

Tuomas Ojanperä

Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden tuotanto- ja syöttökapasiteetti

Historian ja nykytilanteen selvitysraportti

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Energia- ja ympäristötekniikka
Insinöörityö
11.05.2011



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Helsingin Energian kaukolämpövalvomolle. Haluan kiittää kaikkia projektissa auttaneita henkilöitä, erityisesti käyttöpäällikkö Timo Marttista, joka toimi työn ohjaajana, ideoi ja avusti tiedonhaussa ja jonka ansiosta työ alun perin laitettiin alulle. Timon ohella kiitokset kehityspäällikkö Kalle Hakoselle, joka myös auttoi työn eri vaiheissa. Erityismaininta lisäksi voimalaitoskemian ryhmäpäällikkö Virve Vaahteralle sekä prosessikemian asiantuntija Jari Heljanderille, heidän avuliaisuudestaan useiden yhteydenottojen lomassa.

Haluaisin myös kiittää koko Sappi (ent. M-Real) Kirkniemen voimalaitoksen henkilökuntaa kaikesta siellä seitsemän työntäyteisen kesän aikana oppimastani. Työtä ajatellen varsinkin lisäveden valmistuksen tunteminen auttoi pääsemään työhön paremmin sisään ja ymmärtämään työn aiheen heti alusta lähtien.

Helsingissä 11.05.2011

Tuomas Ojanperä

Tekijä(t) Otsikko	Tuomas Ojanperä Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden tuotanto- ja syöttökapasiteetti – Historian ja nykytilanteen selvitysraportti
Sivumäärä Aika	78 sivua + 4 liitettä 11.05.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja(t)	käyttöpäällikkö Timo Marttinen yliopettaja Markku Jantunen
<p>Insinööriyössä selvitettiin Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden tuotannon ja kulutuksen historiaa ja nykytilaa, sekä saatettiin tulokset kirjalliseen, dokumentoituun muotoon.</p> <p>Teoriaosuudessa tutustuttiin kaukolämpöön yleisesti niin laskelmallisesti kuin teorian käytäntöön soveltamisen osalta. Työn alussa aika käytettiin suurelta osin kirjallisuuteen ja yrityksen kaukolämpötoimintaan tutustumiseen. Myös tilastokansioiden läpi käymiseen meni paljon aikaa, sillä niitä oli selattavana aina 1970-luvulta asti. Niistä koottiin Excel-tiedostot, joita käytettiin työn loppuvaiheen analysointiin.</p> <p>Lisävedeen tutustuminen oli välttämätöntä työn aiheen ymmärtämisen kannalta. Tähän haettiin apua yrityksen vedenkäsittelystä vastaavilta henkilöiltä. Heidän avustuksellaan saatiin luotua varsin tarkka ja kattava kuva Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden valmistuksesta ja sen nykytilasta.</p> <p>Helsingin Energiassa vallitsevan tilanteen läpikäyminen luo lukijalle kattavan kuvan Suomen suurimman kaukolämpöyhtiön toiminnasta ja historiasta. Työn tärkeimpänä osa-alueena oli tilastojen analysointi ja niiden muuntaminen paremmin ymmärrettävään muotoon.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kerättyä osin unohtunutta tietoa Helsingin Energian kaukolämpövalvomomon käytettäväksi, ja tarkempaa analysointia varten. Tulosten avulla on tarkoitus tarkastella verkon nykytilaa ja tehdä ratkaisuja tulevien investointien suhteen. Tulosten tarkempaa tarkastelua jatketaan työn jälkeen.</p>	
Avainsanat	Helsingin Energia, kaukolämpö, kaukojäähdytys, lisävesi, pumppaus, keskipaine

Author(s) Title Number of Pages Date	Tuomas Ojanperä The production and feed capacity of make-up water for district heating at Helsingin Energia – Report of history and present 78 pages + 4 appendices 11 May 2010
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy Engineering and Environmental Technology
Instructor(s)	Timo Marttinen, Operation Manager Markku Jantunen, Principal Lecturer
<p>The aim of this final year project was to study Helsingin Energia's production and consumption of make-up water used in district heating, find out the history and the present circumstances, and to review the results as a documented report.</p> <p>In the theoretical part, district heating was familiarized in a calculative model and practically. In the beginning, time was invested on knowing the literature and the company's district heating operations. Time was used to go through the statistics folders, because the project extends from the year 1970. The statistics were gathered to an Excel-file, which were used in the end for analysis.</p> <p>The familiarization of make-up water was essential to understand the topic of the project. Seeking assistance from the company's personnel in charge of the water treatment helped on the project. A quite accurate and comprehensive view of the production and present situation of Helsingin Energia's make-up water used for district heating was created with their help.</p> <p>Going through the present situation at Helsingin Energia creates a comprehensive view of Finland's largest district heating company's operations and history. The most important phase of the project was analyzing the statistics and transforming them to a more understandable form.</p> <p>As the result of the project, partly forgotten information was gathered for the use of Helsinki Energy's district heating control room. The purpose of the results is to help examine the present state of the grid, especially production and sufficiency of additional water as well as the maintenance of mean pressure, helping with the decisions for future investments. Further analyzing of the results will continue afterwards.</p>	
Keywords	Helsingin Energia, district heating, district cooling, make-up water, pumping, mean pressure

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaukolämmöntuotannon käsitteitä	2
2.1	Lämmöntuotanto	2
2.2	Jäähdytyksen tuotanto	5
2.3	Tehon siirto	5
2.3.1	Siirtokyvyn määrittäminen	5
2.3.2	Painehäviöt	7
2.4	Pumppaus	7
2.4.1	Pumppujen rinnankytkentä	11
2.4.2	Pumppujen sarjaankytkentä	11
3	Kaukolämpö	13
3.1	Yleistä	13
3.1.1	Hyödyt ja haitat	13
3.1.2	Tulevaisuus: mahdollisuudet ja uhat	14
3.2	Tuotantomuodot	14
3.2.1	Yhteistuotantolaitokset	15
3.2.2	Huipputuotantolaitokset	16
3.3	Jakelu	17
3.3.1	Vesikaukolämpö	18
3.3.2	Kaksiputkiverkko	19
3.4	Verkko	19
3.4.1	Lämpötilat ja säätö	21
3.4.2	Akkumulointi	23
3.4.3	Paisunta ja paineen säätö	23
3.4.4	Paine-ero ja säätö	26
3.4.5	Vesi-iskut	30
3.4.6	Operointi	32
3.4.7	Kunnossapito	33
3.4.8	Korroosio	34

3.5	Kaukojäähdytys	37
3.5.1	Kaukojäähdytysjärjestelmät	37
3.5.2	Vapaajäähdytys	39
3.5.3	Kompressorijäähdytys	39
3.5.4	Absorptiojäähdytys	41
3.5.5	Jakelu	42
4	Kaukolämmön lisävesi	44
4.1	Valmistus	45
4.1.1	Karkeat epäpuhtaudet	45
4.1.2	Humuksenpoisto	45
4.1.3	Kovuudenpoisto	46
4.1.4	Kovuudenpoisto pehmenyysuodattimella (ioninvaihto)	46
4.2	Terminen kaasunpoisto	48
4.3	Kemikaalien lisäykset	49
4.3.1	Hydratsiini N_2H_4 , kemiallinen hapenpoisto	50
4.3.2	pH:n säätö	50
4.3.3	Yhdistelmäkemikaalit	51
4.3.4	Kemikaalit johtokyvyn säätämiseen	51
4.3.5	Värikemikaalit	52
4.4	Lauhteen puhdistus	52
4.5	Veden laatu	53
5	Kaukolämpö Helsingin Energiassa	54
5.1	Historia	54
5.2	Nykyhetki	56
5.3	Laitokset	59
5.4	Kaukojäähdytys	61
6	Kaukolämmön lisäveden valmistus Helsingin Energiassa	62
6.1	Hanasaari B	62
6.2	Salmisaari B	63
6.3	Vuosaari A ja B	64
6.4	Kaukojäähdytys	65

7	Tulokset ja päätelmät	66
7.1	Tulokset	66
7.1.1	Lisävesi	66
7.1.2	Paineensäätö	70
7.1.3	Verkko	72
7.2	Päätelmät	75
8	Yhteenveto	76
	Lähteet	77
	Liitteet	
	Liite 1. Vesikaukolämpöputken vesivirrat ja nimellistehot eri painehäviöille	
	Liite 2. Kaukolämmön kiertoveden ohjearvosuositukset	
	Liite 3. Helsingin Energian kaukolämpöverkkojen kartta	
	Liite 4. Helsingin Energian kaukojäähdytysverkkojen kartta	

1 Johdanto

Tämä insinöörityö on tehty Helsingin Energian kaukolämpövalvomon toimeksiantona. Siinä tarkasteltiin Helsingin Energian kaukolämmön jakelussa aiheutunutta hävikkiä korvaamaan tarkoitettua lisäveden tuotanto- ja syöttökapasiteetin muutoksia vuodesta 1970 lähtien, aina vuoteen 2010 asti. Työssä selvitettiin mm. missä vettä tuotetaan ja miten paljon; syöttönopeuksia, niiden porrastusta ja vasteaikaa; syöttönopeuksien ja vedentuotantokapasiteetin kehitystä verkon tilavuuden kasvun suhteen. Työssä jätettiin huomioimatta pienemmät alueverkot, joiden vaikutus kapasiteettien pienuuden johdosta oletettiin olemattoman pieneksi.

Työn tavoitteena oli selvittää verkon nykytilannetta lämpövalvomon näkökulmasta. Tietoa on poistunut eläköitymisten vuoksi käytöstä varsin paljon, minkä johdosta käyttö on elänyt osin myös oletusten varassa. Kyseinen selvitys on siis käytön kannalta varsin tärkeä, sillä tietoa on piiloutunut paikkoihin, joista niiden etsiminen on monen mutkan takana. Samalla oli tavoitteena arvioida mahdollisesti verkon kasvun myötä muuttunutta tilannetta.

Helsingin Energia on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä, ja kaukolämpötoimintojensa puolesta Euroopan kärkipäätä. Helsingin Energialla on yli 14 000 kaukolämpöasiakasta, ja kaukolämmitys kattaa yli 90 % pääkaupungin lämmitystarpeesta. Viime vuosikymmenen alusta alkanut kaukojäähdytysliiketoiminta laajenee voimakkaasti varsinkin kantakaupungin alueella.

Itse työssä tehdään tutuksi kaukolämmöntuotantoon kuuluvia tärkeimpiä laskelmallisia perusteita, tutustutaan tarkemmin kaukolämpöön tekniikkana, sekä käsitellään kaukolämmön lisäveden tuotantoprosessia. Työn lopussa tutustutaan kaukolämmöntuotantoon Helsingin Energiassa sekä kaukolämmön lisäveden tuotantoon yrityksen laitoksissa. Lopussa on myös selvitetty nykytilanne, jonka avulla pystytään tekemään haluttuja päätelmiä.

2 Kaukolämmöntuotannon käsitteitä

Kappaleessa käydään läpi lämmöntuotannossa yleisesti tärkeitä asioita, joiden ymmärtäminen on oleellista kaukolämmöntuotannon kokonaisvaltaisen ymmärtämisen kannalta.

2.1 Lämmöntuotanto

Polttoainetehon ja nettotuotannon suhdetta q kutsutaan kulutussuhteeksi [1, s. 293]:

$$q = \frac{\Phi_{pa}}{P + \Phi} \quad (1)$$

Φ_{pa} on polttoaineteho

P on nettosähkö verkkoon

Φ on kaukolämpöteho

Prosessin kokonaishyötysuhde η on kulutussuhteen käänteisluku [1, s. 293]:

$$\eta = \frac{1}{q} = \frac{P + \Phi}{\Phi_{pa}} \quad (2)$$

Lämmöntuotannon kulutussuhde q_l on kattilahyötysuhteen käänteisluku [1, s. 293]:

$$q_l = \frac{1}{\eta_k} \quad (3)$$

η_k = kattilahyötysuhde

Voimantuotannossa polttoainetehosta nettosähkötehoon päästään taulukon 1 mukaisesti. [1, s. 293].

Taulukko 1. Voimalaitosten kulutussuhteet [1, s. 293]

Polttoainetehto	Φ_{pa}
• kattilahiötösuhde η_k	0,88...0,95
Kattilasta veteen tai höyryyn siirtynyt lämpöteho	$\eta_k \Phi_{pa}$
• putkiston hiötösuhde η_p	0,98...0,995
Turbiiniin tuotu lämpöenergia	$\eta_k \eta_p \Phi_{pa}$
• turbiini-generaattoriyhdistelmän sähkömekaaninen hiötösuhde η_{mg}	0,97...0,98
• jäähdytysveden mukana menevästä lämpöenergiasta aiheutuvat häviöt, lauhdelaitoksen prosessihyötösuhde η_{pr}	0,40...0,48
• turbogeneraattorin hiötösuhde (sisältää kaikki sähkömekaaniset häviöt) $\eta_t = \eta_{mg} \eta_{pr}$	0,39...0,47
Bruttosähköteho	$\eta_k \eta_p \eta_t \Phi_{pa}$
• sähkön nettohiötösuhde (omakäyttösähkö vähennettynä) η_{ok}	0,90...0,95
• muuntajahiötösuhde η_m	0,99...0,995
Nettosähköteho	$\eta_k \eta_p \eta_t \eta_{ok} \eta_m \Phi_{pa}$

Vastapainevoima

Vastapainevoima määritellään seuraavasti:

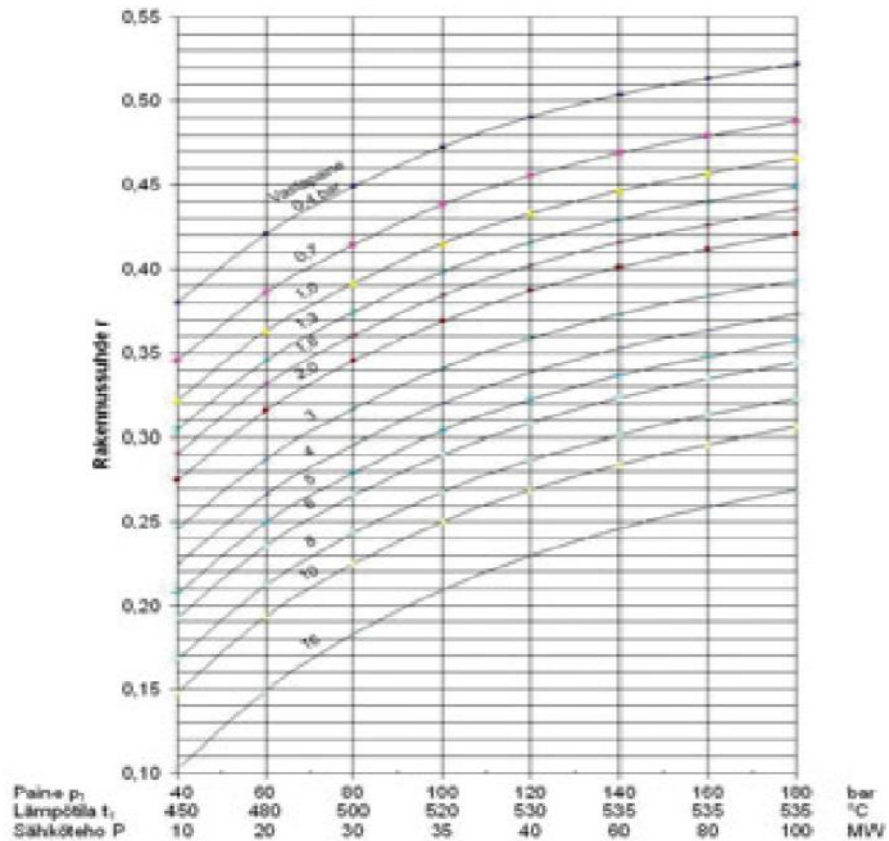
Vastapaineella tarkoitetaan höyryn paisunnan katkaisemista korkeammassa (vastapaineessa sen sijaan, että sen annettaisiin paisua lauhduttimen alipaineeseen saakka [1, s. 295]

Tärkein vastapainelaitoksen karakteristika on sähkö- ja lämpöenergian suhde, jota kutsutaan rakennussuhteeksi r (kuva 1) [1, s. 295]:

$$r = \frac{P}{\Phi_{kl}} \quad (4)$$

P on sähköteho

Φ_{kl} on prosessi- tai kaukolämpöteho



Kuva 1. Rakennussuhde [1, s. 295]

Polttoaineen kulutussuhde q_{vs} saadaan laskettua hyötysuhteiden avulla yhtälöstä. [1, s. 295]:

$$q_{vs} = \frac{1}{\eta_k \cdot \eta_p \cdot \eta_{mg} \cdot \eta_{ok} \cdot \eta_m} \quad (5)$$

η_k on kattilahiötysuhde

η_p on putkistohiötysuhde

η_{mg} on turbiinin/generaattorin sähkömekaaninen hiötysuhde

η_{ok} on sähkön omakäyttöhiötysuhde

η_m on muuntajahiötysuhde

Kaukolämpövoimalaitoksen kulutussuhde on riippuvainen laitoskoosta ja käytetystä polttoaineesta, ja on yleensä välillä 1,15–1,3. [1, s. 295.]

Kaukolämpölaitoksen polttoainetehto saadaan laskettua yhtälöllä:

$$\Phi_{pa} = q_{vs} \cdot P + q_l \cdot \Phi_{kl} \quad (6)$$

2.2 Jäähdytyksen tuotanto

Kylmäkoneen suorituskerroin COP (Coefficient of Performance) on [1, s. 531]:

$$COP = \frac{\Phi_{höyrystin}}{P} \quad (7)$$

$\Phi_{höyrystin}$ on kylmäteho

P on tarvittava teho (sähkö, lämpö tai kaasu). [1, s. 531.]

Kylmäkoneen lauhdutuspiirin teho saadaan [1, s. 531]:

$$\Phi_{lauhdutin} = \frac{(1+COP)\Phi_{höyrystin}}{COP} \quad (8)$$

$\Phi_{höyrystin}$ on kylmäkoneen kylmäteho. [1, s. 531.]

2.3 Tehon siirto

2.3.1 Siirtokyvyn määrittäminen

Lämpöteho on riippuvainen vesivirtauksesta ja lämpötilaerosta seuraavasti (kuva 2) [1, s. 198.]:

$$\Phi = C_p \dot{m} \Delta t = C_p \rho \dot{V} \Delta t \quad (9)$$

Φ on lämpöteho [W]

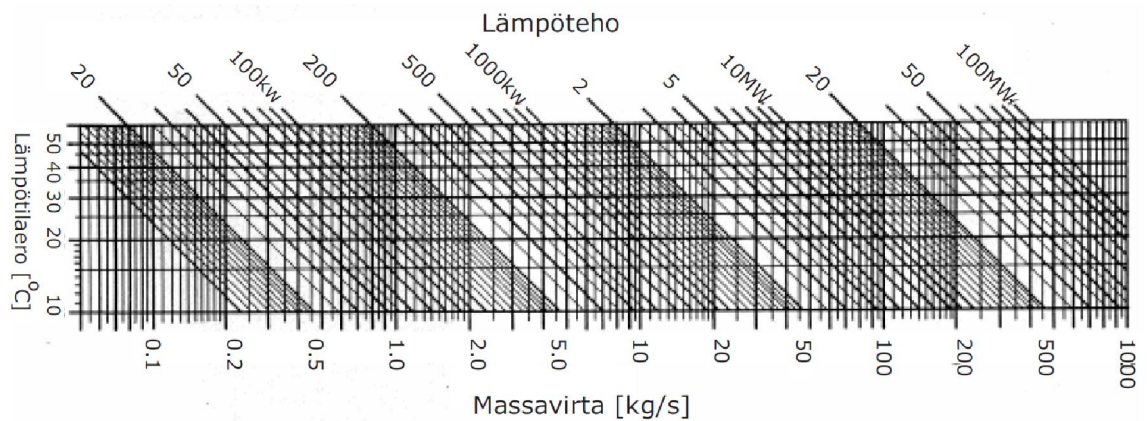
C_p on veden ominaislämpökapasiteetti [J/kg, °C]

\dot{m} on veden massavirta [kg/s]

ρ on veden tiheys [kg/m³]

\dot{V} on veden tilavuusvirta [m³/s]

Δt on meno- ja paluulämpötilojen erotus eli jäähdytys [°C]



Kuva 2. Massavirran ja lämpötehon vaihtelu lämpötilaeron suhteen [1, s. 198].

Tilavuusvirta on massavirran ja tiheyden suhde, jossa tiheys on riippuvainen veden lämpötilasta:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (10)$$

Verkon tehonsiirtokyky riippuu [1, s. 198.]

- putkikoosta
- sallitusta painetasosta, painehäviöstä ja paine-erosta
- lämmöntuotantolaitosten pumppujen maksimi mitoituksesta
- asiakaslaitteiden mitoituksesta ja mahdollisesta virtauksen rajoituksesta

Lämpötilaeron valintaa rajoittavat mm. järjestelmän maksimi lämpötila, menoveden lämpötila, asiakaslaitteiden mitoitus, käyttöveden minimi mitoitus, lämpöhäviöiden vaikutukset ja verkon siirtokyky. [1, s. 198–199.]

2.3.2 Painehäviöt

Putkessa aiheutuu kitkan ja veden virtauksen vaikutuksesta painehäviö, joka määritetään seuraavasta yhtälöstä. [1, s. 199.]

$$\Delta p_v = \xi \frac{L}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} = \xi \frac{8L}{d_s^5} \frac{\rho \dot{V}^2}{\pi^2} = \xi \frac{8L}{d_s^5} \frac{\dot{m}^2}{\pi^2 \rho} \quad (11)$$

Δp_v on painehäviö [Pa]

ξ on kitkakerroin

ρ on veden tiheys [kg/m³]

w on virtausnopeus [m/s]

L on putkipituus [m]

d_s on putken sisähalkaisija [m]

\dot{V} on tilavuusvirta [m³/s]

\dot{m} on massavirta [kg/s]

Painehäviöiden aiheuttaman tehontarpeen pystyy määrittämään [2, s. 62]:

$$P = \Delta p_v \cdot q_v \quad (12)$$

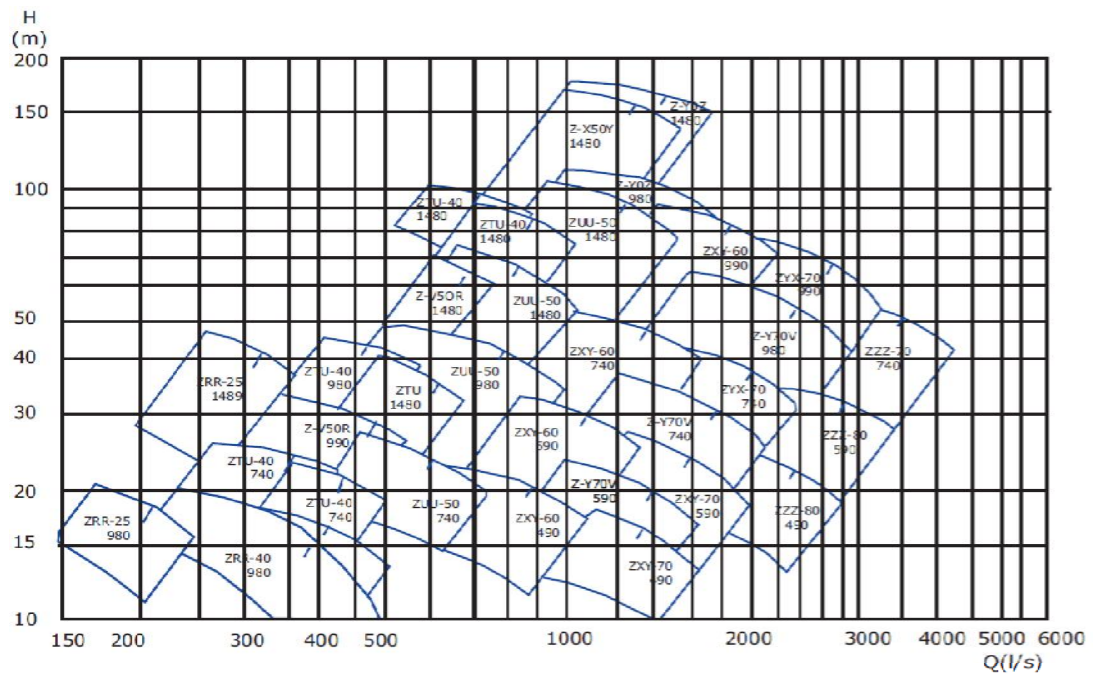
P on tehontarve

q_v on tilavuusvirta

Suunnittelussa on yleisesti kuitenkin käytössä eri putkikokojen mukaan määritetyt taulukkovakiot, joiden avulla säästetään paljon aikaa jatkuvan laskemisen sijaan (liite 1).

2.4 Pumppaus

Kaukolämpöpumppuina toimivat keskipakopumput sopivat erinomaisesti kierto- ja lisäveden pumppaukseen sekä järjestelmien paineen ylläpitoon. Pumppujen ominaisuudet selviävät parhaiten ominaiskäyrien avulla, joita hyödynnetään pumpun valintaa tehtäessä (kuva 3). [1, s. 169.]



Kuva 3. Valintakäyrästä keskipakopumpuille [1, s. 169.]

Tarvittava pumppausteho saadaan laskettua kaavalla:

$$P = \frac{\dot{V}\Delta p}{\eta} = \frac{\dot{V}\rho gH}{\eta} = \frac{\dot{m}gH}{\eta} \quad (13)$$

P on pumpun akselin vaatima teho [W]

\dot{V} on tilavuusvirta [m^3/s]

\dot{m} on massavirta [kg/s]

Δp on painehäviö [Pa] = ρgH

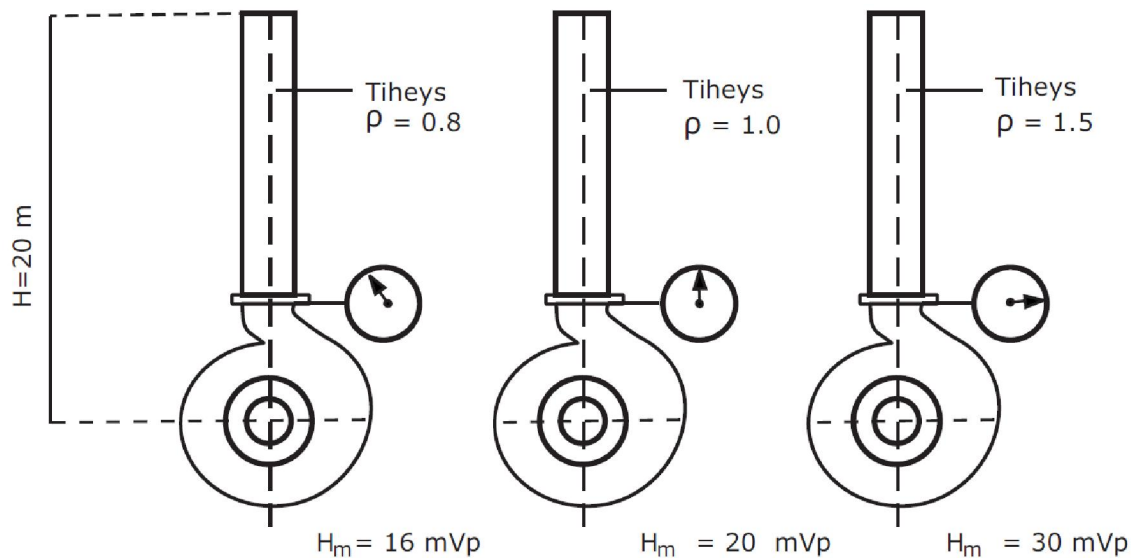
H on nostokorkeus [m]

ρ on pumpattavan nesteen tiheys [kg/m^3]

g on maan vetovoiman kiihtyvyyys [$9,81 \text{ m}/\text{s}^2$]

η on hyötysuhde (0,7-0,9), pienet yleispumput (0,3-0,5). [1, s. 170.]

Nostokorkeus pysyy aina samana (geodeettinen), vaikka neste muuttuisikin. Tämä tarkoittaa sitä, että pumppu nostaa nesteen aina yhtä korkealle, jos sen viskositeetti ei poikkea paljoa veden viskositeetista eli virtaushäviöt ovat suunnilleen samat. Tehontarve tosin muuttuu ja painepuolen painemittarissa näkyy pumpattavan aineen nestepatseen aiheuttama paine (kuva 4). Tämä on tärkeä ottaa huomioon, verrattaessa ominaiskäyrien arvoja käytännön painemittarilukemiin. [1, s. 170.]



Kuva 4. Tiheyden vaikutus pumpun nostokorkeuteen [1, s. 170].

Imukyky yleisimmin ilmoitetaan käsitteen NPSH (Net positive suction head) avulla, joka kertoo, kuinka suuri paine imupuolella tulee nesteen höyrystymispaineen lisäksi välttää, jotta vältetään kavitoinnilta. NPSH:n yksikkö on m ja arvot ilmoitetaan valmistajien toimesta [1, s. 170].

Imukyky

Imukorkeuden laskemiseksi on johdettu kaava [1, s. 171]:

$$H_i > \frac{(\rho_0 - \rho_h)}{\rho g} - NPSH - H_v \quad (14)$$

H_i on imukorkeus [m]

p_0 on säiliössä nesteeseen kohdistuva paine [Pa]

p_h on nesteen höyrystymispaine [Pa]

ρ on nesteen tiheys [kg/m^3]

g on putoamiskiihtyvyys [$9,81 \text{ m}/\text{s}^2$]

H on imujohdon vastus painekorkeutena [metriä nestepatsasta]

Jos H_i negatiivinen, tulee imusäiliö sijoittaa vähintään H_i :n verran pumpun yläpuolelle.

[1, s. 171.]

Paisuntapiiriin pumppujen ja höyrytyynyllisten kuumavesikattiloiden kierrätysvesipumppujen imuolosuhteita on välttämätön tarkastella. Staattisen paineen tasoa muuttamalla voidaan hallita kaukolämmön kiertopumppujen imupainetta. [1, s. 171.]

Yleisin häiriötilanne on kavitointi, jossa imupuolen vastukset kasvavat liian suuriksi ja neste pääsee höyrystymään. Kavitaation estämiseksi imupuolella on oltava painetta ainakin 0,5 - 0,8 bar. [1, s. 171.]

Affiniteettisäännöt

Pumppaustekniikassa on johdettavissa joukko yhtälöitä (affiniteettisäännöt), jotka kertovat kierrosluvun muutoksen vaikutuksen tilavuusvesivirtaan, nostokorkeuteen ja tehontarpeeseen. [1, s. 171.]

Tilavuus- ja massavirran riippuvuus pyörimisnopeudesta:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (15)$$

Nostokorkeuden ja paine-eron riippuvuus pyörimisnopeudesta:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^2 = \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (16)$$

Tehon riippuvuus pyörimisnopeudesta:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta p_1 \dot{V}_1}{\Delta p_2 \dot{V}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (17)$$

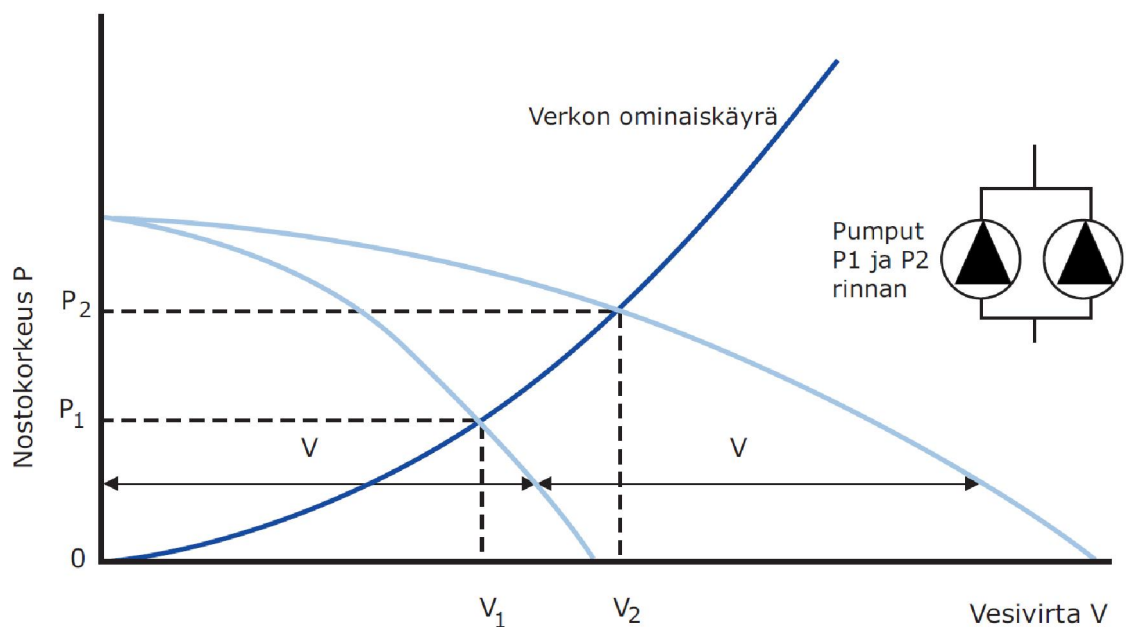
Tilavuusvirta on siis suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen, nostokorkeus pyörimisnopeuden neliöön sekä teho pyörimisnopeuden kuutioon. Affiniteettisääntöä käytettäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei pumpun hyötysuhde saa muuttua pyörimisnopeuden muutoksen takia. [1, s. 172.]

2.4.1 Pumppujen rinnankytkentä

Rinnan kytketyt pumput (kuva 5) mahdollistavat pumpattavan veden tilavuusvirran lisäämisen. Yleensä pumput ovat samankokoisia ja kytketty menopuolelle. [1, s. 173.]

Rinnankytkennässä pumpattu vesivirta kasvaa, $\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$, mutta nostokorkeus pysyy samana $H = H_1 = H_2$ [3, s. 144].

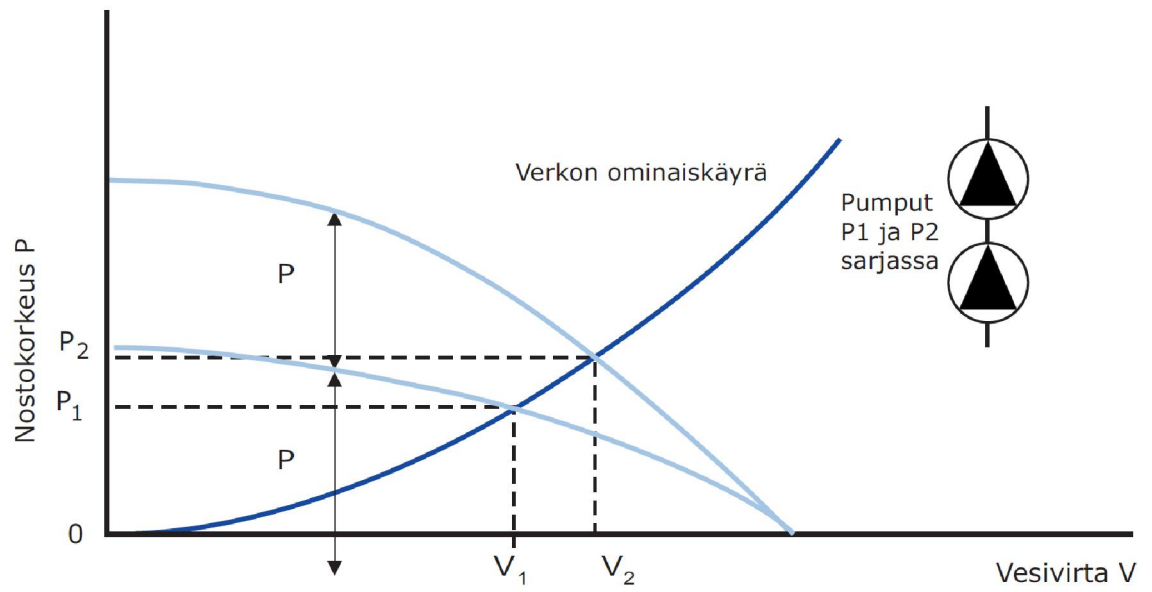
Kuvasta 5 nähdään kahden samankokoisen vakiopyörimisnopeudella pyörivän pumpun vesimäärän säätömahdollisuudet [1, s. 173].



Kuva 5. Rinnan kytketyt pumput [1, s. 173]

2.4.2 Pumppujen sarjaankytkentä

Sarjaan kytketyt pumput (kuva 6) mahdollistavat nostokorkeuden kasvattamisen. Pumput toimivat yleensä välipumppaamoissa, niin että toinen on sijoitettu verkon menopuolelle ja toinen paluupuolelle. [1, s. 173.]



Kuva 6. Sarjaan kytketyt pumput [1, s. 174]

Sarjaan kytkentää käytetään erityisesti pitkien välimatkojen ja maastonpiirteiden aiheuttamien painehäviöiden korjaamiseksi [1, s. 174].

3 Kaukolämpö

3.1 Yleistä

Kaukolämmityksellä tarkoitetaan lämmön keskitettyä tuotantoa ja julkista jakelua asiakkaana oleville kiinteistöille, joissa lämpöä käytetään rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Kaukolämmitys on yleensä organisoitu liiketoiminnan muodossa [1, s. 25].

Aluelämmitys on puolestaan pienimuotoisempaa, alueellisesti keskittynyttä lämmöntuotantoa ja jakelua yksityiseen tai esimerkiksi tuotantoyhtiöön kuuluvien osakkaiden yhteiseen käyttöön, johon ei liity minkäänlaista liiketoimintaa. Nimestä huolimatta aluelämmityksen jakelu ja tuotantoteknologia voivat olla hyvinkin samanlaisia kuin kaukolämmityksessä [1, s. 25].

Kaukolämmityksen tyypilliset ominaisuudet ovat [1, s. 25]:

- Lämmöntuotanto on keskitettyä (yleensä useammassa kohteessa) ja se välitetään putkistoverkon avulla asiakkaille.
- Siirtoaineena käytetään höyryä tai vettä, asiakkaan tarpeista riippuen.
- Asiakkaina toimivat teollisuus, liikerakennukset, julkiset rakennukset ja asuin-kiinteistöt (kerrostalot, pientalot).
- Lämpöä käytetään rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen.

3.1.1 Hyödyt ja haitat

Kaukolämmöntuotannon hyviä ja huonoja puolia ovat:

- + Ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus
- + Mahdollisuus jakaa tuotantoa tehokkaasti eri tuotantomuotojen kesken
- + Yhteisesti hyödynnettävä varakapasiteetti
- + Käyttövarmuus
- + Helppokäyttöisyys; kiinteistökohtainen laitteisto ei edellytä asiakaskohtaista käyttö- ja huoltotyötä

- Investointikustannukset suuret \Rightarrow takaisinmaksuajat pitkät
- Kulutusvaihtelut varsin suuret eri vuodenaikojen välillä
- Suuremman kokoluokan kaukolämpötoiminta kannattamatonta harvaan rakennetulla alueella
- Siirrosta aiheutuvat häviöt [1, s.25].

3.1.2 Tulevaisuus: mahdollisuudet ja uhat

Kaukolämmöntuotannon tulevaisuuden näkymiä:

- + Halvat ja puhtaammat polttoaineet
 - + Sähköntuotannon saama hyöty yhteistuotannosta
 - + Erilaisten prosessien jätelämpölähteiden hyödyntäminen (esimerkiksi jätevesi)
 - + Kaukojäähdytys
 - + Matalalämpötilaisen lämmön hyväksikäyttö (mm. katujen sulanapito)
- Rahoituksen puuttuminen ja kalleus
 - Epäterve kilpailutilanne
 - Epäterve sääntely
 - Rakennuttaja valitsee lämmitysratkaisun, eikä loppukäyttäjää [1, s.25].

3.2 Tuotantomuodot

Kaukolämmöntuotantoon käytetään yleensä keskitettyä sähkön ja lämmön yhteistuotantoa sekä hajautettua lämmöntuotantoa pienemmän kokoluokan lämpökeskuksissa. Suurin osa lämpökuormasta tuotetaan niin sanotusti yhteistuotantona, jolloin tuotetaan siis sekä sähköä että lämpöä. Yhteistuotannon etuina ovat korkea hyötysuhde ja yleensä korkea rakennusaste, sillä polttoaineen energia saadaan hyödynnettyä jopa yli 90 %:n hyötysuhteella. Yhteistuotantoa pystytään hyödyntämään peruskuormana tiheästi asutuilla alueilla, joilla lämpökuorma on tasainen [1, s. 259, 298, 300].

Huipputuotantolaitokset tai lämpökeskukset tuottavat lämpöä joko pienemmän alueen tarpeisiin, tai yhteistuotannon ohessa kulutuksen ylittäessä yhteistuotantolaitosten tuotantokapasiteetin sekä mahdollisten huoltoseisokkien yhteydessä [1, s. 259].

3.2.1 Yhteistuotantolaitokset

Voimalaitos on sähköä, lämpöä tai sähköä ja lämpöä (vesi/höyry) tuottava laitos. Voimalaitostyyppinä ovat [1, s. 47]

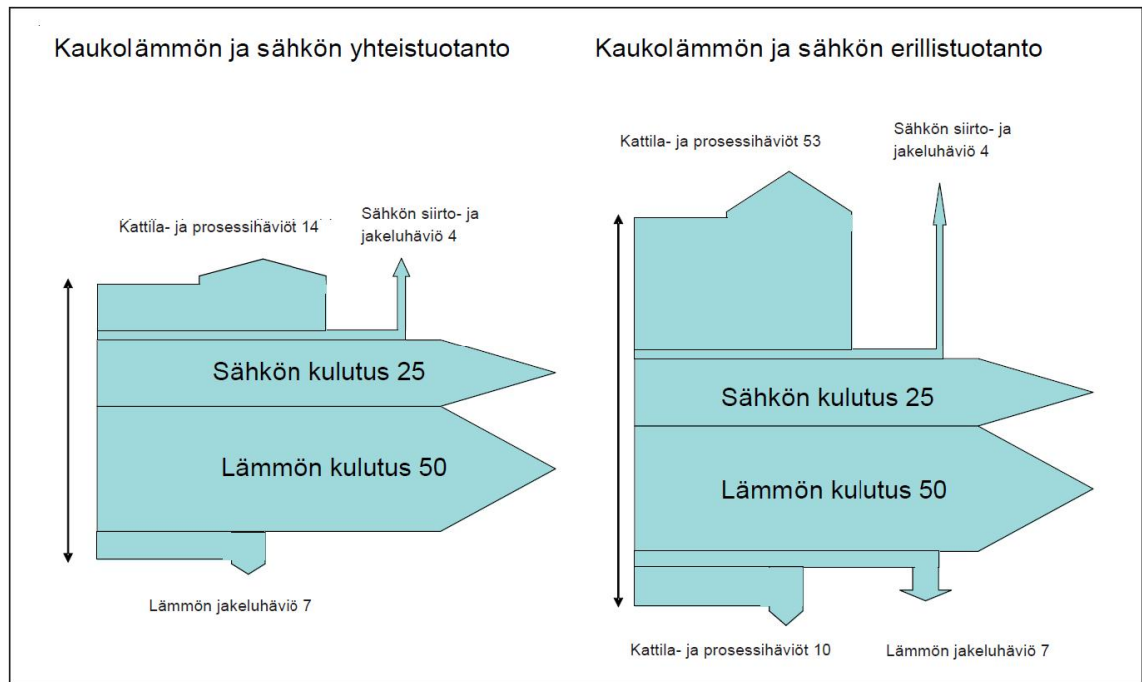
- höyryvoimalaitos (väliottolauhdutus- tai vastapainevoimalaitos)
- kaasuturbiinilaitos
- kombivoimalaitos (yhdistetty kaasu- ja höyryturbiiniprosessi)
- moottorivoimalaitos (kaasu- tai dieselmoottori)

Höyryvoimalaitokset voivat olla vastapaine- tai lauhdutusvoimalaitoksia. Lauhdutusvoimalaitos on pelkkään sähköntuotantoon suunniteltu laitos. Osa kattilassa tuotetusta höyrystä lauhdutetaan lauhduttimella, ja käytetyt jäähdytysvedet johdetaan jokeen, järveen tai mereen. Jos alueella ei ole mahdollisuutta jäähdytysveden ottamiseen vesistöistä, on mahdollista käyttää erityisiä jäähdytystorneja, joissa veden sisältämä lämpö saadaan siirrettyä ilmaan hajottamalla se pieniksi pisaroiksi ja pudottamalla korkealta tornin huipulta. Lauhdutusvoimalaitoksesta on myös mahdollista saada lämpöä kaukolämpöprosessin käyttöön, ottamalla sitä höyryturbiinin väliotosta. [1, s. 47.]

Vastapainevoimalaitos tuottaa sähköä ja lämpöä tai pelkkää lämpöä. Tuotettu höyry johdetaan joko höyryturbiinin loppupäästä kaukolämmönsiirtimeen tai välioton kautta suoraan höyrynä käyttäjille. [1, s. 47.]

Pelkkää kaukolämpöä tuottavia laitoksia nimitetään yleensä kaukolämpö- tai lämmitysvoimalaitoksiksi [1, s. 47].

Lämmön ja sähkön yhteistuotanto lisääntyy jatkuvasti, varsinkin EU-alueilla tiukentuvien päästörajojen johdosta, niiden energiataloudellisuuden ja suhteellisen alhaisten ympäristövaikutusten johdosta. Energiatehokasta polttoaineen kulutusta esittää kuva 7, jossa yhteistuotantoa ja sähkön ja lämmön erillistuotantoa vertaillaan. [1, s.47]



Kuva 7. Yhteis- ja erillistuotannon vertailua. Yhteistuotannolla tuotettuna 50 yksikköä lämpöä ja 25 yksikköä sähköä kuluttaa polttoainetehoa 100 yksikköä. Erillistuotannolla tuotettuna sama määrä sähköä ja lämpöä kuluttaa 149 yksikköä polttoainetta. Yhteistuotannon polttoaineen kulutus on siis 67 % erillistuotannon määrästä. Tämä kyseinen esimerkki koskee kiinteää polttoainetta käyttäviä laitoksia, mutta maakaasua ja öljyä käyttävien laitosten polttoaineesta saama hyöty on suhteellisesti yhtä suuri, vaikka tuotteiden suhde voikin olla erilainen. [1, s. 48.]

3.2.2 Huipputuotantolaitokset

Huipputuotantolaitokset eli lämpökeskukset ovat pelkkää lämpöä tuottavia laitoksia.

Laitoksen laitteistoihin kuuluu [1, s. 47]

- tuhkan ja polttoaineen käsittelylaitteet
- polttolaitteet
- kattila(t)
- putket, pumput sekä muut apulaitteet
- sähkö- ja automaatiolaitteet
- savukaasujen puhdistuslaitteet

Lämpökeskukset ovat suuremman mittaluokan kaukolämmöntuotantoprosessissa yleensä vähäisessä käytössä. Helppokäyttöisyyden ja halvan investointikustannuksen johdosta ne sopivat erityisen hyvin lämmöntuotannon kulutushuippujen tasaamiseen.

Lämpökeskuksia yleensä operoidaan keskusvalvomosta, josta operaattorilla on mahdollisuus tarpeen mukaan lisätä kuormaa tilanteen niin vaatiessa. [1, s. 47.]

3.3 Jakelu

Eurooppalaisissa kaukolämpöjärjestelmissä on yleisesti käytössä lämpimään veteen perustuva jakelutekniikka. Suomessa kaukolämmön siirto hoidetaan niin sanotulla kaksiputkijärjestelmällä, jonka maksimi käyttölämpötila on 120 °C. Keski-Euroopassa on myös käytössä alle 90 °C:n, ja jopa 180 °C:n lämpötiloja. Korkeampien lämpötilojen käyttö kasvattaa meno- ja paluulämpötilojen eroa kasvattaen täten siirtokapasiteettia ja vähentäen pumppauksen kustannuksia. Varsinkin jos siirtomatkat ovat pitkiä ja kohteet suuria, on yleistä käyttää korkeampia siirtolämpötiloja. Alhaisten lämpötilojen käyttö on tosin edullisempää, varsinkin sähkön ja lämmön yhteistuotantoa hyödyntävissä verkoissa, koska lämpötilan lasku mahdollistaa suuremman sähköntuotantokapasiteetin. Asiakaslaitteistot on tosin suunniteltu ja valmistettu vakiolämpötiloille, joista poikkeaminen on mahdollista vasta suurten muutosvaiheiden jälkeen. [1, s. 29, 137.]

Pohjois-Amerikassa on kaukolämmön välityksineenä yleisimmin käytössä höyry, joka tosin on pidemmän ajan saatossa osoittautunut tehottomammaksi kuin Euroopassa käytössä oleva vesikaukolämpö [1, s. 29]. Euroopassa höyrykaukolämpöä käytetään teollisuuden tarpeisiin kohteissa, joissa lämpötilan/paineen tarve on vedellä saavutettavien rajojen ulottumattomissa.

Kolmiputkijärjestelmässä on kaksi menoputkea ja yksi paluu. Putkissa kulkevaa kuumempaa vettä voidaan hyödyntää prosesseissa ja viileämpää vettä tarpeen mukaan säätää ulkolämpötilan mukaan kiinteistöjen lämmittämiseen. Suomessa kolmiputkijärjestelmiä ei ole käytössä. Islannin geotermiset järjestelmät käyttävät yksiputkijärjestelmää, jossa paluuputkea ei ole. [1, s. 137.]

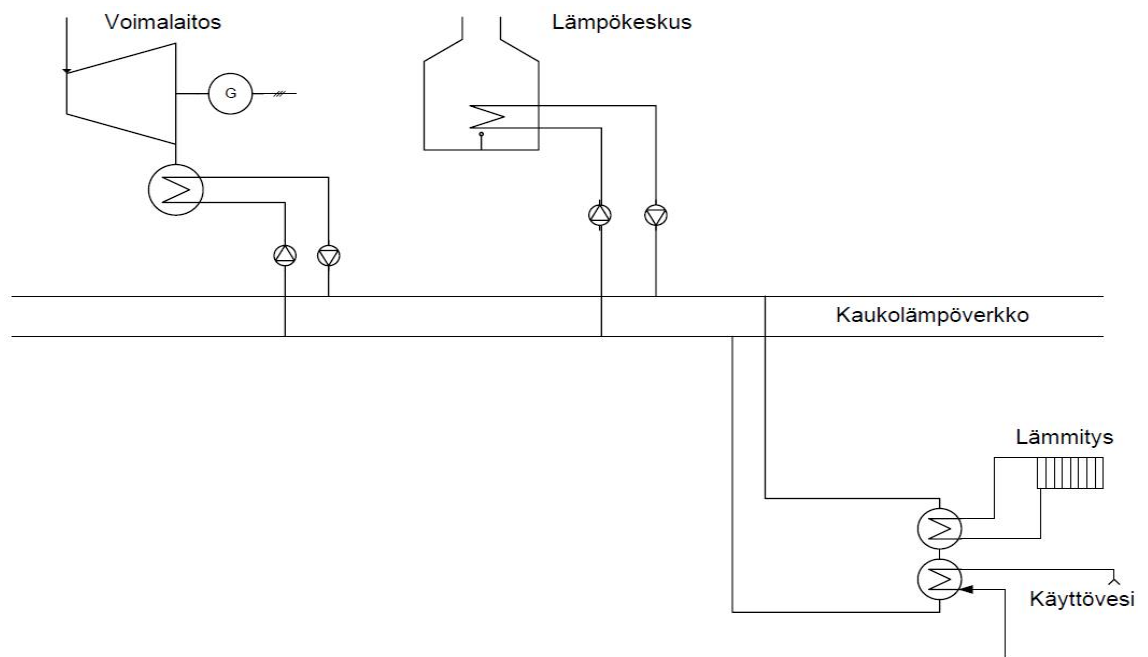
Itä-Euroopassa olevien kaukolämpöverkkojen tekniikka perustuu hyvin pitkälti venäläiseen teknologiaan. Niissä tuotantolaitosten ja kiinteistöjen välillä on käytössä 4-putkijärjestelmä, jossa on omat erilliset meno- ja paluuputket patteri- ja käyttövesipiireille. Suurin osa näistä verkoista on varsin huonossa kunnossa ja kaipaisi perusteellista kunnostusta. Osa verkoista on huonosti eristetty ja niissä esiintyy runsaasti vuoto-

ja. Suurin syy tähän on kaukolämpöyhtiöiden riittämättömät varat verkon kunnossapidosta huolehtimiseen. [1, s. 29, 137.]

3.3.1 Vesikaukolämpö

Vesikaukolämmityksessä lämpö siirtyy nimensä mukaisesti vesi väliaineenaan putkistoissa tuotantolaitokselta kuluttajalle. Verkostossa kierrätetään samaa vettä yhä uudelleen: asiakkaan lämmönvaihtimessa lämpö siirtyy menoputkesta kuluttajille ja jäähtynyt vesi lähtee takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi paluuputkea pitkin. Yleisimmin on käytössä ns. kaksiputkijärjestelmä, jossa molempiin suuntiin on siis omat samankokoiset putket ja yhdessä ne muodostavat kaukolämpöverkon (kuva 8). [1, s.43.]

Vesikaukolämpöjärjestelmä on kokonaisuus, jonka pääosina toimivat lämpöä tuottavat voima- ja lämpölaitokset, kaukolämpöverkko eli lämmön siirtämiseen vaadittava putkisto sekä asiakkaiden lämmön vastaanottoon tarvittavat laitteistot. Kaukolämpövesi syötetään verkkoon voimalaitoksilta pumppujen avulla. Vesi lämmitetään voimalaitosten lämmönsiirtimissä tai lämpökeskusten kattiloissa, ja se jäähtyy asiakkaiden lämmönsiirtimissä tai lämmönkulutuskohteissa, joista jatkaa takaisin uudelleen lämmitettäväksi ja johdettavaksi takaisin kiertoon. [1, s. 43.]



Kuva 8. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva [1, s. 43.]

3.3.2 Kaksiputkiverkko

Perinteisessä järjestelmässä asiakkaat saavat lämmön putkistoissa jaettavana lämpimänä vetenä. Ominaisia tälle jakelutavalle ovat seuraavat piirteet [1, s. 44]:

- Lämpö välitetään lämpimänä vetenä menoputken avulla asiakkaalle. Putkistossa kiertävästä vedestä on puhdistettu epäpuhtaudet, ettei putkiston sisään synny kerrostumia. Myös happi ja muut kaasut poistetaan korroosion välttämiseksi.
- Menoveden lämpötilaa voidaan säätää tuotannossa ja se vaihtelee ulkoilman lämpötilan ja asiakkaan tarpeen mukaan.
- Jakeluverkossa on ylläpidettävä myös keskipainetta tietyllä tasolla, ettei putkistoissa kiertävä vesi pääse höyrystymään.
- Tuotantolaitokset ja tarvittaessa myös välipumppaamot, korottavat menoveden painetta niin, että se kattaa verkon kaukaisimpienkin alueiden painehäviöt. Verkon kriittisimmissä paikoissa olevien asiakkaiden laitteille on myös toimitettava riittävä paine-ero, laitteiden toiminnan varmistamiseksi.
- Asiakkaan laitteissa lämpö siirretään lämmönsiirrintä hyväksikäyttäen kyseisen kohteen omiin sisäisiin kiertopiireihin (lämmitys, käyttövesi, ilmastointi). Sisäisten verkkojen kiertopiirit ovat täysin erillään kaukolämpöpiiristä.
- Automatiikka on otettu avuksi asiakkaiden laitteistojen toiminnan turvaamiseksi, ja se säätää lämmönsiirtimen tehoa sen hetkistä kulutusta vastaamaan.
- Kaukolämpövesi luovuttaa lämpönsä asiakkaille ja lähtee paluuputkea pitkin takaisin tuotantolaitokselle. Tarpeen vaatiessa myös paluuputkissa käytetään paineenkorotuspumppuja.

3.4 Verkko

Kaukolämpöverkon käyttöön liittyy seuraavia toisistaan riippuvia tekijöitä [1, s. 335]:

- lämpötilat ja säätö
- verkon akkumulointi
- paine-ero ja säätö
- painetaso ja säätö
- vesi-iskut

Verkkoon syötetty kaukolämpöteho riippuu veden virtausmäärästä sekä meno- ja paluulämpötilan lämpötilaerosta. Menolämpötilan säätö tapahtuu keskitetysti, mutta virtauksen säätöön vaikuttavat ensisijaisesti kuluttajat [1, s. 335].

Kuten jo aikaisemminkin on mainittu, menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilan vaihteluiden mukaan. Menolämpötilan säädön tarkkuus on tärkeää, sillä liian korkea lämpötila lisää verkostohäviöitä, ja liian alhaisella lämpötilalla asiakkaiden tehontarve jää tyydyttämättä. Paluulämpötila riippuu asiakaslaitteiden ominaisuuksista, mutta yleisenä ohjesääntönä voidaan kaukolämmön osalta pitää meno- ja paluulämpötilojen eroa, $\Delta T=50$ °C [1, s. 335].

Verkon vuorokausitason akkumulointikykyä on mahdollista käyttää hyväksi säätämällä menolämpötilaa ulkolämpötilasta poiketen, ja käyttää verkkoa akkuna eli lämmönvaraajana. Tässä pitää kuitenkin huomioida lämpötilan noston aiheuttamat rasitukset verkolle [1, s. 335].

Paine-eron säätö hoidetaan kiertovesipumppujen avulla niin korkeaksi, että kaikilla verkon asiakkailta on riittävä paine-ero vesikierron takaamiseksi lämmönsiirtimissä. Verkossa kiertävän veden määrää säätelevät aina loppujenlopuksi asiakkaat kuristamalla ja avaamalla säätöventtiileitään. Liian suuresta pumppujen paine-erosta seuraa turhaa sähköenergian kulutusta ja ääniongelmia [1, s. 335].

Painetasoa säätämällä pidetään verkko aina täynnä vettä ja paine ilmanpainetta korkeammalla tasolla, ettei putkissa oleva vesi pääse missään verkoston osassa höyrystymään [1, s. 335].

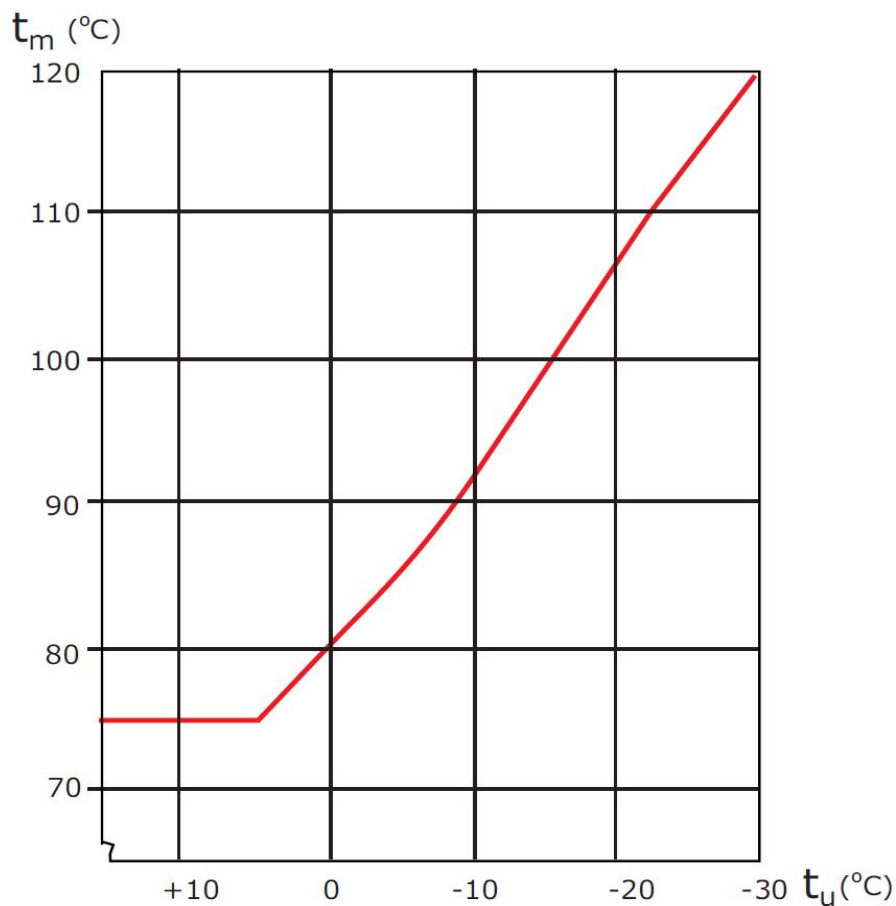
Jos alipaine pääsee putkessa laskemaan veden kyllästymispaineen alapuolelle ja vesi pääsee höyrystymään, syntyy vesi-iskun mahdollisuus. Vesi-iskut ovat varsin vaarallisia, ja saattavat rikkoa laitteita hyvin etäälläkin. Vaara yleensä syntyy, kun keskipaineen nostossa syntynyt höyry pääsee lauhtumaan vedeksi [1, s. 335].

3.4.1 Lämpötilat ja säätö

Menolämpötilan säätö tehdään tuotantolaitoksilla erillisessä säätöpiirissä ilman lämpötilan mukaan. Peruskuormaa tuottavalla voimalaitoksella menolämpötilan hallinta voidaan toteuttaa pumppausta säätämällä [1, s. 335].

Lämpötilan alarajan määräävät asiakaslaitteiden mitoitus, käyttöveden lämmityksen mitoituksen riittävyys, prosessien mitoitus, lämpöhäviöiden aiheuttama lämpötilan laskeminen verkon kaukaisimmissa osissa sekä verkon siirtokyky. Toisaalta lämpötilan ylärajaa rajoittavat verkon suunnittelulämpötila, yhteistuotannon parempi sähköntuotanto alhaisemmillä menolämpötiloilla sekä lämpöhäviöiden optimointi [1, s. 335].

Käytännön kokemusten tuoman tietotaidon myötä on luotu säätökäyriä eri menolämpötiloille ulkolämpötilan funktiona (kuva 9). [1, s. 336.]



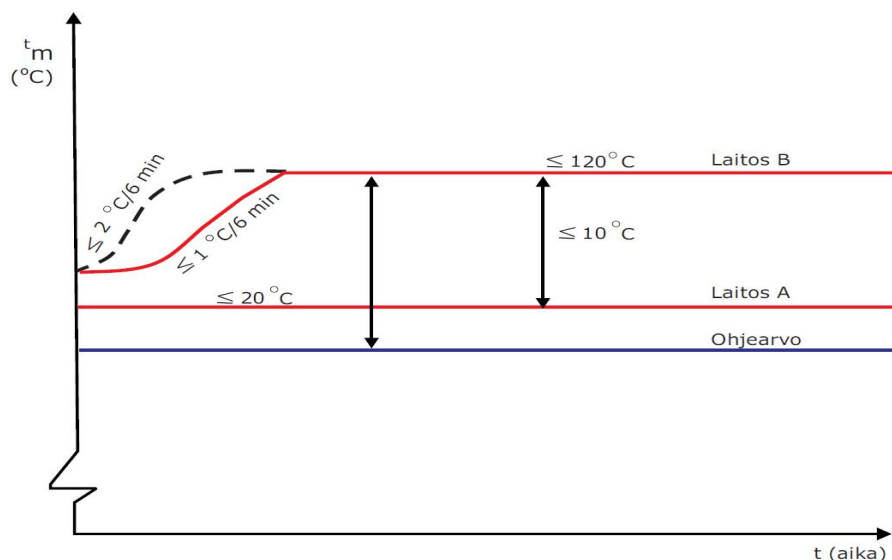
Kuva 9. Menolämpötilan säätökäyrä ulkolämpötilan funktiona [1, s. 336]

Säätökäyrä optimoidaan mahdollisimman alhaiseksi, asiakkaiden toimituslaadusta kuitenkin tinkimättä. Käyrän muuttamista yksittäisen asiakkaan tarpeiden takia ei voida tehdä ilman yksityiskohtaisia kannattavuuslaskelmia [1, s. 336].

Säätökäyrä luo alarajan, jolla asiakkaat vielä tulevat toimeen. Säätökäyrää voidaan nostaa mm. tuulen nopeuden ja ilmankosteuden kasvaessa, ennakoitaessa merkittävää ulkolämpötilan laskua, ennakoitaessa etäisimpien asiakkaiden kiertoveden menolämpötilan laskua sekä hyödynnettäessä verkon akkumulointikykyä [1, s. 336].

Asiakkaiden vuorokautinen lämpöteho ja kiertovesimäärä vaihtelevat runsaasti vuorokauden ajan mukaan. Tätä vaihtelua tasoittamaan voidaan menolämpötilaa nostaa aamu- ja iltapäivähuippua varten. Korkeat menolämpötilat kuitenkin vaikeuttavat asiakaslaitteiden säätöä, sillä vesivirrat käyvät säädön kannalta liian pieniksi. Ehdoton yläraja, suunnittelulämpötilaa ylittämättä, on 20 °C :n ylitys [1, s. 336].

Verkon lämpörasitusten välttämiseksi, menolämpötilan säätönopeus on rajoitettua. Ohjearvo vaihtelee laitoskohtaisesti, mutta normaalilanteessa pääsääntönä on enintään $1 - 2\text{ °C}/6\text{ min}$. Jos samassa verkossa on useampi laitos syöttämässä verkkoon vettä, tulee menolämpötilojen olla 10 °C :n sisällä toisistaan, sillä nopeat ja jatkuvat lämpötilojen muutokset syöttöalueiden rajakohdissa rasittavat johtorakenteita [1, s. 337].



Kuva 10. Menolämpötilan valinnan ehdot [1, s. 337]

Lämmöntuotannon ja kulutuksen välillä on usean tunnin viive, johon voidaan varautua nostamalla menoveden lämpötilaa etukäteen [1, s. 337].

Paluulämpötilaan vaikuttavat asiakaslaitteiden kytkentä ja ominaisuudet, sekundääri-verkon lämpötilat sekä käyttöveden hetkellinen tarve. Lämmitystehon tarpeen vaikutus paluulämpötilaan on varsin vähäinen. Paluulämpötilan tulisi pysyä kaikissa tilanteissa alle 50 °C [1, s. 337].

3.4.2 Akkumulointi

Menolämpötilan säädöllä voidaan vuoroin ladata ja purkaa verkon sisältämää lämpöenergiaa. Näin voidaan varautua päivän aikana tuleviin kulutushuippuihin ilman, että lämmöntoimituksen laatu asiakkaalle kärsii. Ainoastaan virtaus reagoi menolämpötilan muutokseen, paluulämpötila pysyy suhteellisen vakiona [1, s. 337].

Myös paluupuolelle voidaan akkumuloida energiaa erityisen ohitusventtiilin avulla. Ohituksen avulla voidaan menopuolen vettä sekoittaa paluupuolelle, jolloin paluulämpötila saadaan lähemmäs menolämpötilaa [1, s. 337].

3.4.3 Paisunta ja paineen säätö

Painetaso

Jotta saavutettaisiin häiriötön vesikierto suljetussa järjestelmässä, on ylipaineen oltava tarpeeksi suuri alipaineen ja veden höyrystymisen estämiseksi. Alipaineessa veteen sitoutuneet kaasut saattavat erottua sekä lisäksi putken epätiiviyden johdosta putkeen voi päästä ilmaa, jolloin putken muodostuvat ilmatyynyt häiritsevät veden virtaamista [1, s. 338].

Suurimmillaan höyryn muodostumisvaara on korkealla sijaitsevilla kuumilla lämmityspinnoilla ja pumppujen imupuolella [1, s. 338]. Taulukossa 2 on listattu veden höyrystymispaineita eri lämpötiloilla.

Taulukko 2. Veden höyrystymispaineita [1, s. 338]

Lämpötila	°C	70	100	120	150
Höyrystymispaine	bar	-0,68 1)	0,03	1,03	3,90

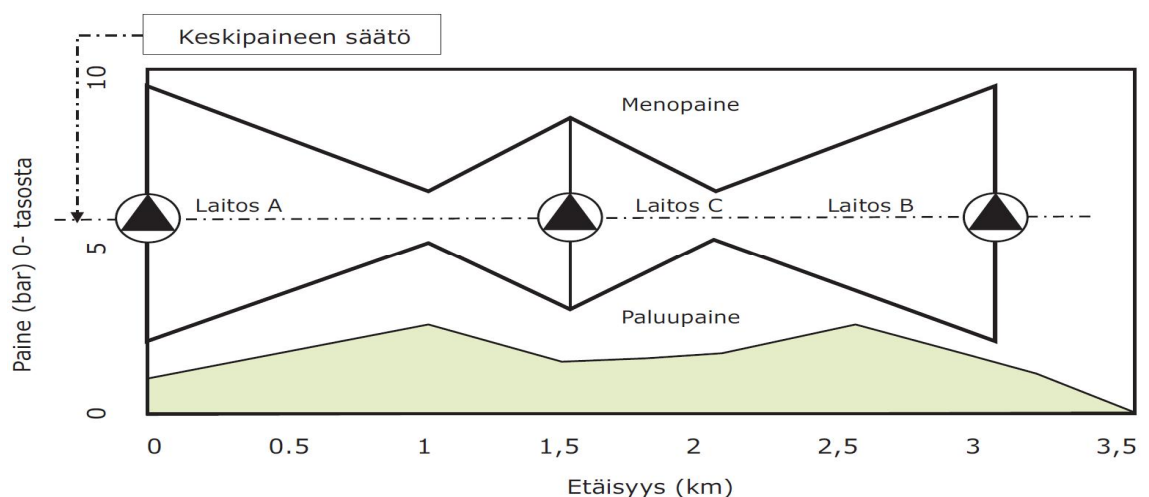
1) vastaa alipainetta esim. imettäessä vettä 6,8 m:n korkeuteen

Riittämättömän imupaineen vuoksi vesi höyrystyy pumpussa kupliksi, jotka juoksupyörän siivistöön joutuessaan räjähdyksenomaisesti tiivistyvät vedeksi ja iskeytyvät siiven pintaan. Kyseinen kavitaatioilmiö tuhoaa varsin nopeasti siiven reunat. Kavitoinnin estämiseksi on imupaine pidettävä höyrystymispainetta korkeampana, paluuputkessa 0,5 - 0,8 bar ja menoputken 120 °C vedelle jo vähintään 3 bar. [1, s. 338.]

Keskipaine

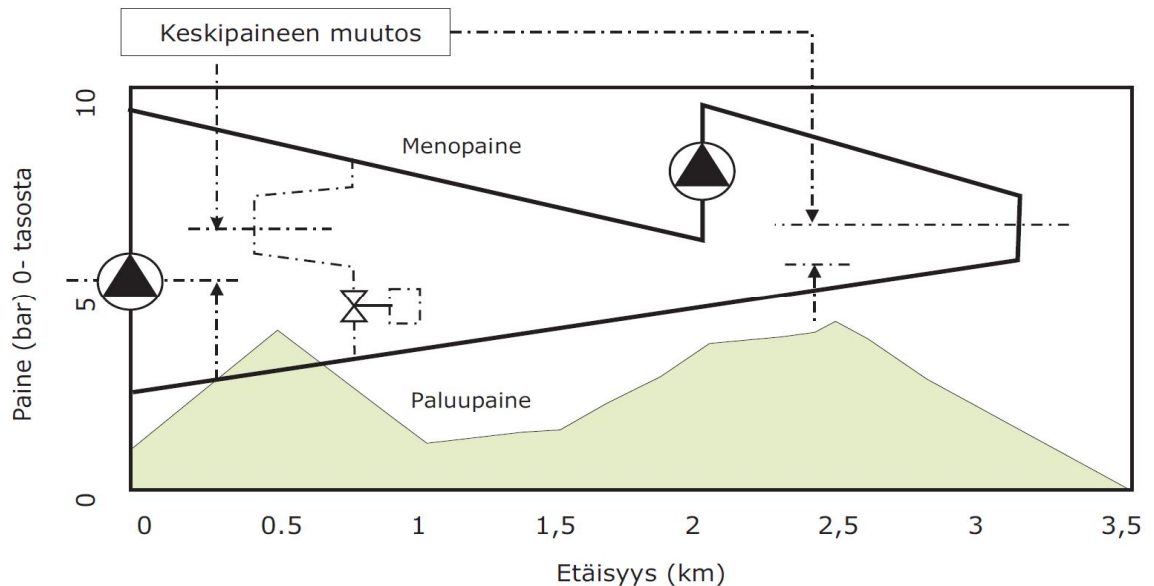
Keskipaineen säädön eli verkoston paineen säädön nimitys tulee meno- ja paluupaineiden keskiarvon muodostamasta keskipainetasosta painekuvaajassa. Varsinkin suurissa verkoissa, joissa paineen halutaan pysyvän vakiona kuormituksesta huolimatta, säädetään keskipainetta paineen ylläpitolaitteilla. [1, s. 338.]

Vaikka lämpöä syötetään samanaikaisesti useammasta eri paikasta, tulee keskipaineensäätö hoitaa vain yhdestä laitoksesta. Jos verkko kuitenkin täytyy jakaa useampaan eri osaan venttiileitä sulkemalla, tarvitsee jokainen erillään oleva osa oman keskipaineen säädön (kuva 11.). [1, s. 338.]



Kuva 11. Useamman laitoksen syöttämän kaukolämpöverkon painekuvaaja [1, s. 338]

Keskipainetasoa on mahdollista nostaa verkon toiseen putkeen sijoitetulla pumpulla ja kuristuksella, sillä muutos on puolet pumpun nostokorkeudesta ja kuristuksen aiheuttamasta painehäviöstä. Tätä tekniikkaa voidaan käyttää hyväksi korkealla sijaitsevien alueiden syötössä (kuva 12.). [1, s. 339.]



Kuva 12. Keskipainetaso muuttuu välipumpun ja kuristuksen avulla [1, s. 339]

Painetaso säädetään jaksottaisesti tai jatkuvasti käyvän pumpun ja ohivirtausventtiilin avulla. Verkon vesitulavuus määrää niiden mitoituksen [1, s. 339].

Painetta voidaan ylläpitää tarvittaessa myös vesijohtovedellä, esim. vuototilanteissa. Tästä pitää kuitenkin sopia ennakkoon paikallisen vesilaitoksen kanssa, joten äkillisissä vuototapauksissa siitä ei ole apua. Tällaisessa tapauksessa verkkoon pääsee "epäpuhdasta", happipitoista vettä, jonka johdosta keinoa syytä käyttää harkiten. [1, s. 339.]

Paisunta

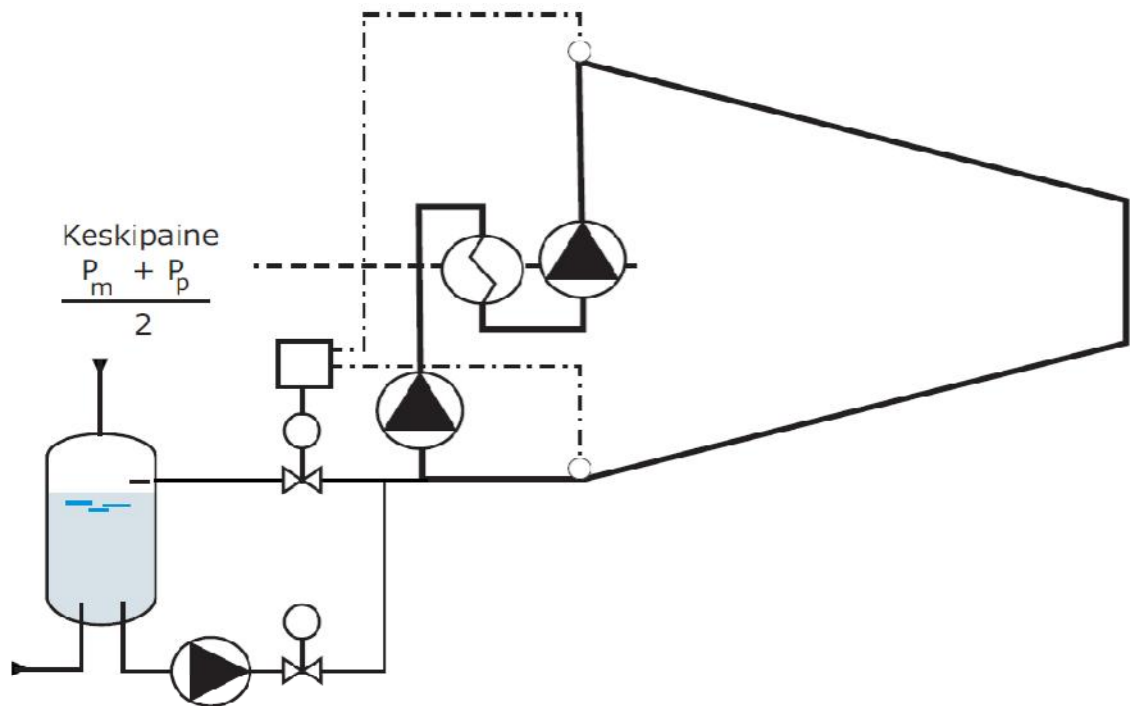
Kaukolämpöverkkojen ollessa varsin laajoja, hoituu paisunta paineen ylläpidon yhteydessä [1, s. 339].

Suuremmissa verkoissa paisunta hoidetaan vesilukollisella tai höyrytyynyllisellä paisunta- ja lisävesisäiliöllä. Myös lämpövarasto voi toimia vesisäiliönä [1, s. 339].

Lämpötilan maksimi muutosnopeuden ollessa n. 20 °C/h aiheutuu tilavuuden muutosta kaukolämpöverkon kiertovedessä 0,8 %/h. Jos ulkolämpötila nousee nolasta +20 °C:n,

vastaa se n. 1,25 % tilavuuden kasvua, menoveden ohjelämpötiloilla ja normaalilla jäähdytyksellä laskettuna. Suuremmissa verkoissa säiliön mitoitus tehdään kesä- ja talvilämpötilojen keskiarvojen muutoksen välille, jonka johdosta säiliön tilavuus on n. 2 % koko verkon vesitilavuudesta [1, s. 339].

Lisävesisäiliötä mitoitettaessa on verkon täyttöjen ja vuotojen vaatima varavesitilavuus otettava huomioon. Verkon ja laitteiden täyttövaiheita varten tarvitaan lisävesipumppu pitämään painetta yllä ja estämään painetason lasku verkolla. Ettei painetaso pääsisi laskemaan kriittiselle alueelle, on tärkeä kiinnittää erityishuomiota vesitarpeen ennakotilausten tärkeyteen, suunnitelmallisuuteen sekä yhteistyöhön verkon käyttökäyttökunnan kanssa [1, s. 339].



Kuva 13. Ylläpitopumpulla ja ohivirtausventtiilillä hoidettu paineen säätö [1, s. 340]

3.4.4 Paine-ero ja säätö

Veden kierto kaukolämpöverkossa saadaan aikaiseksi kaukolämpöpumppujen imu- ja painepuolen paine-erosta huolehtimalla. Suljetussa putkistossa ylä- ja alamäet eivät vaikuta veden virtaukseen, jos vain painetason riittävydestä on huolehdittu. Pumpputyö kuluu veden virtausnopeuden kasvattamiseen sekä verkossa tapahtuneiden paine-

häviöiden korvaamiseen. Vesi virtaa putkessa termodynamiikan perusteiden mukaisesti aina suuremmasta paineesta pienempään päin, jolloin virtaavan veden ja putken väliset kitkavoimat aiheuttavat paine-eron. Jos virtausnopeus halutaan kasvattaa kaksinkertaiseksi, niin samalla painehäviö nelinkertaistuu [1, s. 340].

Asiakkaille taataan yleensä ainakin 0,6 barin paine-ero, jolla pystytään takaamaan riittävän hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet asiakaslaitteissa. Paine-eron varmistamiseksi tuotantolaitosten kiertovesipumput on varustettava säätöjärjestelmällä, joka reagoi paineen vaihteluihin [1, s. 340].

Paine-eroa säädetään kriittisimmän asiakkaan, eli verkon suhteen kriittisimmällä paikalla sijaitsevan asiakkaan perusteella, jolla paine-ero on pienimmillään. Mittauksen perusteella ohjataan kiertovesipumppua ja varmistetaan verkon kaikille asiakkaille riittävät toimintaolosuhteet [1, s. 340].

Pumpun säätö

Pumpun tuottamaa paine-eroa ja tuottoa voidaan säätää [1, s. 340]:

- kuristusventtiilillä
- pyörimisnopeussäädöllä
- ohivirtauksella painepuolelta imupuolelle (kuva 13.)
- johtosiipisäädöllä
- juoksupyörää modifioimalla.

Juoksupyörään muutoksien tekeminen on varsin hankalaa ja tarkoittaa periaatteessa koko pumpun vaihtamista. Se on myös pysyvä muutos. Johtosiipisäädöllä säätövara on varsin pieni, ja se onkin varsin harvinainen säätömenetelmä. Ohivirtaus puolestaan on varsin epätaloudellinen vaihtoehto. Näiden johdosta kuristussäätö ja pyörimisnopeussäätö ovat käytössä varsin yleisesti kaukolämpöpumpuissa [1, s. 340].

Pyörimisnopeussäädön mahdollistavien taajuusmuuttajien hinnan, luotettavuuden ja käytön helpottuminen on lisännyt niiden käyttöä varsin runsaasti, ja ne ovatkin syöneet markkinoita kuristussäädöltä, joita tosin edelleen on käytössä pienemmissä verkoissa. Myös jatkuvasti kallistuva sähkönhinta ja ympäristönäkökohdat ovat edistäneet pyörimisnopeussäädön yleistymistä [1, s. 340].

Pyörimisnopeuden käyttö mahdollistaa myös pumpun ominaiskäyrän muuttamisen tarpeen mukaan. Kun pumpun toimintapistettä pystytään muuttamaan, vältetään myös ylimääräisiltä häviöiltä. [1, s. 341.]

Taajuusmuuttajien kehittymisen ja halpenemisen ansiosta ne ovat nykyisin yleisin tapa säätää sähkömoottoriin liitetyn pumpun pyörimisnopeutta. Vanhemmat pyörimisnopeuden säätötavat kuten hihnat, staattorin käämejä päälle kytkevä säätökytkin sekä neste-kytkimet poistuvat huonompana tekniikkana nopeasti taajuusmuuttajien tieltä. [1, s. 341.]

On kuitenkin muistettava, että pyörimisnopeutta säätämällä ei muuteta kaukolämpöverkossa kiertävää vesimäärää, vaan optimoidaan pumppujen käyttöä kulloistakin tilannetta vastaamaan. Näin pumput saadaan toimimaan paremmalla hyötysuhteella ja minimoidaan niiden käyttämä sähköenergia. [1, s. 341.]

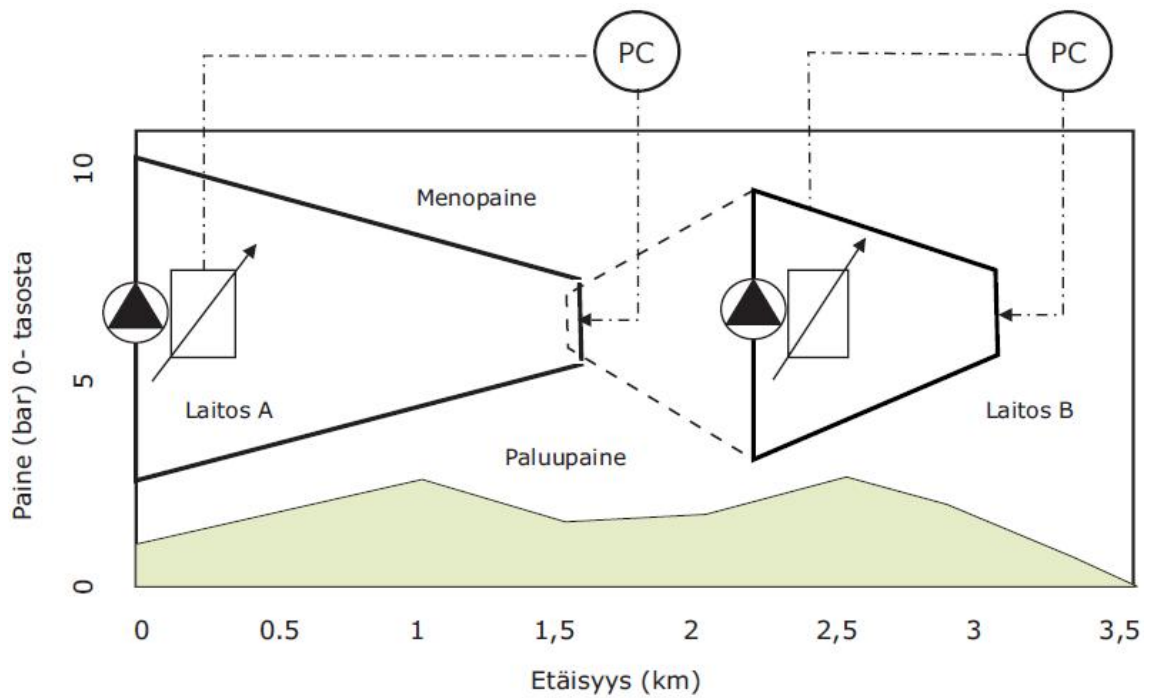
Jos halutaan säilyttää pumppauksen taloudellisuus ja korkea hyötysuhde koko kuormitusalueella, on pyörimisnopeussäädön lisäksi huomioitava kaukolämpöverkon erilaiset kytkentätavat. Pumppauksen taloudellisuus ja tarkoituksenmukaisuus on selvitettävä jokaisessa verkossa erikseen, sillä kahta samanlaista kaukolämpöverkkoa ei periaatteessa ole olemassa. [1, s. 341.]

Suuret ja keskisuuret verkot

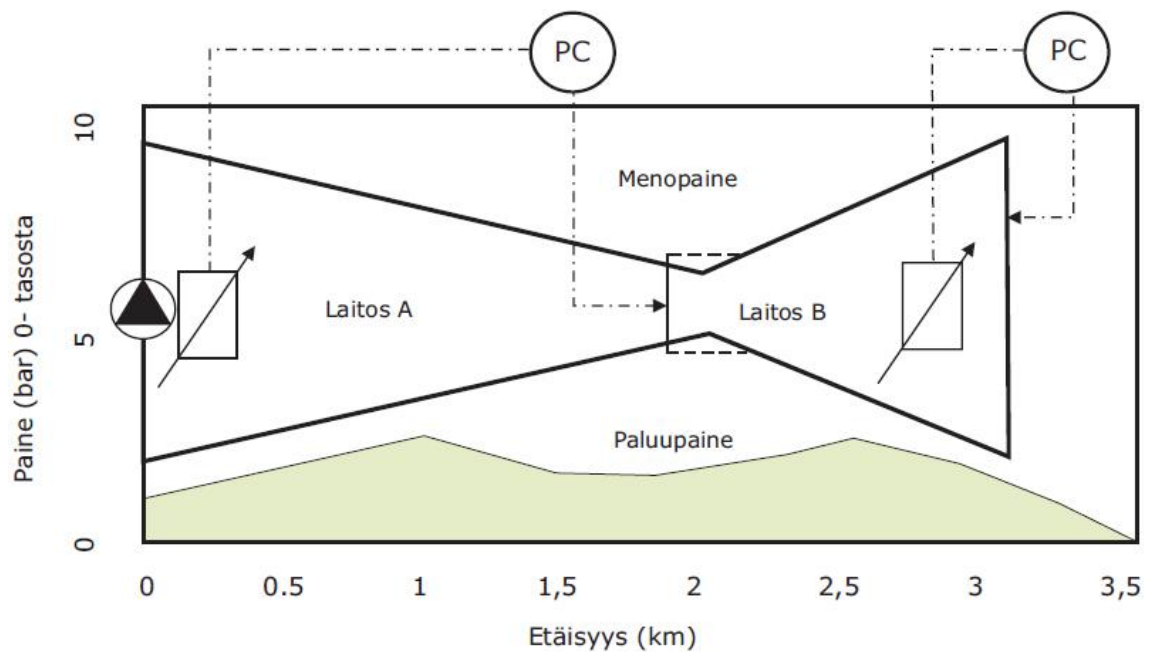
Suuremmat, yli 10 MW:n verkot, ovat yleensä kahden tai useamman tuotantolaitoksen syöttöpiirissä. Niissä on poikkeuksetta käytössä pyörimisnopeussäätöiset pumput. Tehonjako laitosten kesken hoidetaan kiertovesipumppujen nostokorkeutta muuttamalla. Verkon painetasoltaan heikoimman kohdan mukaan seurattavat paine-eron säätösuurteet otetaan laitoksille erikseen, minkä johdosta myös verkko-osuudet on eriteltävä. [1, s. 341.]

Mikäli verkko halutaan pitää yhtenäisenä, säätää vain yksi laitos kriittisimmän asiakkaan paine-eron suhteen ja muut laitokset toimivat joko vakioteholla tai pumpun yli vaikuttavalla paine-erolla. [1, s. 341.]

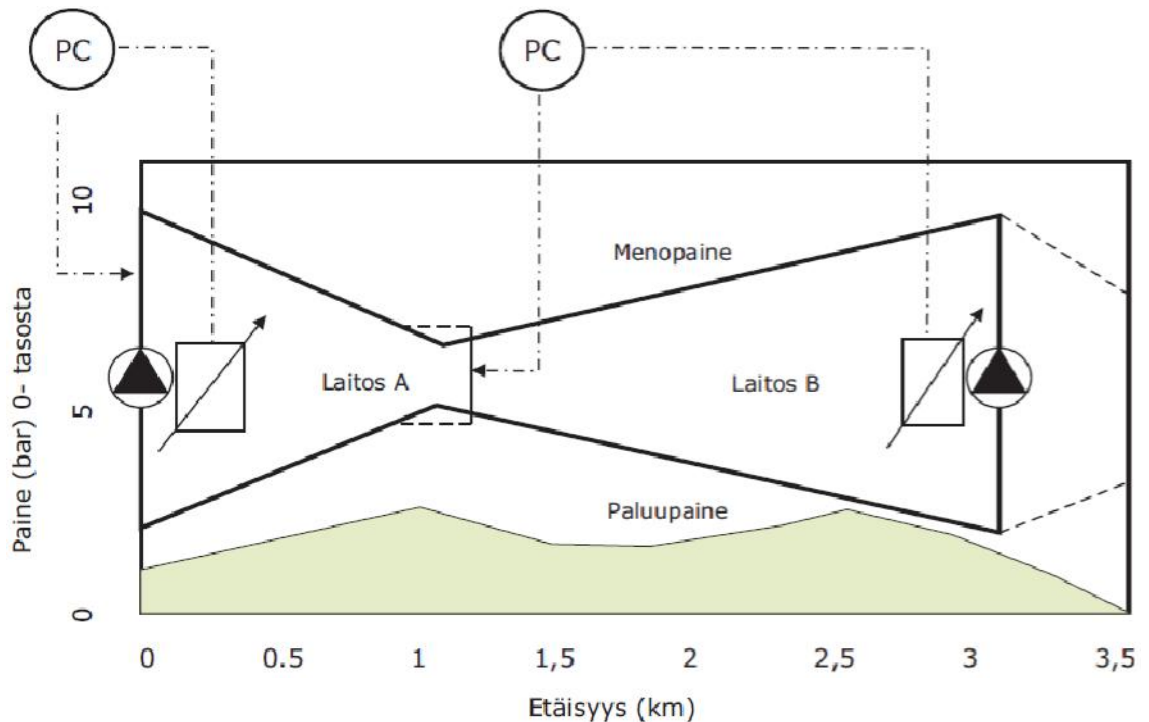
Laitosten tehonjakoa on havainnollistettu kuvissa 14–16 [1, s. 341].



Kuva 14. A-laitos syöttää verkot yhdistävää verkkoa, ja B pelkäästään sen takana olevaa verkkoa. Paine-eromittaukset on kytketty kriittisimmän asiakkaan suhteen [1, s. 342.]



Kuva 15. B-laitos syöttää myös osaa laitosten välisestä verkosta. A-laitos säätelee kriittisimmän asiakkaan paine-eron suhteen ja B toimii vakioteholla [1, s. 342.]



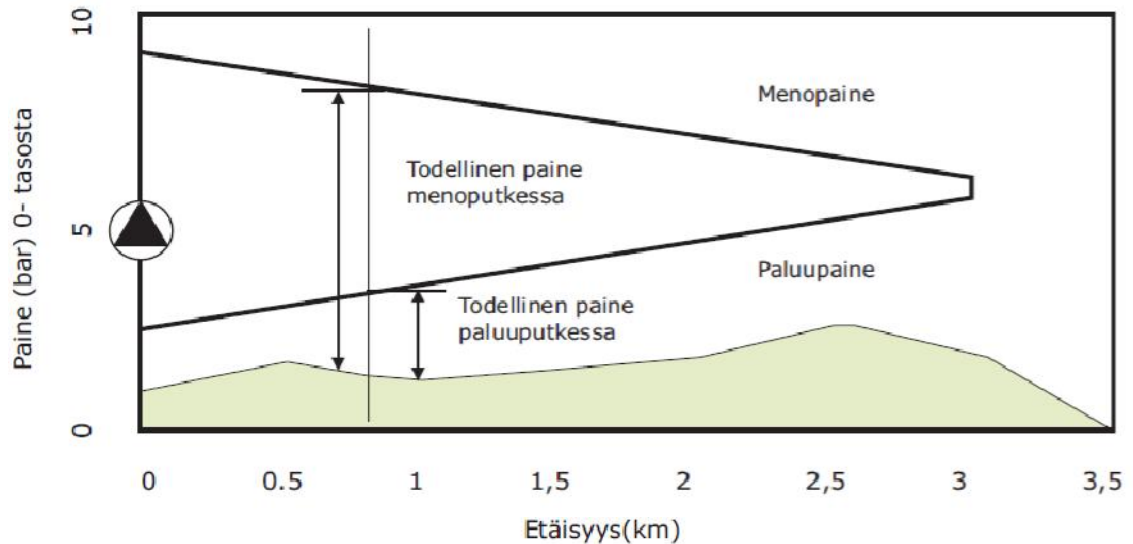
Kuva 16. B-laitos syöttää myös osaa laitosten välisestä verkosta. A-laitos toimii pumpun yli vaikuttavan paine-eron suhteen ja B kriittisimmän asiakkaan paine-eron suhteen [1, s. 343.]

Vaikka erillisten huippukeskusten käyttöajat ovat lyhyitä, niissä kannattaa kuitenkin käyttää taajuusmuuttajasäätöisiä pumppuja. Näin ne ovat helpommin säädettävissä ja niillä voidaan ajaa vakioteholla [1, s. 343.].

Asiakaslaitteiden puolella tarvittava paine-eron säätö hoituu aina kuristusventtiileillä, jolloin virtauspinta-ala pienenee ja virtausvastus kasvaa. Suuremmilla paine-eroilla, yli 4 bar, saattaa asiakkaille aiheutua ääniongelmia kuristussäädön johdosta, jolloin olisi hyvä käyttää esim. vakio-paine-erosäätöä. [1, s. 343.]

3.4.5 Vesi-iskut

Todellinen putkissa vaikuttava paine on aina paikallinen eli painekuvaajan ja maasto-profiilin erotus. Paine kuvaajan aseman määrittelyssä käytetään perustasosta mitattua teoreettista painetta, joka on sama kuin todellinen paine lisättyinä mittauspaikan korkeus perustasosta. Myös rakennepaineen aiheuttama rajoitus on tarkistettava todellisen paineen mukaan. [1, s. 343.]



Kuva 17. Kaukolämpöverkon painekuvaaja [1, s. 344.]

Jos maastokuvaaja joutuu paluupaineen leikkaamaksi painekuvaajassa, putkessa vallitsee alipaine ympäröivään ilmanpaineeseen verrattuna. Alipaineen johdosta verkkoon voi päästä ilmaa tiivisteiden kautta, mikä johtaa virtausvastuksen lisääntymiseen. Jos verkon paine laskee veden höyrystymispainetta alemmaksi, niin vesi höyrystyy. Höyry lisää entisestään veden virtausvastusta ja heikentää veden kiertoa. [1, s. 344.]

Kaukolämpöpumppujen pysähtyminen aiheuttaa myös veden höyrystymistä, jonka johdosta pumppujen uudelleen käynnistäminen tulee vaaralliseksi. Varsinkin kattilassa tai lämmönsiirtimessä tällainen suuren höyrymäärän nopea lauhtuminen vedeksi aiheuttaa paineaallon, jonka johdosta rakennepaine ylittyy reilusti. [1, s. 344.]

Jos kierron vähenemisen korjaamiseksi kasvatetaan pumppujen kierroslukua, tilanne muuttuu entistä vaarallisemmaksi. Kyseisessä tilanteessa paine-ero pumpun yli kasvaa. Jos samalla äkillisesti lähdetään nostamaan keskipainetta, niin ongelman aiheuttaja, alipaine, häviää verkosta ja aikaisemmin syntynyt höyry lauhtuu takaisin vedeksi. Tämän tuloksena syntyy vesi-isku, josta seuraava paine-aalto saattaa rikkoa laitteita hyvinkin pitkän matkan päässä. [1, s. 344.]

Vastaavanlainen tilanne voi myös syntyä, kun vuodon tai epätiiviyden sulkujen takia painetaso ensin laskee nopeasti ja vuodon erottamisen tai tyhjennyksen sulkemisen takia taas nousee nopeasti [1, s. 344.].

Vastaavanlaisten paineiskujen varalle voidaan varautua murtokalvoilla, joiden murruttua on saatava välittömästi hälytystieto valvomoon [1, s. 344.].

3.4.6 Operointi

Kaukolämpöverkon ja lämpölaitosten toimintaa ohjataan kaukokäytöllä erityisestä keskusvalvomosta. Sen tarkoituksena on ohjauksen avulla parantaa asiakastytyvääsyyttä pitämällä lämmön laatua yllä, varmistaa lämmötoimitus sekä ennakoida vaurioita ja niistä aiheutuneiden katkosten pituuksia. [1, s. 345.]

Prosessitiedot tallentuvat ja siirtyvät niitä tarvitseville kaukokäytön avulla, ja niitä käytetään lämmöntuotannon ja jakelun optimoimiseen. Luotettavuuden on vastattava verkon yleistä käytettävyyttä. [1, s. 345.]

Kaukokäytön avulla voidaan toteuttaa seuraavia toimintoja [1, s. 345]:

- venttiilien ohjaus
- pumppaamoiden ohjaus
- tuotannonohjaus ja seuranta
- ala-asemien loogiset toiminnot
- ala-asemien hälytys ja mittaustietojen siirto valvontapisteisiin
- hankinnan ja verkonkäytön seurantaraportointi
- hankinnan optimointi
- prosessiohjauksen tarvitsemat trendinäytöt ja raportointi
- häiriökirjaukset, käyttökeskeytysten toimenpideraportointi
- tunnuslukujen raportointi
- mahdollinen tietokantasovellusten hyödyntäminen asiakasrajapinnassa.

Kaukokäyttöjärjestelmä sijoitetaan jatkuva- tai jaksottaismiehitettyyn valvomoon, josta hoituu ohjelmistojen päivitys ja ylläpito. Kaapeliyhteydet ja prosessiasemat sijoitetaan samaan paikkaan, ja niiden toiminta varmistetaan poikkeustilanteiden varalta myös akkukäytöllä. [1, s. 345.]

3.4.7 Kunnossapito

Kaukolämpöverkon kunnossapidon tavoitteena on ylläpitää jakelu- ja tuotantokapasiteettia optimaalisin kustannuksin. Verkoston kapasiteetti sekä laitteiden ja koneiden kuormitus elää jatkuvasti. Niihin vaikuttavat laitosten eliniät, lämmönkulutuksen kehittyminen ja yksittäisten laitosten asema koko tuotantojärjestelmässä. [1, s. 347.]

Kunnossapitoon sisältyy huoltotoiminta, jossa vikaantumisten ja huonontumisten syntyminen estetään, sekä kunnonvalvonta, jossa pyritään havaitsemaan syntyvässä oleva vika [1, s. 347.].

Huoltotoimintaa ja kunnonvalvontaa varten dokumentoinnin on oltava kunnossa. Johtotietojen on kerrottava johtojen tarkka sijainti, rakennusaika, rakennetyyppi, mahdollinen urakoitsija ja johdon varusteet [1, s. 348].

Kaukolämpöverkon kunnonvalvonta ja huolto rajoittuu yleensä vain kaivoihin, avojohdoin ja mittauskeskuksiin, koska maanalaisten johtojen osalta se on varsin hankalaa [1, s. 348].

Maanalaiset johdot

Maanalaisten johtojen kuntoa täytyy valvoa, jotta pystytään arvioimaan kunnossapidon ja perusparannustoiminnan määrää. Vähimmäisedellytys on tiedot toteutuneista tunnusluvuista, niiden kehityksestä ja vastaavista aikaisemmista vertailuluvuista. Tietoa saadaan mm. kaivotarkastuksilla ja lisävesiseurannalla. [1, s. 348.]

Paras mittari kaukolämpöverkon kunnon ja tiiveyden määrittämiseen on lisäveden kulutus. Sen valmistamista ja syöttöä verkkoon on seurattava jatkuvasti. [1, s. 349.]

Muita maanalaisten johtojen kunnonvalvonnan keinoja ovat riskikartoitukset, lämpökamera- ja videokuvaukset, rasitustestit sekä sähköinen kosteuden valvonta. Myös tunnusluvut, kaivojen määräaikaistarkastukset sekä seinämäpaksuusmittaukset auttavat kunnonvalvonnassa. [1, s. 349.]

Kaivot

Maanalaisten johtojen kunnonvalvonta on periaatteessa kaivojen ennakkohuoltoa ja kunnossapitoa. Kaivojen huoltaminen jaetaan kahteen ryhmään: kaivohuoltoon ja pumppaukseen. [1, s. 349.]

Kaivojen huoltaminen on paras hoitaa lämmityskauden ulkopuolella, sillä tällöin kaivot ovat kylmiä ja haitat käytölle ovat varsin vähäiset [1, s. 350].

Kaivojen vuotovesien määrät ja kertymisnopeus selvitetään, jotta kaivot voidaan luokitella niiden mukaan. Yleisemmin puhutaan kaivojen kosteuden valvonnasta ja pumppauksesta. [1, s. 350.]

Avojohdot

Avojohtojen eristysten, rakenteiden ja varusteiden kunnon tarkastaminen hoituu helposti. Ennakkohuollon piiriin kuuluvat pääosin eristysten ja suojapäällysteiden kuntojen tarkistaminen sekä kannatin- ja tukirakenteiden tarkastukset ja pinnoitteiden korjaukset. Suurin avojohtojen huollon kohde ovat tukirakenteiden pinnoitekorjaukset, vaikka nekin eivät vaadi vuosittaisia toimenpiteitä. [1, s. 350.]

3.4.8 Korroosio

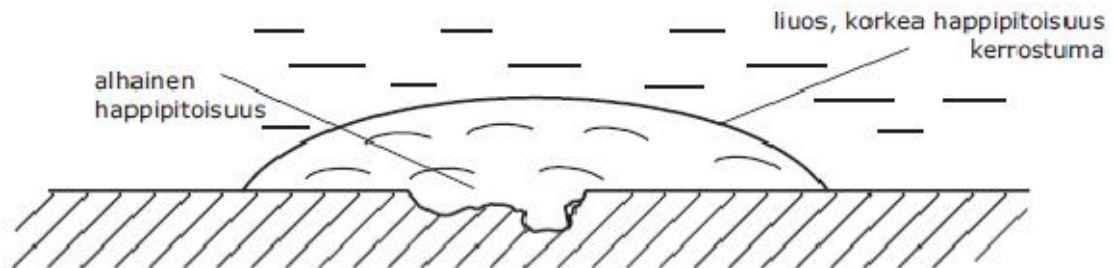
Yleisimpiä kaukolämpöverkon korroosion ja käyttöhäiriöiden aiheuttajia ovat veteen liuenneet kaasut (happi ja hiilidioksidi), liian korkea tai alhainen pH-taso, tietyt liuenneet suolat (mm. kloridi) sekä saostumia muodostavat yhdisteet. Ongelmia aiheuttavat myös verkkoon asennetut huonon varastoinnin johdosta ruostuneet putket sekä huolimaton asennustyö. [1, s. 360.]

Kaukolämpökierron tavallisimmat korroosimuodot käydään seuraavassa läpi

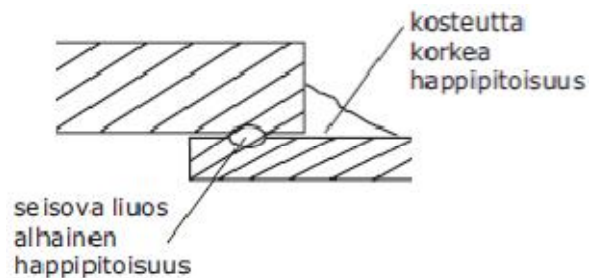
Happikorroosio

Happikorroosiota esiintyy siellä, missä happipitoinen vesi pääsee kosketuksiin teräksen kanssa. Korroosionopeutta lisää lämpötilan nousu ja sitä avustaa veden suolapitoisuus. [1, s. 360.]

Happikorroosion yleisin muoto on teräväreunainen kuoppakorroosio, joka syö materiaalin suhteellisen nopeasti. Happikorroosio voi kuitenkin myös olla tasaista eli ns. yleistä korroosiota. Myös ns. happivarjostumat, jotka tarkoittavat hapen puuttumista, aiheuttavat korroosiota. Näissä tapauksissa puhutaan piilo- ja rakokorroosiosta [1, s. 360]. (Kuvat 18 ja 19.)



Kuva 18. Piilokorroosio [1, s. 361]



Kuva 19. Rakokorroosio [1, s. 361]

Happi pääsee kaukolämmön vesikiertoon yleensä lisä- tai täyttöveden mukana, minkä johdosta hapenpoiston tärkeys korostuu. Kiertoveden mukana sitä puolestaan yleensä pääsee alipaineen alaisten osien ilmavuotojen yhteydessä, avoimien paisuntasäiliöiden kautta tai verkon vuotojen yhteydessä. Myös epäonnistunut säilöntä aiheuttaa happikorroosiota. [1, s. 361.]

pH:n vaikutus

Väärä pH-taso aiheuttaa sekä teräksen että kuparimetallien korroosiota. Alhaisen pH:n vaikutuksesta teräs kehittää syöpyessään vetyä, jonka vaikutus on nopeampaa korkeassa lämpötilassa. Liian korkea pH puolestaan altistaa jännityskorroosiolle. [1, s. 361.]

Kuparimetalleilla esiintyy pistekorroosiota, pehmeissä, happamissa vesissä, jolloin veden pH on yleensä alle 7,4. Alle 6,7 pH:n olosuhteissa esiintyy myös tasaista korroosiota eli ns. sinisen veden häiriötä. [1, s. 361.]

Liukoiset suolat

Liukoiset suolat edesauttavat korroosiota ja suolapitoisuuden lisääntyessä kasvaa korroosion nopeus. Yleensä lämpötilan kasvaessa liukoisuus kasvaa, mutta esim. kaliumsulfaatilla lämpötilan nousu saostaa aineen. [1, s. 361–362.]

Kovuuden aiheuttajia pääsee kiertoveteen käsittelemättömän lisä- ja täyttöveden sekä verkkoon pääsevien vuotovesien mukana [1, s. 362].

Eroosiokorroosio

Eroosiokorroosiota aiheutuu eroosion ja korroosion yhteisvaikutuksesta etupäässä kuparimetalleilla, ja se vaatii hapen esiintymisen vedessä. Nopeasti virtaava vesi paljastaa eroosion avulla puhtaan kuparipinnan, jonka pinnalle hapen vaikutuksesta muodostuu uusi kuparioksidipinta, jonka vesi jälleen syö pois. Tätä jatkuu kunnes materiaali on tuhoutunut. Korroosionopeutta kasvattavat veden kiinteät hiukkaset, kaasukuplat sekä pH:n lasku. [1, s. 362.]

Ammoniakkikorroosio

Etupäässä kuparimetalleille tapahtuva ammoniakkikorroosio on samantapainen kuin eroosiokorroosio; ammoniakki liuottaa kuparioksidin hapen avulla, minkä jälkeen puhtaalle kuparipinnalle muodostuu uutta kuparioksidia. Edellytyksenä ovat siis ammoniakin ja hapen olemassaolo. [1, s. 362.]

Galvaaninen korroosio

Kahden metallin liitokseen voi muodostua sähköpari, jolloin toinen metalleista syöpyy enemmän kuin se yksin samoissa olosuhteissa ollessaan syöpyisi. Kaukolämpöverkossa on useita eri metalleja käytössä, joten galvaanisen korroosion mahdollisuus on olemassa. [1, s. 362.]

Jännityskorroosio

Metalliin tulee murtumia korroosion ja ulkoisen ja/tai sisäisen vetojännityksen seurauksena. Alttiimpia jännityskorroosiolle ovat metalliseokset, joilla on passiivinen suojakerros, kuten ruostumattomat ja haponkestävät teräkset sekä kuparimetallit. [1, s. 363.]

Biologinen korroosio

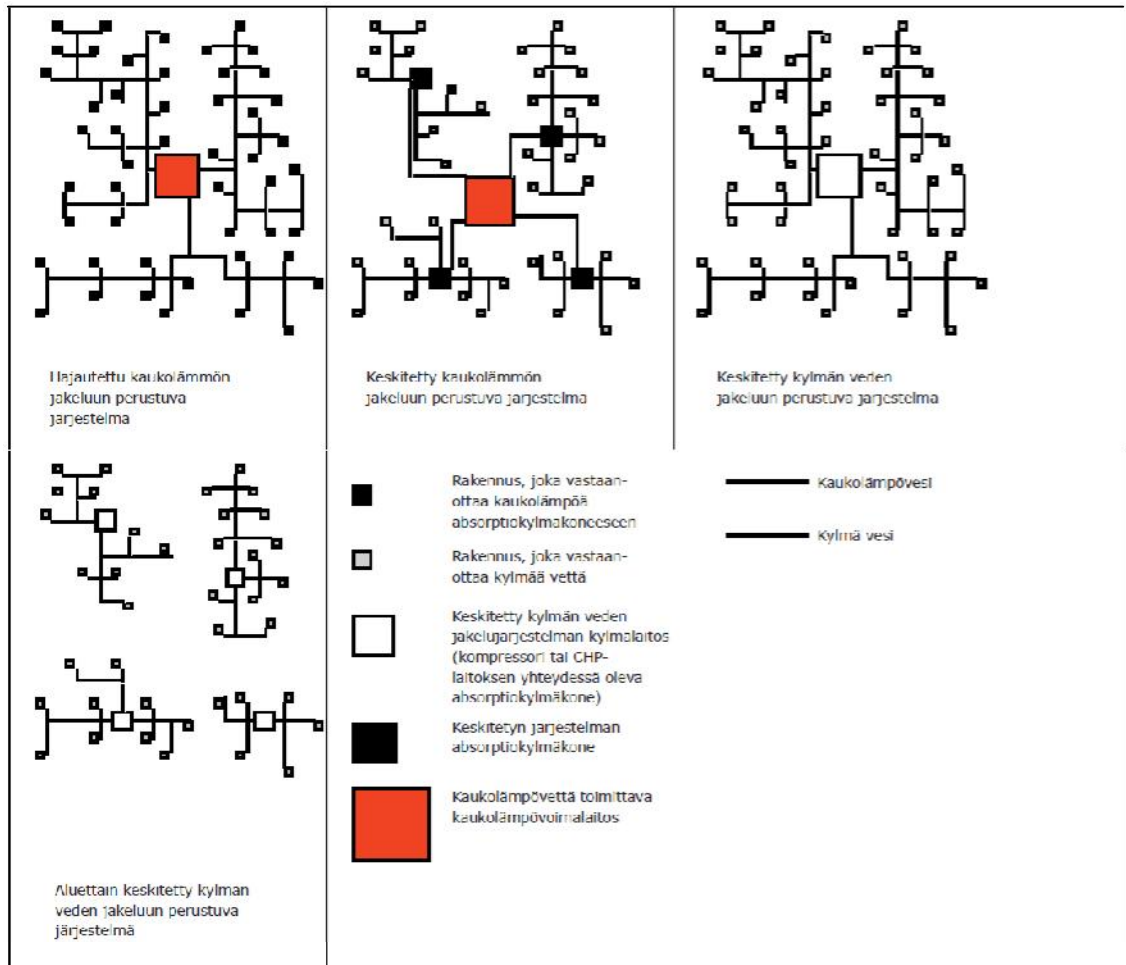
MIC-korroosio (Microbiologically Influenced Corrosion) eli biologinen korroosio on mikrobien ja bakteerien aiheuttamaa korroosiota. Tärkein korroosion aiheuttaja on metallin pintaan syntyvä eliökalvo eli biofilmi. Mikrobit takertuvat rosoisille pinnoille, esim. hitsaumiin ja virtauksen kuolleisiin kohtiin. [1, s. 363.]

3.5 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on keskitettyjen tuotantolaitosten liiketoimintana tuottaman jäähdytetyn veden jakelua erillisen jakeluverkon välityksellä useille suurillekin asiakkaille ilmastoinnissa käytettävän kiertoveden jäähdyttämiseksi. Energiatohokkuus ja prosessien hyötysuhteet paranevat keskitetyn tuotannon ansiosta verrattuna sähköllä toimiviin kiinteistökohtaisiin jäähdytysjärjestelmiin. Keskitetyssä tuotannossa käytetään vallitsevien olosuhteiden mukaan kannattavinta jäähdytyksen tuotantotekniikkaa. Myös kaukolämpö soveltuu kaukojäähdytyksen tuottamiseen. Kaukojäähdytykseen siirtyminen laskee oleellisesti kiinteistön sähkönkulutusta, jopa 90 %, varsinkin kuumina aikoina, jolloin jäähdytyksen tarve on suurimmillaan. Jäähdytysenergiaa on mahdollista hyödyntää myös teollisuuden prosessien tai elintarviketeollisuuden valmistus- ja säilytystilojen jäähdyttämiseen, sekä esim. tietokonesalien jäähdytyksessä. Toimintaperiaatetta voi verrata kaukolämmitykseen, mutta kaukojäähdytyksessä saadaan asiakkaalta ylimääräinen lämpö kerättyä talteen ja käytettyä se hyväksi kaukolämmöntuotantoon. Kesällä yhteistuotannon ylimääräinen lämpö voidaan hyödyntää kaukokylmän tekoon absorptiotekniikalla. [1, s. 529.]

3.5.1 Kaukojäähdytysjärjestelmät

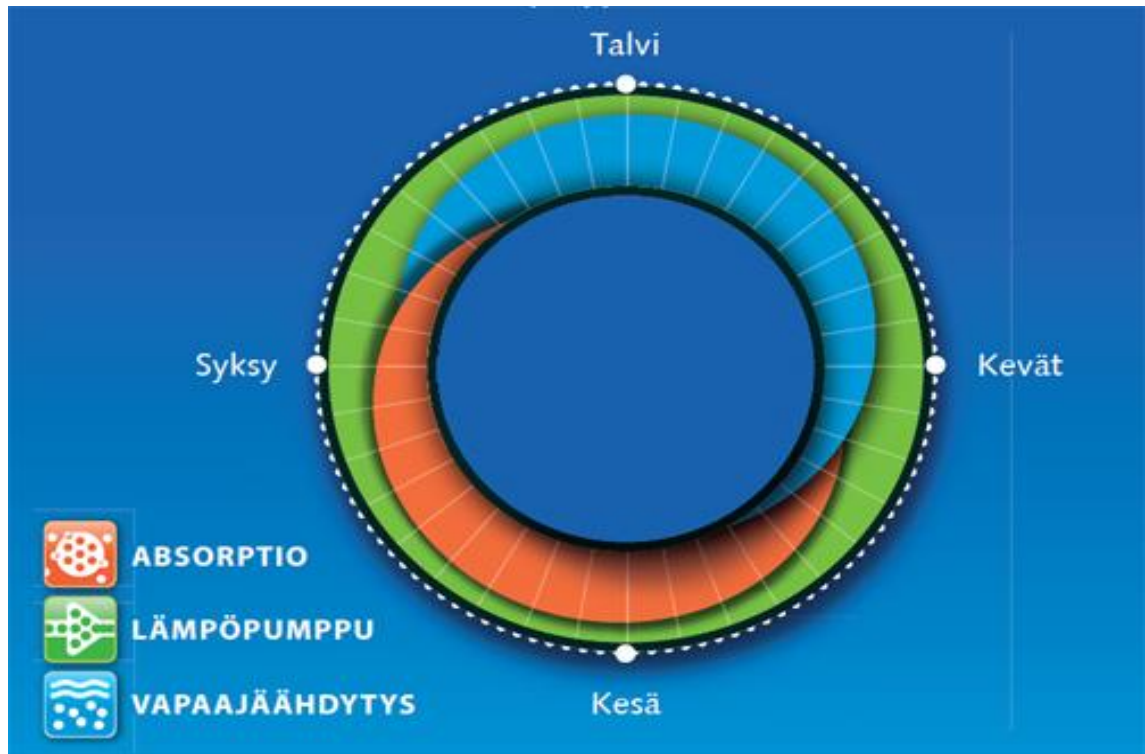
Jakelu voidaan jakaa kahteen tapaan: keskitettyyn ja hajautettuun. Keskitetyssä jäähdytysenergia tuotetaan suurissa laitoksissa joko absorptio- tai kompressorikoneilla ja lämpöpumpulla sekä vapaalla jäähdytyksellä ilmasta tai vedestä, esim. joki-, järvi- tai merivedestä, ja jaetaan kuluttajille putkistoa pitkin. Hajautetussa jäähdytys tuotetaan asiakkaille paikallisesti (Kuva 20.). [1, s. 529.]



Kuva 20. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän mahdollisuuksia [1, s. 529]

Kuten kaukolämmityksessäkin siirtoon käytetään vettä ja tehon säätö tapahtuu lämpötilaa muuttamalla, menolämpötilan ollessa yleensä 7 - 10 °C ja paluulämpötilan 5 - 9 °C lämpimämpää. Jäähdytysverkossa pumppaus mitoitetaan verkon pituuden mukaan, eikä kovin korkeaa minimipainetasoa tarvita, sillä kaukolämpöverkolle ominaisesta höyrystymisestä ei ole vaaraa (veden höyrystymispaine 10 °C:n lämpötilassa on n. 12,2 kPa). Pienestä lämpötilaerosta johtuen vesimäärät ovat suuria. USA:ssa on käytössä myös jäävesijärjestelmiä, joissa putkistossa kulkee veden ja jäähileen sekoitus. Veden ja jään tiheysero on vain n. 10 %, eikä pumppaustarve siis juurikaan poikkea veden pumppauksesta. Meno-/paluuedet ovat n. 2 - 5/12 °C. [1, s. 530.]

Kuvasta 21 nähdään kaukojäähdytyksen tuotannon jakautuminen eri tuotantomuotojen kesken, riippuen vuodenajasta.



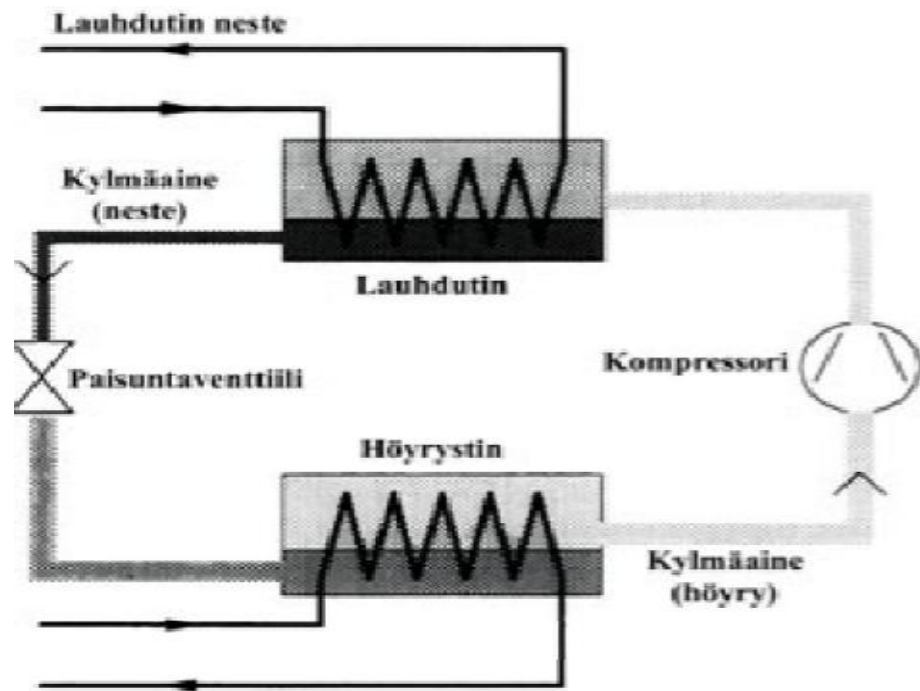
Kuva 21. Kaukojäähdytyksen tuotanto eri vuodenaikoina [4]

3.5.2 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksessä hyödynnetään luonnon omia energiavarastoja, kuten meri-, järvi- tai jokivettä sekä ulkoilmaa. Sitä hyödyntämällä voidaan hankkia suurin osa jäähdytysenergiasta ja merkittävä osa jäähdytystehosta. Vesistöjen kylmä vesi riittää sellaiseen 4 - 8 kuukautta vuodesta kaukojäähdytyksen tarpeisiin. Vapaajäähdytys on luontainen lähtökohta ja toimii perustehon lähteenä ympärivuoden, yhdistettynä muilla tuotantomuodoilla. [1, s. 531.]

3.5.3 Kompressorijäähdytys

Kompressorikylmäkoneessa (kuva 22) matalapaineinen höyrystin höyrystää kylmäaineen, joka ottaa lämpönsä jäähdytettävästä kohteesta. Kompressorinostaa höyryn paineen, jolloin höyry lauhtuu ja luovuttaa lämpöään väliaineeseen. Lauhtuneen nesteen painetta lasketaan venttiilissä, josta neste palaa takaisin höyrystimeen. Prosessi saa käyttövoimansa yleensä sähköisestä kompressorista. Yleisimmin käytössä olevia kylmäaineita ovat halogenoituneet hiilivedyt (esim. R-134a, R407c). [1, s. 531.]



Kuva 22. Kompressorikylmäkoneen toiminta [1, s. 532]

Erilaisia käytössä olevia kompressorityyppejä ovat seuraavat:

- Mäntäkompressori
- Ruuvikompressori
- Keskipakokompressori
- Lamellikompressori
- Turbokompressori

Suorassa jäähdytyksessä höyrystin sijaitsee jäähdytettävässä kohteessa ja lämpö siirtyy suoraan kylmäaineeseen. Epäsuorassa puolestaan on erillinen jakelupiiri höyrystimen ja jäähdytettävän kohteen välillä. [1, s. 533.]

Lauhdutin sijoitetaan yleisimmin joko rakennuksen katolle tai maavaraisesti pihalle. Jäähdyttimet voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: ilma-, haihdutus- ja ruiskutusjäähdytys. Ilmajäähdytteiset pienempien kylmäkoneiden lauhdutinpiirit hyödyntävät nimen mukaisesti ulkoilmaa puhaltamalla sitä jäähdytinpatterin läpi. Haihdutusjäähdytyksessä jäähdytuspintoja ruiskutetaan vedellä, jonka höyrystymislämpö hyödynnetään lauhduttimen tehon parantamiseen. Ruiskutusjäähdytintä käytetään, kun halutaan nostaa lauhduttimen tehoa huippukulutusten aikoina. [1, s. 533.]

3.5.4 Absorptiojäähdytys

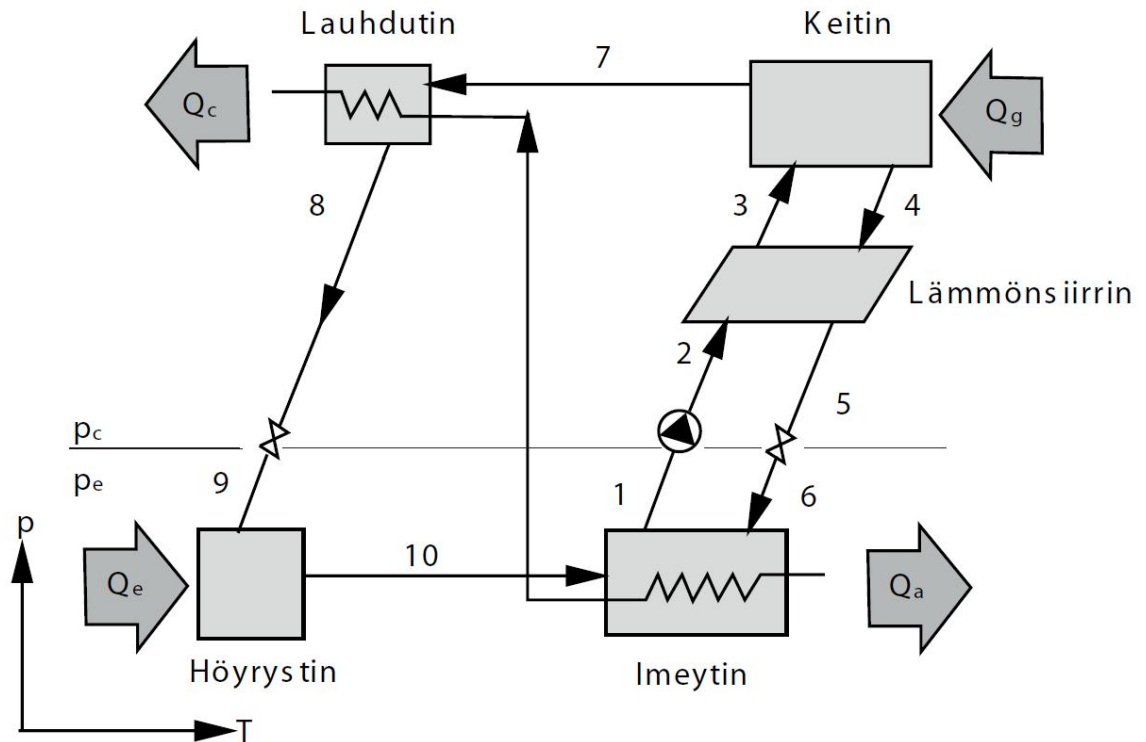
Absorptiojäähdytysprosessi perustuu liuottimen tai kylmäaineen (absorbentin) ominaisuuksiin ja aineparin käyttäytymiseen liuksena. Kaasun ja nesteeseen absorboituneen kaasun välillä vallitsee tietyissä olosuhteissa tasapaino, jota muutettaessa lämpötilaa tai painetta muuttamalla, vapautuu tai sitoutuu kaasua (tai höyryä). [1, s. 534.]

Absorptiojäähdytyksessä (kuva 23) höyrystin ja lauhdutin korvaavat lämpöpumpun. Kylmäaine kulkee lauhduttimesta paisuntaventtiilin kautta höyrystimeen ja höyrystyy kokonaan. Höyry absorboituu imeyttimessä liuottimeen ja paine nostetaan takaisin oikealle tasolle (p_c). Tämä prosessiosa korvaa kompressorin tekemän työn. Imeyttä täytyy jäähdyttää lauhtumis- ja liukenemislämmön kompensoimiseksi. Kylmäaine erotetaan keittimessä ja palautetaan imeyttimeen, lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilien kautta. [1, s. 354.]

Höyrystimen lämpö (Q_e) otetaan jäähdytettävästä nestevirrasta, kun puolestaan prosessi ottaa energiansa keittimelle tuodusta lämmöstä (Q_g). Imeyttimen ja lauhduttimen jäähdytys hoidetaan jäähdytysvedellä, jonka lämpö otetaan talteen jäähdytystornilla. Liuoslämmönsiirtimessä kuuma, väkevä liuos luovuttaa lämpöään imeyttimestä poistuvaan laimeaan liuokseen, minkä ansiosta absorptiolämmönpumpon hyötysuhde (COP) kasvaa. [1, s. 534.]

Höyrystimen höyrystinputkissa jäähdytettävä vesi virtaa jäähdytysaineen suihkuputkista ja jäähdytysaineen kokooma-altaasta. Imeyttimessä absorptioaine ruiskutetaan jäähdytettävän veden lämmönsiirrinputkille, ja laimentunut liuos kerätään kokooma-altaaseen. Keittimen kiehutusaltaaseen on sijoitettu höyrystyslämmön tuova primääriputkisto sekä imeyttimeltä palaavan laimean liuoksen suihkutusputkisto. Lauhdutin koostuu välilevyistä sekä putkista, joissa virtaa jäähdytysvesi. [1, s. 535.]

Absorptiopumpun käyttöä rajoittavat tietyt paine-, lämpötila- ja konsentraatorajat, jotka ovat ensisijaisesti riippuvaisia käytettävän työaineparin ominaisuuksista [1, s. 535].



Kuva 23. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate [1, s. 534]

3.5.5 Jakelu

Kuten vesikaukolämmössä, kaukojäähdytyksen toimitus asiakkaille tapahtuu putkiston välityksellä, veden toimiessa väliaineena. Jäähdytysveden käsittely tapahtuu samalla tavalla kuin kaukolämpövedenkin. Vesi lämpenee asiakkaan lämmönvaihtimessa, minkä jälkeen lämmennyt vesi johdetaan paluuputkea pitkin takaisin uudelleen jäähdytettäväksi. [1, s. 541.]

Jäähdytysveden toimituslämpötila vaihtelee tuotantotavasta riippuen. Absorptiotekniikalla tai vapaajäähdytyksellä päästään $+8\text{ °C}$:seen, kun taas kompressorijäähdytyksellä päästään aina $+6\text{ °C}$:n lämpötilaan asti. [1, s. 541.]

Jäähdytysveden lämpötilaa säädetään yleensä välillä $+6 - +12\text{ °C}$, riippuen ulkoilman lämpötilasta. Minimi meno- ja paluupuolen lämpötilaero vaihtelee $10-4\text{ °C}$, riippuen toimituslämpötilasta. Jäähdytysveden lämpötilan liukuva säätö parantaa kylmäkoneen COP -arvoa ja vapaan jäähdytyksen käyttömahdollisuutta. [1, s. 541.]

Kaukojäähdytyksen meno- ja paluuveden lämpötilaero on viidenneksen kaukolämmön vastaavista. Kylmän veden takia virtausnopeus pitää rajoittaa 1 - 2 m/s teräsputkien eroosiovaaran takia, kun kaukolämmössä nopeudet voi olla kaksinkertaisiakin. Siirrettävä lämpöteho puolestaan on n. kuusi kertaa pienempi kaukolämmön arvoihin verrattaessa. [1, s. 541.]

Kaukojäähdytyksen putkina voidaan hyödyntää erilaisia putkityyppejä ja materiaaleja kuten teräs, muovi ja lasikuitu. Mikäli käytetään eristettyjä putkia, täytyy villan käyttöä välttää sen kostumisvaaran vuoksi. Maan alle sijoitettavissa putkissa voidaan käyttää pelkkää muovipinnoitetta, jos lämpötila ei aiheuta liikoja häviöitä verkossa virtaavaan veteen. Muovipinnoitteella saadaan minimoitua korroosioriskit. Muovipinnoitetut putket soveltuvat erityisesti ahtaissa tiloissa käytettäväksi. [1, s. 541.]

4 Kaukolämmön lisävesi

Kaukolämmön lisävetenä käytetään yleisesti raakavettä, jolle on suoritettu kovuudenpoisto. Kaukolämpöverkon painetaso on sen verran alhainen, ettei kaukolämpöverkoon tarvitse täyssuolanpoistettua vettä. Vedessä jopa on tarpeen olla jonkin verran suoloja, sillä mittaukset toimivat tällöin paremmin. [5]

Veden epäpuhtaudet

Luonnon vesistöistä ilmakehään haihtuva vesihöyry on puhdasta, mutta sieltä alas saava vesi liuottaa ilmakehän kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten happea, typpeä, hiilidioksidia ja rikin ja typen oksideja. Vesi liuottaa myös maaperästä itseensä mineraaleja, kuten [3, s. 26]:

- kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) eli kalkkikivi
- magnesiumkarbonaatti (MgCO_3) eli dolomiitti
- piioksidi (SiO_2) eli silikaatti
- natriumkloridi (NaCl) eli ruokasuola
- metalleja, kuten rautaa (Fe) ja alumiinia (Al)
- orgaanisia elollisen luonnon hajoamistuotteita

Pahimmat kattilakiven muodostajat ovat kalsium, magnesium ja silikaatti. Kalsium ja magnesium saostuvat lämpötilan noustessa ja kovettuvat karbonaatteina ja sulfaatteina suolapitoisuuden kohotessa. Piioksidi voi puolestaan saostua suolojen kanssa tai muodostaa alumiinin kanssa silikaatteja. [3, s. 26.]

Lämpökuormituksen jatkuessa silikaatti väkevoityy kuumien pintojen lähelle. Kun lämpökuormitus lopetetaan, tapahtuu ns. hide-out piiloutumisilmiö, eli silikaatti siirtyy putken reunalle laimentaen SiO_2 -pitoisuutta virtausvyöhykkeessä. [3, s. 26.]

Natriumvuotoja voi tapahtua voimalaitoksen puolelle kaukolämpövaihtimien tai pumpujen jäähdytysvesivuotojen, kationivaihtimen natriumvuodon tai Na_3PO_4 -syötön seurauksena. [3, s. 26.]

Rauta ja kupari aiheuttavat korroosiota yhdessä hapen kanssa. Kokonaisrauta ja -kupari tarkoittavat hiukkasmuotoisen ja ionisoituneen raudan ja kuparin yhteismäärää

(mg/kg). Kupari voi myös syövyttää terästä ns. galvaanisen sähköparin muodossa. [3, s. 26.]

Myös happi luetaan epäpuhtaudeksi, sillä se kiihdyttää korroosiota. Jäännöshappi kertoo termisessä ja/tai kemiallisessa kaasunpoistossa veteen jääneen ja ilmapuodoissa liuenneen hapen määrän (mg/kg). [3, s. 26.]

Kiintoaineet aiheuttavat kerrostumia ja tukkeumia. Orgaaninen aines aiheuttaa myös kerrostumia sekä kuohumista. Öljy puolestaan muodostaa eristävän kalvon lämmönsiirtopinnoilla. [3, s. 27.]

4.1 Valmistus

Lisäveden valmistuksen vaiheet ovat [6, s. 282.]

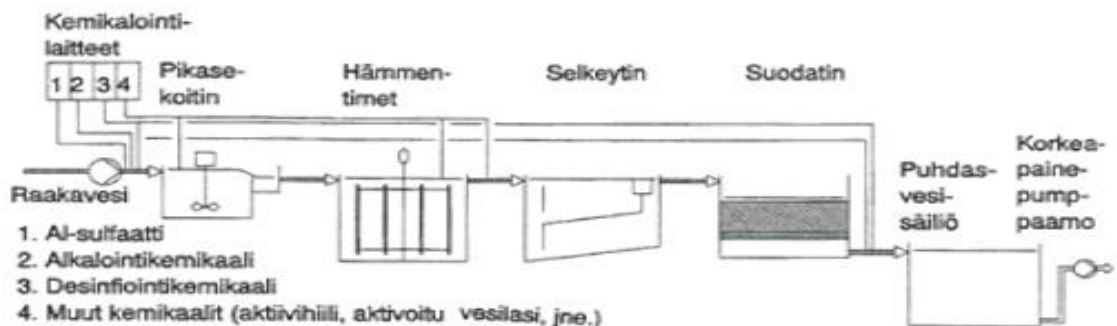
- karkeiden epäpuhtauksien poisto
- humuksenpoisto
- kovuudenpoisto (jos ei ole täyssuolanpoistoa, tarvitaan kovuudenpoisto)
- (täyssuolanpoisto)

4.1.1 Karkeat epäpuhtaudet

Prosessissa on erityisiä välppiä ja siivilöitä, joiden avulla suurimmat karkeat epäpuhtaudet saadaan poistettua. [6, s. 282.]

4.1.2 Humuksenpoisto

Humuksenpoisto tapahtuu kuvan 24 mukaisesti.



Kuva 24. Humuksenpoiston periaatekaavio [6, s. 284]

4.1.3 Kovuudenpoisto

Pahimmat kattilakiven aiheuttajat ovat maasta veteen liuenneet kalsium- ja magnesiumsuolat. Veden lämpötilan noustessa niiden liukoisuus veteen pienenee ja ne pyrkivät muodostamaan kiinteitä kerroksia kuumille lämpöpinnoille. [3, s. 29.]

Veden kovuus kertoo kalsium- ja magnesiumsuolojen määrän vedessä. Kovuuden yksikkönä tunnetaan saksalainen kovuusyksikkö °dH (deutscher Härtergrad), joka kertoo, että 10 mg CaO:ta litrassa vettä vastaa 1 °dH yksikköä. °dH-yksiköissä vesi luokitellaan seuraavasti [3, s. 29.]:

erittäin pehmeä	°dH < 2,1
pehmeä	2,1 < °dH < 4,9
keskikova	4,9 < °dH < 9,8
kova	9,8 < °dH < 21
erittäin kova	°dH > 21

Vedestä voidaan kovuutta poistaa joko termisesti, vettä kiehumispisteeseen kuumentamalla, jolloin haluttu karbonaattikovuus saadaan hajotettua, tai kemiallisesti. [6, s. 284.]

4.1.4 Kovuudenpoisto pehmenyysuodattimella (ioninvaihto)

Veden pehmennykseen voidaan käyttää pehmenyysuodatinta. Pehmennettävä vesi virtaa ioninvaihtohartsin (kuva 25) läpi, jolloin haitalliset kalsium- ja magnesiumionit vaihtavat paikkaa natriumionien kanssa, eli natrium jatkaa matkaa veden kanssa ja kovuuden aiheuttajat jäävät ioninvaihtohartsiin. [3, s. 29.]

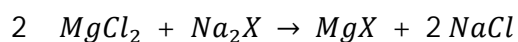
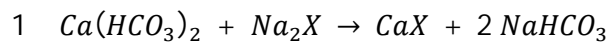
Kun pehmenyysuodatin on käsitellyt tietyn tilavuusvirran vettä, natriumionit loppuvat ja suodatin täytyy elvyttää. Elvytys hoidetaan n. 10 %:lla natriumkloridiliuksella, joltamalla sitä suodattimen läpi, jolloin elvytysliuoksen natriumionit tarttuvat hartsiin, ja kalsium- ja magnesiumionit jatkavat liuoksen mukana viemäriin. Elvytyksestä johtuvien katkosten välttämiseksi, asennetaan yleensä rinnan kaksi suodatinta, joista toinen on aina käytössä, ja toinen valmiiksi elvytettyinä ja valmiina käytettäväksi. [3, s. 29.]



Kuva 25. Ionivaihtoon käytettävää hartsimassaa [7]

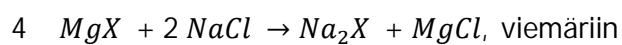
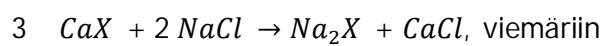
Jos kalsiumkarbonaatti (= kalsiumvetykarbonaatti) ja magnesiumkloridi ovat veden kovuuden aiheuttajia, tapahtuvat reaktiot seuraavasti [6, s. 284]:

X = kationinvaihtohartsia

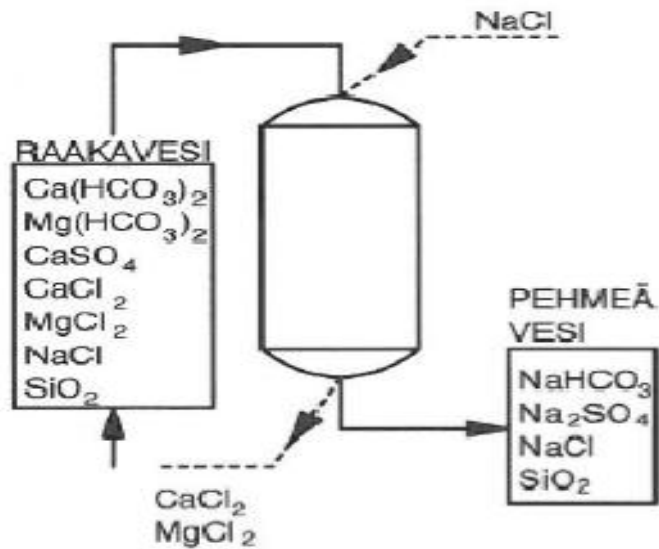


Elvytyksessä läpikäytävät vaiheet ovat vastavirtahuuhtelu, elvytys NaCl-liuoksella ja jälkipesu [3, s. 284].

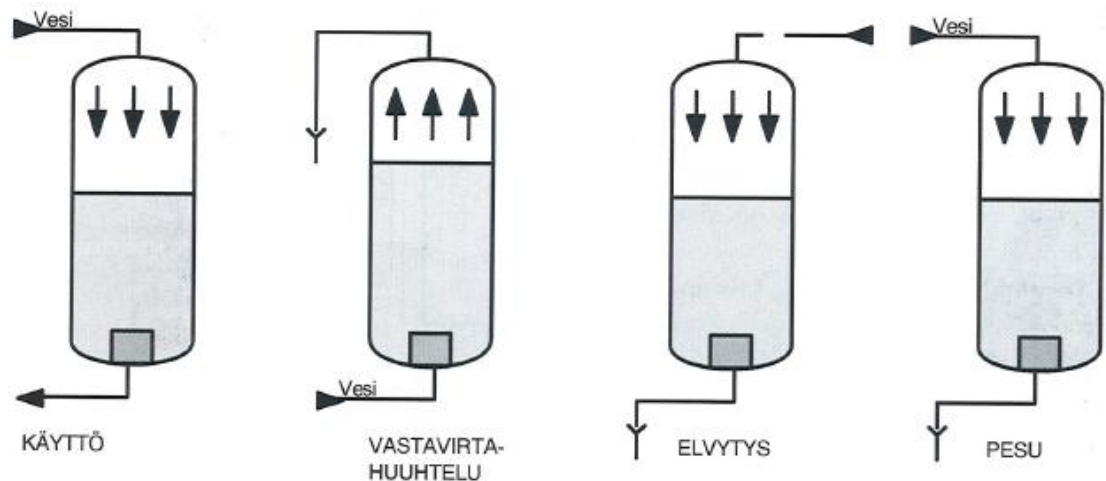
Elvytysreaktiot [6, s. 284]:



Kokonaissuolapitoisuus ei kovuudenpoistossa vähene. Pehmennyssuodattimella saavutetaan alle 0,04 mval/kg:n kovuus. Kovuudenpoistoa yleisimmin käytetään matalapaineisen lämmityshöyryn tekemiseen (1 - 20 baria) [3, s. 29]. (Kuvat 26 ja 27).



Kuva 26. Pehmennysuodattimen toimintaperiaate [6, s. 285]

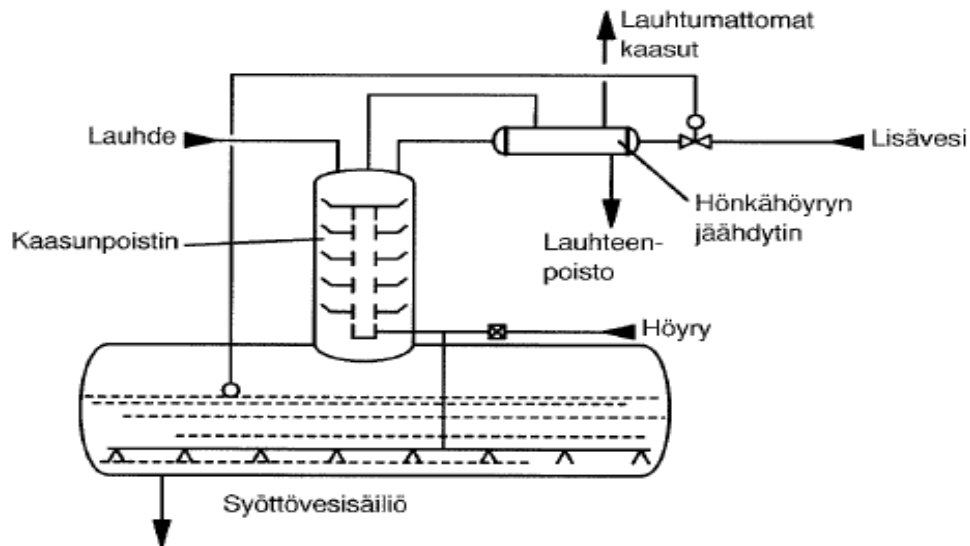


Kuva 27. Ioninvaihtimen eri käytön vaiheet [6, s. 285]

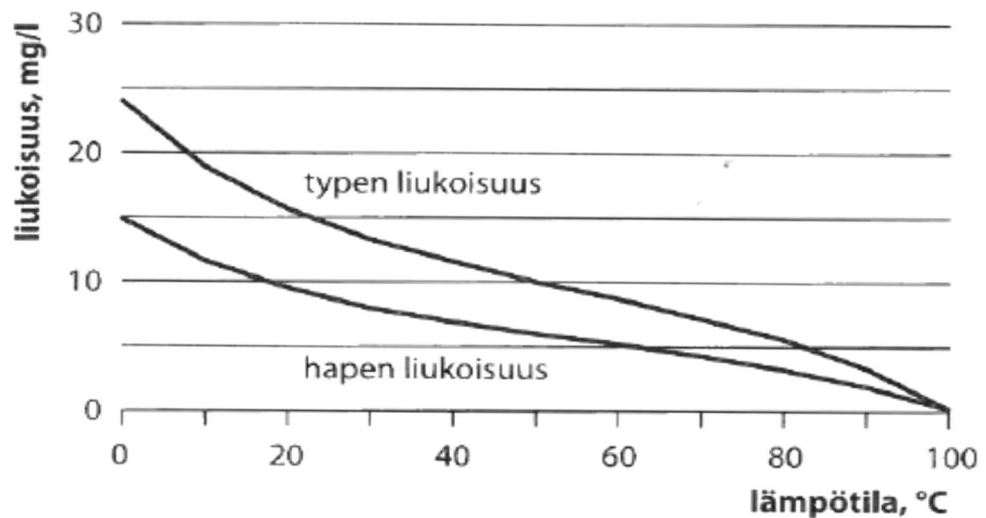
4.2 Terminen kaasunpoisto

Kaasujen liukeneminen veteen on riippuvainen paineesta ja lämmöstä. Liukeneminen pysähtyy, kun vesi saavuttaa kiehumispisteensä. Kaasunpoisto on sitä helpompaa, mitä nopeammin vesi saavuttaa kiehumispisteen, mitä paremmin vesi pysyy kyseisessä tilassa kulkiessaan kaasunpoistimen läpi, ja mitä tasaisemmin vesi saadaan hajotettua mahdollisimman pieniksi pisaroiksi. Kaasunpoistin on yleensä tornimainen säiliö, jonka sisällä on rei'itetystä teräslevystä tehtyjä välitasoja. Höyry johdetaan säiliöön alakautta, ja vesi virtaa reikälevyjien läpi ylhäältä alas. Kaasunpoistimen päällä on hönkähöyryput-

ki, jonka kautta vedestä poistuneet kaasut poistetaan, yleensä lämmöntalteenoton kautta. Terminen kaasunpoistin (kuva 28) voidaan rakentaa myös syöttövesisäiliön sisään ilman tornimaista rakennelmaa. [3, s. 33.] Kuvassa 29 nähdään hapen ja typen liukoisuus lämpötilan funktiona.



Kuva 28. Kaasunpoistin syöttövesisäiliön päällä [6, s. 288]



Kuva 29. Typen ja hapen liukoisuus veteen eri lämpötiloissa [3, s. 33]

4.3 Kemikaalien lisäykset

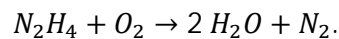
Kemikaaleja syötetään kaukolämmön lisä-, kierto ja täyttöveteen mm. pH-arvon säätämiseksi, hapen kemialliseksi poistamiseksi, kemiallisten reaktioiden hidastamiseksi

(esim. korrosio), sähköjohtavuuden nostamiseksi sekä vuotojen paikallistamiseksi. [1, s. 367.]

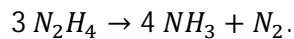
Annostelukohta vaihtelee laitoksen kytkennän mukaan. Yleisohjeena voidaan ehdottaa annostelua joko kaukolämmön kiertoveteen (paluuputkeen), tai lisä- ja täyttöveteen ennen verkkoon syöttöä. Kemikaalien pitoisuudet kaukolämpövedessä ovat yleensä varsin pieniä. [1, s. 367.]

4.3.1 Hydratsiini N_2H_4 , kemiallinen hapenpoisto

Hydratsiini on Suomessa käytössä pääasiassa hapensitomiseen vesi-höyry-kierrossa ja kaukolämpövesissä [1, s. 367]. Veteen laimennetun hydratsiinin käytössä ei muodostu haitallisia hajoamistuotteita, sillä se reagoi hapen kanssa, muodostaen vettä ja typpeä [1, s. 367-368; 3, s. 33]:



Korkeassa lämpötilassa ($> 200\text{ °C}$), hydratsiini hajoaa typeksi ja ammoniakiksi, minkä johdosta syöttöveden pH-arvo nousee. Reaktio [1, s. 368; 3, s. 33]:



Vaikka korroosion estämisen kannalta pH:n nousu on hyödyllistä, ei hydratsiinin tarkoituksena ole korroosiolta suojaaminen, vaan hapen sitominen vedestä. Tämän johdosta hydratsiini on syötettävä veteen kohdassa, jossa veden lämpötila on alle 200 °C , eli syöttövesisäiliöön kaasunpoistimen jälkeen. Hydratsiinia tulisi annostella niin, että veden N_2H_4 -pitoisuus olisi $0,05\text{--}0,2\text{ mg/kg, H}_2\text{O}$. [3, s. 33.]

4.3.2 pH:n säätö

Veden pH-arvo pyritään pitämään emäksisen puolella (noin $7,5\text{--}9,5$ riippuen tapauksesta) ja näin pyritään estämään korroosion syntyminen. Alkalointi ei saa kuitenkaan nostaa pH-arvoa liikaa, sillä emäksinen vesi on altis kuohumaan. [3, s. 34.]

Seuraavat alkalointiaineet ovat yleisesti käytössä (jakaantumiskerroin tarkoittaa kahden yhdisteen höyryfaasien konsentraatioiden suhdetta) [3, s. 34.]:

- ammoniakki (huono jakaantumiskerroin)
- sykloheksylamiini, (vahva alkali, huono jakaantumiskerroin)
- morfoliini, (heikko alkali, hyvä jakaantumiskerroin)
- butanolamiini, (vahva alkali, heikko haju, hyvä jakaantumiskerroin)
- aminometyylipropanoli, (vahva alkali, heikko haju, hyvä jakaantumiskerroin).

Ammoniakki on alkalointiaineista halvin, mutta se syövyttää voimakkaasti kuparia ja messinkiä. Ammoniakin jakaantumiskerroin on epäedullinen (14). Samassa tilavuudessa samanpaineisen ammoniakkihöyryfaasin moolimäärä on 14-kertainen vesihöyryyn verrattuna. Ihanteellisin jakaantumiskerroin on yksi. Butanolamiinin ja aminometyylipropanolin ominaisuudet ovat hyviä. Molemmat ovat vahvoja alkaleja, jakaantumiskerroin on noin yksi ja haju vähäinen, joten ne sopivat myös työhygienian kannalta hyvin. [3, s. 34.]

4.3.3 Yhdistelmäkemikaalit

Nykyisin on markkinoilla myös useamman kemikaalin korvaavia yhdistelmäkemikaaleja, jotka voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaisiksi. Yhdistelmäkemikaalit saattavat sisältää hapensitojia, pH:n säätäjiä sekä korroosioinhibiittejä. Näihin kemikaaleihin siirryttäessä on tutkittava tarkkaan niiden koostumus ja soveltuvuus kohteeseen. [1, s. 368.]

4.3.4 Kemikaalit johtokyvyn säätämiseen

Magneettisten lämpöenergiamittausten toiminnan varmistamiseksi on sähkönjohtavuus ylläpidettävä tasolla 50–100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. [1, s. 368.]

Korroosioriski kasvaa suolapitoisuuden kasvaessa. Suolat voivat myös toimia mikrobien ravinteena. Pehmennetty suolapitoinen lisävesi ei yleensä suolanlisäystä kaipaa. Kun lisävetenä käytetään suolatonta vettä, sopii johtokyvyn nostoon hyvin lipeä. Jos lipeän avulla ei saavuteta haluttua pitoisuutta, voidaan käyttää myös natriumsulfaattia. [1, s. 368.]

4.3.5 Värikemikaalit

Kaukolämpövedeen lisättävää fluorisoivaa väriä voidaan hyödyntää vuotojen etsimiseen, sillä se on helppo paikallistaa pieninäkin pitoisuuksina ultraviolettivalolla [1, s. 368].

Väriaineen täytyy olla myrkytön, riittoisa ja hyvin havainnoitava sekä se ei saa haitata laitteita tai kattiloita. Väriaineena on käytetty mm. pyraaniinia ja uraniinia, joita ei ole luokiteltu vaarallisiksi. [1, s. 368.]

4.4 Lauhteen puhdistus

Lauhteen puhdistuksen tarkoituksena on poistaa teollisuuden ja kaukolämpökeskusten korroosiotuotteet keskeytymättömässä käytössä sekä lauhdutin- ja lämmönvaihdinvuotojen aiheuttamat epäpuhtaudet. [3, s. 34.]

Lauhteen puhdistus tapahtuu joko mekaanisesti tai magneettisuodattimilla sekä myös ioninvaihtimilla. Mekaanisiin suodattimiin kuuluvat hiekka-, aktiivihili-, kynttilä- ja päällystesuodatin. [3, s. 34.]

Hiekkasuodattimella saadaan poistettua karkeat hiukkaset, jotka kooltaan ovat luokkaa 10 µm ja yli. Suodattimena käytetään kvartsihiekkää. [3, s. 34.]

Aktiivihillisuodattimet puhdistavat öljyisiä lauhteita. Jos öljypitoisuus on yli 10 mg/kg, tarvitaan öljynerotin ennen suodatinta. Jos lauhde sisältää öljyn lisäksi ruostetta, ei aktiivihillisuodatinta kannata käyttää, sillä öljy ja ruoste yhdessä tukkivat suodattimen. [3, s. 34.]

Kynttiläsuodatin koostuu useista lieriönmuotoisista patruunoista, jotka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja joiden ympärille on kiedottu tekokuitu- tai puuvillalankaa. [3, s. 34.]

Päälystesuodattimet ovat sylinterinmuotoisia säiliöitä. Niiden sisältä löytyy huokoisia elementtejä, jotka päälystetään tietyin väliajoin aineella, joka hoitaa suodatuksen. Liikaannuttuaan suodatin huuhdellaan ja päälystetään uudelleen. [3, s. 43.]

Sähkömagneettisuodattimen ympärillä on magnetointikäämi ja suodattimen sisäpuolella on noin metrin kerros rautakuulia. Kun suodatin on likaantunut, sen sähkövirta katkaistaan ja suoritetaan vastavirtahuuhtelu. [3, s. 34–35.]

4.5 Veden laatu

Oleellisinta kaukolämpöjärjestelmän kunnan säilymisen kannalta on oikea lisä- ja täyttöveden valmistus sekä kiertoveden puhdistus. Kiertoveden on laadultaan oltava sellaista, että rakennemateriaalit säästyvät korroosiolta ja ettei aiheuttavia kerrostumia muodostu järjestelmän eri osiin. Näin voidaan saavuttaa suunnittelun asettama käyttöikä verkolle ja kattiloille. [1, s. 363.]

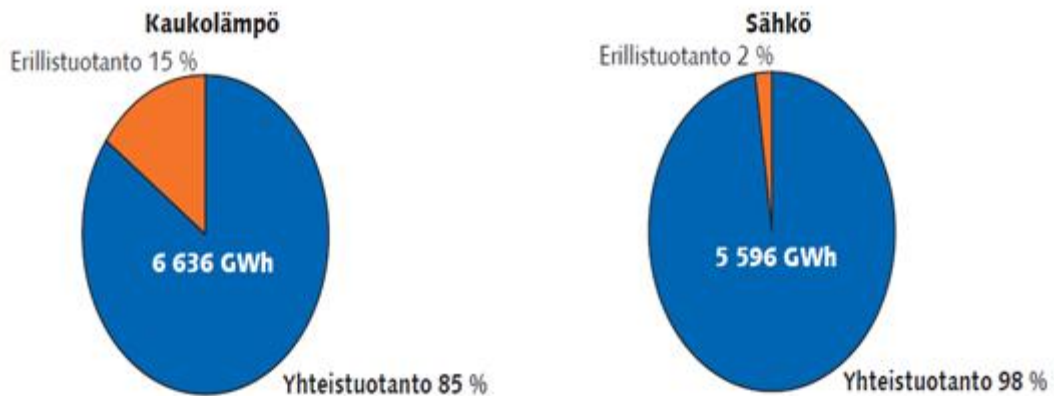
Kaukolämpöverkon lisä- ja täyttöveden laatu ja puhdistus muuttuvat laitokseen, kytkentätavan sekä käytettävän raakavesilaadun mukaan (liite 2). [1, s. 363.]

Suomessa ei juuri esiinny johdon sisäisiä korroosio-ongelmia. Ongelmat liittyvät useimmiten lämpöenergiamittareiden magneettisten virtausantureiden toimintaan. Mittaustarkkuus huononee ajan myötä, kun epäpuhtaudet pääsevät kerrostumaan mittarin pinnoille. Alhainen sähkönjohtokyky lisää mittarien puhdistustarvetta. [1, s. 360.]

Kiertoveden käsittelytapaan vaikuttaa mm. raakaveden laatu, veden vaihtuvuus sekä verkon koko. Mikäli on käytössä hyvälaatuista raakavettä ja veden vaihtuvuus on vähäistä, selvittää hyvin ilman hapenpoisto- tai korroosioinhibiitti-kemikaaleja. [1, s. 360.]

5 Kaukolämpö Helsingin Energiassa

Helsingin Energia tuottaa kaukolämmön pääosin yhteistuotantona (kuva 30.). Peruskuormasta huolehtivat voimalaitokset Hanasaassa, Salmisaassa sekä Vuosaassa. Kaukolämmön tuotantoa on hajautettu myös eri puolille verkkoa huippu- ja varalämpökeskuksien muodossa. [8]



Kuva 30. Yhteistuotanto Helsingin Energiassa vuonna 2010 [9]

5.1 Historia

Kaukolämmön tuotannon aloittamista tutkittiin jo vuonna 1913, jolloin sähkölaitoksen silloinen johtaja Bernhard Wuolle esitti sitä yhtenä vaihtoehtona kaupungin energiatarpeen tyydyttämiseksi. Ensimmäinen maailmansota kuitenkin lykkäsi tämän idean toimeenpanoa. [10]

Kaukolämmön toimitus alkoi höyrykaukolämpönä joulukuussa 1952 Suvilahden ympäristön teollisuusalueella, josta se laajeni myös Hämeentien itäpuolen liike- ja asuintaloihin sekä osittain Hermanniin. Laajimmillaan höyrykaukolämpöverkko oli vuonna 1969, 57 asiakkaan liittymistehon ollessa 69 megawattia. Sen jälkeen vesikaukolämpö on alkanut yleistyä, minkä johdosta asiakkaita on siirtynyt sen piiriin. [11, s. 320.]

Kaukolämpötoiminnan alkutaival oli varsin raskas, sillä se kohtasi monia teknisiä ongelmia ja epäluuloja jopa sähköalan asiantuntijoiden puolelta. Alkuvaikeuksien väistyt-

tyä kaukolämmitys lisääntyi nopeasti, ja se muodostuikin varsin tärkeäksi osaksi kaupungin energiahuoltoa 1960- ja 1970-luvuilla. [10]

Vesikaukolämmitys valtasi alaa varsin nopeasti kaukolämpötoiminnan aloittamisen jälkeen. Ensimmäinen vesikaukolämpöasiakas oli Perhon Hotelli- ja ravintolakoulu, joka kytkettiin jo vuonna 1957 vesikaukolämmön piiriin [9]. Vuonna 1962 lämmitysasiakkaita oli jo 500, joiden rakennustilavuus nousi yli 10 miljoonaan kuutiometriin, kattaen noin 60 000 kaupunkilaisen lämmitykset. [11, s. 320–321]

Aluksi verkkoon liittyi entisiä keskuslämmitystaloja, mutta pian tämän jälkeen lähiöiden liittyessä vesikaukolämmön piiriin, lisääntyi uudisrakentamisen määrä selvästi. [11, s. 321.]

1960-luvun puolivälin jälkeen kaukolämmitys on laajentunut valtavan nopeasti. Liittymisteho kasvoi vuosien 1962–82 välillä 275 megawatista 2142 megawattiin eli 7,8-kertaistui. Kuluttajien määrä tänä samana aikana yli 15-kertaistui, jolloin kuluttajien keskiteho aleni. [11, s. 321.]

Kaukolämmön kulutus ei ole kuitenkaan kasvanut samassa suhteessa kuin kaukolämmitettävä rakennustilavuus. Vuosien 1962–1982 aikana kaukolämmön kulutus kasvoi n. seitsenkertaiseksi, rakennustilavuuden yli kymmenkertaistuessa. Varsinkin 1970-luvun ns. energiakriisin jälkeen rakennusten lämpöeristyksiä ja kaukolämmön käyttöä tehostettiin siinä määrin, että saavutettiin huomattavia supistuksia rakennuskuutiometriä kohden kuluneen kaukolämmön kulutuksessa. [11, s. 321.]

Kaukojäähdytys

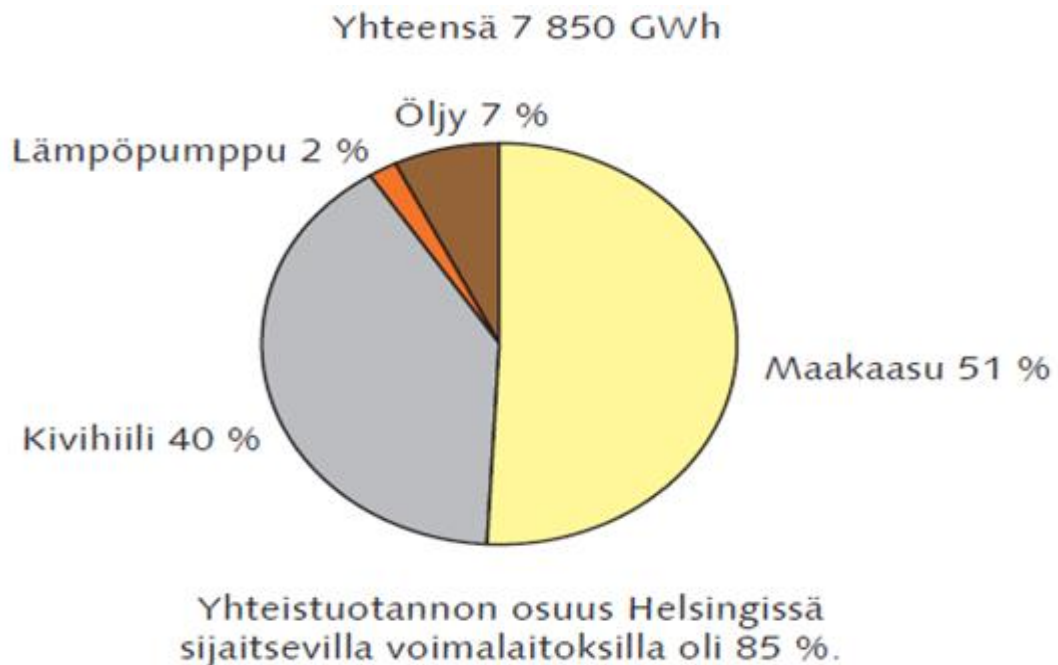
Kaukojäähdytys on tekniikkana Suomessa vasta varsin nuori. Ruoholahdesta vuonna 2000 käynnistynyt kaukojäähdytystoiminta on viime vuosina laajentunut nopeasti koko kantakaupungin alueelle. [12]

5.2 Nykyhetki

Helsingin kiinteistöt lämpiävät kaukolämmöllä yli 90 %:sesti. Helsingin Energia onkin Suomen suurin kaukolämmön toimittaja. Muihin Euroopan kaupunkeihin verrattuna, Helsinki on suurimpia kaukolämpöä hyödyntäviä kaupunkeja [10, 13].

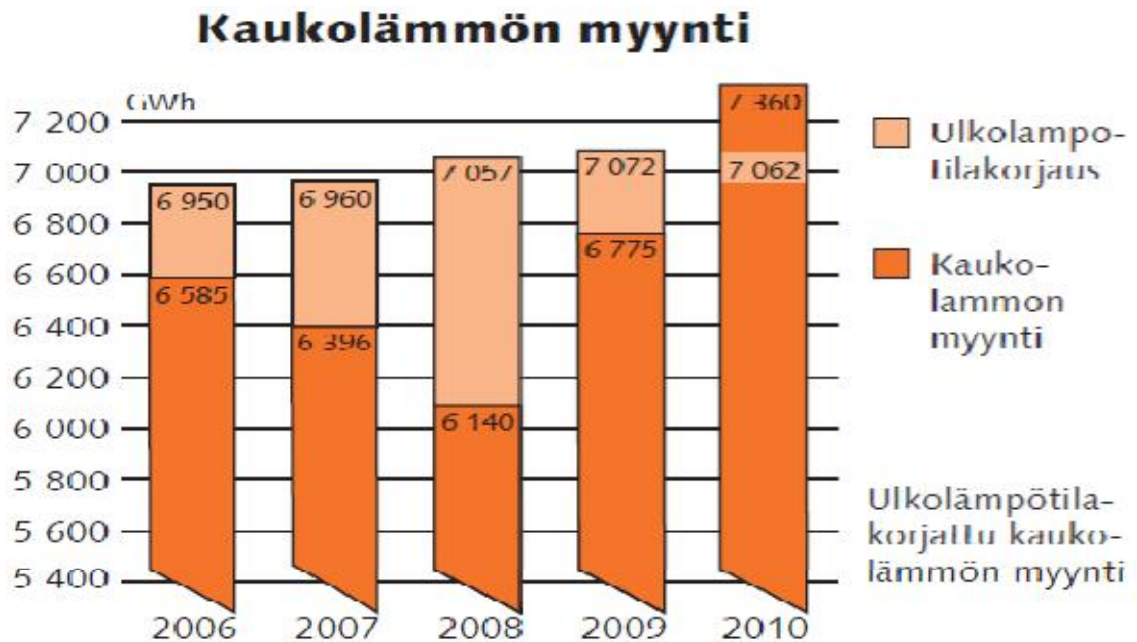
Toimitusvarmuus on Helsingissä erittäin korkealla. Keskimääräinen keskeytys kaikkien kuluttajien kesken on vuodessa alle kolme tuntia, ja useimmat ovat ennalta suunniteltuja. Toimitusvarmuutta lisää jakeluverkko, joka on rakennettu silmukkamallisesti siten, että lämmön välitys voidaan toteuttaa useampaa eri reittiä [14].

Verkon pituus on tällä hetkellä yli 1270 km ja sitä rakennetaan lisää vuosittain yli 20 km. Vuonna 1998 valmistuneen Vuosaari B-voimalaitoksen myötä valmistui myös n. 10 km pitkä tunneliosuus, joka yhdisti kaupungin Pääverkon ja Itäverkon, jonka myötä verkkojen painetta voidaan tukea myös kaupungin toiselta laidalta. Liitteessä 3 Helsingin Energian kaukolämpöverkon kartta [13, 14, 15]. Kuvassa 31 Helsingin Energian kaukolämmöntuotannossa käytetyt energiamuodot.



Kuva 31. Kaukolämmön hankinta vuonna 2010 [9]

Vuosittainen lämmönmyynti on viime vuosina ollut yli 7 000 gigawattituntia, jonka kulluttavat asiakkaina olevat yli 14 000 asiakaskiinteistöä, ja joista suurin osa on asuinkiinteistöjä. Asiakkaana on jonkin verran myös pientaloja, joita liitetään olemassa olevan verkon varrelta [13; 9]. Kuvassa 32 kaukolämmön myynti vuosittain 2006 – 2010.



Kuva 32. Helsingin Energian kaukolämmön myynti 2006 – 2010 [9]

Kaukolämpöveteen on 1990-luvun alusta syötetty väriainetta, jonka avulla vuotojen paikantaminen maastosta on helpottunut valtavasti. Värjääminen auttaa erottamaan kaukolämpö- ja vesijohtoverkon vuodot toisistaan, mikä nopeuttaa vuotojen korjausta [14].

Nykyisellään verkko on jaettu kahteen toisistaan erilliseen osaan, Itäverkkoon ja Pääverkkoon, joiden yhteenlaskettu tilavuus on n. 130 000 m³. Vuosaari pitää yllä Itäverkon keskipainetta (8,2 bar), ja Salmisaari sekä tarvittaessa myös Hanasaari säätävät Pääverkon painetta (6 bar). Tarpeen vaatiessa, Vuosaari voi tukea pääverkon keskipaineen ylläpitoa. Kuten aikaisemmin todettiin, paineiden ollessa erilaiset ja verkkojen erillään, ei verkon paineen säätöä voi keskittää vain yhteen paikkaan. Laitokset hoitavat myös omien alueidensa paisunnan sekä tarvittaessa verkon täytöt [16].

Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys kasvaa nykyisellään varsin kovaa vauhtia. Vuonna 2011 liittymisteho kaukojäähdytysverkolla on yli 100 MW, sen piiriin kuuluu yli 170 asiakasta ja verkostonpituus on noin 46 km ja tilavuus noin 18 000 m³. Kasvuennuste tulevalle vuodelle on noin 20 %. [17].

Keskustassa sijaitsevissa toimisto- ja liikerakennuksissa jäähdytys on toteutettu lähes kokonaan kaukojäähdytyksellä. Myös iso osa prosessien (IT-konesalit, kauppojen kylmälaitteet, jäähallit, sairaalalaitteistot, jne.) tarvitsemasta jäähdytystarpeesta hoidetaan kantakaupungin alueella kaukojäähdytyksen avulla (kuva 33.). Asuinrakennusten jäähdytys on myös viime aikoina ollut yleistymään päin [17].



Kuva 33. Helsingin kaukojäähdytysverkon piirissä olevat alueet [17]

Helsingin kaukojäähdytysverkosto on kolmanneksi suurin koko Euroopassa. Lähivuosina verkosto tulee leviämään uusille alueille, kuten Jätkäsaareen, Kalasatamaan sekä Ilmalan. Liitteessä 4 on Helsingin Energian kaukojäähdytysverkon kartta [17; 12].

5.3 Laitokset

Yleensä ajojärjestyksessä tulee ensin yhteistuotanto. Kun yhteistuotannon teho ei riitä, otetaan käyttöön vara- ja huippulämpökeskuksia. Järjestelmän kokonaisteho on yli 3000 MW.

Hanasaari

Toiminta Hanasaaren voimalaitosalueella alkoi jo vuonna 1909, Helsingin ensimmäisen höyryvoimalaitoksen käynnistyttyä Suvilahdessa. Kasvavan Helsingin kulutukseen vastaamaan valmistui Hanasaaren A-laitos vuonna 1960. Nykyisin käytössä oleva Hanasaaren B-laitos on käynnistynyt vuonna 1974, ja se käyttää polttoaineenaan kivihiiltä. Tuotantomuotona, kuten muissakin Helsingin voimalaitoksissa, toimii yhteistuotanto. Laitoksen sähköteho on 220 MW ja kaukolämpöteho 445 MW [18].

Hanasaaren A-laitos purettiin vuonna 2008. Alueella on myös erillinen huippu- ja varalämpökeskus, joka rakennettiin kantakaupunkiin rakennettavien uusien asuinalueiden lämmöntarpeen varmistamiseksi [18].

Salmisaari

Salmisaarella voimalaitostoiminta on alkanut jo 1953 A-voimalaitoksen aloittaessa toimintansa. Alueelle rakennettiin vuonna 1984 toimintansa aloittanut B-laitos, joka toimii nykyisin päätuotantoyksikkönä ja käyttää pääpolttoaineenaan kivihiiltä. Entisen A-voimalaitoksen tiloissa toimiva lämmöntuotantoyksikkö otetaan tarpeen mukaan käyttöön. Voimalaitoksen tuottamaa kaukolämpöä hyödynnetään myös alueella sijaitsevassa kaukojäähdytyskeskuksessa kaukojäähdytyksen tuotantoon [19; 20, s. 1].

Laitosten sähköteho (SaB) on 160 MW ja kaukolämpöteho (SaA + SaB) 180 + 300 MW [19].

Salmisaarella aloitti toimintansa Suomen ensimmäinen rikinpoistolaitos, joka käynnistyi vuonna 1987. Sen avulla saadaan vuosittain poistettua noin 80 % laitoksen savukaasujen rikkidioksidista. 1990-luvulla laitoksen polttotekniikkaa tehostettiin, minkä ansiosta typenoksidipäästöt pienenevät puoleen [19].

Alkaen vuodesta 2004 laitoksen polttoaineena käyttämä kivihiili on varastoitu maanalaisiin kalliosiiiloihin [19].

Vuosaari

Vuosaarella sijaitsevat A- ja B-voimalaitokset tuottavat nykyisin suurimman osan Helsingin Energian myymästä kaukolämmöstä ja sähköstä. Molemmat laitokset ovat valmistuneet 1990-luvulla (A: 1990, B: 1996) ja lukeutuvat tämän ja tuotantotekniikkansa johdosta maailman tehokkaimpiin ja puhtaimpiin. Voimalaitosten sähköteho on 630 MW ja kaukolämpöteho 580 MW [21].

Polttoaineena Vuosaarella toimii maakaasu. Molemmat yksiköt ovat niin sanottuja kombivoimalaitoksia, joissa energiaa tuottavat yhdistetyt kaasu- ja höyryturbiiniprosessit. Käytettävän tekniikan johdosta voimalaitosten hyötysuhde on yli 90 %, eli polttoaineena toimivan maakaasun energia saadaan hyödynnettyä melkein kokonaan [21].

Huippu- ja varalämpökeskukset

Talvisin käytössä olevat huippu- ja varalämpökeskukset huolehtivat eri puolilla Helsinkiä lämmöntarpeen riittävydestä. Niiden tehot vaihtelevat 56–336 MW:n välillä [22].

Lassilan, Vuosaaren ja Patolan lämpökeskusten polttoaineena toimii pääasiassa maakaasu. Alppilassa, Jakomäessä, Hanasaarella, Munkkisaarella, Myllypurossa, Ruskeasuolla sekä Salmisaarella polttoaineena käytetään puolestaan polttoöljyä. Tosin Myllypuroon on vaihtumassa polttoaineeksi kaasu vuonna 2012 [22].

5.4 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytyksen tuotanto on keskitetty Salmisaareen sekä Katri Valan lämpöpumppulaitokselle. Salmisaarella toimivat absorptiopumppaamot (SaX ja ShX), joissa saadaan tuotettua jäähdytysenergiaa myös vapaajäähdytyksellä merivesivaihtimien avulla. Absorptiopumput käynnistyvät, kun meriveden tarjoama jäähdytys ei enää riitä kattamaan tarvetta.

Katri Valan lämpöpumppulaitos tuottaa sekä kaukolämpöä että -jäähdytystä, ja on kooltaan suurin vastaavaa tuotantoa tarjoava laitos koko maailmassa. Talvisin lämpöpumppulaitos hyödyntää kaukolämmön tekoon, puhdistetun jäteveden mukana mereen virtaavan lämmön. Jäähdytysenergia puolestaan otetaan vapaajäähdytyksen periaatteella suoraan merivedestä. Kesäisin lämpöpumput tekevät sekä kaukolämpöä että -jäähdytystä, jolloin lämpöä otetaan talteen kaukojäähdytysverkosta. Katri Valan tuotannossa aiheutuneet päästöt ovat jopa yli 80 % pienemmät, kuin jos lämpö olisi tuotettu erillistuotannolla tai jäähdytys toteutettu kiinteistökohtaisella kompressorijäähdytyksellä. Laitoksen tuotantoteho on 90 MW kaukolämmön ja 60 MW jäähdytyksen osalta [23].

6 Kaukolämmön lisäveden valmistus Helsingin Energiassa

Kaukolämmön pehmenneen lisäveden valmistus Helsingin Energiassa tapahtuu voimalaitoksilla Salmisaarella, Vuosaarella sekä Hanasaarella. Aikanaan myös Myllypuron voimalaitoksella valmistettiin vettä. Huippu- ja varalämpökeskuksista Jakomäessä sekä Patolassa on ollut mahdollisuus lisäveden (raakaveden) syöttöön verkolle. Nykyään Patolasta laitteistot on purettu ja Jakomäessä ne ovat olleet vain 3 - 4 päivää aikanaan testikäytössä, minkä johdosta tässä työssä ei tarkasteltu kyseisten keskusten vedenkulutusta [24].

Kaikilla laitoksilla kaukolämmön lisävesi valmistetaan HSY:n vesijohtoverkosta otetusta raakavedestä, jolle suoritetaan pehmennyssuodattimen avulla pehmenys. Laitoksilla on myös kiertoveden puhdistusta, joka tarkoittaa verkossa kiertävän veden puhdistamista [25].

HSY:n verkosta on myös mahdollista suorittaa "hätätäyttöä", mutta silloin tulee ottaa huomioon, että käytössä on kovuudenpoistamatonta vettä, jonka käytöstä voi aiheutua muita ongelmia muualla verkolla [5].

Seuraavassa käydään laitoskohtaisesti läpi voimalaitosten lisäveden valmistusta.

6.1 Hanasaari B

Hanasaaren vedenkäsittelylaitoksella kaukolämmön lisäveden valmistukseen on kaksi pehmennyssuodinta, joista normaaliajossa toinen on käytössä ja toinen elvytettyinä varalla [26].

Raakavesi otetaan raakavesialtaan kautta vesijohtoverkosta, kuten muillakin laitoksilla, ja johdetaan pehmennyssuodattimiin. Pehmennyssuodinten jakson pituus on 3000–4000 tonnia, riippuen paljolti raakavesisäiliön veden laadusta. Raakavesialtaaseen johdetaan myös laitoksen apulauhteet, minkä vuoksi vedet ovat lisäveden tuotantoa ajatellen parempilaatuisia ja vaativat täten myös vähemmän käsittelyä laitoksen käydessä. Jos kesällä laitoksella ylläpidetään kaukolämmön paisuntaa höyrykehittimen avulla, niin pehmentimien jaksojen pituudet lyhenevät noin 1000 tonniin. Tämä johtuu siitä,

että raakavesialtaaseen ajautuu kovin vähän apulauhteita ja näin ollen raakavesi on periaatteessa vesijohtovettä, mikä puolestaan vaatii enemmän pehmenneyskapasiteettia [26].

Pehmenneysuodattimen jälkeen tapahtuu terminen hapenpoisto kaasunpoistimessa. Hapenpoistimen jälkeen veteen syötetään vielä hapenpoistokemikaalia ennen veden paisuntasäiliöön päätymistä [26].

Suodattimet elvytetään muiden laitosten tavoin NaCl-liuoksella. Hanasaassa suolan annostelu suolaliuottimeen poikkeaa muista käsin annostelun osalta. Laitokselle tuodaan suola 40 kg:n säkeissä, jotka laitosmiehet purkavat käsin säiliöön, kun taas muiden voimalaitosten osalta suola tuodaan kuorma-autoilla irtotavarana ja kipataan suolaliuottimiin [26].

Hanasaari on lisäveden valmistuksessa kuitenkin varsin passiivisessa roolissa, johtuen laitoksen iästä ja sieltä lähtevien putkien ja venttiilien kapasiteettien pienestä koosta [27].

Hanasaaren pehmenneysuodattimen elvytyskiertoon kuuluvat vastavirtahuuhtelu, suolan syöttö, syrjäytys sekä pesu [16].

6.2 Salmisaari B

Salmisaaren tuotannosta huolehtii kokonaisuudessaan yksi pehmenneysuodatin. Suodattimen mennessä elvytykseen, normaalisti sivuvirtapuhdistuksesta huolehtiva pehmenneysuodatin 1 hoitaa veden valmistuksen, eli ne on kytketty ns. ristiin [25].

Pehmennysprosessi lähtee liikkeelle raakavesisäiliöstä, jonne otetun vesijohtoveden lisäksi johdetaan myös prosessista palautuneet lauhteet. Raakavesisäiliöstä vesi johdetaan pehmenneysuodatin 2:lle, jossa tapahtuu varsinainen lisäveden valmistus. Pehmenneysuodatin on kationivaihdin, joka ladataan natriumilla. Ioninvaihtomassaa suodattimessa on yhteensä 5000 litraa [25].

Suodattimessa vesi virtaa ioninvaihtomassan lävitse, minkä seurauksena vedestä ioninvaihtomassaan jäävät kovuutta aiheuttavat magnesium ja kalsium, ja massaan sitoutunut natrium poistuu veden mukana [25].

Pehmennetty vesi johdetaan tämän kaasunpoistimeen, jossa tapahtuu terminen kaasunpoisto. Tämän jälkeen veteen syötetään vielä hapenpoistokemikaalia, ennen sen päätymistä kaukolämmön paisuntasäiliöön, jossa se on valmiina käytettäväksi verkon vaihteluiden tasaamiseksi [25].

Salmisaaren pehmenyysuodattimen elvytysten välisen jakson pituus on noin 5000 tonnia. Elvytyskiertoon kuuluvat vastavirtahuuhdeltu, vuorisulaliuoksen syöttö, syrjäytys sekä pesu [25].

6.3 Vuosaari A ja B

VuA

Vuosaaren A-laitoksella ei varsinaista lisäveden valmistusta tapahdu, mutta siellä puhdistetaan kaukolämpöverkossa kiertävää vettä. Periaatteena kiertoveden puhdistuksessa on erottaa sivuvirran avulla pieni määrä kierrosta ja puhdistaa se patruuna- ja pehmenyysuodattimen avulla [16].

Vuosaari A:n suorittama kaukolämpöverkon ns. "hätätäyttö" on kuitenkin mahdollista laitoksen lisävesisäiliöstä, joka on voimalaitoksilla käytettävää täyssuolanpoistettua vettä. Tätä täyssuolanpoistettua vettä hätätäyttöön käytettäessä on kuitenkin huomiotava, että verkkoon pääsee "liian" puhdasta vettä, josta voi aiheutua muita ongelmia muualla verkolla [16].

Täyssuolanpoistettua vettä on mahdollista käsitellä, syöttämällä siihen johtokyvyn nostamiseksi lipeää tai natriumsulfaattia, joiden ansiosta vesi sopii paremmin kaukolämpöverkossa käytettäväksi [1, s. 368]. Nykyisellään ei kuitenkaan ole millään laitoksella kyseisen järjestelyn toteuttamiseen tarvittavia kytkentöjä tai laitteita [16].

VuB

Vuosaaren B-laitoksen kaukolämmön lisäveden valmistus toteutetaan, kuten muillakin voimalaitoksilla. Raakavesisäiliöön otettu vesi johdetaan pehmenyysuodattimen läpi, josta se jatkaa kaasunpoistimen kautta käyttöön. Vuosaassa vesi johdetaan laitoksen lämpöakkuun, jolla hoidetaan verkon paisuminen ja täytöt. Hydratsiini annostellaan Vuosaassa lämpöakkuun [16].

B-laitoksen kaukolämmön lisäveden syöttö hoidetaan kaukolämpö akusta. Syöttöä kuitenkin rajoittaa akun paisuntavara, vaikka akun tilavuus itsessään on noin 30 000 m³. Suuremman vuodon sattuessa on kuitenkin mahdollista tukea verkon vedentarvetta melkein koko akun kapasiteetilla. Tällöin käsiventtiilin takana olevan linjan paineen määrää akun hydrostaattinen paine. Pitää kuitenkin huomioida että kyseiseen toimintaan turvaudutaan vain viimeisenä keinona, sillä akun säätövara poistuu [16].

Vuosaaren pehmenyysuodattimen elvytyskiertoon kuuluu vastavirtahuuhtelu, suolan syöttö, syrjäytys sekä pesu. Elvytyksestä aiheutuu n. 2,5 - 3 tunnin keskeytys lisävedentuotantoon, johon on varauduttava täyttämällä akku ennen elvytyksen alkua [16].

6.4 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytysverkossa käytettävä vesi otetaan kaukolämpöverkon paluupuolelta, eikä sitä siis valmisteta erikseen kylmäverkon tarpeisiin. Otettava vesi jäähdytetään merivesivaihtimien avulla, sekä Katri Valassa jätevedellä, ja johdetaan kylmäverkkoon [28].

Lisäveden täyttöä on mahdollista tehdä Salmisaassa (SaX) sekä Katri Valan lämpöpumppulaitoksella. Täyttöjä tehtäessä on myös siis varauduttava kaukolämpöverkon paineen laskuun ja siitä tulevaan täyttötarpeeseen [24].

7 Tulokset ja päätelmät

7.1 Tulokset

Tehtävä tarjosi melkoisen haasteen, sillä tietojen metsästäminen pienissä osissa eri puolilta oli varsin hankalaa ja aikaa vievää. Tietoa on pikku hiljaa päässyt karkaamaan yrityksestä eläköitymisten seurauksena, ja tämän johdosta on helppo ymmärtää, miksi työ oli alun perin pistetty aluilleen.

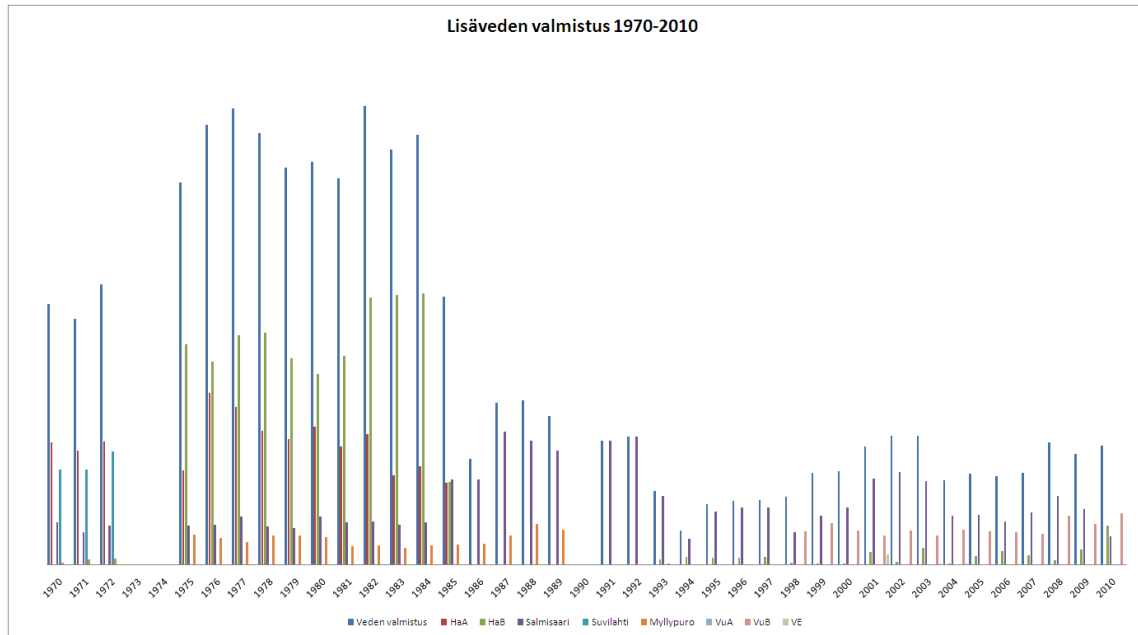
Asioista tietävien ihmisten metsästäminen oli loppuvaiheessa jo melkein pä tuskallisen hankalaa, sillä varsinkin laitosten historiasta tarkemmin tietävien henkilöiden määrä on olemattoman pieni. Tämän johdosta varmaa tietoa on noin 15–20 vuoden ajalta.

Tilastojen tulkinnassa joutui käyttämään reilusti harkintaa, sillä tilastointitavat ovat vuosien varrella muuttuneet ja eläneet jonkin verran. Tämän johdosta 1970-luvulta 1990-luvun alkuun käytössä olevia tilastoja ei pysty pitämään vertailukelpoisina, joten tarkempia tulkintoja tulisi muodostaa vain uusinta (n. 15 vuotta taaksepäin) dataa hyödyntäen.

7.1.1 Lisävesi

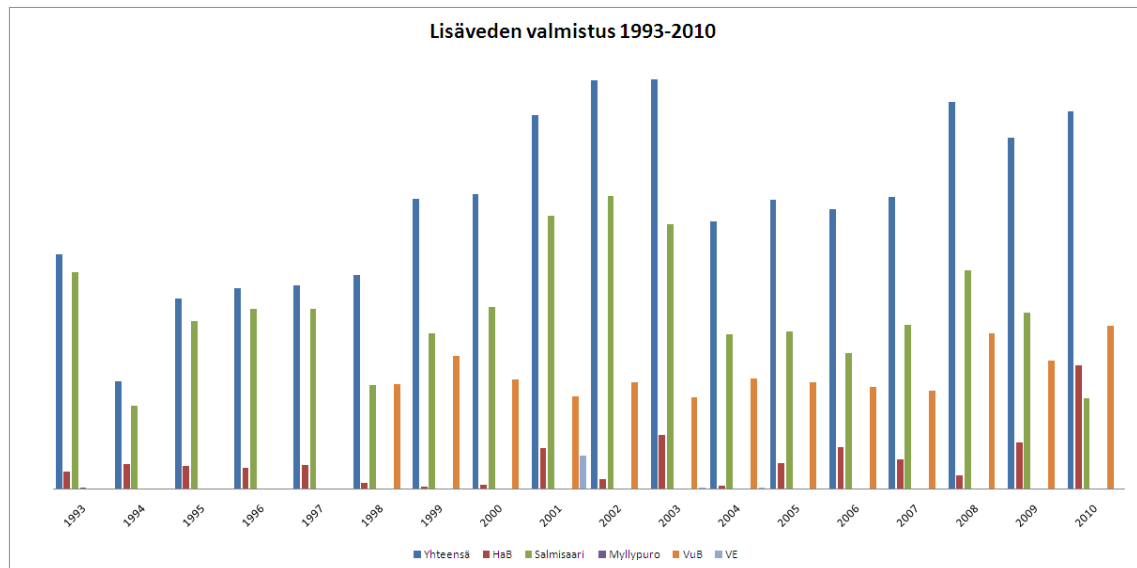
Aloitin työhön paneutumisen tutustumalla jokaisen laitoksen vedentuotantoon. Lisäveden valmistus oli minulle onneksi jo entuudestaan jossain määrin tuttua, sillä seitsemän Sappin (ent. M-Real) Kirkniemen paperitehtaan voimalaitoksella vietettyä kesää olivat muodostaneet minulle varsin selkeän kuvan mistä on kyse. Tosin siellä tutummaksi oli tullut höyryntuotantoprosessissa käytettävän täyssuolanpoistetun veden valmistusprosessi, mutta varsin nopeasti selvisi pehmennysprosessin olevan sitä yksinkertaisempi.

Sain varsin asiantuntevaa ja osaavaa opastusta vedenvalmistuksesta, varsinkin Jari Heljanderilta, joka toimii yrityksen prosessikemian asiantuntijana Voimalaitoskemian puolella. Tilastojen metsästäminen kanssa voimalaitoskemian ryhmäpäällikkö Virve Vaahtera alaisineen avustivat minua varsin paljon.



Kuva 34. Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden valmistus 1970 alkaen.

Tilastojen oikeellisuudesta täytyy todeta, että vuodesta 1993 taaksepäin ne ovat varsin epätarkkoja lisäveden osalta. Esimerkiksi lisäveden kulutuksen osalta on tilastoitu mitä ilmeisimmin kaikki voimalaitoksilla käytetty, pehmennetty kaukolämpövesi sekä täys-suolanpoistettu höyryntuotantoprosessissa käytettävä vesi, kun taas vuodesta 1993 lähtien pehmennetty kaukolämmön lisävesi on vedenkäsittelylaitosten vuosiraporteissa eriteltyinä. Tästä johtuen tilastojen tarkastelussa on oltava varsin kriittinen ja mahdolliset päätelmät kannattaa perustaa vuodesta 1993 alkaviin lukuihin. Lisäveden kulutuksen runsaan muutoksen huomaa varsin hyvin kuvassa 34 olevasta Excelillä tehdystä kuvaajasta.



Kuva 35. Helsingin Energian kaukolämmön lisäveden valmistus 1993–2010.

Kuvasta 35 nähdään pehmenetyn kaukolämmön lisäveden valmistus yksiköittäin sekä yhteensä vuodesta 1993 alkaen. Kuvasta nähdään Salmisaaren olevan suurimman kapasiteettinsa ansiosta hallitsevassa asemassa myös lisäveden valmistuksessa. Kuten aiemminkin on mainittu, Hanasaarella on vedenvalmistuksessa passiivinen rooli. Vuoden 2010 luvut mitä luultavimmin selittyvät Salmisaarella tehdyllä akun tarkastuksella, jonka johdosta Salmisaaren vedenvalmistus oli hetken aikaa kokonaan seis.

Tilastot ovat joltain osin myös vajavaiset, sillä en onnistunut löytämään kaikkien laitosten tietoja joka vuodelta. Tosin kaikki puutteet ajoittuvat aiemmin mainittuihin epätarkkoihin vuosiin. Hanasaari A:n osalta puuttuvat tiedot vuosilta 1973–1974 ja 1986 -, Hanasaari B:n vuosilta 1986–1992, Salmisaaren vuosilta 1973–74 ja 1990 sekä Myllypuro vuosilta 1973–74 ja 1990–1992. Mainittakoon myös, että Salmisaarta on käsitelty tilastoissa yhtenä yksikkönä ja kyseisten laitosten vedenkulutukset on yhdistetty SaB-yksikön käynnistettyä SaA-vedentekolaitoksen purun kanssa samana vuonna.

Huomautettavaa on myös Vantaan Energian kanssa käydyn kaupan aiheuttamasta hävikistä, joka on huomioitu lisäveden kulutuksessa. Kyseinen myyty määrä on siis vähennetty vuosittaisesta kulutuksesta. Kyseiset myydyt määrät ovat nähtävissä kuvissa 34 ja 35.

Työtä aloitellessani havaitsin vettä käytetyn myös huippu- ja varalämpökeskuksilla. Vaikka kulutus oli ollut varsin pientä, niin aluksi se oli tarkoitus sisällyttää raporttiin. Erikoisasiantuntija Pekka Iso-Herttua haastateltuani kävi kuitenkin ilmi, että tilastoihin merkitty vedenkulutus oli pesuihin ja muuhun laitosten normaaliin toimintaan käytettyä vesijohdosta otettua raakavettä. Tämän johdosta kaikki näiden laitosten lukemat on jätetty raportista pois.

Tämän hetkinen lisäveden valmistuskapasiteetti oli helppoa selvittää. Valmistusta tapahtuu nykyisin siis pelkästään voimalaitoksilla, ja tilanne on ollut nykyisenlainen vuodesta 1998 lähtien, kun Vuosaaren B-laitos käynnistyi. Lisävesikapasiteetin riittävyttä tulisi mahdollisesti tarkastella tarkemmin tuotantorakenteen muuttuessa.



Kuva 36. Lisäveden valmistuksen sekä säiliöiden riittävyys

Kuvassa 36 on kuvattu tämän hetkinen lisäveden riittävyys. Kuvassa nähdään vedentuotannon kapasiteetti, laitoksilla olevien säiliöiden tilavuus, sekä molemmat yhteenlaskettuna. Laitoksilla oleva vedentuotantokapasiteetti ei pysty millään korvaamaan suuremman vuodon aiheuttamaa hävikkiä, joten säiliöiden riittävyys on varsin rajallinen. Säiliöiden tilavuuksissa on huomioitu voimalaitosten lämpöakkujen osalta vain tehollinen tilavuus, eli vesimäärä jonka luovuttaminen ei aiheuta laitoksen normaalitoimintaan minkäänlaisia häiriöitä. Vettä olisi siis tarpeen niin vaatiessa saatavissa sekä Sal-

misaareissa että Vuosaareissa kymmeniä tuhansia kuutiometrejä, mutta tähän turvautuminen aiheuttaisi akkujen käyttökatkoksen pidemmäksi aikaa.

Lisävesien tuotannosta minulla jäi mysteeriksi mikä Myllypurossa olleen vanhan voimalaitoksen tuotantokapasiteetti on aikanaan ollut. Itäverkolla ei ole ollut muuta veden valmistusta ennen VuB-laitoksen valmistumista, mutta vettä on voitu ottaa verkkoon ainakin Herttoniemen lämmönvaihdinaseman kautta.

7.1.2 Paineensäätö

Tehtävänäni oli myös tutustua kaukolämpöverkon paineensäätöön, johon sain apua laitosten automaatiomestareilta. Normaalitilanteessa Salmisaari ja Hanasaari hoitavat, kuten aiemmin on mainittu, Pääverkon keskipaineen ylläpidon, paisunnan sekä täytöt. Tarvittaessa Vuosaari osallistuu myös Pääverkon keskipaineen ylläpitoon, erityisesti suurten vuotojen yhteydessä. Vuosaari puolestaan hoitaa Itäverkon keskipaineen ylläpidon, paisunnan ja täytöt.

Kriittisiä tilanteita voimalaitoksille aiheutuu, jos paluupuolella sijaitsevien pumppujen imupaineet pääsevät äkillisesti laskemaan. Jos imupaineesta aiheutuva suoja pääsee kytkeytymään, KL-pumput pysähtyvät ja höyryturbiinit menevät vastapaineen ohjajana pikasulkuun. Yksinkertaisemmin, tästä aiheutuu suunnittelematon alasajo, joka on kaikissa tilanteissa ei toivottu häiriö.

Täyttöjä varten on käytössä vakionopeudella toimivat pumput, joiden säätö on toteutettu kuristussäädöllä. Kuristussäätöä käytetään pääasiassa sen nopeuden johdosta, sillä taajuusmuuttajalla säädön toteutuminen on hitaampaa.

Pumppujen historioita oli hankala selvittää, mutta jokaiselta laitokselta epäiltiin, että samat pumput ovat pysyneet koko laitoksen historian ajan, tai että tuotot ovat ainakin pysyneet samana. Tässä kuitenkin käytettiin oletusta, jonka johdosta on syytä suhtautua pienellä varauksella niistä johtuviin tuloksiin.

Hanasaari

Hanasaaren järjestelmä on rakennettu Salmisaaren kanssa samalla tavalla toimivaksi, ja molempien laitosten ollessa ajossa ne säätävät painetta yhdessä. Laitosten paisuntasäällöt säätävät pintaansa koko ajan toistensa suhteen ja pyrkivät pitämään tilavuuden suhteessa toisiinsa samana. Hanasaaren järjestelmä poikkeaa Salmisaaresta oikeastaan vain pienempien pumppujen osalta, joita on siis myös kaksi normaalikäyttöön ja yksi hätätäyttöä varten. Hanasaari A:n pumppujen osalta tietoja ei löytynyt.

Salmisaari

Salmisaaren täytöissä säätö normaalisti toteutetaan yhden pumpun ja yhden venttiilin avulla, mutta tarpeen niin vaatiessa, toinen pumppu tulee mukaan rinnalle tukemaan. Säätö tapahtuu yhden venttiilin kautta, niin kauan kuin sillä vain on säätövaraa, mutta tarpeen mukaan säädössä käytetään hyväksi myös toista venttiiliä. Jos kahden pumpun tuotto ei ole riittävää, niin rinnalle on mahdollista ottaa vielä kolmas, hätätäyttöihin tarkoitettu pumppu. Sen tuottoa on mahdollista säätää vain sokkona, sillä säätöventtiilinä toimii moottoriventtiili, jolle ei ole asentomittausta. Hätätäyttöpumppu on muuten samanlainen kuin muutkin kaksi täyttöpumppua, mutta sen suuremman sähkömoottorin pyörimisnopeus on rajoitettu, minkä ansiosta nostokorkeus on saatu suuremmaksi.

Salmisaareissa verkon paineensäätö toimii niin sanotusti jatkuvana, eli järjestelmä "haistelee" verkon painetta jatkuvasti ja pyrkii toteuttamaan säädön käyttäjän määrittämälle paineelle. Ainoat viiveet, joita paineensäädössä aiheutuu, johtuvat siis suoraan automaatiojärjestelmän tiedonsiirron viiveistä (millisekunneista sekunteihin).

Salmisaareissa nykytilanne on pysynyt samana vuodesta 1984 lähtien, jolloin Salmisaari B-laitos aloitti toimintansa. Pumput ovat siis pysyneet samana sieltä asti. Huoltojen yhteydessä pumppujen pesiä on saatettu uusia, mutta tuotto on siis pysynyt muuttomattomana.

Vuosaari

Vuosaareissa kaukolämmön keskipaineen ylläpidon automatiikasta sain selville seuraavaa [29, s. 16]:

Sekä Pääverkon että Itäverkon keskipaineen automatiikat käynnistävät keskipainepumppujen automatiikat, vaihtoautomatiikat ja ottavat täytön ja paisunnan säätöventtiilit säädölle. Pumppujen automatiikka käynnistää keskipaineumpun, kun täyttöventtiili raottuu tai kun täytöllä on pyyntiä tarpeeksi. Toinen pumppu

käynnistyy rinnalle, jos keskipaine laskee alle asetusarvon. Rinnalle käynnistynyt pumppu täytyy pysäyttää käsin. Pumput pysähtyvät, kun täyttöventtiili on ollut kiinni 50 sekuntia ja pyyntiä täyttöön ei ole.

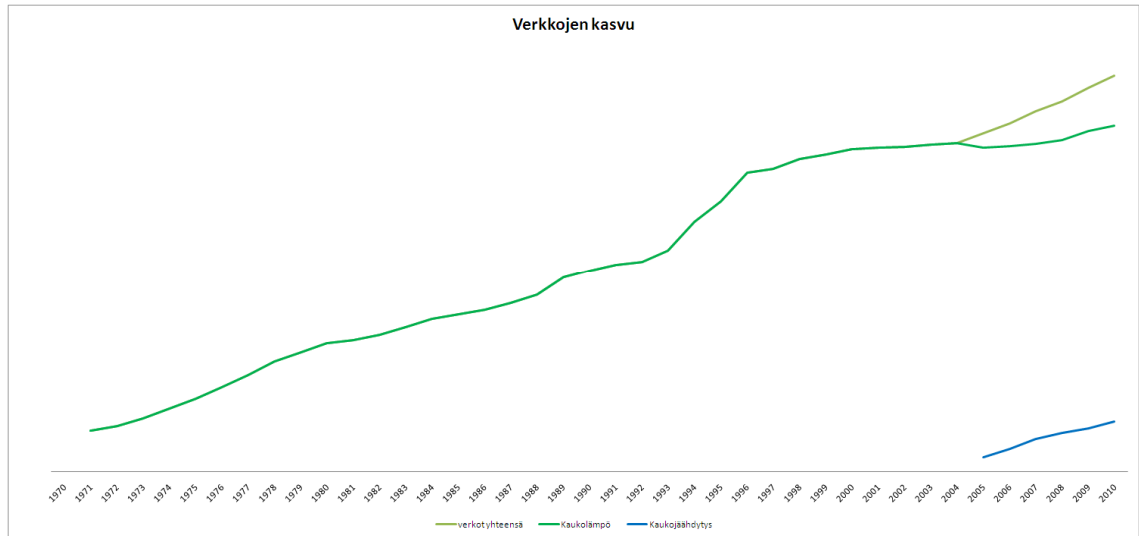
Vuosaari onkin siis, kuten aiemmin mainittiin, passiivisempi Pääverkon säätäjä kuin Salmisaari ja Hanasaari.

Vuosaari A:n osalta ei ole muuta mainittavaa, kuin nykyisin hätätäyttöpumppuna toimiva entinen keskipaineensäätöön käytetty pumppu. Käsiventtiilin takana sijaitsevan pumpun avulla voidaan avustaa Itäverkon hätätäyttöä. Vuosaaren B-laitokselta Pää- ja Itäverkon syöttöön on olemassa omat pumput. Laitoksen lämpöakussa on paisuntavara, eikä siellä siis ole erillistä paisuntasäiliötä. Itse akku on tilavuudeltaan 30 000 m³.

7.1.3 Verkko

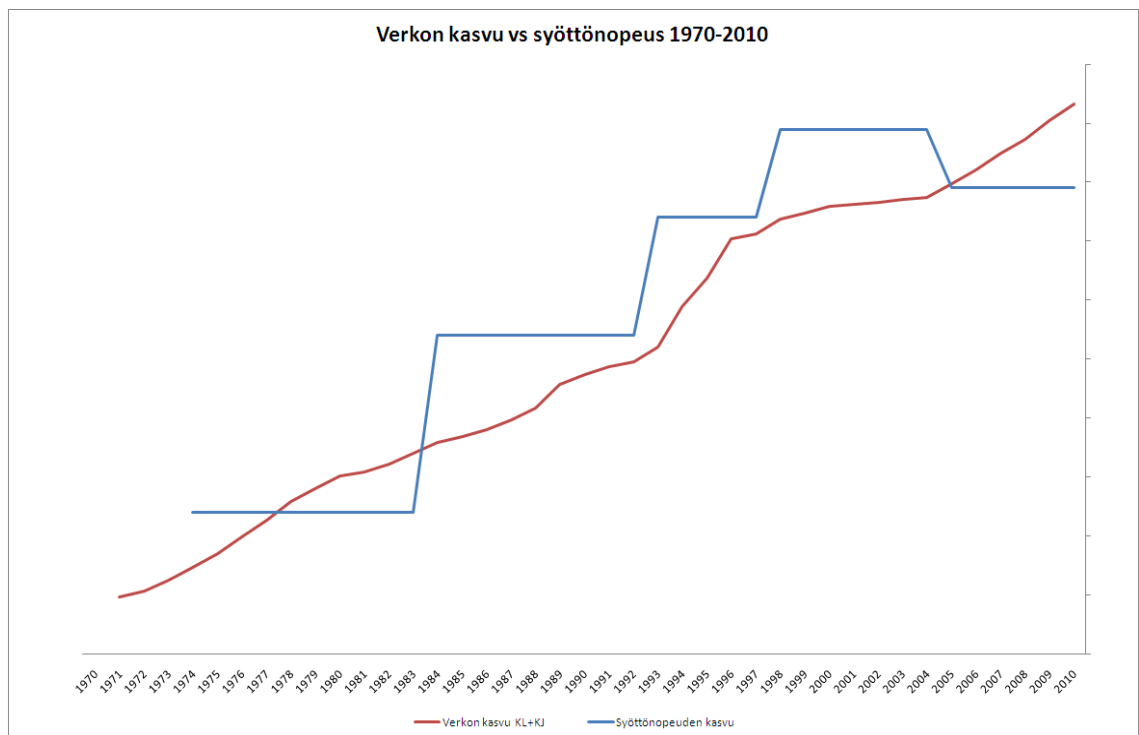
Verkon dokumentointi on uusittu ja tarkastettu vuodesta 2005 lähtien. Tiedot ovat nykyisin tallennettuna erillisiin tietokantoihin, joiden selailu on toteutettu yrityksen lämpötoimintojen puolella WebMap-verkkokartan avulla. Kyseisiin tilastoihin paneutuessani huomasin niissä myös pieniä virheitä, jotka saatiin tämän ansiosta korjattua. Työssä ilmenevä verkon kasvun negatiivinen käyrä vuosien 2005–2006 välillä johtuu kyseisessä tarkastuksessa löytyneistä ja ajan saatossa huomiotta jääneistä virheistä.

Verkko on nykyisellään yhtenäinen suuri astia, joka käsittää niin kaukolämpö- kuin kaukojäähdytysverkot. Verkot ovat siis toisiinsa yhdistettynä, mutta erillään kuitenkin toisistaan. Kaukojäähdytysverkon täytöt kuitenkin hoidetaan lämpöverkon paluupuolen vedellä.



Kuva 37. KL- ja KJ-verkkojen erillinen sekä yhdistetty kasvu 1970–2010

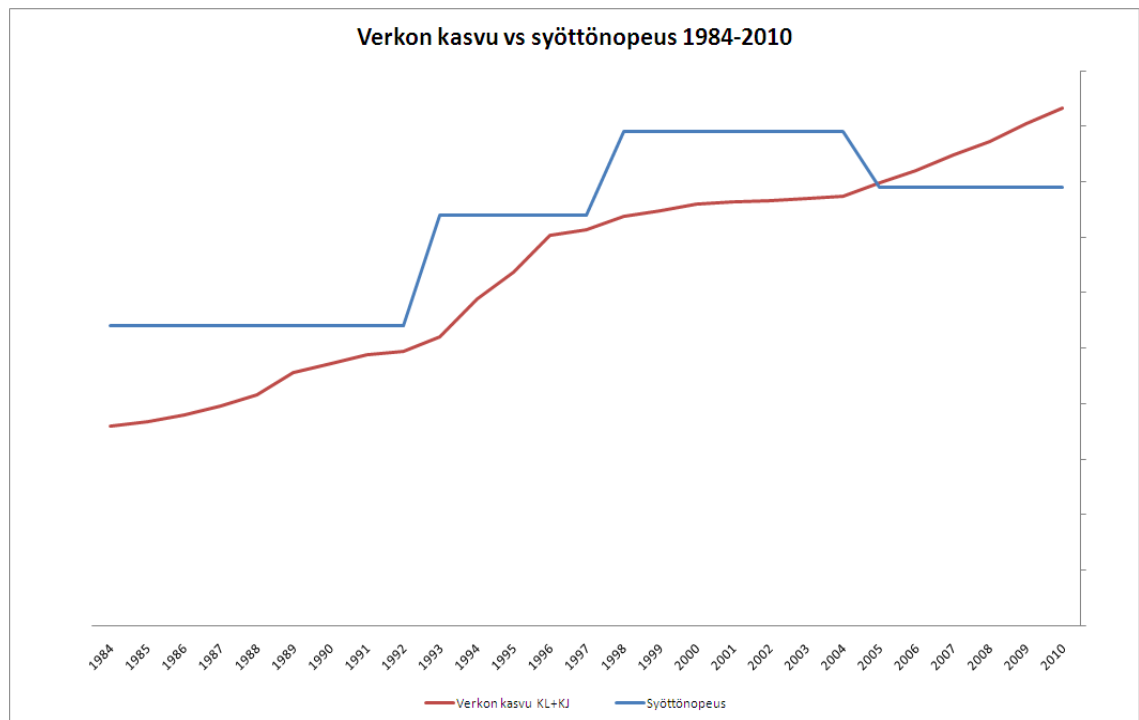
Kuvassa 37 nähdään Helsingin Energian rakentamien kaukolämpö- sekä kaukojäähdytysverkkojen tilavuuksien kasvu vuodesta 1970 lähtien. Kuvasta nähdään kaukolämpöverkon rakentamisen olleen varsin hillittyä viime vuosina, kun taas kaukojäähdytysverkon kasvu on ollut varsin runsasta.



Kuva 38. Verkon tilavuuden ja KL-lisäveden syöttönopeuden kasvujen kehitys 1970-2010.

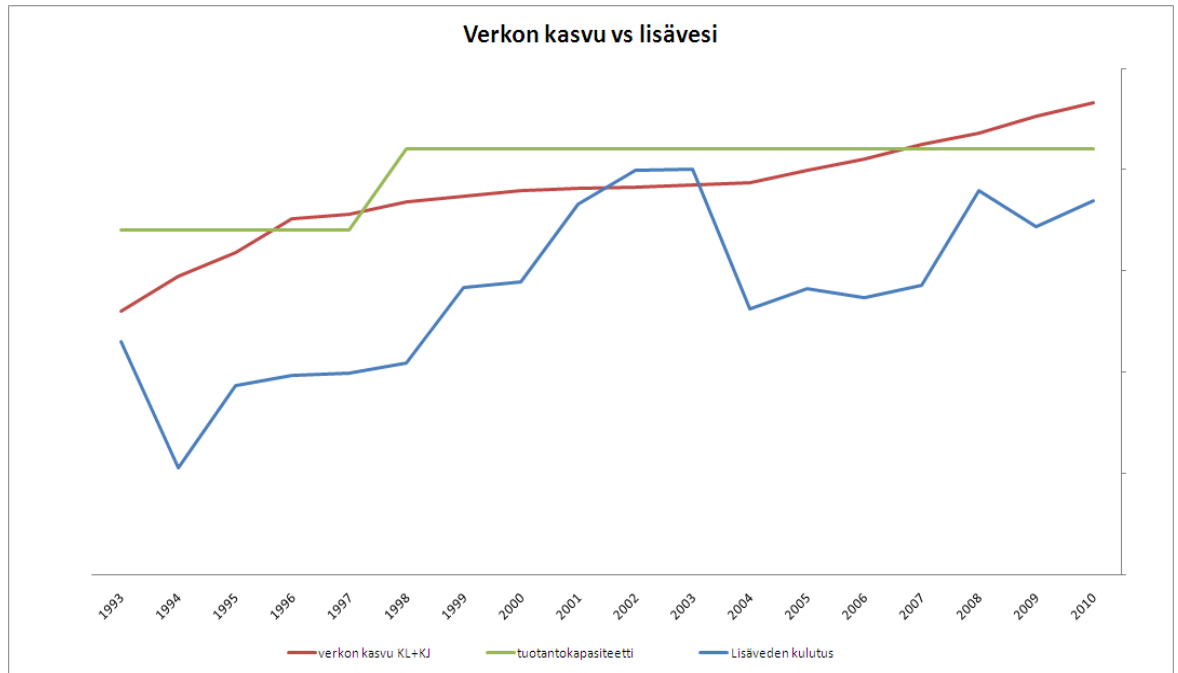
Kuvasta 38. nähdään, miten syöttönopeus on kehittynyt verkon rakentamisen rinnalla. Kuvaa tulkittaessa tulee huomioida suhteiden skaalaus toisiinsa nähden ennen kuin pystyy tekemään tarkempia päätelmiä, mutta kyseisillä suhteilla näyttäisi siltä että syöttönopeus on jäämässä aikaa myöten verkon kasvun jalkoihin. Kuvassa 39 tilanne nähtävissä vielä tarkemmin vuodesta 1986 lähtien. Tilastoihin on huomioitu sekä kaukolämpö- että kaukojäähdytysverkkojen tilavuudet.

Syöttönopeuksien kehitys ei välttämättä ole täysin tarkkaa tietoa, mutta ainakin viimeiset 20 vuotta tilanteiden pitäisi olla kuvaajista luettavan kaltaiset. Niistä kuitenkin uupuu Myllypuron ja Hanasaari A:n keskipaineen ylläpitopumppujen tuotot, sillä tietoja kyseisistä laitoksista ei löytynyt mistään. Toisaalta nykytilanteeseen niillä ei ole merkitystä.



Kuva 39. Verkon tilavuuden ja KL-lisäveden syöttönopeuden kasvujen kehitys 1984-2010.

Syöttönopeuden pieneneminen vuonna 2005 johtuu VuA-laitoksella tapahtuneesta muutoksesta, jossa siellä ollut KL-paisuntasäiliö muutettiin laitoksen prosessin lisävesisäiliöksi. Samalla laitoksella olleista kahdesta KL-keskipaineen ylläpitopumppuista toinen poistettiin kokonaan ja toinen jätettiin Itäverkon hätätäyttöjä varten varalle. Syöttönopeus koko verkolle siis laski.



Kuva 40. Verkon tilavuuden kasvu, lisäveden tuotantokapasiteetin ja kulutuksen suhteen

Kuvasta 40 nähdään miten lisäveden tuotantokapasiteetti sekä kulutus ovat kehittyneet verkon tilavuuden kasvun suhteen.

7.2 Päätelmät

Lisäveden tuotanto on pysynyt samana vuodesta 1998 lähtien, kun Vuosaaren B-laitos aloitti tuotannon. Samaan aikaan veden syöttönopeudet ovat pysyneet periaatteessa samana, huomioon ottaen Vuosaari A:n paisuntasäiliön muuttumisen prosessiveden säiliöksi, jolloin syöttönopeus putosi kahden pumpun poistuttua keskipainekäytöstä. Samaan aikaan verkosto on kasvanut tuhansia kuutiometrejä.

Tästä syystä tuotanto- ja syöttökapasiteettien riittävyyttä tulisivin tarkastella tarkemmin lähitulevaisuudessa. Työssä esitetyt kuvaajat näyttäisivät viittaavan kapasiteetin riittämättömyyteen. Lisäveden nouseva kulutuskäyrä enteilee ongelmia tulevaisuudessa, ellei tuotantoa lähivuosina lisätä.

8 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin Helsingin Energian kaukolämpöverkon lisäveden tuotanto- ja syöttökapasiteettia aina vuodesta 1970 asti. Verkosto on kasvanut vuosien varrella varsin runsaasti, ja työssä olikin tarkoitus ottaa selvää, miten kyseiset kapasiteetit ovat kehittyneet vuosien varrella verkon kasvun ohessa.

Yrityksen omien toimintojen lisäksi, teoriaosuudessa tutustuttiin kaukolämpöön tekniikkana varsin laaja-alaisesti. Tämän ansiosta lukijan pitäisikin työn luettuaan ymmärtää sekä kaukolämpöä paremmin tekniikkana että sen tilaa nykyisellään Helsingin Energiassa.

Työn tulokset saavutettiin ainakin kohtalaisesti. Viimeisten 15–20 vuoden tilastot ovat suhteellisen selkeitä ja vertailukelpoisia, joten tämän aikavälin tuloksiin voidaan olla varsin tyytyväisiä. Pidemmältä historiasta peräisin oleviin tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella, sillä saamieni tietojen mukaan, laitoksia uudistettaessa heitetään laitteet piirustuksineen ja tietoineen pois. Työtä ajatellen dokumentointi onkin ollut jossain määrin puutteellista, sillä tarvittavat tiedot ovat poistuneet yrityksestä eläköitymistien mukana, eikä tarvittavia dokumentteja ole ollut enää vuosiin saatavilla. Tyytyväinen voi olla myös siihen, että kaukojäähdytyksen dokumentoinnista löytyi virhe, mikä toivon mukaan auttaa tulevaisuudessa välttämään väärinkäsityksiä.

Itse insinööri työ valmistuu tämän raportin myötä, mutta työn tulosten selvittely saa jatkoa. Tarkoituksena on tehdä saaduista tuloksista lisäanalyysyjä tulevia hankintoja ja kehityshankkeita varten. Jatkankin työn valmistumisen jälkeen kyseisen projektin parissa vielä ainakin muutaman kuukauden ajan. Tämän johdosta loppuun täytyy todeta, että kuvaajien skaalauksiin tulee kiinnittää huomiota päätelmiä tehtäessä. Siis siihen millä tavalla syöttökapasiteetti, lisäveden kulutus ja verkon tilavuus reagoivat toisiinsa nähdessä.

Lähteet

- 1 Koskelainen, Lasse, Saarela, Lauri & Sipilä Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus.
- 2 Perttula, Jarmo. 2000. Energiatekniikka. Helsinki: WSOY.
- 3 Huhtinen, Markku, Korhonen, Risto, Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu. 2008 Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- 4 Kaukojäähdytyksen tuotanto. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/energia/kj_tuotanto.html>. Luettu 29.3.2011.
- 5 Vaahtera, Virve. 2011. Ryhmäpäällikkö, Voimalaitoskemia, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 14.2.2011.
- 6 Huhtinen, Markku, Kettunen Arto, Nurminen, Pasi & Pakkanen Heikki. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- 7 Rohm and Haas Ion exchange resin. 2009. Verkkodokumentti. Lenntech. <http://www.lenntech.com/products/resins/rohm-haas/rohm-haas-ion-exchange-resins.htm?gclid=CP_OkpGK-6YCFdSFzAodiUh9Fw>. Luettu 29.3.2011
- 8 Säätojärjestelmätyöryhmä. 1983. Kaukolämpöverkon säätojärjestelmä. Helsinki: Helsingin kaupungin energialaitos.
- 9 Vuosikertomus 2010, Helen. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/vuosi2010/Helen_vuosikertomus_2010.pdf>
- 10 Tietoa kaukolämmön historiasta. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/yritys/klhistoria.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 11 Turpeinen, Oiva. 1984. Energiaa pääkaupungille – sähkölaitostoimintaa Helsingissä 1884–1981. Helsinki: Helsingin kaupungin energialaitos.
- 12 Tietoa kaukojäähdytyksestä. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/kaukojaahdytys/kj_tietoa.html>. Luettu 29.3.2011.
- 13 Kaukolämpö. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/slj/kaukolampo.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 14 Kaukolämpöverkko. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/slj/kl_verkko.html>. Luettu 29.3.2011.
- 15 Itänen Jukka, 2011. Käyttömestari, VuB käytön valvonta, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 11.4.2011, sähköposti 15.4.2011 & 18.4.2011.
- 16 Heljander, Jari. 2011. Prosessikemian asiantuntija, Voimalaitoskemia, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 16.2.2011, 29.3.2011 & 4.4.2011.

- 17 Vartiainen, Janne & Salmi, Jussi. 2011. Kaukojäähdytys Helsingissä. Verkkodokumentti. <http://www.helen.fi/pdf/kj/fi/Yleisesitys_01_2011.pdf> 24.1.2011. Luettu 29.3.2011.
- 18 Hanasaaren voimalaitos. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/energia/hanasaari.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 19 Salmisaaren voimalaitos. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/energia/salmisaari.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 20 Salmisaari B esitelehti. 1984. Salmisaari B. Helsinki: Helsingin kaupungin energialaitos.
- 21 Vuosaaren voimalaitos. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/energia/vuosaari.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 22 Lämpökeskukset. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/energia/lampokeskukset.html>>. Luettu 29.3.2011.
- 23 Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/energia/katri_vala.html>. Luettu 30.3.2011.
- 24 Iso-Herttua, Pekka. 2011. Erikoisasiantuntija, Engineering, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 15.2.2011.
- 25 Rätty, Tero. 2011. Nuorempi asiantuntija, Voimalaitoskemia, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 9.2.2011.
- 26 Huuskonen, Matti. 2011. Laboratorioinsinööri, Voimalaitoskemia, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 22.2.2011.
- 27 Hakonen, Kalle & Marttinen, Timo. 2011. Kehityspäällikkö & käyttöpäällikkö, Helen-Lämpö, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 18.2.2011.
- 28 Huusko, Raimo. 2011. Kunnossapidon asiantuntija, Laitosten kunnonhallinta, Helsingin Energia, Helsinki. Haastattelu 24.2.2011.
- 29 Hanioja, Jyrki. 2003. Kaukolämpöjärjestelmä. Helsinki: Helsingin Energia, Vuosaaren voimalaitokset.

Vesikaukolämpöpöputken vesivirrat ja nimellistehot eri painehäviöille

VESIKAUKOLÄMPÖPUTKEN VESIVIRRAT JA NIMELLISTEHOT ERI PAINEHÄVIÖILLE

KARHEUS=0.10 MM T=100 C DELTA T=50 C

0.5 BAR/KM

1.0 BAR/KM

2.0 BAR/KM

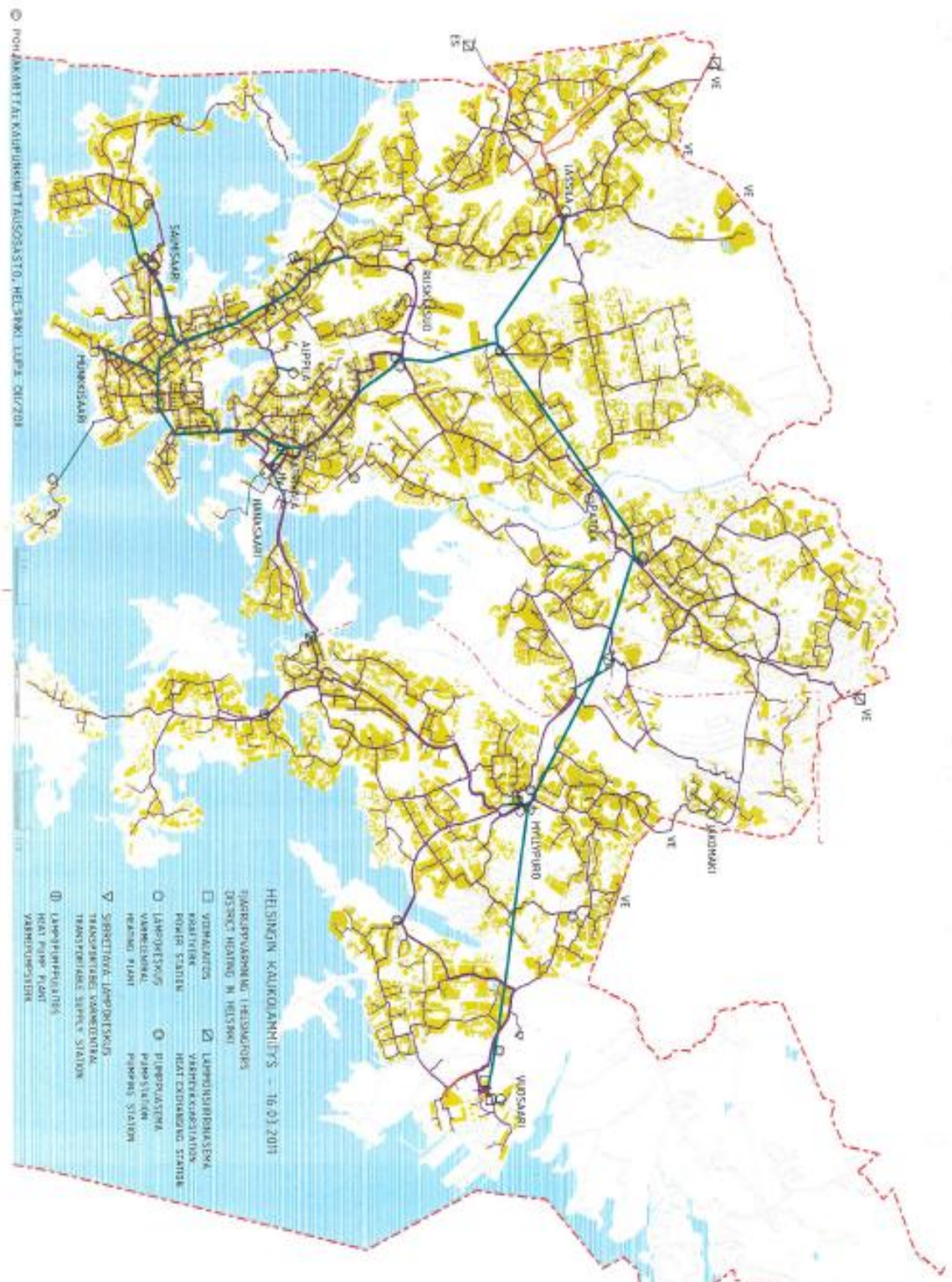
NS	0.5 BAR/KM			1.0 BAR/KM			2.0 BAR/KM		
	V (M/H)	V (M/S)	Q (MW)	V (M/H)	V (M/S)	Q (MW)	V (M/H)	V (M/S)	Q (MW)
15	0.177	0.21	0.009	0.256	0.31	0.014	0.368	0.45	0.020
20	0.356	0.26	0.019	0.512	0.37	0.028	0.735	0.53	0.041
25	0.747	0.31	0.041	1.073	0.45	0.060	1.536	0.64	0.086
32	1.433	0.37	0.080	2.055	0.53	0.115	2.936	0.75	0.164
40	2.140	0.40	0.119	3.064	0.58	0.171	4.374	0.83	0.245
50	4.117	0.48	0.230	5.886	0.68	0.329	8.393	0.98	0.470
65	7.803	0.56	0.437	11.141	0.80	0.624	15.869	1.14	0.888
80	12.246	0.62	0.685	17.670	0.89	0.978	24.867	1.27	1.392
100	23.043	0.73	1.361	34.318	1.05	1.911	48.523	1.49	2.718
125	41.429	0.84	2.331	59.273	1.20	3.320	84.244	1.71	4.719
150	69.043	0.95	3.867	98.237	1.35	5.502	139.552	1.92	7.817
200	140.976	1.13	7.896	200.417	1.60	11.226	284.522	2.28	15.937
250	254.249	1.30	14.242	361.228	1.84	20.234	512.581	2.62	28.712
300	400.933	1.44	22.458	569.389	2.05	31.895	807.702	2.91	45.244
350	513.231	1.53	28.749	728.713	2.17	40.819	1033.545	3.08	57.895
400	731.666	1.66	40.985	1038.556	2.36	58.176	1472.682	3.35	82.494
500	1327.407	1.91	74.356	1883.340	2.71	105.497	2669.717	3.85	149.547
600	2144.628	2.14	120.134	3041.852	3.03	170.393	4310.943	4.30	241.483
700	3202.381	2.35	179.385	4541.020	3.33	254.371	6434.431	4.72	360.433
800	4561.153	2.55	255.499	6466.499	3.61	362.229	9161.415	5.12	513.189
900	6189.772	2.73	346.728	8774.045	3.88	491.490	12429.183	5.50	696.237
1000	8154.728	2.91	456.798	11557.820	4.13	647.427	16371.017	5.86	917.045

Kaukolämmön kiertoveden ohjearvosuositukset

Laitoskoko ja yht. teho		> 10 MW		< 10 MW	
		Laitoksen kytkentä		Laitoksen kytkentä	
Ominaisuus		Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)
pH-arvo	pH 25 ²⁾	9...10	9...10	9...10	9...10
Kokonaiskovuus	mmol/kg °dH ³⁾	<0,143 <0,8	<0,018 <0,1	<0,143 <0,8	<0,089 <0,5
Happipitoisuus	mgO ₂ /kg	<0,02	<0,02	4)	4)
Happea sitova kemikaali		5)	5)	5)	5)
Ammoniakki	mgNH ₃ /kg	<5	<5	<5	<5
Kokonaisrauta	mgFe/kg	<0,1 7)	<0,1 7)	6)	6)
Kokonaiskupari	mgCu/kg	<0,02	<0,02	6)	6)
Öljypitoisuus	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sähkönjohtavuus	µS/cm	<100 8)	<100 8)	<100 8)	<100 8)
Kiintoaine	mg/kg	9)	9)	9)	9)

- Suorassa kytkennässä laitospaine ≤16 bar.
- pH:n nostoon ei suositella ammoniakkia vaan natriumhydroksidia:
pH <7 ->vetyä kehittävä korroosio, kupari ja kuparimetallit syöpyvät
pH <9 ->teräksen happikorroosio
pH >10 ->teräksen jännityskorroosio lisääntyy, kupari ja kuparimetallit syöpyvät, magnetiittikalvo vaurioituu.
- 1 °dH vastaa 0,178 mmol (Ca+ Mg) / kg. Kovuus aiheuttaa lämpöpinnoille huonosti lämpöä johtavia kattilakivikerrostumia.
Kovuudelle on käytössä muitakin yksiköitä. Niiden muuntokertoimet ovat:
1 °dH = 0,355 mval/l = 0,178 mmol/l = 7,118 mgCa/l = 10 mgCaO/l.
- Mikäli järjestelmässä ei ole vuotoja eikä täyttöä, asettuu happipitoisuus nollassa tasolle. Kiertoveden happi aiheuttaa sekä happikorroosiota että galvaanista korroosiota.
- Kiertoveteen voidaan lisätä happea sitovaa kemikaalia tai korroosioinhibiittia.
- Korkeat kokonaisrauta- ja kokonaiskuparipitoisuudet ovat seurausta järjestelmän syöpmisestä.
- Jos lisäveden rautapitoisuus ylittää ohjearvon, on kaukolämpöverkon vedessä seurattava tason muutosta.
- Kiertoveden sähkönjohtavuus (suolapitoisuus) on pidettävä niin alhaisena kuin mahdollista, ettei siitä aiheudu korroosio- tai muita ongelmia. Jos täyttö- ja lisävesi on erittäin vähäsuolaista, joudutaan mahdollisesti johtokykyä nostamaan magneettisten virtausanturien toiminnan takaamiseksi.
- Suosittelaa analysoimaan veden kiintoaine. Kiintoaineesta suurin osa on normaalitilanteessa irtonaista magnetiittia.

Helsingin Energian kaukolämpöverkkojen kartta



Helsingin Energian kaukojäähdytysverkkojen kartta

