

Vesa Antero Keränen

KAUKOLÄMPÖVERKOSTOJEN ÄÄNIONGELMAT

KAUKOLÄMPÖVERKOSTOJEN ÄÄNIONGELMAT

Vesa Keränen
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Vesa Keränen

Opinnäytetyön nimi: Kaukolämpöverkostojen ääniongelmät

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Syksy 2015

Sivumäärä: 36 + 7

Opinnäytetyön tilaaja on Oulun Energia Oy, joka on Oulun alueen kaukolämpöverkoston omistaja sekä kaukolämmön tuottaja. Aihe sai alkunsa, kun muutamilla kaukolämpöasiakkaista oli havaittu häiritseviä ääniongelmia. Ongelmat havaittiin Oulun pohjoispuolella sijaitsevalla asuinalueella. Mitään konkreettista syytä ongelmiin ei yrityksistä huolimatta ollut löydetty. Työn ensisijaisena tavoitteena oli löytää ääniongelmien aiheuttaja. Lisäksi tavoitteena oli löytää erilaisia keinoja paikantaa ääniongelmien aiheuttajia sekä keinoja, joilla ääniongelmilta voitaisiin tulevaisuudessa välttyä.

Tutkimuskohde sijaitsee Oulun pohjoispuolella. Aiheeseen perehtyminen aloitettiin haastattelemalla kaikkia ääniongelmia-alueella olevien talojen asukkaita. Haastattelujen jälkeen jokaiseen taloon asennettiin tarkemmat mittalaitteet, jotta mittaustuloksia voitiin analysoida paremmin. Tutkimusmenetelminä käytettiin seuraavia menetelmiä: mittaustulosten vertailu ääniongelmien ilmestymisaikoihin, tarkastukset lämmönjakokeskuksiin ja kaukolämpöverkoston karttakuviin sekä tutustuminen muiden kaukolämpöyhtiöiden ääniongelmiiin.

Ääniongelman löytyi lopulta syy, ja se on nyt korjattu. Ääniongelmät syntyivät kohteen 2 lämmönjakokeskuksessa sijainneesta paine-erosäätimestä. Ratkaisu saatiin paine-erosäätimen poistamisen jälkeen. Äänenaiheuttajan löytämiseksi jouduttiin tekemään paljon työtä. Tulosten hyödynnettävyyden kannalta oli hyvä, että jouduttiin läpikäymään kokonaisuudessaan useampi lämmönjakokeskus ja toimenpide. Heti ensimmäisen toimenpiteen jälkeen ei olisi pystytty luomaan näin kattavaa tutkimusraporttia myöhempiä ongelmatilanteita varten. Tulevaisuudessa tällaisten ongelmien ilmetessä voidaan suoraan kohdentaa tutkimuksia samoihin asioihin kuin tässä työssä. Tulokset ovat hyödynnettävissä myöhempää ajankohtaa varten siinä mielessä, että osataan lähteä paikantamaan ääniongelmia nopeasti ja tehokkaasti, vähemmällä arvailulla. Tähän asti ongelman olemassaolosta tiedettiin, mutta sitä oli käytännössä hyvin hankala lähteä tutkimaan ääniongelmien ajankohdan sekä laajan mahdollisten aiheuttajien määrän vuoksi.

Asiasanat: kaukolämpö, ääni, ongelma, verkosto, tutkimus, mittaaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building Services, HVAC-Engineering

Author: Vesa Keränen

Title of thesis: Noise Problems in District Heating Networks

Supervisor(s): Veli-Matti Mäkelä

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015 Number of pages: 36 + 7

The employer of this thesis is Oulun Energia Oy. The company owns and maintains the district heating network in the city of Oulu and in its close towns. The idea for this thesis came up when some of the customers of district heating started having disturbing voice problems, despite many times of trying nothing specific reasons for these problems were never found. The main goal was to find the cause of these voice problems, added to that we thought it would be very useful to find different kinds of methods how to locate the creator of voice problems and how it would be possible to avoid these problems in the future.

Subject of this work is located in Northern Oulu. The study were started by interviewing all the residents who lived in a house that had voice problems. After completing the interviews with the residents, there were installed more accurate measuring devices so it was possible to analyze our measuring data much more accurately than with the previous measuring devices. The customers were also asked to write down on paper the timelines when the voice occurred (date, time and length of the voice). Research methods were comparing the measuring data to the timelines we gathered from the customers, inspections to district heating sub stations, inspections to district heating network maps and getting familiar with other district heating companies' voice problems.

Eventually the reason that was causing the problem was found in one the subject houses and it has been fixed. The voice problems started from one of the subject houses' pressure regulator. The results of this thesis are usable in future because now it is known where to start looking for the problems. To this day we knew the voice problems existed but it was very hard to start studying it because of the timelines the voice occurred and because there were so large list of the things that could be causing the problems.

Keywords: district heating, noise, problem, network, research, measuring

ALKULAUSE

Haluan kiittää Oulun Energia Oy:tä mielenkiintoisesta aiheesta. Erityisesti haluan kiittää Markku Sutista, joka toimi työn valvojana. Haluan myös kiittää Pasi Turusta, Jari Saarista, Sakari Naamankaa, Matti Niemi-Nikkolaa ja Juha Päckilää tutkimuksissa avustamisesta. Erityiskiitos kuuluu myös perheelleni ja tyttöystävälleni tuesta koko työn aikana.

Suuri kiitos kuuluu kuitenkin koko Oulun Energia Oy:n kaukolämpöosaston henkilökunnalle. Jokaisen neuvot ovat tulleet enemmän kuin tarpeeseen työn aikana.

Oulussa 24.10.2015

Vesa Keränen

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| SISÄLLYS..... | 6 |
| SANASTO..... | 7 |
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 2 KAUKOLÄMPÖ..... | 9 |
| 2.1 Oulun Energian kaukolämmön tuotanto | 11 |
| 2.2 Siirto ja jakelu | 11 |
| 2.3 Putkityypit..... | 12 |
| 2.3.1 Kaksiputkijohdot (Mpuk)..... | 12 |
| 2.3.2 Yksiputkijohdot (2Mpuk)..... | 13 |
| 2.3.3 Muut johtotyypit..... | 13 |
| 3 ÄÄNI | 15 |
| 3.1 Taajuus | 15 |
| 3.2 Äänen painetaso ja desibeli..... | 16 |
| 3.3 Äänen nopeus | 17 |
| 4 TUTKIMUSKOHTEET | 19 |
| 5 MITTAUKSET | 20 |
| 5.1 Käytetyt mittalaitteet..... | 20 |
| 5.1.1 Cirrus Optimus CK161C..... | 20 |
| 5.1.2 Kamstrup 602..... | 22 |
| 5.2 Mittaustulokset | 23 |
| 5.2.1 Äänimittaus | 23 |
| 5.2.2 Lämpöenergiamittarilla tehdyt mittaukset..... | 24 |
| 6 TOIMENPITEET | 26 |
| 7 HAVAINNOT..... | 32 |
| 8 YHTEENVETO | 33 |
| LÄHTEET..... | 35 |
| LIITTEET..... | 37 |

SANASTO

| | |
|------------------|---|
| Ensiöpuoli | Ensiöpuolella tarkoitetaan lämmönjakokeskuksen putkistoa ja laitteistoa, jossa kaukolämpövesi virtaa tai joihin sen paine vaikuttaa. |
| K_{VS} -arvo | Säätöventtiilien kokoluokkaa kuvaava arvo. Esim k_{VS} -arvon ollessa 1,6, venttiilin läpi menevä virtaama on yhden barin paine-erolla 1,6 m ³ /h. |
| Lämmönjakokeskus | Laitetekonaisuus, joka käsittää lämmönsiirtimet, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteet, pumppaus-laitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittavan putkiston. |
| Lämmönsiirrin | Osa lämmönjakokeskusta, jossa lämpö siirtyy kaukolämpövedestä asiakkaan käyttöveden tai lämmitettävän piirin nesteeseen. |
| Paine-ero | Kaukolämpöverkoston tulo- ja paluuputken paineiden välinen erotus. |
| Paine-erosäädin | Ensiöpuolen paluuputkessa oleva komponentti, joka voidaan asentaa myös menopuolelle. Järjestelmän paine-eron vaihdellessa paine-ero pystytään pitämään tasaisena meno- ja paluuputkien välisestä paine-erosta huolimatta. |
| Säätöventtiili | Kaukolämmössä: Ensiöpuolella lämmönsiirtimen edessä tai sen jälkeen tuleva komponentti, joka säätelee kaukolämpöveden virtaamaa lämmönsiirtimen läpi. Normaalisti se on varustettu automatisoidulla säätölaitteella. |
| Toisiopuoli | Toisiopuolella tarkoitetaan lämmönjakokeskuksen putkistoa, jossa virtaa asiakkaan käyttöveden tai lämmitettävän piirin neste. Tämä käsittää lämpimän käyttöveden, patteri- ja lattialämmityksen, ilmastoinnin jne. |

1 JOHDANTO

Kaukolämpöä on Suomessa käytetty lämmitysmuotona jo 1950-luvulta lähtien. Se on kaikkein suosituin lämmitysmuoto Suomessa; noin puolet suomalaisista taloista on kaukolämpötaloja. Syynä kaukolämmön suureen suosioon on se, että kaukolämmöntuotanto on energiatehokasta, ympäristöystävällistä, asiakkaalle edullista ja ennen kaikkea erittäin helppokäyttöistä ja toimintavarmaa. Kaukolämmityksen riskinä ovat nousevat polttoainekustannukset ja fossiilisiin polttoaineisiin kohdistuvat korotetut energiaverot. Suurin kilpailija kaukolämmön kanssa on maalämmitys.

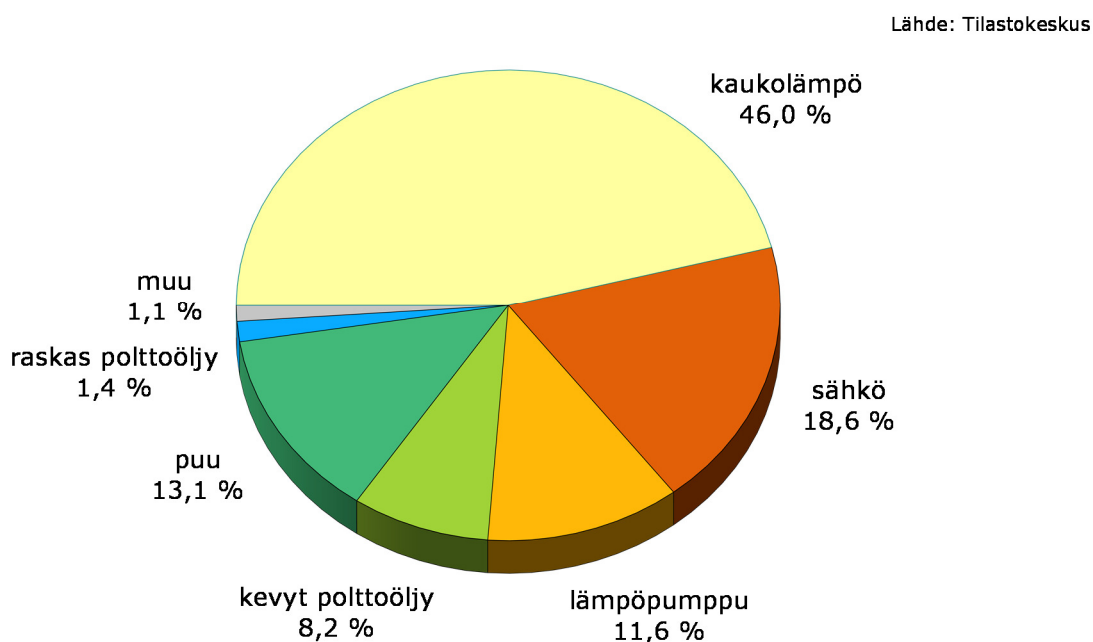
Kaukolämpöön liittyvät rakennukset ovat kytköksissä toisiin kaukolämmitettyihin rakennuksiin. Jokainen rakennus kiinnitetään kaukolämpörunkoon, jota pitkin lämpö siirretään taloihin. Kaikkien ollessa kytkettynä toisiinsa on mahdollista, että syntyy erilaisia äänihaittoja, jotka siirtyvät kaukolämpöjohtoa pitkin myös muihin rakennuksiin. Oulun Energia Oy:n kaukolämpöosastolle tuli ilmoitus, jonka mukaan muutamissa osoitteissa asiakkaat olivat valittaneet häiritsevää ääniongelmasta, jonka he itse olivat paikantaneet lämmönjakohuoneeseen. Ongelma oli jatkunut niin pitkään ja siitä oli koitunut joillekin asiakkaille poikkeuksellisen suurta haittaa, että saatiin toimeksianto selvittää ääniongelmien aiheuttajat sekä löytää keinoja joilla tulevaisuudessa samanlaisia ongelmia pystyttäisiin selvittämään huomattavasti tehokkaammin. Hyödyllistä olisi miettiä millä tavoin tulevaisuuden kohteet voitaisiin suunnitella niin, että ääniongelmilta voitaisiin välttyä jopa kokonaan.

Tutkimukset aloitetaan haastattelemalla asukkaat kaikissa taloissa, joissa ääniongelmaa on syntynyt. Alue jossa ääniongelmaa tutkitaan, sijaitsee Oulun pohjoispuolella. Tutkittavana on neljä kohdetta, joista kaikki ovat omakotitaloja. Haastattelujen yhteydessä jokaiseen kohdeasuntoon asennetaan tavallisten kaukolämpömittareiden tilalle samoja asioita, mutta pienemmällä aikavälillä mittaustietoja tallentavat mittarit. Asiakkaita pyydetään kirjoittamaan lista, jossa ilmenee ääniongelmien päivämäärä, kellonaika sekä ääniongelman kesto. Tuloksia tulkitaan, kun mittausdataa on saatu kerättyä usean päivän ajalta. Pyrkimyksenä on saada selvitykseen mukaan myös muiden paikkakuntien kaukolämpötuottajien ongelmia äänihaittojen suhteen.

2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämmön tuotantoa, joka on ollut käytössä jo 1950-luvun alusta lähtien. Asiakasmäärä kasvaa koko ajan, mutta uusien energiamuotojen kehittyessä myös muut lämmitysmuodot alkavat kilpailla kaukolämmön kanssa. Kaukolämpö tuotetaan yhdessä tai useammassa lämpölaitoksessa, josta lämpö jaetaan asiakkaille kaukolämpöverkoston välityksellä. Verkostossa siirtoaineena voidaan käyttää joko vettä tai höyryä; Suomessa on käytössä vesi. Kaukolämpöasiakkaina voivat olla kaikenlaiset rakennukset kuten omakotitalot, kerrostalot, teollisuushallit, liiketilat jne. (1, s. 5, 25.)

Kaukolämmityksen osuus lämmitysmuodoista vuonna 2009 oli 49 % (2, s. 6), viimeisimpien tilastojen mukaan (vuosi 2013) osuus on laskenut 46 %:iin (kuva 1). Tämä tarkoittaa, että nykyään kaukolämpöasiakkaita on noin 140 900, josta suurin osa on asuintaloja. Asukkaita, joille kaukolämpöä toimitetaan on noin 2,73 miljoonaa. (3.)



KUVA 1. Lämmitysmuotojen jakautuminen vuonna 2013 (3)

Kaukolämpöä siirretään asiakkaalle kaukolämpöverkostoa pitkin virtaavan kuuman veden avulla. Lämpölaitoksella käsitelty kuuma menovesi luovuttaa lämpöä asiakkaan lämmitys- ja

käyttövesitarpeisiin. Paluuvesi kulkeutuu takaisin voimalaitokselle uudelleenlämmitystä varten. Kaukolämmön etuja ovat energiatehokkuus, käyttövarmuus ja erityisesti helppokäyttöisyys asiakkaille. Ongelmakohtia puolestaan aiheuttavat sen suuret investointikustannukset, laajat kulutusvaihtelut vuodenaikojen välillä sekä pitkien siirtomatkojen vuoksi aiheutuvat siirtohäviöt. Kaukolämmityksen yksi ongelma on myös se, että sen rakentaminen ei ole kannattavaa pienille paikkakunnille tai harvaan asutuille alueille. Muita mahdollisuuksia hyödyntää kaukolämpöä ovat esimerkiksi sulanapitojärjestelmät ja kaukojäähdytys, toiselta nimeltään kaukokylmä. (1, s. 25–50.)

Kaukolämpö tuotetaan joko CHP- eli yhteistuotantovoimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Yhteistuotantovoimalaitoksella tarkoitetaan voimalaitoksia, jotka tuottavat sekä sähköä että lämpöä. Vuonna 2014 jopa 72,7 % kaukolämpöenergiasta tuotettiin CHP-laitoksissa. Maakaasu, kivihiili, turve ja puuhake ovat CHP-laitoksissa käytettyjä polttoaineita. Ensisijaisesti niitä käytetään sähkön tuotantoon. Polttoprosessista jäävä lämpöenergia käytetään kaukolämpöveden lämmitykseen. (4, s. 11–12.)

TAULUKKO 1. Kaukolämmön ja sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden osuudet (5)

| Polttoaine | 2013 | 2012 |
|------------------------------|----------------|----------------|
| Maakaasu | 25,8 % | 27,4 % |
| Kivihiili | 26,0 % | 24,5 % |
| Turve | 13,3 % | 15,7 % |
| Metsäpolttoaine | 15,9 % | 14,2 % |
| Teollisuuden puutähde | 7,8 % | 7,4 % |
| Muut biopolttoaineet | 2,1 % | 1,5 % |
| Sekapolttoaineet | 3,4 % | 2,0 % |
| Teollisuuden sekundäärilämpö | 1,4 % | 1,3 % |
| Raskas polttoöljy | 1,9 % | 3,3 % |
| Kevyt polttoöljy | 0,2 % | 0,3 % |
| Muut | 2,2 % | 2,4 % |
| Yhteensä | 100,0 % | 100,0 % |

Kaukolämpöverkostoja varten on rakennettu myös huippu- ja varalaitoksia, joissa polttoaineina käytetään pääasiassa öljyä ja maakaasua. Tällaiset laitokset ovat lämpökeskuksia, joissa tuotetaan vain lämpöä. Huppulaitoksia voidaan käyttää silloin, kun peruskuormalaitos ei riitä kattamaan kokonaisuudessaan sillä hetkellä vaadittua lämmitystehoa. Jos perustuotantoon ilmaantuu ongelmia, varalaitoksien tehtävänä on varmistaa lämmöntoimitus. (1, s. 25–50.)

2.1 Oulun Energian kaukolämmön tuotanto

Oulun alueen kaukolämpö tuotetaan lähes kokonaan Toppilan voimalaitoksissa lämmön ja sähkön yhteistuotantona. Toppilassa on kaksi voimalaitosta, Toppila 1 ja Toppila 2. Ensimmäistä voimalaitosta alettiin rakentaa vuonna 1974 ja toimintansa sähkön- ja lämmöntuotannossa se aloitti vuonna 1977. Toppila 1:n saneeraus suoritettiin vuonna 1996. Toppila 1 on vastapainevoimalaitos, joka tuottaa sekä sähköä että lämpöä. Sen kaukolämmitykseen saatava lämmitysteho on 150 megawattia. Toppila 2:n rakennustyöt aloitettiin vuonna 1995, se myös valmistui ja aloitti toimintansa tuona samana vuonna. Toppila 2 on väliottolauhdutusvoimalaitos, jossa tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä kuten Toppila 1:ssä. Toppila 2:n kaukolämpöteho on kuitenkin suurempi 170 megawatin teholla. (6.)

Toppilan voimalaitoksen lisäksi Oulun alueelta löytyy useita lämpökeskuksia huippu- ja varatehokäyttöön. Näiden lämpökeskusten yhteisteho on 210 megawattia. Lämpökeskuksia löytyy esimerkiksi Limingantullista, Vasaraperältä, Pateniemestä, Oulunsuusta ja Laanilasta. Lisäksi Toppilan voimalaitoksilla on kaksi öljykäyttöistä huippu- ja varatehokattilaa, joiden yhteisteho on 90 megawattia. (6.)

Oulun Energialla on myös käytettävissään kalliolämpövarasto, jota käytetään energiahankinnan optimoinnin lisäksi varalämmönlähteenä. Kemiran teollisuusalueella oleva, käytöstä poistettu noin 190 000 m³:n teollisuusbenssiinin kalliovarasto muutettiin vuonna 1996 lämpöakuksi. Lämpöakun kapasiteetti on 10 gigawattituntia, ja sitä voidaan ladata tai purkaa 80 megawatin teholla. (6.)

2.2 Siirto ja jakelu

Kaukolämpöverkostoihin kuuluu siirto-, kortteli- sekä tonttijohtoja. Siirtojohdolla tarkoitetaan kaukolämmön päärunkoa, joka lähtee voimalaitokselta. Ominaista siirtojohdolle on sen suuri koko ja sen tehtävänä on nimensä mukaisesti siirtää lämpöä verkoston seuraavaan osioon, jota kutsutaan korttelijohdoksi. Korttelijohdot ovat pienemmästä putkikoosta rakennettuja, ja niiden tarkoitus on siirtää suuresta siirtojohdosta lämpöä viimeiselle putkiosuudelle, tonttijohdolle. Tonttijohdot ovat pienimpiä putkia ja ne liitetään asiakkaan omiin lämmönjakokeskuksiin. (4, s. 12.)

Kaukolämpöverkoston johdot rakentuvat meno- ja paluuputkista. Putkityyppejä on monia, mutta nykyisin on siirrytty lähes kokonaan malleihin Mpuk ja 2Mpuk. Mpuk-putkella tarkoitetaan sellaista elementtiä, jossa sekä meno- että paluuputket ovat saman suojakuoren sisällä. 2Mpuk tarkoittaa sitä, että meno- ja paluuputket kulkevat omassa suojakuoressaan. Kaukolämpöputkien käyttöikä määräytyy putkessa virtaavan veden lämpötilan mukaan. Parhaimmillaan putkien käyttöikä on jopa yli 50 vuotta. (1, s. 137–140.)

2.3 Putkityypit

2.3.1 Kaksiputkijohdot (Mpuk)

Kaksiputkijohdossa sekä meno- että paluuputket ovat yhteisen polyeteenisuojaputken sisällä ja ne on liitetty yhteen polyuretaanieristeellä. Eriste valmistetaan sekoittamalla isosyanaattia sekä lisäaineita sisältävä polyoliseos keskenään. Eristeen tehtävänä on vähentää lämpöhäviöiden määrää; lämpöhäviöitä vähennetään myös sijoittamalla paluuputki menoputken päälle. Kaksiputkijohdojen valmistus tapahtuu useimmiten kokoluokissa DN 2x20 mm – DN 2x200 mm. Tehtaalla valmistetaan pääsääntöisesti 6 m tai 12 m pitkiä putkia, työmaalla putkia lyhennetään tarpeen vaatiessa. Verrattaessa yksiputkijohdoja kaksiputkijohdoin etuna on niiden pienempi materiaalityö. Jatkosten tekeminen puolittuu ja suurten putkien rakentamisvaiheessa monttujen koko on pienempi minkä vuoksi lämpöhäviöt ovat pienemmät.

(1, s. 139–140.)

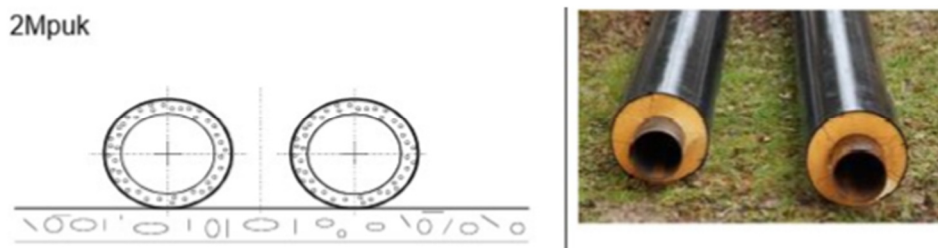


KUVA 2. Kaksiputkijohdon (Mpuk) rakenne

2.3.2 Yksiputkijohdot (2Mpuk)

Yksiputkijohdot ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin kaksiputkijohdotkin, mutta suojakuoren sisällä on vain yksi putki. Meno- ja paluuputket ovat siis omien suojakuoriensa sisällä, ja ne sijoitetaan maahan vierekkäin. Putki saadaan kiinnitettyä suojakuoreen tiiviisti samalla polyuretaaniseoksella, jota käytetään kaksiputkijohdoissa. Yksiputkijohtoja valmistetaan kokoluokissa DN 20 mm – DN 600 mm, mutta tarpeen vaatiessa putkia aina voidaan valmistaa kokoluokkaan DN 1200 mm asti. Putkien pituudet vaihtelevat putken halkaisijasta riippuen: 6, 12, 16 tai 18 m. (1, s. 139.)

Yksiputkijohtojen etu kaksiputkijohtoihin nähden on niiden suurien kokoluokkien mahdollisuus. Siirtojohdot ovat lähes poikkeuksetta yksiputkijohdoista rakennettuja, koska niillä pystytään siirtämään suuria tehomääriä ilman, että täytyy rakentaa monta erillistä siirtojohtoa. Kuvassa 3 esitetään yksiputkijohdot.



KUVA 3. Yksiputkijohdon (2Mpuk) rakenne (7, s. 47)

2.3.3 Muut johtotyypit

Muita käytössä olevia johtotyyppejä rakennetaan erillisiin kohteisiin, kuten tunneleihin, siltoihin, vesistön- ja radanalitukseen ja muihin erikoiskohteisiin. Tällaisissa erikoiskohteissa käytetään usein tavallisia putkityyppejä, mutta niiden kannakoinnit ja ripustukset ovat erilaisia kuin tavanomaisissa rakennuskohteissa. (1, s. 145.)

Kokonaan oman ryhmänsä muodostavat kellarijohdot, joissa teräsputket kannakoidaan kattorakenteissa pääosin tehdasvalmisteisilla kannakkeilla. Eristyksessä käytetään mineraalivillaa ja se päällystetään kiinteistön muun putkistoeristyksen kanssa sopivalla muovilla, pellillä tai alumiinipaperilla. (1, s. 145.)

Maahan on myös aikanaan käytetty vanhoja asbestisuoja-putkijohtoja polyuretaani- tai mineraalivillaeristeellä. Tällaisia putkia on kuitenkin hyvin vähäinen määrä ja niiden käyttö loppui 1980-luvulla, kun kiinnivaahdotetut johdot tulivat markkinoille. Lisäksi asbestin aiheuttamat ongelmat kannustivat entistä voimakkaammin siirtymään kiinnivaahdotettuihin johtoihin. (1, s.145.)

Yksi merkittävä ja vanha rakenne, jota käytettiin aikanaan on betonielementtikanava. Kyseisiä kanavia rakennettiin Suomessa 1950–1980 välisenä aikana. Sen jälkeen ei enää uusia ole rakennettu, mutta niitä on edelleen paljon käytössä. Useimmiten betonielementtikanavia käytettiin suuriin runkolinjoihin. Nykyään nämä on korvattu tavallisella 2Mpuk-putkilla.

3 ÄÄNI

Äänellä tarkoitetaan sitä aaltoliikkeen taajuusaluetta, joka korvaan saapuessaan aiheuttaa kuuloaistimuksen. Ääniaaltoja on olemassa paljon myös alueilla, joita ihmiskorva ei kuule. Tällöin niitä kutsutaan infra- ja ultraääniksi. (8, s. 280.)

Ääntä pystytään tuottamaan useilla eri keinoilla, esimerkiksi erilaisilla kielillä, tangoilla, levyillä jne. Tällaisia äänilähteitä käytetään useissa eri soittimissa. Koneiden ja rakenteiden värähtelyt, neste- ja kaasuvirtaukset putkistoissa, rakentaminen jne. aiheuttavat myös ääntä, mutta näissä tapauksissa syntyvä ääni usein koetaan epämiellyttäväksi; tällöin ääntä kutsutaan ennemmin meluksi. (8, s. 280.)

Aallon nopeus, taajuus ja pituus liittyvät aaltoliikkeisiin ja näin ollen myös ääniaaltoihin; nämä kaikki suureet voidaan yhdistää aaltoliikkeen perusyhtälöön (kaava 1). Ääniaallot heijastuvat, taittuvat, interferoivat ja absorboituvat. Kaikki aaltoliikkeet kuljettavat edetessään energiaa. (8, s. 280.)

$$v = f\lambda$$

KAAVA 1

$$v = \text{äänen nopeus} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$f = \text{äänen taajuus (Hz)}$$

$$\lambda = \text{aallonpituus (m)}$$

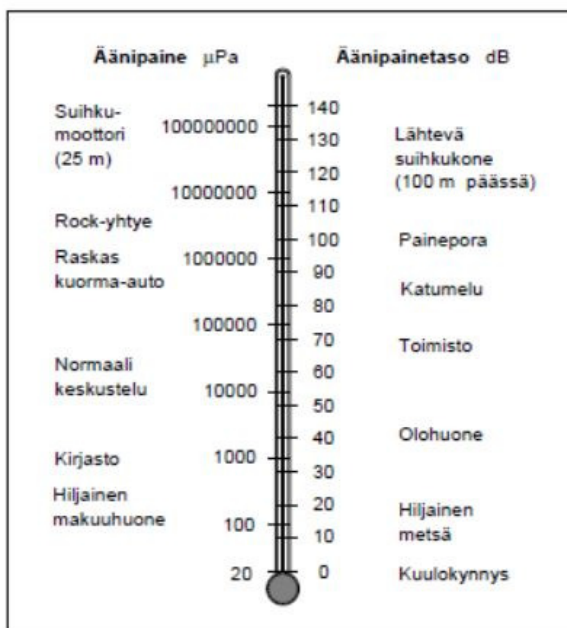
3.1 Taajuus

Äänen aaltoliike on ilmamolekyylien tihtentymisiä ja harventumia, toisin sanoen paine-eroa, jonka määrä sekunnissa ilmoitetaan taajuutena. Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz). Ihmiskorva pystyy havaitsemaan kaikki taajuudet kuuloalueeltaan, joka on 20 Hz:tä aina 20 kHz:iin. Kaikkia taajuuksia, jotka alittavat tämän alueen, kutsutaan infraääniksi. Ylittäviä ääniä puolestaan kutsutaan ultraääniksi. (8, s. 7.)

Kuultavan äänialueen ääripäitä kutsutaan mataliksi ja korkeiksi ääniksi. Matalilla äänillä on pieni äänitaajuus ja pitkä aallonpituus. Matalat ääniaallot pystyvät läpäisemään paksujakin rakenteita ja ne voidaan kuulla kaukana äänen syntypaikasta. Korkeat äänet puolestaan omaavat korkean äänitaajuuden ja lyhyen äänenpituuden. Tällaiset ääniaallot heijastuvat herkästi mutta eivät kuulu kauas vaan vaimentuvat nopeasti. (8, s. 7.)

3.2 Äänen painetaso ja desibeli

Äänenä kuultava ilmanpaineenvaihtelu ja sen voimakkuus on suoraan verrannollinen värähtelijän liikkeen suuruuteen. Mitä voimakkaampi ääni on, sitä suurempi ilmanpaineen vaihtelu eli painetaso on. Alinta ihmisen kuuloalueella olevaa ääntä kutsutaan kuulokynnykseksi, vastaavasti ylintä ääntä ihmisen kuuloalueella kutsutaan kipurajaksi. Kipurajalla äänenpainetaso on miljoonia kertoja suurempi kuin kuulokynnyksellä. Äänenpainetta kuvattaessa käytetään logaritmistä desibeliasteikkoa, jotta vältetään suurilta luvuilta. Desibeli (dB) on mittayksikkö, jolla ilmoitetaan, montako yksikköä ääni on kuulokynnystä voimakkaampi. (Kuva 4.) Koska desibeli on logaritminen yksikkö, sen arvoja ei voida suoraan laskea yhteen. Esimerkiksi yhden rumpalin soittaessa 60 dB:n voimakkuudella kaksi soittajaa soittaa noin 63–64 dB:n voimakkuudella eikä 120 dB:n voimakkuudella. (8. s. 24–27.)



KUVA 4. Esimerkkejä äänen painetasoista (9, s. 32.)

3.3 Äänen nopeus

Äänen nopeus ilmassa on riippuvainen ilman kosteustasosta ja lämpötilasta. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että huoneilmassa, jonka lämpötila on +20 °C ja huoneilma on kuivaa, äänen nopeus on noin 344 metriä sekunnissa. Nopeus on suhteellisen hidas, kun verrataan sitä esimerkiksi valonnopeuteen, joka on noin 300 000 kilometriä sekunnissa. Tämä voidaan todeta esimerkiksi kaukaisemmista tapahtumista, kuten salamoinnista: salamointi näkyy huomattavasti ennen kuin se kuullaan. (8, s. 13.)

Äänen nopeuden tietäminen on hyödyllistä useastakin eri syystä. Esimerkiksi konserttisaleissa voidaan laskea, kuinka pitkiä viiveaikoja erillisten kaiutinryhmien välille voi muodosta ja sen perusteella voidaan tarpeen mukaan tasoittaa sointia sähköisten viivelaitteiden avulla. Kun tiedetään äänen nopeus, voidaan laskea aallonpituus kullakin taajuudella metreinä. (Kaava 2) Kyseisellä kaavalla saadaan selville, että 100 Hz:n ääniaalto on noin 3,4 metriä pitkä, 1 kHz:n ääniaalto on noin 34 senttimetriä ja 10 kHz:n ääniaalto on vain 3,4 senttimetriä pitkä. Tämä tieto on tärkeä, jos esimerkiksi halutaan sijoittaa mikrofoniparin niin lähelle toisiaan, että niiden signaalit ovat myötävaiheessa myös audioalueen korkeimmilla taajuuksilla. (8, s. 13–14.)

$$\frac{\text{äänennopeus}}{\text{taajuus}} = \text{aallonpituus}$$

KAAVA 2

Äänen nopeus eri väliaineissa riippuu luonnollisesti väliaineen ominaisuuksista, kuten lämpötilasta (kuva 5). Tässä työssä ollaan erityisen kiinnostuneita teräksen, veden, ilman ja kuparin äänen nopeuksista, koska kaukolämpöelementit ja lämmönjakohuoneiden komponentit on pääasiassa valmistettu näistä materiaaleista.

| Material | Density (g/cm) | Speed (m/s) |
|------------|----------------|-------------|
| Copper | 8.90 | 6420 |
| Steel | 7.86 | 5940 |
| Beryllium | 1.93 | 12890 |
| Aluminium | 2.58 | 6420 |
| Water | 1.00 | 1496 |
| Ethanol | 0.79 | 1207 |
| Air | 0.00139 | 331.45 |
| Helium | 0.000178 | 965 |
| Fat | 0.95 | 1450 |
| Muscle | 1.07 | 1580 |
| Skull bone | 1.91 | 4080 |

KUVA 5. Äänen nopeus eri materiaaleissa (10)

4 TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteet olivat omakotitaloja ja niitä oli yhteensä neljä kappaletta. Jokaisesta kohteesta kerättiin lähtötietoja ääniongelmaan liittyen. Lähtötietohaastattelujen tarkoituksena oli selvittää, ovatko ääniongelmat samanlaiset jokaisessa kohteessa. Ensisijaisesti kiinnostuksen kohteena olivat ongelman yhtäaikaisuus, kesto ja äänenlaatu. Hyvin pian selvisi, että esiintyessään ääni kuului yhtä aikaa kaikissa kolmessa kiinteistössä. Ongelma on ollut ajankohtainen vain kesäisin (lämmitysajan ulkopuolella) ja se on kestänyt jo kaksi–kolme vuotta.

Koska ongelma tulee ilmi epäsäännöllisesti ja kestää vain vähän aikaa, on sen tutkiminen ollut vaikeaa. Näin yksikään Oulun Energia Oy:n henkilökunnasta ei ole ehtinyt paikalle kuuntelemaan ääntä. Näin ollen myös äänen paikantaminen oli haasteellista. Kesän 2015 aikana ääni on ollut jostain syystä entistä voimakkaampi ja kuulunut entistä useammin, minkä vuoksi se on häirinnyt asukkaita. Ääni oli ajoittain niin voimakas, että se esti myös kiinteistöjen asukkaita nukkumasta.

Varsinaisia tutkimuskohteita ovat kohteet 1, 2 ja 3, koska niissä ilmenee sama ongelma. Kohde 4 otettiin vertauskohteeksi, koska kyseisestä kiinteistöstä ei ollut tullut valituksia ääniongelmista lainkaan. Tutkimuskohteina ei ollut muita asuinkiinteistöjä. Tarpeen vaatiessa tehtiin tarkastuksia myös muihin lähikiinteistöihin.

5 MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin kahdella erillisellä mittarilla. Äänimittaus tehtiin kaksi kertaa. Ensimmäisellä mittauskerralla ääntä ei saatu tallennettua mittauslaitteelle lainkaan. Toisen mittausjakson aikana ääni saatiin tallennettua kaksi kertaa, joista molemmat kerrat olivat suhteellisen lyhytaikaisia.

Lämpöenergiamittarilla mittauksia pystyttiin keräämään huomattavasti pidemmältä aikaväliltä. Näitä kerättyjä tuloksia verrattiin äänen kuulumisajankohtiin.

5.1 Käytetyt mittalaitteet

5.1.1 Cirrus Optimus CK161C

Äänimittaukseen käytettiin Cirrus Researchin valmistamaa äänimittaria. Käytetty malli on Cirrus Optimus CK161C, joka kuuluu ns. Optimus-sarjaan. Kyseisestä sarjasta käytössä ollut malli on ominaisuuksiltaan kattavin. (Taulukko 2.) Käytetty mittalaite löytyy taulukon 2 kohdasta CR161C.

TAULUKKO 2. Cirrus Optimus -red-sarjaan kuuluvien mittareiden ominaisuustaulukko (13, s. 3)

| | Optimus red | | | | | |
|---|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | CR162A | CR161A | CR162B | CR161B | CR162C | CR161C |
| Class 1 | | x | | x | | x |
| Class2 | x | | x | | x | |
| Äänitaso SPL&max | x | x | x | x | x | x |
| Aikapainotus (F,S) yhtaikaa | x | x | x | x | x | x |
| Taaajuuspainotus A,C,Z yhtaikaisesti | x | x | x | x | x | x |
| Integrointi & huippu (Q*3) | x | x | x | x | x | x |
| Monikanavainen integrointi | x | x | x | x | x | x |
| Reaaliaika oktaavikaista | | | | | x | x |
| Datalogger | | | x | x | x | x |
| Äänitallennus | | | x | x | x | x |
| Muisti | | | 2GB | 2GB | 2GB | 2GB |

Äänimittari on suunniteltu niin, että mittausten suorittaminen on mahdollisimman vaivatonta ja yksinkertaista. Tärkein ominaisuus mittarilla on se, että se pystyy suorittamaan kaikki tarvittavat mittaukset samanaikaisesti. Mittauksia ei tarvitse suorittaa useaan otteeseen jotta saadaan kaikki tarpeelliset mittaustulokset. Mittari kattaa alueen 20–143 dB(A). Mittausta aloitettaessa ei tarvitse päättää, millä mitta-alueella toimitaan. Muokattavuudeltaan mittari on myös kattava modulaarisen rakenteensa vuoksi siihen voidaan asentaa omien mittaustarpeiden mukaan uusia ominaisuuksia. (14, s. 3–4.)

Kuvassa 6 on esitetty Cirrus Optimus CK161C. Cirrus Optimus -mittarisarjoja käytetään seuraavanlaisissa kohteissa ja tehtävissä: teollisuus ja työtilanteissa syntyvien melutasojen seuranta ja erottelu, melutason mittaaminen äänilähteestä, kuulosuojainten erilaiset testaukset TML- ja taajuuskaistoittain ja erilaisten äänilähteiden äänitasojen vaikutusten tutkinta. (13, s. 2)



KUVA 6. Cirrus Optimus CK161C -äänimittari ja kalibrointilaite

Mittarin rakenne on hyvin yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Käytettävissä ei ole suurta määrää erilaisia painikkeita, eikä käyttöliittymässä ole suuria määriä erilaisia valikoita (kuva 6).

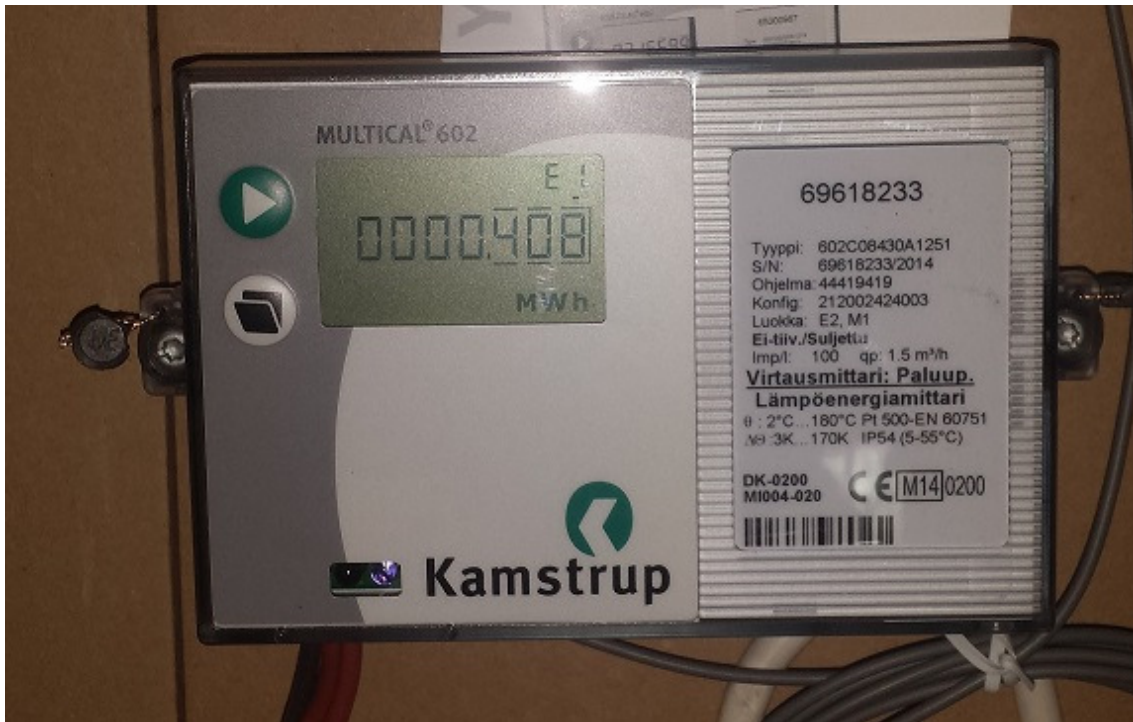


KUVA 7. Cirrus Optimus CK161C -äänimittarin rakenne (14, s. 1)

5.1.2 Kamstrup 602

Kamstrup 602 (kuva 7) on lämpöenergiälaskuri, joka hyödyntää virtausanturia ja kahta lämpötilaanturia. Näiden antureiden avulla se pystyy mittaamaan virtaamaa, tehoa ja lämpötilaa. Mittarissa käytetään laadukkaita komponentteja, mikä takaa hyvän mittatarkkuuden. Kaikki mittaustiedot

tallentuvat niin sanotulle dataloggerille. Tietoja voidaan lukea langattomalla internetyhteydellä tai suoraan mittarin omalta näytöltä. (15, s. 2.)



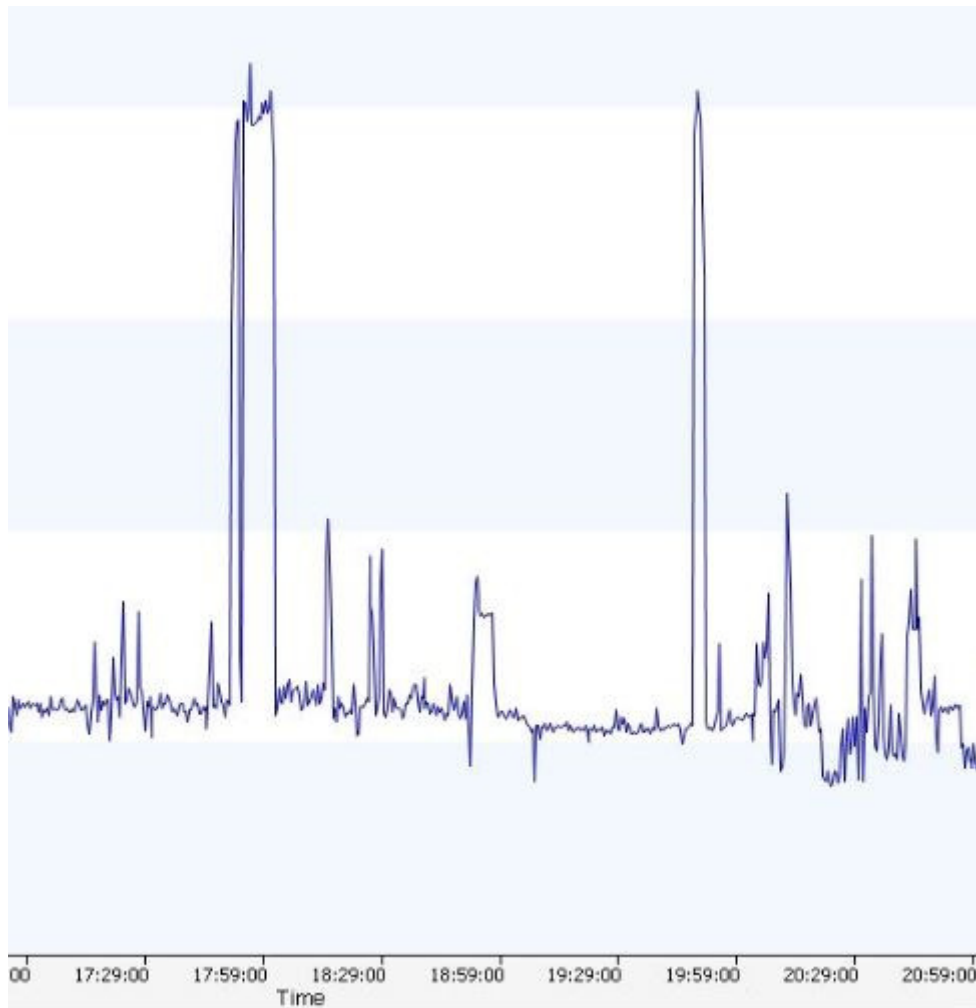
KUVA 8. Kamstrup 602 -lämpöenergialaskuri

5.2 Mittaustulokset

5.2.1 Äänimittaus

Äänimittauksella ei varsinaisesti pyritty löytämään ongelmaan ratkaisua, vaan sen tarkoitus oli ainoastaan antaa työlle suuntaa-antavaa tietoa, millaisesta äänestä on kyse. Tuloksia verrattiin lämpöenergiamittarilla saatuihin mittaustuloksiin.

Liitteestä 5 ja kuvasta 9 huomataan, että äänimittarille saatiin tallennettua tutkittu ääni noin klo 17.55–18.05 väliselle ajalle. Ääni poistui vähäksi aikaa, mutta se jälleen ilmaantui noin klo 19.45–19.50. Mittaus on suoritettu keskiäänitasomittauksena.



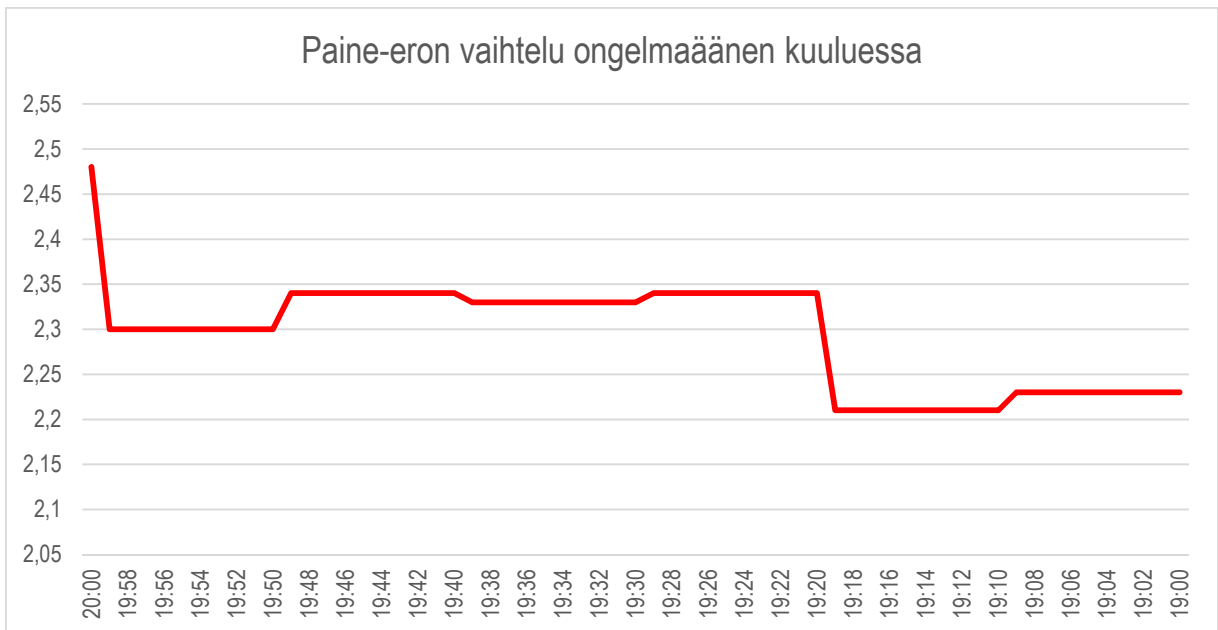
KUVA 9. Äänitasomittauksen analysointiohjelmasta nähdään kuinka äänitasot vaihtelevat ongelmäänen kuuluessa

Liitteessä 6 on kuvattu äänitasot oktaavikaistoittain ajankohtana, jolloin ongelmaaääntä ei ole kuulunut. Siitä huomataan, että matalataajuuksinen ääni on voimakkain. Lämmönjakokeskus pitää aina jonkin verran ääntä, ja tästä syystä sen sijoittamista tulee miettiä tarkkaan taloa rakennettaessa. Liitteessä 7 on kuvattu äänitasot oktaavikaistoittain ajankohtana, jolloin ääni kuului. Kuvaajaa luettaessa huomataan, että äänitasot ovat nousseet jokaisella oktaavikaistalla selkeästi. Suurin ääni syntyy kuitenkin 4 kHz:n oktaavikaistalla, mikä viittaa asiakkaiden valittamaan korkeataajuuksiseen ”vihellykseen”.

5.2.2 Lämpöenergiamittarilla tehdyt mittaukset

Kamstrup 602-mittarilla saatuja tuloksia etäluetettiin jokaisesta kohteesta. Tuloksia verrattiin asiakkaiden ilmoittamiin ääniongelman kuulumisaikoihin. Pyrkimyksenä oli löytää yhtäläisyys

ääniongelmien ja jonkin mittaustuloksen välillä. Liitteessä 3 nähdään mittaustulosten seurantaohjelmisto. Liite 3 on otettu ajankohdasta, joilloin asiakkaat ovat rekisteröineet voimakkaan ja pitkän äänen. Ääniongelma alkoi asiakkaiden mukaan noin klo 19 ja jatkui iltaan noin klo 23 saakka. Kun mittaustuloksia analysoitiin, ei löytynyt minkäänlaisia selittäviä tekijöitä, jotka olisivat voineet selkeästi vaikuttaa äänen syntymiseen.



KUVA 10. Taulukossa on kuvattu paine-eron muutosta ongelmaaänen kuuluessa

Liitteestä 4 nähdään etäluettavan lämpöenergiamittarin mittaamat tiedot, joiden perusteella ylläoleva kuvaaja on luotu.

6 TOIMENPITEET

Tutkimukset aloitettiin kiinteistöjen asukkaiden haastatteluilla, jotta saatiin kattavat tiedot ääniongelmasta; nämä tiedot kerättiin tukemaan myöhempien mittaustulosten tulkintaa ja avustamaan teorioiden vahvistamisessa. Koska ongelma oli tutkimusten kannalta haastava, eteneminen tapahtui yksi tutkimus kerrallaan poissulkien aina yksi mahdollisen äänilähde. Asiakkaiden haastatteluista koottiin seuraavat ääniongelmaa kuvaavat huomiot:

- Ääni on korkeataajuuksista ”ujellusta”.
- Mitään konkreettista kellonaikaa ääniongelmallalla ei ole.
- Äänellä ei ole mitään tiettyä kestoa, voi vaihdella minuuteista useisiin tunteihin.
- Ääni voi olla erittäin voimakasta estäen jopa nukkumisen kiinteistössä.
- Tavanomaisista ääniongelmista poiketen ääni ei ole kohinaa.

Haastattelussa asiakkaita pyydettiin pitämään kirjaa äänen kuulumisajankohdista, jotta myöhemmässä vaiheessa pystyttiin vertaamaan mittareiden antamia tuloksia asiakkaiden antamiin päivämääriin ja kellonaikoihin. Tarkoituksena oli löytää yhteys äänen syntymiseen. Tarkemmat lämpöenergiamittarit asennettiin kohdekiinteistöihin haastattelujen yhteydessä.

Seuraavaan tutkimusvaiheeseen ryhdyttiin aikaisempien ääniongelmien syiden perusteella. Useissa tapauksissa ääniongelmien syntyminen on johtunut jonkun asiakkaan omista laitteistoista, minkä seurauksena kaukolämpöverkosto on toiminut äänen ns. välittäjänä. Tämän vuoksi jokaisesta kohdeasunnosta käytiin tarkastamassa, että lämmönjakokeskuksissa kaikki niihin kuuluvat laitteet oli oikein asennettu. Säästöventtiilit on suunniteltu toimimaan virtaussuunnan mukaisesti, minkä takia väärään suuntaan kulkevan veden virtaus voi säästöventtiilissä aiheuttaa viheltävää ääntä. Toistaiseksi tuntemattomasta syystä ääni voi syntyä jossain kauempana ja kuulua vasta usean talon päässä. Tämän vuoksi laitteistot käytiin tarkastamassa yhteensä yhdeksästä talosta. (12.) Kohteesta 4 löydettiin väärinpäin kytketty lämmönsiirripaketti, jonka korjaustöiden jälkeen todettiin että ääni ei syntynyt mistään kohteessa 4 sijaitsevasta laitteista.

Tutkittaessa tarkemmin alueen korttelijohtoa ja talojohdtoa huomattiin, että kolmeen ääniongelmasta ilmoittaneeseen kohderakennukseen oli rakennettu talojohdot pienestä

runkoputkesta, jonka koko oli DN20. Oulun Energia Oy käyttää talojohdon mitoittamiseen liitteen 2 taulukkoa. Uusien omakotitalojen lämmitysergian tarve on luokkaa 10–20 kW. Kun siihen lisätään lämpimän käyttöveden tarve huomataan, että runkojohdon mitoittamisessa on sattunut virhe. (13.) Liitteestä 3 nähdään, että kohderakennuksille olisi pitänyt rakentaa DN25-kokoinen runkojohto, josta olisi voitu ottaa jokaiseen kiinteistöön omat DN20-kokoiset talojohdot. Liitteessä 3 sininen johto on aikaisempi toteutustapa, punaisella näkyy korjauksen jälkeinen putkiveto.

Virhe pääsi tapahtumaan, koska kortteli oli muutama vuosi sitten vielä rakennusvaiheessa eikä ollut varmaa tietoa minne tulevien talojen lämmönjakohuoneet rakennetaan. Myöhemmässä vaiheessa rakennettu kohde 1 sijoitti lämmönjakohuoneensa niin, että talojohdon rakentaminen kaukolämpösuunnittelijan tarkoittamalla tavalla ei ollutkaan mahdollista. Talojohdon suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehtiin virhe minkä vuoksi ei välttämättä kaikille kiinteistöille olisi riittänyt lämmintä käyttövettä. Tässä huomataan, että suunnittelutyöhön tulee kiinnittää tarkemmin huomiota, jotta jokaiselle kiinteistölle varmasti riittää huippulämmöntarpeen aikana lämpöä. Kuten aikaisemmin todettiin, ääniongelma on ilmaantunut pelkästään kesäisin eli lämmityskauden ulkopuolella.

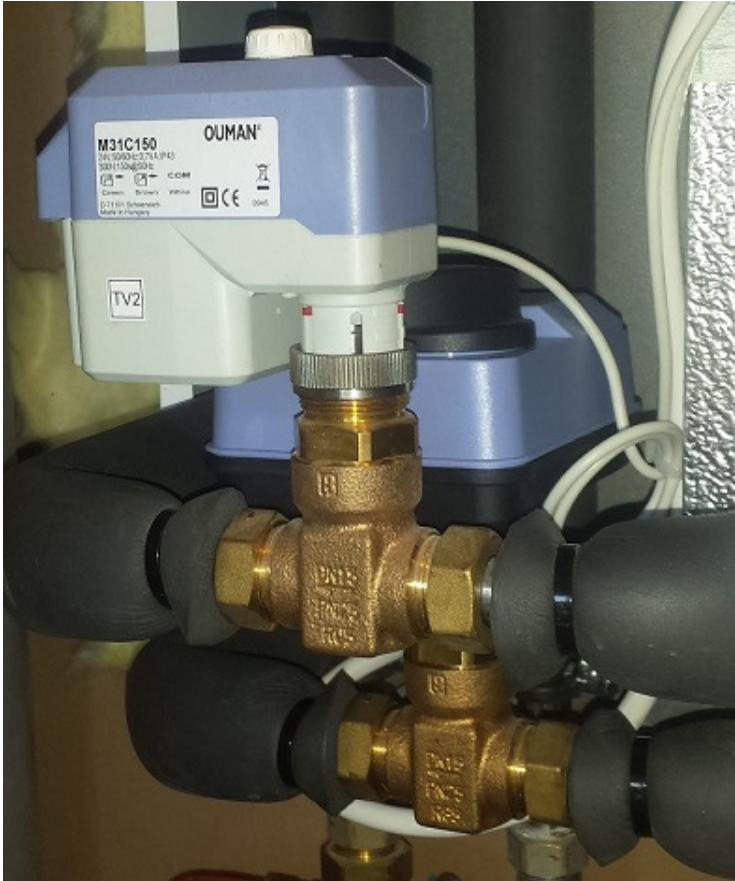
Oletus tässä vaiheessa oli, että ääniongelma voisi syntyä kesäaikana näihin kiinteistöihin, koska kesäaikana kaukolämpöverkostossa virtaavan veden lämpötila laskee merkittävästi (noin 70 °C:seen), kun se lämmityskaudella voi parhaimmillaan olla jopa 115 °C. Tämä on suoraan yhteydessä verkostossa ja asiakkaiden kiinteistöissä olevien putkien veden virtausnopeuteen. Teoria oli, että kun virtaavan veden lämpötila laskee ja vastaavasti virtausnopeus kasvaa, kun tähän yhdistetään hieman ahdas putki voi olla mahdollista, että se aiheuttaa viheltävää ääntä, mikä välittyy verkostoa ja verkostossa olevaa vettä pitkin asiakkaiden kiinteistöihin. Tämä teoria todettiin ääniongelman aiheuttajan suhteen vääräksi. Kohde 3 irrotettiin samasta runkojohdosta, ja sille otettiin lämmöt eri kautta. Muutostyöllä ei ollut minkäänlaista vaikutusta ääniongelmaan, vaan ääni jatkui kaikissa kolmessa kiinteistössä samalla tavalla. Muutostyö ei ollut kuitenkaan turha, sillä nyt kaikille asuinkiinteistöille varmasti riittää lämmintä vettä.

Jotta ongelmaaani saataisiin kuulumaan aloitettiin seuraava koe: Toppilan voimalaitokselle ilmoitettiin ongelmasta ja samalla pyydettiin nostamaan tutkimusalueella paine-eroa tavanomaisesta 1,0–2,0 bar:n paine-erosta noin 4,0 bar:n paine-eroon. Samaan aikaan kun Toppilasta alettiin nostaa paine-eroa korkeammalle, ongelmakiinteistöjen käyttöveden automaattista säätöventtiiliä ohjattiin käsiohjauksella auki-kiinni asentoon. Venttiileitä ohjattiin auki

ja kiinni 1,0–4,0 bar:n paine-eron välillä. Oletuksena oli, että ääni kuuluu, kun sille on olemassa oikeat olosuhteet eli sopiva paine-ero ja sopiva virtaama. Suurentamalla paine-eroa saatiin samalla kasvatettua putkistoissa virtaavan veden nopeutta. Näin saatiin katettua tutkimuksella laajempi alue.

Testin tarkoituksena oli saada ääni kuulumaan meidän ollessa paikalla, jotta äänen paikantaminen olisi voinut alkaa. Lukuisista yrityksistä huolimatta tämä ei onnistunut. Asiakasta pyydettiin ilmoittamaan vikapäivystykseen kun ongelmaa ääni kuuluu jotta päivystäjä voi mennä paikalle tarkastamaan tilanteen. Muutaman päivän kuluttua saatiin ilmoitus kohteesta 2, että ääni kuului jälleen ja erittäin häiritsevä. Kun paikalle päästiin pyrkimys oli paikantaa äänilähde. Paikantaminen osoittautui kuitenkin mahdottomaksi, koska lämmönjakokeskuksen vieressä seistessä ei pystynyt osoittamaan konkreettista kohtaa, mistä ääni olisi voinut syntyä. Saatiin kuitenkin mahdollisuus selvittää, kuuluuko ääni jostain ääniongelmista valittaneista kiinteistöistä vai kantautuuko se jostain muualta kaukolämpöverkosta pitkin. Kohteen 2 kaukolämmön pääsulkuventtiilit suljettiin, jolloin ääni lakkasi kokonaan. Samalla tarkastettiin, lakkasiko ääni myös kohteessa 1 ja kohteessa 3. Molemmissa kiinteistöissä ääni oli lakannut. Ääniongelman lähde paikantui siis kohteen 2 asiakaslaitteistoon. Tässä vaiheessa ei edelleenkään ollut tietoa mikä laite asiakkaan lämmönjakokeskuksessa äänen aiheuttaa.

Kohteessa 2 automaattisen säätöventtiilin edestakainen auki-kiinniasennon muuttaminen käsiohjauksella pystyttiin yhdistämään jollakin asteikolla samankaltaisen äänen syntymiseen. Ensimmäinen ja alkuperäinen säätöventtiilin runko oli k_{VS} -arvoltaan 1,0. Venttiilin ollessa auki 22 % saatiin siitä viheltävää ääntä, joka oli samankaltaista kuin häiritsevä ääni, mutta hieman eritaajuuksista ja voimakkuudeltaan pienempää. Ääntä ei kuulunut samanaikaisesti kohteissa 1 ja 3. Näiden syiden vuoksi ongelman ei katsottu aiheutuvan säätöventtiilistä. Varotoimenpiteenä kuitenkin vaihdettiin venttiilin runko uuteen samankokoiseen. Vaihdoista huolimatta ääni ei poistunut, joten päätettiin vielä kertaalleen vaihtaa kyseisen venttiilin runko. Tällä kertaa k_{VS} -arvo uudella rungolla oli 1,6. Venttiilistä ei enää saatu samanlaista ääntä kuulumaan, mutta itse ääniongelma ilmeni edelleen täysin samanlaisena jokaiseen ongelmakiinteistöön, joten automaattinen säätöventtiili poissuljettiin äänen aiheuttajien listalta. (Kuva 11)



KUVA 11. Automaattinen säätöventtiili. Ylempänä edessä lämmityspuolen automaattiventtiili ja taaempana alapuolella käyttöveden automaattinen säätöventtiili.

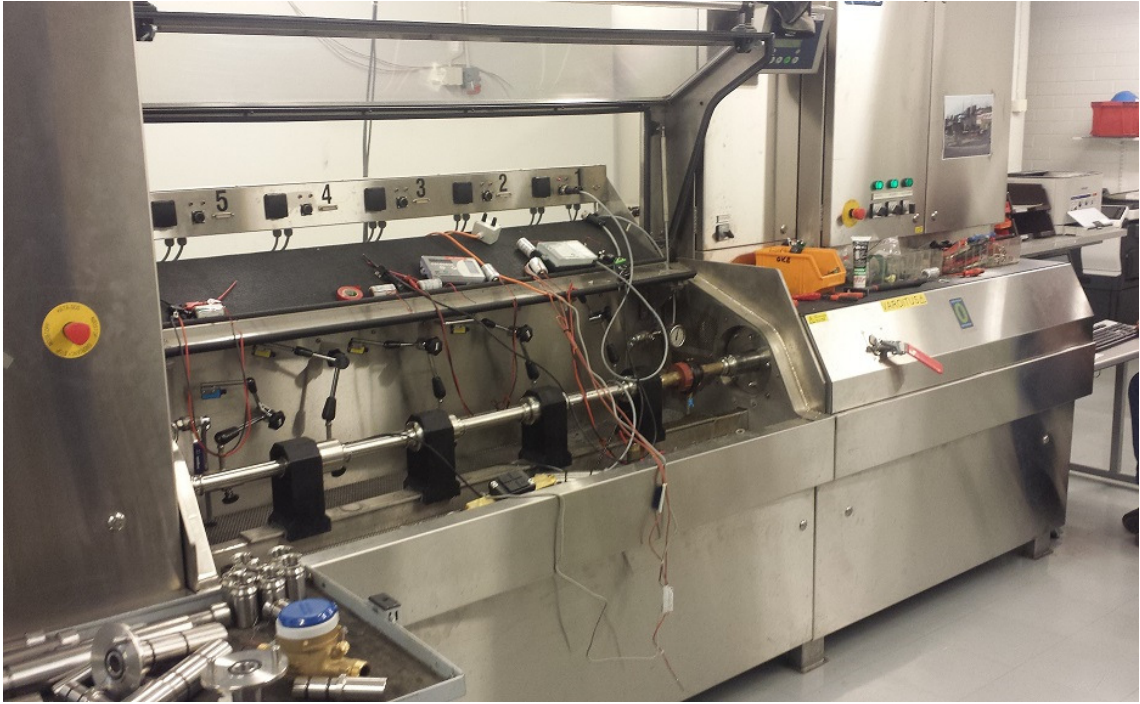
Kohde 2 on rakennettu noin viisi vuotta sitten; tähän aikaan kaukolämpö oli vasta rakennettu alueelle, jossa tutkimustöitä tehtiin. Alueella ei vielä siihen aikaan ollut paljon asuintaloja ja se oli yleisesti ottaen keskeneräinen. Tästä syystä alueelle, jossa nyt tutkimukset olivat käynnissä suositeltiin laittamaan paine-erosäädin. Paine-erosäädintä käytetään tasoittamaan suuria paine-erovaihteluja asiakkaan laitteistossa, jotta säätöventtiilit pystytään mitoittamaan oikein ja säätöventtiileillä säilyy mahdollisuus toimia oikein. Nykyään alue on kuitenkin huomattavasti valmiimpi, joten paine-erojen vaihtelut ovat myös tasoittuneet. Tästä syystä paine-erosäädintä ei enää tarvita tällä alueella. Vaihtoehdot ongelman ratkaisemiseksi alkoivat käydä vähiin, koska äänilähde ei voinut olla toisipuolella, koska ääni ei voi kulkea lämmönsiirrinten läpi. Teoriassa äänen kulkeminen siirtimen läpi ensiöpuolelle on mahdollista, mutta lämmönsiirrinten rakenteiden vuoksi kuvailtu ongelmaääni ei voi kuulua enää muissa kiinteistöissä niin voimakkaana. Edellisten perusteella paine-erosäädin päätettiin poistaa kohteesta 2.



KUVA 12. Kohteen 2 paine-erosäädin

Paine-erosäätimen poistamisen jälkeen kohteet jätettiin jälleen muutaman päivän seurantavaiheeseen, eikä muita toimenpiteitä tehty. Asiakkailta tiedusteltiin useaan otteeseen parin päivän välein, onko ongelmia esiintynyt. Jokaisella tiedustelukerralla kaikki asiakkaat ilmoittivat, että ääntä ei ole enää kuulunut.

Ääni hävisi, kun paine-erosäädin poistettiin. Asiakkaan paine-erosäädin asennettiin laboratoriossa virtausmittareiden testauslaitteistoon (kuva 13). Paine-erosäätimen läpi ajettiin usean tunnin ajan vettä eri nopeuksilla ja paineilla. Testausvaiheessa säätimestä ei kuitenkaan kuulunut minkäänlaista ääntä. Tämän epäillään johtuneen siitä, että paine-erosäätimeen ei ollut kytkettyä sen toiminnalle tärkeää kapillaariputkea. Juridisista syistä tarkempia jatkotutkimuksia ei voitu kyseiselle komponentille tehdä.



KUVA 13. Virtausmittareiden testauslaitteisto

7 HAVAINNOT

Ongelmaan perehdyttäessä ja sen tutkimusten edetessä havaittiin, että ääniongelmien syyt ovat harvoin kovin yksiselitteiset. Lämmönjakohuoneiden laitteistot ovat teknisesti sen verran laajoja, että ongelman löytämiseksi täytyy tehdä töitä. Joskus ongelmat löytyvät helposti, mutta hyvin usein niitä joudutaan hakemaan usean eri toimenpiteen ja teorian kautta. Työn edetessä kohti loppua on havaittu, että ääniongelmaa on pääasiassa kahdenlaista: korkeataajuuksista ja hyvin voimakasta ”viheltävää” ääntä kuten tämän työn tapauksessa tai matalataajuisempaa ja kohisevaa. Matalataajuinen ja kohiseva ääni on tunnistettu usean eri kaukolämpöalalla toimivan henkilön toimesta.

Muutamaa etelässä toimivaa kaukolämpöyhtiön edustajaa konsultoitiin kaukolämmössä esiintyvistä ääniongelmista. Kaikissa keskusteluissa kävi ilmi, että tällaista viheltävää ja korkeataajuuksista ääntä ei ole havaittu. Syynä voi myös olla se, että ongelma on ollut vain vähäistä tai, että eri kaupunkien kaukolämpöverkostot ovat rakenteiltaan täysin erilaisia. Matalataajuisista ja kohisevaa ääntä oli puolestaan tavattu usein.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli löytää muutamassa kaukolämmitettyssä talossa ilmenneen ääniongelman aiheuttaja. Ääni, josta asiakkaat valittivat oli heidän kuvailujen mukaan korkeataajuisista, voimakasta ja erittäin häiritsevää.

Paine-erosäätimen poistaminen johti siihen, että ääniongelmaa ei enää ole havaittu. Ääniongelma oli kuitenkin vain kesäajan ongelma. Asian selvittämisessä meni pitkälle kesän loppupuolelle asti, joten on mahdollista että ongelma vielä uusiutuu ensi vuoden kesällä. Se ei kuitenkaan vaikuta todennäköiseltä, koska sääolosuhteet paine-erosäätimen poistamisen jälkeen oli vielä usean päivän ajan erittäin kesäisen lämpimät. Lopullinen vastaus saadaan kuitenkin vasta ensi vuoden kesällä. Lopputulos on hiukan epävarma, mutta siihen ollaan joka tapauksessa tyytyväisiä.

Ääniongelman tutkiminen oli haastavaa ääniongelman epätasmaisten esiintymisajankohtien vuoksi. Tutkimukset aloitettiin aikaisempien ääniongelmiensa syiden pohjalta. Tutkimuksia tehtiin yksi kerrallaan, jotta ongelman korjaantuessa jäisi tieto siitä, missä vika loppujen lopuksi oli. Tämä vaihtoehtoja poissulkeva menetelmä toimi hyvin, mutta se on aikaa vievä. Tätä työtä kannattaa hyödyntää myöhempien samankaltaisten ääniongelmiensa selvittämiseen.

Asiakkaiden haastatteluista siirryttiin yksitellen toimenpiteestä toiseen. Mittaustuloksia verrattiin asiakkaiden antamiin ääniongelman ajankohtiin ja pyrittiin löytämään yhteys, tässä kuitenkin onnistumatta. Toimenpiteistä mikään ei tuottanut tulosta, joten tässä vaiheessa pyrittiin paikallistamaan kiinteistö, mistä ääni saa alkunsa. Lopulta saatiin ilmoitus äänestä ja paikan päälle ehdittiin tutkimaan ongelmaa. Havaittiin, että kun kohteen 2 lämmönjakohuoneessa sijaitseva sulkuventtiili suljetaan ja näin ollen virtaus pysähtyy, myös ääni loppuu kaikissa kiinteistöissä. Asia varmistettiin sulkemalla sulkuventtiilit kohteiden 1 ja 3 lämmönjakohuoneista. Ääni jatkui normaalisti. Näin ollen saatiin syy olettaa että ongelma saa alkunsa kohteen 2 lämmönjakokeskuksesta.

Mittausten ja ongelman välillä ei löytynyt mitään toisiaan selittäviä yhtäläisyyksiä, joten seuraavaksi alettiin pohtia mikä asia kohteen 2 lämmönjakokeskuksessa voi synnyttää äänen. Aikaisemmin oli jo vaihdettu varotoimenpiteenä automaattinen säätöventtiili useasti, joten vaihtoehtoja ei enää ollut montaa. Painemittareita seurattaessa oli havaittu myös, että äänen esiintyessä, paine ns. ”huojui”.

Tämä viittaa siihen, että paine-erosäädin ei toimi oikein ja tästä syystä päätettiin poistaa se kokonaan. Tämän toimenpiteen jälkeen ääni loppui.

Kehitettävää tämän aiheen selvittämisessä on vielä paljon. Kaukolämpöyhtiöillä olisi hyvä olla sellaisia menetelmiä käytettävissä, että tällaisten ongelmien ilmetessä voitaisiin välittömästi esimerkiksi joillakin mittausmenetelmillä paikantaa ääniongelman lähde. Tällaiset haittavaikutukset tuovat erittäin negatiivista mainetta kaukolämmölle. Toisaalta osa näistä ongelmista syntyy erilaisista lämmönjakokeskuksissa käytetyistä komponenteista. Näin ollen tutkimuksia pitäisi kohdistaa entistä tarkemmin laitevalmistajien valmistamiin komponentteihin.

LÄHTEET

1. Kaukolämmön käsikirja. 2006. Kaukolämpö. Helsinki: Energiateollisuus ry.
2. Muikkula, Pekka 2012. Kaukokämpöverkoston suunnittelu Saarelan kaava-alueelle. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39019/Muikkula_Pekka.pdf?sequence=1
hakupvm 31.7.2015
3. Niemi-Nikkola, Matti 2015. Paine-erosäätimen mitoitus ja paine-eron huojunta. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95583/Niemi-Nikkola%20Matti.pdf?sequence=1> Hakupvm 31.7.2015
4. Kaukolämpö 2013 graafeina. 2015. Energiateollisuus ry. Saatavissa:
http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/tilastot-ja-julkaisut/kl_kalvopakettitilastot_2013.ppt Hakupvm 31.7.2015
5. Kaukolämpötilasto 2013. 2015. Energiateollisuus ry. Saatavissa:
http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampotilasto_2013_web.pdf hakupvm. 31.7.2015
6. Oulun Energia Oy. Oulu, 2015. Voimalaitokset Saatavissa:
<https://www.ouluenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset>
Hakupvm: 26.10.2015
7. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo. Suomalainen kaukolämmitys. 2014. Oulu. Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
8. Äänityön kivijalka. 2006. Helsinki: Idemco Oy, Riffi-julkaisut
9. Karjalainen, Matti 2000. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu. Hieman akustiikkaa. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/akusem/akuintro.pdf>. Hakupvm 6.9.2015
10. Dr. Honum 2015. Waves – Sound. Saatavissa: <http://justinpotts.github.io/drhodum-website/html/waves/sound.html>. Hakupäivä 6.9.2015
11. Sutisen, Markku 2015. Myyntipäällikkö, Oulun Energia Oy. Keskustelu 15.8.2015
12. Niemi-Nikkola, Matti 2015. Oulun Energia Oy, Keskustelu 18.8.2015
13. Optimus punainen työperäisen ja altistavan äänen mittaukseen. Pietiko Oy. Turku. Saatavissa:
http://www.pietiko.fi/aanitasomittarit/esitteet/esite_aanitaso_mittari_cirrus_cr160_suomi_englanti_pietiko_web.pdf. Hakupvm 13.9.2015

14. Optimus punainen työperäisen ja altistavan äänen mittaukseen. Pietiko Oy. Turku.
Saatavissa:
http://www.pietiko.fi/aanitasomittarit/kayttoohjeet/Cirrus_optimus_aanitasomittari_kayttohje_fin_eng_pietiko.pdf. Hakupvm 13.9.2015
15. Multical 602 Heat metering with ULTRAFLOW® 54. Kamstrup A/S. Skanderborg.
Saatavissa:
<http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=518393379e2e7&display=1>
Hakupvm 13.9.2015

Date Printed 18.9.2015



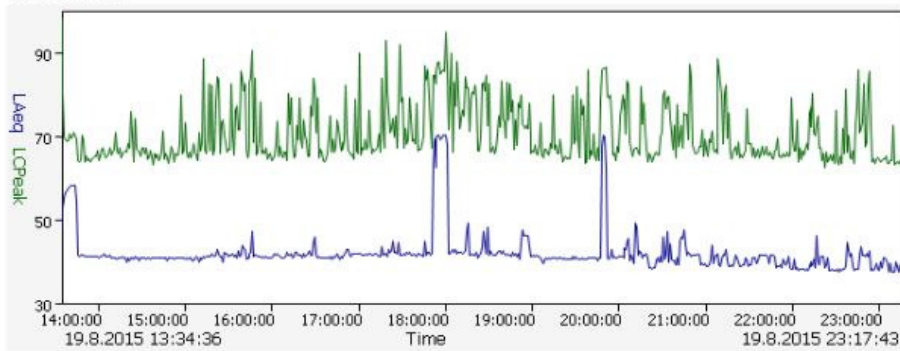
Measurement Summary Report

| | | | |
|---|--|---|---|
| Name 2 KL-ääni Time 19.8.2015 13:34:36 Duration 09:43:07 Instrument G066833, CR:161C | Summary LAeq 53,5 dB LCPeak 98,2 dB C-A 3,9 dB LEPd 54,4 dB LAFMax 76,7 dB | Projected Exposure 30 Mins 41,5 dB 1 Hour 44,5 dB 2 Hours 47,5 dB 3 Hours 49,3 dB 4 Hours 50,5 dB | Projected Exposure 5 Hours 51,5 dB 6 Hours 52,3 dB 7 Hours 53,0 dB 8 Hours 53,5 dB 10 Hours 54,5 dB 12 Hours 55,3 dB |
|---|--|---|---|

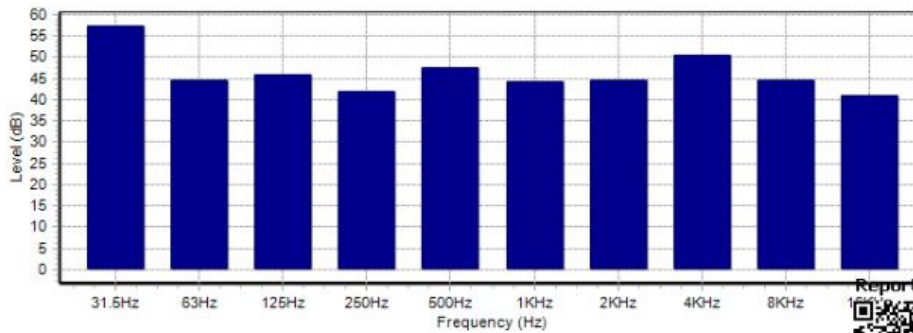
Calibration Information

No Calibration Found

Time History



Frequency Bands



Putkikoon valintataulukko

| Putkikoko DN | Runkojohto | | Korttelijohto | | Talojohto | |
|-----------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| | R=1,0 bar/km | | R=2,0 bar/km | | R=3,0 bar/km | |
| | vesivirta m ³ /h | teho MW | vesivirta m ³ /h | teho MW | vesivirta m ³ /h | teho kW |
| 20 | 0,58 | 0,033 | 0,84 | 0,048 | 1,0 | 59 |
| 25 | 1,1 | 0,062 | 1,70 | 0,093 | 2,0 | 110 |
| 32 | 2,3 | 0,13 | 3,50 | 0,19 | 4,1 | 250 |
| 40 | 3,4 | 0,19 | 4,80 | 0,27 | 6,0 | 340 |
| 50 | 6,2 | 0,35 | 9,0 | 0,51 | 11 | 630 |
| 65 | 12 | 0,69 | 18,0 | 0,99 | 22 | 1 200 |
| 80 | 19 | 1,1 | 27,0 | 1,5 | 33 | 1 900 |
| 100 | 37 | 2,1 | 52,0 | 2,9 | 63 | 3 700 |
| 125 | 64 | 3,6 | 92,0 | 5,2 | 110 | 6 400 |
| 150 | 110 | 6,1 | 150 | 8,7 | 190 | 11 000 |
| 200 | 220 | 12 | 310 | 18 | | |
| 250 | 400 | 22 | 560 | 32 | | |
| 300 | 620 | 35 | 880 | 50 | | |

