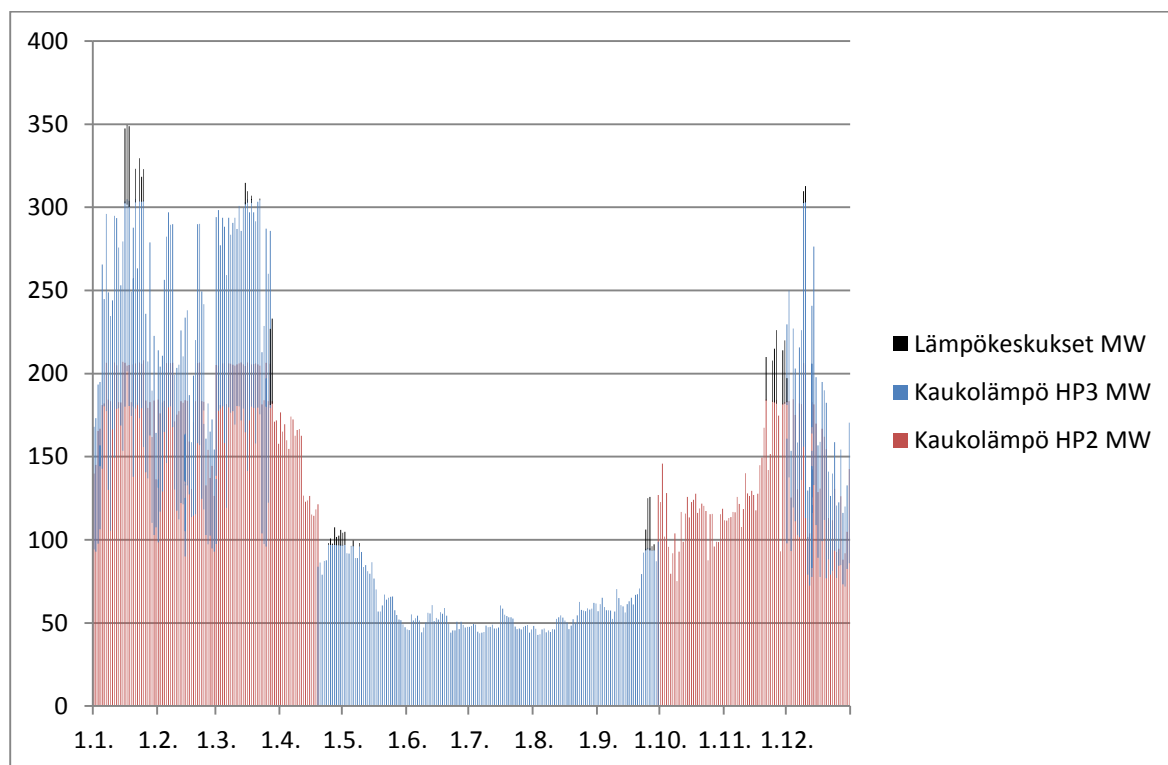
Kannattavuutta arvioitaessa verrataan kaukolämpöakun taloudellista tuottoa akun aiheuttamiin kuluihin. Tärkeimmät kulut ovat investointikustannukset, käyttökustannukset ja ylimääräisten lämpöhäviöiden aiheuttamat kustannukset. Akun käytöstä saatavat hyödyt vaihtelevat sijainnin, tilavuuden ja purkaustehon mukaan. Tuottoa saadaan, kun akun käyttö korvaa kalliimpien polttoaineiden käytön sekä ajoittamalla sähköntuotanto kalliimpien tuntien ajankohdille. Investointilaskelmissa käytetään yleensä takaisinmaksuaikaa tai sisäisen koron menetelmää. Takaisinmaksuajan menetelmässä lasketaan aika, jossa investoinnin keskimääräinen vuotuinen nettotuotto tuottaa investointikustannuksen. Sisäisen koron menetelmässä lasketaan korko, jolla

investoinnin nettonykyarvoksi saadaan nolla. Investointi on sitä edullisempi, mitä suuremmaksi korkokanta muodostuu. (Koskelainen, L. ym. 2006, 400.)

Yksi keino mitoittaa kaukolämpöakku on tarkastella edellistä vuotta aivan kuin kaukolämpöakku olisi ollut käytössä. Käytännössä edellistä vuotta tulisi käydä läpi päivittäin ja luoda kaukolämpökulle optimaalisin ajotapa jokaiselle tunnille. Näin saataisiin kaukolämpökulle maksimaalinen tuotto, mutta se olisi epärealistinen, sillä kaukolämmön kysyntää ei voida ennustaa tarkasti usean päivän päähän. (Kaaranka, J. 2013, 14.)

5 KAUKOLÄMPÖAKKU KUOPION ENERGIALLE

Kuopion Energian Haapaniemi 2 ja 3 voimalaitoksien kokonaislämmöntuotantokapasiteetti savukaasupesuri-investoinnin jälkeen on noin 300 MW. Öljykäyttöisillä lämpökeskuksilla voidaan lisätä lämmöntuotantoa, mikäli kaukolämmön kysyntä on tätä suurempi. Kuvassa 6 esitetään vuoden 2013 lämmöntuotanto, johon on otettu huomioon savukaasupesurin lämmöntalteenotto. Kuvassa esitetyt tulokset on laskettu Kuopion Energialta saatujen tietojen pohjalta.



KUVA 6. Lämmöntuotanto Kuopion Energialla

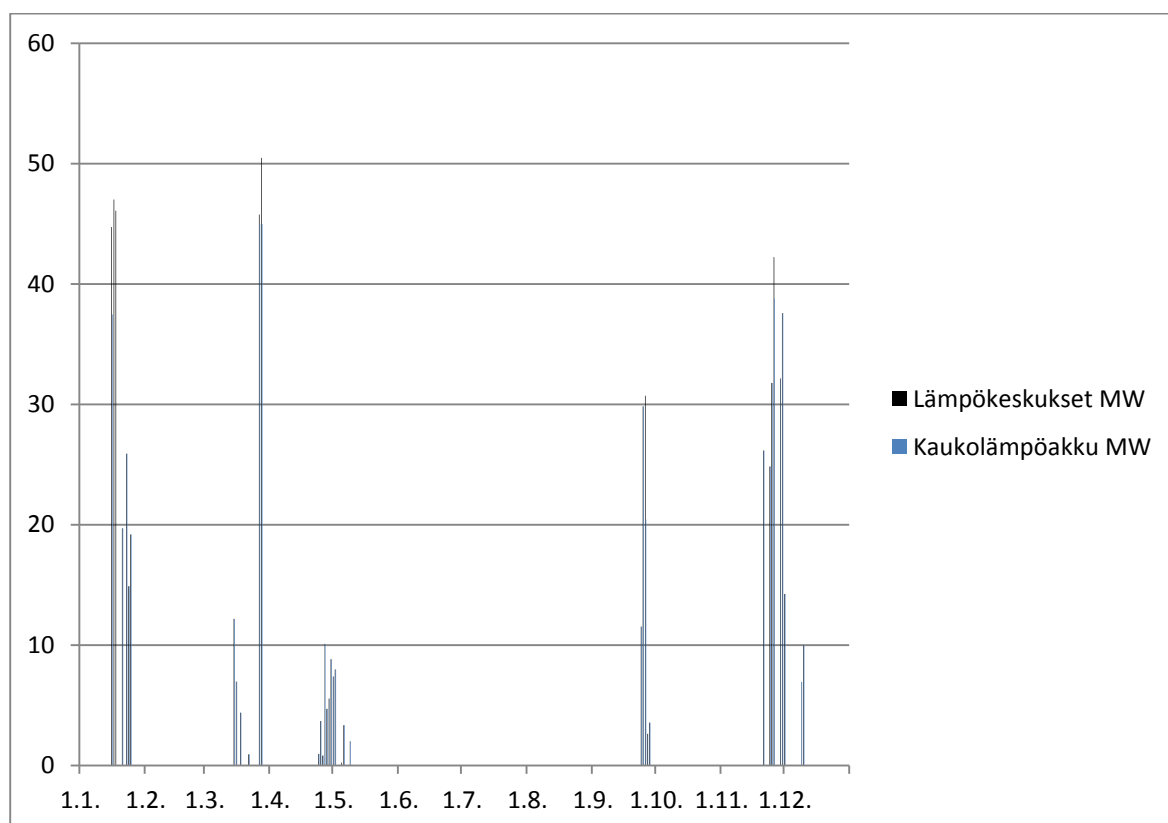
Kuopion Energian lämpökeskuksilla tuotettiin vuonna 2013 yhteensä 24 GWh kaukolämpöä. Kesällä 2015 käyttöön tuleva savukaasupesuri kuitenkin laskee lämpökeskuksien käyttöä tulevaisuudessa. Vuoden 2013 kaukolämpöhistoriatietoihin on mallinnettu, että pesurin jälkeen lämpökeskuksilla tuotetaan enää 4,7 GWh kaukolämpöä vuodessa. Jatkossa lämpökeskuksia joudutaan käynnistämään vasta noin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasessa, jolloin Haapaniemen molemmat voimalaitokset toimivat täydellä teholla.

Kaukolämpöakku olisi kannattavinta sijoittaa Haapaniemen voimalaitoksien yhteyteen, sillä kaukolämpöakun vaatima purkausteho on edullisempaa sijoittaa jo olemassa olevien suurien kaukolämpöjohtojen läheisyyteen. Voimalaitoksien yhteydessä kaukolämpöakun menoveden lämpötilaa voidaan tarvittaessa nostaa, jotta se vastaisi paremmin kaukolämpöverkostossa kiertävän veden lämpötilaa. Samalla akku toimisi paisunta-astiana kaukolämpöverkossa.

5.1 Kaukolämpöakun mitoitus

Tutkimalla vuoden 2013 kaukolämmön historiatietoja, johon tuleva savukaasupesuri on mallinnettu sekä sähkön markkinahinnan vaihteluita voidaan mitoittaa kaukolämpöakulle sopiva purkausteho sekä varauskapasiteetti.

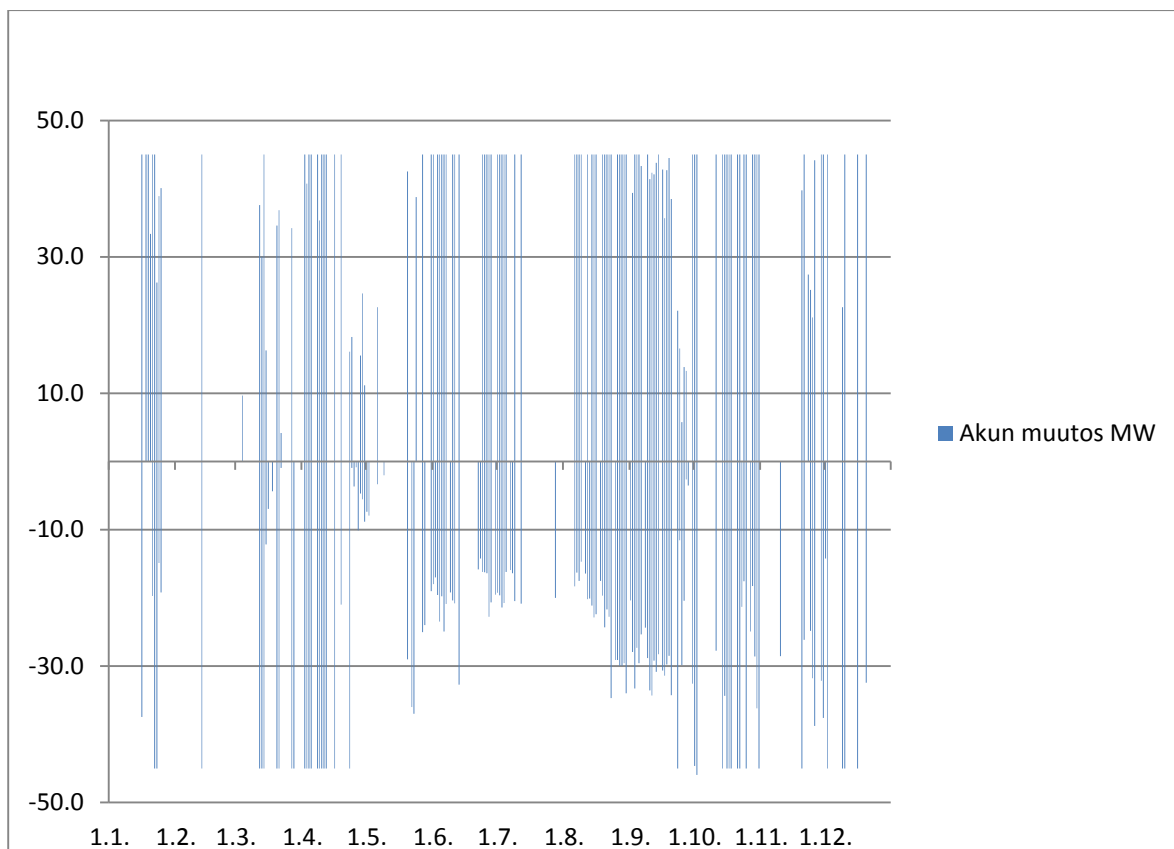
Savukaasupesurin jälkeinen tilanne vuoden 2013 kulutuksien ja tuotantojen perusteella Kuopion Energia olisi käyttänyt vuonna 2013 lämpökeskuksia yhteensä 324 tuntia, huipputehon ollessa 50 MW. Tarkastelemalla lämpökeskuksien käyttöä sekä tehoa, oltaisiin kaukolämpöakulla voitu korvata öljyn käyttöä halvemmilla polttoaineilla yhteensä 251 tuntia (Kuva 7). Tämä merkitsisi noin 2 500 MWh korvaamista halvemmilla polttoaineilla. Laskemalla akun keskimääräinen teho lämpökeskuksien korvaamisesta saadaan akun tehoksi 10 MW. Kuvassa esitetyt tulokset on laskettu Kuopion Energialta saatujen tietojen pohjalta.



KUVA 7. Lämpökeskuksien korvaaminen kaukolämpöakulla

Tarkastelemalla vuoden 2013 sähkön markkinahinnan vaihteluita huomataan, että kaukolämpöakulle olisi ollut käyttöä yhteensä 1 659 tuntia eli noin 4,5 tuntia päivittäin. Tämä kattaa akun lataamisen kalleilla tunneilla ja purkamisen halvoilla tunneilla. Kun otetaan huomioon öljyn korvaaminen kaukolämpöakulla saadaan akun kokonaiskäyttötunneiksi yhteensä 1 910 tuntia. Jakamalla tämä vuoden jokaiselle päivälle saadaan akun käyttö päivää kohden eli se on noin 5,2 tuntia. Laskemalla akun potentiaalinen teho jokaisella purkaus- ja lataustunnilla saadaan akun tehoksi 34 MW. Kun tähän otetaan huomioon myös lämpökeskuksien korvaaminen, muodostuu kaukolämpöakun tehoksi noin 44 MW. Akun varauskapasiteetti voidaan laskea kertomalla teho käyttötunneilla, jolloin saadaan

varauskapasiteetiksi noin 230 MWh. Varauskapasiteetti voisi olla kuitenkin hieman suurempi, jolloin se tuo enemmän joustavuutta käyttöön. Yleisellä ohjeella laskettuna saadaan akun purkaus- ja lataustehoksi 45 MW ja varauskapasiteetiksi 180 MWh. Kuvassa 8 esitetään kaukolämpöakun tehon muutokset, mikäli akku olisi ollut käytössä vuonna 2013. Kuvassa esitetyt tulokset on laskettu Kuopion Energialta saatujen tietojen pohjalta.



KUVA 8. Kaukolämpöakun käyttö

Kaukolämmön kysynnän historiatiedoista huomataan myös, että useimpina päivinä aamun ja iltapäivän tehontarpeessa on eroa noin 50 - 60 MW. 45 MW tehoinen akku ei kata kaikkein suurimpia kulutushuippuja, mutta se ei ole tarkoituskaan. Suuremman purkaustehon kustannukset nousisivat siitä saatavaa hyötyä suuremmiksi. Näiden tietojen perusteella voidaan sanoa, että sopiva purkaus- ja latausteho Kuopion Energian kaukolämpöakulle olisi 45 MW ja varauskapasiteetti 250 MWh.

5.2 Kaukolämpöakun tilavuus

Kaukolämpöakun tilavuutta voidaan arvioida muutamalla eri menetelmällä. Kaukolämpöakun varaukseen käytettävissä olevan veden tilavuus voidaan laskea kaavalla 3, kun tiedetään kaukolämpöakkuun varastoitunut energia, meno- ja paluueden lämpötilaero, veden ominaislämpökapasiteetti sekä säiliön tilavuuden hyötysuhde. Meno- ja paluueden lämpötilaero vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Tässä tapauksessa käytetään talviaikaan tyypillistä lämpötilaeroa. Ennen savukaasupesuria kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötilaero oli noin 50 °C.

Savukaasupesuri nostaa paluulämpötilaa kuitenkin 10–15 °C, jolloin eroksi jää noin 35 °C.

Kaukolämpöakun tilavuudeksi saadaan tällöin laskettua kaavalla 3

$$\frac{250 \text{ MWh} * 1000 \frac{\text{kW}}{\text{MW}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{0,94 * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 35^{\circ}\text{C}} = 6513 \text{ m}^3$$

Vertaamalla Suomessa rakennettujen kaukolämpöakkujen varauskapasiteetin suhdetta tilavuuteen ja ottamalla huomioon tilavuuden hyötysuhde saadaan ratkaistua kaavasta 4 tilavuudeksi

$$\frac{250 \text{ MWh} + 67,81}{0,94 * 0,0529} = 6391 \text{ m}^3$$

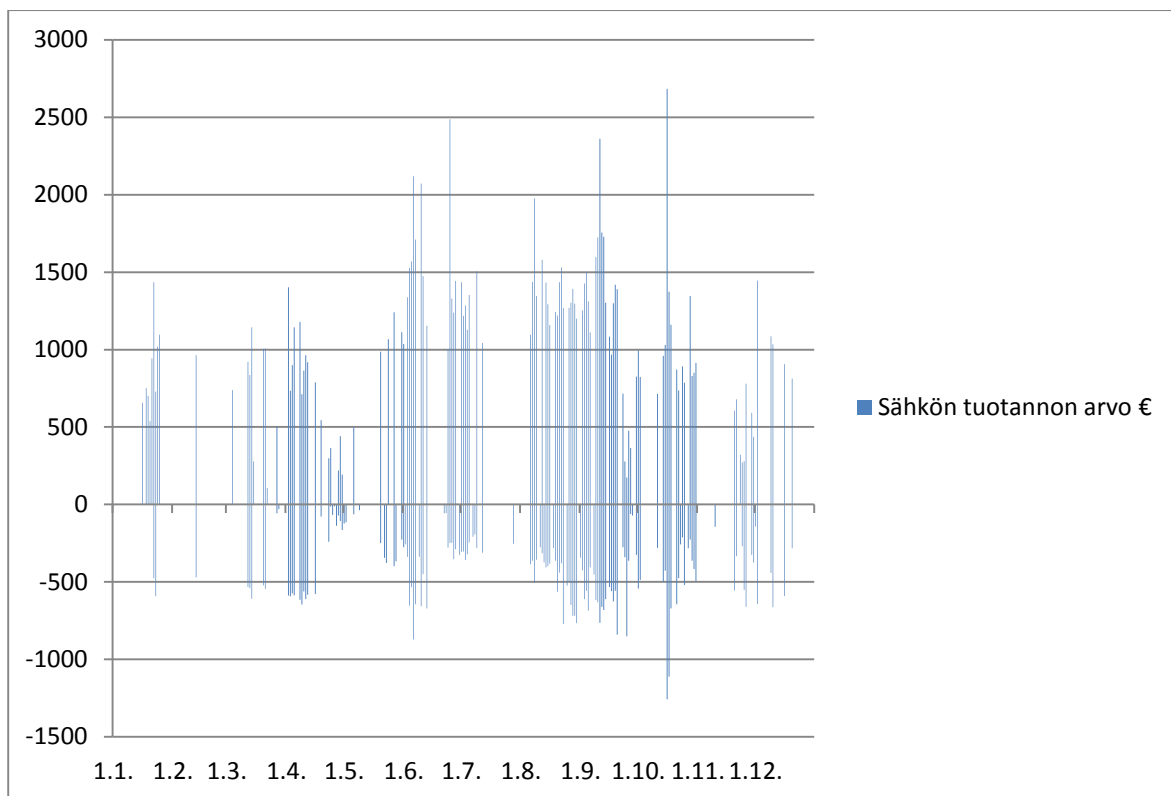
Saatujen tulosten perusteella voidaan katsoa 6 500 m³ olevan sopiva tilavuus Kuopion Energian kaukolämpökulle.

5.3 Kaukolämpöakku investoinnin kannattavuus

Kuopion Energian konsulttipalvelun selvityksen mukaan 5 000 m³ akun investointikustannus on noin 1,5 - 2 miljoona euroa riippuen sijoituspaikasta. Tämän perusteella voidaan olettaa 6 500 m³ kokoisen akun investointitarpeen olevan noin 2,0 - 2,6 miljoonaa euroa.

Tässä työssä kaukolämpöakun kannattavuutta tutkitaan takaisinmaksuajan menetelmällä. Lähtötietoina käytetään savukaasupesurin jälkeistä tilannetta vuoden 2013 kulutus- ja tuotantotiedoin sekä sähkön markkinahinnan historiatietoja, joita voidaan käsitellä Excel-laskentaohjelmalla. Kaukolämmön kysyntää ja lämpökeskuksien lämmöntuotantokapasiteettia tarkastellaan aivan kuin kaukolämpöakku olisi ollut käytössä vuonna 2013. Kun oletetaan, että kaukolämpöakkua ladataan ja puretaan ympäri vuoden, akun avulla olisi voitu vuonna 2013 korvata öljyn käyttöä noin 2 500 MWh:n edestä edullisemmilla polttoaineilla. Öljyllä tuotettu megawattitunti maksaa noin 65 €/MWh ja yhteistuotannolla tuotettu megawattitunti maksaa noin 15 €/MWh (Seppälä, P. 2015). Tällöin öljyllä tuotetun lämmön korvaaminen biopolttoaineella toisi säästöä keskimäärin noin 50 €/MWh, jolloin säästöä olisi tullut noin 125 000 €. Kuopio on kuitenkin kasvava kaupunki mikä tarkoittaa jatkuvasti kasvavaa kaukolämmön kysyntää. Tämä merkitsee että, kaukolämpöakun tarve lämpökeskuksien korvaamiseen kasvaa, mikä kasvattaa säästöjä.

Tarkastelemalla sähkön markkinahinnan historiatietoja ja olettamalla että kaukolämpöakkua oltaisiin käytetty aina kun mahdollista, akulle olisi kertynyt 1 659 käyttötuntia. Määrittämällä Haapaniemi 2 ja Haapaniemi 3 laitoksille rakennusasteet sekä sähkön tuotantoon osallistuvan lämmön muutos voidaan laskea sähkön tuotannon muutos ja sitä kautta sähkön tuotannon arvon muutos euroina. Sähkön tuotannon arvo olisi lisääntynyt vuonna 2013 noin 275 000 € (Kuva 9), jolloin kustannussäästö kokonaisuudessa olisi noin 400 000 € vuodessa. Kuvassa esitetyt tulokset on laskettu Kuopion Energialta saatujen tietojen pohjalta.



KUVA 9. Sähkön tuotannon arvo euroina akkua ladattaessa ja purkaessa

Todellisuudessa useat eri tekijät pienentävät akun avulla saatavaa säästöä huomattavasti. Lämpöhäviöt oletetaan noin 0,5 % suuruisiksi. Kaukolämpöakun varauskapasiteetti koko vuoden aikana tulisi olemaan 1 722 227 MWh laskettuna 2013 tietojen perusteella, jolloin lämpöhäviöt olisivat olleet 8 611 MWh ja rahallinen menetys noin 130 000 €. Ottamalla lämpöhäviöt mukaan kustannussäästö laskee noin 270 000 € saakka. Laskelmissa ei ole otettu huomioon akun veden pumppaamisesta aiheutuvaa sähkön kulutusta. Todellisuudessa ulkolämpötilat muuttuvat vuosittain eikä kaukolämmön kysyntää voida ennustaa tarkasti. Myös sähkön hintaa on mahdotonta ennustaa tarkasti, sillä se muuttuu tunneittain. Lisäksi jotkut öljykattiloiden käynnistykset ovat välttämättömiä koekäynnistyksiä, joilla varmistetaan kattiloiden toimivuus, eikä niitä näin ollen voida korvata edullisemmilla polttoaineilla.

Investoinnin takaisinmaksuaika voidaan selvittää jaksollisen maksun diskonttaustekijöiden taulukon avulla. Kaukolämpöakun oletettu käyttöikä on noin 20 vuotta, jolloin sopiva korkokanta laskentaan on 4 %. Lasketaan ensin takaisinmaksuajan karkea arvio 2 300 000 €:n euron pääomakustannuksella ja 270 000 €:n vuotuisilla säästöillä.

$$\frac{2\,300\,000\ \text{€}}{270\,000\ \text{€}} = 8,52\ \text{vuotta}$$

Seuraavaksi haetaan liitteestä 1 diskonttaustekijän arvo, joka antaa 4 %:n korkokannalla arvon 8,52. Taulukon avulla saadaan takaisinmaksuajaksi noin 10,6 vuotta.

6 YHTEENVETO

Työssä mitoitettiin kaukolämpöakun varauskapasiteetti, purkausteho ja tilavuus Kuopion Energia Oy:lle. Purkausteho sekä varauskapasiteetti määriteltiin sopiviksi tutkimalla savukaasupesurin jälkeistä tilannetta vuoden 2013 kulutus- ja tuotantotiedoin sekä sähkön markkinahinnan historiatietoja. Maksimi purkaustehoksi saatiin 45 MW ja varauskapasiteetiksi 250 MWh. Akun tilavuutta mitoitettiin käyttämällä muutamaa eri menetelmää. Kaikilla menetelmillä saatiin lähes samansuuruisia arvoja ja akun tilavuudeksi saatiin 6 500 m³.

Näillä kaukolämpöakun ominaisuuksilla tutkittiin vuoden 2013 mahdollisia säästöjä, jos akku olisi ollut käytössä. Säästöä syntyy, kun öljyllä toimivien lämpökeskuksien lämmöntuotantoa korvataan akkuun ladatulla edullisemmilla polttoaineilla tuotetulla lämmöllä sekä siirtämällä voimalaitoksen tuotantohuippua ajankohtaan, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan sähköpörssissä.

Laskelmissa saatiin vuosi tuotoksi noin 270 000 €. Todellisuudessa säästöihin kuitenkin vaikuttavat useat muuttujat ja epävarmuustekijät. 2 300 000 €:n pääomakustannuksella takaisinmaksuajaksi saatiin noin 11 vuotta. Investointiin liittyy lisäksi huomattavia riskejä, joita ei voida ennakoida. Kaukolämpöakku tuo toisaalta käyttövarmuutta parantavia tekijöitä, joita ei voida rahassa mitata.

LÄHTEET

Kuopion Energia Oy. Kuopiolainen energiakonserni. Saatavissa:

<http://www.kuopionenergia.fi/yritys> [Viitattu 12.1.2015].

Kuopion Energia Oy. Kotimaista energiaa. Saatavissa:

<http://www.kuopionenergia.fi/tuotanto> [Viitattu 10.1.2015, 19.1.2015].

Kuopion Energia Oy. Haapaniemen laitokset. Saatavissa:

<http://www.kuopionenergia.fi/tuotanto/haapaniemen-voimalaitokset> [Viitattu 10.1.2015].

Energiateollisuus ry. Kaukolämmitys. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys> [Viitattu 1.10.2015].

Energiateollisuus ry. Toimintavarma kaukolämpö Saatavissa:

<http://www.kaukolampo.fi/toimintaperiaate.html> [Viitattu 1.10.2015].

Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Kara, R. 1987. Energian varastointi. Espoo: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry.

Lehto-Peippo L. 2003. Kaukolämpöakku kuin termospullo. Kaleva 25.2.2003. Saatavissa:

<http://www.kaleva.fi/uutiset/pohjois-suomi/kaukolampoakku-kuintermospullo/496369/> [Viitattu 12.1.2015].

Kaaranka, J. 2013. Kaukolämpöakun mitoitus ja investoinnin kannattavuus Seinäjoen Energialle. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tekniikan yksikkö. Opinnäytetyö. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/65535/Kaaranka_Jaakko.pdf?sequence=1

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Kotka: Opetushallitus

Seppälä, P. 2015. Tuotantojohtaja. Kuopion Energia Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

LIITEET

Liite 1. Jaksollisen maksun diskonttaustekijät

Laskentakorko / Jaksot	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %
1	0,980	0,962	0,943	0,926	0,909	0,893	0,877	0,862	0,847	0,833
2	1,942	1,886	1,833	1,783	1,736	1,690	1,647	1,605	1,566	1,528
3	2,884	2,775	2,673	2,577	2,487	2,402	2,322	2,246	2,174	2,106
4	3,808	3,630	3,465	3,312	3,170	3,037	2,914	2,798	2,690	2,589
5	4,713	4,452	4,212	3,993	3,791	3,605	3,433	3,274	3,127	2,991
6	5,601	5,242	4,917	4,623	4,355	4,111	3,889	3,685	3,498	3,326
7	6,472	6,002	5,582	5,206	4,868	4,564	4,288	4,039	3,812	3,605
8	7,325	6,733	6,210	5,747	5,335	4,968	4,639	4,344	4,078	3,837
9	8,162	7,435	6,802	6,247	5,759	5,328	4,946	4,607	4,303	4,031
10	8,983	8,111	7,360	6,710	6,145	5,650	5,216	4,833	4,494	4,192
11	9,787	8,760	7,887	7,139	6,495	5,938	5,453	5,029	4,656	4,327
12	10,575	9,385	8,384	7,536	6,814	6,194	5,660	5,197	4,793	4,439
13	11,348	9,986	8,853	7,904	7,103	6,424	5,842	5,342	4,910	4,533
14	12,106	10,563	9,295	8,244	7,367	6,628	6,002	5,468	5,008	4,611
15	12,849	11,118	9,712	8,559	7,606	6,811	6,142	5,575	5,092	4,675
16	13,578	11,652	10,106	8,851	7,824	6,974	6,265	5,668	5,162	4,730
17	14,292	12,166	10,477	9,122	8,022	7,120	6,373	5,749	5,222	4,775
18	14,992	12,659	10,828	9,372	8,201	7,250	6,467	5,818	5,273	4,812
19	15,678	13,134	11,158	9,604	8,365	7,366	6,550	5,877	5,316	4,843
20	16,351	13,590	11,470	9,818	8,514	7,469	6,623	5,929	5,353	4,870
21	17,011	14,029	11,764	10,017	8,649	7,562	6,687	5,973	5,384	4,891
22	17,658	14,451	12,042	10,201	8,772	7,645	6,743	6,011	5,410	4,909
23	18,292	14,857	12,303	10,371	8,883	7,718	6,792	6,044	5,432	4,925
24	18,914	15,247	12,550	10,529	8,985	7,784	6,835	6,073	5,451	4,937
25	19,523	15,622	12,783	10,675	9,077	7,843	6,873	6,097	5,467	4,948
26	20,121	15,983	13,003	10,810	9,161	7,896	6,906	6,118	5,480	4,956
27	20,707	16,330	13,211	10,935	9,237	7,943	6,935	6,136	5,492	4,964
28	21,281	16,663	13,406	11,051	9,307	7,984	6,961	6,152	5,502	4,970
29	21,844	16,984	13,591	11,158	9,370	8,022	6,983	6,166	5,510	4,975
30	22,396	17,292	13,765	11,258	9,427	8,055	7,003	6,177	5,517	4,979
31	22,938	17,588	13,929	11,350	9,479	8,085	7,020	6,187	5,523	4,982
32	23,468	17,874	14,084	11,435	9,526	8,112	7,035	6,196	5,528	4,985
33	23,989	18,148	14,230	11,514	9,569	8,135	7,048	6,203	5,532	4,988
34	24,499	18,411	14,368	11,587	9,609	8,157	7,060	6,210	5,536	4,990
35	24,999	18,665	14,498	11,655	9,644	8,176	7,070	6,215	5,539	4,992