

Pekka Leskinen

**AAMUN HUIPPUKULUTUKSEN TORJUNTA JA
LÄMMÖNTUOTANTO LÄMPÖTILAN MUUTOSTILANTEESSA**

**AAMUN HUIPPUKULUTUKSEN TORJUNTA JA
LÄMMÖNTUOTANTO LÄMPÖTILAN MUUTOSTILANTEESSA**

Pekka Leskinen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Pekka Leskinen

Opinnäytetyön nimi: Aamun huippukulutuksen torjunta ja lämmöntuotanto lämpötilan muutostilanteessa

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014

Sivumäärä: 34 + 2 liitettä

Oy Kokkola Power Ab halusi tietoa Kokkolan kaupungin kaukolämpöverkosta ja siihen liittyvien voimalaitosten ajosta ulkolämpötilan muutostilanteen ja aamun huippukulutuksen aikaan. Työn tavoitteena oli selvittää optimaalinen lämmöntuotantomalli ulkolämpötilan muutoksessa ja aamun huippukulutuksen aikaan sekä tarkastella verkoston lämmönkulkuaikaa. Työ on tehty teoriatietoa tutkimalla, sillä käytännön tietoa oli saatavilla vain vähän.

Verkon akkumuloinnilla saavutetaan parempi lämmöntoimituksen varmuus ulkolämpötilan muutoksessa ja aamun huippukulutuksen aikaan. Oikeaan aikaan ajoitettu akkumulointi helpottaa lämmöntoimittamista. Kaukolämpöveden kulku-aika etäisimmille asiakkaille määritettiin.

Työn lopputuloksena voidaan todeta, että tällä tavoin on mahdollista saavuttaa rahallista hyötyä pumppauskustannusten pienentyessä sekä välttää kallista polttoainetta käyttäviä huippulämpökeskuksia. Voimalaitoksilla päästään parempaan lämmöntoimitusvarmuuteen. Työn tuloksia tulee harjoittaa käytännössä ja tarkkailla, miten kaukolämpöverkko reagoi ajotilanteessa.

Asiasanat: kaukolämpö, kaukolämpöverkko, akkumulointi, lämmöntuotanto

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Oy Kokkola Power Ab:n toimeksiannosta. Työn valvojana toimi opettaja Jukka Ylikunnari Oulun ammattikorkeakoulusta. Työn ohjaajana toimi käyttöinsinööri Jarkko Ojala.

Haluan kiittää Jarkko Ojalaa sekä koko käyttöhenkilökuntaa avusta.

Kokkolassa 15.5.2014

Pekka Leskinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
1 JOHDANTO	6
2 KAUKOLÄMPÖ	7
2.1 Yleistä	7
2.2 Kaukolämmön hinta ja markkinaosuus	7
3 KAUKOLÄMPÖ KOKKOLASSA	10
4 LÄMMÖNTUOTANTO	11
5 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ	15
5.1 Lämpötilatasot ja niiden säätö	15
5.2 Verkon akkumulointi	18
5.2.1 Verkon lataus	18
5.2.2 Verkon purkaus	20
5.2.3 Akkumuloinnin vaikutus sähkön tuotantoon	20
5.3 Paine-ero ja sen säätö	20
5.4 Painetaso ja sen säätö	24
5.5 Vesi-iskut	25
6 MENOLÄMPÖTILAN NOSTON VAIKUTUKSEN VIIVE	26
7 LÄMMÖNTUOTANTO PAKKASPÄIVÄNÄ	28
8 LÄMMÖNTUOTANTO LÄMPÖTILAN MUUTOKSESSA	32
9 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Topi-kuvaaja	

1 JOHDANTO

Työn tilaajana on Oy Kokkola Power Ab, joka on Kokkolan kaupungin omistama yritys. Voimalaitos toimii osana Kokkolan kaupungin energialiiketoiminnan kokonaisuutta yhdessä liikelaitos Kokkola Energian ja Verkkoyhtiö Kenet Oy:n kanssa. Voimalaitoksella on tärkeä rooli teollisuusasiakkaiden prosessienergian tuottajana. Kaukolämpötoiminta aloitettiin vuonna 1976, jolloin verkkoa rakennettiin 1,1 kilometriä ja verkkoon liitettiin yhteensä 17 asiakasta (Kokkolan Energia. 2014, Yleistilasto, kaukolämpö 1976-2014). Nykyään verkoston kokonaispituus on 229,6 km ja siihen kuuluu 3 000 asiakasta (Kokkolan Energia. 2014, Yleistilasto, kaukolämpö 1976-2014).

Työn tavoitteena on pohtia lämmöntuotantomallia aamun huippukulutuksen aikana ja lämpötilan muutostilanteessa. Lisäksi tarkastelin lämmöntuotantomallia kaukolämpöveden kulkuajan kannalta ja pohdin verkon käyttöä lämmönvarajana. Kokkolan voimalaitoksilla dokumentoitua tietoa edellä mainituista asioista ei ole, ja siksi se päätettiin dokumentoida. (Liite 1.)

Työssä tutustutaan kaukolämpöön tekniikkana ja prosessina, tehdään laskelmia verkon käyttämisestä lämpövarastona ja pohditaan akkumuloinnista syntyviä ongelmia. Lisäksi työssä käsitellään verkoston laajuuden aiheuttamaa ongelmaa, joka syntyy menolämpötilan noston vaikutuksen viiveestä.

2 KAUKOLÄMPÖ

2.1 Yleistä

Kaukolämmitys on käyttöveden ja rakennusten lämmittämiseen tarvittavan energian keskitettyä tuotantoa. Suomen ensimmäinen kaukolämmitysjärjestelmä valmistui Helsinkiin vuonna 1940. Euroopassa ja Suomessa lämpö siirretään asiakkaalle lämpimän veden välityksellä. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 25 - 44.)

Jakelujärjestelmän maksimilämpötilat ovat yleensä Suomessa 120 °C, mutta muualla Euroopassa käytetään myös muita maksimilämpötiloja. Energia siirretään asiakkaalle kaukolämmitysjärjestelmässä putkijärjestelmää pitkin. Yleisesti käytetään kaksiputkijärjestelmää, jossa on meno- ja paluuputki. Yhdessä nämä muodostavat kaukolämpöjohdon. Kaukolämpövettä kierrätetään putkistoissa tuotantolaitoksen pumpuilla ja kaukolämpöverkossa olevilla paineenkorotusasemilla. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 25 - 44.)

Yleensä asiakas on kytketty verkkoon epäsuoralla kytkennällä, mikä tarkoittaa, että asiakkaalla on oma lämmitysvesikierto. Lämmityskierron vesi lämmitetään kaukolämmön avulla lämmönsiirtimessä. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 25 - 44.)

2.2 Kaukolämmön hinta ja markkinaosuus

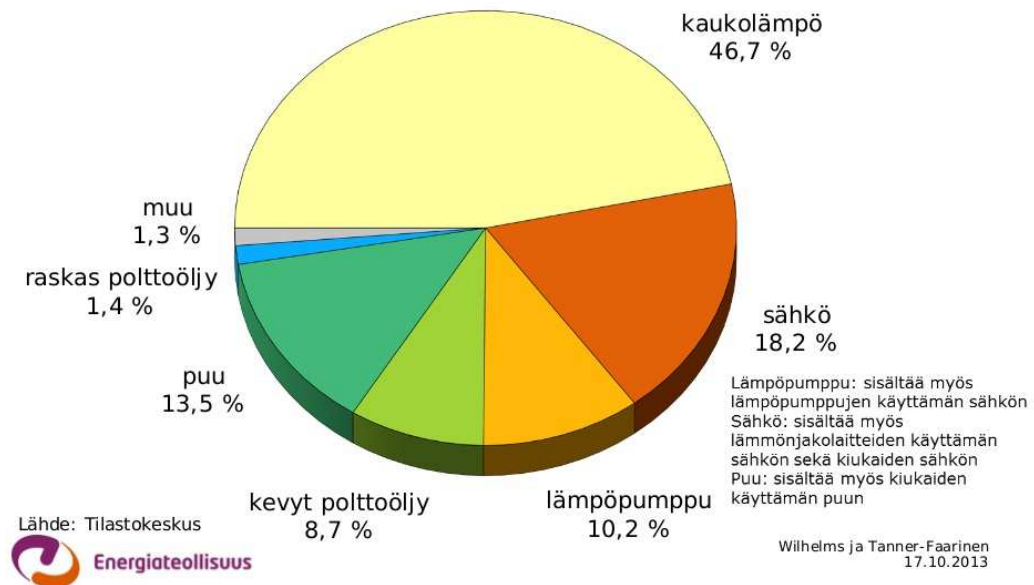
Kilpailuviranomaisen mukaan kaukolämmitys on Suomessa määräävässä markkina-asemassa. Syynä tähän ovat kalliit investoinnit vaihdettaessa lämmitysmuotoa kaukolämmöstä toiseen. Kilpailevia lämmitysmuotoja ovat esimerkiksi öljy, sähkö- ja lämpöpumput. Vuonna 2012 keskimääräinen kaukolämmön verollinen myyntihinta oli 67,8 €/MWh (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Kaukolämpötoiminnan keskeiset luvut vuonna 2012 (Kaukolämpötilasto 2012. 2013)

	Vuosi 2012	Muutos
Kaukolämmön tuotanto	37 100 GWh	+9,1 %
Kaukolämmön tuotantoon liittyvä sähkön tuotanto	13 100 GWh	-9,4 %
Edellisiin käytetty polttoaine	59 200 GWh	+1,9 %
Kaukolämmön kulutus	34 000 GWh	+9,2 %
Asuintalojen osuus kulutuksesta	55 %	
Asiakkaat, lukumäärä	137 700 kpl	+3,0 %
liittymisteho	18 500 MW	+1,1 %
rakennustilavuus	895 milj. m ³	+1,7 %
asuintalojen osuus rakennustilavuudesta	46 %	
Myydyn lämmön verollinen keskihinta		
- aritmeettinen keskiarvo	73,8 €/MWh	+4,7 %
- painotettu keskiarvo	67,8 €/MWh	+3,8 %
Kaukolämpöverkostojen pituus	13 600 km	+2,5 %

Asuin- ja palvelurakennusten kaukolämmön markkinaosuus oli vuonna 2011 46,7 % (kuva 1). Kaukolämpöaloissa oli vuonna 2012 noin 2,67 miljoonaa asukasta ja kaukolämpöä myytiin 34,0 TWh. (Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)

Lämmityksen markkinaosuudet v. 2011 Asuin- ja palvelurakennukset



KUVA 1. Lämmityksen markkinaosuudet vuonna 2011 (Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)

3 KAUKOLÄMPÖ KOKKOLASSA

Kokkolassa kaukolämpöä tuotetaan kahdessa voimalaitoksessa sähkön- ja lämmön yhteistuotantona sekä prosessiteollisuuden lämmöntalteenotolla rikkihappotehtaalla. Kokkola Powerin laitoksella voidaan tuottaa 80 MW kaukolämpöä. Kokkolan Voiman laitoksella voidaan tuottaa puolestaan 50 MW kaukolämpöä ja sen lämmön talteenotolla saadaan 15 MW kaukolämpöä. Kokkolan kaukolämpötuotanto on 450 GWh. Kaukolämpöverkon kokonaistilavuus on 7 028 m³ ja kaukolämpöakun 3 260 m³. (Kokkolan Energia. 2011, Kokkolan energiakonsernin tuotanto Kokkolassa.)

Vuonna 2012 toteutunut kaukolämmön hankinta oli 342 GWh ja liittymisteho 160,2 MW. Kaukolämpöverkon yhteispituus on 210,6 kilometriä. (Toimintaker-
tomus 2012. 2013).

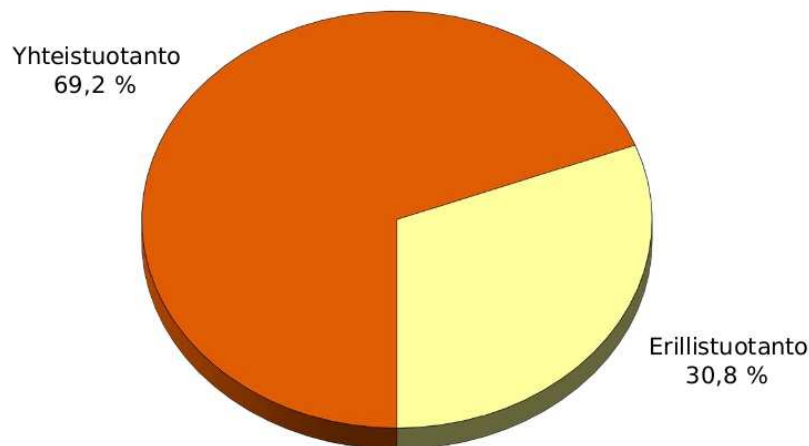
Kaukolämpöverkossa on 25 MW:n kuumavesikattila sekä 23 MW:n ja 12 MW:n lämminvesikattilat, jotka toimivat raskaspolttoöljyllä. Lisäksi verkkoon kuuluu kaksi 10 MW:n lämminvesikattilaa, jotka toimivat kevytpolttoöljyllä. (Kokkolan Energia. 2011, Kokkolan energiakonsernin tuotanto Kokkolassa).

4 LÄMMÖNTUOTANTO

Suurissa kaukolämpöverkoissa lämpö tuotetaan yleisemmin yhteistuotantolaitoksissa. Vastapainevoimalaitos on sähköä, lämpöä ja joissain tapauksissa höyryä tuottava laitos. Turbiinin läpi kulkenut höyry johdetaan turbiinin loppupäästä kaukolämmönsiirtimeen. Väliotolla on mahdollisuus toimittaa höyryä asiakkaille. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 47.)

Vuonna 2012 Suomen kaukolämmön tuotanto (kuva 2) oli 37,1 Twh. Tuotetusta kaukolämmöstä yhteistuotannon osuus oli 69,2 %, kun taas erillistuotannon osuus oli 30,8 %.

Kaukolämmön tuotanto v. 2012 37,1 TWh



Wilhelms ja Tanner-Faarinen
17.10.2013

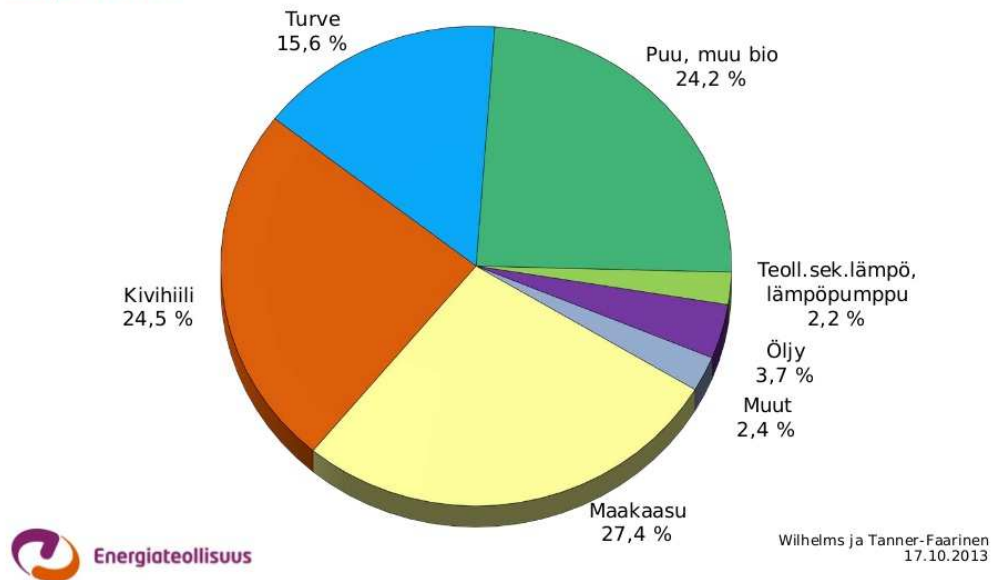
KUVA 2. Kaukolämmön tuotanto vuonna 2012 (Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)

Lauhdutusvoimalaitos on pääasiallisesti sähköntuotantoon rakennettu laitos. Lauhdutusvoimalaitoksissa lämpö on mahdollista ottaa talteen höyryturbiinin väliottojen kautta. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 47)

Vuonna 2012 kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkö tuotantoon käytettiin polttoainetta 59,2 Twh (kuva 3). Yhteistuotannossa eniten käytettyjä polttoaineita

olivat maakaasu, kivihiili, puu, muu biopolttoaine sekä turve. Muiden jäljelle jääneiden polttoaineiden osuus oli ainoastaan 8,3 %.

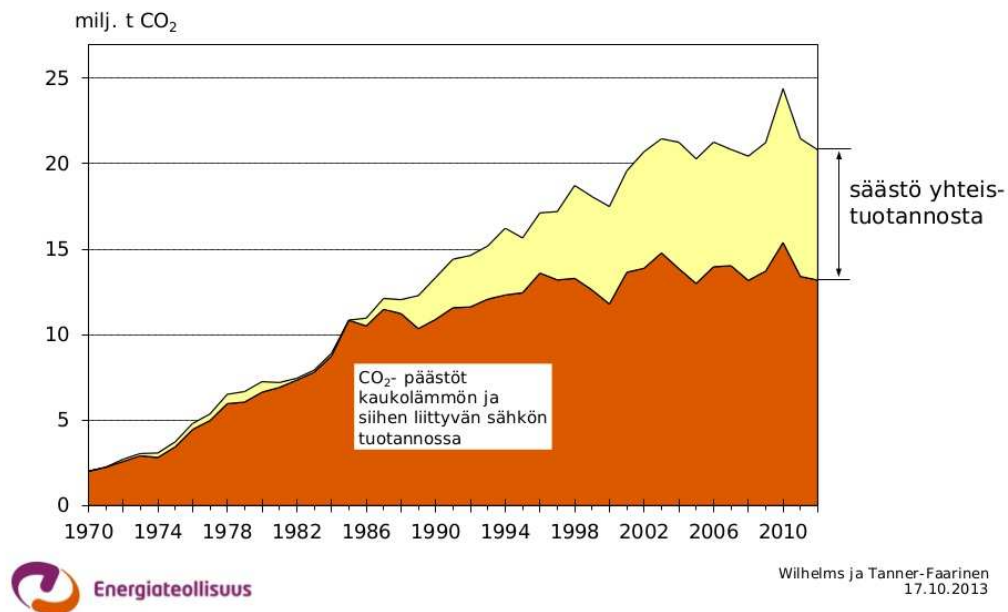
Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet v. 2012 59,2 TWh



KUVA 3. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet vuonna 2012. (Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)

Yhteistuotanto on yleistymässä sen taloudellisuuden vuoksi. Sähkön ja lämmön erillistuotantoon verrattuna myös ympäristövaikutukset ovat huomattavasti pienemmät (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 47 - 48). Vuonna 2012 yhteistuotannosta aiheutuneet CO₂-päästöt olivat noin 10 miljoona tonnia pienemmät kuin erillistuotannosta aiheutuneet (kuva 4).

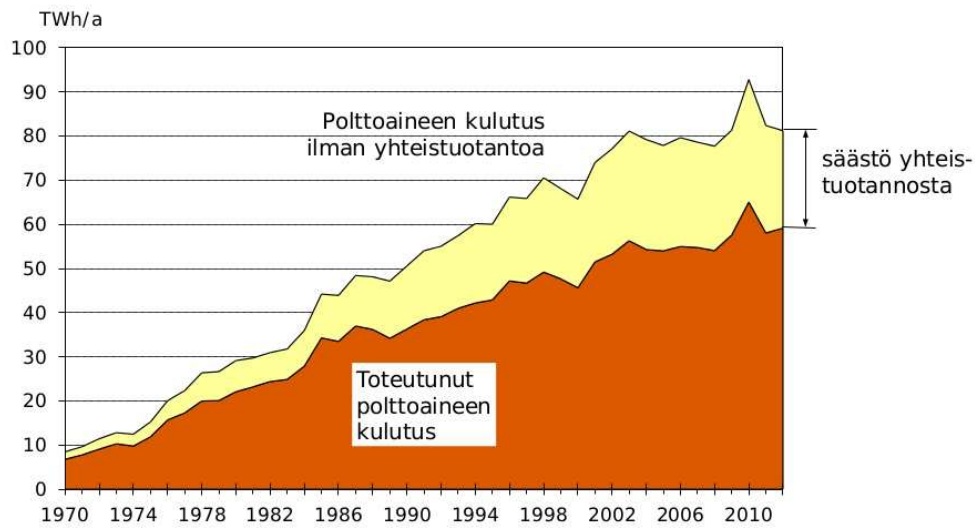
Yhteistuotannon vaikutus CO₂-päästöihin



KUVA 4. Yhteistuotannon vaikutus CO₂-päästöihin vuonna 2012 (Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)

Yhteistuotannossa polttoainetta kuluu vähemmän kuin erillistuotannossa vastaavan energiamäärän tuottamiseen (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 47 - 48). Vuonna 2012 yhteistuotannon ja erillistuotannon välinen energian säästö oli 20 TWh/a (kuva 5).

Yhteistuotannon avulla saavutettu energiansäästö



Wilhelms ja Tanner-Faarinen
17.10.2013

*KUVA 5. Yhteistuotannon avulla saavutettu energiansäästö vuonna 2012
(Energiateollisuus. 2013, Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö)*

Pelkästään lämmöntuotantoon tarkoitetuissa lämpölaitoksissa, lämpökattiloissa sekä kiinteissä ja siirrettävissä lämpökeskuksissa tuotettua lämpöä kutsutaan erillistuotannoksi (Lämmön erillistuotanto. 2014).

5 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ

Kaukolämpöjärjestelmän käyttöön liittyy useita toisistaan riippuvia tekijöitä:

- lämpötilatasot ja niiden säätö
- verkon akkumulointi
- paine-ero ja sen säätö
- painetaso ja sen säätö
- vesi-iskut. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335.)

Verkkoon syötetty kaukolämpöteho riippuu kaukolämpöveden virtausmäärästä ja lämpötilaerosta. Menoveden lämpötilaa säädetään keskitetysti, mutta verkossa virtauksen säätävät kuluttajat. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335.)

Menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Liian korkean menolämpötilan käyttö lisää verkkohäviöitä, ja liian alhaisen lämpötilan käyttö lisää riskiä olla täyttämättä asiakkaiden tehontarvetta. Paluulämpötilan säätävät kuluttajat. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335.)

Vuorokautista verkon akkumulointikykyä on mahdollista käyttää hyväksi säätämällä menolämpötilaa korkeammaksi kuin ulkoilman lämpötila vaatisi ja käyttää näin verkkoa akkuna eli lämmönvaraajana. Menolämpötilan säätönopeudessa tulee ottaa huomioon kaukolämpöverkkoon kohdistuvat rasitukset. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335.)

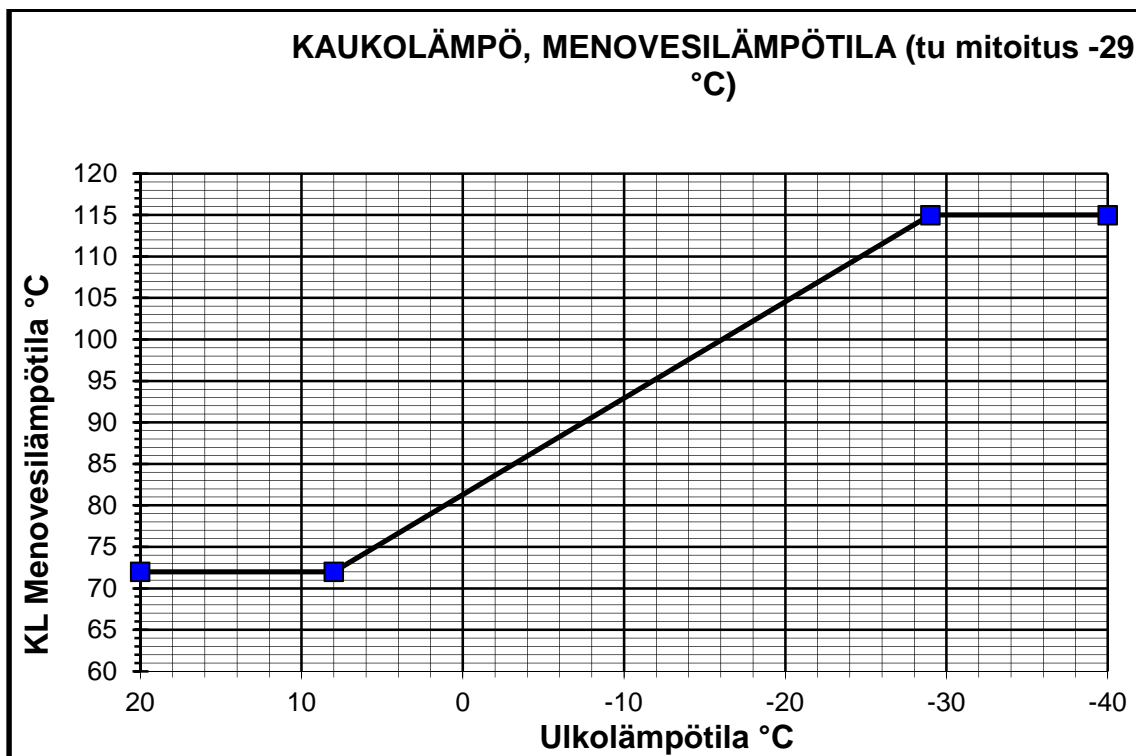
5.1 Lämpötilatasot ja niiden säätö

Menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan erillisessä sekoituspiirissä. Haluttu menolämpötila voidaan ylläpitää pumppausta säätämällä. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335.)

Menolämpötilan alarajan määräävät asiakaslaitteiden mitoitus, verkon siirto-kyky, käyttöveden lämmityksen mitoituksen riittävyys, prosessien mitoitus sekä lämpöhäviöiden aiheuttama menolämpötilan lasku verkon kaukaisimmilla asiakkailla. Menolämpötilan ylärajan määräävät puolestaan verkon suunnitteluläm-

pötila, yhteistuotannon parempi sähköntuotanto alhaisemmillä menolämpötiloilla sekä lämpöhäviöiden optimointi. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 335 - 336.)

Edellä mainittujen vaatimusten ja käytännön kokemusten avulla on luotu säätökäyriä (kuva 6) tuotantolaitoksille menolämpötilan ulkolämpötilan funktiona (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 336).



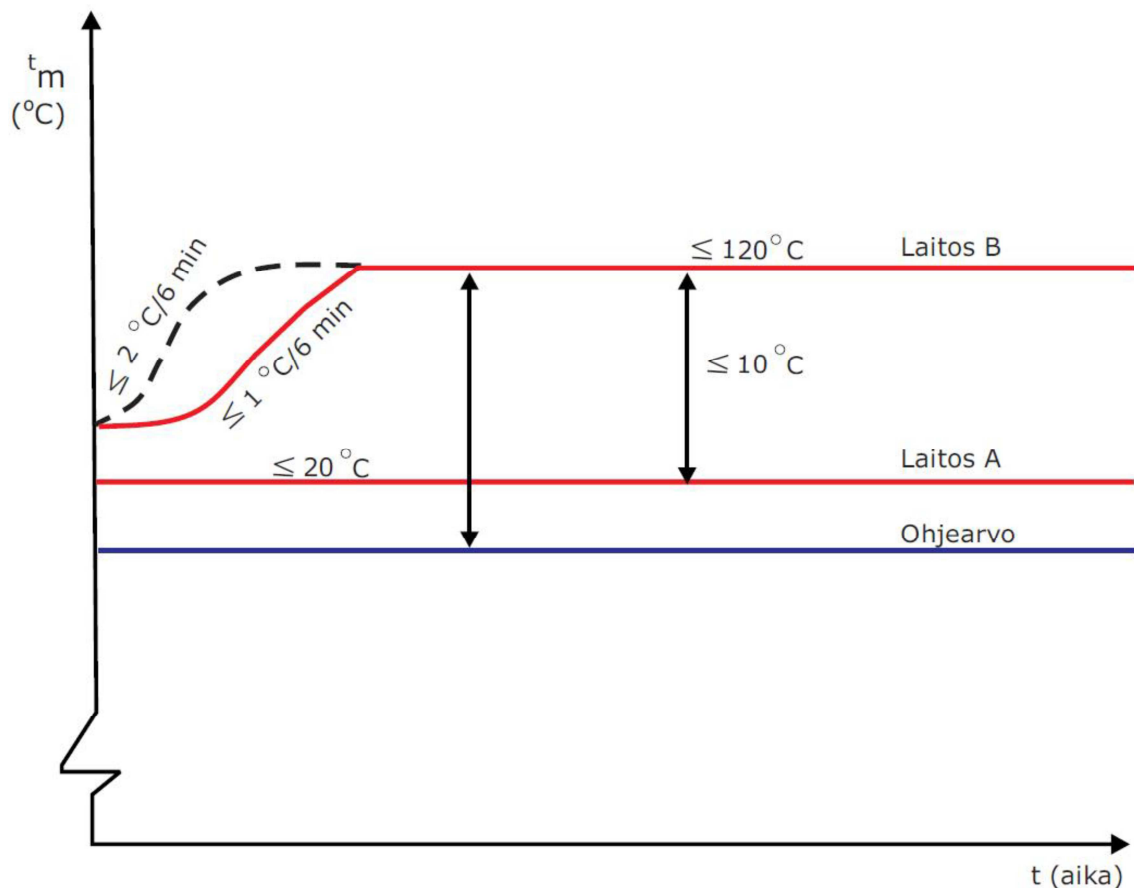
KUVA 6. Menovesilämpötila ulkolämpötilan funktiona (Kokkolan Energia. 2014, Menovesikäyrä)

Menolämpötilan säätökäyrä optimoidaan mahdollisimman alhaiseksi kuitenkin siten, ettei lämmöntoimitus asiakkaalle kärsi. Säätökäyrää ei voida muuttaa yksittäisen asiakkaan tarpeiden mukaan ilman tarkkoja kannattavuuslaskelmia. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 336.)

Säätökäyrä luo alarajan lämmöntoimitukselle, jolla asiakkaat tulevat toimeen. Säätökäyrää voidaan kuitenkin nostaa tuulen nopeuden ja ilmankosteuden kasvassa, ennakoitaessa merkittävää ulkolämpötilan laskua tai etäisimpien asiakkaiden riittävää kiertoveden menolämpötilaa sekä hyödynnettäessä verkon varastointikykyä. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 336.)

Asiakkaiden vuorokautinen lämpöteho ja kiertovesimäärä vaihtelevat voimakkaasti vuorokauden ajan mukaan. Tätä vaihtelua voidaan tasoittaa menolämpötilaa korottamalla aamu- ja iltapäivähuippua varten. Asiakaslaitteiden säätö vaikeutuu korkeilla menolämpötiloilla, sillä vesivirta käy säädön kannalta liian pieneksi. Ehdoton raja suunnittelulämpötilaa ylittämättä on kuitenkin 20 °C:n ylitys. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 336.)

Verkon lämpötilarasiusten minimoimiseksi menolämpötilan säätönopeus on rajoitettua. Laitoksilla on omat ohjearvonsa, mutta normaalitilanteessa pääsääntönä on enintään 1 - 2 °C/ 6 min. Jos kaukolämpöverkossa on monta laitosta syöttämässä vettä, saa menolämpötilojen ero olla enintään 10 °C (kuva 7), koska syöttöalueiden rajakohdissa tapahtuvat nopeat ja jatkuvat lämpötilojen muutokset rasittavat johtorakenteita. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 337.)



KUVA 7. Menolämpötilan valintaa rajoittavat ehdot (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 337)

Lämmöntuotannon ja kulutuksen välillä on pitkä aikaviive, joka voi olla usean tunnin mittainen. Nopeisiin lämpötehortarpeen muutoksiin voidaan varautua korottamalla menolämpötilaa etukäteen. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 337.)

Paluulämpötilaan vaikuttavat asiakaslaitteiden kytkennät ja ominaisuudet, käyttöveden hetkellinen tarve sekä sekundääriverkon lämpötilat. Lämmitystehon vaikutus paluulämpötilaan on hyvin pieni. Paluulämpötilan ei tulisi missään tapauksessa kohota yli 45 - 50 °C. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 337.)

5.2 Verkon akkumulointi

Kaukolämpöverkon vesimäärän sisältämää energiaa pystytään purkamaan tai lataamaan menolämpötilaa muuttamalla. Vain virtaus reagoi menolämpötilan muutoksiin ja paluulämpötila pysyy tasaisena. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 337.)

5.2.1 Verkon lataus

Kaukolämpöverkkoa voidaan ladata nostamalla menoveden lämpötilaa korkeammaksi kuin säätökäyrä edellyttäisi. Lämpövarasto, joka on syntynyt yllilämmön seurauksesta, purkautuu sen saavuttaessa asiakaslaitteet. Suomessa muutamat lämpölaitokset käyttävät verkkoa lämmön akkumulointiin. Lämmön akkumulointi verkkoon soveltuu ennakoitaessa lyhytaikaista kulutuksen kasvua. Yleensä menolämpötilan korotus on 5 - 15 °C ja akkumuloinnin kesto 2 - 3 tuntia. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 389.)

Akkumulointi voidaan toteuttaa myös siten, että menolämpötilaa lasketaan alle säätökäyrän näyttämän arvon ja virtausta verkossa lisätään. Lämmön vajoaus kaukolämpöverkossa normalisoidaan myöhemmin korottamalla menolämpötila säätökäyrän näyttämälle lämpötilalle. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 389.)

Taulukosta 2 ja kuvasta 8 nähdään Kokkolan kaukolämpöverkon menopuolen veteen varastoitunut energia, joka on saatu laskemalla kaavalla 1 (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 390, muokattu).

$$Q = c_p * \frac{V}{2} * \rho * (T_m - T_p)$$

KAAVA 1

Q = energia kJ

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti kJ/(K·kg)

V = kaukolämpöverkon vesitilavuus m³

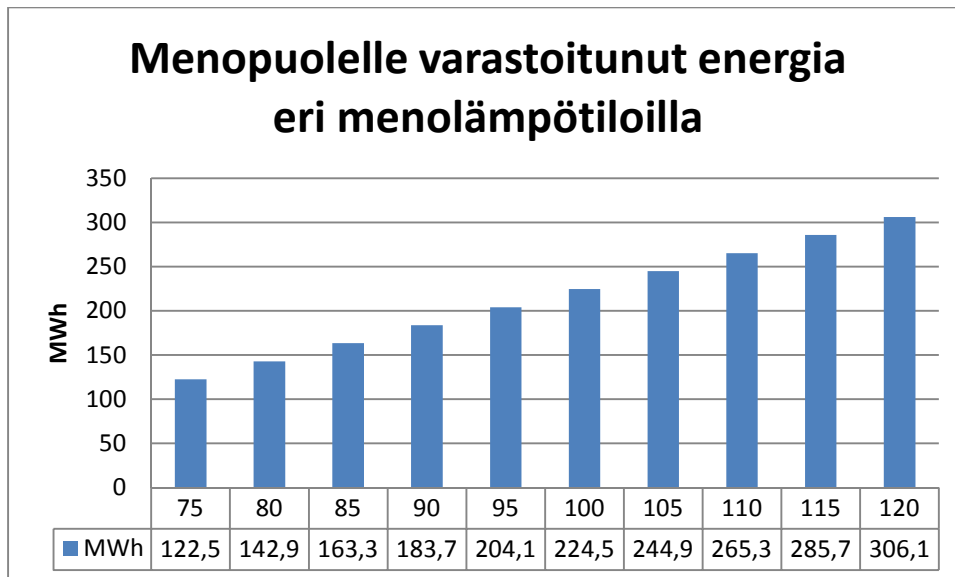
ρ = veden tiheys kg/m³

T_m = menoveden lämpötila °C

T_p = paluueden lämpötila °C

TAULUKKO 2. Menopuolelle varastoitunut energia

Menolämpötila T_m (°C)	Paluulämpötila T_p (°C)	Varastoitunut energia Q (MWh)	Prosentuaalinen kasvu %
75	45	122,45	
80	45	142,86	16,67
85	45	163,27	33,33
90	45	183,68	50,00
95	45	204,09	66,67
100	45	224,49	83,33
105	45	244,90	100,00
110	45	265,31	116,67
115	45	285,72	133,33
120	45	306,13	150,00



KUVA 8. Menopuolelle varastoitunut energia eri menolämpötiloilla

5.2.2 Verkon purkaus

Lämpövarasto puretaan laskemalla voimalaitoksen menolämpötilaa asetusarvoonsa. Purkaustilanteessa asiakkaan paluulämpötila laskee ja asiakkaan säätäjä lisää virtausta siihen asti, että paluuveden asetuslämpötila on saavutettu. Lämmön tuotto voimalaitoksella tasoittuu täten vastaamaan käyttöä. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 390.)

5.2.3 Akkumuloinnin vaikutus sähkön tuotantoon

Yhteistuotannossa voidaan verkon akkumuloinnin avulla tuottaa tilapäisesti lisää sähköä, kun ylituotanto ladataan verkkoon. Korotetun menolämpötilan vuoksi virtaus vähenee ja voimalaitoksen latausteho verkkoon vähentyy. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 389.)

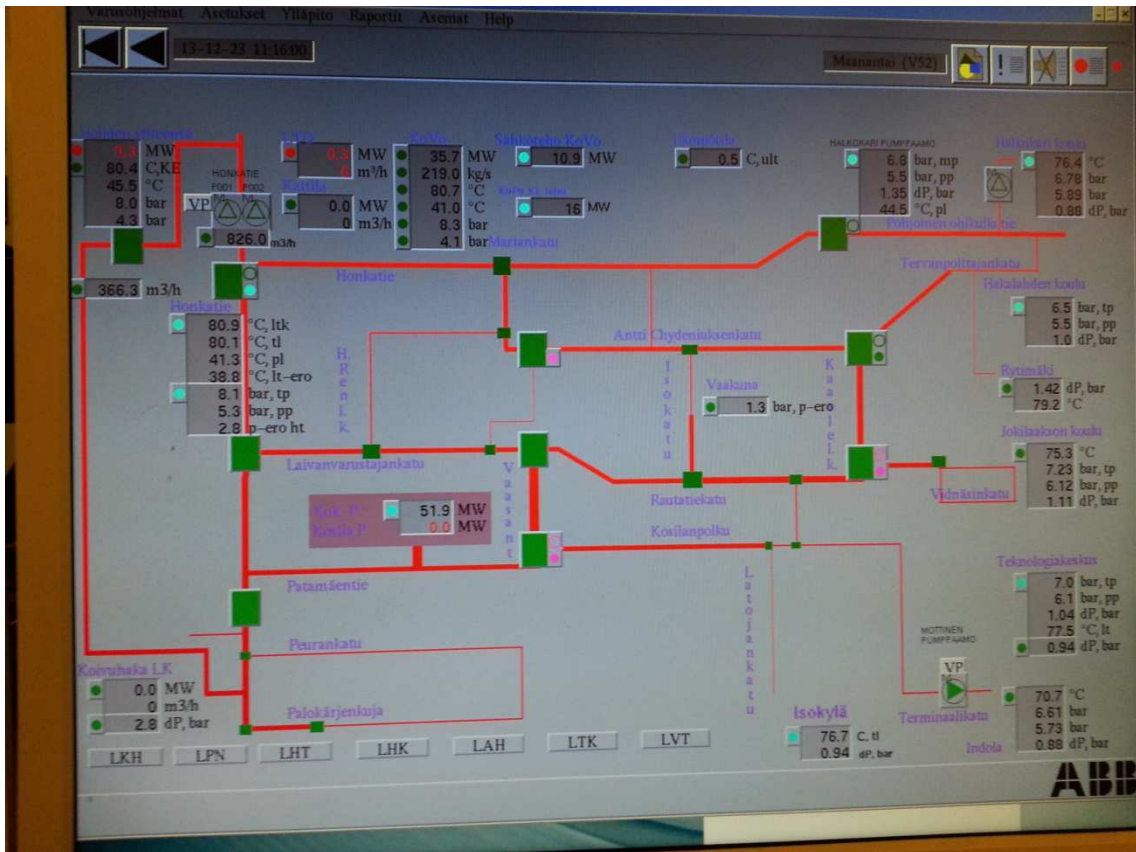
Sähkön tuotannon riippuvuutta kaukolämmön kulutuksesta tasoitetaan akkumuloimalla lämpöä kaukolämpöverkkoon tai kaukolämpöakkuun. Lämpövarastoa käytetään keinotekoisena kuluttajana vastapainelaitoksen lämmön liikatuotannolle ja näin ollen sähkön vastapainetuotantoa voidaan tilapäisesti korottaa. Lämpöenergia puretaan myöhemmin varastosta kaukolämpöverkkoon, mikä vähentää lämmön huippukulutuksessa kalliimpaa, esimerkiksi öljykattiloilla tuotettua lämpöenergiaa. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 383.)

5.3 Paine-ero ja sen säätö

Kaukolämpöpumppujen paine- ja imupuolen paine-erolla saavutetaan veden kierto kaukolämpöverkossa. Suljetussa putkistossa putkiston nousut ja laskut eivät vaikuta veden kiertoon, mikäli riittävä painetaso on taattu. Pumpputyötä vaaditaan vain veden virtausnopeuden nostamiseen ja verkossa tapahtuvien painehäviöiden kompensointiin. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 340.)

Virtaus putkessa tapahtuu aina alhaisemman paineen suuntaan, jolloin putken sekä virtaavan kaukolämpöveden väliset kitkavoimat aiheuttavat paine-eron. Kuluttajille on taattava vähintään 0,6 bar:n paine-ero, jonka avulla voidaan taata asiakaslaitteissa tapahtuva lämmönsiirto (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 340).

Paine-eron säätö tapahtuu kriittisimmän kuluttajan mukaan, eli verkon kohdassa jossa paine-ero on pienin. Jatkuvan mittausvalvonnan avulla ohjataan kiertovesipumppua, jonka avulla varmistetaan riittävä paine-ero verkossa (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 340). Kokkolan kaukolämpöverkossa paine-eroa ajetaan Vaakunan (kuva 9) paine-eron mukaan.

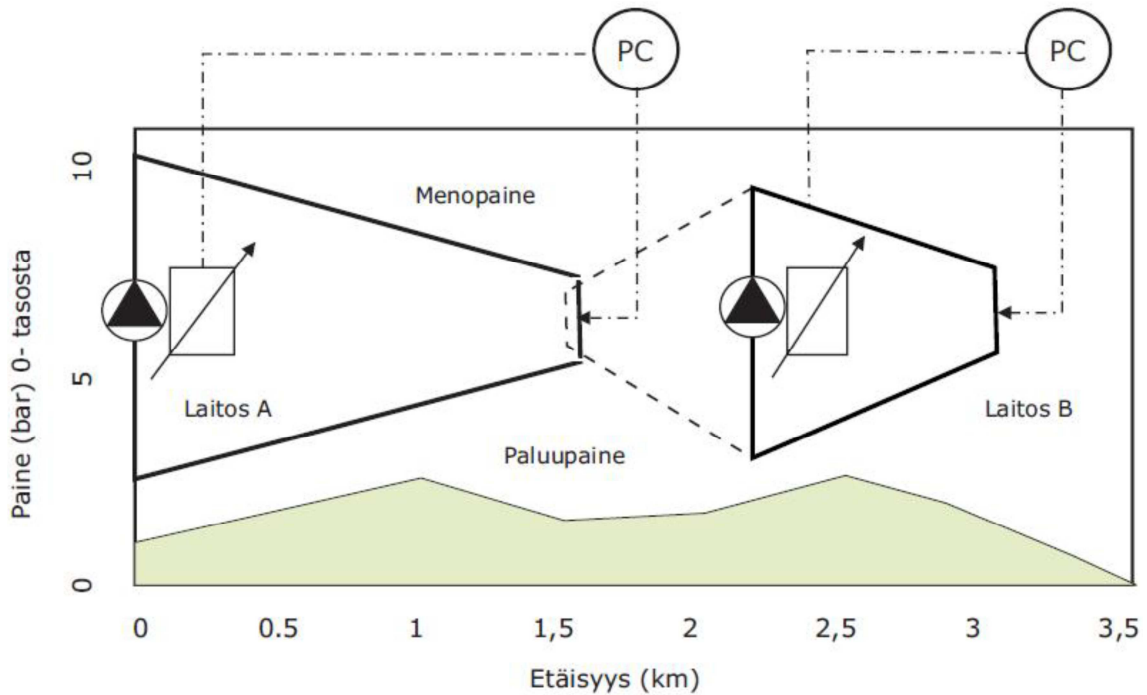


KUVA 9. MicroScadan kuva kaukolämpöverkosta

Yli 10 MW:n verkoissa syötön hoitaa yleensä vähintään kaksi tuotantolaitosta. Laitoksissa on käytössä pääsääntöisesti pyörimisnopeussäätöisiä pumppuja. Tehonjako laitosten välillä hoituu kiertovesipumppujen nostokorkeutta muuttamalla. Paine-ero ajetaan kriittisimmän asiakkaan mukaan, jolloin verkko-osuudet on eroteltava. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 341.)

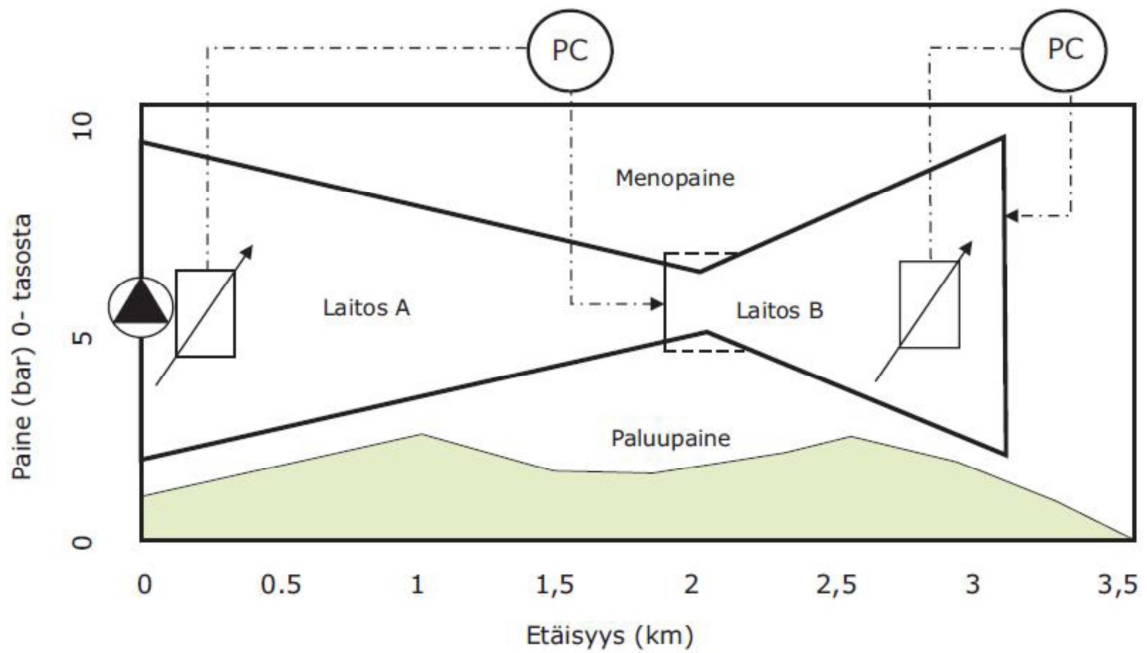
Kun verkko halutaan pitää yhtenäisenä, on yksittäisen tuotantolaitoksen säätösuurena kriittisimmän asiakkaan paine-ero, jolloin muut tuotantolaitokset ajavat vakioteholla tai pumpun yli paine-erolla. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 341.)

Laitosten välistä tehonjakoa voidaan jakaa kolmella eri tavalla. Tällöin laitos A syöttää yksin laitosten välistä verkkoa (kuva 10) ja laitos B takanaan olevaa verkkoa. Paine-eroa ajetaan epäedullisimman asiakkaan mukaan. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 342.)



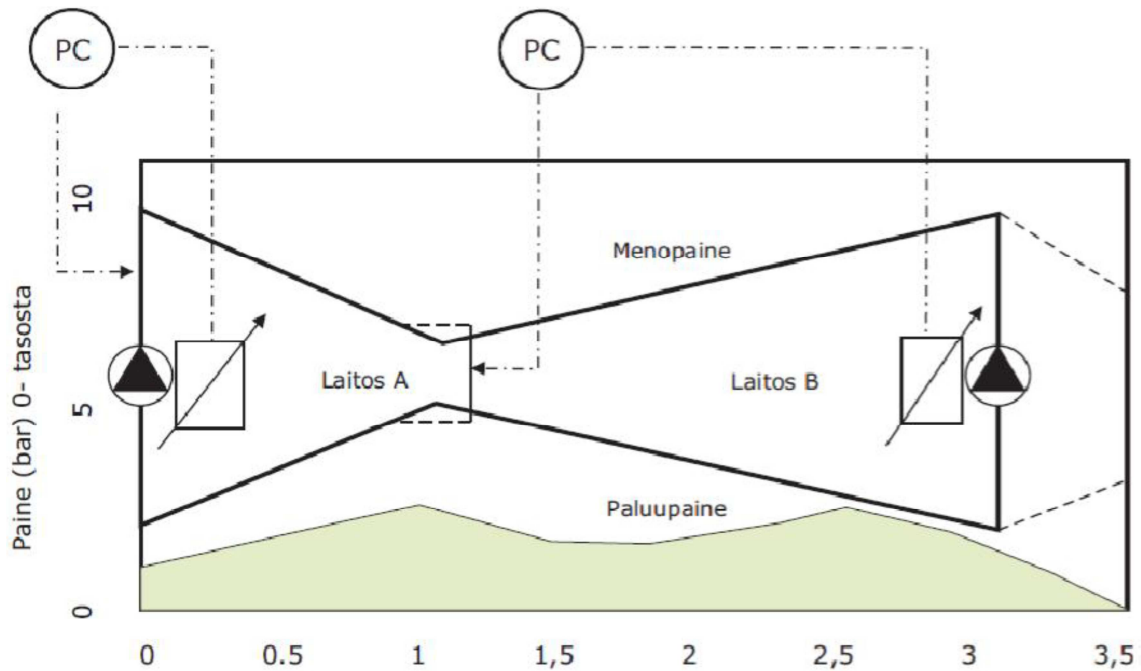
KUVA 10. Tehonjakomalli 1 (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 342)

Laitos B (kuva 11) syöttää osan laitosten välisestä verkosta. A-laitoksen sää-
tösuurena on epäedullisimman asiakkaan paine-ero ja B ajaa vakioteholla.
(Kaukolämmön käsikirja. 2006, 342.)



KUVA 11. Tehonjakomalli 2 (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 342)

Laitos B syöttää osan laitosten välisestä (kuva 12) verkosta. A-laitoksen säätösuureena on paine-ero pumpun yli ja laitos B:n säätösuureena epäedullisimman asiakkaan paine-ero. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 343.)



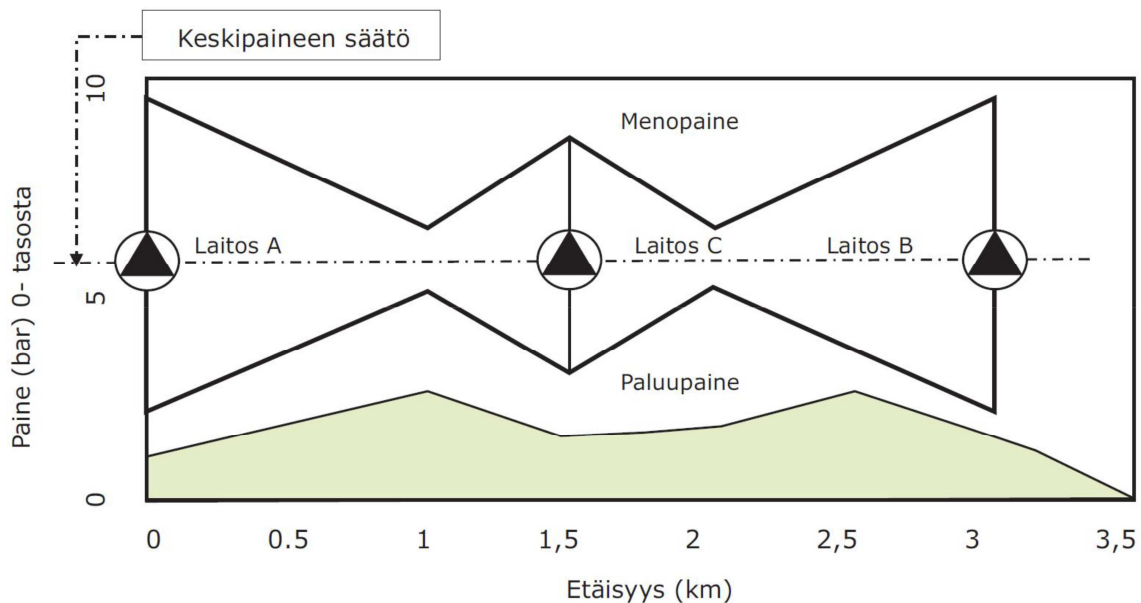
KUVA 12. Tehonjakomalli 3 (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 343)

5.4 Painetaso ja sen säätö

Kaukolämpöveden ongelmattoman kierron takaamiseksi suljetussa järjestelmässä ylipaineen on oltava riittävä alipaineen ja veden höyrystymisen ehkäisemiseksi. Alipaineen vuoksi vedessä olevat kaasut saattavat erottua ja putken epätiiveydestä johtuen putkistoon voi vuotaa ilmaa. Nämä voivat yhdessä aiheuttaa veden kiertoa hidastavan kaasu- tai ilmatyynyn. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 338.)

Painetason säätöä kutsutaan keskipaineen säädöksi, sillä keskipainetason muodostaa meno- ja paluupaineiden mediaani. Mikäli keskipainetason halutaan pysyvän suurimmissa verkoissa vakiona kuormituksen muuttumisesta huolimatta, säädetään keskipainetta paineen ylläpitolaitteilla. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 338.)

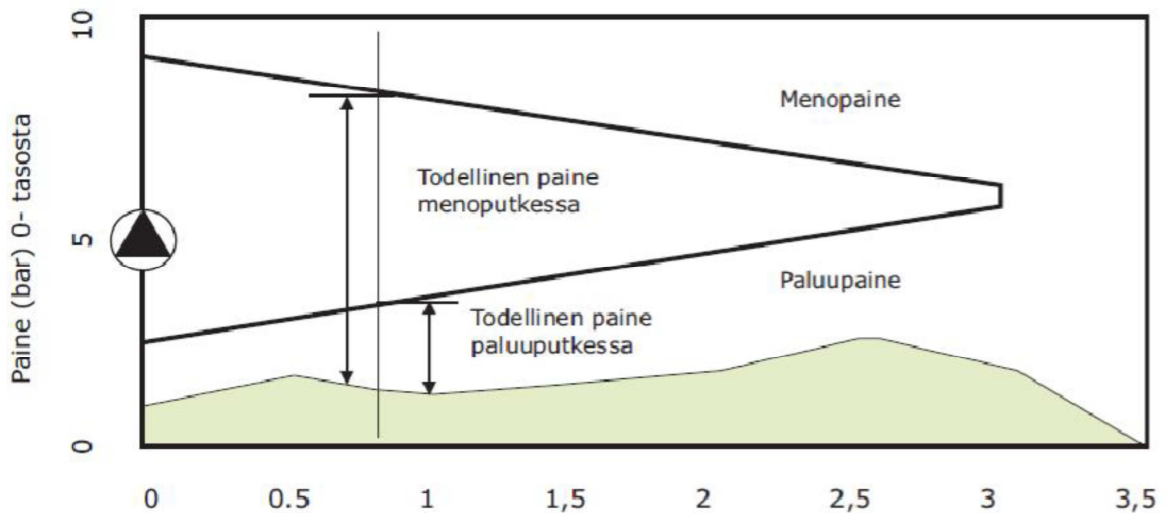
Kun suureen kaukolämpöverkkoon ajetaan lämpöä yhtäaikaaisesti monesta tuotantolaitoksesta, voi keskipaineen säätö (kuva 13) tapahtua vain yhdestä laitoksesta. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 338.)



KUVA 13. Usean laitoksen kaukolämpöverkon painekuvaaja (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 338)

5.5 Vesi-iskut

Todellinen putkistossa vaikuttava paine on painekuvaajan ja maastoprofiilin erotus. Paine kuvaajan (kuva 14) position hahmottamisessa hyödynnetään teoreettista painetta perustasosta eli 0-tasosta. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 343.)



KUVA 14. Kaukolämpöverkon painekuvaaja (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 344)

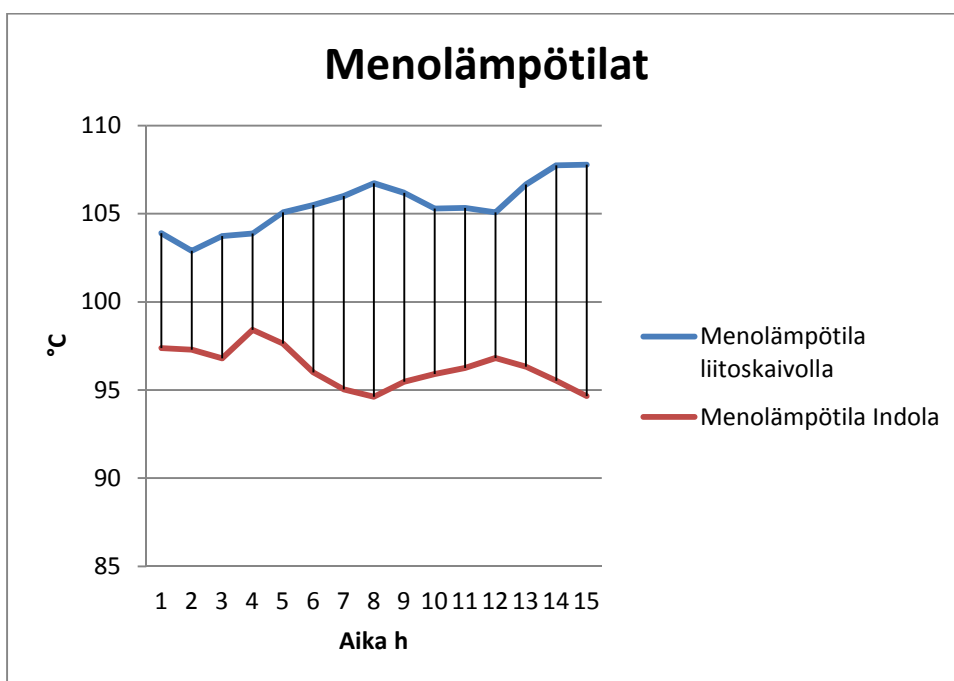
Paluupaineen ja maastokuvaajan leikatessa toisensa painekuvaajassa putkeen syntyy alipaine. Alipaineen vaikutuksesta verkkoon vuotaa ilmaa, mikä lisää virtausvastusta. Jos paine verkossa pääsee laskemaan höyrystymispaineen alle, vesi höyrystyy aiheuttaen virtausvastusta ja vaikeuttaa veden virtausta. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 344.)

Vaarallinen tilanne syntyy kun pumppujen kierroslukua nostetaan virtauksen pienenemisen vastapainoksi. Tästä seuraa se, että paine-ero pumpun yli kasvaa ja jos samalla nostetaan keskipainetta, tapahtuu alipaineen äkillinen poistuminen ja höyryn lauhtuminen vedeksi. Tästä syntyy vesi-isku, jonka seurauksena syntynyt paine-aalto voi rikkoa laitteita etäälläkin. (Kaukolämmön käsikirja. 2006, 343).

6 MENOLÄMPÖTILAN NOSTON VAIKUTUKSEN VIIVE

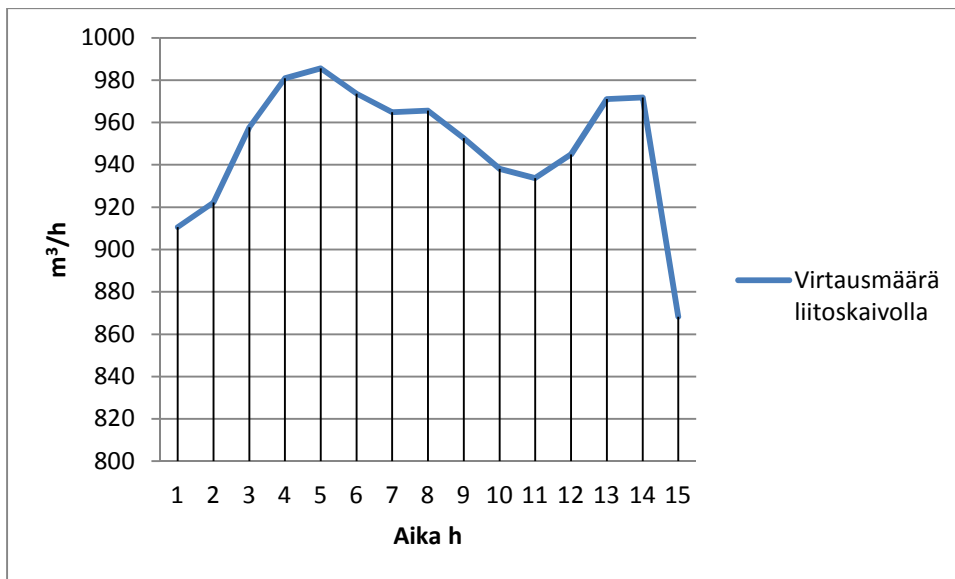
Voimalaitoksella menolämpötilan noston ja kulutuksen välillä on usean tunnin viive. Aikaviiveen suuruuteen vaikuttaa kuluttajan sijainti kaukolämpöverkossa. Tarkasteluun otettiin liitoskaivo, jossa voimalaitoksilta tuleva kaukolämpövesi yhtyy ja jatkaa kulkuaan kaupunkiin. Kuluttajaksi valittiin sijainnista johtuen verkon perällä sijaitseva Indolan mittauskaivo.

Voimalaitoksilla oleva MicroScada -ohjelma tallentaa lokitietoja verkoston mittauskaivoilta. Lokitiedoista nähdään aikaviiveen suuruus (kuva 15) mittauspisteiden välillä.



KUVA 15. Menolämpötilat (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)

Kun voimalaitoksella nostetaan menolämpötilaa ajanhetkellä 4, alkaa sen vaikutus näkyä Indolassa ajanhetkellä 8 eli 4 tunnin kuluttua. (kuva 15) Virtausmäärä (kuva 16) pysyi melko tasaisena mittausvälillä 4 -8.

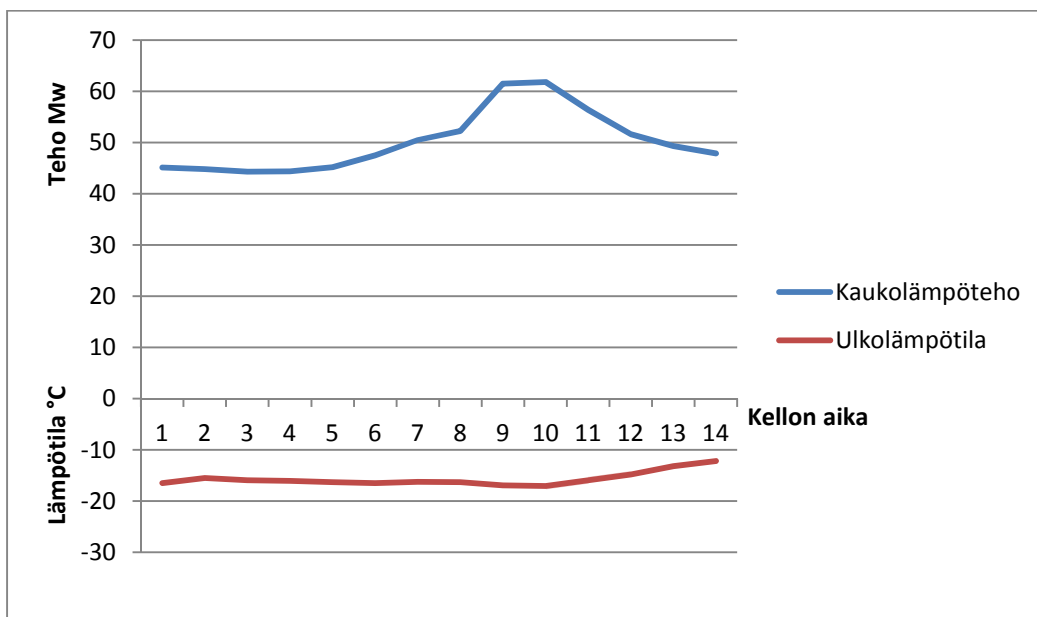


KUVA 16. Virtausmäärä (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)

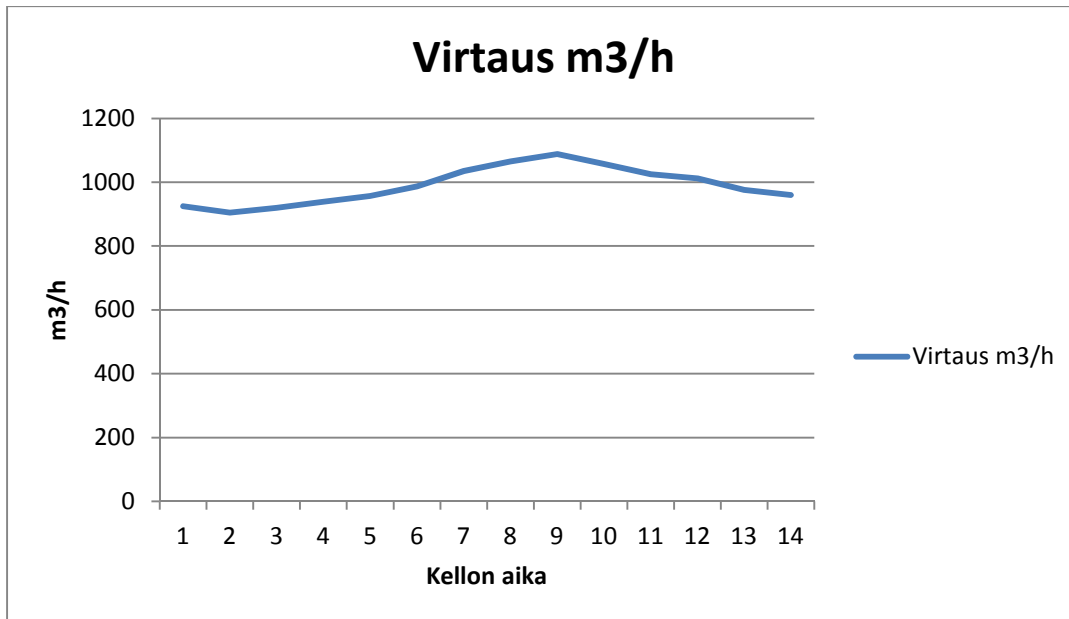
7 LÄMMÖNTUOTANTO PAKKASPÄIVÄNÄ

Talven kovina pakkaspäivinä kaukolämpöverkossa voi syntyä ongelmia aamun huippukulutuksen ja iltapäivän huippukulutuksen aikaan. Ongelmia voivat olla lämmön riittämättömyys verkon perukoilla, jolloin joudutaan käynnistämään öljyllä toimivia huippulämpökeskuksia, mikä taas on kallista.

Aamun huippukulutuksessa tapahtuu huomattava kaukolämmön tuotannon nousu, koska kaupungin kulutus kasvaa. Tämä voi aiheuttaa prosessissa suuria ja nopeita muutoksia, jotka eivät ole toivottavia (kuva 17). Tuotannon noususta seuraa virtausmäärän kasvu (kuva 18 ja liite 2), mikä lisää pumppauskulutuksia.

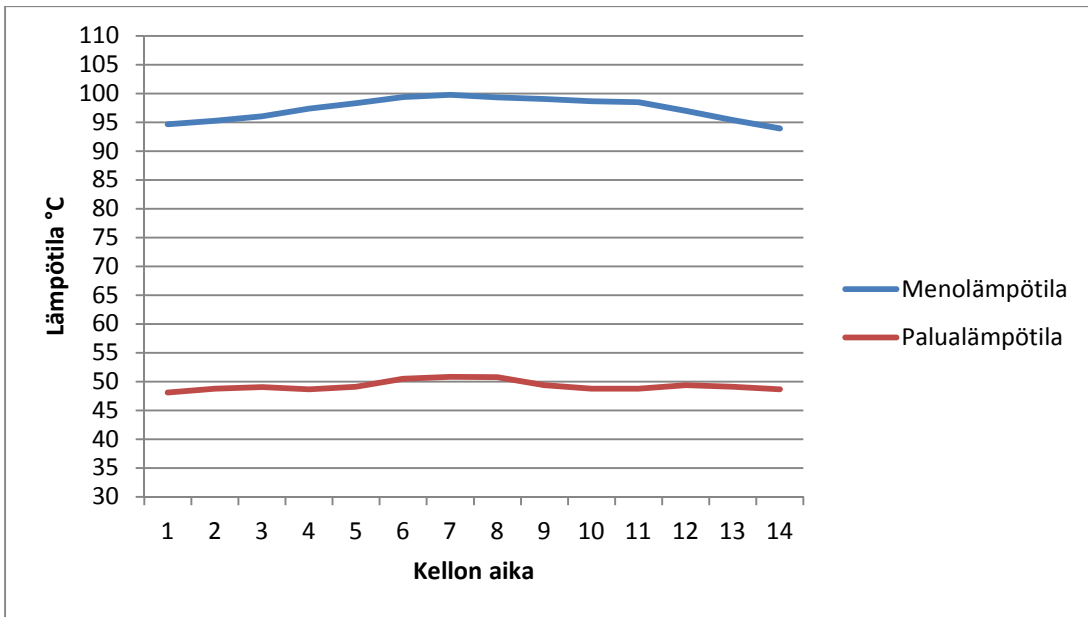


KUVA 17. Aamun huippukulutus (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)

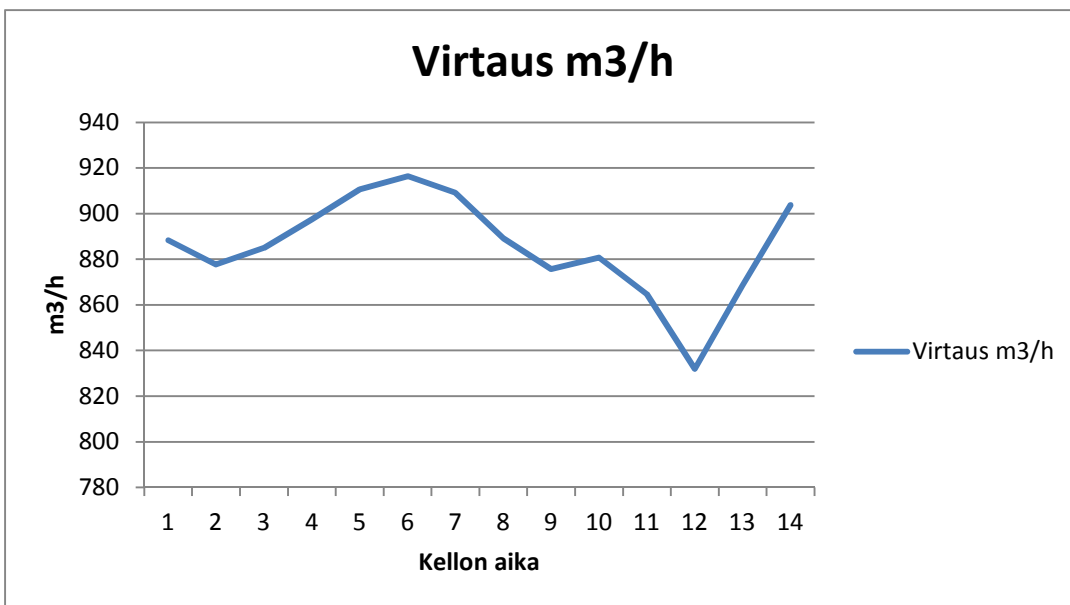


KUVA 18. Virtaus aamun huippukulutuksen aikaan (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)

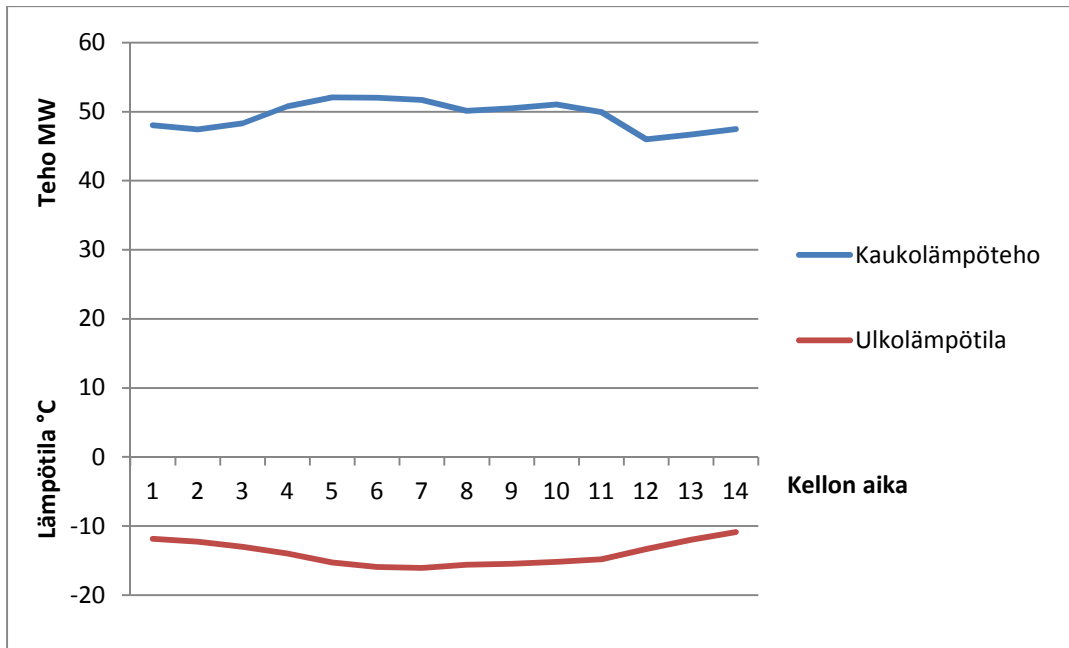
Aamun huippukulutukseen voidaan varautua akkumuloimalla (kuva 19) verkkoa menolämpötilaa nostamalla. Akkumuloinnista tullut lämpövarasto purkautuu tasaisena rintamana verkossa kulutuksen kasvaessa (kuva 21). Siitä seuraa, että pumppauskustannuksissa säästetään, sillä virtausmäärä verkossa pienentyy (kuva 20) kun asiakaslaitteet pienentävät virtaustaan. Virtaus palaa vastaamaan normaalia kun lämpövarasto on purkautunut (kuva 20). Kaukolämpöteho (kuva 21) laitoksella pysyy tasaisena verkon akkumuloinnin takia. Prosessiin ei tule suuria ja nopeita muutoksia kaupungin kulutuksen kasvaessa huippukulutuksen aikana, kuten tapahtuisi ilman verkon akkumulointia. (Kuva 17).



KUVA 19. Menolämpötila kun verkkoa akkumuloidaan (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)



KUVA 20. Virtausmäärä kun verkkoa on akkumuloitu (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)



KUVA 21. Aamun huippukulutus kun verkkoa on akkumuloitu (Kokkolan Energia. 2014, VEDENLT.xls)

8 LÄMMÖNTUOTANTO LÄMPÖTILAN MUUTOKSESSA

Keväällä vuorokautinen ulkolämpötilan muutos voi olla jopa kymmeniä celsiusasteita. Yöllä ja aamuyöllä lämpötila voi laskea pakkasen puolelle ja päivän edetessä se kohoaa ylös plussan puolelle.

Lämmöntuotanto tulisi hoitaa siten, että verkkoa akkumuloidaan hieman aamuyöllä. Aamulla ulkolämpötilan kohotessa tulisi palautua normaaliin lämmöntuotantoon, tai jopa laskea hieman menolämpötilaa. Jos ulkolämpötila kohoaa nopeasti aamulla, verkon virtaus vähenee huomattavasti kun asiakaslaitteet pienentävät virtaustaan korkeasta menolämpötilasta johtuen.

Menolämpötilan lasku aiheuttaa sen, ettei paluulämpötila pääse kohoamaan. Alemmalla paluulämpötilalla saavutetaan parempi sähköntuotanto. Sähkön markkinahinta on yleensä korkeampi aamulla. Aamun- ja aamupäivän aikana voidaan tuottaa enemmän sähköä ja ladata kaukolämpöakkuja.

9 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin Kokkolan kaupungin kaukolämpöverkkoa ja siihen liittyvien voimalaitosten ajoa ulkolämpötilan muutostilanteessa ja aamun huipun aikana. Työssä selvitettiin optimaalinen ajotapa ulkolämpötilan muutoksessa ja aamun huipun aikana sekä tarkasteltiin verkoston tasapainoa ja lämpötilaeroja edellä mainituissa tilanteissa.

Työ oli haastava toteuttaa, sillä julkista tietoa verkon akkumuloinnista oli saatavana vain teoriatasolla. Käytännön tietoa tai kokemuksia akkumuloinnista voimalaitoksilla ei ollut saatavana.

Verkon akkumuloinnilla saavutetaan parempi lämmöntoimituksen varmuus aamun huippukulutuksen aikaan. Menopuolelle energiaa ladattaessa kalliiden huippulämpökeskusten käyttö vähenee aamun huippukulutuksen aikaan. Akkumulointi täytyy aloittaa muutamaa tuntia ennen huippukulutusta, jotta lämpimämpi menovesi ehtii verkon etäisimmillekin asiakkaille. Kaukolämpöveden kulku-aika verkon etäisimmille asiakkaille on noin 4 tuntia.

Lämmöntuotanto nopeassa ulkolämpötilan muutoksessa tulisi hoitaa siten, että jos aamulla on pakkasta, verkkoa akkumuloidaan muutaman asteen lämpimämmällä menovedellä kuin säätökäyrä edellyttäisi. Myöhemmin päivästä, ulkolämpötilan kohotessa plussan puolelle, kaukolämpökulutus vähenee. Menoveden lämpötilaa tulisi laskea alle säätökäyrän edellytyksen, jotta verkko ei mene tukkoon. Kaukolämpöverkossa virtaus vähenee, kun asiakaslaitteet pienentävät virtaustaan menoveden ollessa liian kuumaa.

Työn tuloksia tulee harjoittaa käytännössä ja katsoa, miten verkko reagoi ko. tilanteissa. Tämä työ antaa pohjan tehdä asiasta lisäselvityksiä.

LÄHTEET

Energiavuosi 2012 – Kaukolämpö. 2013. Energiateollisuus. Saatavissa:
<http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2012-kaukolampo>. Hakupäivä
3.1.2014.

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Helsinki: Libris.

Kaukolämpötilasto 2012. 2013. Energiateollisuus. Saatavissa:
<http://www.kaukolampoekstra.fi/kirjasto/tilastot/kaukolampotilasto>. Hakupäivä
20.1.2014. Vaatii tunnuksen.

Kokkolan energiakonsernin tuotanto Kokkolassa. 2011. PowerPoint-diasarja.
Kokkolan Energia.

Lämmön erillistuotanto. 2014. Tilastokeskus. Saatavissa:
http://www.tilastokeskus.fi/meta/kas/lammon_er_tuot.html. Hakupäivä
26.2.2014.

Menovesikäyrä. 2014. Excel-taulukko. Kokkolan Energia.

VEDENLT.xls. 2014. Excel-taulukko. Kokkolan Energia.

Toimintakertomus 2012. 2013. Kokkolan energia. Saatavissa:
http://www.kokkolanenergia.fi/toimintakertomus_2012.pdf. Hakupäivä 2.1.2014

Yleistilasto, kaukolämpö 1976-2014. 2014. Excel-taulukko. Kokkolan Energia.



LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹ Pekka Leskinen	Tilaaja ² Oy Kokkola Power Ab
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Jarkko Ojala p. 040 1726 006 jarkko.ojala@kokkolanenergia.fi	
	Työn nimi ⁴ Kokkolan kaukolämpöverkko ja lämmöntuotanto lämpötilanmuutostilanteessa.	
	Työn kuvaus ⁵ Työssä tarkastellaan Kokkolan kaupungin kaukolämpöverkkoa ja siihen liittyvien voimalaitosten ajoa ulkolämpötilan muutostilanteissa ja aamuhuipun aikana.	
	Työn tavoitteet ⁶ Työn tavoitteena on selvittää voimalaitosten optimaalinen ajotapa ulkolämpötilan muutoksessa ja aamuhuipun aikana, sekä tarkastella verkoston tasapainoa ja lämpötilaeroja näissä tilanteissa.	
	Tavoiteaikataulut ⁷ Työn on tarkoitus valmistua 1.3.2014 mennessä.	
	Päiväys ja allekirjoitukset ⁸ 4/10/2013 Tekijän allekirjoitus 	

1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.
2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.
3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.
4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.
5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.
6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.
7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.
8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.

