

Toni Taavila

# Fortumin Keski-Uudenmaan kaukolämpöverkon toimitusvarmuus- ja lisävesiselvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Opinnäytetyö

13.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Toni Taavila Fortumin Keski-Uudenmaan kaukolämpöverkon toimitusvarmuus- ja lisävesiselvitys 42 sivua + 4 liitettä 13.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	tuotantoinsinööri Veli-Pekka Hakatie lehtori Jarmo Perttula
<p>Insinööriyössä selvitetään Fortumin Keski-Uudenmaan kaukolämpöverkon ja sen lisävesien historiaa ja nykytilaa. Saadut tulokset saatettiin kirjalliseen, dokumentoituun muotoon.</p> <p>Teoriaosuudessa tutustuttiin kaukolämmön tuotantoon yleisellä tasolla, pitäen silmällä tarkemmin käytännön osuutta. Työn alkaessa tuli tutustua muutamaan aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen, joista saatiin riittävä informaatio teoria osuuden kasaamiseen. Kaukolämpöverkkoa koskevat tiedot oli varsin helppo saada kasaan Fortumin työntekijöiden avustuksella.</p> <p>Vuototilanteita ja toimitusvarmuutta käsitellessä tärkeä osa-alue oli selvittää lisäveden nykytilaa ja kuinka sen valmistus teoriassa tapahtuu. Työn tavoitteena on kartoittaa verkon kehitystä viimeisen kymmenen vuoden aikana ja millaisia muutoksia se on aiheuttanut. Työssä tavoitteena on käsitellä myös mahdollisia tulevaisuuden investointeja.</p> <p>Järvenpään biovoimalaitos on avain asemassa Keski-Uudenmaan kaukolämpöverkolla. Viime vuodenvaihteen tienoilla korjatut syöttöpumput laitoksen Ristinummen kaukolämpölaitoksella nostavat verkon luotettavuutta ja tasoa erittäin paljon. Työssä simuloitiin vuonna 2005 tapahtunutta suurvuotoa nykytilanteeseen ja tuloksena saadaan kuinka kauan verkko pystyy kestävänsä sen.</p> <p>Työn tuloksena saadaan yleiskuva nykytilanteesta ja kuinka kaukolämpöverkko kestää vuoden 2005 aikana tapahtuvia suurvuotoja uusien yhdistymisien ansiosta. Lisäksi voidaan kartoittaa tarvittavia investointeja lisävesien ja pumppujen varalle.</p>	
Avainsanat	Fortum, kaukolämpö, toimitusvarmuus, lisävesi, pumppaus, paine-ero

Author Title	Toni Taavila Report of Keski-Uusimaa's district heating make-up water and reliability of delivery
Number of Pages Date	42 pages + 4 appendices 13 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy Engineering and Environmental Technology
Instructors	Veli-Pekka Hakatie, Production Engineer Jarmo Perttula, Lecturer
<p>The Bachelor's thesis examines Fortum Corporation's district heating network in the region of Keski-Uusimaa. Furthermore, the make-up water's history and current state of the district heating network are analyzed. The objective was to review the results and record them as a documented report.</p> <p>In the theoretical part, the operation of a district heating network was familiarized in its practical form. The company's information about district heating in Järvenpää and Tuusula areas was useful, and their staff's expertise on this field was discovered really helpful for the author.</p> <p>To understand the most crucial part of district heating, the author had to familiarize with make-up water and its manufacturing process. Since the layout of the heating network has changed dramatically in the last 10 years, one of this report's goals was to clarify the implemented changes and their effects on the network. In addition, one of the goals was to suggest possible improvements for the future.</p> <p>Järvenpää's bio power plant is of vital importance in generating district heat in the region of Keski-Uusimaa. In the last 10 years district heating networks have had two major leakages where the whole network's pressure has fallen. In this study, one of those leakages is simulated and compared to the current state of the network. As a result, it will be discovered how much the network can endure and how much time Fortum's repair team has to cover the leak.</p> <p>As a result of this thesis, an overview of district heating was created and a report was made about Keski-Uusimaa's district heating network and the production of make-up water.</p>	
Keywords	Fortum, district heating, make-up water, pumping, pressure

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaukolämpö	2
2.1	Yleistä	2
2.1.1	Hyödyt ja haitat	3
2.1.2	Tulevaisuuden näkymät	4
2.2	Tuotantomuodot	4
2.2.1	Yhteistuotantolaitokset	5
2.2.2	Huipputuotantolaitokset	7
2.3	Jakelu	7
2.3.1	Vesikaukolämpö	8
2.3.2	Kaksiputkiverkko	9
2.4	Verkko	10
2.4.1	Lämpötila ja säätö	11
2.4.2	Akkumulointi	13
2.4.3	Paisunta ja paineen säätö	14
2.4.4	Paine-ero ja säätö	17
2.4.5	Vesi-iskut	21
2.4.6	Operointi	23
2.4.7	Kunnossapito	24
2.4.8	Korroosio	25
3	Kaukolämmön lisävesi	29
3.1	Valmistus	30
3.1.1	Karkeat epäpuhtaudet	30
3.1.2	Humuksenpoisto	31
3.1.3	Kovuudenpoisto	31
3.1.4	Kovuudenpoisto pehmennyssuodattimella eli ionivaihdolla	32
3.2	Terminen kaasunpoisto	34

3.3	Kemikaalien lisäys	36
3.3.1	Hydratsiini $N_2H_4$ , kemiallinen hapenpoisto	36
3.3.2	pH:n säätö	37
3.3.3	Yhdistelmäkemikaalit	37
3.3.4	Kemikaalit johtokyvyn säätämiseen	38
3.3.5	Värikemikaalit	38
3.4	Lauhteen puhdistus	38
3.5	Veden laatu	39
4	Yhteenveto	41
	Lähteet	42

## 1 Johdanto

Insinööri työ on tehty Fortum Power and Heat -yksikön toimeksiantona. Työssä käsitellään kaukolämpöverkon muutoksia ja toimitusvarmuutta ja näiden kahden asian muutoksia vuosien 2005 ja 2015 välillä. Tarkastuksen alla on myös lisävesikapasiteetti ja suurvuototilanteessa sen riittävyys huippukäyttöaikana eli kun kuluttajatarve on suurimmillaan, sekä hiljaisempana aikana kun lämmön ja veden tarve on pienempi. Lisäksi työssä tutustutaan yleisesti kaukolämmön teoriaan ja siihen kuinka se toimii ja mitä sen tuottamisessa on otettava huomioon. Työssä käsitellään myös kaukolämmön lisävetä, sen valmistusta ja siihen liittyviä kemikaalisia ja mekaanisia toimenpiteitä.

Työn tavoitteena on kartoittaa lisävesikapasiteetin ja pumppaustehon riittävyys nykyisellä huomattavasti suuremmalla kaukolämpöverkolla, jonka muutokset viimeisen kahden vuoden aikana ovat olleet todella merkittävät. Työstä saaduilla tiedoilla ja informaatiolla pyritään parantamaan kaukolämmön toimitusvarmuutta tarvittavilla investoinneilla ja modernisoinneilla.

Fortumin Järvenpään biovoimalaitos tuottaa pääasiallisesti kaiken lähialueen kaukolämmön. Lähiseudun alueisiin kuuluvat Järvenpää, sekä viime vuosina yhdyslinjoilla liitetyt Tuusula ja Kellokoski. Tarvittavan paine-eron saavuttaminen kriittisimmällä asiakkaalla vaatii riittävän pumppaustehon laitokselta seuraavalle pumppaamolle. Työssä käsitellään myös pumppaustehon riittävyyttä alueella normaali- ja vuototilanteissa.

Työssä vertaillaan myös ennen Tuusulan ja Kellokosken yhdistymistä nykytilaan ja millaisia muutoksia merkittävä kasvu on saanut aikaiseksi ja millaisia muutoksia se vaatii tulevaisuudessa.

## 2 Kaukolämpö

### 2.1 Yleistä

Kaukolämmöstä puhuttaessa tarkoitetaan lämmön tuottamista keskitetysti ja sen jakelua kiinteistöille, joissa lämpöä käytetään rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen. Kaukolämmitys on yleensä organisoitu liiketoiminnan muodossa [1, s. 25].

Alueellisesti keskitettyä pienempää lämmöntuottoa kutsutaan aluelämmitykseksi. Aluelämmityksessä lämpö jaetaan yksityisille ihmisille tai tuotantolaitokseen, mutta sen jakeluun ei kuulu liiketoimintaa. Kuitenkin kaukolämmitys ja aluelämmitys voivat olla toiminnaltaan hyvinkin samanlaisia. [1, s. 25].

Kaukolämmityksen tyypillisiä ominaisuuksia ovat [1, s. 25]:

- Keskitetysti useammassa kohteessa tuotettua lämpöä jaetaan kuluttajille putkiverkkoa käyttäen.
- Siirtoaineen toimii vesi tai höyry.
- Kuluttajina toimivat asuinrakennukset kuten kerrostalot ja rivitalot, teollisuus, liikerakennukset ja julkiset rakennukset.
- Lämpöä käytetään tilojen ja käyttöveden lämmitykseen.

### 2.1.1 Hyödyt ja haitat

Kaukolämmön tuotannon hyvät puolet:

- energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys
- tuotannon jakaminen eri tuotantomuotojen kesken
- yhteisesti hyödynnettävä varakapasiteetti
- käyttövarmuus
- helppokäyttöisyys, lämmönsiirtimet eivät vaadi asiakaskohtaista käyttöä tai huoltotyötä

Kaukolämmön tuotannon heikkoudet:

- suurista rakennuskustannuksista johtuvat pitkät takaisinmaksuajat
- kulutuksen vaihtelu suuresti vuodenaikojen välillä
- harvaan asutuilla alueilla kaukolämpö ei ole kannattavaa
- siirrosta aiheutuvat lämpö- ja painehäviöt [1, s. 25].



## 2.1.2 Tulevaisuuden näkymät

### *Mahdollisuudet ja uhat:*

- + tulevaisuuden puhtaat ja halvat polttoaineet
- + yhteistuotannon tuoma hyöty sähköntuotannossa
- + erilaisten prosessien jätelämpölähteiden hyödyntäminen
- + kaukojäähdytys
- + matalalämpötilaisen lämmön hyväksikäyttö (esim. katujen sulatus)
  
- investointien hinnakkuus
- epäterve kilpailutilanne
- epäterve sääntely
- loppukäyttäjällä ei valinnanvapautta lämmitysratkaisuun, vaan rakennuttajalla [1, s. 25].

## 2.2 Tuotantomuodot

Kaukolämmöntuotto toteutetaan yhdessä sähköntuotannon kanssa, tätä kutsutaan yhteistuotannoksi. Lisäksi lämmöntuotannossa käytetään hajautettua lämmöntuotantoa pienemmän kokoluokan lämpökeskuksissa. Suurin osa tuotetaan yhteistuotannossa. Yhteistuotannolla saavutetaan mm. laitokselle parempi hyötysuhde ja korkeampi rakennusaste. Polttoaineen energiasta pystytään yhteistuotannolla hyödyntämään jopa 90 %:n hyötysuhteella. Alueilla jossa asutus on tiheää ja kulutus tasaista, sopivat parhaiten sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. [1, s. 259, 298, 300].

Pienemmän alueen tarpeisiin ja kulutukseen riittävät pienemmät huipputuotantolaitokset ja lämpökeskukset. Niiden muita käyttökohteita ovat yhteistuotannon tuotannon takaa-minen kulutuspiikkien aikana ja huoltoseisokkien yhteydessä. [1, s. 259].

### 2.2.1 Yhteistuotantolaitokset

Voimalaitoksella tarkoitetaan laitosta, joka tuottaa sähköä, lämpöä tai molempia. Voimalaitostyyppinä ovat:

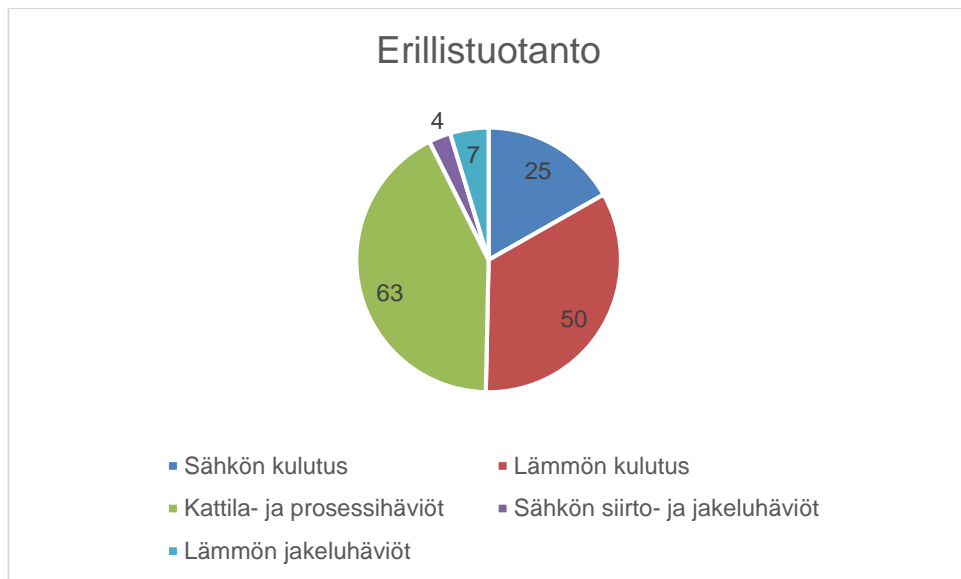
- höyryvoimalaitos, väliottolauhdutus- tai vastapainevoimalaitos
- kaasuturbiinilaitos
- kombivoimalaitos, yhdistetty kaasu- ja höyryturbiiniprosessi
- moottorivoimalaitos, kaasu- tai dieselmoottori [1, s. 47].

Höyryvoimalaitos voi olla vastapaine- tai lauhdutusvoimalaitos. Lauhdutusvoimalaitos on suunniteltu vain sähköntuotantoa varten. Kattilan tuottamasta höyrystä osa lauhdutetaan ja lauhduttamiseen käytetty jäähdytysvesi ajetaan läheiseen vesistöön. Vesi voidaan myös poistaa käyttäen jäähdytystornia, jossa vesi ruiskutetaan pienissä pisaroissa tornin huipulta. Lauhdevoimalaitoksen lämpö voidaan käyttää myös kaukolämpöprosessissa, ottamalla sitä höyryturbiinin väliotosta. [1, s. 47].

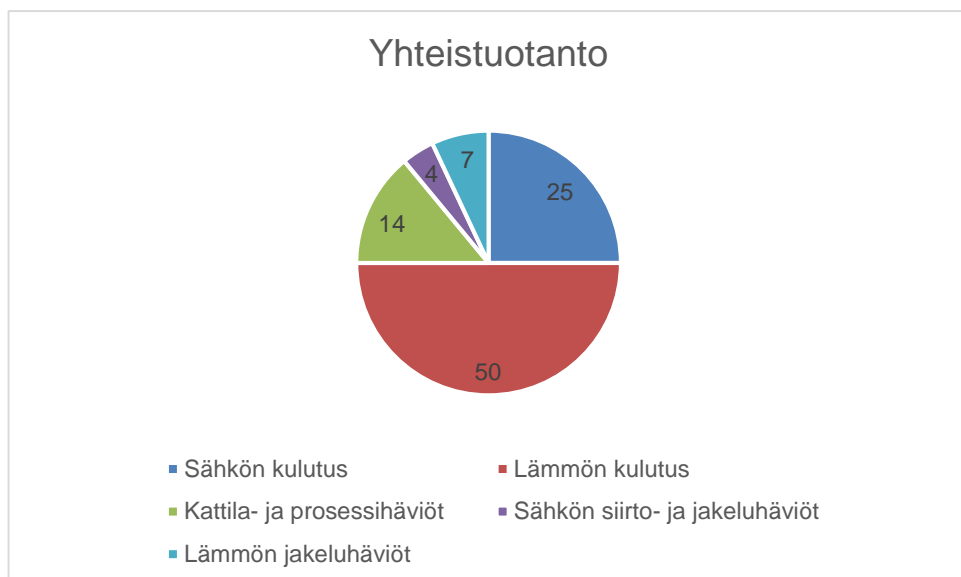
Vastapainevoimalaitoksella voidaan tuottaa pelkkää lämpöä tai sähköä ja lämpöä. Höyry johdetaan joko turbiinin alku- tai loppupään välioton kautta kaukolämmönsiirtimeen tai väliotosta suoraan höyrynä käyttäjille. [1, s. 47].

Ainoastaan kaukolämmön tuotantoon tarkoitettuja laitoksia kutsutaan kaukolämpö- tai lämmitysvoimalaitoksiksi. [1, s. 47].

EU:n tiukentuvat päästömääräykset aiheuttavat sen että sähkön ja lämmön yhteistuotanto tulee lisääntymään runsaasti EU- alueella. Pääsyyinä ovat sen energiatehokkuus ja ympäristö ystävällisyys. Kuvissa 1 ja 2 verrataan tehokasta polttoaineen kulutusta erillis- ja yhteistuotannon välillä. [1, s. 47].



**Kuva 1: Sähkön ja lämmön erillistuotanto**



**Kuva 2: Sähkön ja lämmön yhteistuotanto**

50 lämpöyksikön ja 25 sähköyksikön tuottaminen erillistuotannolla kuluttaa 149 yksikköä polttoainetta. Vastaavasti samojen lämpö- ja sähköyksiköiden tuottaminen yhteistuotannolla kuluttaa 100 yksikköä polttoainetta. Tämä tarkoittaa yhteistuotannon kulutuksen olevan 67 % erillistuotannosta. Esimerkki pätee kiinteän polttoaineen laitoksiin, mutta myös maakaasua ja öljyä käyttävillä laitoksilla on hyöty yhtä suuri. Tuotteiden suhde saattaa tosin olla erilainen [1, s.48].

### 2.2.2 Huipputuotantolaitokset

Lämpökeskukset eli huipputuotantolaitokset tuottavat pelkkää lämpöä. Laitokseen kuuluvia laitteistoja ovat

- tuhkan ja polttoaineen käsittelylaitteet
- polttolaitteet
- yksi tai useampi kattila
- putket, pumput sekä apulaitteet
- sähkö- ja automaatiolaitteet
- savukaasujen puhdistuslaitteet [1, s. 47].

Lämpökeskukset soveltuvat pienten investointikustannusten ja helppokäyttöisyyden takia loistavasti kulutushuippujen tasaamiseen, mutta ovat prosessissa yleisesti vähäisessä käytössä. Keskuksia operoidaan yleisesti keskusvalvomosta, jotka sijaitsevat voimalaitoksissa. Valvomosta operaattorin on mahdollista lisätä kuormaa tilanteen mukaan [1, s. 47].

### 2.3 Jakelu

Eurooppalaisissa kaukolämpöjärjestelmissä on yleisesti käytössä lämpimään veteen perustuva jakelutekniikka. Suomessa kaukolämmön siirto hoidetaan kaksiputkijärjestelmällä, jonka maksimi käyttölämpötila on 120 °C. Keski-Euroopassa on käytössä alle 90 °C:n ja jopa 180 °C:n lämpötiloja. Korkeammat lämpötilat kasvattavat meno- ja paluu-lämpötilojen eroa, jolloin siirtokapasiteetti paranee ja vähentää pumppausten kustannuksia. Tämä pätee varsinkin pitkille siirtomatkoille ja suurille kohteille. Matalien lämpötilojen hyödyntäminen on kannattavaa yhteistuotannossa, koska lämpötilan lasku mahdollistaa suuremman sähköntuotantokapasiteetin. Asiakaslaitteistot on suunniteltu ja valmistettu vakiolämpötilalle, joista poikkeaminen on mahdollista vasta suurten muutosten jälkeen [1, s.29, 137].

Vesikaukolämpöä tehottomampi höyrykaukolämpö, jossa välitysaineena toimii höyry, on käytössä Pohjois-Amerikassa [1, s. 29]. Myös Euroopassa käytetään höyryä teollisuuden tarpeisiin, jos veden lämpötila ja paine eivät saavuta tarvittavia lukuarvoja.

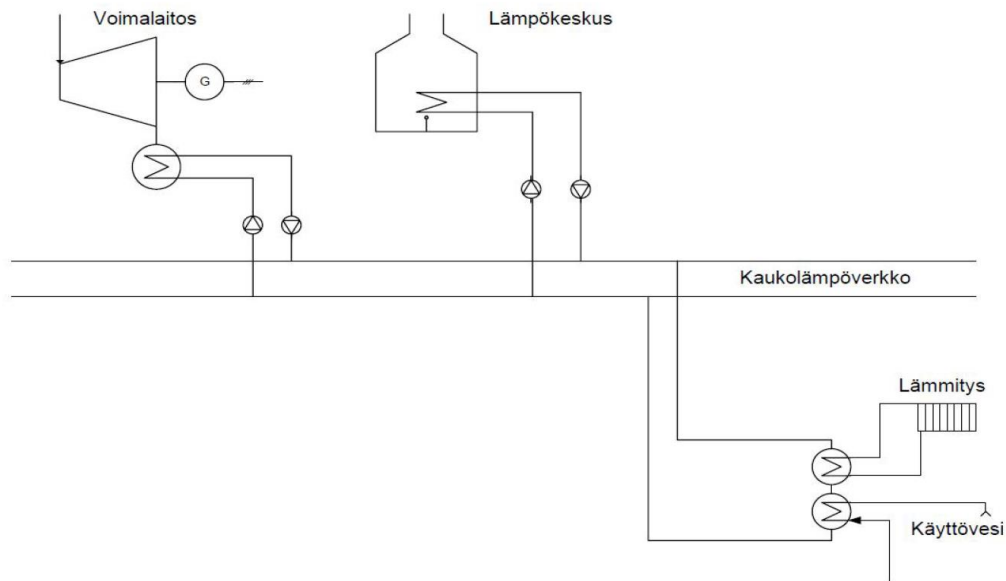
Putkijärjestelmää jossa menoputkia on kaksi ja paluuputkia yksi kutsutaan kolmiputkijärjestelmäksi. Toisesta menoputkista kulkee lämpimämpää vettä ja toisessa viileämpää. Viileämpää käytetään kiinteistöjen lämmitykseen ja lämpimämpi soveltuu paremmin käytettäväksi prosesseissa. Islannissa on käytössä yksiputkijärjestelmä, jota kutsutaan myös geotermiseksi järjestelmäksi. Yksiputkijärjestelmässä ei ole paluuputkea [1, s. 137].

Itä-Euroopan kaukolämpöverkko pohjautuu venäläiseen teknologiaan. Teknologia perustuu patteri- ja käyttövesipiirien erillisiin meno- ja paluuputkiin kiinteistöjen ja tuotantolaitosten välillä. Järjestelmää kutsutaan 4-putkijärjestelmäksi. Suurin osa putkistosta on todella huonossa kunnossa ja tarvitsee mittavaa uudelleen saneerausta. Myös eristykset ovat heikot ja vuotoja esiintyy runsaasti. Suurin syy verkon huonoon kuntoon on varojen riittämättömyys [1, s.28, 137].

### 2.3.1 Vesikaukolämpö

Suomessakin yleisesti käytettävän vesikaukolämmön välitysaineena toimii käsitelty kaukolämpövesi. Verkossa kiertävä vesi kulkee menoputkea pitkin kuluttajan kaukolämmönvaihtimeen ja jäähtynyt vesi palaa takaisin tuotantolaitokselle paluuputkea pitkin. Suomessa käytössä on kaksiputkijärjestelmä, jossa kaksi putkea kulkee vierekkäin ja muodostavat kaukolämpöverkon (kuva 3). [1, s. 43]

Kaukolämpöjärjestelmässä olennaisia tekijöitä ovat tuotantolaitokset eli voima- ja lämpölaitokset, siirtämiseen vaadittavat putkistot sekä asiakkaiden lämmön vastaanottamiseen tarvittavat laitteistot. Voimalaitoksilla kaukolämpövesi syötetään verkkoon pumpuilla. Vesi lämmitetään laitoksilla kaukolämmönsiirtimissä tai lämmityskeskuksien kattiloissa. Asiakkaiden tai lämmityskohteiden lämmönsiirtimissä kaukolämpövesi jäähtyy ja palaa takaisin voima- tai lämmityslaitokselle uudelleen lämmitettäväksi ja ohjattavaksi takaisin kiertoonsa [1, s. 43].



Kuva 3: Kaksiputkijärjestelmä [1, s.43]

### 2.3.2 Kaksiputkiverkko

Ominaisia piirteitä järjestelmälle, jossa asiakkaille toimitetaan lämpö putkistossa lämpimänä vetenä, ovat seuraavat [1, s. 44]:

- Lämpö siirretään asiakkaille menoputkessa. Kiertovedestä on puhdistettu mekaaniset epäpuhtaudet, sekä happi ja muut kaasut on poistettu korroosion estämiseksi.
- Menoveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan ja sitä voidaan myös säätää voimalaitoksen valvomosta.
- Veden höyrystymisen estämiseksi on putkistossa vallittava tietty keskipaine.
- Menoputken painetta korotetaan tuotantolaitosten ja välipumppaamoiden avulla, jotta se kattaa verkossa syntyvät painehäviöt. Laitteiden toimisen varmistamiseksi, on verkon kaukaisimmissakin paikoissa säilytettävä riittävä paine-ero.
- Kaukolämmönsiirrintä käyttäen lämpö siirretään kiinteistöjen sisäisiin kiertopiireihin kuten lämmitys, käyttövesi ja ilmastointi. Sisäiset verkkojen piirit ovat erillään kaukolämpöpiiristä.

- Kiinteistöissä vaihtelevan kulutuksen takia kaukolämmönvaihtimen säädöstä huolehtii automatiikka. Automatiikka parantaa myös laitteistojen toimintavarmuutta.
- Luovutettuaan riittävän määrän lämpöä asiakkaille kaukolämpövesi palaa paluuputkea pitkin voimalaitokselle. Myös paluu puolella saatetaan käyttää paineenkorotus pumppuja.

## 2.4 Verkko

Kaukolämpöverkon käyttöön ja säätämiseen liittyy muutamia toisistaan riippumattomia tekijöitä [1, s. 335]:

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

Meno- ja paluuedenlämpötilan lämpötilaero sekä virtausmäärä määräävät verkkoon syötetyn kaukolämpötehon määrän. Menolämpötilan säätö tapahtuu keskitetysti, mutta virtauksen säätöön vaikuttavat asiakkaat. [1, s. 335].

Ulkolämpötila määrittelee kaukolämpöveden menolämpötilan, joka jo edellä mainittiin. Paluueden lämpötilan määrittelevät kuluttajien vaihtimien ominaisuudet ja kulutuksen tarpeet, mutta yleisesti ohjesääntönä voidaan pitää meno- ja paluueden lämpötilaerona  $\Delta T=50$  °C. Liian korkealla menovedenlämpötilalla syntyvät verkostohäviöt ja liian alhaisella täyttymätön asiakkaiden lämmöntarve tekevät menoveden säätämisen tarkkuudesta erittäin tärkeää. [1, s. 335].

Verkon menoveden lämpötilaa voidaan säätää ulkolämpötilasta poiketen ja hyödyntää näin vuorokausitason akkumulointikykyä. Tämä mahdollistaa verkon käytön akkuna eli lämmönvaraajana. Tässä pitää huomioida nousevan lämpötilan aiheuttamat rasitukset verkolle. [1, s. 335].

Jotta kaikilla asiakkailla säilyy tarvittava paine-ero kierron säilyttämiseksi kaukolämmönsiirtimessä, paine-ero säädetään riittävän korkeaksi kiertovesipumpuilla. Asiakkaiden tarpeet ja säätöventtiilien kuristaminen määrittelevät verkossa kiertävän veden määrän. Liian suuri paine-erosta pumpuissa seuraa turhaa sähköenergian kulutusta ja ääniongelmia. [1, s. 335].

Verkon painetasoa ylläpitämällä varmistetaan, että verkko on aina täynnä vettä ja paine ilmanpainetta korkeampi. Tämä estää veden höyrystymisen missään verkon osassa. [1, s. 335].

Jos alipaine alittaa veden kyllästymispaineen ja vesi höyrystyy, syntyy mahdollisuus vesi-iskuun. Vesi-iskut saattavat rikkoa laitteistoja hyvinkin kaukana ja ovat erittäin vaarallisia. Keskipaineen noston synnyttämä höyryn lauhtuminen vedeksi on yleisin vaaran aiheuttaja. [1, s. 335].

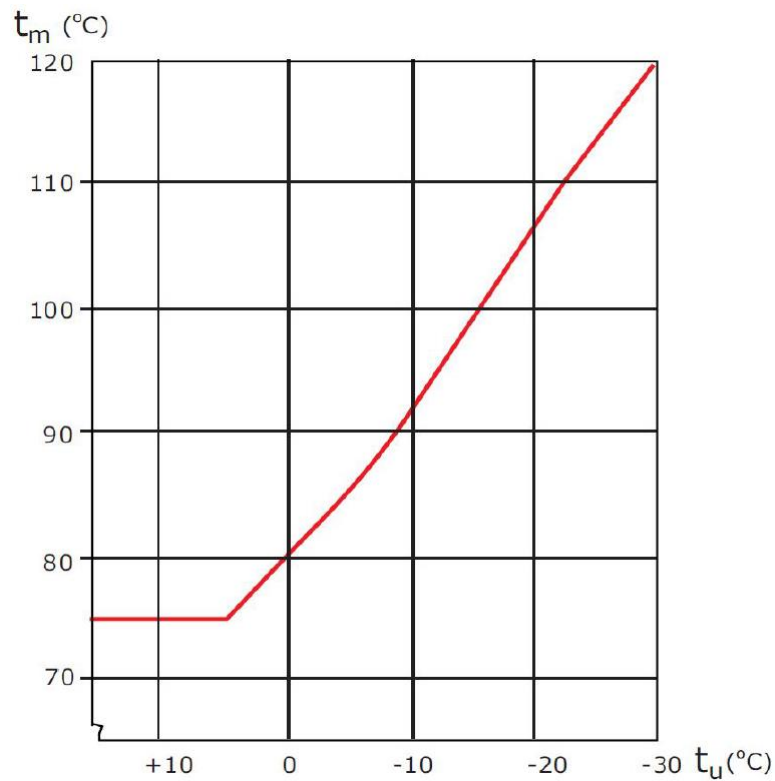
#### 2.4.1 Lämpötila ja säätö

Tuotantolaitoksilla säädetään menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan erillisessä sekoituspiirissä. Peruskuormalaitoksella haluttu menolämpötila voidaan ylläpitää pumpausta säätämällä. [1, s. 335].

Asiakasalaitteiden mitoitus, käyttöveden lämmityksen mitoituksen riittävyys, prosessien mitoitus, lämpötilahäviöt kaukaisimpiin asiakaskohteisiin sekä verkon sietokyky määrittelevät lämpötilan alarajan. Vastaavasti verkon lämpötilan ylärajan määrittää verkon suunnittelulämpötila, yhteistuotannon parempi sähköntuotto alhaisemmillä menolämpötiloilla sekä lämpöhäviöiden optimointi. [1, s.355].

Käytännössä tehtyjen testien ja kokemusten perusteella on luotu erilaisia säätökäyriä menoveden lämpötilalle ulkolämpötilan funktiona (kuva 4). [1, s. 336].





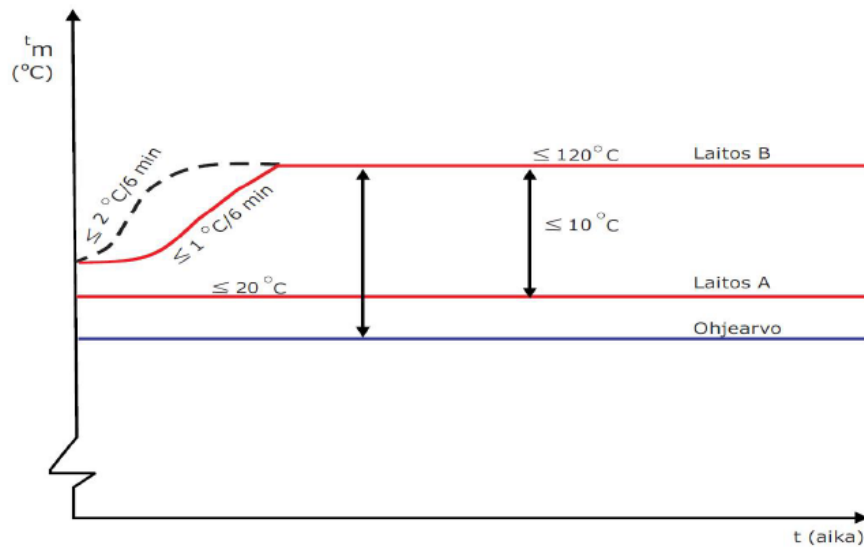
**Kuva 4: Menolämpötilan säätökäyrä ulkolämpötilan funktiona [1, s. 336]**

Tinkimättä asiakkaiden toimituslaadusta, säätökäyrä optimoidaan mahdollisimman alhaiseksi. Käyrän muuttaminen ilman tarkkoja kannattavuuslaskelmia yksittäiselle asiakkaalle ei voida suorittaa. [1, s. 336].

Säätökäyrä määrittelee alimman menoveden lämpötilan jolla asiakkaat vielä tulevat toimeen. Säätökäyrä on nostettavissa esimerkiksi tuulen nopeuden ja ilmankosteuden kasvaessa, ennakoitaessa merkittävää lämpötilan laskua, ennakoitaessa etäisimpien asiakkaiden kiertoveden menolämpötilan laskuja sekä hyödynnettäessä verkon akkumulointikykyä. [1, s. 336].

Vuorokaudenaika määrittelee suuresti asiakkaiden vuorokautisen lämpötehon ja vesikiertomäärän. Vaihtelua varten voidaan lämpötilaa optimoida eli tässä tapauksessa lämmittää aamun ja iltapäivän kulutuspiikkeihin. Asiakaslaitteiden säätö vaikeutuu lämpötilojen noustessa, sillä vesivirrat käyvät säädön kannalta liian pieniksi. Suunnittelurajaa ylittämättä ehdoton yläraja on 20 °C:n ylitys. [1, s. 336].

Jotta vältetään verkon lämpörasitukset, on menolämpötilan säätönopeutta rajoitettu. Ohjearvo vaihtelee laitoskohtaisesti, mutta yleisesti säätönä on maksimissaan 1 - 2 °C / 6min. Jos samaan verkkoon syötetään useammasta laitoksesta menovettä, on lämpötilojen oltava 10 °C:n sisällä toisistaan (kuva 5). Jatkuvat ja nopeat lämpötilamuutokset verkossa syöttöalueiden rajakohdissa rasittavat johtorakenteita [1, s. 337].



Kuva 5: Menolämpötilan valinnan ehdot [1, s.337]

Lämmöntuotannon ja kulutuksen väliseen useamman tunnin viiveeseen voidaan valmistautua nostamalla etukäteen menoveden lämpötilaa. [1, s. 337].

Asiakaslaitteiden kytkentä ja niiden ominaisuudet, sekundääriverkon lämpötilat sekä käyttöveden hetkellinen tarve ovat paluuveden lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä. Paluu­lämpötilalla on varsin pieni vaikutus lämmitystehon tarpeeseen. Kuitenkin paluulämpötilan tulisi olla aina alle 50 °C. [1, s. 337].

#### 2.4.2 Akkumulointi

Säätämällä menoveden lämpötilaa voidaan ladata tai purkaa verkossa olevaa lämpö­energiaa. Tämä mahdollistaa varautumisen kulutuspiikkeihin niiden vaikuttamatta asiak­kaiden lämmön laatuun. Vain veden virtaus reagoi menolämpötilan muutoksiin, paluu­lämpötilan pysyessä lähes vakiona. [1, s. 337].

Käyttäen ohitusventtiiliä voidaan myös paluupuolelle varastoida energiaa. Ohitusventtiili mahdollistaa menoveden sekoittamisen paluuveteen jolloin vesien lämpötilat ovat lähempänä toisiaan. [1, s. 337].

### 2.4.3 Paisunta ja paineen säätö

#### *Painetaso*

Veden höyrystymisen ja alipaineen estämiseksi on ylipaineen oltava tarpeeksi suuri. Tämä varmistaa häiriöttömän vesikierron suljetussa järjestelmässä. Alipaineessa veteen sitoutuneet kaasut saattavat erottautua ja putken vuotojen takia putkeen voi päästä ilmaa. Tällaisessa tapauksessa putkeen päässyt ilma häiritsee veden virtausta. [1, s. 338].

Korkealla sijaitsevat kuumat lämmityspinnat ja pumppujen imupuoli ovat paikat, joissa on suurin vaara höyryn muodostumiselle [1, s. 338]. Taulukko 1 kuvaa veden höyrystymispaineita eri lämpötiloissa.

**Taulukko 1: Veden höyrystymispaineita eri lämpötiloilla [1, s. 338]**

Lämpötila	°C	70	100	120	150
Höyrystymispaine	bar	-0,68 <sup>1)</sup>	0,03	1,03	3,9

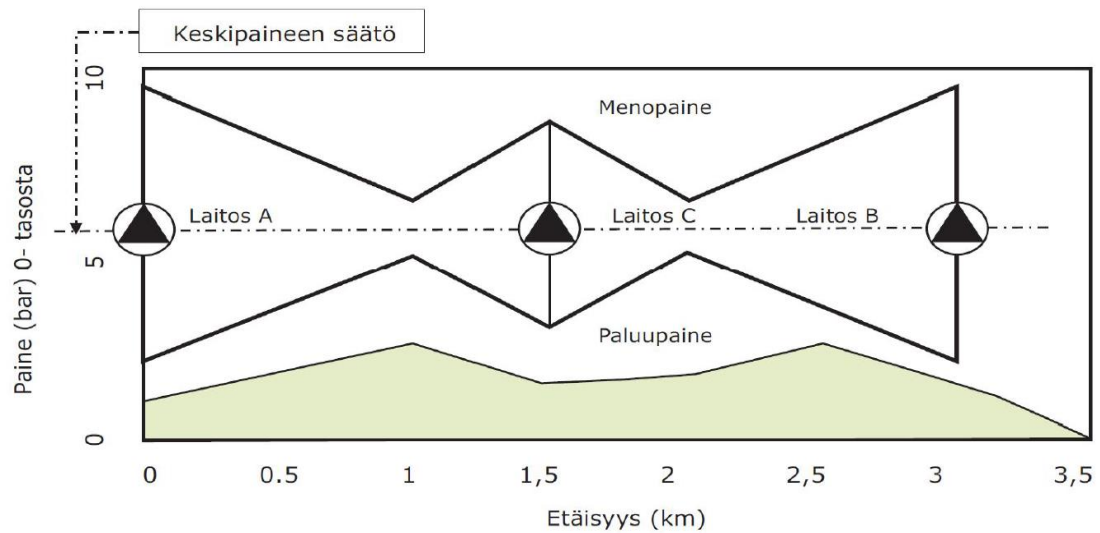
<sup>1)</sup> vastaa alipainetta kun vettä imetään 6,8m korkeuteen

Kavitaatiossa liian pienen imupaineen vuoksi vesi höyrystyy pumpussa kupliksi, joutueksaan juoksupyörän siivistöihin tiivistyvät räjähdysmäisesti vedeksi ja iskeytyvät siiven pintaan ja tuhoaa siivet. Ilmiön välttämiseksi on imupaine säilytettävä höyrystymispainetta korkeammalla. Tämä tarkoittaa 0,5 - 0,8 barin painetta paluupuolella ja 120 °C:n menovedelle vähintään 3 barin painetta. [1, s. 338].

#### *Keskipaine*

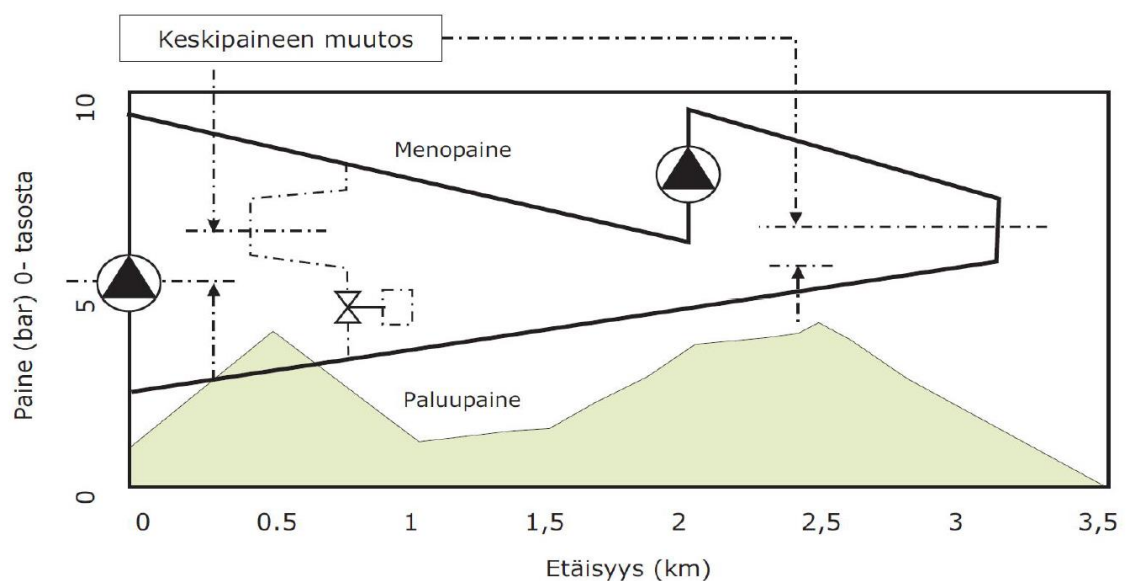
Keskipaineen säätö eli verkoston paineen säätö saa nimensä meno- ja paluupaineiden keskiarvon muodostamasta painekuvaajasta. Tämä korostuu suurissa verkoissa joissa painetaso halutaan pitää vakiona kuormituksesta huolimatta. Keskipainetta säädetään ylläpitolaitteilla. [1, s. 338].

Keskipaineen säätö operoidaan vain yhdestä laitoksesta, vaikka useampi laitos tuottaisi verkkoon lämpöä. Kuitenkin verkkoa suljettaessa pienempiin osiin venttiileillä, tarvitsee jokainen erillinen osa oman keskipaineen säädön (kuva 6). [1, s. 338].



Kuva 6: Kaukolämpöverkon painekuvaaja (useampia laitoksia) [1, s.338]

Verkon keskipainetasoa on mahdollista myös nostaa toiseen putkista sijoitetulla pumpulla ja kuristuksella, sillä muutos on puolet pumpun nostokorkeudesta ja kuristuksesta aiheuttamasta painehäviöstä. Tämä tekniikka soveltuu erinomaisesti korkealla sijaitsevien kohteiden syötössä (kuva 7) [1, s. 339].



Kuva 7: Keskipainetason muuttaminen pumpulla ja kuristusta käyttäen [1, s.339]

Verkon vaatima painetason säätö tapahtuu jaksoittain tai jatkuvasti käyvän pumpun ja ohitusventtiilin yhteistyönä. Niiden mitoitus määräytyy verkon vesitilavuuden mukaan. [1, s. 339].

Esimerkiksi vuototilanteissa paineen ylläpito voidaan toteuttaa vesijohtovedellä. Äkillisissä vuototilanteissa tästä ei kuitenkaan ole apua, koska vesijohtoveden käyttämisestä pitää etukäteen sopia paikallisen vesilaitoksen kanssa. Vesijohtovedessä on kuitenkin runsaasti happea verrattuna kaukolämpövedeen, minkä takia tätä keinoa on syytä käyttää harkiten. [1, s. 339].

### *Paisunta*

Paisunta tapahtuu paineen lisäyksen yhteydessä, kaukolämpöverkkojen ollessa varsin laajoja [1, s.339].

Pienissä verkoissa paisunta hoidetaan suljettuna järjestelmänä käyttäen kalvopaisunta-astiaa. Keskisuurissa ja suurissa verkoissa suljettu paisuntajärjestelmä toteutetaan höyrytyynyllä tai vesilukolla varustetulla paisunta- ja lisävesisäiliöllä. Vesisäiliö voi toimia myös lämpövarastona [1, s.339].

Lämpötilan maksimi muutosnopeuden ollessa 20 °C/h, aiheuttaa se veden tilavuuden muutosta kaukolämpöverkossa 0,8 % /h. Lämpötilan noustessa +20 °C, tarkoittaa se verkossa noin 1,25 %:n kokonaiskasvua, käyttäen laskuissa menoveden ohjelämpötiloja ja normaalia jäähdytystä. Suurimmissa verkoissa säiliö mitoitetaan kesä- ja talvilämpötilojen keskiarvojen muutosten välille, jonka johdosta säiliön tilavuus on noin 2 % verkon vesitilavuudesta. [1, s. 339].

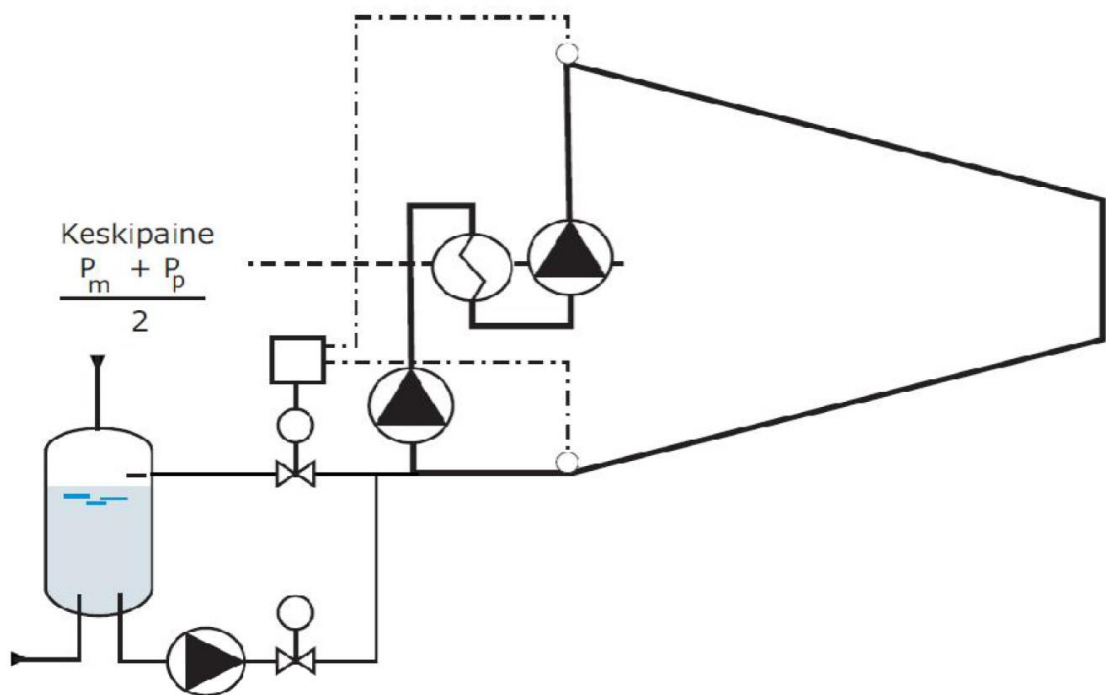
Verkon täyttöjen ja vuotojen vaatima varavesitilavuus on otettava huomioon lisävesisäiliön mitoituksessa. Yleensä tarvitaan myös lisävesipumppu estämään painetason lasku verkon ja laitteiden täyttämisen vaiheessa. Veden tarpeen ennakkotilauksen tärkeys, suunnitelmallisuus ja yhteistyö ovat erittäin tärkeitä verkon käytöstä huolehtivilla, ettei verkon painetaso laskisi kriittiselle alueelle [1, s. 339].

#### 2.4.4 Paine-ero ja säätö

Kaukolämpöpumppujen imu- ja painepuolen paine-ero saa aikaan kierron kaukolämpöverkossa. Riittävä painetaso pitää huolen, että kaukolämpövesi virtaa putkistossa ylä- ja alamäestä huolimatta. Virtausnopeuden kasvattaminen ja verkossa tapahtuvien painehäviöiden korvaaminen kuluttavat pumpputehoa. Termodynamiikan lakien mukaisesti vesi virtaa putkessa suuremmasta paineesta kohti pienempää painetta, tällöin virtaavan veden ja putken välinen kitkavoima aiheuttaa paine-eron. Virtausnopeuden kasvaessa kaksinkertaiseksi painehäviöt nelinkertaistuvat. [1, s. 340].

Asiakkaille toimitettavalle kaukolämpövedelle luvataan vähintään 0,6 barin paine-ero. Tämä kriittinen paine-ero takaa riittävän lämmönsiirron asiakaskiinteistöön. Tasaisen paine-eron takaamiseksi on voimalaitoksella oltava paineensäätöjärjestelmät, jotka reagoivat paineen vaihteluihin. [1, s. 340].

Jotta kaikille asiakkaille saadaan riittävä paine-ero, on tarkkailupisteeksi otettava kriittisimmällä paikalla oleva asiakas. Kriittisimmällä paikalla tarkoitetaan paikkaa, jossa paine-ero on pienimmillään. Saadun informaation ja datan perusteella säädetään kierto- vesipumppu ja näin taataan kaikille asiakkaille riittävät toimintaolosuhteet. [1, s. 340].



Kuva 8: Ylläpitopumppulla ja ohitusventtiilillä hoidettu paineen säätö [1, s. 340]

## *Pumpun säätö*

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

- kuristusventtiileillä
- pyörimisnopeuden säädöllä
- ohitusvirtauksella painepuolelta imupuolelle (kuva 8)
- johtosiipisäädöllä
- juoksupyörää muokkaamalla.

Juoksupyörän muokkaaminen on iso ja monimutkainen prosessi ja periaatteessa tarkoittaa koko pumpun vaihtamista. Varsin harvinainen säätötapa on myös johtosiipien säätäminen, sillä saavutettava säätövara on varsin pieni. Ohivirtaus on taas vaihtoehtona erittäin epätaloudellinen. Nämä osapuolet huomioon ottaen, ovat kuristussäätö ja pyörimisnopeuden säätö yleisimmin käytössä kaukolämpöpumpuissa. [1, s.340].

Pienemmissä verkoissa käytetään edelleen kuristussäätöä, joka kuitenkin on vähenevässä. Pyörimisnopeussäätöön tarvittavien taajuusmuuttajien parantuminen hinnan, luotettavuuden ja käytön helppouden osalta on ollut pää syy kuristussäädön käytön pienemiselle. Myös hieman nousut sähkön hinta ja ympäristötekijät ovat yleistäneet pyörimisnopeussäädön käyttöä. [1, s. 340].

Pumpun ominaiskäyrää voidaan muuttaa tarvittaessa käyttämällä pyörimisnopeuden säätöä. Ominaiskäyrän muutoksella säästetään ylimääräisiltä häviöiltä. [1, s. 341].

Sähkömoottoreihin liitettyjen pumppujen pyörimisnopeuden säätäminen on yleistynyt huomattavasti taajuusmuuttajien kehittymisen ja hinnanlaskun ansiosta. Ennen taajuusmuuttajia käytetyt hihnat, staattorin käämejä päälle kytkevä sähkökytkin ja nestekytkimet ovat poistuneet käytöstä vanhan tekniikkansa takia. [1, s. 341].

Säätämällä pyörimisnopeutta ei kuitenkaan muuteta verkossa kiertävän veden määrää vaan optimoidaan pumpuille oikea käyttö vastaamaan verkossa vaadittavaa kysyntää.

Tämä pienentää pumppujen sähkön tarvetta ja parantaa niiden hyötysuhdetta. [1, s. 341].

On huomioitava kaukolämpöverkon erilaiset kytkentätavat, jos halutaan säilyttää pump-pauksen hyvä hyötysuhde ja taloudellisuus koko kuormitusalueella. Jokaiselle kauko-lämpöverkolle on selvitettävä erikseen pumppauksen taloudellisuus ja kuinka tarkoituk-sen mukainen se on. [1, s. 341].

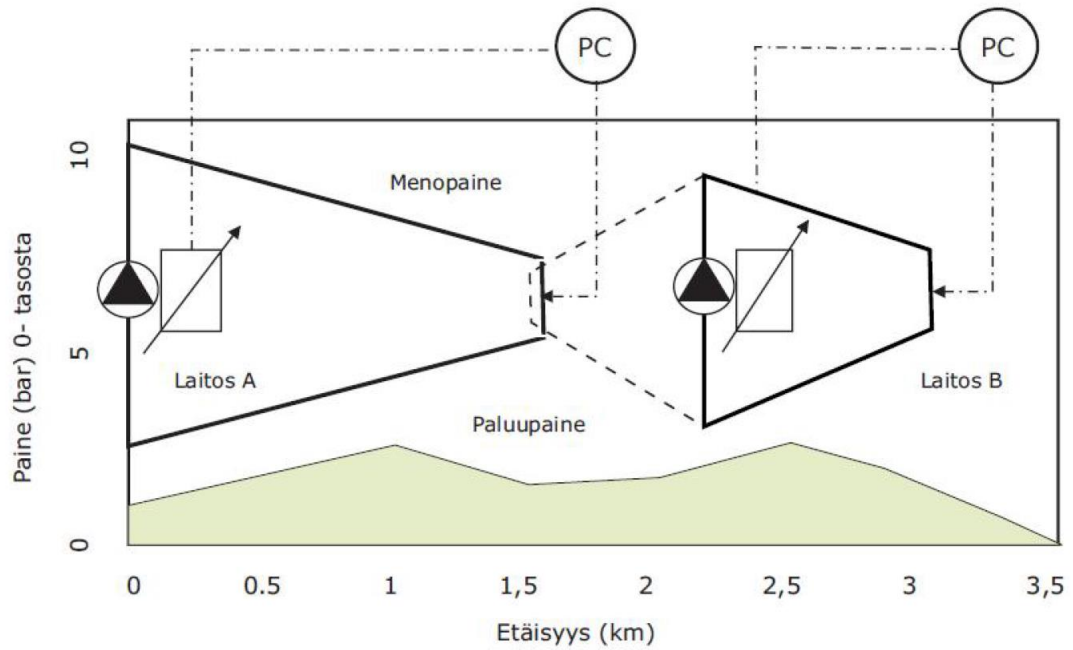
#### *Suuret ja keskisuuret verkot*

Puhuttaessa suuremmista kaukolämpöverkoista, eli yli 10 MW:n verkoista, on yleensä käytössä kaksi tai useampi tuotantolaitos samassa syöttöpiirissä. Lähes poikkeuksetta laitoksissa käytetään pyörimisnopeussäätöisiä pumppuja. Laitosten kesken tehonjako toteutetaan pumppujen nostokorkeutta muuttamalla. Verkon heikoimman kohdan paine-eron toimiessa määräävänä tekijänä, otetaan kyseisestä paikasta säätösuureet jokai-selle laitokselle erikseen. Tämän takia myös verkko-osuudet on eriteltävä. [1, s. 341].

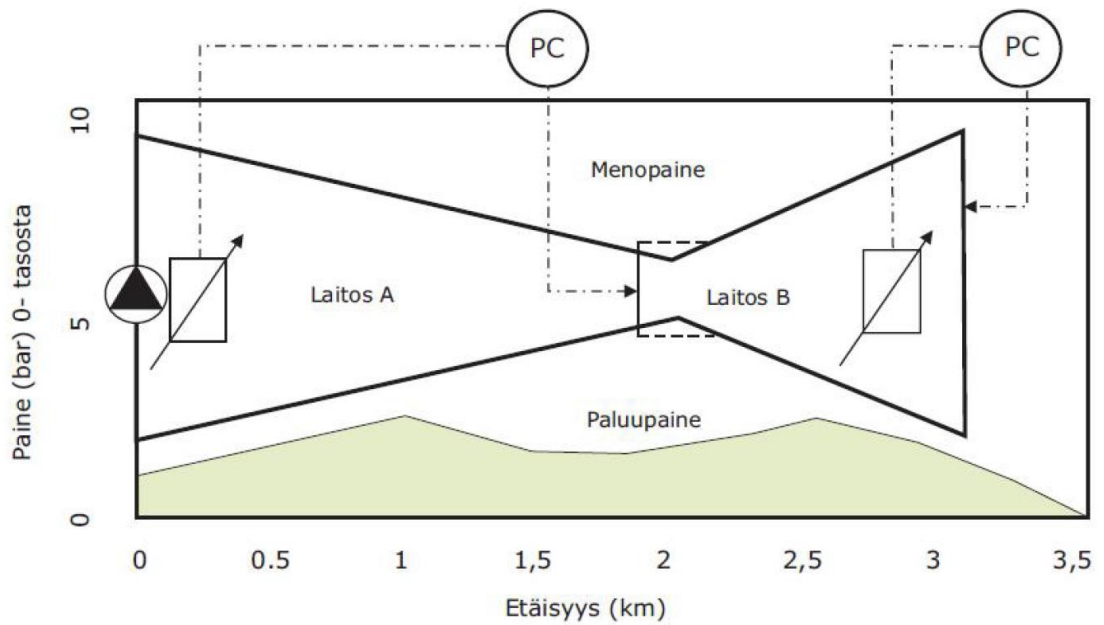
Jos yhtenäinen verkko halutaan säilyttää, voidaan säätö suorittaa yhdellä laitoksella kriit-tisimmän asiakkaan paine-eron suhteen. Tällöin muut laitokset toimivat vakioteholla tai pumpun yli vaikuttavalla paine-erolla. [1, s.341].

Laitosten tehonjakoa on havainnollistettu kuvissa 9 - 1 [1, s. 341].

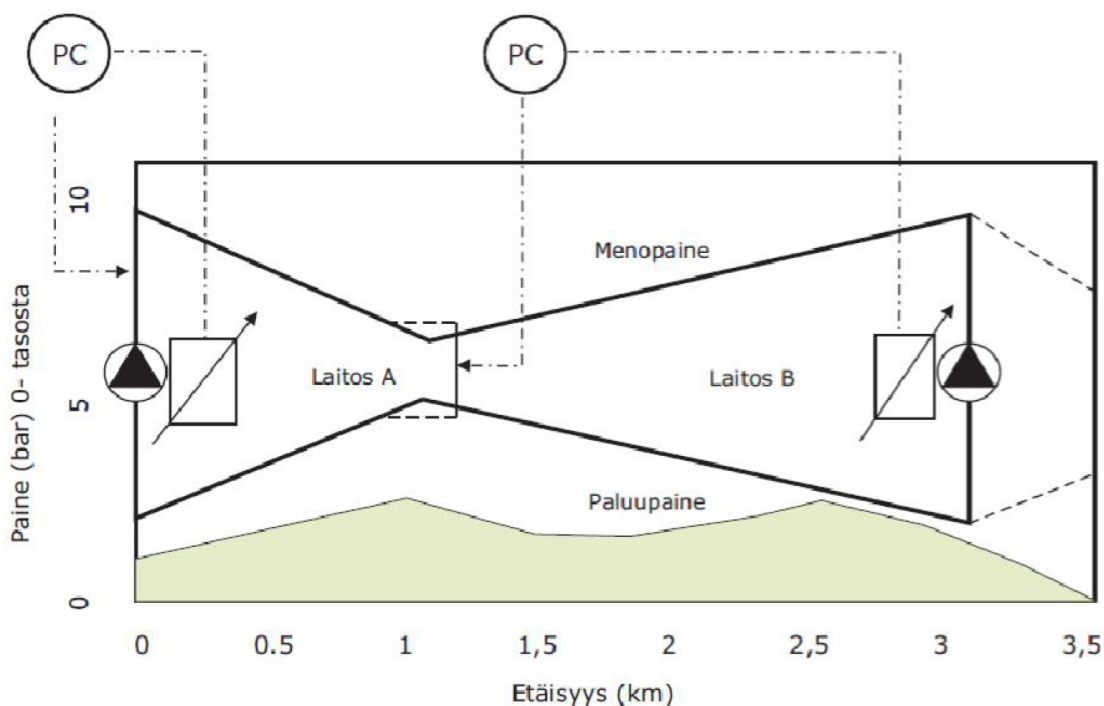




Kuva 9: A-laitos syöttää yksin laitosten välistä verkkoa ja B takana olevaa verkkoa. Kriittisimmän asiakkaan mittaukset määräävät paine-eron säätösuhteen [1, s. 342].



Kuva 10: B-laitos syöttää myös osan laitosten välisestä verkosta, jossa se toimii vakioteholla. A-laitoksen säästösuurena toimii kriittisin asiakas [1, s. 342].



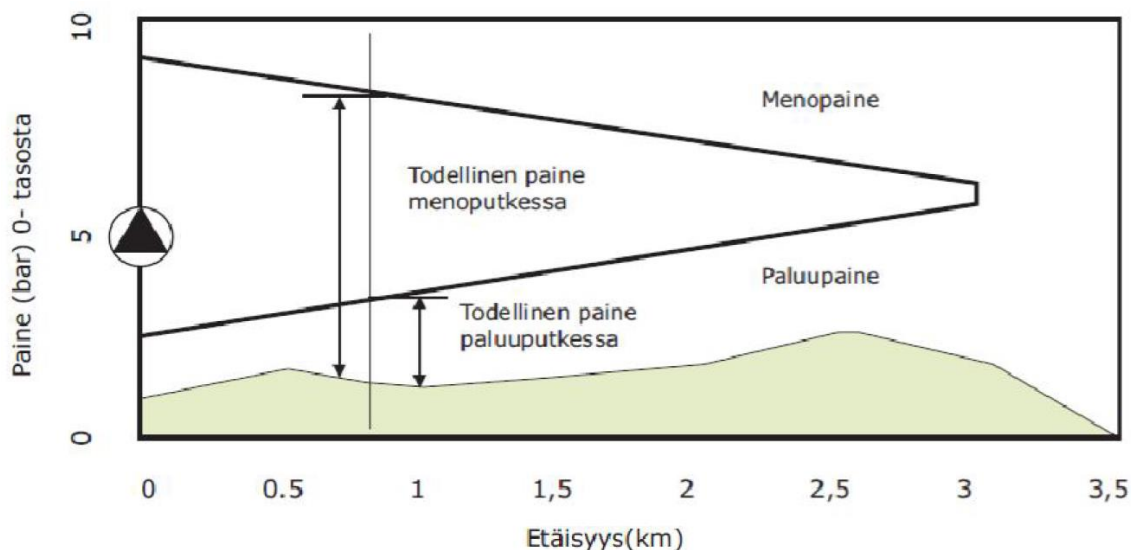
Kuva 11: B-laitos syöttää myös osan laitosten välisestä verkosta, jossa sen säätösuurena on kriittisimmän asiakkaan paine-ero. A-laitoksen säätösuurena on paine-ero pumpun yli [1, s. 342].

Erillisissä huipputuotantolaitoksissa kannattaa käyttää taajuusmuuntajasäätöisiä pumppuja, vaikka tuotantolaitosten käyttöajat ovatkin lyhyitä. Tämä mahdollistaa helpon säädettävyyden ja ajamisen vakioteholla. [1, s. 343].

Kuristusventtiilit huolehtivat paine-eron säädöstä asiakaslaitteiden puolella. Tällöin virtauspinta-ala pienenee ja virtausvastus kasvaa. Suuret paine-erot (yli 4 bar) saattavat aiheuttaa kuristussäädön takia asiakkaille ääniongelmia. Hyvä ratkaisu olisi esimerkiksi vakio paine-erosäätöä. [1, s. 343].

#### 2.4.5 Vesi-iskut

Todellinen putkissa vaikuttava paine on aina paikallinen eli painekuvaajan (kuva 12) ja maastoprofiilin erotus. Perustasossa mitattuun teoreettiseen paineeseen eli samaan kun todelliseen paineeseen lisätään mittauspainan korkeus perustasosta. Tätä teoreettista painetta käytetään painekuvaajan aseman määrittelyssä. Myös rakennepaineen aiheuttama rajoitus on tarkistettava todellisen paineen mukaan. [1, s. 343].



Kuva 12: Kaukolämpöverkon painekuvaaja [1, s. 344].

Putkessa vaikuttaa alipaine verrattuna ympäröivään ilmanpaineeseen, jos paluupainekäyrä leikkaa maastokäyrän painekuvaajassa. Syntynyt alipaine saattaa aiheuttaa ilman pääsyn kaukolämpöverkkoon. Verkkoon päässyt ilma johtaa virtausvastuksen lisääntymiseen. Riittävä virtausvastuksen kasvaminen saattaa laskea paineen veden höyrystymispaineen alapuolelle, jolloin vesi höyrystyy. Höyry lisää jo syntynyttä virtausvastusta ja heikentää veden kiertoa. [1, s. 344].

Pumppujen uudelleen käynnistäminen tulee vaaralliseksi, kun pumppujen pysäyttäminen saa aikaan veden höyrystymisen putkessa. Rakennepaine ylittyy reilusti varsinkin kun kyseessä on suuria höyrymääriä, kuten kattilassa tai kaukolämmönsiirtimessä. [1, s. 344].

Tilanne muuttuu vielä vaarallisemmaksi, jos kierron vähenemistä yritetään korjata kasvattamalla pumppujen kierroslukua. Tällöin paine-ero pumpun yli kasvaa. Jos verkon keskipainetta lähdetään samanaikaisesti nostamaan, niin itse ongelmanaiheuttaja eli alipaine, lauhtuu verkkoon syntynyt höyry takaisin vedeksi. Lauhtunut vesimassa aiheuttaa verkossa vesi-iskun. Iskun aiheuttama paineaalto saattaa rikkoa ja vaurioittaa laitteistoja hyvinkin kaukana verkolla. [1, s. 344].

Samankaltainen tilanne saattaa syntyä, kun vuotokohdan tai sulkujen vuotamisen takia verkon painetaso laskee nopeasti ja vian korjaamisen takia nousee nopeasti takaisin. [1, s. 344].

Paineiskuja varten voidaan varautua asentamalla verkkoon murtokalvoja, joiden murruttua on saatava välittömästi hälytystieto valvomoon. [1, s. 344].

#### 2.4.6 Operointi

Keskusvalvomo huolehtii kaukolämpöverkon ja lämpölaitosten toiminnasta ja ohjauksesta. Valvomon tehtävänä on ylläpitää lämmönjakelun laatua, varmistaa lämmön toimitus, sekä ennakoida mahdollisesti syntyneitä/syntyviä vaurioita ja niistä aiheutuvien käyttökatkojen pituuksia. [1, s. 345].

Prosessissa syntyvä informaatio tallentuu ja siirtyy tieto tarvitseville kaukokäytävän avulla. Saatua tietoa hyödynnetään lämmöntuotannon ja -jakelun optimoimiseen. Luotettavuuden ja yleisen käytettävyyden on vastattava toisiaan. [1, s. 345].

Kaukokäyttö mahdollistaa 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.

Ohjelistojen ylläpito ja päivitys hoidetaan jatkuva- tai jaksottaismiehitetystä valvomosta, josta hoidetaan myös kaukolämpöjärjestelmää. Prosessiasemien ja kaapeliyhteyksien toiminta varmistetaan ongelmatilanteiden varalta akuilla ja ne sijoitetaan myös samaan paikkaan. [1, s. 345].

#### 2.4.7 Kunnossapito

Kunnossapidon tehtävänä on, mahdollisimman edullisin kustannuksin, ylläpitää jakelu- ja tuotantokapasiteettia. Laitteiden ja koneiden kuormitus, samoin kuin verkon kapasiteetti, muuttuvat jatkuvasti. Kyseisiin elementteihin vaikuttavia asioita ovat muun muassa laitosten eliniät, lämmönkulutuksen kehittyminen ja yksittäisten laitosten asema koko tuotantojärjestelmässä. [1, s. 347].

Tehtäviin sisältyy vikaantumisten ja verkon huonontumisen estäminen ja näihin kahteen sisältyvä huoltotoiminta. Lisäksi tehtäviin kuuluu kunnonvalvonta eli mahdollisesti syntyvien vikojen havaitseminen. [1, s. 347].

Riittävä ja asianmukainen dokumentointi on tärkeä osa huoltotoimintaa ja kunnonvalvontaa. Johtotiedoista on saatava selville johtojen tarkka sijainti, rakennusaika, rakennustyyppi, mahdollinen urakoitsija ja johdon varusteet. [1, s. 348].

Maanalaisten johtojen tarkistamisen ollessa erittäin hankalaa, keskittyy kaukolämmön kunnonvalvonta ja huolto verkossa sijaitseviin kaivoihin, avojohtoihin ja mittauskeskuksiin. [1, s. 348].

#### *Maanalaiset johdot*

Jotta kunnossapidon ja parannustoiminnan tarpeellisuutta voidaan määrittää, tulee myös maanalaisten johtojen kuntoa valvoa. Tarvittavia tietoja ovat tiedot toteutuneista tunnusluvuihin, niiden kehityksestä ja vastaavista ennakkotilanteista ja kohteista. Keinoja tiedon keräämiseen ovat mm. kaivotarkastukset ja lisävesiseuranta. [1, s. 348].

Varsinkin lisäveden kulutuksen seuranta on paras mahdollinen keino mitata kaukolämpöverkon kuntoa. Sen takia sen valmistamista ja syöttämistä verkkoon on seurattava jatkuvasti. [1, s. 349].

Muita mainittavia maanalaisten johtojen tarkistuskeinoja ovat riskikartoitukset, lämpökamera- ja videokuvaukset, rasiustestit sekä sähköinen kosteuden valvonta. Lisäksi erinäiset tunnusluvut, vuosittain tehtävät kaivojen tarkastukset sekä seinämäpaksuusmittaukset ovat auttamassa kunnonvalvonnassa. [1, s. 349].

### *Avojohtot*

Verrattaessa maanalaisiin johtoihin on avojohtojen, niiden eristysten, rakenteiden ja varustusten tarkistaminen erittäin helppoa. Ennakkohuollon tehtävänä on tarkistaa johtojen päällyspuolisen kunnon sekä kannatin- ja tukirakenteiden tarkistaminen ja pinnoitteiden korjaaminen. Näistä tärkein on avojohtojen tukirakenteiden pinnoitteiden korjaus, vaikka vuosittaisella tasolla eivät nekään vaadi toimenpiteitä. [1, s. 350].

### *Kaivot*

Kaivojen ennakkohuolto ja kunnossapito ovat pääosassa maanalaisten johtojen kunnonvalvonnassa. Kaivojen huolto voidaan jakaa kahteen ryhmään: kaivohuoltoon ja pumppaukseen. [1, s. 349].

Kaivojen huoltaminen kannattaa suorittaa kesällä eli lämmityskauden ulkopuolella eli kaivojen ollessa kylmiä ja käytön haitat on minimoitu. [1, s. 350].

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

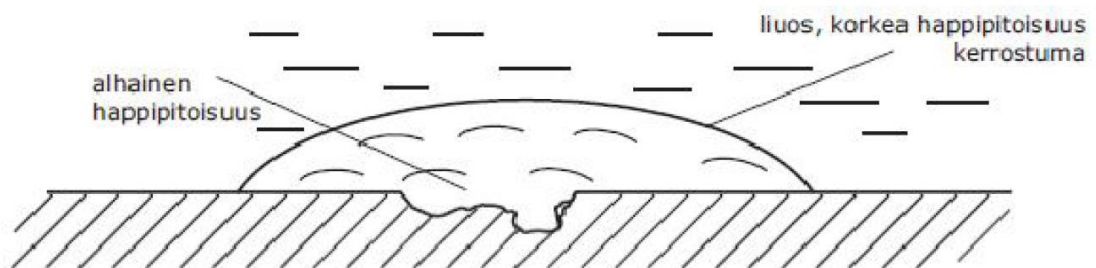
#### 2.4.8 Korroosio

Veteen liuenneet kaasut kuten happi ja hiilidioksidi, normaalista poikkeava pH-taso, liuenneet suolat kuten kloridi sekä saostumia muodostavat yhdisteet aiheuttavat yleisesti kaukolämpöverkossa syntyvää korroosiota ja siitä johtuvia käyttöhäiriöitä. Myös huolimattomasti käsitellyt ja säilytetyt putket (ruostuminen) ja huonosti tehty asennustyö aiheuttavat verkossa ongelmia [1, s.360].

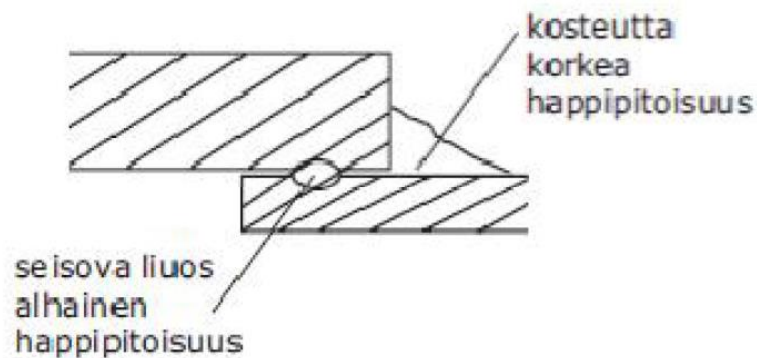
## Happikorroosio

Nimensä mukaisesti happikorroosiota aiheuttaa se, että happipitoinen vesi pääsee kosketukseen teräksen kanssa. Korkea lämpötila ja veden suolapitoisuus nopeuttavat korroosiota. [1, s. 360].

Yleisin muoto happikorroosiosta on, materiaalia verraten nopeasti syövä, teräväreunainen kuoppakorroosio. Myös yleistä eli tasaista happikorroosiota esiintyy. Happikorroosiota aiheuttaa myös tilanteet joissa vedestä puuttuu happi. Näitä tilanteita kutsutaan happivarjostumiksi. Tällöin puhutaan piilo- ja rakokorroosiosta. [1, s. 360] (kuvat 13 ja 14).



Kuva 13: Piilokorroosio [1, s.361]



Kuva 14: Rakokorroosio [1, s.361]

Lisä- tai täyttövesi ovat yleisimmät keinot, joista happi pääsee kaukolämpöverkkoon, tämä korostaa hapen poiston tärkeyttä. Ilmavuodot alipaineisten osien kohdalla ovat yleisin syy josta kiertoveteen pääsee virtaamaan happea. Myös paisuntasäiliöiden tai verkossa esiintyvien vuotojen yhteydessä happea saattaa päästä verkkoon. Lisäksi huono veden säilöntä aiheuttaa happikorroosiota. [1, s. 361].

#### *pH:n vaikutus*

Teräksen ja kuparimetallien korroosion aiheuttaja voi olla väärä pH-taso. Liian matala pH vaikuttaa teräksen syöpymisprosessiin synnyttäen vetyä, reaktio korostuu korkeammissa lämpötiloissa. Liian korkea pH altistaa teräksen jännityskorroosiolle. [1, s. 361].

Pistekorroosiota esiintyy kuparimetalleissa, kun veden pH on alle 7,4. Tällöin vedestä puhutaan sen olevan pehmeää ja hapanta. Mentäessä alle 6,7 pH:n saattaa esiintyä ns. sinisen veden häiriötä eli tasaista korroosiota. [1, s. 361].

#### *Liukoiset suolat*

Lisääntyvät liukoisen suolan pitoisuudet nopeuttavat ja edistävät korroosiota. Yleensä kohonnut lämpötila nostaa suolojen liukoisuutta, mutta esimerkiksi kalium-sulfaatti saostuu korkeammassa lämpötilassa. [1, s. 361 - 362].

Käsittelemätön lisä- ja täyttövesi ja verkkoon pääsevät vuotovedet tuovat mukanaan verkkoon kovuuden aiheuttajia. [1, s. 362].

#### *Eroosiokorroosio*

Erosio ja korroosio yhdessä aiheuttavat yleisesti kuparimetalleille eroosiokorroosiota. Ilmiö vaatii veden sisältävän happea. Eroosio tapahtuu nopean virtaavan kaukolämpöveden avulla saaden esiin uuden puhtaan kuparipinnan. Puhtaalle pinnalle muodostuu kuparin ja hapen reaktiossa kuparioksidipinta, jonka veden virtaus kuluttaa pois. Reaktio jatkuu niin kauan että putki on tuhoutunut. Kiinteät hiukkaset, vedessä olevat kaasukuplat ja pH:n lasku nopeuttavat eroosiokorroosiota [1, s.362].



### *Ammoniakkikorrosio*

Ammoniakkikorrosio esiintyy yleisemmin kuparimetalleilla. Ammoniakkikorroosiossa happi reagoi kuparin kanssa ammoniakkin vaikutuksesta, minkä takia kuparipinnalle muodostuu uutta kuparioksidia. Ammoniakkikorrosio vaatii siis ammoniakkia ja happea. Käytännössä ammoniakkikorrosio on samantapainen kuin eroosikorrosio. [1, s. 362].

### *Galvaaninen korrosio*

Kahden eri metallin välille saattaa syntyä sähköpari. Sähköparin syntyminen lisää toisen metallin korroosiota ja syöpymistä toisin kuin se yksin samoissa olosuhteissa tekisi. Kaukolämpöverkossa tilanteeseen on useita mahdollisuuksia, kun käytössä on useassa tilanteessa eri metalleja. [1, s. 362].

### *Jännityskorrosio*

Ulkoisten tai sisäisten jännitysten takia metalliin saattaa syntyä murtumia. Passiivisesti suojatut metallit, kuten ruostumattomat ja haponkestävät teräkset ja kuparimetallit, ovat herkempiä jännityskorroosiolle. [1, s. 363].

### *Biologinen korrosio*

Biologisen korroosion eli MIC–korroosion (Microbiologically Influenced Corrosion) aiheuttavat mikrobit ja bakteerit ja niiden yhteisvaikutus. Biofilmi eli putken pinnalle syntyvä eliöstökalvo on merkittävin biologisen korroosion aiheuttaja. Esimerkiksi hitsaussaumot ja virtauksen kuolleet kohdat toimivat mikrobien takertumispintoina. [1, s. 363].

### *Ulkopuolinen korrosio*

Kirjallisuudesta on vaikea löytää tietoa ulkopuolisesta korroosioista, koska sitä ei tapahdu käytännössä ollenkaan hyvien eristeiden ja putken erittäin kuumen pinnan takia. Kuitenkin ulkopuoliset tekijät ovat erittäin usein osallisena kaukolämpöverkon vuotoihin. Rakennus- ja korjaustöissä kaivetaan useasti kaukolämpöverkon läheisyydessä ja inhimillisten virheiden takia saattaa kaivurin kauha tai poranterä lävistää kaukolämpöputken erittäin ikävin seurauksin.

### 3 Kaukolämmön lisävesi

#### *Veden epäpuhtaudet*

Luonnossa tapahtuvasta veden haihtumisesta syntyvä vesi höyry on verraten puhdasta, kun taas alas satanut vesi liuottaa ilman sisältämät saasteet ja epäpuhtaudet. Näitä epäpuhtauksia ovat mm. happi, typpi, hiilidioksidi sekä rikin ja typen oksidit. Lisäksi maaperästä liukenee veteen mineraaleja, kuten [3, s. 26]:

- kalkkikiveä eli kalsiumkarbonaattia  $\text{CaCO}_3$
- dolomiittiä eli magnesiumkarbonaattia  $\text{MgCO}_3$
- silikaattia eli piioksidia  $\text{SiO}_2$
- ruokasuolaa eli natriumkloridia  $\text{NaCl}$
- metalleja, kuten rautaa  $\text{Fe}$  ja alumiinia  $\text{Al}$
- orgaanisia elollisen luonnon hajoamistuotteita.

Lämpötilan noustessa saostuvat ja suolapitoisuuden kasvaessa kovettuva kalsium ja magnesium. Kuitenkin kalsium, magnesium ja silikaatti ovat pahimmat kattilakivien aiheuttajat. Piioksidi saattaa muodostaa alumiinin kanssa silikaatteja tai saostua suolojen kanssa. [3, s. 26].

Kuumat pinnat aiheuttavat silikaattien väkevöitymistä jatkuvassa lämpökuormituksessa. Lämpökuormituksen loppuessa siirtyy silikaatti putken reunalle samalla virtausvyöhykkeessä laimentaan  $\text{SiO}_2$  – pitoisuutta. Ilmiötä kutsutaan hide-out piiloutumisilmiöksi. [3, s. 26].

Rauta ja happi reagoivat hapen kanssa aiheuttaen korroosiota. Kokonaisraudalla ja kokonaiskuparilla tarkoitetaan hiukkasmuotoisten ja ionisoituneen raudan ja kuparin yhteismäärää (mg/kg). Kupari saattaa synnyttää putkeen myös galvaanisen sähköparin ja aiheuttaa syöpymistä. [3, s. 26].

Hapen kiihdyttäessä korroosiota, voidaan sekin laskea epäpuhtaudeksi. Jäännöshapella kuvataan termisen tai kemiallisen kaasunpoiston jälkeen veteen jäänyttä ja ilmavuodoissa liunneen hapen määrää (mg/kg). [3, s. 26].

Luonnollisesti kerrostumia ja tukkeumia aiheuttavat kiinteät aineet. Lisäksi orgaaniset ainekset aiheuttavat kerrostumia ja kuohumista. Öljy luo lämmönsiirtopinnoille eristävän kalvon. [3, s. 27].

### 3.1 Valmistus

Kaukolämmön lisäveden valmistuksessa tapahtuvat vaiheet [4, s. 282]:

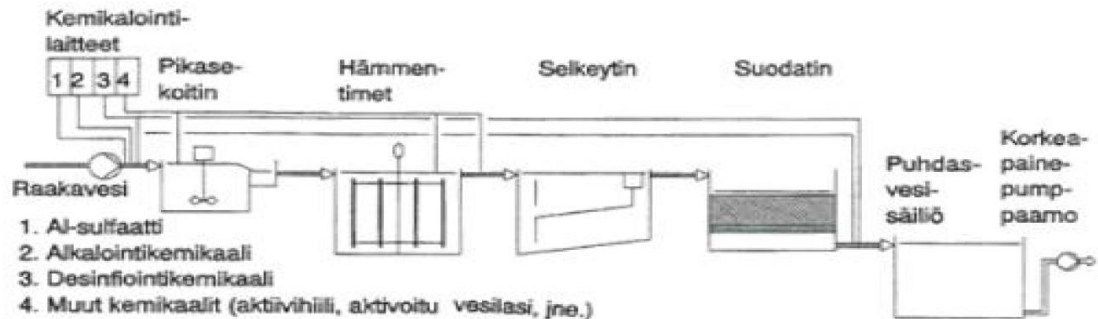
- karkeiden epäpuhtauksien poisto
- humuksenpoisto
- kovuudenpoisto (tarvitaan jos ei käytetä täyssuolanpoistoa)
- täyssuolanpoisto.

#### 3.1.1 Karkeat epäpuhtaudet

Suurimpien karkeiden epäpuhtauksien poistamiseksi prosessista käytetään erilaisia välppiä ja siivilöitä. [4, s. 281].

### 3.1.2 Humuksenpoisto

Humuksenpoisto tapahtuu kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15: Humuksenpoiston periaatekaavio [4, s. 283]

Humuksen poistossa yhdistyvät kemialliset ja mekaaniset menetelmät. Raakavesi lämmitetään reaktioiden tehostamiseksi sopivaan lämpötilaan ja sekaan annostellaan kemikaalit, joiden tarkoitus on muodostaa humuksen kanssa hiutalemaista flokkia. Flokki poistetaan pohjalta jatkuvalla puhalluksella tai määräväleillä tapahtuvalla puhalluksella [4, s. 282].

### 3.1.3 Kovuudenpoisto

Kalsium- ja magnesiumsuolat liukenevat maasta veteen ja ovat pahimpia kattilakivien aiheuttajia. Suolojen liukoisuus veteen heikkenee lämpötilan kohotessa, ja ne muodostavat kuumille pinnoille kiinteitä kerroksia. [3, s. 29].

Veden kovuus kuvaa kalsium- ja magnesiumsuolojen määrää vedessä. Veden kovuutta kuvaa saksalainen kovuusyksikkö °dH (deutscher Härtergrad). Käytännössä yksikkö kertoo että 10mg CaO:ta litrassa vettä vastaa 1 °dH yksikköä. °dH-yksikössä 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	21 < °dH

Kovuuden poistaminen vedestä voidaan toteuttaa termisesti, jolloin vesi lämmitetään kiehumispisteeseen, jolloin haluttu karbonaattikovuus saadaan hajotettua, tai kemiallisesti. [6, s. 284].

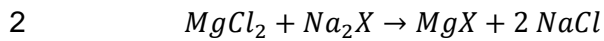
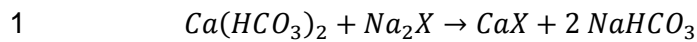
#### 3.1.4 Kovuudenpoisto pehmenyysuodattimella eli ionivaihdolla

Pehmenyysuodatin on yksi keino veden pehmentämiseksi. Pehmennettävä vesi virtaa ionivaihtohartsin (kuva 16) läpi, jossa haitalliset kalsium- ja magnesiumionit vaihtavat natriumionien kanssa paikkoja. Natriumionit kulkevat eteenpäin veden mukana, kun kovuutta aiheuttavat ionit jäävät vaihtohartsiin. [3, s. 29].



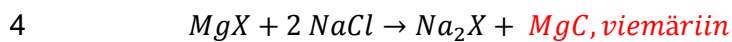
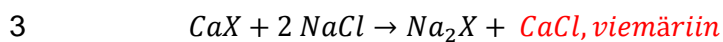
Kuva 16: Ioninvaihdossa käytettävää hartsimassaa [5]

Veden kovuutta aiheuttavien kalsiumkarbonaatin ja magnesiumkloridin reaktiot tapahtuvat seuraavasti [4, s. 284]:

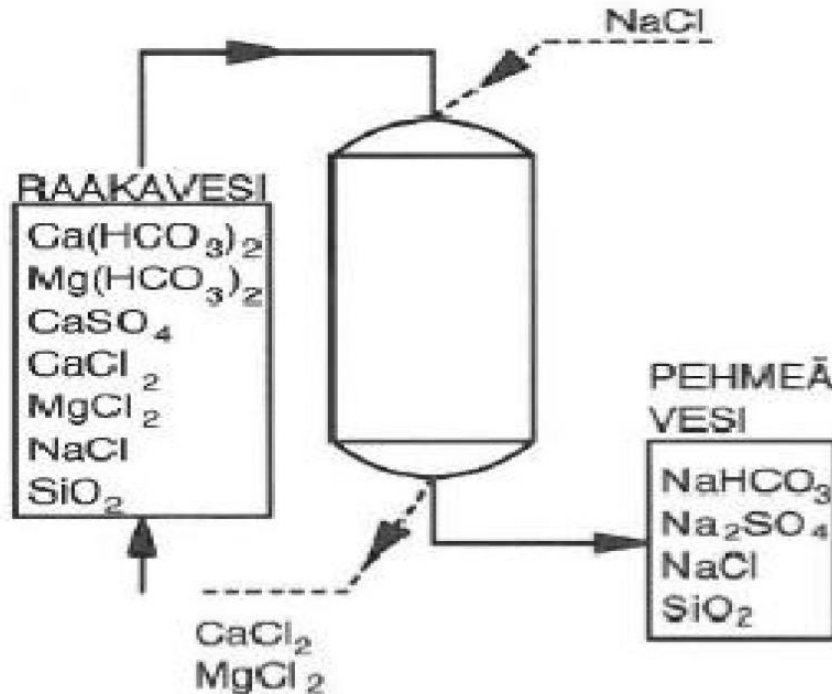


Elvytyksessä läpikäytävät vaiheet ovat vastavirtahuuhtelu, elvytys NaCl-liuoksella ja jälkipesu [3, s.284].

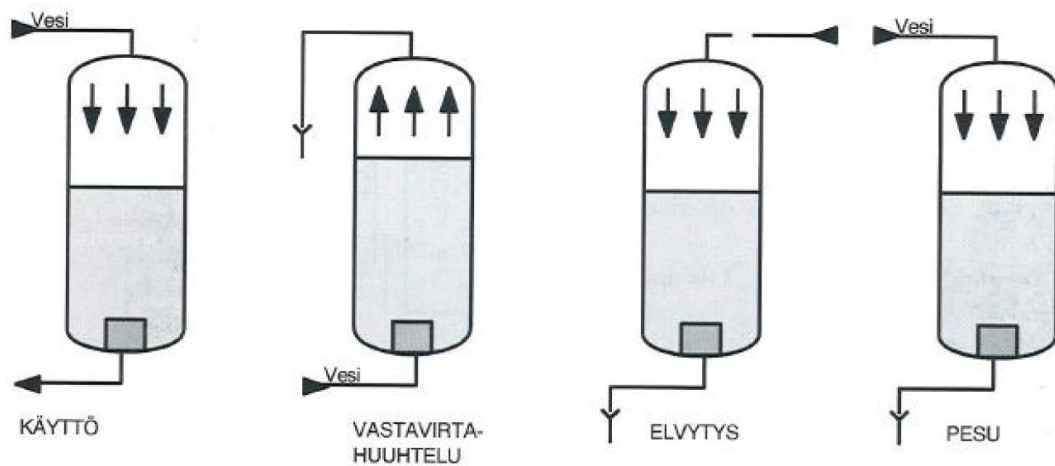
Elvytysreaktiot [4, s. 284]:



Vaikka kovuudenpoisto suoritetaan, ei kokonaissuolapitoisuus vähene. Pehmennysuodatinta käyttäen päästään alle 0,04 mval/kg kovuuteen. Yleisimmin kovuudenpoistoa käytetään matalapaineisen lämmityshöyryn tekemiseen (1 - 20 bar). [3, s. 29]. (Kuvat 17 ja 18).



Kuva 17: Pehmennyssuodattimen toimintaperiaate [6, s.285]

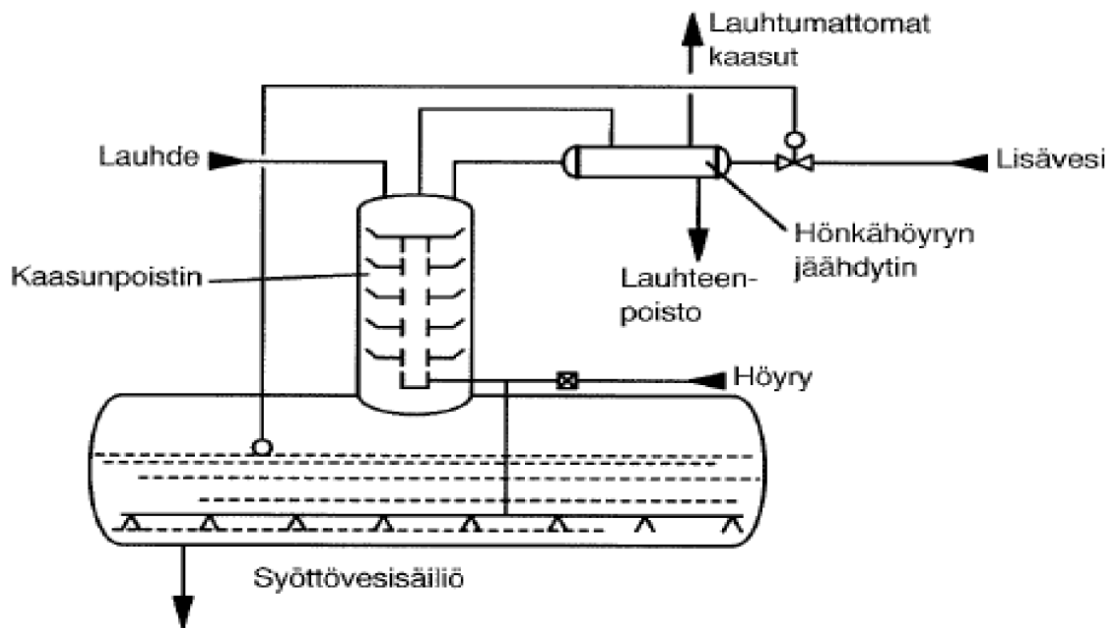


Kuva 18: Ionivaihtimen eri käytön vaiheet [6, s. 285]

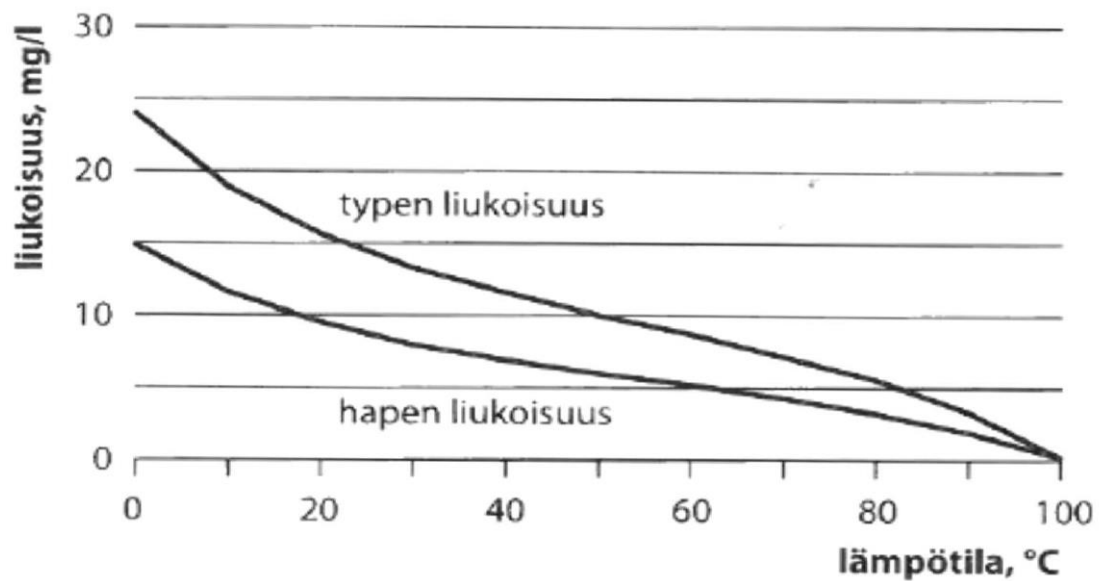
### 3.2 Terminen kaasunpoisto

Paine ja lämpötila ovat olennaisia tekijöitä jotka vaikuttavat kaasujen veteen liukenemiseen. Kiehumispisteessä liukeneminen pysähtyy. Kaasunpoistossa on olennaista säilyttää tasainen kiehumislämpötila ja kyseisen kiehumislämpötilan nopea saavuttaminen, jolloin prosessi on huomattavasti helpompi. Myös veden hajottaminen mahdollisimman pieniksi pisaroiksi tehostaa kaasunpoistoa [3, s. 33].

Kaasunpoistossa käytetään yleensä tornimaista säiliötä, jossa vesi kulkee reiitettyjen teräslevyjen läpi. Säiliöön vesi johdetaan alhaalta ylös. Hönkähöyryputki sijaitsee kaasunpoistimen päällä. Hönkähöyryn massavirran tulee kontaktiaikana olla sopiva. Putki kuljettaa poistetut kaasut yleensä lämmöntalteenoton kautta. Kaasunpoistin (kuva 19) voidaan toteuttaa ilman tornimaista rakennelmaa rakentamalla se syöttövesisäiliöön [3, s. 33; 14]. Kuva 20 kuvaa hapen ja typen liukoisuutta lämpötilan funktiona.



Kuva 19: Kaasunpoistin syöttövesisäiliön päällä [4, s. 288]



Kuva 20: Typen ja hapen liukoisuus veteen eri lämpötiloissa [3, s. 33]



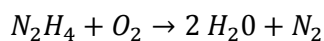
### 3.3 Kemikaalien lisäys

Syitä lisätä kemikaaleja kaukolämmön lisä-, kierto- ja käyttöveteen ovat mm. pH-arvon säätö, hapen kemiallinen poisto, kemiallisten reaktioiden (esim. korroosio) hidastaminen, sähkönjohtavuuden nostaminen sekä vuotojen paikallistaminen. [1, s. 367].

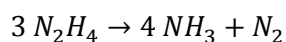
Laitosten eri kokoon panot aiheuttavat vaihteluja kemikaalien annostelukohdassa. Yleisesti pätevänä ohjeena voidaan pitää kemikaalien syöttämistä kaukolämmön paluuputkeen tai lisä- tai täyttöveteen. Tämä tarkoittaa kemikaalien syöttämistä kiertoveteen ennen tai jälkeen laitosta. Kaukolämpövesi sisältää yleisesti hyvin vähän kemikaaleja. [1, s. 367].

#### 3.3.1 Hydratsiini $N_2H_4$ , kemiallinen hapenpoisto

Suomessa hydratsiinia käytetään yleisesti hapen sitomiseen vesi-höyry-kierrossa ja kaukolämpövesissä [1, s.367]. Kuitenkin sen kieltämistä pohditaan parhaillaan, mutta tämä ei vaikuta Fortumin toimintaan Keski-Uudenmaan alueella. Veteen laimennettu hydratsiini reagoi hapen kanssa muodostaen vettä ja typpeä, eli sen käytössä ei muodostu haitallisia yhdisteitä. [14; 1, s. 367 - 368; 3, s.33]:



Korkeassa yli 200 °C lämpötilassa syöttöveden pH nousee, kun hydratsiini hajoaa typeksi ja ammoniakiksi [1, s.368; 3 s.33]:



Hydratsiinin tarkoituksena on hapen sitominen vedestä. Vaikka pH:n nousu estää korroosion syntymistä, ei se ole hydratsiinin tarkoitus. Tämän takia hydratsiini syötetään veteen kohdassa, jossa lämpötila on alle 200 °C eli syöttövesisäiliöön kaasunpoistimen jälkeen. Annostus tulee tapahtua niin, että veden  $N_2H_4$ -pitoisuus on 0,05-0,2mg/kgH<sub>2</sub>O [3, s.33].

### 3.3.2 pH:n säätö

Riippuen tapauksesta pyritään kaukolämpöveden pH pitämään noin 7,5–9,5 pH:n välillä eli lievästi emäksisenä ja tällä pyritään estämään korroosion syntyminen. Liian emäksinen vesi taas on herkkä kuohumaan eli alkalointi ei saa nostaa pH-arvoa liikaa [3, s. 34]. Yleisesti ovat käytössä seuraavat alkalointiaineet. Jakaantumiskertoimella tarkoitetaan kahden yhdisteen höyryfaasien konsentraation 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 syövyttää kuparia ja messinkiä, mutta on alkalointiaineista halvin. Sen jakaantumiskerroin 14 on epäedullinen. Samassa tilavuudessa samapaineisen ammoniakkihöyryfaasin moolimäärä on 14-kertainen vesihöyryyn verrattuna. Tavoiteltavin jakaantumiskerroin alkalointiaineille on yksi. Hyvät ominaisuudet omaavia aineita ovat butanolamiini ja aminometyylipropanoli. Molemmat yhdisteet ovat vahvoja alkaleja ja molemmilla jakaantumiskerroin on noin yksi. Lisäksi ne ovat työhygienian kannalta sopivia miedon hajunsa takia. [3, s. 34].

### 3.3.3 Yhdistelmäkemikaalit

Kehittyvä teknologia mahdollistaa kemikaalien yhdistämisen, joilla voidaan korvata useampia kemikaaleja ja kyetään räätälöimään kemikaalit asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Yhdistelmäkemikaaleissa haluttuja osia saattavat olla hapensitojat, pH:n säätäjät sekä korroosioinhibiitit. Käytettäessä yhdistelmäkemikaaleja on niiden koostumus ja soveltuvuus tutkittava perusteellisesti. [1, s. 368].

### 3.3.4 Kemikaalit johtokyvyn säätämiseen

Kaukolämpöveden sähkönjohtavuuden tulee olla 50–100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  magneettisten lämpö-energiamittausten toiminnan varmistamiseksi. [1, s. 368].

Suolapitoisuuden kasvaessa verkossa, kasvaa myös korroosioriski. Suola ravitsee myös putkessa mahdollisesti olevia mikrobeja. Suolapitoinen, pehmenyskäsittelyn käynyt li-sävesi ei yleensä tarvitse suolan lisäystä. Johtokyvyn nostamiseksi sopii hyvin lipeä, kun käytetään suolatonta vettä lisävetenä. Jos lipeä ei kykene haluttuihin arvoihin, voidaan suolaukseen käyttää natriumsulfaattia. [1, s. 368].

Fortumin KEU:n ja Espoon alueella on tehty sopimus mittariosaston kanssa verkon sähkönjohtavuustavoitteeksi 100–150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sähkönjohtavuuden lisääminen kannattaa tehdä ottamalla pehmenettyä kaasunpoistettua vesijohtovettä, ei lisätä natriumsulfaattia, joka saattaa lisätä mikrobiologista toimintaa. [14].

### 3.3.5 Värikemikaalit

Kaukolämpövedeen lisättävä väriaine on fluorisoivaa, mikä tekee siitä uv-valolla havaittavaa. Tämä helpottaa pienimpienkin vuotomäärien havaitsemisesta helppoa. [1, s. 368].

Käytettävän väriaineen täytyy olla ympäristölle myrkytöntä, riittoisaa ja hyvin havainnointavaa mahdollisten vuotojen takia. Lisäksi se ei saa olla haitallista kattioille tai laitteille. Käytettyjä väriaineita ovat mm. pyraaniini ja uraniini. Kyseisiä aineita ei ole luokiteltu vaaralliseksi. Käytetyistä aineista pyraaniinin fluoresenssi loppuu, kun pH putoaa alle 8. Se toimii siis selvästi emäksisessä KL-vedessä. [14; 1, s. 368].

## 3.4 Lauhteen puhdistus

Lauhdutin- ja lämmönvaihdinvuodot aiheuttavat epäpuhtauksia. Lauhteen puhdistuksella pyritään poistamaan keskeyttämättä käyttö puhdistamaan teollisuuden ja kaukolämpökeskusten korroosiotuotteet. [3, s.34].

Lauhteen puhdistuksessa voidaan käyttää magneettisuodattimia tai mekaanisia keinoja tai ionivaihdinta. Mekaanisia suodattimia ovat hiekka-, aktiivihiili-, kynttilä ja päällyste-suodatin. [3, s. 34].

Karkeiden hiukkasten poistoon käytetään hiekkasuodatinta, jolla päästään 10 $\mu$ m ja siitä suurempiin. Suodattimessa käytetään kvartsihiekkää. [3, s. 34].

Jos lauhde on öljyistä, käytetään suodattamiseen aktiivihiilisuodatinta. Öljypitoisuuden ylittäessä 10mg/kg, pitää lauhdesta erottaa öljy öljynerottimella ennen suodatinta. Jos lauhdeessa on myös ruostetta öljyn lisäksi, on aktiivihiilisuodattimen käyttö turhaa. Ruosteen ja öljyn yhdistelmä tukkii suodattimen. [3, s. 34].

Kynttiläsuodattimen rakenne muodostuu useammista lieriönmuotoisista patruunoista, joiden ruostumattoman teräsrungon ympärillä on tekokuitu- ja puuvillalankaa. [3, s. 34].

Päällystesuodattimien säiliö on sylinterin muotoinen. Säiliön sisällä on kerroksittain huokoisia elementtejä, joiden pinnalle suihkutettava jaksoittainen pinnoite hoitaa suodatuksen. Likainen suodatin pestään ja päällystetään uudelleen. [3, s. 43].

Sähkömagneettisuodattimessa säiliö täytetään noin metrillä teräskuulia ja ulkopuolelle muodostetaan magnetointikäämi. Suodattimen likaantuessa sähkövirta katkaistaan ja suoritetaan vastavirta huuhtelu. [3, s.34–35].

### 3.5 Veden laatu

Oikea lisä- ja täyttöveden valmistus ja säilyttäminen sekä kiertoveden puhdistus ovat erittäin tärkeä osa kaukolämpöjärjestelmän huoltoa ja hyvän kunnon säilyttämistä. Kiertoveden on täytettävä korkeat laadulliset vaatimukset. Veden tulee säästää rakenteita korroosiolta ja estävän kerrostumien syntymistä järjestelmän osiin. Kunnollisella kiertovedellä päästään suunniteltuun verkkojen ja kattiloiden elinikään. [1, s. 363].

Laitoksen koko, kytkentätavat ja käytettävän raakavesilaadun määrä määrittelevät kaukolämpöverkon lisä- ja täyttöveden laadun ja tarvittavat puhdistuksen (liite 4). [1, s. 363].

Korroosion aiheuttamia putken sisäisiä ongelmia esiintyy Suomessa erittäin harvoin. Useimmin esiintyviä ongelmia ovat lämpöenergiamittareiden magneettisten virtausantureihin liittyvät ongelmat. Epäpuhtaudet kerrostuvat mittauspinnoille ja laitteen mittaus-tarkkuus heikkenee. Mittareiden puhdistustarvetta lisää veden alhainen sähkönjohto-kyky. [1, s. 360].

Raakaveden laatu, kaukolämpöveden vaihtuvuus ja verkon koko vaikuttavat kiertoveden käsittelytapaan. Ilman hapenpoistoa tai korroosioinhibiitti-kemikaaleja selvittää, jos raakavesi on hyvän laatuista ja veden vaihtuvuus on vähäistä. [1, s.360].

## 4 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tarkastella Keski-Uudenmaan vuosina 2005–2015 laajasti muuttunutta kaukolämpöverkkoa, sen lisävesiä ja yleistä toimitusvarmuutta. Tarkemmin tutustuttiin verkon laajentumiseen ja millaisia muutoksia se on saanut aikaan. Myös verkon luotettavuutta koetelleet vuodot olivat tärkeä osa tutkimusta.

Fortumille tehtyjen tutkimustöiden lisäksi työssä tutustuttiin tarkemmin kaukolämmön teoriaan ja sen lisäveden tuotantoon. Kyseisen teoriaosuuden jälkeen pitäisi lukijan ymmärtää kaukolämmön tekniikkaa paremmin ja ymmärtää missä asiasta on kyse.

Työssä päästiin kohtuullisiin hyviin tuloksiin. Kaukolämpöverkon nykytila ja luotettavuus ovat hyvällä asteella, vaikka sijoituksia tulevaisuudessa tulee tehdä. Kasattu materiaali teoriasta ja kaukolämpöverkosta ovat tuoreita, joten myös tiedon sisältöä voidaan pitää varsin luotettavana. Henkilökohtaisesti minut yllätti positiivisesti lisäveden riittävyys varsin suuressakin vuototilanteessa. Kuitenkin aikaisempi käsitys lämmityslaitosten käytöstä ja niiden lisävesien ajosta sai paljon päivitystä, kun selvisi niiden olevan paikan päältä ajettavia. Näkisin tulevaisuudessa kaikkialla niiden olevan kaukokäytettäviä keskusvalvomoista käsin.

Työn aloittaminen oli suhteellisen haastavaa henkilökohtaisten pohjatietojen asiasta ollessa varsin vähäiset. Lähdin avaamaan aihetta tutustumalla aiheeseen liittyviä opinnäytetöitä ja etsimään muita lähteitä Kaukolämmön käsikirjan [1] lisäksi. Keino osoittautui erittäin hyväksi ja tehokkaaksi. Parista eri lähteestä sain kasattu muutaman kirjan listan joissa on käsitelty minun työssäni sivuttavia aineita. Lisäksi varsin hyvät palaverit työn alkupuolella helpottivat työn tekoa.

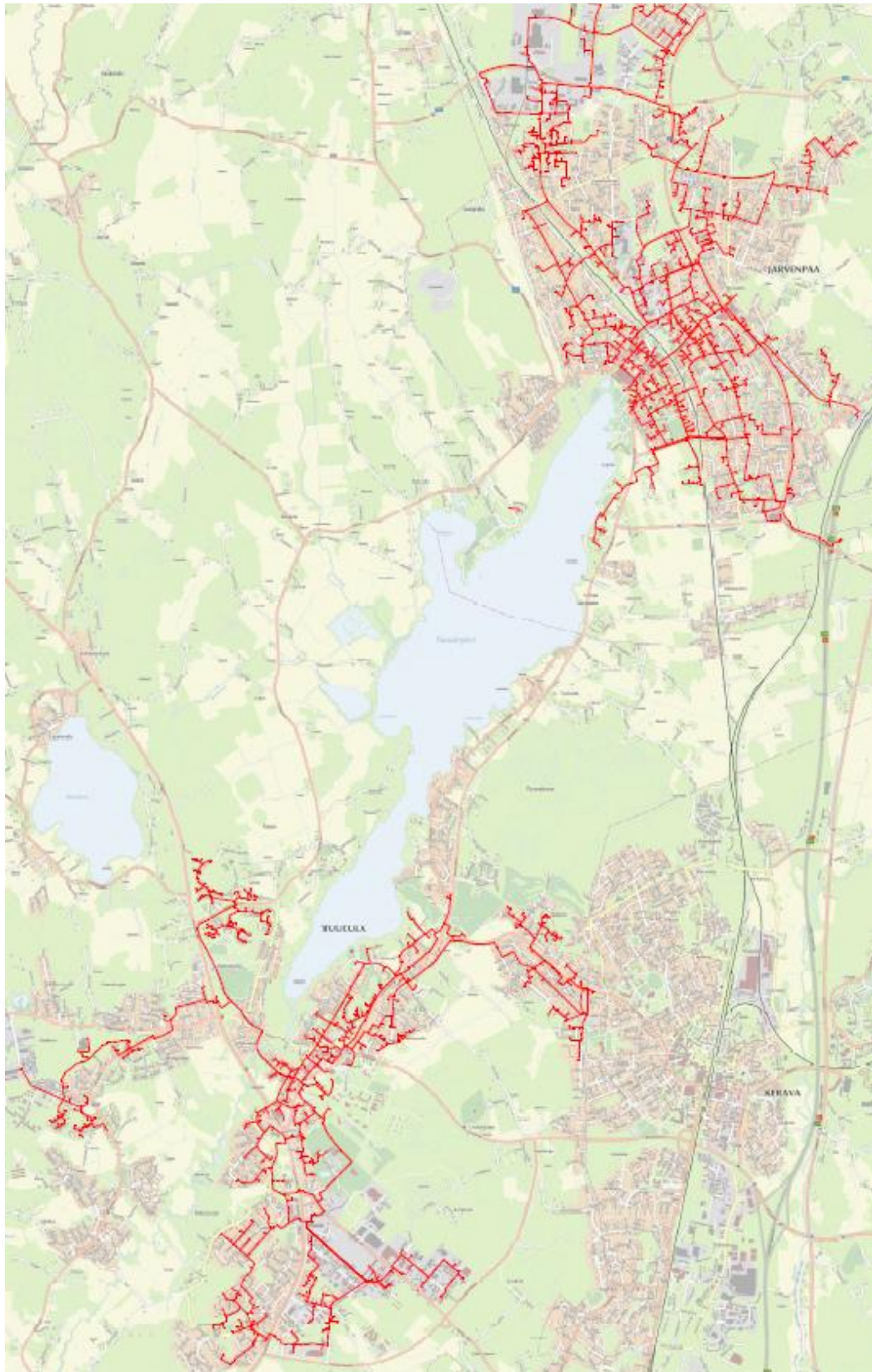
Täytyy mainita myös ohjaavan opettajan Jarmo Perttulan avustaminen korroosioon liittyvissä asioissa ja Fortumin henkilökunnan tietotaito aiheeseen liittyen, jotka avustivat aineiston kasaamisessa.

Haluaisin vielä kiittää työhön osallistuneita henkilöitä ja tahoja jotka ovat minua sen teossa auttaneet tiedoillaan tai ammattitaidoillaan.

## Lähteet

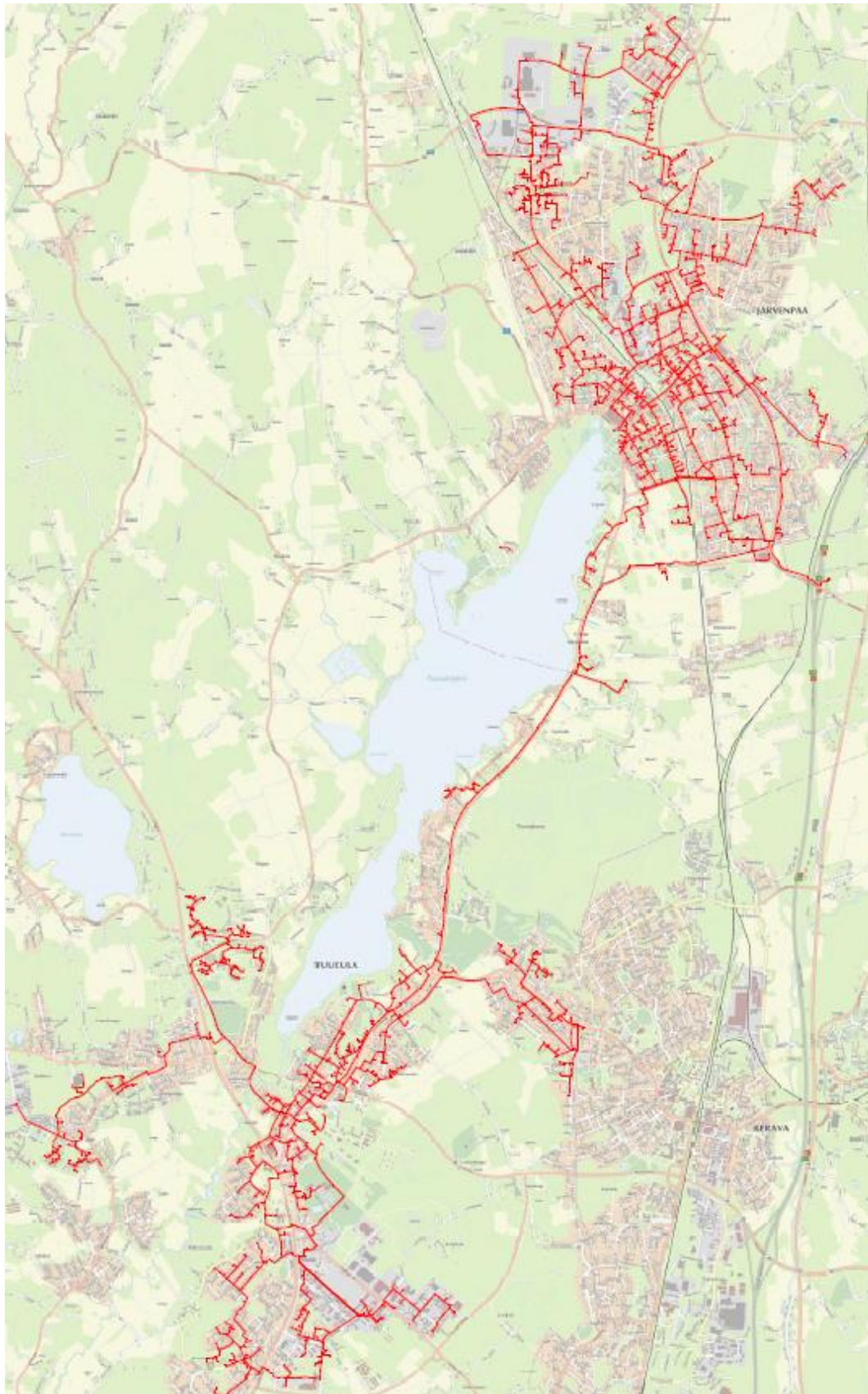
- 1 Koskelainen, Lasse, Saarela, Lauri & Sipilä Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus
- 2 Perttula Jarmo. 2000. Energiatekniikka. Helsinki: WSOY
- 3 Huhtinen Markku, Korhonen Risto, Pimiä Tuomo ja Urpilainen Samu. 2008 Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus
- 4 Huhtinen Markku, Kettunen Arto, Nurminen Pasi ja Pakkanen Heikki. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus
- 5 Looking For Diagnosis, Ion Exchange Resins. 2014. Verkkodokumentti. [http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=Ion+Exchange+Resins&lang=1](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Ion+Exchange+Resins&lang=1). Luettu 6.4.2015.

KEU:n verkko ennen yhdistymistä

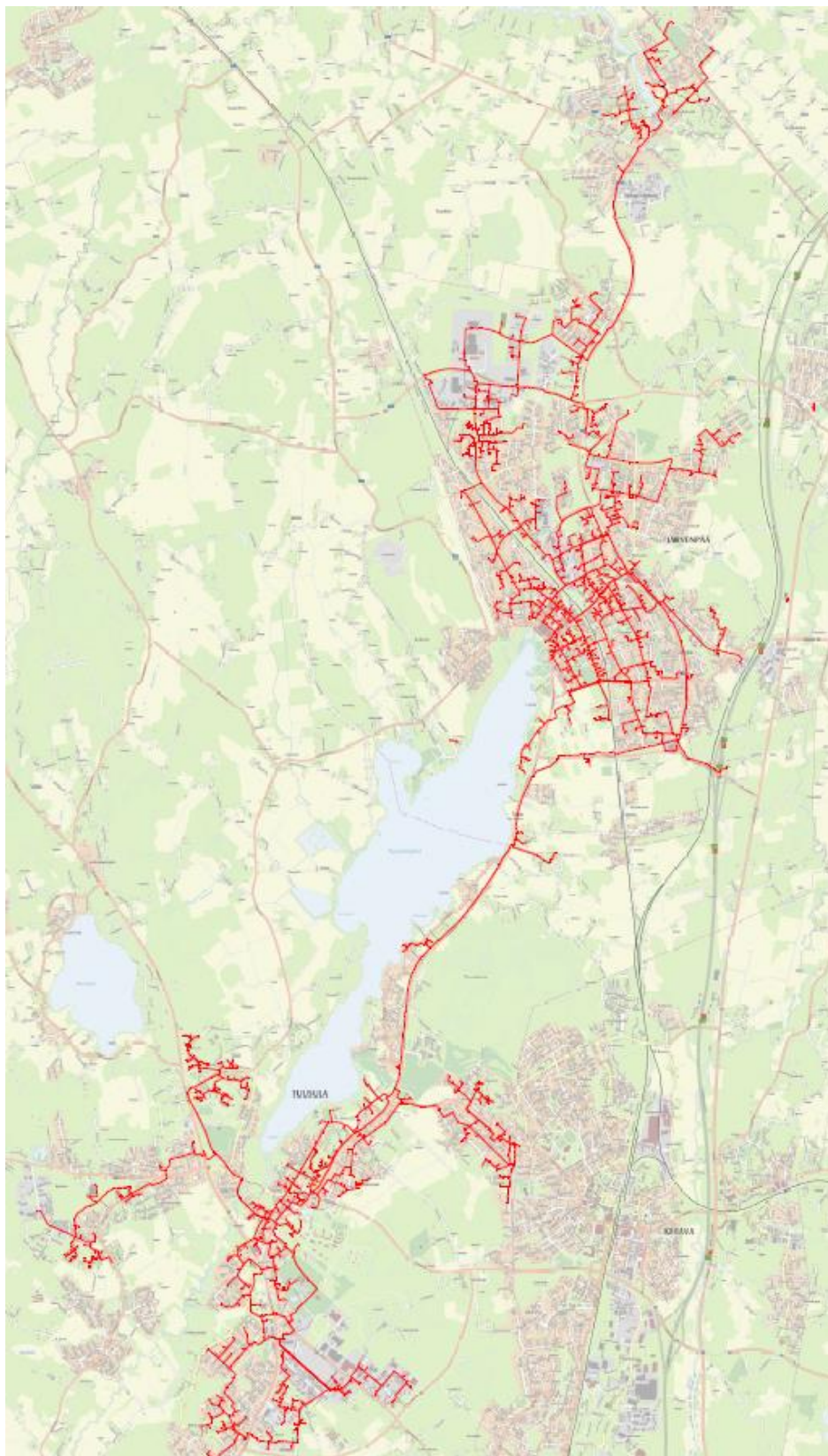




KEU:n verkko yhdistymisen jälkeen



KEU:n verkko ja Kellokoski yhdessä



## 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 <sup>2)</sup>	9...10	9...10	9...10	9...10
Kokonaiskovuus	mmol/kg °dH <sup>3)</sup>	<0,143 <0,8	<0,018 <0,1	<0,143 <0,8	<0,089 <0,5
Happipitoisuus	mgO <sub>2</sub> /kg	<0,02	<0,02	4)	4)
Happea sitova kemikaali		5)	5)	5)	5)
Ammoniakki	mgNH <sub>3</sub> /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 ammoniakkaa 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 nollassolle. 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.