



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# VUODONVALVONTAJÄR- JESTELMÄN LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖVERKKOON

TEKIJÄ: Iiro Karppinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Iiro Karppinen	
Työn nimi Vuodonvalvontajärjestelmän liittäminen kaukolämpöverkkoon	
Päiväys 20.2.2015	Sivumäärä/Liitteet 38/5
Ohjaaja(t) yliopettaja Arto Toppinen, lehtori Jari Ijäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion Energia, GWM-Systems Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli liittää Kuopion Energian ja GWM-Systemsin yhteistyössä kehittämä testausvaiheessa oleva vuodonvalvontajärjestelmä Kuopion kaukolämpöverkkoon. Aihe on ajankohtainen, koska kaukolämpöverkkoon ei ole tällä hetkellä saatavilla muita vastaavia vuotojen paikantamiseen perustuvia järjestelmiä. Yleensä vuodot paikantuvat havaiten niin, että aktiiviset kansalaiset ilmoittavat vuodoista. Tässä työssä liitettävän vuodonvalvontajärjestelmän toiminta perustuu painevaihteluiden mittaukseen kaukolämpöverkossa, jonka avulla voidaan selvittää äkillisten vuotojen tarkat sijainnit.</p> <p>Vuodonvalvontajärjestelmä on vielä testausvaiheessa, joten työssä vuodonvalvontajärjestelmä liitettiin Kuopion kaukolämpöverkon eteläpuoliseen osaan, jossa järjestelmän toimivuutta testataan. Vuodonvalvontajärjestelmään liitettiin myös muita mittauksia, joiden avulla voidaan parantaa kaukolämpöverkon toimitusvarmuutta sekä seurata kaukolämpöverkon kuntoa. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kattavat asennusohjeet vuodonvalvontajärjestelmän liittämisestä kaukolämpöverkkoon. Ohjeiden avulla Kuopion Energia pystyy liittämään koko kaukolämpöverkon järjestelmään. GWM-Systems voi puolestaan hyödyntää työtä järjestelmän markkinoinnissa uusille asiakkaille.</p> <p>Opinnäytetyössä Kuopion eteläpuolinen kaukolämpöverkon osa liitettiin vuodonvalvontajärjestelmään ja aloitettiin järjestelmän testaus, jonka Kuopion Energia ja GWM-Systems suorittavat loppuun. Työn lopputuloksena saatiin laajat asennusohjeet, joita voidaan käyttää järjestelmän asennuksessa kaukolämpöverkkoon. Järjestelmään asennetut mittaukset toimivat hyvin verkossa ja seuraavat tarkasti verkon kuntoa. Järjestelmä havaitsee äkilliset vuodot pääosin hyvällä tarkkuudella verkossa, mutta verkon silmukkainen rakenne aiheuttaa haasteita löytää tarkka sijaintipaikka. Vuotokohtien paikantamista voidaan parantaa sijoittamalla enemmän mittausasemia verkkoon.</p>	
Avainsanat vuodonvalvontajärjestelmä, kaukolämpö	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Iiro Karppinen			
Title of Thesis Installation of the Leak Control System in District Heating Network			
Date	20 February 2015	Pages/Appendices	38/5
Supervisor(s) Mr. Arto Toppinen, Principal Lecturer. Mr. Jari Ijäs, Lecturer			
Client Organisation /Partners Kuopion Energia, GWM-Systems Oy			
<p>Abstract</p> <p>The topic of the thesis was to install a leak control system in the district heating network of Kuopio Energia. The installation of the leak control system was done in cooperation with Kuopion Energia and GWM-System. The topic is justified because to this day there are no similar leak control systems in the district heating network. The most common method to indicate and localize leaks has been a localization based on active citizens' observations. The function of the leak control system installed in this thesis is based on measuring pressure fluctuation in a district heating network, whereby suddenly developing leaks can be indicated and localized.</p> <p>The objectives of the thesis were to produce comprehensive installation instructions on how to install the leak control system in the district heating network. Kuopio Energia will be able to connect the entire network to the leak control system with the help of the installation instructions. GWM-System in turn will be able to utilize this thesis in marketing of the system for customers. Because the leak control system is still on a testing stage, it was installed in the southern area of Kuopio's district heating network and the functionality of the system was tested there. Also other necessary measurements were installed to the leak control system, which will improve the reliability of the delivery of the district heating network and also monitor the condition of the network.</p> <p>As a result, comprehensive installation instructions were produced and the instructions can be used in the installation of the leak control system in the district heating network. The southern area of Kuopio was connected to the leak control system and Kuopio Energia and GWM-System finished the testings that were begun during the thesis. The measurements installed in the system functioned well and monitored accurately the condition of the network. The system indicated the suddenly developing leaks mainly with good accuracy but the looping structure of the network causes challenges to find the precise location of the leak. The localization of the leaks can be improved by placing more measurements in the district heating network.</p>			
Keywords leak control system, district heating			

## ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Savonia Ammattikorkeakoulun Sähkötekniikan lopputyönä Kuopion Energialle. Työssä osallisena oli Kuopion Energia ja GWM-Systems. Opinnäytetyössä liitettiin GWM-Systemsin toimittama vuodonvalvontajärjestelmä Kuopion kaukolämpöverkkoon.

Haluan kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja työn opastuksesta Kuopion Energian kaukolämmön käyttöpäällikköä Ari Ikosta sekä sähkömestareita Olavi Räsästä ja Jari Itkosta. Erityiskiitos kuuluu myös vuodonvalvontajärjestelmän kehittäjälle GWM-Systemsin Tapio Grönforsille sekä opinnäytetyön ohjaajalle yliopettaja Arto Toppiselle.

Suuret kiitokset myös avopuolisolleni Minna Heimoselle tuesta opinnäytetyön ja opiskelujen aikana.

Kuopiossa 20.02.2015

Iiro Karppinen

## SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 KAUKOLÄMPÖ .....	9
2.1 Tietoa kaukolämmöstä .....	9
2.2 Kaukolämmön hyödyt ja haitat .....	11
2.3 Pumppaamot .....	11
2.4 Kaukolämpökaivot.....	11
3 KAUKOLÄMPÖ KUOPIOSSA.....	13
3.1 Kuopion Energia .....	13
3.2 Kuopion kaukolämpöverkko .....	13
4 KAUKOLÄMPÖVAURIOT.....	15
4.1 Kaukolämpövuotojen vuodonvalvonta .....	15
4.2 Kaukolämpövuotojen paikantamismenetelmiä .....	15
5 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄ .....	17
5.1 Tietoa vuodonvalvontajärjestelmästä .....	17
5.2 Mittausasema .....	17
5.3 Toimintaperiaate.....	18
5.4 Vuototilanne .....	20
6 MITTAUSASEMAAN LIITETYT MITTAUKSET .....	22
6.1 Tietoa mittauksista.....	22
6.2 Virtausmittaus .....	22
6.2.1 Ultraäänimittauksen toimintaperiaate .....	22
6.2.2 Virtausmittauksen V-mittaustapa.....	23
6.2.3 Virtausmittauksen Z-mittaustapa .....	23
6.3 Painemittaus.....	24
6.4 Johtokykymittaus.....	25
7 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN KUOPION KAUKOLÄMPÖVERKKOON .....	26
7.1 Mittausasemat .....	26
7.2 Virtausmittaukset.....	27
7.2.1 M-Flow PW -vahvistimen asennus ja käyttöönotto .....	27
7.2.2 FSSC-mittauskiskon asennus.....	29
7.3 Painemittausten asennus.....	30
7.4 Johtokykymittaukset .....	31
7.4.1 Johtokykymittausten asennus .....	31
7.4.2 Johtokykymittarin käyttöönotto .....	32
7.4.3 Rotametrin asennus .....	32
8 TESTAUKSET .....	34
9 YHTEENVETO.....	36
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	37
LIITE 1: KUOPION ENERGIAN MENOLÄMPÖTILAN SÄÄTÖKÄYRÄ.....	39
LIITE 2: VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄN PERIAATEKUVA.....	40
LIITE 3: KAUKOLÄMPÖPUTKIEN TÄRKEIMMÄT TEKNISET OMINAISUUDET .....	41
LIITE 4: ULTRAÄÄNIVIRTAUSMITTAUKSEN MITTAUSKISKON ASENNUSOHJEET .....	42
LIITE 5: ASENNUSLEVYN MITOITUSPIIRRUSTUS .....	43

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

TWh	terawattitunti
bar	baari (paineen yksikkö)
MW	megawatti
GWh	gigawattitunti
Analogiatulo	vastaanottaa kaikki tiedot toiminta- alueensa ääripäiden väliltä
Digitaalitulo	vastaanottaa tietoa päällä tai pois -periaatteella
Gt	gigatavu
Dn 40	putkien suuruudet ilmoitetaan, luku pe- rässä kertoo putken sisähalkaisijan
mA	milliampeeri
VDC	tasajännite

## 1 JOHDANTO

Kaukolämpöverkon kunnan analysointi on erityisen tärkeää, sillä analyysin avulla pystytään parantamaan kaukolämpöverkon energiatehokkuutta ja käyttöikää. Kaukolämpöverkon kuntoa on hyvä seurata, etteivät kaukolämpöputkistojen sisäpinnat sakkaudu ja lyhennä siten käyttöikää. Saostumia aiheuttavia yhdisteitä kaukolämpövedeen tulee esimerkiksi käsittelemättömän lisä- ja täyttöveden sekä verkkoon tulevien vuotovesien mukana. Kaukolämpöverkon uudisrakentamisen ja huoltotöiden yhteydessä putkistoon joutunut maa-aines aiheuttaa myös veteen liuetessa saostumia. (Energiateollisuus ry 2006, 362.) Kaukolämpöverkossa kaukolämpöputket voivat rikkoontua, jotka johtavat vuotoihin kaukolämpöverkossa. Kaukolämpövuodot tapahtuvat usein yllättäen ja ilman ennakkovaroitusta. Huomaamatta jääneet vuodot puolestaan aiheuttavat ylimääräisiä kustannuseriä kaukolämpöyhtiöille.

Kaukolämpövuotojen merkittävin syy on ulkopuolinen kosteus, joka aiheuttaa kaukolämpöputken pintaan happikorroosiota (Törri 2008, 8). Happikorroosio syntyy, kun happipitoinen vesi on kosketuksissa teräkseen (Energiateollisuus ry 2007, 3). Tämän seurauksena happikorroosio aiheuttaa teräsväreunaisen kuoppakorroosion, jonka vaikutuksesta korroosio tuhoaa teräksen suhteellisen nopeasti. Lämpötilan noustessa kasvaa myös korroosionopeus. Mekaaniset syyt kaukolämpövuotoihin suhteessa ulkopuolisen kosteuden aiheuttamiin vuotoihin ovat harvinaisia. Vuodon synnyn yhteydessä kehittyvää tihkuvaihetta on usein hyvin vaikea havaita, jolloin vähäinen vuotovesi haihtuu näkymättömiin tai vuotohöyry sekoittuu ulkopuolisen kosteuden aiheuttamaan höyryyn. (Törri 2008, 8.)

Talviaikoina kaukolämpövuodot ovat yleensä helpompi havaita, kun kaukolämpökaivon tuuletusputkesta höyryä vesihöyryä normaalia enemmän tai lumi sulaa vuotokohtan alueelta. Lämpimillä ilmoilla näitä hyviä vuodonpaikantamiseen soveltuvia ratkaisuja ei pystytä käyttämään. Kaukolämpövuoto nähdään heti lisävesimäärän kasvamisena, mutta tarkka vuotokohta täytyy usein etsiä availemalla kaukolämpökaivoja, joihin kaukolämpöputkesta vuotava vesi valuu. Lämpökamerakuvaus toimii myös hyvänä ratkaisuna kaukolämpövuotojen paikallistamisessa. Kaukolämpövuoto varmistuu lopullisesti, kun tehdään havainto kaukolämpövedestä, joka voidaan tunnistaa ja erottaa ulkopuolisesta vedestä sen vihreän värin perusteella. (Törri 2008, 8.)

GWM-Systemsin ja Kuopion Energian yhdessä kehittämän vuodonvalvontajärjestelmän avulla seurataan kaukolämpöverkon kuntoa sekä saadaan lisää informaatiota verkon kunnossapitoon. Vuodonvalvontajärjestelmä koostuu mittausasemista, jotka lähettävät mittaustietoa internetpalvelimelle, jossa laskentaohjelmiston avulla määritetään verkossa oleva vuotokohta. Mittausasemiin liitetään painemittauksia, kaukolämpöveden johtokyky mittauksia sekä virtausmittauksia. Vuodonvalvontajärjestelmää on kehitetty Kuopiossa jo vuodesta 1998 ja järjestelmän kehitys ja testaus jatkuvat edelleen. Tästä syystä järjestelmän toimivuudesta ei ole vielä paljon käytännön kokemusta. Järjestelmän toimivuutta testataan tällä hetkellä Kuopion ja Tampereen kaukolämpöverkoissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on liittää pilot-vaiheessa oleva vuodonvalvontajärjestelmä Kuopion Energian kaukolämpöverkon eteläpuoliseen osaan sekä aloittaa järjestelmän toimivuuden testaami-

sen. Työssä painottuu siis vuodonvalvontajärjestelmän liittäminen kaukolämpöverkkoon; Kuopion Energia ja GWM-Systems toteuttavat tarvitsemansa testaukset myöhempänä ajankohtana. Vuodonvalvontajärjestelmän avulla voidaan seurata Kuopion eteläpuolisen kaukolämpöverkon osan kuntoa sekä samalla saadaan reaaliaikaista mittaustietoa verkosta. Opinnäytetyön tulosten perusteella on tarkoitus saada Kuopion Energialle tarvittavat tiedot kaukolämpöverkon liittämisestä vuodonvalvontajärjestelmään. Näitä tietoja apuna käyttäen koko Kuopion alueen kaukolämpöverkko voidaan liittää vuodonvalvontajärjestelmään. Työstä saatavien tulosten perusteella GWM-Systems voi myös käyttää niitä järjestelmän markkinoinnissa. Vuodonvalvontajärjestelmän tarkoituksena on olla toimiva ja hyvä ratkaisu kaukolämpöverkostossa tapahtuvissa äkillisten vuotojen paikannuksissa. Vuodonvalvontajärjestelmä ja siihen liitettyjen mittauksien avulla voidaan parantaa kaukolämmön toimitusvarmuutta sekä kaukolämpöverkoston kunnonvalvontaa.

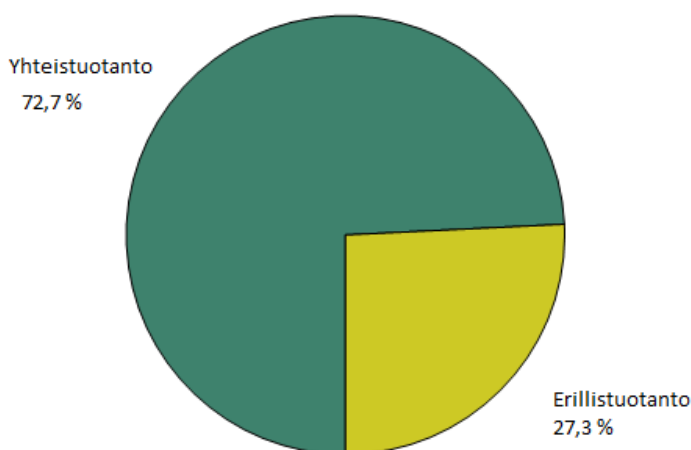
Opinnäytetyö tehdään Kuopion Energian kaukolämpöosastolle yhteistyössä GWM-Systems Oy:n kanssa. Opinnäytetyö liittyy Kuopion Energian vuodonvalvonnan modernisointiin, joka aloitettiin vuoden 2013 syksyllä. GWM-Systems on leppävirtalainen yritys, joka on ollut vuodonvalvontajärjestelmän historian alusta alkaen kehittämässä järjestelmää yhdessä Kuopion Energian kanssa. Opinnäytetyö tehdään kesätöiden ohella Kuopion Energian kaukolämpöosaston toimeksiantona.



## 2 KAUKOLÄMPÖ

### 2.1 Tietoa kaukolämmöstä

Kaukolämmitys alkoi Suomessa jo 1950-luvulla ja onkin nykyään vakiinnuttanut aseman yleisimpänä lämmitysmuotona Suomessa. Tyypillisesti kaukolämpöä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Näillä yhteistuotantolaitoksilla tuotetaan Suomessa lähes 80 % kaukolämmöstä ja polttoaineina käytetään turvetta, kivihiiltä, maakaasua sekä puuhaketta. Nykyään kaukolämpöä pyritään tuottamaan enemmän uusiutuvilla energianlähteillä, kuten biokaasua, joiden avulla voidaan vähentää tehokkaasti hiilidioksidipäästöjä. (Energiateollisuus ry 2006, 5–29.) Tosin Energiateollisuuden (2014) julkaisema aineisto osoittaa (kuvio 1), että tähän päivään mennessä kaukolämmön yhteistuotannon osuus on laskenut lähemmäksi 70 %:a. Kaikilla paikkakunnilla ei ole sähkön- ja kaukolämmön yhteistuotantolaitoksia, minkä vuoksi kaukolämpöä tuotetaan lämpökeskuksilla. Sen sijaan paikkakunnilla, joissa on yhteistuotantolaitos, lämpökeskukset toimivat yleensä vara- ja huippulaitoksina. (Kaukolämpö.fi 2014.) Varalaitosten on oltava kapasiteetiltään niin suuria, että ne pystyvät talvellakin ylläpitämään riittävää lämmitystehoa, jottei jäätymisvaurioita tapahdu verkostossa perusvoimalaitoksen vikaantuessa. Tämän kaltaisissa tilanteissa ei kuitenkaan saada käyttöveden tuotantoon koko tehoa. Verkostossa on myös kiinteistöjä, joiden lämmönsaanti on turvattava täysin kaikissa tilanteissa. Tällöin huippu- ja varalaitosten on tuotettava kaikki tarvittava teho ilman perusvoimalaitosta. Näitä kohteita ovat esimerkiksi sairaalat ja hoitolaitokset. (Energiateollisuus ry 2006, 324–327.)

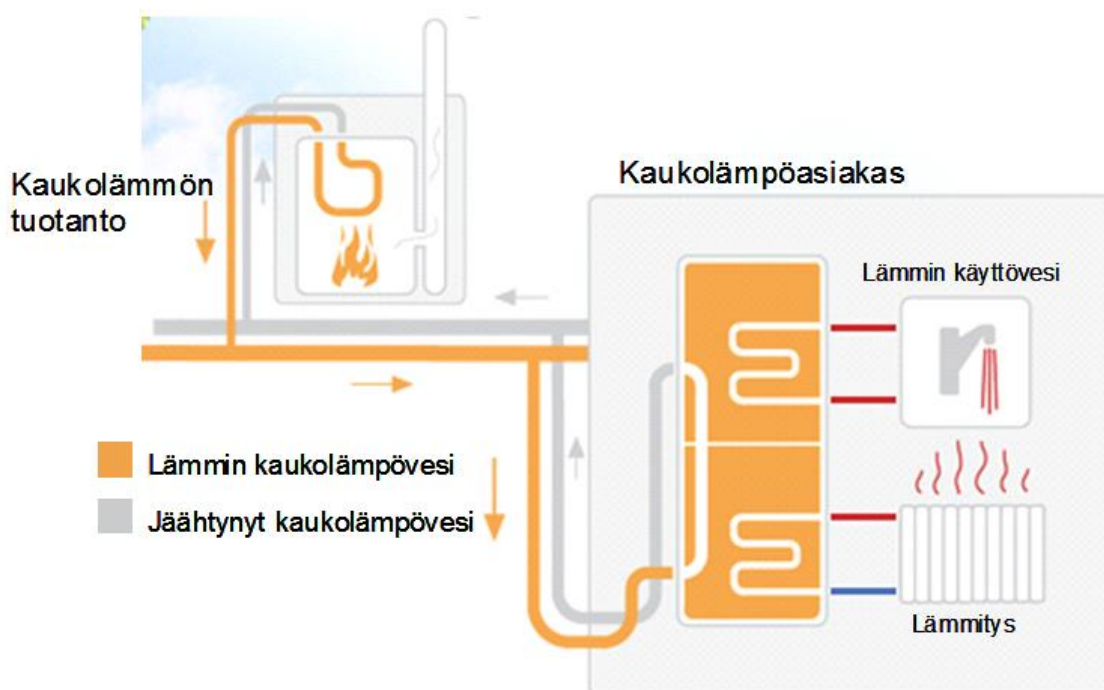


KUVIO 1. Kaukolämmön tuotanto 2013, 34,9 TWh (Energiateollisuus 2014a.)

Lämpökeskuksessa polttoaineina käytetään yleisimmin puuta sekä uusiutuvia energianlähteitä. (Kaukolämpö.fi 2014). Varalaitoksina toimivissa lämpökeskuksissa käytetään usein polttoaineena öljyä sen kohtuullisten investointikustannusten sekä luotettavan tekniikan vuoksi, mutta nykyään pyritään käyttämään yhä enemmän uusiutuvia energialähteitä (Energiateollisuus ry 2006, 325). Kaukolämpöverkon rakenne koostuu tuotantolaitoksista, putkistosta, kaivoista, pumppaamoista sekä kuluttajista.

Kaukolämmitys perustuu voimalaitoksilla lämmitetyn kaukolämpöveden kiertoon suljetussa kaukolämpöverkossa, (ks. kuva 1). Kaukolämpövesi johdatetaan kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa asiakkaiden lämmönvaihtimiin, joista se siirtyy kiinteistön lämmitysverkkoon lämmönsiirtimien avulla. (Energiateollisuus 2014b.) Toisin sanoen kaukolämpövesi lämmittää kiinteistöjen lämmitysverkossa kiertävän veden. Asiakkaat käyttävät kaukolämpöä huoneiden ja käyttöveden lämmitykseen sekä ilmanvaihtoon. Tämän jälkeen kaukolämpövesi palaa jäähtyneenä paluujohdossa takaisin voimalaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. (Energiateollisuus 2014b.) Kaukolämmön lämmitysmuodossa, jossa kaukolämpöveden avulla lämmitetään kiinteistön lämmitysverkko, asiakaslaitteet on asennettu epäsuoralla kytkennällä. Tätä lämmitystapaa käytetään pääsääntöisesti Suomessa. Suorassa kytkennässä kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä suoraan lämmityslaitteissa. Kyseinen lämmityslaitteiden kytkentämuoto on hyvin tavanomainen Saksassa sekä Tanskassa. (Energiateollisuus ry 2006, 43.) Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee menojohdossa 70 °C:n ja 120 °C:n välillä.

Kaukolämpöverkon asiakkaille menevän menolämpötilan alaraja perustuu pääsääntöisesti siihen, että asiakkaat saavat varmasti käyttöveden lämmitettyä sekä ettei menolämpötila laske liikaa etäisimmille asiakkaille lämpöhäviöiden vuoksi. Menolämpötilan yläraja puolestaan määritetään verkon suunnittelulämpötilan perusteella sekä käyttämällä mahdollisimman alhaista menolämpötilaa kuitenkin varmistaen asiakkaiden riittävä lämmönsaanti. Mitä pienempi on kaukolämpöveden menolämpötila, sitä parempaa sähköntuotantoa saadaan sähkön- ja lämmönyhteistuotannossa ja sitä paremmin minimoidaan lämpöhäviöt. Näiden vaatimusten perusteella on tehty voimalaitokselle säätökäyrä menolämpötilaksi eri ulkolämpötiloille. Säätökäyrän perusteella määrätään kaukolämpöveden menolämpötila. Kuopion Energian käyttämä säätökäyrä on esitetty liitteessä 1. Nykyisin kaukolämpöverkkoja rakennetaan 16 bar:n suunnittelupaineella, joten kaikki verkkoon asennettavat laitteet on mitoitettava 16 bar:iin asti. (Energiateollisuus ry 2006, 66, 335–336.)



KUVA 1. Kaukolämmön toimintaperiaate (Kuopion Energia 2014a.)

## 2.2 Kaukolämmön hyödyt ja haitat

Kaukolämmön hyötyjä ovat sen energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys. Kaukolämmön energiatehokkuus perustuu siihen, että kaukolämmityksessä hyödynnetään muutoin hukkaan menevää lämpöenergiaa, jota syntyy sähköntuotannossa tai erilaisten prosessien jätelämpönä. Kaukolämpöä pyritään mahdollisuuksien mukaan tuottamaan uusiutuvilla polttoaineilla, joita käyttämällä vähennetään ympäristön saastuttamista. (Energiateollisuus 2014c.) Kaukolämmön avulla voidaan myös rakentaa katujen sulanapitojärjestelmiä, mitä lämmitetään samalla periaatteella kuin normaaleja asuintalojakin. Kaukolämpö tuodaan lämmönvaihtimiin, joissa lämpö siirretään lämmitettävän kadun alla olevaan lämmitysputkistoon. Sulanapitojärjestelmä kytketään yleensä kaukolämmön menoputkeen, mutta se voidaan kytkeä myös paluuputkeen, jolloin saadaan paluuputken kaukolämpövesi jäähtymään paremmin ja energiatehokkuus parantuu. (Energiateollisuus ry 2006, 489–491.)

Kaukolämmön ongelmia ovat sen huono soveltuvuus harvaan asutuille alueille pitkien kaukolämmön siirtomatkojen vuoksi, mikä puolestaan lisää siirtohäviöitä sekä rakennuskustannuksia. Koska kaukolämpöä tuotetaan ympäri vuoden, on kaukolämmössä suuret kulutusvaihtelut; kesäisin kaukolämmön kulutus on hyvin vähäistä ja osa tuotannosta menee hukkaan, kun taas talvisin kulutus on suurta. Kulutus vaihtelee myös vuorokauden aikana normaalissa asuinrakennuksessa, kun aamuin ja illoin käytetään suhteellisesti enemmän lämmintä vettä kuin päiväaikaan. (Energiateollisuus ry 2006, 25–26, 59.)

## 2.3 Pumppaamot

Kaukolämpöverkossa paine-eroa säädetään asiakkaille luvatussa minimiarvossa tai hieman sen yläpuolella. Paine-erolla minimiarvona pidetään yleensä 0,6 bar:a. Paine-erolla tarkoitetaan kaukolämpöverkon meno- ja paluuputken paineiden eroa. Pienemmissä kaukolämpöverkoissa paine-eroa säädetään voimalaitoksiin rakennettujen pumppaamoiden avulla. Paine-eroa säädetään sijainniltaan epäedullisimman asiakkaan mukaan, jolla tarkoitetaan verkon kauimmaisessa tai epäedullisimmissa paikassa sijaitsevaa asiakasta, missä paine-ero on pienemmillään. Epäedullisimmassa paikassa sijaitsevalla asiakkaalla tarkoitetaan maastossa muita asiakkaita korkeammalla sijaitsevaa asiakasta. Suurissa kaukolämpöverkoissa, joissa vesivirrat ovat suuria ja etäisyydet pitkiä, joudutaan rakentamaan välipumppaamoja. Näitä joudutaan rakentamaan, kun paine-ero putoaa alle luvatussa minimiarvon sijainniltaan epäedullisimmalla asiakkaalla sekä kun maasto on epätasaista. Pumppaamojen avulla varmistetaan kiertävän veden paine-ero ja virtaus, jolloin kaikki asiakkaat saavat riittävän määrän lämpöä. Yleensä kaukolämpöpumppuina käytetään keskipakopumppuja. (Energiateollisuus ry 2006, 175, 340.)

## 2.4 Kaukolämpökaivot

Kaukolämpöverkossa on myös erilaisia kaivoja, joihin on asennettu sulkuventtiilejä, tyhjennysventtiilejä sekä ilmanpoistoveniilejä. Sulkuventtiilien avulla voidaan erottaa valittu verkon osa esimerkiksi korjaustoimenpiteiden vuoksi. Tyhjennys- ja ilmanpoistoveniilejä tarvitaan kaukolämpöverkon tyhjennys- ja täyttövaiheissa. Kiinnivaahdotettua johtoa käytettäessä kaivoissa on oltava kaksi tuule-

tusputkea. Kaivotyyppinä käytetään elementtikaivoja, valukaivoja, maaventtiilikaivoja tai rengaskaivoja. Kaivojen täytyy aina olla siinä kunnossa, jotta niissä voidaan suorittaa normaaleja käyttötoimenpiteitä. (Energiateollisuus ry 2006, 146–147, 167, 349–350.)

### 3 KAUKOLÄMPÖ KUOPIOSSA

#### 3.1 Kuopion Energia

Kuopion Energia on kotimainen energiapalveluyritys, joka tuottaa ja siirtää sähkö- ja kaukolämpöä asiakkailleen. Sähkö- ja kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotantona Haapaniemen voimalaitoksella sekä Pitkälähdessä sijaitsevassa moottorivoimalaitoksessa. Kuopion Energia ostaa myös vuosittain tarvittavan määrän sähköä sähköpörssistä. Yritys pyrkii pääsääntöisesti käyttämään pohjoissavolaisia polttoaineita, mikä turvaa työpaikkoja ja hyvinvointia maakuntaan. (Kuopion Energia 2014b.)

Vielä vuonna 2014 Kuopion Energia koostui Kuopion Energia Oy:stä ja Kuopion Energia Liikelaitoksesta, jotka kokonaisuudessaan omisti Kuopion kaupunki. Kuopion Energia Liikelaitokseen kuului sähköverkko- ja kaukolämpöosastot, minne tämä opinnäytetyö tehtiin. Kuopio Energia Oy muodostui sähkökauppa-, energiantuotanto- sekä talous- ja henkilökuntahallintojen osastoista. (Kuopion Energia 2014b.) Vuonna 2015 uuden kuntalakimuutoksen vuoksi Kuopion Energia yhtiörakenne muuttui siten, että vuoden 2014 loppuun mennessä kuntien on annettava kilpailutilanteessa markkinoilla hoitamansa tehtävät osakeyhtiön, osuuskunnan, säätiön tai yhdistyksen hoidettavaksi. Tämä lakimuutos kosketi Kuopion Energia Liikelaitoksen toimintoja, minkä vuoksi Kuopion Energia Liikelaitos lakkautettiin. Kaukolämpöosasto siirtyi osaksi Kuopio Energia Oy:tä ja sähköverkosta tuli Kuopion Energia Oy:n omistama tytäryhtiö. Kaikkiaan Kuopion Energialla työntekijöitä vuonna 2013 oli 162, joista liikelaitoksen palveluksessa oli 56 työntekijää (Kuopion Energia 2013).

#### 3.2 Kuopion kaukolämpöverkko

Kuopiossa kaukolämmitys alkoi vuonna 1963, jolloin ensimmäinen kiinteä lämpölaitos kytkettiin kaukolämpöverkkoon Niiralan kaupunginosassa. Ensimmäinen kaukolämpöverkkoon liitetty kiinteistö on Kasarmikatu 16:ssa sijaitseva kerrostalo. Vuonna 1972 kaukolämmön kysynnän kasvaessa rakennettiin Haapaniemelle ensimmäinen kaukolämpöä ja sähköä tuottava voimalaitos, jossa nykyisinkin tuotetaan sähköä sekä kaukolämpöä. Ensimmäisen voimalaitoksen jälkeen on Kuopioon rakennettu kaksi uutta vastaavaa voimalaitosta, joista viimeisin on korvannut ensimmäisen vuonna 1972 rakennetun voimalaitoksen. Tällä hetkellä siis Kuopiossa kaukolämpöä tuotetaan sähkön yhteistuotantona Haapaniemen voimalaitoksella. Uusin kattila Haapaniemi 3 tuottaa kaukolämpöverkkoon 80 MW ja Haapaniemi 2 60 MW. (Kuopion Energia 2014c.)

Kuopion Energian kaukolämpöverkon pituus vuonna 2013 oli 453,5 km, ja asiakkaita 5716. Kaukolämpö on laajentunut suurelle alueelle Kuopiossa, sillä 90 % kuopiolaisista asuu kaukolämmitetyissä taloissa. Vuonna 2013 energiaa myytiin 857,6 GWh kaukolämpöasiakkaille ja suurin kulutettava tuntiteho oli 317 MW. (Kuopion Energia 2014c.) Kuopiossa kaukolämpöverkossa on yhteensä kuusi lämpökeskusta, jotka toimivat huippu- ja varalaitoksina. Näissä lämpökeskuksissa polttoaineena käytetään ainoastaan öljyä. Alla olevassa kuvassa 2 nähdään Kuopion uusin Rautaniemen lämpökeskus, jonka lämpöteho on 40 MW. Kaukolämpöverkossa on myös Pitkälähdessä sijaitsevat moottorivoima-

laitos ja biokaasulaitos, jotka käyttävät polttoaineena kaatopaikalta saatavaa biokaasua. Riittävää kaukolämmön paine-eroa asiakkaille Kuopion kaukolämpöverkossa takaavat kuusi pumppaamo.

Kuopion kaukolämpöverkko on aikaisemmin rakennettu 10 bar:n paineelle, minkä vuoksi verkossa on useita välipumppaamoja. Nykyään Kuopiossa uusia kaukolämpölinjoja tehdessä käytetään suunnittelupaineena 16 bar:a. Tämän vuoksi verkkoon asennettavat laitteet ovat mitoitettava 16 bar:iin asti.



KUVA 2. Rautaniemen lämpökeskus 1x40 MW (Kuopion Energia 2014c.)

## 4 KAUKOLÄMPÖVAURIOT

### 4.1 Kaukolämpövuotojen vuodonvalvonta

Kaukolämpöyritykset valvovat pääsääntöisesti kaukolämpöverkon kuntoa silmämääräisesti kaukolämpökaivoissa tehtävillä tarkastuksilla, jolloin kaivoista etsitään ulkopuolisen veden tai kosteuden esiintymisiä sekä mahdollisia putkivuotoja. Kaivoista etsitään ulkopuolista vettä ja kosteutta, sillä kaukolämpöputken ollessa jatkuvasti märkä aiheuttaa se ajan kuluessa kaukolämpöputkeen vuodon. Kaukolämpökaivojen tarkastukset suoritetaan yleensä kokemukseen perustuvalla tarkastusaikataululla, joka pääsääntöisesti määräytyy vuodenajan, kaivon kunnon tai pumppaustiheyden perusteella. Kokemukseen perustuva tarkastusaikataulu voi olla viikoittaista tai kuukausittaista. Pelkästään keskisuuren kaupungin kaukolämpöverkossa kaukolämpökaivoja voi olla useita satoja, joiden tarkastukset ovat yleensä kaukolämpöyritysten henkilökunnan vastuulla. Tämä vaatiikin kaukolämpöyritysten huoltohenkilökunnalta jatkuvaa fyysistä työtä kaukolämpövuotojen etsinnöissä. (Törri 2008, 8–9.) Kaukolämpöyrityksillä on erilaisia vuodonpaikantamismenetelmiä, joita on käsitelty seuraavassa kappaleessa, mutta suurin osa näistä on osoittautunut mittaustarkeuksiltaan heikoiksi. Näiden syiden perusteella olisi suotavaa löytää kaukolämpöverkkoon automaattinen vuotojen ilmaisuun perustuva vuodonvalvontajärjestelmä.

### 4.2 Kaukolämpövuotojen paikantamismenetelmiä

Nykyään yleisin vuodonpaikannusmenetelmä on vuodon näköhavaintoihin perustuva paikantaminen, jolloin energiayritykseen otetaan yhteyttä, kun havaitaan verkoston normaalista poikkeavasta tilanteesta. Näitä havaintojen perusteella tehtyjä ilmoituksia voi antaa kuka tahansa, kuten esimerkiksi yrityksen henkilökunta, asiakkaat tai muut aktiiviset kaupunkilaiset. Näköhavaintojen perusteella tulevista ilmoituksista saadaan tietoa mahdollisesti normaali tilanteesta poikkeavista sulista kohdista johtoreiteillä, höyryävistä kaivoista tai kaivojentuuletusputkista sekä muista itse aiheutetuista vahingoista. (Energiateollisuus ry 1998.)

On myös mahdollista suorittaa koekaivauksia kaukolämpöverkossa, jos huomataan kaukolämpöveden vuotoa eikä muita havaintoja ole saatavilla. Tällöin koekaivauksessa suunnittelu- ja käyttöhenkilöstön kokemuksen perusteella kaivetaan esiin kaukolämpöjohdon heikoin kohta. Näin edetään niin pitkälle saakka, kunnes löydetään vuotokohta. Tämä vuodonpaikannusmenetelmä voi olla kallis ja ympäristöä kuormittava, jos joudutaan kaivamaan useampia koekaivauksia vuodon löytymiseksi. Energiateollisuuden (2012) tekemän vaurioutilaston perusteella vuoto on yleensä niin perusteellinen, että kaivauksia suoritetaan yhden tai kahden koekaivauksen verran. (Energiateollisuus ry 1998.)

Vuodonpaikantamismenetelmiksi käytetään myös lämpökamerakuvausta, jossa lämpökuvauksen tehdään infrapunakameralla videonauhalle tai valokuvaan. Lämpökamerakuvausta voidaan suorittaa helikopterista tai maasta esimerkiksi auton avulla. Helikopterista suoritettujen lämpökamerakuvausten avulla saadaan nopeasti kuvattua koko kaukolämpöverkko, jonka perusteella saadaan tietoa verkoston kunnosta ja mahdolliset ongelmakohteet. Lämpökamera kuvaus kannattaa suorittaa syksyllä tai ke-

väällä, koska kuvausta vaikeuttavat lumi, vesisade, märkä maasto tai puiden lehdet. (Energiateollisuus ry 1998.)

Videokuvausta käytetään myös kaukolämpövuotojen paikantamiseen, jolla saadaan tarkka vuotokohdan etäisyys kaivolta. Aluksi vuoto rajataan tietylle kaivovälille tai johto-osuudelle. Tämän jälkeen vuodon tarkka sijainti voidaan selvittää kaukolämpöjohtojen kanavissa kulkevalla videokameralla. Videokamera varustetaan pitkällä kaapelilla sekä pyörillä, millä saadaan kamera liikkumaan kanavassa. Tämän menetelmän huonoja puolia on kameran suuruus ja kanavassa olevat esteet esimerkiksi kivet, jolloin kamera ei pääse liikkumaan kanavassa. Videonkameran kaapelin pituus aiheuttaa myös omat rajoitteet kuvausetäisyydelle. Videokuvauksen yhteydessä voidaan käyttää myös vuotojenpaikantamiseen korrelaatiotekniikkaa, mikä on hieman edistyneempi versio kuunteluteknikasta. Korrelaatiotekniikka sopii hyvin videokamerakuvauksen yhteyteen, koska siinä on myös vuotokohta paikannettava tietylle alueelle esimerkiksi kaivojen välille. Korrelaatiotekniikassa mittauslaitteistolla mitataan vuotoäänien eteneminen vuotokohdan molemmin puolin. Mittauksen avulla pitäisi pystyä vuotokohta paikallistamaan tarkasti. Korrelaatiomittausta häiritsee putkistosta kuuluvat sivuäänet ja taustamelu. On myös havaittu, että suurten kaukolämpöjohtojen vuodonpaikantamisessa tämän menetelmän tarkkuus on heikko. (Energiateollisuus ry 1998.)



## 5 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄ

### 5.1 Tietoa vuodonvalvontajärjestelmästä

Vuodonvalvontajärjestelmän avulla pystytään parantamaan kaukolämpöpumppauksien osalta kaukolämpöverkon energiatehokkuutta, kykyä reagoida nopeasti mahdollisiin vaurioihin verkolla tai asiakaslaitteissa sekä antaa tietoa uuden kaukolämpöverkon suunnitteluun. Vuodonvalvontajärjestelmän toiminta perustuu kaukolämpöverkkoon asennettavista mittausasemista, jotka lähettävät mittaustietoa internetpalvelimelle. Järjestelmään asennettavien painemittausten tarkoituksena on paikallistaa kaukolämpöverkossa syntyviä äkillisiä vuotoja, joiden paikantaminen perustuu paineaallon etenemiseen kaukolämpövedessä. Kaukolämpöveden johtokyky mittaukset mittaavat kaukolämpöverkossa tapahtuvia asiakkaiden lämmönvaihtimien vaurioitumisia, jolloin vesijohtoverkon ”raaka” käyttövesi vuotaa kaukolämpöverkkoon. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.) Vuodonvalvontajärjestelmän periaatekuva nähdään liitteessä 2. Kuva on piirretty hahmottamaan vuodonvalvontajärjestelmän asennusta. Kuvasta nähdään, kuinka mittausaseman mittaukset asennetaan ja johdotetaan mittausasemaan. Myöhemmin työssä kerrotaan tarkemmin käytännössä asennetuista mittauksista.

### 5.2 Mittausasema

Mittausasemat kannattaa asentaa yleensä varalaitoksille sekä pumppaamoille, sillä näissä on jo valmiina mittausaseman tarvitsema sähkönsyöttö sekä tarvittavat asennustilat mittausasemille ja mittauksille. Mittausasemat voidaan myös sijoittaa vapaasti verkolle, mutta sijoituspaikassa täytyy olla saatavilla tarvittava sähkönsyöttö sekä tiedonsiirtoon riittävän hyvä 3g-verkon kentänvoimakkuus. Mittausasema koostuu kuvan 3 osoittamista komponenteista. Näitä komponentteja ovat prosessorikortti sekä mittauskortti, jossa on neljä analogiatuloa, kahdeksan digitaalituloa sekä kolme digitaali- lähtöä, joista kaikki ovat suojattu galvaanisilla erottimilla. Analogiatuloihin kytketään mittauksien lähettämää mittaustietoa ja digitaalitulot vastaanottavat vain esimerkiksi kytkimen asennon muutoksen tai tilatietoja mittauksista. Mittausasemassa on myös tiedonsiirtoon internetpalvelimelle tarvittavat 3g-mobiilireititin ja antenni. Mittaustietojen tallennukseen mittausasemassa on kahdeksan Gt:a muistia. Mittausasemassa on neljä kanavaa ohjelmituna mittaustietoja varten, joten siihen on mahdollista asentaa kerrallaan neljä mittausanturia. Mittausanturit voivat olla esimerkiksi painemittauksia, kaukolämpöveden sähkönjohtavuus- ja virtausmittauksia sekä ulkolämpötilan mittaus. (Seuran- tapalaveri Kuopion Energia 2014-12-13.)

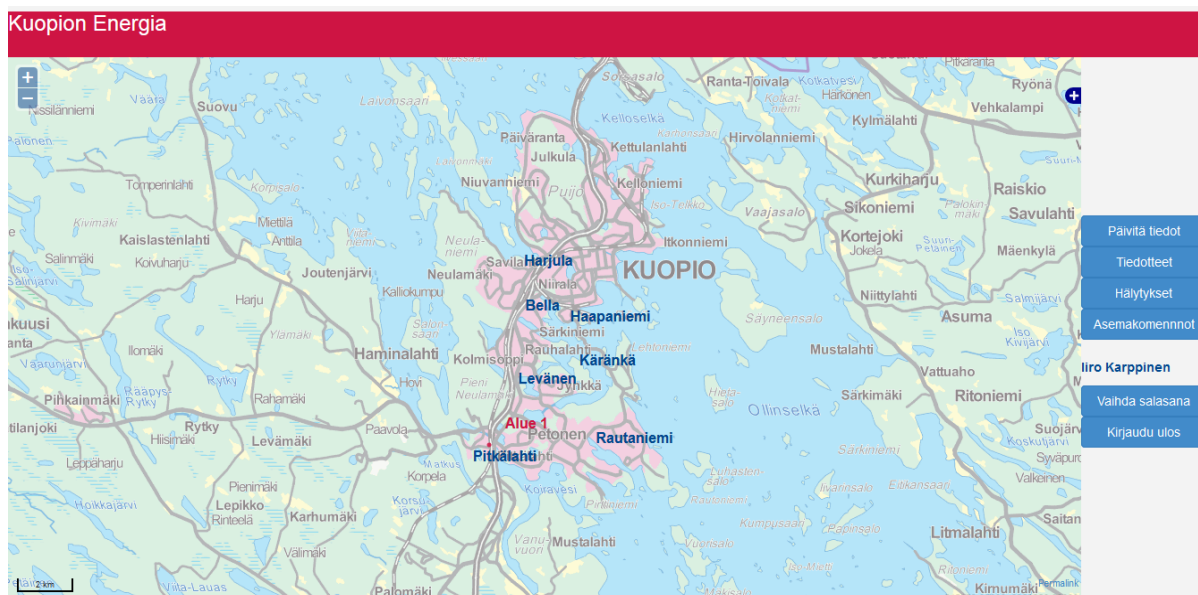


KUVA 3. Mittausaseman sisältämät komponentit (Seurantapalaveri Kuopion Energia 2014-12-13.)

### 5.3 Toimintaperiaate

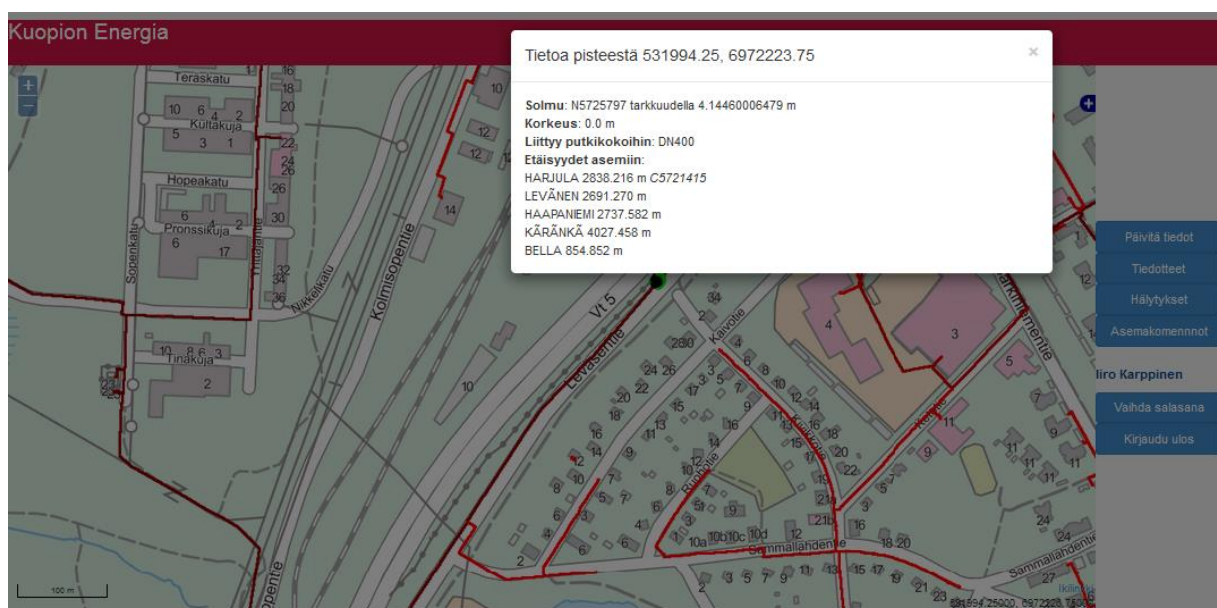
Vuodonvalvontajärjestelmän asennus aloitetaan mittausasemien sijoittamisesta kaukolämpöverkoon. Mittausasemat ovat yhteydessä vuodonvalvontajärjestelmän internetpalvelimelle 3g-verkon kautta. Kaukolämpöoperaattori siis näkee vuodonvalvontajärjestelmän tilan nettiselaimen kautta. Järjestelmää ei ole tarkoitettu aktiiviseen tarkkailuun, vaan sen on tarkoitus ilmoittaa tapahtumista operaattorille. Järjestelmässä nähdään koko kaukolämpöverkosto lukuun ottamatta alle DN 40 suuruisia kaukolämpöputkia. Alle DN 40 suuruiset putket ovat yleensä pientalojen liittymisjohtoja, joten näistä ei ole suurta hyötyä vuodonvalvontajärjestelmässä. Järjestelmä tarkkailee DN 80 ja sitä suurempien putkien vuotoja. Järjestelmästä nähdään myös mittausasemien jokaisen mittauksen reaaliaikainen mittausulos. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.) Mittausasema mittaa aluetta, joka on 4000 m säteellä mittausaseman ympärillä. Toisin sanoen kaukolämpöverkkoon on sijoitettava useampia mittausasemia tarkkojen mittausulosten saamiseksi. Mittausasema havaitsee parhaimmillaan painemuutoksen 5000 m päästä kaukolämpöputkessa. Tästä syystä kahden mittausaseman välinen etäisyys ei saa ylittää 5000 m kaukolämpöputkea pitkin tarkasteltuna. Painemittauksen perusteella pystytään selvittämään mahdollinen vuotokohta kaukolämpöverkossa. Painemittaukset asennetaan kaukolämpöverkon meno- ja paluuputkiin, jolloin saadaan verkosta mitattua meno- sekä paluupaine. Näiden mittausulosten tarkoituksena on löytää vuotokohta kaukolämpöverkon meno- tai paluuputkessa. Painemittaukset mittaavat vuodon tapahtuessa paineenmuutoksen alkuhetken ja vertaa näitä muiden mittausasemien painemuutosten alkuhetkeen. Vuotokohta on näiden alkuhetkien välinen ero. Mittausasema mittaa painemittaukset 40 kertaa sekunnissa, jotta jokaisen paineenmuutoksen oikea alkamishetki saadaan varmuudella mitattua. Paineaalto kulkee nesteessä noin 1080 m/s, joten yhden mittausjakson aikana paineaalto kulkee noin 27 metriä. Tämän vuoksi painemittauksista on saatava tiheää mittaus tietoa tarkan vuotopaikan saamiseksi. Johtokyky mittaus ja virtausmittaus mitataan 1-2 kertaa minuutissa, koska näistä mittauksista ei ole tarvetta saada tarkempaa tietoa. (Seurantapalaveri Kuopion Energia 2014-04-11.)

Alla olevasta kuvasta 4a nähdään operaattorin tietokoneen ruudulta nähtävä päänäkymä. Operaattori näkee kaukolämpöverkon lisäksi kaikkien seitsemän mittausaseman sijoituspaikat. Kuvasta nähdään myös, että tässä työssä mittausasemat ovat sijoitettu Kuopion kaukolämpöverkon eteläpuoliseen osaan.



KUVA 4a. Vuodonvalvontajärjestelmän päänäkymä tietokoneen ruudulta katsottuna

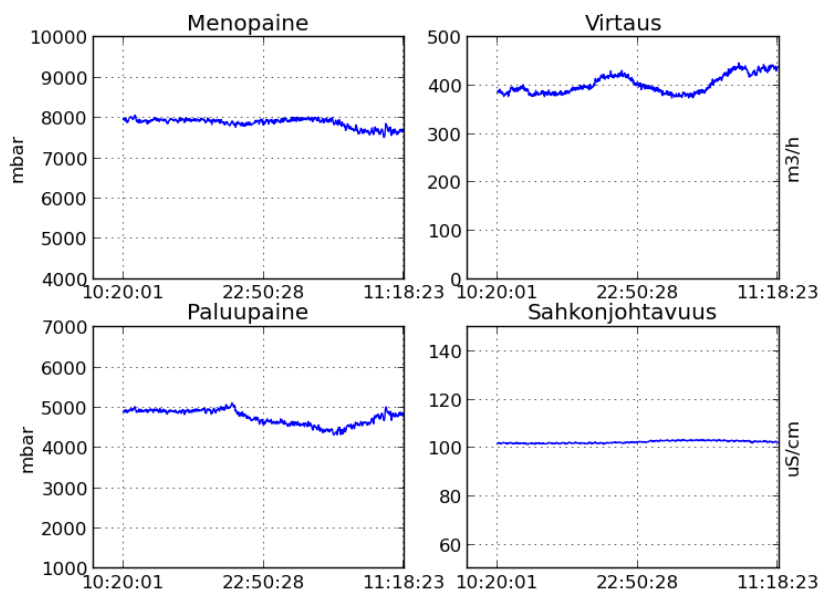
Operaattori pystyy myös järjestelmän avulla lähentämään näkymää tarkasti haluamaansa kohtaan. Kuvasta 4b nähdään, kuinka järjestelmä näyttää tarkasteltavan putken suuruuden sekä etäisyydet lähimpiin mittausasemiin.



KUVA 4b. Vuodonvalvontajärjestelmän päänäkymää tarkennettu haluamaan paikkaan

Operaattori on myös mahdollista katsoa jokaisen mittausaseman mittautietoja erikseen. Kuvassa 5 on esitetty Harjulan pumppaamon kanaviin asennetut mittautiedot. Tässä näkymässä on viimeisen 25 tunnin mittautiedot. Kuvasta nähdään myös, että kaukolämpöveden sähkönjohtavuus on noin

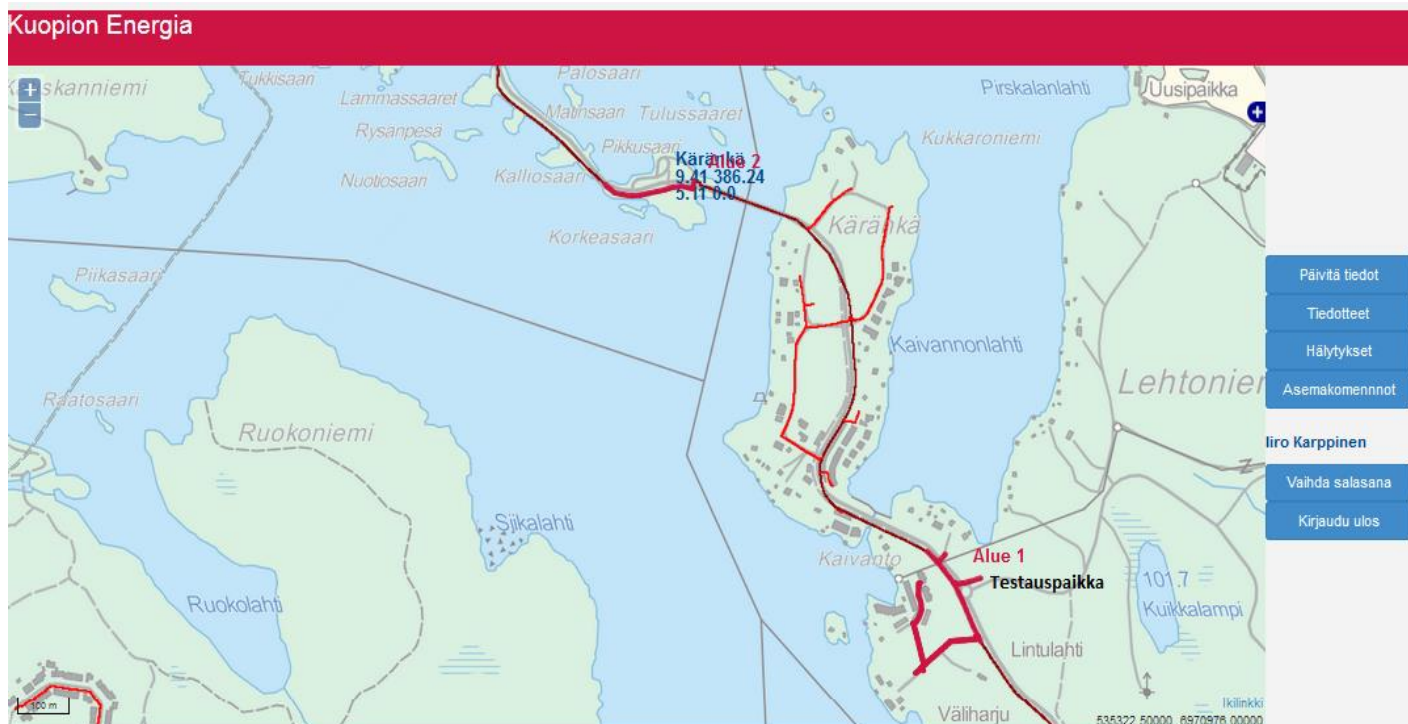
100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mikä vastaa normaalitilannetta kaukolämpöverkossa. Verkon menopaine on 8 bar:a ja paluupaine on noin 5 bar:a, joten paine-eroa on riittävästi noin 3 bar:a.



Kuva 5. Mittausaseman kanavien mittaustiedot

#### 5.4 Vuototilanne

Vuodon sattuessa vuotokohtaa lähimpien mittausasemien painemittaukset huomaavat painemuutoksen verkossa. Painemuutoksen täytyy ylittää asiakkaan määrittämä kynnsarvo 1–2 sekunnin aikana, jotta mittausasema hälyttää mahdollisesta vuodosta. Tämän avulla pyritään välttämään niin sanottuja turhia hälytyksiä, koska verkossa paineet voivat vaihdella. Kuopiossa painemuutosten kynnsarvoiksi on määritetty 80 mbar:a ensimmäisen sekunnin aikana ja 110 mbar:a toisen sekunnin aikana. Painemuutokseen reagoineet mittausasemat lähettävät internet-palvelimelle paineaallon kulkuajan painemuutoksen alkuhetkestä. Internetpalvelimen laskentaohjelmisto vertailee mittaustuloksia, minkä jälkeen laskee 1–3 mahdollista vuotokohtaa. Seuraavaksi vuodonvalvontajärjestelmä merkitsee mahdolliset vuotokohdat karttapohjaan piirtämällä vuotokohdan punaiseksi ja numeroi ne vuotopaikan todennäköisyyden perusteella yhdestä kolmeen. Kuvasta 6 nähdään, kuinka järjestelmä merkitsee putkistoon mahdollisen vuotokohdan. Järjestelmä on merkinnyt kuvaan mahdolliset vuotopaikat alue 1 ja alue 2 sekä tummentanut putket näiltä alueilta. Kaukolämpöverkot on rakennettu silmukkaiksi, jonka vuoksi vuodonvalvontajärjestelmä laskee useamman mahdollisen vuotopaikan. Tämä johtuu siitä, että paineaallolla on useampi reitti kuljettavana silmukkaisessa verkossa mittausasemalle. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.)



KUVA 6. Vuodonvalvontajärjestelmän päänäkymästä nähtävä vuototilannenäkymä

## 6 MITTAUSASEMAAN LIITETYT MITTAUKSET

### 6.1 Tietoa mittauksista

Tässä luvussa kerrotaan vain niistä mittalaitteista ja niiden toimintaperiaatteista, jotka liitettiin Kuopion Energian pilot-hankkeessa mittausasemiin. Mittausasemiin on mahdollista asentaa myös muiden valmistajien mittalaitteita ja eri toimintaperiaatteella mittaavia laitteita. Pilot-hankkeen mittalaitteet valittiin, sillä ne ovat välttämättömiä vuodonvalvontajärjestelmän toimivuuden takaamiseksi. Menoputkeen asennettavien mittalaitteiden täytyy olla suunniteltu käytettäväksi 16 bar:n paineella ja kestettävä 120 °C:n lämpötilaa. Paluuputkeen asennettavien mittalaitteiden puolestaan täytyy olla suunniteltu käytettäväksi 16 bar:n paineella, mutta niiden lämpötilavaatimus ei tarvitse olla niin suuri, koska paluuputkessa lämpötila ei nouse niin suureksi.

### 6.2 Virtausmittaus

Tässä opinnäytetyössä vuodonvalvontajärjestelmään liitettiin Fujin valmistamia ultraääniperiaatteella mittaavia virtausmittareita. Virtausmittaukseen on saatavilla myös magneettisia ja mekaanisia virtausmittareita, mutta tässä työssä päädyttiin ultraäänivirtausmittareihin niiden asennettavuuden helppouden vuoksi. Ultraäänivirtausmittarit koostuvat M-Flow PW -vahvistimesta sekä mitattavan putken ympärille kiinnitettävästä FSSC-mittauskiskosta, johon on asennettuna kaksi mittausanturia. Mittausantureita kutsutaan ylä- ja alapuolen antureiksi. Yläpuolen anturi on mittauskiskossa ylempänä nesteen virtaussuuntaan nähden ja alapuolen anturi puolestaan alempana. FSSC-mittauskiskolla voidaan mitata putkia, joiden halkaisijat ovat 50 – 1200 mm. (Beup Automation Oy 2014.)

Ultraäänivirtausmittareita käytettäessä pystytään vähentämään asennuskustannuksia, koska mittauskisko kiinnitetään metallipannoilla putken ympärille, joten mitattavaan putkeen ei tarvitse tehdä reikiä mittauskiskoa tai antureita varten. Näin ollen ultraäänivirtausmittari voidaan asentaa, vaikka putki olisi jo käytössä. (Beup Automation Oy 2014.)

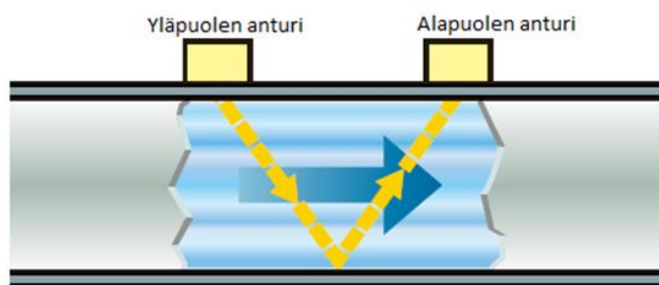
#### 6.2.1 Ultraäänimittauksen toimintaperiaate

Ultraäänivirtausmittaus perustuu keskimääräiseen virtausnopeuden mittaukseen, joka puolestaan perustuu ultraäänen etenemiseen virtaavassa aineessa. Mittauskiskossa olevat mitta-anturit ovat vuorotellen vastaanottavia ja lähettäviä antureita. Virtausmittauksen vahvistin lähettää pulssin yläpuolen anturille, josta se kulkee ultraääniaaltona nesteen läpi alapuolen anturille. Tämän jälkeen alapuolen anturi lähettää pulssin yläpuolen anturille. Yläpuolen anturin lähettämä pulssin kulku-aika on hieman nopeampi kuin alapuolen anturin lähettämä pulssi. Tämä johtuu siitä, että pulssi kulkee nopeammin nesteessä myötävirtaan. Tästä puolestaan syntyy pulssien välille aikaero, jonka perusteella vahvistinyksikkö laskee pulssin kulkuajan nesteessä, joka puolestaan on suoraan verrannollinen virtausmäärään. (Energiateollisuus ry 2006, 118.)

Virtausmittauksessa mittauskisko kiinnitetään mitattavan putken ulkopinnalle. Ultraäänimittauksessa voidaan käyttää kahta tapaa asentaa mittausanturit putken ympärille. Näitä mittaustapoja ovat V-mittaus ja Z-mittaus. (Beup Automation Oy 2014.)

### 6.2.2 Virtausmittauksen V-mittaustapa

V-mittaustapa on yleisin virtausmittauksessa käytetty mittaustapa (ks. kuva 7). V-mittauksessa mittauskiskossa olevat kaksi anturia sijoitetaan vierekkäin tietylle etäisyydelle toisiinsa nähden. Anturien välimatka määritetään putken seinämän paksuuden sekä ulkohalkaisijan perusteella. Vahvistimeen syötetään putken seinämän paksuus ja sisähalkaisijan arvot, minkä jälkeen vahvistin näyttää anturien välisen matkan. Mittausanturista ultraääniaallot johdatetaan putken yläpinnasta diagonaalisesti putken alapintaan, josta se heijastuu takaisin toiseen mittausanturiin. Vahvistinyksikkö mittaa näiden pulssien kulkuajan, jonka perusteella se laskee virtausmäärän. (Fuji Electric Co., Ltd 2014.)

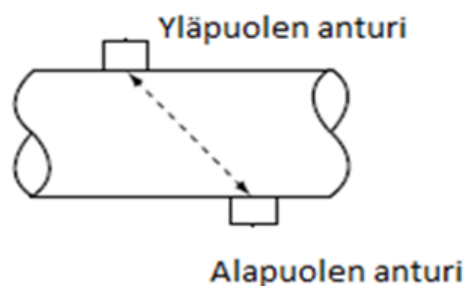


KUVA 7. V-mittaustapa (Beup Automation Oy 2014.)

### 6.2.3 Virtausmittauksen Z-mittaustapa

Z-mittaustapaa käytetään vasta silloin, kun V-mittaustapa ei toimi, sitä ei ole mahdollista käyttää tai putken suuruuden vuoksi antureiden välimatka olisi liian suuri. Z-mittaustapaa käytetään myös silloin, kun mitattava neste on liian sameaa, kuten esimerkiksi jätevettä, putken sisäpinta on vuorattu tai putken sisäpinnalle on kertynyt paksu sakkakertymä. Myös ikääntyneissä putkistoissa on parempi käyttää Z-mittaustapaa.

Z-mittaustavassa anturit toimivat samalla tavalla kuin V-mittauksessa vuorotellen lähettävinä sekä vastaanottavina antureina. Mittauksessa mittausanturit sijoitetaan kuitenkin eri tavalla kuin V-mittauksessa. Alla olevassa kuvassa 8 osoitetaan mittausantureiden sijoituskohdat. Yläpuolen anturi sijoitetaan putken yläpinnalle ja alapuolen anturi putken alapinnalle. (Fuji Electric Co., Ltd 2014.) Tässä mittaustavassa ultraääniaalltoa ei heijasteta diagonaalisesti putken alapinnasta yläpintaan vaan anturit lähettävät vuorotellen pulssin putken yläpinnalta alapintaan ja alapinnasta yläpintaan kuvan 8. mukaisesti. Tässäkin mittauksessa antureiden lähettämien pulssien välille tulee aikaero, joka johtuu myötä- ja vastavirrasta. Vahvistinyksiköllä lasketaan pulssien aikaerojen perusteella pulssin kulku aika, josta saadaan laskettua virtausmäärä. (Energiateollisuus ry 2006, 118.)

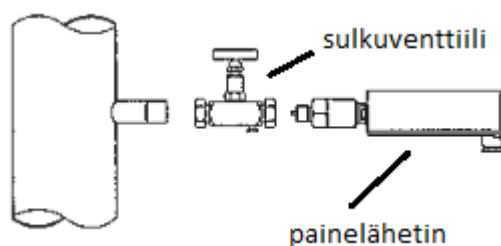


KUVA 8. Z-mittaustapa (Fuji Electric Co., Ltd 2014.)

### 6.3 Painemittaus

Painemittaukseen käytettiin WIKAN valmistamia painelähtimiä. Vuodonvalvontajärjestelmään liitettävään painemittaukseen paineelle ei tarvita paikallinäyttöä vaan mittaukseen riittää yksinkertainen painelähetin. Jokaiseen mittausasemaan liitetään kaksi painelähetintä, sillä saadakseen parhaan mitaustuloksen vuodonvalvontajärjestelmä vaatii mitaustietoa meno- ja paluupaineista. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.)

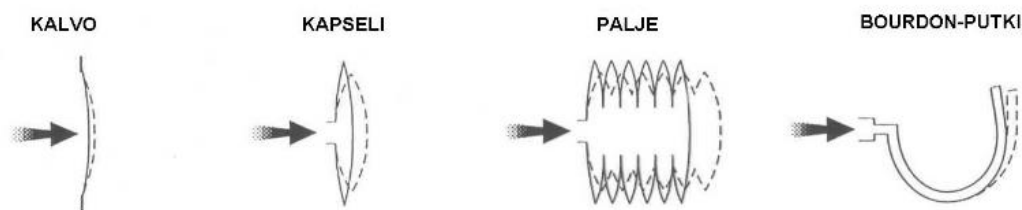
Painelähetin on helpoin asentaa kaukolämpöverkon rakennusvaiheessa kaukolämpöputkeen tehtyihin ilmausventtiileihin, jotka on varustettu sulkuventtiilillä. Painelähtimessä on valmiina 1/2 tuuman kierteet, joten se on yksinkertainen liittää venttiiliin. Sulkuventtiilin avulla voidaan helposti tarkastella painelähtimen kuntoa tai vaihtaa uuteen sen vikaantuessa. Kuva 9 esittää painelähtimen asennuksen.



KUVA 9. Painelähtimen asennus

Paineen mittaus perustuu mekaaniseen muodonmuutokseen: kun paine alkaa vaikuttaa painelähtimen tuntopäähän se liikkuu. Tuntopäessä tapahtuva muutos ei saa olla suuri, jotta painelähetin on toimiva. Liikkeen täytyy puolestaan olla riittävän suuri muutoksen havaitsemiseksi. Nämä vaatimukset aiheuttavat rajoituksia tuntopäänä käytettävälle materiaalille. Paineenmuutoksen havainnointiin tuntopäessä voidaan käyttää kalvoa, kapselia, paljetta tai bourdon-putkea (ks. kuva 10). (Mikes.fi 2014.) WIKAN valmistamissa painelähtimissä tuntopäänä on kalvo.





KUVA 10. Paine aiheuttaa muutoksen lähettimen tuntopäässä (Mikes.fi 2014.)

#### 6.4 Johtokykymittaus

Vuodonvalvontajärjestelmään liitetään kaksi Bürkertin valmistamaa johtokykymittausta. Johtokyky-mittauksen tarkoituksena on mitata kaukolämpöverkosta kaukolämpöveden sähkönjohtavuutta, jottei verkostoon ole päässyt vuotamaan sinne kuulumattomia aineita. Kaukolämpöveden sähkönjohtavuus muuttuu, jos verkostoon vuotaa raakaa käyttövedettä. Normaalitylanteessa kaukolämpöverkon sähkönjohtavuus pysyy vakiona ja on noin  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Kuopion veden (2014) raportin mukaan vuonna 2014 Kuopion vesijohtoverkon sähkönjohtavuus oli noin  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Tästä syystä kaukolämpöverkkoon vuotava raakaa käyttövesi nostaa kaukolämpöveden sähkönjohtavuutta verkossa.

Kaukolämpöverkossa johtokykyä mitataan yleensä ainoastaan tuotantolaitoksella. Johtokykyä kannattaa mitata myös maaston muodoiltaan korkeammilta alueilta kaukolämpöveden tuloon nähden, jolloin saadaan rajattua mittausalueita kaukolämpöverkkoon. Näillä korkeammilla alueilla kaukolämpöverkossa oleva kaukolämpövedenpaine on pienempi kuin käyttövesiverkostossa. Tämän seurauksena alueella tapahtuvissa asiakkaiden lämmönvaihtimien rikkoontumisissa raakaa käyttövedettä vuotaa verkkoon ja vaurioittaa kaukolämpöputkia. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.)

Johtokykymittaus asennetaan kaukolämpöverkon paluuputkeen, jolloin saadaan mitattua alueelta tulevan kaukolämpöveden johtokyky. Johtokykylähetin tarvitsee paineastian, johon lähetin asennetaan. Paineastian läpi johdatetaan kaukolämpöverkon paluuputkesta otettu kaukolämpövesi, minkä jälkeen se palaa takaisin paluuputkeen. Paineastian läpi kulkevaa kaukolämpöveden virtauksen määrää säännöstellään rotametrimillä. (Räsänen & Grönfors 2014-06-16.) On huomioitava, että vesi virtaa, se tarvitsee paine-eron, koska vesi liikkuu aina pienempää painetta kohti. Jos kaukolämpövesi otettaisiin kaukolämpöverkon paluuputkesta ja johdatettaisiin takaisin samaan putkeen, ei syntyisi paine-eroa eikä vesi liikkuisi ollenkaan. Yleensä kaukolämpöpumppaamalla paluuputkessa on paluupaineensäätäjä, joten kaukolämpövesi kannattaa ottaa paluupaineensäätäjän yläpuolelta johtokyky-mittaukselle, minkä jälkeen johdattaa vesi takaisin paluupaineensäätäjän toiselle puolelle. Tällöin saadaan paine-eroa ja vesi virtaamaan paineastian läpi.

Johtokykylähettimen toiminta perustuu vastuksen mittaukseen. Johtokykylähettimen anturissa on kaksi elektrodia, jotka on sijoitettu tietylle etäisyydelle toisistaan. Elektrodien läpi kulkee sähkövirta, ja mitattava neste vastustaa sähkövirran kulkua. Johtokykymittaus mittaa vastuksen arvon ja ilmoittaa tuloksen mikrosiemensia senttimetriä kohti ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Johtokykymittari mittaa myös nesteen lämpötilan. (Bürkert 2014.)

## 7 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN KUOPIOION KAUKOLÄMPÖVERKKOON

### 7.1 Mittausasemat

Koska vuodonvalvontajärjestelmä on vielä testausvaiheessa, on mittausasemia sijoitettava ainakin 3–4 kappaletta testattavalle alueelle testausten tarkkuuden takaamiseksi. Tässä työssä mittausasemat sijoitettiin Harjulan, Neulamäen, ja Käränkän pumppaamoille. Mittausasemia oli valmiina Leväsen pumppaamolla sekä Pitkälahden ja Rautaniemen varalaitoksilla, joten vuoden 2014 lopussa Kuopion Energian käytössä oli yhteensä 7 mittausasemaa. Näillä asemien sijoituspaikoilla saadaan seurattua Kuopion eteläpuolisen kaukolämpöverkon osan kuntoa. Pitkälahden ja Rautaniemen varalaitoksien mittausasemiin on liitetty vain meno- sekä paluupaineen mittaukset. Leväsen ja Käränkän pumppaamoihin liitettiin painemittausten lisäksi virtausmittaukset. Harjulaan ja Neulamäkeen asennettiin edellä mainittujen mittausten lisäksi kaukolämpöveden sähkönjohtavuusmittaukset, koska nämä pumppaamot sijaitsevat maastonmuodoiltaan epätasaisilla alueilla. Näin ollen näiltä alueilta voidaan mitata asiakkaiden kaukolämpövaihtimien vikaantumisia.

Mittausasemat voidaan sijoittaa kaivojen, pumppaamojen ja varalaitosten seinille, jossa ne eivät häiritse muuta käyttöä. On huomioitava kuitenkin mittausasemien sijoituksessa, että mittausten kaapeloinnit eivät muodostu pituuksiltaan suuriksi. Alla olevasta kuvasta 11 nähdään mittausasema asennettuna.



KUVA 11. Mittausasema Harjulan pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

Mittausasema tarvitsee toimiakseen yksivaiheisen sähkönsyötön. Tässä työssä mittausasemat sijoitettiin vapaiden pistorasioiden läheisyyteen, josta otettiin sähkönsyöttö mittausasemalle. Mittausaseman antenni on hyvä sijoittaa rakennusten ulkopuolelle, jotta voidaan varmistaa 3g-verkon toi-

mivuus. Kanavat olivat mittausasemaan esiohjelmoitu, joten mittaukset liitettiin mittausasemaan alla olevan kuvan 12 mukaisesti.

- Kanava 0 (AIN0):
  - menoveden paine vapaassa solmupisteessä
  - menoveden paine pumpun imupuolella
- Kanava 1 (AIN1):
  - menoveden paine pumpun painepuolella
  - virtausmittaus l/s
- Kanava 2 (AIN2):
  - paluueden paine
- Kanava 3 (AIN3):
  - ulkolämpötila
  - paluueden lämpötila
  - veden sähkönjohtavuus

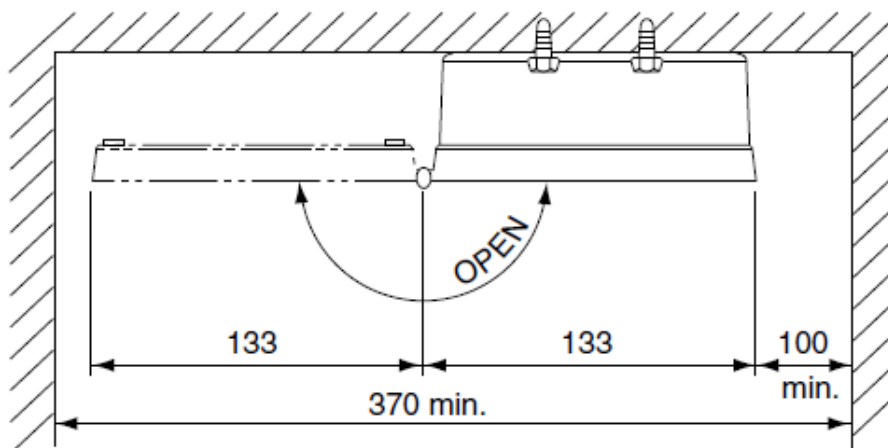
KUVA 12. Mittausaseman esiohjelmoitujen mittausten kytkennät (Seurantapalaveri Kuopion Energia 2014-12-13.)

## 7.2 Virtausmittaukset

Kaukolämpöveden virtausmittaukset liitettiin Leväsen, Käränkän ja Neulamäen pumppaamojen mittausasemiin, joissa virtausmittauksessa käytettiin Fujin valmistamaa M-Flow PW virtausmittaria. Harjulan pumppaamolla oli virtausmittaus asennettuna, joten se liitettiin mittausasemaan. Virtausmittaus koostuu vahvistimesta ja mittauskiskosta, joka asennetaan mitattavaan putkeen. Tässä työssä mittauskisko asennettiin kaukolämpöveden menoputkeen, jolloin saadaan mitattua alueelle menevän kaukolämpöveden määrä.

### 7.2.1 M-Flow PW -vahvistimen asennus ja käyttöönotto

Vahvistin asennetaan pumppaamon seinälle mahdollisimman lähelle mittausasemaa, jotta saadaan virtausmittauksen ja mittausaseman välistä kaapelointia vähennettyä. Vahvistimen asennuksessa on huomioitava myös, että vahvistimen ympärille jätetään riittävästi tilaa, jotta sen kansi saadaan avattua kokonaan. Tämä helpottaa myös vahvistimen kytkentää. Kuvasta 13 nähdään vahvistimen tarvitsemat asennustilat.



KUVA 13. M-Flow PW -vahvistimen asennusohje (Fuji Electric Co., Ltd 2014.)

Tässä työssä vahvistimeen kytketään yksivaiheinen sähkönsyöttö, mittauskiskon molemmille antureille omat kaapelit sekä 4–20 mA analogialähtö otetaan käyttöön. 4–20 mA analogialähtö kaapeloidaan mittausasemaan, jolloin saadaan virtausmittauksen suuruus vuodonvalvontajärjestelmään. Analogialähtö on parametroitu mittausasemaan siten, että analogialähdön lähettäessä 4 mA virtaa mittausasemaan virtausmittauksen suuruus on 0 m<sup>3</sup>. Puolestaan, kun analogialähtö lähettää 20 mA virtaa mittausasemaan, niin virtausmittauksen suuruus on 500 m<sup>3</sup>. Vahvistimessa on myös mahdollista kytkeä kaksi transistorilähtöä, joista on mahdollista saada tietoa esimerkiksi hälytyksistä. Vahvistimeen on saatavilla myös kommunikointiin tarvittava lisäliittimet, jolloin virtausmittaus saataisiin osaksi isompaa kokonaisuutta, kuten esimerkiksi logiikoihin. Johdotukset tehdään siten, että sähkönsyötön johdotukseen käytetään MMJ 3x1,5S -kaapelia ja 4–20 MA analogialähtö johdotetaan Nomak 2x2x0,5+0.5 -kaapelilla. Kaapelista otetaan vain toinen pari käyttöön, jolloin toinen jää varalle. Antureiden kaapelit toimitetaan valmiina virtausmittauksen mukana.



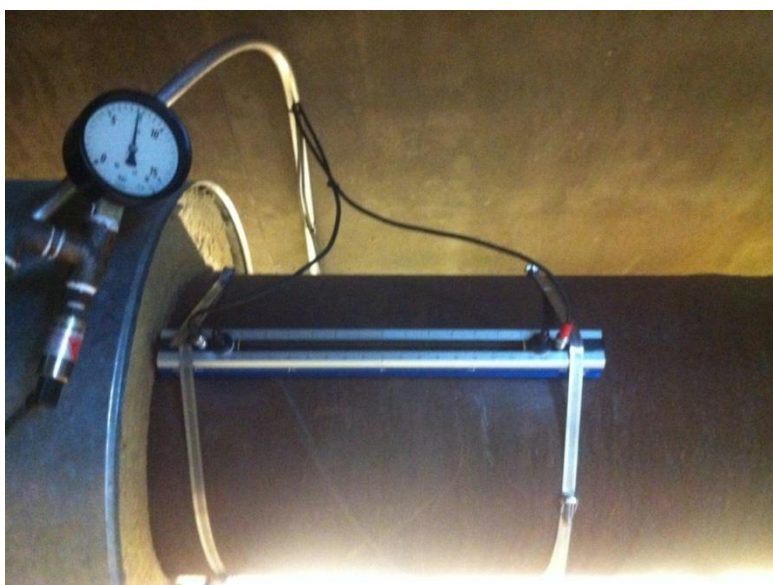
KUVA 14. M-Flow PW –virtausmittauksen vahvistin kytkettynä Neulamäen pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

Vahvistimen käyttöönotto tapahtuu kytkentöjen jälkeen, jolloin vahvistimeen määritetään mitattavan putken halkaisija ja putken seinämän paksuus. Nämä arvot saatiin liitteenä 3 olevasta taulukosta, missä määritetään kaukolämpöputkien tärkeimmät teknilliset ominaisuudet erisuuruisille putkille. Vahvistimeen määritetään myös putken materiaali, mahdollisesti putken vuorauksen ominaisuuksia, mitattavan nesteen laatu, viskositeetti arvo, mittaustapa sekä mittauskiskon malli. Tässä työssä käytettiin V-mittaustapaa, joten vahvistin ilmoittaa arvojen määrittämisen jälkeen mittauskiskon antureiden etäisyyden. Kuva 14 näyttää vahvistimen käyttöönotettuna.

### 7.2.2 FSSC-mittauskiskon asennus

Mittauskiskon sijoituspaikassa on otettava huomioon, että se asennetaan putken suoralle osuudelle. Muutoin asennettaessa on mahdollista, ettei putki ole riittävän täynnä vettä mitattavasta kohdasta, mikä vääristää mittaustuloksia. Mittauskiskolle on annettu tiettyjä etäisyyksiä mutkista, haaroituksista ja putkikoon muutoksista, joita on noudatettava mittauskiskon asennuksissa. Mittauskiskoa ei myöskään saa asentaa pumppujen ja venttiilien läheisyyteen, sillä ne voivat aiheuttaa pyörteitä putkeen ja häiritä mittaustuloksia. Mittauskisko on sijoitettava vähintään kolmekymmentä kertaa mitattavan putken halkaisijan etäisyydelle näistä laitteista. Ennen 90 ° asteen mutkaa mittauskisko on sijoitettava vähintään viisi kertaa putken halkaisijan etäisyydelle. Tarkemmat mittauskiskon sijoitus-etäisyydet löytyvät liitteestä 4. Sijoituspaikassa on otettava huomioon myös, että huoltomies pystyy ongelmitta työskentelemään mittauskiskon mahdollisissa vikaantumisissa.

Mittauskisko asennetaan putken suuntaisesti ja keskelle putkea. Mittauskiskon asennuksessa laiteaan antureihin silikonia, jotta saadaan luotettava liitos antureiden ja putkenpinnan välille sekä varmemmat mittaustulokset. Silikonin käytössä on otettava huomioon, että sen on myös kestävä 120 °C lämpötilaa. Tämän jälkeen mittauskisko asennetaan keskelle putkea, kuten kuvasta 15 nähdään. Lopuksi vielä mittauskisko kiristetään metallipannoilla tiukasti putkeen kiinni.



KUVA 15. FSSC -mittauskisko asennettuna Neulamäen pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

### 7.3 Painemittausten asennus

Painemittaukset asennettiin Leväsen, Harjulan, Neulamäen ja käränkän pumppaamoille, joissa painelähttiminä käytettiin WIKAn valmistamia antureita. Panielähttimet ovat yksinkertaisia asentaa, koska ne vain kiinnitetään kaukolämpöputkessa valmiina oleviin ilmausventtiileihin. Neulamäen pumppaamon painelähttimen asennuspaikka on esitetty kuvassa 16. On suositeltavaa sijoittaa anturit mahdollisimman lähelle mittausasemaa, jolloin kaapelointia saadaan vähennettyä. Puolestaan anturit ovat laitettava paikoille, missä on valmiina ilmausventtiilit tai muuten joudutaan asentamaan uudet ilmausventtiilit. Pumppujen ja venttiilien aiheuttamat pyörteet on myös huomioitava antureiden sijoituspaikoilla.

Panielähttimen johdotukseen käytettiin Nomak 2x2x0.5+0.5 -kaapelia, jossa otettiin myös vain toinen pari käyttöön, kuten virtausmittauksen vahvistimen kytkennässä. Panielähttimen kytkennässä kytketään myös kaapelin häiriösuoja, sillä huomasimme, että mittaus tulokset häiriintyvät ilman sitä. Häiriösuoja kytketään vain toisesta päästä, sillä se on helpompi kytkeä mittauskeskuksessa suurempien kytkentätilojen vuoksi. Panielähtin tarvitsee toimiakseen 9-32 VDC jännitettä, mikä saadaan mittausasemasta. Johdotuksessa toinen johto tuo jännitteen painelähttimelle ja toinen johto lähettää virtaviestin 4–20 mA mittausasemaan. Panielähttimen virtaviestin ollessa 4 mA kaukolämpöverkon paine on 0 bar:ia. Puolestaan virtaviestin ollessa 20 mA niin paine verkossa on 16 bar:a. Panielähttimet ovat siis mitoitettu 16 bar:iin ja 120 °C lämpötilaan.



KUVA 16. WIKAn -panielähtin asennettuna Neulamäen pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

## 7.4 Johtokykymittaukset

Opinnäytetyössä asennettiin kaksi johtokykymittausta: Toinen asennettiin Harjulan pumppaamolle, jolla mitataan Puijonlaakson alueen kaukolämpöveden sähkönjohtavuutta. Toinen sähkönjohtavuuteen perustuva johtokykymittaus asennettiin Neulamäen pumppaamolle, joka mittaa Neulamäen alueen kaukolämpöveden johtokykyä. Johtokykymittaukseen käytettiin Bürkertin valmistamia 8222-johtokykymittareita.

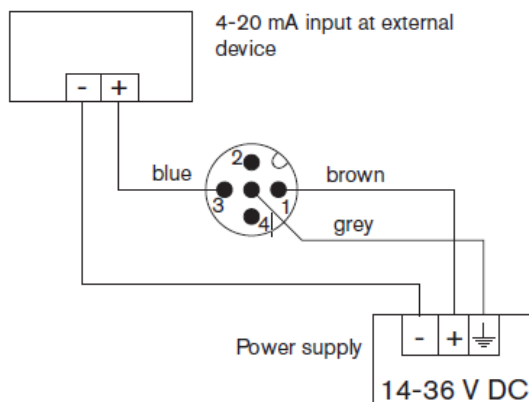
### 7.4.1 Johtokykymittausten asennus

Johtokykymittarille tehtiin kuvan 17 mukainen asennuslevy, johon on yksinkertaista kiinnittää johtokykymittari ja paineastia sekä rotametri. Asennuslevyyn asennettiin myös kytkentärasia sekä sulkuventtiili, jonka tarkoituksena on helpottaa johtokykymittarin ja rotametrin huoltotöitä. Asennuslevyn voi sijoittaa pumppaamolla sellaiseen paikkaan, jossa se ei aiheuta esteitä muiden laitteiden käytölle. Asennuslevyn mitoituspiirustus löytyy liitteestä 5. Sijoituksessa on suositeltavaa kuitenkin ottaa huomioon, että kaukolämpövesi saadaan mahdollisimman helposti johdatettua rotametrimille ja siten johtokykymittarille. Toisin sanoen asennuslevy kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle paluupaineen säädintä ja paluuputkea, josta sähkönjohtavuutta on tarkoitus mitata. Kaukolämpöveden siirtoon johtokykymittarille käytettiin 10 mm:n impulssiputkea, johon vesi otettiin kaukolämpöputkessa valmiina olevista ilmausventtiileistä. Impulssiputken liitoksiin käytettiin sen käyttöön tarkoitettuja helmiliitoksia. Johtokykymittaus asennetaan tiiviisti paineastiaan kiinni sekä varmistetaan, että mittarin anturi on varmasti kaukolämpövedessä ja näin ollen mittaa luotettavasti sähkönjohtavuutta.



KUVA 17. Johtokykymittaus ja asennuslevy asennettuna Harjulan pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

Johtokykymittarin mukana tulee valmis kaapeli mittarin kytkentää varten. Kaapelin pituus ei riittänyt mittausasemalle, joten tätä varten alustaan kiinnitettiin kytkentärasia. Kytkentärasiaan tuotiin mittausasemalta Nomak 2x2x0.5+0.5 -kaapeli. Johtokykymittaus tarvitsee toimiakseen 14 – 36 VDC jännitettä, joka saadaan mittausasemalta. Kaapelin toisessa parissa tuodaan syöttöjännite mittaukselle ja toisella parilla siirretään mittauksen 4–20 mA analogiatieto mittausasemaan. Tällä tiedolla saadaan siirrettyä mittausasemaan kaukolämpöveden sähkönjohtavuuden suuruus. Johtokykymittarista olisi myös mahdollista ottaa käyttöön kaksi transistorilähtöä. Johtokykymittarin kytkentäkaavio nähdään kuvassa 18.



KUVA 18. Johtokykymittarin kytkentäkaavio (Bürkert 2014.)

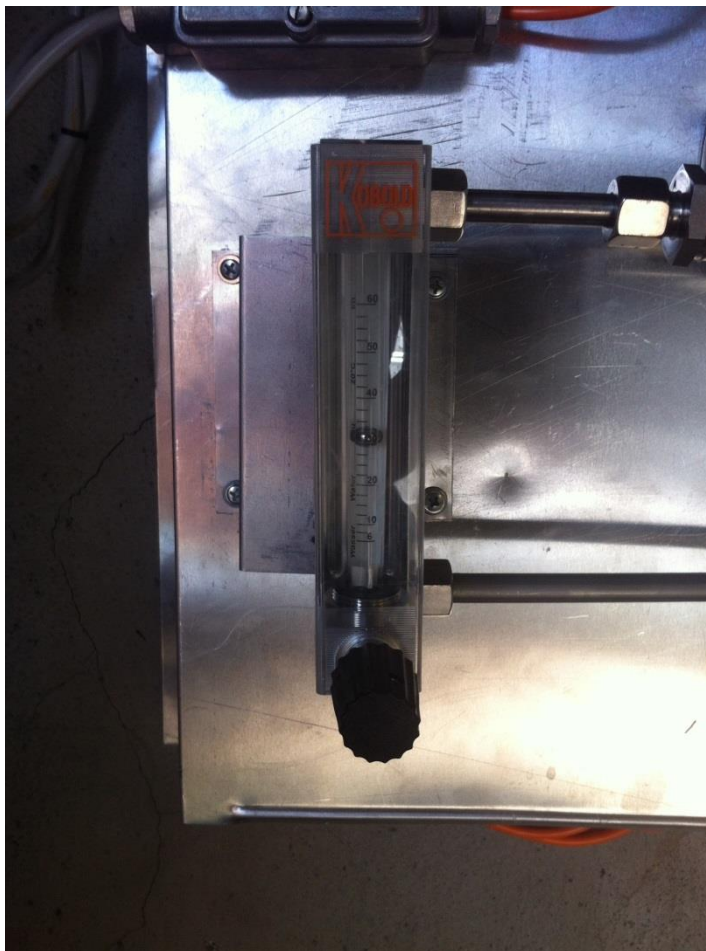
#### 7.4.2 Johtokykymittarin käyttöönotto

Ennen johtokykymittarin käyttöönottoa on varmistettava sen mittaaman tiedon tarkkuus, joka voidaan varmistaa nesteillä, josta tiedetään valmiiksi niiden sähkönjohtavuus. Johtokykymittarin tarkkuus varmistettiin nesteellä, jonka sähkönjohtavuuden arvo oli  $84 \mu\text{S}/\text{cm}$  ja lämpötila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Johtokykymittarista säädetään sähkönjohtavuus ja lämpötila näyttämään kyseisiä arvoja. Tämän jälkeen vielä määritetään 4–20 mA analogialähtö. Analogialähtö määritettiin siten, että lähdön virtaviestin ollessa 4 mA sähkönjohtavuus on  $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Virtaviestin ollessa 20 mA sähkönjohtavuus on  $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 7.4.3 Rotametrin asennus

Rotametrit asennettiin johtokykymittareiden yhteyteen rajoittamaan kaukolämpöveden virtausta johtokykymittareiden läpi. Rotametri on siis laite, jonka avulla voidaan säännöstellä sen läpi kulkevaa veden virtausta. Laitteesta nähdään myös, kuinka suuri virtaus sen läpi kulkee. Rotametri koostuu kotelosta, jonka sisällä on putki, jossa kaukolämpövesi virtaa. Putken sisällä on pallonmuotoinen kelluke, joka osoittaa virtausnopeuden suuruuden. Kaukolämpöveden virtauksen säätöön käytettiin KOBOLD Messring GmbH:n valmistamia rotametrejä. Rotametri on tarkoitettu asennettavaksi asennuslujasta vain pystysuuntaisesti ja kaukolämpöveden virtaus johdatetaan ainoastaan alhaalta ylöspäin. Kaukolämpöveden virtausnopeudeksi määritettiin noin  $30 \text{ l/h}$ , mikä huomataan alla olevasta kuvasta 19.



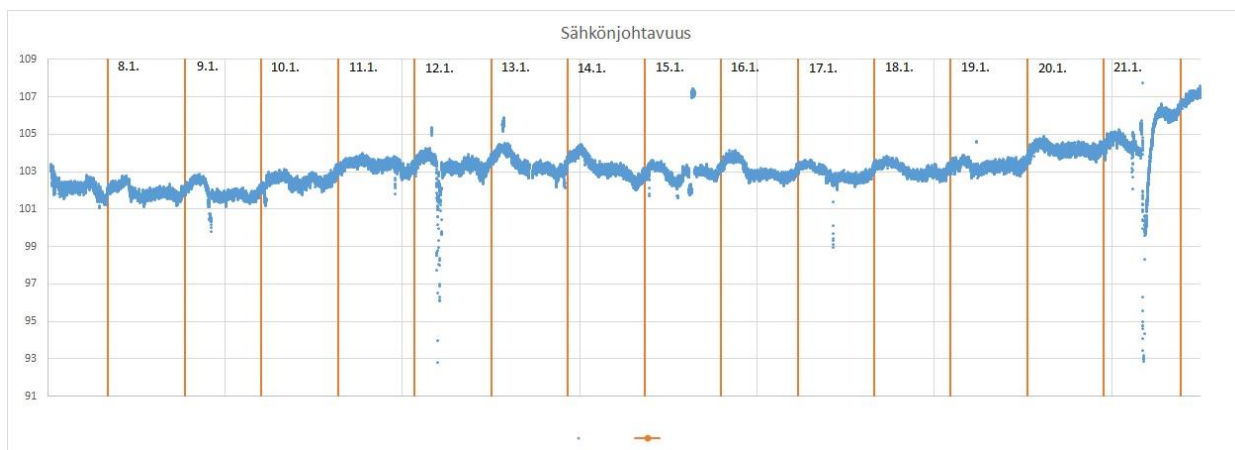


KUVA 19. Rotametri asennettuna Neulamäen pumppaamolla (valokuva Iiro Karppinen.)

## 8 TESTAUKSET

Työssä tarkoituksena oli aloittaa vuodonvalvontajärjestelmän toimivuuden testaukset sekä järjestelmään asennettujen mittausten toimivuuksien testaukset. Tässä työssä vuodonvalvontajärjestelmän toimivuutta testattiin laajemmin sähkönjohtavuusmittareiden toiminnan osalta. Sähkönjohtavuusmittausten käyttöönoton jälkeen molemmat mittaukset näyttivät liian suuria tuloksia verrattuna käsimitarilla tehtyihin mittauksiin. Tämä ongelma johtui sähkönjohtavuusmittareiden paineestioihin kertyneestä metallijätteistä, jotka johtuivat paineestioihin liitettyihin impulssiputkien asennuksista. Ongelma saatiin korjattua huuhtelemalla impulssiputket sekä paineestiat. Metallijätteet johtavat hyvin sähköä, minkä vuoksi mittaukset näyttivät suurempia tuloksia.

Alla olevassa kuvassa 20 on esitetty Harjulan pumpaamon sähkönjohtavuusmittarin mittaamaa sähkönjohtavuutta kahdentoista päivän ajalta. Mittaus siis mittaa Puijonlaaksosta palaavan kaukolämpöveden sähkönjohtavuutta. Kuvasta huomataan, kuinka kaukolämpöveden sähkönjohtavuus on noussut hiljalleen mittausjakson aikana, joten voidaan epäillä kaukolämpöasiakkaan lämmönvaihtimen vuotoa. Kuvassa näkyvä yhden päivän aikana vaihteleva sähkönjohtavuus johtuu siitä, että yöaikaan käyttöveden kulutus asiakkaalla on vähäistä. Tämän vuoksi paine kasvaa käyttövesiverkossa ja raakaa käyttövettä vuotaa kaukolämpöverkkoon. Puolestaan päiväaikaan käyttöveden kulutus on suurempaa, joten raakaa käyttövettä vuotaa vähemmän kaukolämpöverkkoon. Näiden havaintojen jälkeen Kuopion Energia aloittaa kenttätestaukset Puijonlaaksos alueella ja pyrkii rajaamaan alueen, josta mahdollisesti käyttövettä vuotaa kaukolämpöverkkoon.



KUVA 20. Harjulan pumpaamon sähkönjohtavuusmittauksen mittaustulokset 12 päivän ajalta

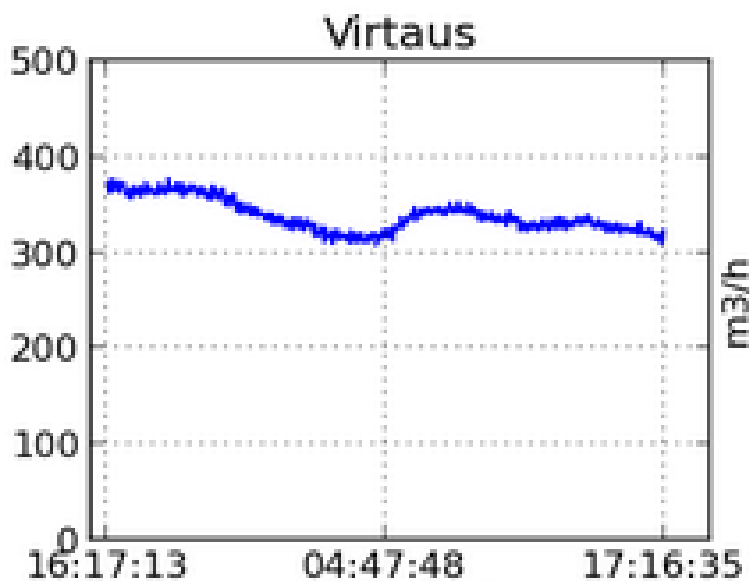
Vuodonvalvontajärjestelmän toimivuutta testattiin äkillisten vuotojen paikantamisen osalta myös tekemällä vuototilanteita kaukolämpöverkkoon. Vuototilanteita kaukolämpöverkkoon on helpoin tehdä tyhjentämällä verkkoa kaukolämpökaivon tyhjennysventtiilistä. Tyhjennyksessä on huomioitava, että saadaan tapahtumaan riittävä paineen muutos verkossa, jotta järjestelmä huomaa vuodon. Toisin sanoen verkkoa on tyhjennettävä asiakkaan määrittämän paineen kynnyksarvon ylittävän verran.

Aiemmin esitetyssä kuvassa 6 on esitetty myös vuodonvalvontajärjestelmän testausta äkillisten vuotojen osalta. Kuvan osoittamassa testauspaikassa verkkoa tyhjennettiin paluuputkesta noin seitse-

män sekunnin ajan, jolloin saatiin riittävä paineen muutos verkkoon. Järjestelmä laski kaksi vuoto- paikkaa, joista toisen aivan testauspaikan läheisyyteen. Tässä testauksessa vuotoa saatiin hyvällä tarkkuudella.

Työssä asennetut virtausmittaukset toimivat pääsääntöisesti luotettavasti käyttöönottojensa jälkeen. Hieman ongelmia aiheutti Neulamäen pumppaamolle asennettu virtausmittaus, sillä se lakkasi toimimasta muutaman päivän jälkeen asennuksesta. Tämän toimimattomuuden aiheutti löysälle jäänyt metallipanta, jolla mittauskisko kiinnitetään mitattavaan putkeen kiinni. Mittauskisko ei siis ollut hyvin kiinni putkessa, minkä vuoksi mittaus ei toiminut. Mittaus saatiin korjatuksi kiinnittämällä metallipanta tiukemmin paikoilleen.

Virtausmittauksen avulla voidaan seurata alueelle menevän kaukolämpöveden määrää. Normaali tilanteessa virtaus pysyy lähes vakiona, kuten alla olevasta kuvasta 21 huomataan. Jos virtauksen suuruus kasvaa äkillisesti, voidaan epäillä alueella olevaa kaukolämpöveden vuotoa.



KUVA 21. Virtausmittauksen reaaliaikaista mittaustietoa

## 9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli liittää vuodonvalvontajärjestelmä Kuopion Energian kaukolämpöverkon eteläpuoliseen osaan ja aloittaa järjestelmän testaukset. Työstä saatujen tulosten perusteella Kuopion Energian on tarkoitus saada kattavat ohjeet koko kaukolämpöverkon liittämiseen vuodonvalvontajärjestelmään ja lisäksi GWM-Systems voi käyttää tätä opinnäytetyötä järjestelmän markkinoinnissa.

Vuodonvalvontajärjestelmän tarkoituksena on olla toimiva vuodonilmaisujärjestelmä kaukolämpöverkossa tapahtuvissa äkillisissä vuotoissa. Järjestelmää ei ole tarkoitus seurata aktiivisesti, vaan järjestelmän on tarkoitus ilmoittaa operaattorille verkolla tapahtuvista vuodoista. Tämä on hyvä ominaisuus, koska se ei sido yrityksen henkilökuntaa seuraamaan järjestelmää jatkuvasti. Lisäksi järjestelmään asennettujen mittausten avulla voidaan parantaa kaukolämpöverkon energiatehokkuutta ja käyttöikä.

On hyvä ratkaisu Kuopiossa liittää sähkönjohtavuusmittaus vuodonvalvontajärjestelmään, sillä aikaisemmin kaukolämpöveden sähkönjohtavuutta on mitattu vain Haapaniemen voimalaitoksessa. Tällöin on saatu mitattua vain koko kaukolämpöverkon sähkönjohtavuutta. Jos verkon sähkönjohtavuus kasvaa, on vaikea paikallistaa, mistä kasvu johtuu. Tässä työssä verkkoon asennettiin kaksi sähkönjohtavuusmittausta, joiden avulla saadaan rajattua alueita sähkönjohtavuuden kasvamisen syyn paikallistamiseksi. Ennen sähkönjohtavuusmittarin käyttöönottoa kannattaa kalibroida se useilla eri nesteillä, joista tiedetään valmiiksi niiden sähkönjohtavuus. Näin varmistetaan sähkönjohtavuusmittarin mittaaman tiedon tarkkuus.

Vuodonvalvontajärjestelmän painemittaukset paikallistavat äkilliset vuodot pääosin hyvällä tarkkuudella. Vaikeuksia tarkkojen vuotokohtien paikantamisessa aiheuttaa kaukolämpöverkkojen silmukainen rakenne, missä paineaalto voi kulkea monta eri reittiä ennen painemittauksille saapumista. Järjestelmän tarkkuutta voitaisiin parantaa sijoittamalla verkkoon enemmän mittausasemia ja painemittauksia, mutta kaukolämpöverkolla ei ole tarpeeksi sellaisia paikkoja, joissa olisi valmiina mittausaseman tarvitsema sähkönsyöttö. Sähkönjohtavuusmittauksen avulla saadaan hyvin seurattua Puijonlaakson ja Neulamäen alueiden kaukolämpöveden johtokykyä, joka antaa arvokasta tietoa kaukolämpöverkon kunnan tarkasteluun. Kaukolämpöveden virtauksen mittaukseen käytetyn ultraääniperiaatteella toimivan virtausmittauksen ansiosta virtausmittaus voidaan asentaa, vaikka kaukolämpöverkko on käytössä. Tämän vuoksi virtausmittaukseen ei ole kannattavaa asentaa muulla toimintaperiaatteella mittaavia virtausmittareita.

Vuodonvalvontajärjestelmää voidaan mahdollisesti kehittää käyttövesiverkoston vuotojen paikantamiseen, mutta ongelmaksi aiheutuvat jatkuvat paineen muutokset. Tämä vaatisi paineenmittauksilta suurempaa kynnysarvoa, jotta järjestelmä ilmoittaisi vuodosta.

Työn lopputuloksena saatiin laajat asennusohjeet mittausasemien ja mittausten asentamisesta vuodonvalvontajärjestelmään. Tämän työn perusteella Kuopion Energia pystyy asentamaan koko kaukolämpöverkon vuodonvalvontajärjestelmään. Työssä on myös testattu järjestelmään asennettavia mittauksia, mitkä toimivat hyvillä mittaustarkkuuksilla.

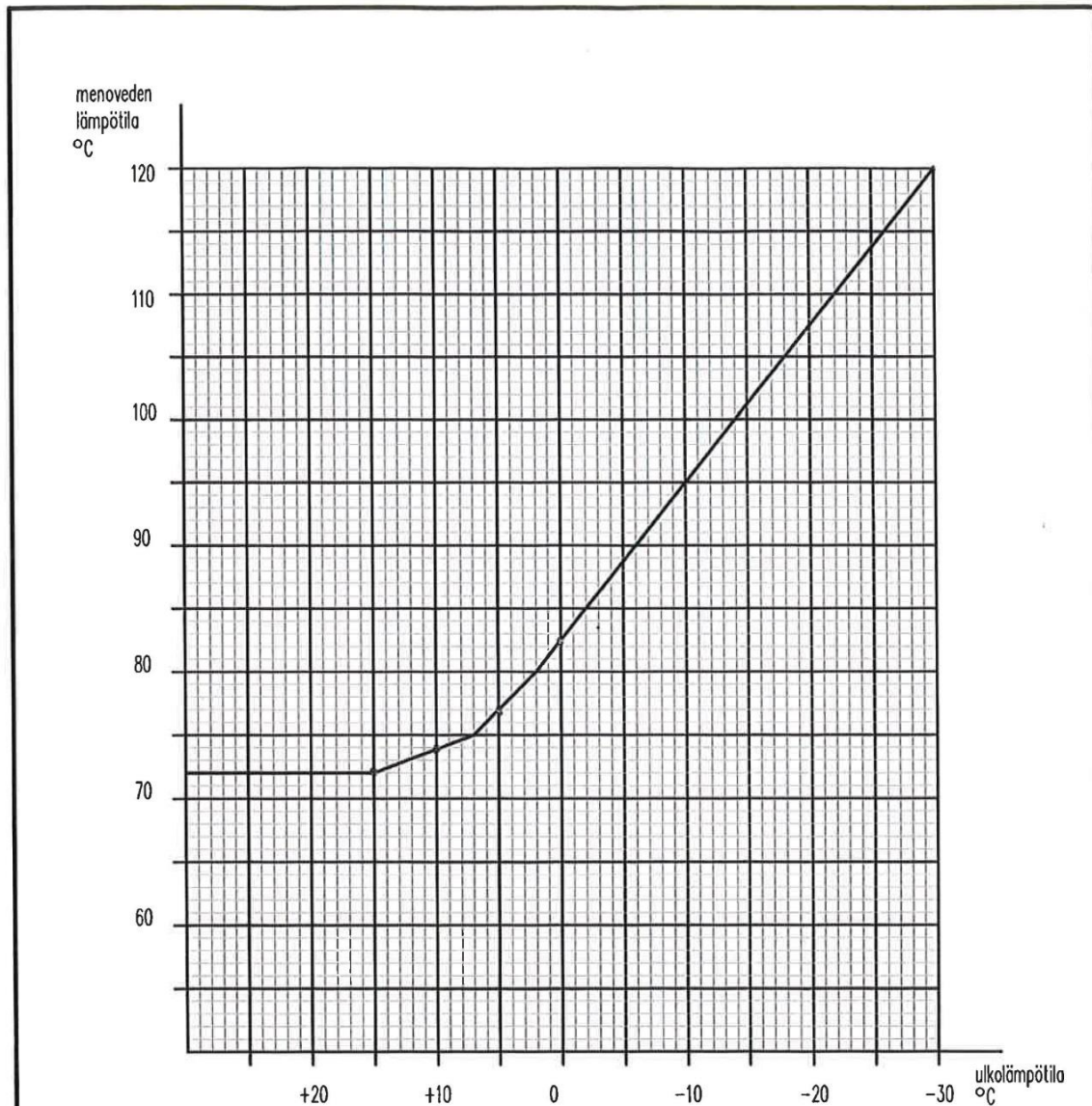
## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- BEUP AUTOMATION OY 2014. Tuotteet. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-08-04]. Saatavissa: [http://www.beup.fi/wp-content/uploads/2014/04/fuji\\_ultra\\_yleis.pdf](http://www.beup.fi/wp-content/uploads/2014/04/fuji_ultra_yleis.pdf)
- BÜRKERT 2014. Insturction manual, Conductivity meter. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-12-19]. Saatavissa: <http://www.burkert.fi/FIN/Tuotteet/Sensors-Transmitters-and-Controllers/Analyysianturit/8222.html>
- FUJI ELECTIC CO., LTD 2014. Insturction manual, Ultrasonic flowmeter detector. Kuopio: Kuopion Energia.
- ENERGIATEOLLISUUS RY 1998. Kaukolämpöjohdon vuodonpaikannusmenetelmät. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-01-12]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/raporttikk19\\_1998.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/raporttikk19_1998.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS RY 2006. Kaukolämmönkäsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.
- ENERGIATEOLLISUUS RY 2007. Kaukolämmön kiertoveden käsittely. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-01-02]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/suosituskk3\\_2007.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/suosituskk3_2007.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS RY 2012. Kaukolämpöverkon vaurioutilasto 2012. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-01-10]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/images/vaurioutilasto\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/images/vaurioutilasto_2012.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS 2014a. Kaukolämmön tuotanto 2013. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-12-01]. Saatavissa: <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukolampo>
- ENERGIATEOLLISUUS 2014b. Kaukolämmön toimintaperiaate. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-12-01]. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/toimintaperiaate>
- ENERGIATEOLLISUUS 2014c. Kaukolämpö [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-01-05]. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys>
- KAUKOLÄMPÖ.FI 2014. Toimintaperiaate. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-12-01]. Saatavissa: <http://www.kaukolampo.fi/toimintaperiaate.html>
- KUOPION ENERGIA 2013. Vuosikertomus 2013. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2014-01-13]. Saatavissa: [http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2276-2013\\_vuosikertomus.pdf](http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2276-2013_vuosikertomus.pdf)
- KUOPION ENERGIA 2014a. Miten kaukolämpö toimii? [Kuopion Energian sisäinen tietokanta]. [Viitattu 2014-11-15]. Saatavissa: Kuopion Energian sisäisessä käytössä.
- KUOPION ENERGIA 2014b. Yleisesittely [Kuopion Energian sisäinen tietokanta]. [Viitattu 2014-12-16]. Saatavissa: Kuopion Energian sisäisessä käytössä.
- KUOPION ENERGIA 2014c. Kaukolämpöesitys 2014 [Kuopion Energian sisäinen tietokanta]. [Viitattu 2015-01-05]. Saatavissa: Kuopion Energian sisäisessä käytössä.
- KUOPION VESI 2014. Verkostoon pumpatun veden laatu vuonna 2014. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2014-01-23]. Saatavissa: [http://www.kuopio.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=262e34a1-2c75-4cf5-b378-960ef919b47f&groupId=518539](http://www.kuopio.fi/c/document_library/get_file?uuid=262e34a1-2c75-4cf5-b378-960ef919b47f&groupId=518539)
- Räsänen, Olavi Kuopion Energia & Grönfors, Tapio GWM-Systems, 2014-06-16. [Keskustelu.] Kuopio: Kuopion Energia.
- SEURANTAPALAVERI KUOPION ENERGIA 2014-12-13. Pöytäkirja 13.12.2014. Sijainti: Leppävirta: GWM-Systems [intranet].
- SEURANTAPALAVERI KUOPION ENERGIA 2014-04-11. Pöytäkirja 11.04.2014. Sijainti: Leppävirta: GWM-Systems [intranet].


SEURANTAPALAVERI KUOPION ENERGIA 2014-04-14. Pöytäkirja 14.04.2014. Sijainti: Leppävirta: GWM-Systems [intranet].

Torri, P., Fimator Oy 2008. Tuulettuvan kaukolämpöjohdon vuodonvalvontajärjestelmä. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-01-02]. Saatavissa:  
[http://energia.fi/sites/default/files/tuulettuvan\\_kaukolampojohdon\\_vuodonvalvontajarjestelma.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuulettuvan_kaukolampojohdon_vuodonvalvontajarjestelma.pdf)

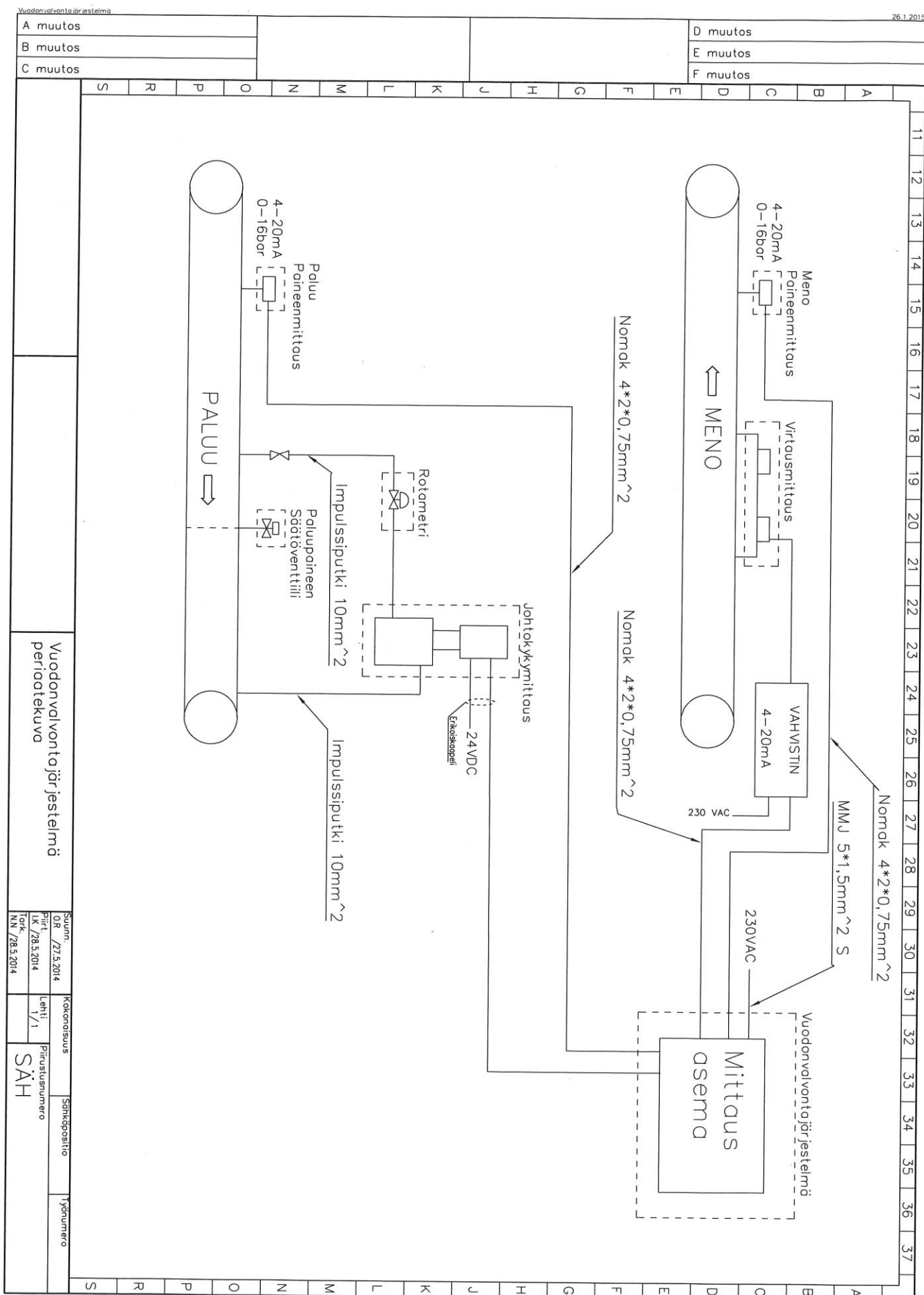
## LIITE 1: KUOPION ENERGIAN MENOLÄMPÖTILAN SÄÄTÖKÄYRÄ



Verkkoston akkumulointi aloitetaan aamuisin n. klo 02.00. Verkkoston akuttamisella on tarkoitus leikata turhaa pumppaamista ja lämpökeskuksien käynnistyksiä aamuhuipun aikaan.

	Suhde	Suunn.	
		Piirt.	17.01.2011
		Tark.	- - -
		Hyv.	- - -
menoveden lämpötilan riippuvuus		L4311080	
ulkolämpötilan mukaan		Positio	
		Liitty 1	
		Liitty 2	
		Liitty 3	
Korvaa	Sivu	Rev	Muutos pvm / tekijä

LIITE 2: VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄN PERIAATEKUVA





## LIITE 3: KAUKOLÄMPÖPUTKIEN TÄRKEIMMÄT TEKNISET OMINAISUUDET

Kaukolämpöputkien tärkeimmät teknilliset ominaisuudet  
ja käyttöarvot lämmönsiirrossa

Perustana painehäviö 0,001 bar/m yhdessä putkessa

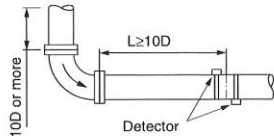
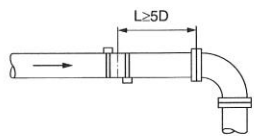
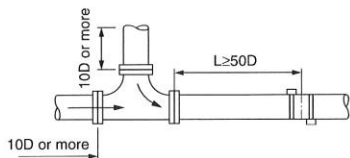
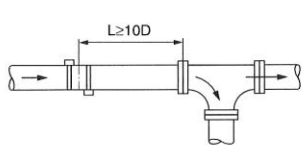
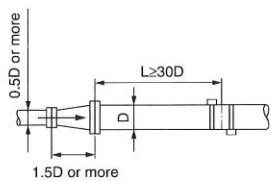
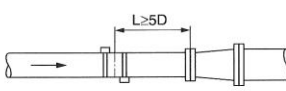
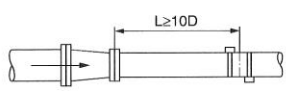
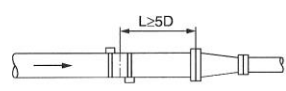
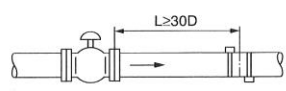
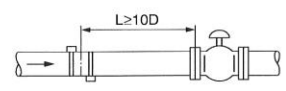
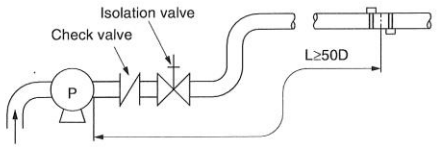
NS	Ulkoalk. x sein. paksuus mm	Sisätilavuus m <sup>3</sup> /m	Putken paino kg/m	Kok.paino kg/m	Tukiväli m	Eristyspaks. kellarijohto M/P mm	Perustana painehäviö 0,001 bar/m yhdessä putkessa			NS
							Virt nopeus m/s	Tehonsiirtokyky kW	Vesivirta m <sup>3</sup> /h	
15	21,3 x 3,2	0,0002	1,44	2,1	1,9	20 / 20				15
20	26,9 x 2,3	0,0004	1,41	2,4	2,2	20 / 20	0,37	30	0,52	20
25	33,7 x 2,6	0,0006	2,01	3,3	2,5	20 / 20	0,42	55	0,95	25
32	42,4 x 2,6	0,0011	2,57	4,5	2,8	20 / 20	0,48	110	1,9	32
40	48,3 x 2,6	0,0015	2,95	5,9	2,9	30 / 30	0,59	186	3,2	40
50	60,3 x 2,9	0,0023	4,14	8,7	3,2	30 / 30	0,80	383	6,6	50
65	76,1 x 2,9	0,0039	5,28	12,6	4,1	50 / 30	0,96	785	13,5	65
80	88,9 x 3,2	0,0054	6,81	16,1	4,4	50 / 30	1,00	1130	19,5	80
100	114,3 x 3,6	0,0090	9,90	24,6	5,0	60 / 40	1,09	2060	35,5	100
125	139,7 x 4,0	0,0136	13,5	33,6	5,5	60 / 40	1,31	3720	64	125
150	168,3 x 4,0	0,0199	18,1	45,5	6,1	60 / 40	1,49	6220	107	150
200	219,1 x 4,5	0,0347	23,7	67,5	7,0	60 / 60	1,70	12330	212	200
250	273,0 x 5,0	0,0545	33,0	98,3	7,7	60 / 60	1,95	22270	383	250
300	323,9 x 5,6	0,0768	43,8		8,4		2,20	35470	610	300
350	355,6 x 5,6	0,0931	48,2		8,8		2,27	44190	760	350 *
400	406,4 x 6,3	0,1217	62,4		9,4		2,51	63970	1100	400
450	457,2 x 6,3	0,1565	70,3		9,9		2,59	84900	1460	450 *
500	508,0 x 6,3	0,1927	78,2		10,5		2,88	116300	2000	500
500	609,6 x 7,1	0,2784	106							600
700	711,2 x 8,0	0,3796	138							700
800	812,8 x 8,8	0,4966	174							800
900	914,4 x 11	0,6255	246							900
1000	1016,0 x 11	0,7760	274							1000

## LIITE 4: ULTRAÄÄNIVIRTAUSMITTAUKSEN MITTAUSKISKON ASENNUSOHJEET

### 2.3. Length of straight pipe

The length of upstream and downstream straight pipe of the ultrasonic detector should be long enough to ensure accurate measurements.

(D is nominal diameter for a pipe)

Type	Length of upstream straight pipe	Length of downstream straight pipe
90° vending		
Tee		
Extension pipe		
Contraction pipe		
Individual valves	 When adjusting flow rate by the valve on the upstream side	 When adjusting flow rate by the valve on the downstream side
Pump		

Note) Source: Japan Electric Measuring Instruments Manufacturers' Association (JEMIS-032)

LIITE 5: ASENNUSLEVYN MITOITUSPIIRRUSTUS

