

Marko Kukkasmäki

PAINEISKUJEN VAIKUTUKSET KÄYTTÖVESIVERKOSTOSSA

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2013

PAINEISKUJEN VAIKUTUKSET KÄYTTÖVESIVERKOSTOSSA

Kukkasmäki, Marko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2013
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko
Sivumäärä: 38

Asiasanat: paine, vesijohtovesi, talousvesi

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia käyttövesiverkoston käyttäytymistä paineiskujen aikana. Lisäksi tarkoitus oli selvittää paineiskun aiheuttamia muutoksia talousveden laadussa. Opinnäytetyön tekeminen oli osa rakennetun ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymän (RYM-SHOK) sisäympäristö-tutkimusohjelmaa. Ohjelmassa on jo vuonna 2012 tehty vastaavanlaisia paineiskumittauksia, kuin tässäkin työssä tehtiin. Erona aiempiin mittauksiin, paineiskut tehtiin nyt magneettiventtiilitoimisella hanalla aiemman käsikäyttöisen hanan sijaan ja veden laadusta tehtiin lisä-analyysyjä.

Työn teoreettisessa osuudessa käsiteltiin talousveden laatua, käyttövesiverkoston suunnittelua ja käyttöönottoa, veden painetta ja käyttövesiverkoston tapahtuvia paineiskuja. Muita aiheita olivat putkien kannakointi ja putkimateriaalit. Putkimateriaaleista keskityttiin kupariin ja muoviin, koska työn mittaukset suoritettiin näissä verkostoissa. Teoreettinen osuus nojautui vahvasti ammattikirjallisuuteen.

Työn mittaukset suoritettiin teknologiatalo Sytyttimessä Raumalla. Sytytin on Living Lab -teeman mukaisesti vuonna 2011 rakennettu toimistorakennus. Sen käyttövesiverkosto on suunniteltu erityisesti tutkimuskäyttöön. Rakennuksesta löytyy linjat kuparille ja PEX:lle, sekä sinne on asennettu putkikeräimiä ja useita näytteenottohanoja.

Työn mittaukset suoritettiin yhteistyössä Oraksen, Vesi-Instituutin ja THL:n (Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos) kanssa. Sytyttimessä mitattiin paineiskujen vaimenemista eri materiaaleilla ja eri lämpötiloissa. THL puolestaan tutki paineiskujen vaikutusta talousveden mikrobiologiseen laatuun. Lisäksi selvitettiin, kannattaisiko Sytyttimeen asentaa paineenalennusventtiili korkean vesijohtopaineen vuoksi.

Työssä selvisi mittausten ja kirjallisuudenkin perusteella, että paineiskut vaimenevat PEX-verkoston kupariputkistoa nopeammin. Lisäksi kupariputkistossa tapahtuvat paineiskut ovat suurempia kuin muoviputkessa. Mitatut paineiskut olivat suurempia kupariputkiston lämminvesijohdossa kuin kylmässä vedessä. Kaksikerroksisen Sytyttimen painetaso oli toisessakin kerroksessa niin korkea, että paineenalennusventtiili olisi tarpeellinen.

EFFECTS OF WATER HAMMERS IN THE BUILDING WATER PIPELINES

Kukkasmäki, Marko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

September 2013

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 38

Keywords: pressure, tap water, potable water

The purpose of this thesis was to investigate the behavior of the water network during water hammers. In addition, the purpose was to determine the changes of water quality caused by the water hammers. This research was done as a part of the Finnish iENV-project (user-centric indoor environment). The same project had in 2012 carried out a similar water hammer measurements. In contrast to previous measurements, water hammers were now executed by automatic faucet instead of the manual tap.

The topics discussed in the theoretical part of the thesis include the issues of the drinking water quality, water network design and implementation, water pressure and water hammers occurring in the network. Other topics were the pipe supports and pipe materials. On pipe materials section was focused on copper and plastic, because the measurements were carried out on those networks. The theoretical contribution was based on a strong professional literature.

Measurements were performed at technology house Sytytin at Rauma. Living Lab is the theme of the office building built in 2011. The water network is specifically designed for research purposes. Copper and PEX-plastic lines are found in the building, and there are installed pipe collectors and multiple taps for samples.

Measurements were carried out in cooperation with Oras, Vesi-Instituutti and THL. At Sytytin the pressure was measured in different materials and at different temperatures. THL examined the impact of the water hammers to water's microbiological quality. In addition, in thesis examined the necessity of installing a pressure reducing valve to Sytytin because of the high water pressure in the building.

It was found out during measurements and by literature, that water hammers muffle more in PEX-plastic system than in copper piping. Also water hammers in copper pipes are larger than in the plastic tube. The measured water hammers in copper pipes were larger in hot water pipe than in the cold water. The two-storied Sytytin had so high pressure level even in the second floor that the pressure reducing valve would be required.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KIINTEISTÖJEN KÄYTTÖVESIVERKOSTOT.....	6
2.1	Veden laatu	6
2.2	Verkoston suunnittelu	7
2.3	Verkoston käyttöönotto.....	9
2.4	Putkimateriaalit.....	10
2.4.1	Kupari	10
2.4.2	PEX	11
2.5	Kannakointi.....	12
2.6	Veden paine	14
2.7	Verkoston paineiskut	15
3	TEKNOLOGIATALO SYTYTIN	17
3.1	Living Lab.....	17
3.2	Käyttövesiverkosto	17
3.3	Sytyttimen käyttövesi.....	18
4	MITTAUSJÄRJESTELYT	19
4.1	Mittalaitteisto	19
4.2	Painetason mittaus	21
4.3	Paineiskujen vaimeneminen.....	21
4.4	Johtokyvyn mittaus	23
4.5	Laatumittaukset.....	24
5	MITTAUSTULOKSET.....	26
5.1	Sytyttimen yläkerran painetaso.....	26
5.2	Paineiskut.....	27
5.2.1	Paineiskut PEX-verkostossa.....	27
5.2.2	Paineiskut kupariverkostossa.....	30
5.2.3	Yhteenvedo paineiskuista ja sähkönjohtokyky	33
5.3	Veden mikrobiologinen laatu.....	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	35
	LÄHTEET.....	37

1 JOHDANTO

Terveydensuojelulain (763/1994, 5. luku) mukaan talousvedellä tarkoitetaan ”1) kaikkea vettä, joka on tarkoitettu juomavedeksi, ruoan valmistukseen tai muihin kotitaloustarkoituksiin riippumatta siitä, toimitetaanko vesi jakeluverkon kautta, tankeissa, pulloissa tai säiliöissä; sekä 2) kaikkea vettä, jota elintarvikealan yrityksissä käytetään elintarvikkeiden valmistukseen, jalostukseen, säilytykseen ja markkinoille saattamiseen”. Talousvesi ei saa aiheuttaa terveydellistä haittaa eikä syöpymistä tai haitallisten saostumien muodostumista verkostossa. Talousvedestä käytetään usein myös nimitystä käyttövesi. (Keinänen-Toivola, Ahonen & Kaunisto 2007, 11–12.)

Suomessa vuonna 2001 toimitetun talousveden jakelupiirissä oli 90 % väestöstä. Suomen vesilaitokset käyttävät talousveden valmistuksessa pinta-, pohja- ja tekopohjavesiä. Suurimmat laitokset käyttävät lähinnä pintavesiä. Vesilaitosten toimittama talousvesi on Suomessa hygieenisesti korkealaatuista. Talousveden laatuun vaikuttavat monet tekijät, kuten raakavesi, käsittelytekniikka, verkosto ja käyttötapa. Pintavedet sisältävät yleensä vähän suoloja, mutta ne ovat erittäin humuspitoisia. Pintavedet käsitelläänkin aina laitoksella ennen vesijohtoverkoston toimittamista. Talousveden laatu voi olla heikentynyt kuluttajalle saapuessaan, vaikka se laitokselta lähtiessään olisikin moitteetonta. Tämä johtuu yleensä verkostossa tapahtuvasta korroosiosta, biofilmien muodostumisesta tai putken materiaaleista liukenevista aineista. (Keinänen-Toivola ym. 2007, 11.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia paineiskujen vaikutuksia ja käyttäytymistä käyttövesiverkostossa. Tutkimuksen kohteina ovat paineiskujen vaimeneminen verkostossa, paineiskujen tekemät muutokset juomaveden laadussa ja putkiston kannakoinnit. Työn mittaukset on suoritettu Raumalla sijaitsevassa teknologiatalo Sytyttimessä ja sen Living Lab -periaatteiden mukaan suunnitellussa käyttövesiverkostossa. Sytyttimessä on tutkimuskäyttöön soveltuvat täyden mittakaavan verkostot sekä kylmälle että lämpimälle vedelle. Verkostot on toteutettu rakennuksen eri osiin eri materiaaleilla. Puolet rakennuksesta käyttää kupariputkea käyttöveden kuljettamiseen vesikalusteille, kun taas toisella puolella on käytössä PEX-putkisto. Tästä syystä työssä kä-

sitellään vain näitä kahta putkimateriaalia. Lisäksi verkostossa on näytteenottohanoja, putkikeräimiä ja ylimääräisiä vesimittareita (Prizztech 2013).

Teknologiatalo Sytyttimeen tulee vesi Rauman Vedeltä. Työssä mitataan paineiskujen lisäksi myös Rauman vesijohtoverkostosta tuleva painetaso Sytyttimen ylimmissä vesipisteissä, koska rakennuksen käyttäjiltä on tullut valituksia liian korkeasta painetasosta johtuvasta melusta. Mittauksen tulosten perusteella selviää, voidaanko rakennukseen asentaa paineenalennusventtiili. Paineiskujen vaikutusta käyttöveden laatuun tutkii Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Paineiskujen mittaukset suoritetaan Sytyttimessä ja THL ottaa samaan aikaan näytteet ja analysoi ne myöhemmin laboratoriossa. Ainoa työssä käsitelty omatoiminen laatumittaus tulos liittyy johtokyyntiin.

Opinnäytetyö on suoraa jatkoa Sytyttimessä joulukuussa 2012 tehdyille paineiskumittauksille. Paineiskuja käsitteleviä mittauksia tehtiin silloin yhteistyössä Oraksen, Vesi-Instituutin ja THL:n kesken. Erona aikaisempiin mittauksiin nyt tarkoitus on toteuttaa paineiskut käsikäyttöisen hanan sijaan magneettiventtiilillä aukeavalla ja sulkeutuvalla hanalla. Lisäksi veden laatua tutkittiin monipuolisemmin. Näin paineiskut ovat vertailukelpoisempia keskenään, kun inhimillinen muuttuja on poistettu paineiskun aiheuttavasta hanan sulkemisesta. Aiemmat mittaukset ja tämäkin opinnäytetyö on osa rakennetun ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymän (RYM-SHOK) sisäympäristö-tutkimusohjelmaa. RYM-SHOKin päätavoitteena on synnyttää soveltavan tutkimuksen ja kansainvälisen verkoston kautta Suomeen kansainvälistä kärkeä olevaa osaamista, palveluita ja tuotteita. (RYM OY 2013.)

2 KIINTEISTÖJEN KÄYTTÖVESIVERKOSTOT

2.1 Veden laatu

Käyttöveden laadun perustana on vesilaitosten käyttämän raakaveden laatu. Raakavedenä Suomessa käytetään pinta- ja pohjavesiä. Pintavesissä esiintyy humusta, josta suurin osa kuitenkin poistuu vesilaitosten prosesseissa. Pohjavesiä taas voidaan joh-

taa jakeluverkostoon sellaisenaan. Suomen käyttövesi on Keski-Eurooppaan nähden hapanta ja pehmeää. Veden laatuun vaikuttavat myös verkoston olosuhteet, kuten virtaus, viipymä ja paineiskut. Edellä mainitut verkosto-olosuhteet lisäävät metallisen putkiston korroosiota ja mikrobipopulaatiota sekä vaikuttavat materiaalien kuntoon ja kerrostumien irtoamiseen putken pinnoilta veteen. Metallien korrosio on kemiallinen prosessi, jossa metalli hapettuu. Mikrobikerääntymää putken sisäpinnassa kutsutaan biofilmiksi. Aineita talousveteen voi irrota putkimateriaalista itsestään tai putken valmistuksen yhteydessä siihen on jäänyt kemikaalien jäämiä. Verkoston ulkopuoliset olosuhteet ja virheellinen asennustapakin saattavat vaikuttaa laitteiston kestoikään sekä talousveden laatuun. Olosuhteet putkistossa voivat vaihdella huomattavasti vuodenaikojen mukaan tai jopa vuorokauden sisälläkin. (Kekki, Keinänen-Toivola, Kaunisto & Luntamo 2007, 19.)

Materiaaleista irtoavat aineet voivat muuttaa suoraan veden laatua. Irtoavat aineet lisäävät mikrobien kehittymistä putken sisäpintojen biofilmeissä. Mikrobit ja korrosio heikentävät veden laatua ja vaurioittavat laitteistoa. Lämpötilalla on suuri merkitys korroosiossa ja mikrobipopulaatioissa. Pintavesilaitosten veden lämpötila vaihtelee huomattavasti, kun taas pohjaveden lämpötila pysyy lähes vakiona vuoden ympäri. Veden lämpötila voi nousta kiinteistössä vielä haitallisesti esimerkiksi puutteellisen eristyksen vuoksi. (Kekki ym. 2007, 20.)

Aineiden välisessä vuorovaikutuksessa pinta-aloilla on suuri merkitys. Veden kanssa tekemisissä olevista aineista putkimateriaalilla on suurin kosketuspinta-ala ja tiivisteillä pienin. Pienessä putkessa olosuhteiden muuttuminen on nopeampaa ja voimakkaampaa, kun taas suuressa putkessa virtaus, laatu ja lämpötila pysyvät tasaisempina. Talusvesiverkostossa asiat vaikuttavat toisiinsa monilla eri tavoilla ja yhden pienen olosuhteen muuttuminen saattaa vaikuttaa verkostoon huomattavasti. (Kekki ym. 2007, 20–21.)

2.2 Verkoston suunnittelu

Rakennuksen käyttövedestä ei saa aiheutua haittaa terveydelle tai muuta vaaraa. Käyttöveden täytyy täyttää talousvedelle asetetut vaatimukset. Vettä on myös tultava

riittävästi käyttötarkoitukseen nähden kiinteistön vesikalusteista. Suunnitellun vesilaitteiston tulee olla riittävän kestävä ja sitä tulee voida käyttää ilman tapaturman tai terveusriskin vaaraa. (Suomen RakMK D1 2007, 6.)

Vesilaitteistoon ei voida yleensä kytkeä laitteita, jotka muuttavat veden laatua. Sallittuja vedenkäsittelylaitteita ovat esimerkiksi pesukoneiden vedenpehmennyssuodattimet tai kiinteiden aineiden suodattimet. Nämä kytketään mahdollisimman lähelle käyttöpistettä. Vesilaitteisto on suunniteltava sellaiseksi, ettei putkistomateriaaleista irtoa veteen haitallisia aineita. Veden on säilytettävä jatkuvasti laatuvaatimuksensa. (Suomen RakMK D1 2007, 6–7.)

Vesijohtovesi ei saa imeytyä takaisin eikä ulkopuoliset aineet saa päästä sisään putkistoon aiheuttaen saastumisvaaran. Yleisin takaisinimusuojaustapa on käyttää ilmapäilyä. Muita tapoja ovat tyhjäventtiili, yksisuuntaventtiili ja vaihdinjuoksuputki. Putkistossa myöskään kylmä ja lämmin vesi eivät saa sekoittua keskenään. Vesikalusteella sekoittuminen estetään asentamalla yksisuuntaventtiilit kytkentäjohtoihin. (Suomen RakMK D1 2007, 7–8.)

Kylmävesijohdossa veden lämpötila ei saa nousta yli 20 °C:een ja yli 30 °C:n tiloissa kylmävesijohdot on lämmöneristettävä. Kylmävesijohdot kosteudeneristetään, jos johdon pintaan tiivistyvä kosteus saattaa olla haitallista tilalle. Lämpimän veden lämpötila putkistossa pitää olla vähintään 55 °C lukuun ottamatta odotusajan johtosuuksia. Vedenlämmittinlaitteistot ja jatkuvakiertoiset lämpimän veden putkiosuudet lämmöneristetään. Henkilökohtaiseen pesuun tarkoitettu kalusteesta ei saa tulla yli 65 °C vettä. Lämminvesijärjestelmä on suunniteltava sellaiseksi, että lämminvesikalusteista saadaan sopivan lämpöistä vettä ilman haitallisia odotusaikoja. (Suomen RakMK D1 2007, 8–10.)

Putkiston kannakointi on suunniteltava siten, että se kestää putkiston lämpölaajenemisen eikä virtauksen aiheuttamat voimat aiheuta haittaa. Vesilaitteiston on oltava tiivis. Laitteiston on kestävä ja oltava toimintakuntoinen sen suunnitellun käyttöajan ajan. Huolto- ja korjaustöitä varten putkisto on varustettava sulkumahdollisuuksilla. Sulkuventtiilit pitää asentaa vähintään tonttivesijohtoon, vesimittareiden molemmin puolin, pystyjakojohtoihin, jakojohdossa olevien laitteiden molemmin

puolin, talo- ja huoneistokohtaisesti sekä ennen kytkentäjohtoon liitettyä laitetta, esimerkiksi wc, jonka korjauksia voidaan suorittaa aiheuttamatta haittaa muulle laitteiston toiminnalle. Sulkuventtiilit eivät saa aiheuttaa haitallisia paineiskuja. Nopeasti sulkeutuva sulkuventtiili saa olla enintään kokoa DN 50, suurempien venttiilien tulee olla hitaasti sulkeutuvia. Vesilaitteistoon on asennettava vähintään seuraavat mittauslaitteet: vesimittarin tai paineenalennusventtiilin jälkeinen painemittari, vedenlämmittimestä lähtevän sekoitetun lämpimän käyttöveden johdon ja lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpömittarit paluuv veden lämpötilan mittaamiseksi sekä kiertojohdon virtaaman mittaamiseksi kertosäätöventtiilit. Vesijohto, jota ei käytetä kylmänä vuodenaikana, on voitava myös tyhjentää helposti jäätyksen estämiseksi. Mahdollinen paineenkorotusasema on suunniteltava niin, että siitä ei aiheudu häiritsevää painenvaihtelua, ylipainetta tai ääntä. Tämä onnistuu ohjaamalla ulostulopainetta säätölaitteilla ja purkamalla ylipaineet varolaitteilla. (Suomen RakMK D1 2007, 13–16.)

2.3 Verkoston käyttöönotto

Vesilaitteiston tiiviys varmistetaan painekokeella ennen käyttöönottoa. Painekokeessa putkisto täytetään vedellä alimmasta kohdasta aloittaen, niin ettei verkostoon jää ilmaa. Painekokeen aikana vesijohdot liitoksineen ovat vielä näkyvissä ja niiden tulee osoittautua toimiviksi. Koepaine on tavallisesti 1000 kPa alimmassa pisteessä ja koeaika vähintään 10 minuuttia. Jos verkostossa on muoviputkea, koeaika on 30 minuuttia ja tarvittaessa lisätään vettä, koska muoviputki laajenee paineen kasvaessa. Tämän jälkeen paine lasketaan noin puoleen ja tarkkaillaan 90 minuuttia. Laitteisto on todettu tiiviiksi paineen noustessa vakiotasolle tarkkailuaikana. (Suomen RakMK D1 2007, 16.)

Ennen käyttöönottoa putkisto myös huuhdellaan talousvedellä. Huuhtelulla poistetaan verkostosta lika ja irtoaines. Lisäksi se parantaa kupariputken sisäpintaan syntyvän suojakerroksen muodostumista. Huuhtelu suoritetaan voimakkaalla virtauksella koko putkistossa linja tai osa kerrallaan. Lämmin- ja kylmävesijohdot sekä kiertojohto huuhdellaan erikseen. Poresuuttimet poistetaan ja kiertojohdon säätöventtiilit avataan täysin auki huuhtelun ajaksi. Huuhtelu aloitetaan kauimmaisesta vesipisteestä

alkaen ja edetään virtaussuuntaa vastaan. Vesipisteet avataan täysin auki ja jokaiselta vesikalusteelta juoksetetaan vettä vähintään 2 minuuttia ennen seuraavan avaamista. Kun jokaisesta ottopisteestä on juoksetettu vettä 2 minuuttia, suljetaan hanat päinvas-
taisessa järjestyksessä. Virtausnopeuden tulisi kaikissa putkiosissa olla vähintään 0,5 m/s. Terveydelle haitallisten aineiden vaikutukselle mahdollisesti altistuneet laitteis-
tot on ennen käyttöönottoa puhdistettava ja desinfioitava. Laitteiston paine ja virtaa-
mat on todettava suunnitelmien mukaisiksi ennen käyttöönottoa. Lämpimän käyttö-
veden lämpötila on säädettävä kohdalleen ennen rakennuksen käyttöönottoa. Lopuksi
käyttöönoton yhteydessä tehdyistä toimenpiteistä on liitettävä selvitys rakennustyön
tarkastusasiakirjaan. (Suomen RakMK D1 2007, 16–17.)

2.4 Putkimateriaalit

Yleisimmin vesijohtoverkostossa käytetyt materiaalit ovat kupari, teräs ja erilaiset
muovit. Erilaisia muovivaihtoehtoja ovat PE-, PEX-, PP- ja monikerrospotket. (Suom-
en RakMK D1 2007, 44.) Opinnäytetyön kannalta oleellisia ovat kupari- ja PEX-
putket, joten seuraavaksi käsitellään niitä tarkemmin.

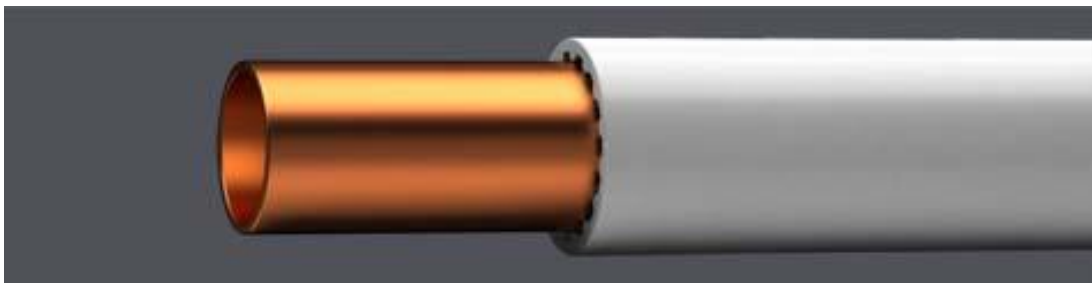
2.4.1 Kupari

Kuparia on käytetty yleisesti materiaalina LVI-järjestelmissä ympäri maailmaa jo
noin sadan vuoden ajan. Pitkän käytön ansiosta kupari on muita materiaaleja parem-
min ja tarkemmin tutkittu, mikä tekee siitä turvallisen ja luotettavan käyttöä. Kupari-
putki kestää erilaisissa olosuhteissa ja käyttötarkoituksissa, eikä se vanhetessaan me-
netä hyviä ominaisuuksiaan. Sitä käytetään muun muassa kylmiin ja lämpimiin käyt-
töveden putkistoihin. Kuparin käyttölämpötila-alue on -200 ... +500 °C. (Kupa-
ri.com www-sivut 2013.)

Kupari ehkäisee bakteerien kasvua, minkä ansiosta vesi säilyy hyvänlaatuisena vesi-
johdoissa. Kupari on kierrätettävä materiaali ja nykyään suuri osa kupariputkista
valmistetaan kierrätysmateriaaleista. Kupariputkia on helppo käsitellä ja asentaa.
Putket hehkutetaan valmistuksen yhteydessä. Tämä helpottaa kovien putkien taivut-
tamista huomattavasti. Putken sisäpinnan käsittely parantaa kuparin passivoitumista

vesiverkostossa. Käsitelty sisäpinta nopeuttaa suojaavan oksidikerroksen syntymistä ja tekee siitä tasaisemman. (Laksola 2007, 83.)

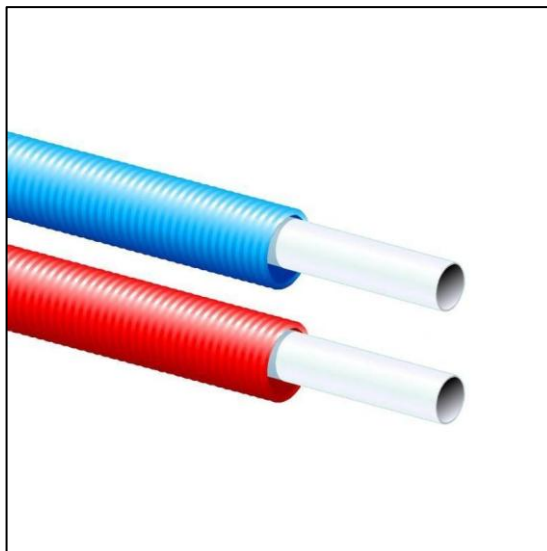
Kupariputkia valmistetaan erikokoisia ja -näköisiä vaihtoehtoja. Kovat, vedetyt kupariputket sopivat sekä pinta-asennuksiin että piiloon jääviin asennuksiin. Pehmeäksi hehkutetut kieppiputket on tarkoitettu erityisesti rakenteiden sisäisiin putkituksiin. Märkätilojen pinta-asennuksiin soveltuvat kromiset kupariputket. Muovipinnoitetut kupariputket (Kuva 1) sopivat rakenteiden sisään asennettaviin putkistoihin tai kohteisiin, joissa verkosto pitää suojata ulkopuoliselta kosteudelta. (Laksola 2007, 83–84.)



Kuva 1. Cupori 141 (Fincu) (Cupori 2013)

2.4.2 PEX

PEX-putket (Kuva 2) valmistetaan polyeteenimuovista, joka ristosilloitetaan. Näin polyeteenin pitkien molekyyliketjujen välille muodostuu erittäin vahva kemiallinen verkko. Nimen alku tulee polyeteenin lyhenteestä PE ja X tarkoittaa ristosilloitusta. Putkella on terminen muisti, joten epäonnistunut taivutus voidaan korjata kuumailmapistoolilla. PEX-putket on asennettava rakenteiden sisään suojaputkessa, jolloin vuotovesi ohjautuu rakenteiden ulkopuolelle. Muoviputkissa ei esiinny korroosiovaurioita eikä sakkaantumista. Ne sietävät nesteen korkeita virtausnopeuksia, vaimentamisen samalla virtauksesta syntyviä ääniä ja paineiskuja. Painehäviö on PEX-putkistossa vähäistä. Muoviputket kestävät hyvin myös pH-arvojen vaihtelua. (Uponor 2013.)



Kuva 2. PEX-putkia suojaputkissaan (Vallilan Rauta 2013)

Muovista vesijohtoa on käytetty kylmän veden kuljettamiseen jo 1970-luvulta lähtien. Putkimateriaalina muovi on sileää ja hyvin lämmönvaihtelua sekä kemikaaleja sietävä aine. Muoviputkesta ei irtoa maku- tai hajuhaittoja, vaan vesi pysyy raikkaana ja puhtaana. (Laksola 2007, 84–85.)

2.5 Kannakointi

Putket kiinnitetään rakennuksen pintoihin tukevasti ja siististi kannakkeilla. Ne voivat olla yksittäisiä kannakkeita tai erilaisia kannakejärjestelmiä. Niiden avulla pystytään säätämään myös jo asennettujen putkien korkeusasemia. Kannakkeet tulee asentaa riittävän massiivisiin rakenteisiin. Äänen eteneminen putkesta rakenteiden kautta muualle rakennukseen estetään kannakkeen ja putken väliin jäävällä ääneneristyskumilla. Tällä pyritään asumisviihtyvyyden lisäämiseen ja vähennetään meluhaittoja. Eri metallien väliin asennetaan kumi- tai muovieriste. Veden kondensoitua kylmän kupariputken pintaan, ilman kumieristettä oleva sinkitty kannake syöpyisi epäjalompana. Eristetyt putket tulee kannakoida putkesta, ei eristyksen pinnalta. (LVI 12-10370, 2–5.)

Kannakkeet valitaan putken, kannatustavan ja tilan olosuhteiden mukaan. Kannatus-
tapoja ovat esimerkiksi kiintopiste ja liukukannake. Olosuhteita voivat taas olla palosuojaus tai kosteus. Paloneristettyjen putkien kannakkeiden tulee myös olla palon-

kestäviä. Kannakkeet ovat yleensä sinkittyä terästä tai muovia. Kuparia, ruostumattonta tai haponkestävää terästä voidaan myös käyttää kannakkeena, jos olosuhteet ovat syövyttävät. Samat kannakkeet soveltuvat useimmiten muovi-, kupari- ja teräsputkille. Kannakoinnin tulee kestää putken, putkistovarusteiden, nesteen ja eristeiden paino. Putkien lämpölaajeneminen ja nesteen virtaukset aiheuttavat myös rasiutusta kannatuksille. Nesteen virtauksen äkillinen pysähtyminen, kuten esimerkiksi pesukoneen magneettiventtiilin sulkeutuessa tapahtuu, saattaa aiheuttaa putkistossa haitallisen paineiskun. Paineiskut aiheuttavat kannakkeille myös äänitekniisiä vaatimuksia. Kannakoinnin päätarkoituksena on säilyttää putkien keskinäiset etäisyydet, pitää putkisto vaakatasossa sekä estää putkien sivuttaisliikkeet. Kannakoinnissa eri järjestelmien putket ja kanavat asennetaan yhteiseen kannatusjärjestelmään. (LVI 12-10370, 2–5.)

Putket kannakoidaan seinään tai kattoon aina tilanteen mukaan. Kattokannakoinnin yleisimmät kannaketyypit ovat kierretanko-, vanne- ja yhteiskannakkeet. Pitkissä putkinousuissa putkiston painon on kohdistuttava kannakkeeseen eikä putkien liitoskohtiin. Pystyjohdoissa on oltava joka kerroksessa vähintään yksi kannake välipohjan läpiviennin lisäksi. Pitkissä linjoissa, varsinkin pystynousuissa, asennetaan putken keskelle kiintopiste, jolloin lämpölaajeneminen tapahtuu tasaisesti kannakkeen kummallakin puolella. Kiintopisteinä käytettävät kannakkeet on oltava sellaisia materiaaliltaan ja muodoltaan, että ne kestävät niihin kohdistuvat rasitukset. Kiintopisteet asennetaan kestäviin rakenteisiin. (LVI 12-10370 2004, 2–6.)

Lämpöliike on runsasta kupari- ja muoviputkissa. Jokaisen kulman läheisyydessä pitää olla kannake, mutta sitä ei voi kuitenkaan asentaa aivan kulmaan. Kulmiin ja haaroihin täytyy olla matkaa kannakkeelta noin 50 cm. Kahden eri materiaalin liitoskohdan molemmin puolin asennetaan kiintopisteet. Kannakoinnissa ankkurointi ja tuenta tehdään niin, että putkistolla on varaa lämpölaajeta. Paisuntakaaria käytetään yleensä pitkissä kuparijohdoissa. Taivutussäteen pitää olla vähintään neljä kertaa putken ulkohalkaisijan kokoinen. Paisuntakaaret voidaan myös tehdä kapillaariosista. Ahtaissa tiloissa voidaan käyttää paljetasaimia vastaanottamaan lämpölaajenemista. Tasaimen molemmille puolille tulee sivuttaisliikkeen estävä kiinnitys. Paljetasain hoitaa kiintopisteiden välisen lämpöliikkeen. Muoviset putket asennetaan aaltomaisesti pienille mutkille, näin putkisto kestää paremmin lämpöliikettä. Muoviputken

päihin asennetaan kiintopisteet, jotka kohdistavat lämpölaajenemisen putkeen eikä liitoksiin. (Harju 2006, 71–73.)

2.6 Veden paine

Käyttövesiverkoston tulee kestää sisäistä ylipainetta vähintään 1000 kPa eli 10 baa-ria. Vesijohtoveden lämpiämisestä johtuvaa paineen kohoamista verkostossa tulee rajoittaa. Lämpimän käyttöveden valmistuslaitteiston yhteyteen asennetaan varoventtiili, jonka avautumispaineeksi valitaan 1000 kPa. Vesilaitteiston pitää olla sellainen, että vesikalusteilta saadaan riittävä virtaama ilman häiritsevää melua tai haitallisia paineiskuja. (Suomen RakMK D1 2007, 12.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman D1 liitteessä 2 määrätään vesilaitteisto mitoitettavaksi siten, että vesikalusteesta saadaan riittävä ja tasainen virtaama, laitteistosta aiheutuva äänitaso ei ylitä rakentamismääräyskokoelman mukaisia äänitasoja eikä laitteistossa esiinny haitallisia paineiskuja. Verkoston paineen ollessa yli 500 kPa päävesimittarin jälkeen, on silloin käytettävä paineenalennusventtiiliä. Tarvittaessa voidaan käyttää myös huoneistokohtaisia paineenalennusventtiileitä. Päävesimittarin jälkeisen paineen ollessa alle 500 kPa, mutta kuitenkin yli 350 kPa, on mahdollista käyttää paineenalennusventtiiliä. Venttiilin käyttö kyseisessä tilanteessa määritetään aina rakennuskohtaisesti. Painetason ollessa alhainen käytetään paineenkorotuslaitteistoa. (Suomen RakMK D1 2007, 34.)

Kunnallisen vesijohtoverkoston mahdolliset painetilän muutokset edellyttävät, että myös rakennuksen sisäistä painetasoa voidaan tarvittaessa muuttaa. Sääto toteutetaan itsesäätävällä paineentasausventtiilillä. Oikea painetaso on tärkeä, sillä liian suuri virtaama aiheuttaa putkistossa korroosiota, melua, edesauttaa paineiskujen syntymistä ja irrottaa aineita seinämistä aiheuttaen tukoksia. Uusien asuntojen käyttövesiverkostot suunnitellaan siten, että hanoista saadaan halutut vesivirtaamat: pesuallas 6 l/min, suihku ja keittiö 12 l/min. Verkoston vedenpaineen ollessa kaksinkertainen, kalusteelta tulee n. 35 % liian suuri virtaama. Nykyaikaisten yksiotehanojen painehäviö on 130–190 kPa, kun taas vanhempien kaksiotehanojen painehäviö oli 50–80 kPa. Uusien hanojen poresuuttimet lisäävät vesivirtaan ilmakuplia. Näin pienempi

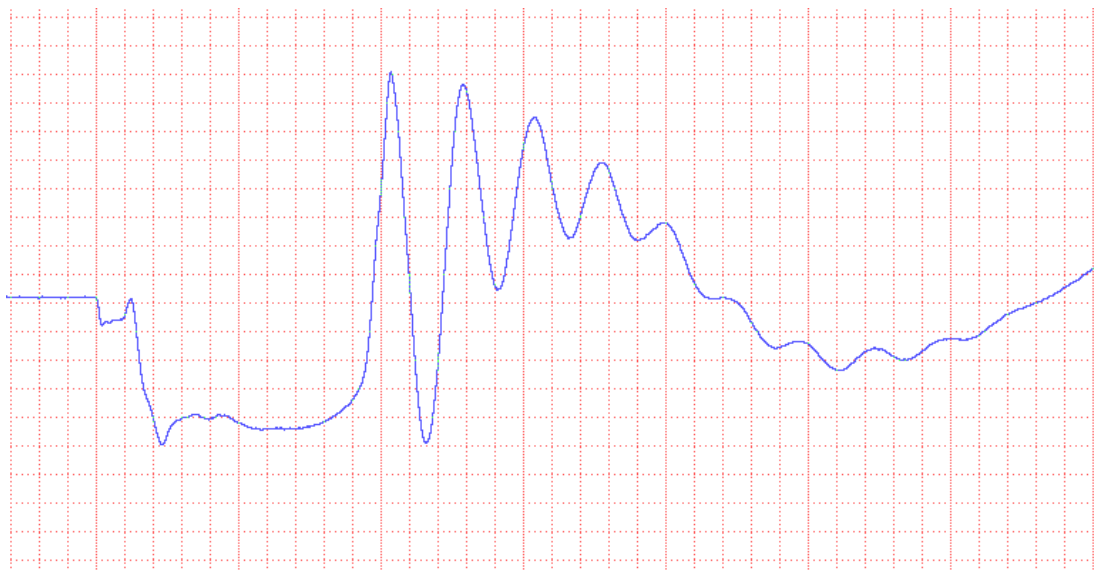
vesivirta saadaan tuntumaan runsammaalta ja pehmeältä suuremmasta painehäviöstä huolimatta. (Harju 2006, 33–35.)

2.7 Verkoston paineiskut

Putkistossa, jossa kulkee nestettä, virtauksen voimakkuuden muutos voi saada aikaan paineiskun. Kyseisessä tilanteessa nesteen liike-energia muuttuu paineeksi. Muutoksessa syntyneet häiriöt kulkevat putkiston läpi nopeudella, joka riippuu nesteen ja putken ominaisuuksista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1986, 7.)

Paineiskun voi saada aikaan esimerkiksi venttiilin äkillinen sulkeminen. Isku saattaa vahingoittaa huomattavasti putkistoa, pumppuja, venttiileitä sekä putkien kannakointeja. Lyhyille putkiosuuksille paineiskut eivät ole yhtä vahingollisia kuin pitkille, koska kuormitus on lyhytaikainen johtuen paineaallon suuresta etenemisnopeudesta. Paineiskut nesteessä ovat verrattavissa iskuaaltojen etenemiselle kiinteässä aineessa. Suurin ero on, että nesteet eivät kestä vetojännitystä, vaan nestepatsas katkeaa. (Ikonen 1985, 43.)

Kuvassa 3 vesihanauksen nopea sulkeutuminen aiheuttaa paineiskun. Painetaso on ensin vakio, kun virtausta ei ole. Hanauksen avautuessa paine laskee. Hanauksen sulkeutuessa virtaus pysähtyy nopeasti ja aiheuttaa verkostossa äkillisen paineen nousun. Ajan kuluessa painetaso palautuu entiselleen.



Kuva 3. Paineiskukäyrä

Paineisku saattaa olla haitallinen putkistolle, jos ali- tai ylipaine ylittää putken tai varusteen vastaavan painekestoisuuden. Vaarallinen paineisku voi aiheuttaa edellä mainitun materiaalivaurion lisäksi terveyshaittoja. Terveysriski voi esiintyä tilanteessa, jossa paineiskun aiheuttama alipaine putkessa mahdollistaa ulkopuolisten aineiden pääsemisen vesiverkostoon. Ulkopuolisia aineita voi päästä verkostoon huonokuntoisista tai paineiskun vahingoittamista liitoksista. Paineisku saattaa tehdä putkeen myös pienen halkeaman, jota ei havaita virtaamataseiden perusteella, mutta joka on riittävän suuri päästämään lävitseen ulkopuolisia aineita aina putkiston alipainetilanteessa. (Pulli 2009, 36–37.)

Paineisku voi syntyä monesta eri syystä. Yleisimpiä syitä paineiskuihin ovat venttiilin liian äkillinen tai väärällä hetkellä tapahtuva sulkeminen tai avaaminen. Takaiskuventtiilin nopea sulkeutuminen, sähkökatkoksen aiheuttama pumpun pysähtyminen tai sen jälkeinen käynnistyminen sekä putkistossa tapahtuva vaurio voivat myös johtaa paineiskuihin. Verkoston käyttöönotossa pitää olla varovainen, ettei linjaa täytetä liian suurella nopeudella aiheuttaen samalla putkistolle vahingollisia paineiskuja. Paineiskuja voidaan hallita mm. painesäiliöillä ja käyttämällä suunnitteluvaiheessa elastisia putkimateriaaleja. (Pulli 2009, 37–40.)

3 TEKNOLOGIATALO SYTYTIN

Teknologiatalo Sytytin on Raumalla sijaitseva nykyaikainen toimistorakennus. Toimistotalo valmistui vuoden 2011 maaliskuussa ja tuli kaupungille tarpeeseen, sillä vastaavia tiloja ei Raumalta ennestään löytynyt. Pidempiaikaiset vuokratilat täytettiin jo samana keväänä. Lisäksi Sytyttimestä löytyy toimistohotelli Ammus, josta voi vuokrata työtilaa määräaikaisesti vaikkapa vain yhdeksi päiväksi. Sytyttimen kerrosala on n. 6000 m², josta vuokrattavaa pinta-alaa on n. 5300 m². Rakennus on kaksoiskerroksinen ja jaettu yhdeksään erilliseen siivekkeeseen, joten sinne on helppo sijoittaa eri yritykset ja niiden toimistot. Toimistotilat on suunniteltu ja sisustettu vuokraajan toiveiden mukaisesti ja ne ovat muunneltavissa. Sytyttimen tiloista löytyy niin avokonttoria kuin tiivisseinäisempääkin toimistomallia. (Projektiutiset 2013.)

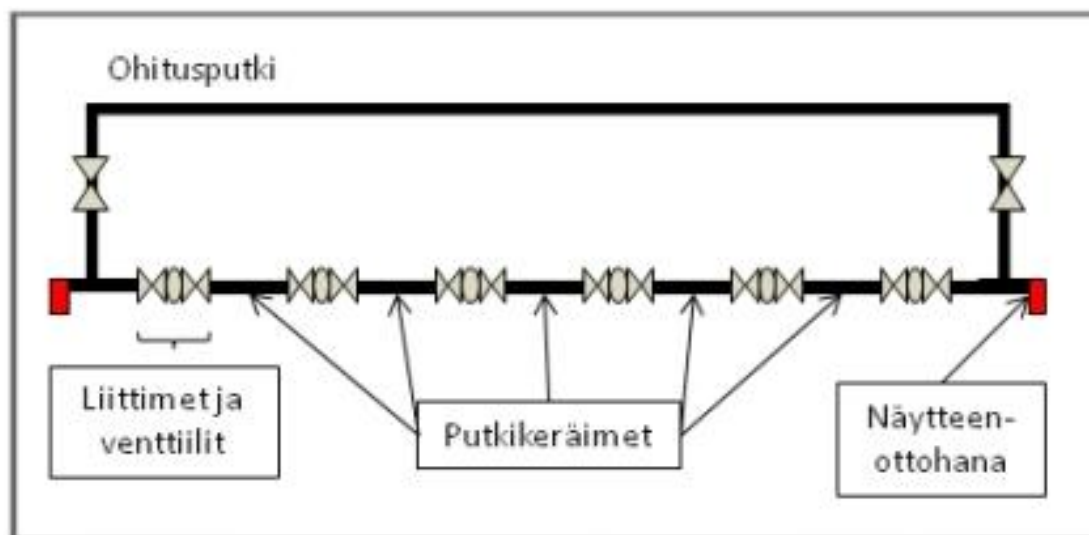
3.1 Living Lab

Living Lab tarkoittaa käyttäjälähtöistä avoimen innovaation ekosysteemiä tosielämän ympäristössä. Käyttäjälähtöisyydellä tarkoitetaan käyttäjän osallistamista ja osallistamista aktiivisesti tutkimus-, kehittämis- ja innovointitoimintaan. Siten käyttäjä ei enää ole vain tarkkailun kohde vaan aktiivinen ja tasa-arvoinen muiden Living Lab -toimijoiden kanssa. Avoin innovaatio merkitsee sitä, että Living Lab -tutkimusta koskevat ideat ja tulokset ovat koko ekosysteemin yhteisessä käytössä. Tässä yhteydessä ekosysteemillä tarkoitetaan eri toimijoiden muodostamaa yhteistyöverkostoa. Toimijoita voivat olla niin käyttäjät, tutkijat, asiantuntijat, yritykset kuin julkiset toimijatkin. Tosielämän ympäristö on se käyttäjän arkiympäristö, jossa Living Lab -tutkimus toteutetaan. Olosuhteet ovat samat kuin tosielämässäkin eivätkä mitkään laboratorio-olosuhteet. (Orava 2009, 11–12.)

3.2 Käyttövesiverkosto

Teknologiatalo Sytyttimessä on ainutlaatuinen tutkimuskäyttöön soveltuva käyttövesiverkosto. Kyseinen tutkimusverkosto on Living Lab -teeman mukaisesti osa talon omaa normaalia verkostoa. Rakennuksesta löytyy linjastot sekä kupari- että PEX-

putkelle. Kellarikerroksesta löytyy myös lyhyt komposiittiputkiverkosto kylmälle vedelle. Putkistot on rakennettu vallitsevan lainsäädännön ja rakentamismääräysten ohjeiden mukaan. Erikoisuutena verkostoon on kuitenkin asennettu mm. 11 putkikeräinyksikköä ympäri rakennusta. Putkikeräin on liittimillä vesiverkoston liitetty putken pala. Keräin voidaan irrottaa tutkimuskäyttöön ja korvata uudella. Putkikeräinyksikössä (Kuva 4) on viisi keräintä peräkkäin. Näin voidaan tutkia putkessa tapahtuneita muutoksia esimerkiksi viiden vuoden välein. Sytyttimestä löytyy myös 16 etäluettavaa vesimittaria, 27 näytteenottohanaa asennettuna keräimien ja mittarien läheisyyteen sekä vuotovahti. Nämä lisäasennukset mahdollistavat vesinäytteiden ottamisen ja putkimateriaalien vertailun. Rakennuksesta puolet kuuluu kuparilinjaston piiriin, kun taas toisella puolella vesi kulkee PEX-putkea pitkin. Tästä syystä kellarista löytyy kaksi lämmönvaihdinta, jotta molemmilla linjastoilla olisi omat lämpimän käyttöveden kiertonsa. (Prizztech 2013.)



Kuva 4. Putkikeräinyksikkö (Prizztech 2013)

3.3 Sytyttimen käyttövesi

Rauman Vesi toimittaa Sytyttimeen talousveden. Raumalla käytetään raakavetenä joko Lapinjoen tai Eurajoen vettä. Ensin vesi johdetaan Äyhön raakavesialtaaseen. Lapinjoen vesi johdetaan altaan koillisosaan ja Eurajoen vesi luoteisosaan. Eurajoen vesi voidaan ottaa myös suoraan Rauman vesilaitokselle ohittamalla allas. Tämä on tarkoitettu varajärjestelmäksi raakavedenottoon, silloin kun raakavesiallasta ei voida

käyttää. Rauman Veden tavoitteena on käyttää mahdollisimman hyvälaatuista joki-vettä taloudelliset seikat huomioon ottaen. (Rauman Vesi 2013.)

Rauman talousveden valmistus on kaksivaiheinen prosessi. Ensin vesi virtaa pystyselkeytyslaitokseen nopeudella 150 l/s. Laitokseen kuuluu saostus ferrisulfaatilla pH:ssa 5, pH:n säätö kalkilla, lietteen laskeuttaminen polymeeriä käyttäen ja hiekkasuodatus. Toinen vaihe on flotaatiolaitos, jossa vettä ajetaan nopeudella 150–200 l/s. Flotaatiolaitoksessa saostus suoritetaan samassa pH:ssa samoilla kemikaaleilla kuin pystyselkeytyslaitoksessakin. Natriumhypokloriittia käytetään mangaanin desinfiointiin ja hapetukseen. Vesi kulkee vielä aktiivihiilisuodattimen läpi jälkikäsitteilynä. Rauman laitoksella aktiivihiilisuodattimia on viisi. 20 kuukauden välein suodattimien hiilet aktivoidaan, näin talousvesi pysyy hajuttomana, mauttomana ja turvallisena. Vuoden 2009 syksystä asti talousveteen on myös lisätty ammoniumkloridia. Ammoniumkloridi tasaa kloorin määrää vesijohtoverkostossa. (Rauman Vesi 2013.)

Vesilaitos on käynnissä 16 tuntia vuorokaudessa, aamukuudesta iltakymmeneen. Siinä aikana valmistetaan kuluttajille menevä talousvesi ja nostetaan Rauman vesitornin veden pinta vaaditulle tasolle yön kulutusta varten. Verkostoon laitokselta lähtee yhden päivän aikana n. 7500 m³ litraa vettä. Laitoksen pysähtyttyä puhdasvesipumppu syöttää verkostoon vettä vielä puoleen yöhön. Tämän jälkeen vesi johdetaan kuluttajille vesitornista, kunnes vesilaitos taas aamulla käynnistyy. Vesitornin tehtävänä on myös tasata verkostopainetta. (Rauman Vesi 2013.)

4 MITTAUSJÄRJESTELYT

4.1 Mittalaitteisto

Kaikki työn mittaukset suoritettiin Sytyttimessä. Mitattavia asioita olivat paineiskujen vaimeneminen kupari- ja PEX-putkistoissa sekä paineiskujen vaikutus vedenlaatuun. Laatatutkimuksissa osakseni jäi lähinnä THL:n (Terveystieteiden tutkimuskeskus) avustaminen heidän mittauksissaan ja saatuja tuloksia ei tässä työssä juurikaan analysoitu. Lisäksi selvitettiin sytyttimen kauimmaisilla vesikalusteilla käytössä ole-

va painetaso. Kaikki mittaukset suoritettiin kesäloma-aikaan, joten hanojen mittaus-
ten ulkopuolinen käyttö, joka saattaisi häiritä mittauksia, oli mahdollisimman vähäis-
tä. Syyttimen lämmönjakohuoneessa oli valmiina asennettuna loggeri, joka seurasi
vesimittarin jälkeistä painetta ja eri vesijohtojen lämpötiloja.

Paineiskujen datan keräämisessä käytettiin kahta eri laitteistoa. Ensimmäinen laitteis-
to oli Orakselta. Datan keräykseen käytettiin Dataq Instruments:n DI-718B:tä, jossa
oli kiinni kaksi paineanturia. Paineiskut ensimmäisissä mittauksissa aiheutettiin
Oraksen irrottavalla Electra-hanalla (Kuva 5), joka toimii magneettiventtiilillä. Ha-
naan oli asennettavissa kolme eri suutinta mahdollistaen erisuuruiset virtaukset. Toi-
nen paineenmittauslaitteisto oli HBM:n MGCplus-tiedonkeruujärjestelmä. Siihen oli
kiinnitettyinä kaksi Trafag:n 8822 -paineanturia, joiden tarkkuudeksi valmistaja il-
moittaa $\pm 0,2$ % (Trafag 2013). HBM:n laitteistolla käytettiin mittaustaajuutta 60
hertziä. Aiemmissa mittauksissa 2012 käytettiin taajuutta 200 hertziä, mutta silloin
tehtyjen raporttien perusteella 50 hertziä on riittävä mittaustarkkuus ja matalampaa
taajuutta suositeltiin kertyneen datan runsauden vuoksi (Raatikainen, Skön, Johans-
son, Keinänen-Toivola & Kolehmainen 2012, 5–6). Lisäksi käytössä oli johtokyvyn
mittaamista varten InoLabin Cond Level 1 -mittari.



Kuva 5. Oras Electra (Oras 2013)

4.2 Painetason mittaus

Keskiviikkona 17.7.2013 mitattiin Sytyttimen yläkerran putkistojen ääripäistä painetasot. PEX-puolella mittauspisteestä oli matkaa vesimittarille n. 69 putkimetriä ja kuparipuolella vastaava etäisyys oli n. 98 putkimetriä. Näin selvitettiin, kannattaako rakennukseen asentaa paineenalennusventtiili. Paineanturi Trafag 8822 asennettiin klo 13:30 kuparipuolen loppupäähän kylmävesijohtoon keittiöhanan yhteyteen. Tiedot kerättiin talteen HBM:n MGCplus-järjestelmällä ja kannettavalla tietokoneella. Puoli tuntia myöhemmin PEX-puolella sama paineanturi (Kuva 6) asennettiin putkiston loppupäässä olevan inva-wc:n kylmävesijohtoon.



Kuva 6. Paineanturi Trafag 8822 asennettuna hanan alapuolelle

4.3 Paineiskujen vaimeneminen

Keskiviikkona 3.7.2013 klo 12:30 paineiskujen mittaus aloitettiin ensimmäisen kerroksen PEX-puolen putkiston loppupäässä olevasta toimistotilan siivouskomerosta. Siivouskomerosta poistettiin hana ja sen tilalle kylmävesipuolen tuloon asennettiin

paineanturi, jonka perään tuli magneettiventtiilillä varustettu Oras Electra -hana. Electraan oli käytettävissä kolme eri poresuutinta (Kuva 7), 6 l/min antava poresuutin, A-poresuutin ja vesitähti eli ammehanoihin soveltuva suutin. Oraksen laboratoriotesteissä (Taulukko 1) oli tutkittu etukäteen Electra-hanan virtaamat eri suuttimilla ja paineilla. Mittaukset aloitettiin suurimman vastuksen antavalla 6 l/min poresuuttimella. Electralla aiheutettiin n. 10 kertaa paineiskuja kylmävesipuolelle, joista tulokset kerättiin talteen Dataq Instruments:n dataloggerilla DI-718B. Paineiskut aiheutettiin pitämällä kättä Electran valokennon edessä 2–3 sekuntia kerrallaan n. 15 sekunnin välein. Paineiskut aiheutettiin uudestaan A-suuttimen ollessa kiinni hanassa ja vielä kerran vesitähti kytkettynä. Tämän jälkeen anturi ja hana siirrettiin siivouskomeron lämpimän veden tuloon. Paineiskut toistettiin jokaisella kolmella suuttimella.



Kuva 7. 6 l/min -vakioporesuutin, A-poresuutin ja vesitähti

Taulukko 1. Electran virtaamat eri poresuuttimilla (Jäpölä henkilökohtainen tiedonanto 3.7.2013)

	Oras Electra		
	6 l/min	A-suutin	vesitähti
3 bar	5,5 l/min	10,7 l/min	16 l/min
4 bar	5,5 l/min	12,6 l/min	18,6 l/min
5 bar	5,5 l/min	14,2 l/min	21 l/min

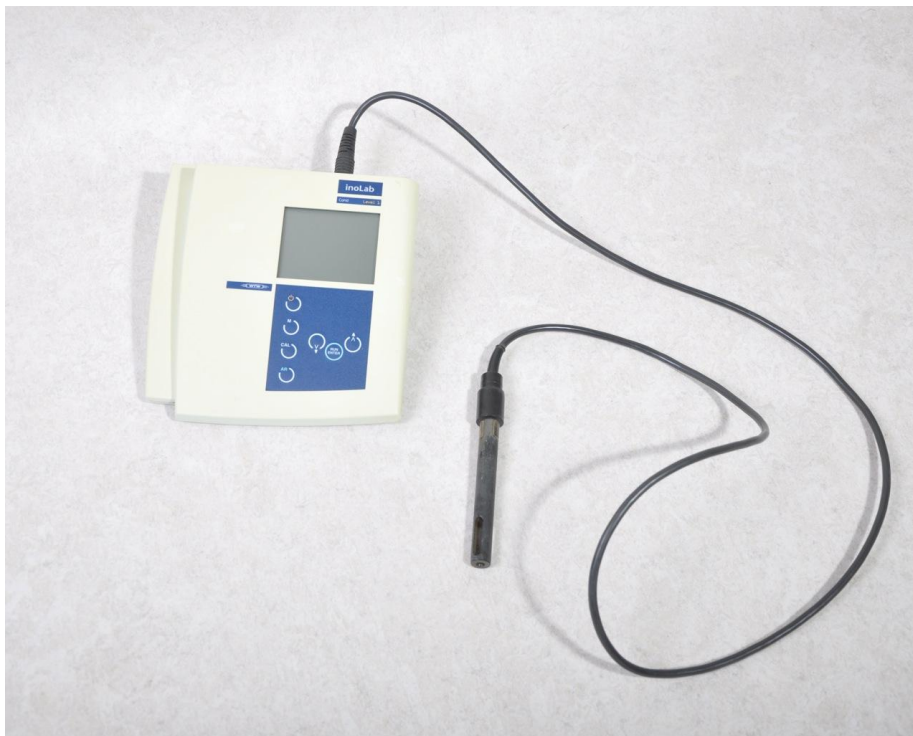
Seuraavaksi paineanturit asennettiin seinän toisella puolella olevan keittiöhanan tuloihin sulkujen jälkeen. Anturit kytkettiin sekä kylmälle että lämpimälle käyttövedelle. Electra-hana vaihdettiin takaisin siivouskomeron kylmävesipuoleen. Paineiskut aiheutettiin siivouskomerosta kuten aiemmin, ensin kylmävesipuolelta jokaisella po-

resuuttimella ja sitten lämpimältä puolelta samoin. Paineiskuja mitattiin PEX-puolelta vielä kolmannestakin paikasta. Nyt paineanturit siirrettiin toimiston käytävän toiseen päähän invavessaan. Anturit asennettiin taas sekä kylmälle että lämpimälle vedelle. Paineiskut aiheutettiin taas kuten edellä kyseisestä siivouskomerosta, ensin kylmältä ja sitten lämpimältä puolelta.

Sitten oli aika vaihtaa putkimateriaalia ja laitteisto siirrettiin rakennukseen toiseen päähän kuparilinjastoon. Paineanturit ja Electra-hana asennettiin putkiston päässä olevaan keittiöön. Anturit tulivat molempiin käyttövesituloihin ja Electra asennettiin ensin kylmävesipuolelle. Paineiskut aiheutettiin kuten aikaisemmin, jonka jälkeen magneettiventtiilihana siirrettiin lämminvesipuolelle ja tehtiin samat paineiskut. Seuraavaksi otettiin anturit irti ja siirrettiin ne seinän takana olevaan vessaan. Electra asennettiin takaisin keittiön kylmävedelle. Paineiskut suoritettiin kuten edellä keittiöstä, ensin kylmävesipuolelta ja sen jälkeen lämpimältä vedeltä. Paineanturit siirrettiin vielä kerran kauemmas ja aiheutettiin samat paineiskut keittiössä molemmissa linjastoissa.

4.4 Johtokyvyn mittaus

Paineiskumittausten yhteydessä mitattiin myös käyttöveden sähkönjohtokykyä eri putkimateriaaleissa ja paineiskujen vaikutusta veden konduktiivisuuteen. Ennen paineiskuja ja paineiskujen jälkeen otettiin hanoista vesinäytteitä. Näytteet otettiin samoista hanoista, joissa paineiskuja aiheutettiin eli PEX-puolella siivouskomerosta ja kuparilinjastossa keittiöstä. Molemmat näytteenottoapaikat olivat putkistojensa loppupäässä ensimmäisessä kerroksessa. Näyte otettiin aina 600 ml mittalasiin, josta mitattiin veden sähkönjohtokyky InoLabin Cond Level 1:llä (Kuva 8).



Kuva 8. InoLab Cond Level 1 -johtokyky mittari (Gemini BV 2013)

4.5 Laatumittaukset

Maanantaina 22.7.2013 mitattiin paineiskujen vaikutusta käyttöveden laatuun. Käytettävä painemittauslaitteisto oli eri kuin aiemmissa paineiskumittauksissa. Nyt laitteistoon kuuluivat taas Trafag 8822 -paineanturi ja HBM:n MGCplus-tiedonkeruujärjestelmä (Kuva 9).



Kuva 9. MGCplus (HBM 2013)

Paineiskut aiheutettiin kuparipuolella wc:n omalla Oras Electra -hanalla, jossa oli magneettiventtiili. Hanasta poistettiin poresuutin ja hanan suuta liekitettiin puhalluslampulla puhdistaan se bakteereista. Mittaukset suoritettiin vain kylmällä vedellä, lämpimän veden tulo mittauksissa käytettäville hanoille oli suljettu. Ennen paineiskuja suoritettiin hanasta putkiston huuhtelu, joka alkoi klo 14:00 ja kesti 5 minuuttia. Paineiskuja aiheutettiin huuhtomisen jälkeen 15 kertaa n. 15 sekunnin välein. Ne suoritettiin heilauttamalla kättä hanan valokennon edessä. Aina ennen paineiskua otettiin talteen vesinäyte.

Toinen samanaikainen näytteenottopaikka oli keittiö, joka sijaitsi verkostossa hieman kauempana. Vessan ja keittiön hanojen välinen putkistotilavuus oli 5,1 litraa. Samalle etäisyydelle keittiön viereiseen vessaan asennettiin paineanturi kylmävesipuolelle. Keittiössä oli paineiskujen ajan tasainen 1 l/min virtaus, joten vessan, jossa paineiskut aiheutettiin, vesi virtasi keittiöön reilussa viidessä minuutissa. Ennen paineiskuja keittiönkin hanasta poistettiin poresuutin ja hanan suuta kuumennettiin. Hanasta juoksutettiin myös vettä 5 minuuttia. Paineiskujen aikana hanasta otettiin vesinäytteitä 30 sekunnin välein.

PEX-puolella paineiskut aiheutettiin myös wc:n omalla Oras Electra -merkkisellä magneettiventtiilihanalla, jotta paineiskut olisivat vertailukelpoisia keskenään. Mittaukset suoritettiin viikon kuluttua kuparipuolesta eli maanantaina 29.7.2013. Hanan suusta poistettiin poresuutin ja hanan suuta liekitettiin kaasuliekittimellä bakteerien poistamiseksi. Kylmävesilinjaan hanan kytkentäjohtoon asennettiin paineanturi paineiskujen voimakkuuden seuraamiseksi (Kuva 10). Mittaukset suoritettiin vain kylmällä vedellä ja aluksi putkistoa huuhdeltiin 5 minuuttia juoksuttamalla vettä hanasta. Juoksutuksen jälkeen otettiin ensimmäinen näyte. Sen jälkeen paineiskuja aiheutettiin hanalla 15 kertaa 15 sekunnin välein. Paineiskujen välillä otettiin aina vesinäyte. Lopuksi vettä juoksutettiin vielä 5 minuuttia ja otettiin viimeinen vesinäyte hanasta.



Kuva 10. Paineiskujen mittausjärjestely

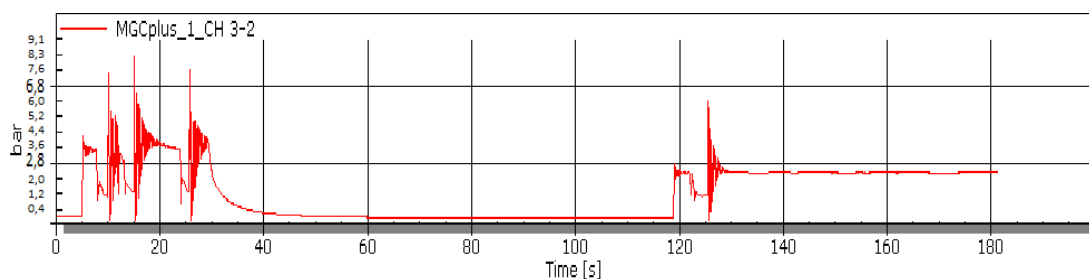
PEX-puolella oli myös samanaikainen näytteenottopiste verkoston päässä siivouskomerossa. Siivouskomeron hanasta oli mittausten ajaksi poistettu poresuutin ja hanan suuta oli liekitetty kaasuliekittimellä. Hanasta juoksutettiin ensin vettä 5 minuuttia puolella nopeudella, jonka jälkeen otettiin vesinäyte ja säädettiin virtaus 1 l/min. Hanasta otettiin sen jälkeen näytteitä puolen minuutin välein 15 kertaa. Lopuksi vielä juoksutettiin vettä 5 minuuttia ja otettiin viimeinen näyte.

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Sytyttimen yläkerran painetaso

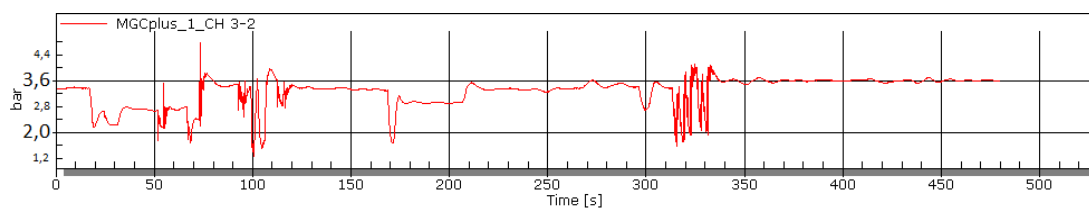
Painetaso Sytyttimen yläkerran kylmävesilinjojen ääripäissä heitteli yllättävän paljon. Ilmeisesti verkostossa oli kesäajasta riippumatta runsaasti toimintaa. Vesimittarin jälkeisestä loggerista lämmönjakohuoneessa katsottiin keskimääräiseksi paineeksi mittausten aikana 3,6 baaria. Kuparipuolella tehdyn kolmen minuutin mittausjakson

(Kuva 11) aikana painetaso vaihteli verkostossa tapahtuneiden paineiskujen yhteydessä 1,3–4,5 baarin välillä. Muualla verkostossa tapahtuneiden paineiskujen huiput olivat viimeisellä kalusteella keskimäärin n. 8,0 baaria. Verkostosta katosi mittauspisteen kohdalla paine vähäksi aikaa mittausten aikana. Viimeisen minuutin aikana paine oli vakiintunut n. 2 baariin. Kuvaajan y-akselin erikoinen arvoasteikko johtuu siitä, kun anturi ei antanut suoraan oikeaa painearvoa, vaan oikeat arvot on jälkikäteen skaalattu kuvaajaan.



Kuva 11. Painetaso kupariverkostossa

PEX-puolella painetaso oli vieläkin ailahtelevampi, vaikkakin vaihtelua tapahtui pienemmällä välillä. Mittausjaksoa pidennettiin muovi-putkipuolella 8 minuuttiin (Kuva 12), että painetaso ehti vakiintua. Putkiston paine vaihteli 2–4 baarin välillä, kunnes lopulta vakiintui n. 3,6 baariin. Mittausjakson aikana mitatut paineiskujen aiheuttamat huiput olivat n. 4,7 baaria.



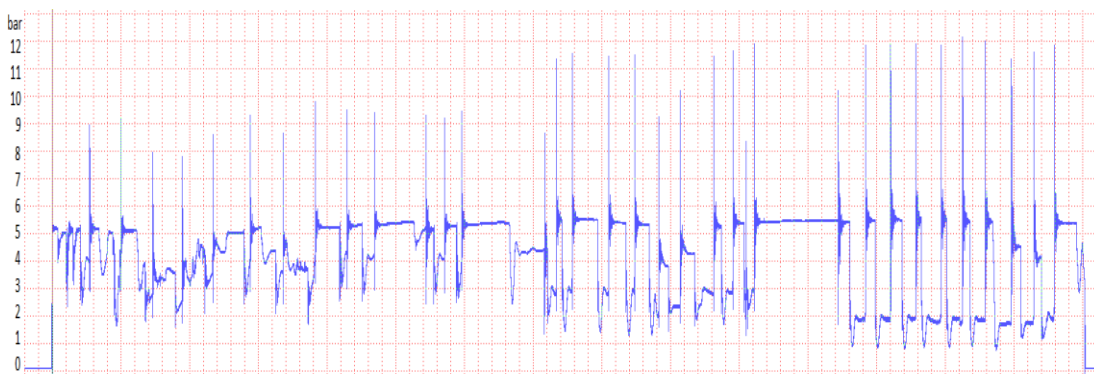
Kuva 12. Painetaso PEX-verkostossa

5.2 Paineiskut

5.2.1 Paineiskut PEX-verkostossa

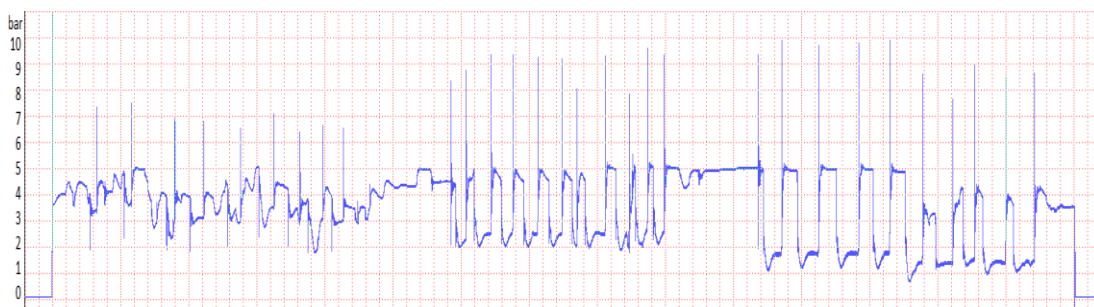
PEX-putkiston kylmävesilinjassa aiheutetuista paineiskuista (Kuva 13) näkyy, kuinka virtaaman suuruus vaikuttaa suoraan paineiskun suuruuteen. Kuvion 1 ensimmäi-

sen paineiskusarjan (13 kpl paineiskuja) aikana virtaama on ollut 5,5 l/min, toisen sarjan (11 kpl) aikana n. 14 l/min ja viimeisen sarjan (10 kpl) aikana n. 21 l/min. Painetaso mittauspisteessä eli ensimmäisen kerroksen kylmävesijohdon loppupään siivouskomerossa oli 5,4 baaria. Vesimittarin jälkeinen kylmän veden lämpötila oli 15 °C. Nettopaineiskujen (paineiskuhuipun ja staattisen paineen välinen erotus) keskiarvo pienimmällä virtaamalla oli 3,7 baaria, A-suuttimen ollessa kiinni 5,4 baaria ja vesitähdellä eli ammesuuttimella 6,4 baaria. Paineiskujen suurimmat arvot olivat eri suuttimilla 9,8; 11,9 ja 12,2 baaria.



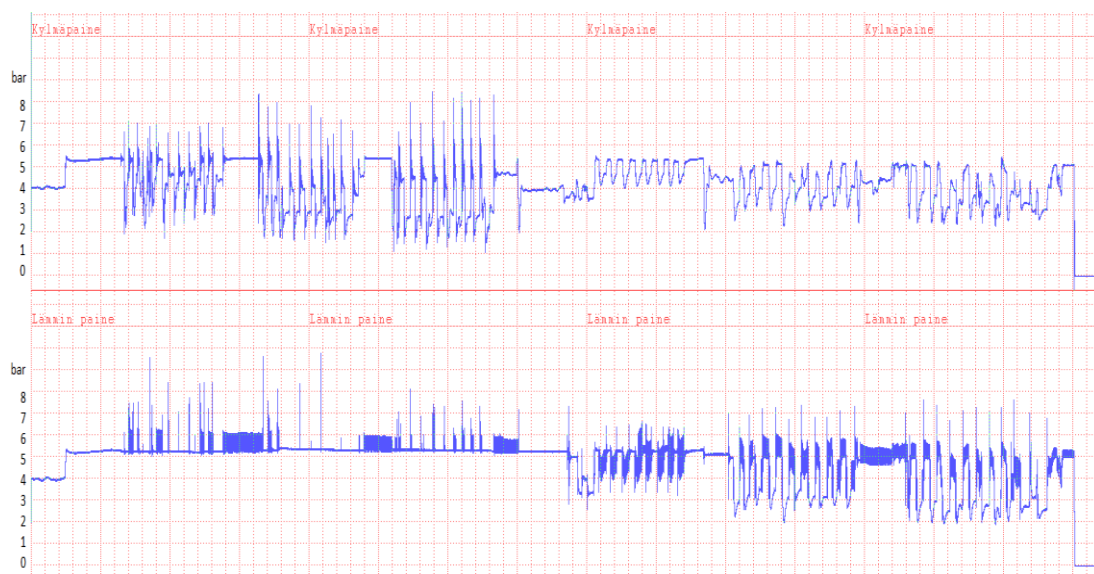
Kuva 13. Kylmävesilinjan paineiskut hanan yhteydessä PEX-verkostossa

Samassa siivouskomerossa mitattiin myös lämminvesijohdon paineiskut (Kuva 14). Koska irrotettavalla testihanalla (Oras Electra) oli vain yksi vesijohtoliitäntä, mitattiin kylmä ja lämmin erikseen. Lämmönjakuhuoneesta lähtevän lämpimän veden lämpötila oli PEX-verkostossa 55 °C. Kaavion yhdeksän ensimmäistä paineiskua on tehty virtaamalla 5,5 l/min, 11 seuraavaa A-suuttimella ja viimeiset 10 vesitähdellä. Painetaso mittausten aikana oli 4,7 baaria. Ensimmäisten nettopaineiskujen tulosten keskiarvo oli 2,1 baaria, A-suodattimella 4,4 baaria ja vesitähdellä 4,4 baaria. Paineiskujen suurimmat arvot olivat eri suuttimilla 7,5; 9,6 ja 9,9 baaria.



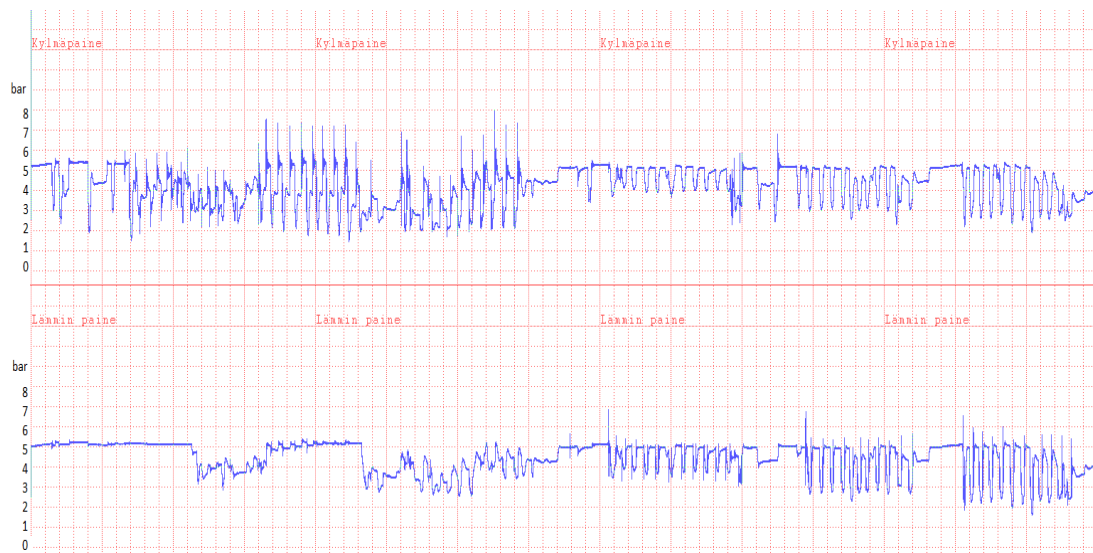
Kuva 14. Lämminvesilinjan paineiskut hanan yhteydessä PEX-verkostossa

Seuraava mittauspaikka oli keittiössä n. 7,5 putkimetrin päässä siivouskomeron hanasta. Paineiskupaikan ja paineantureiden väliin jäi putkiston nestetilavuutta n. 0,6 litraa. Paineanturit oli asennettu nyt molempiin keittiön vesilinjoihin samanaikaisesti, mutta paineiskut aiheutettiin edelleen siivouskomerossa vesijohto kerrallaan (Kuva 15). Ensin paineiskut aiheutettiin kylmävesijohdossa suutin kerrallaan, tiukimmasta vastuksesta suurimpaan. Tämän jälkeen paineiskut suoritettiin vastaavasti lämminvesijohdossa. Kylmäpuolen nettopaineiskujen keskiarvot eri suuttimilla olivat 1,3; 1,8 ja 2,5 baaria normaalipainetason ollessa 5,3 baaria. Vastaavat arvot lämminvesipuolella olivat 1,3; 1,9 ja 2,0 baaria painetason ollessa 5,1 baaria.



Kuva 15. Paineiskut lähellä PEX-verkostossa

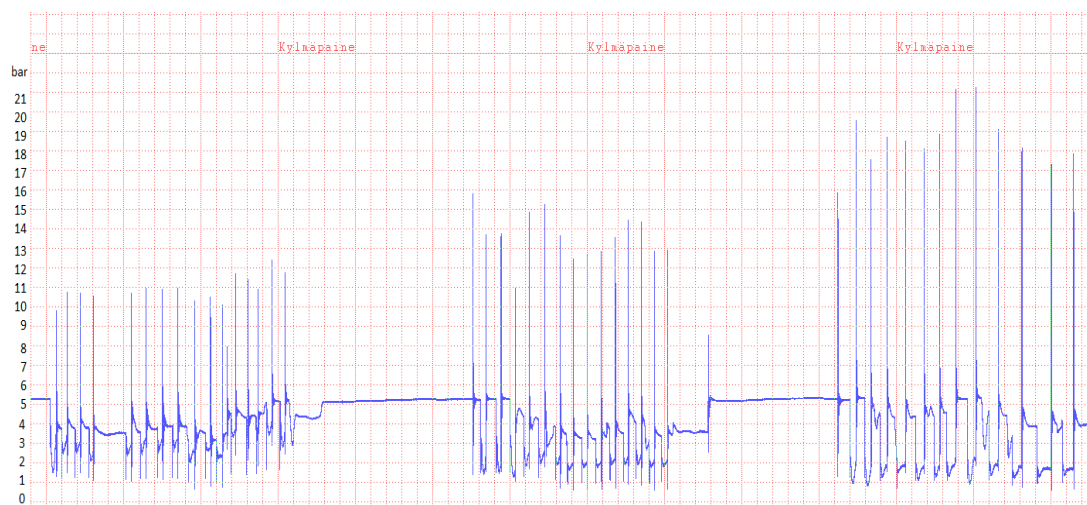
Viimeinen mittauspaikka muoviputkistossa oli inva-wc n. 23 putkimetrin päässä siivouskomeron paineiskuhanasta ja vesitilavuutta väliin jäi n. 3,5 litraa. Siivouskomeron ja inva-wc:n välisessä linjastossa oli myös kaksi jakotukkaa. Paineanturit olivat molemmissa linjoissa taas samanaikaisesti. Kuvassa 16 on kuusi paineiskusarjaa, joista kolme ensimmäistä on tehty kylmäpuolella ja viimeiset kolme lämpimällä vedellä. Nettopaineiskut kylmävesijohdossa olivat eri suuttimilla 0,6; 1,7 ja 1,7 baaria painetason ollessa linjastossa 5,3 baaria mittausten aikana. Kuvan 16 lämminvesipuolen sarjojen alussa esiintyy aina suhteellisen korkea paineisku. Nämä iskut ovat syntyneet hanan suuttimen vaihdon yhteydessä, kun magneettiventtiilihana on kytetty takaisin verkkovirtaan ja ne on siksi jätetty tuloksien ulkopuolelle. Nettopaineiskujen keskiarvot ovat siis näin ollen eri suuttimille lämpimällä puolella: 0,2; 0,4 ja 0,5 baaria painetason ollessa 5,1 baaria.



Kuva 16. Paineiskut kaukana PEX-verkostossa

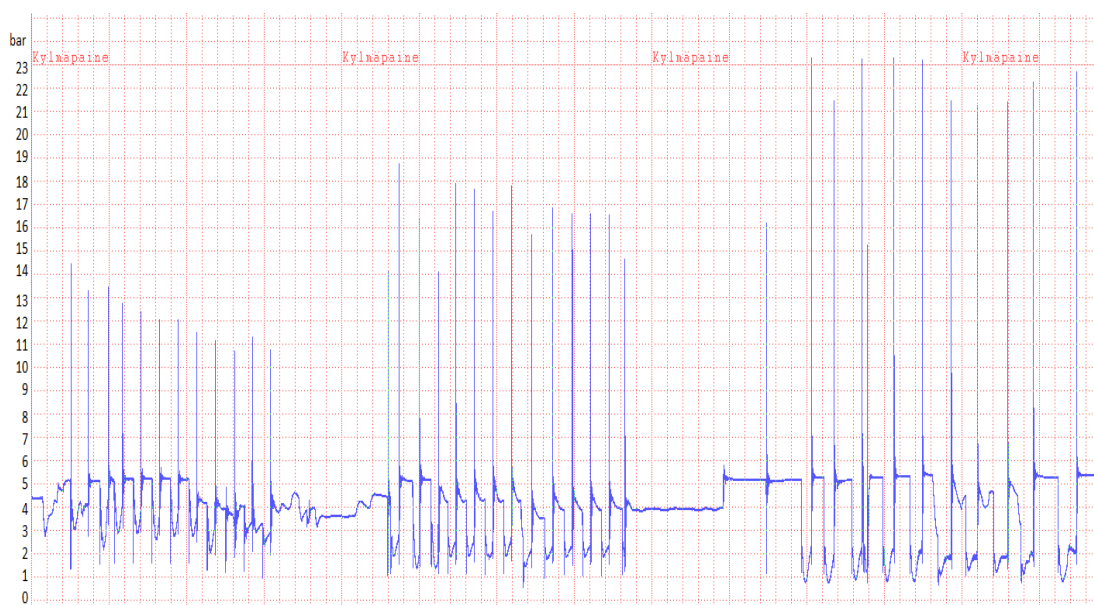
5.2.2 Paineiskut kupariverkostossa

Muoviputkea jäykemmässä kupariputkistossa tehtiin myös vastaavat paineiskuko-
keet. Paineiskut aiheutettiin ensimmäisen kerroksen kuparilinjaston päässä olevassa
keittiössä. Kuvan 17 käyrä kuvaa paineiskupaikan kohdalla tapahtuvaa paineen vai-
telua kylmävesijohdossa. Kolme eri paineiskusarjaa on tehty taas eri suuttimilla ku-
ten aiemmatkin mittaukset. Painetaso oli n. 5,2 baaria. Ensimmäisellä suuttimella
nettopaineiskujen keskiarvo oli 5,6 baaria, A-suuttimella 8,5 ja ammesuuttimella
13,6 baaria. Paineiskujen suurimmat arvot olivat eri suuttimilla 12,5; 15,9 ja 21,4
baaria.



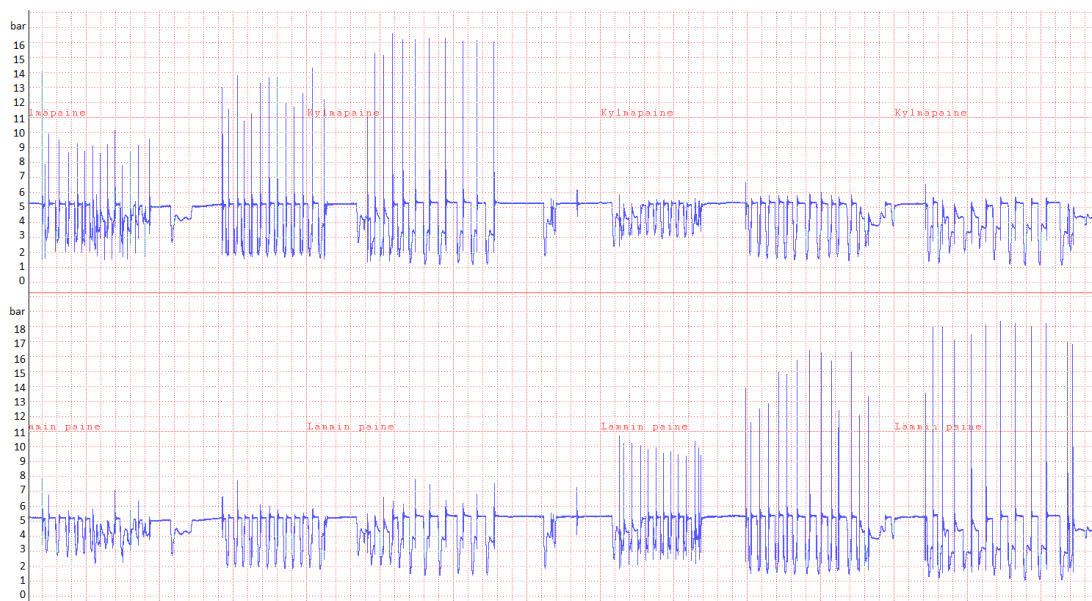
Kuva 17. Kylmävesilinjan paineiskut hanan yhteydessä kupariputkistossa

Kuva 18 esittää paineen vaihtelua paineiskujen yhteydessä kupariputkiston lämminvesipuolella. Lämmönjakohuoneesta lähtevän lämpimän veden lämpötila oli kupariverkostossa 55 °C. Kolme eri sarjaa on tehty eri suuttimilla painetason ollessa suurimman osan mittausajasta välillä 5,2–5,3 baaria. Nettopaineiskujen keskiarvot eri suuttimilla olivat: ensimmäisellä suuttimella 6,9; A-suuttimella 11,2 ja vesitähdellä 16,0 baaria. Paineiskujen suurimmat arvot olivat eri suuttimilla 14,5; 18,8 ja 23,3 baaria. Painetaso laski keskvälissä mittausta n. 4 baariin, johtuen ilmeisesti keittiön/taukotilan laitteiden veden otosta.



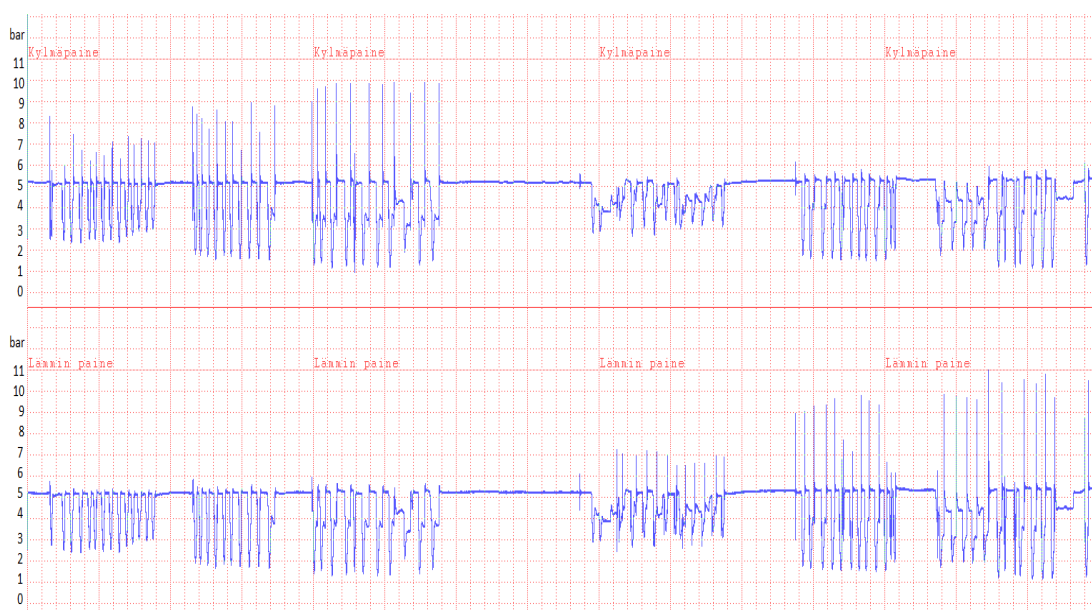
Kuva 18. Lämminvesilinjan paineiskut hanan yhteydessä kupariputkistossa

Kuvassa 19 näkyy paineen muutokset hieman kauempana verkostossa. Paineiskut aiheutettiin edelleen keittiössä, mutta paineanturit oli asennettu seinän taakse vessan hanan yhteyteen. Etäisyyttä hanojen välissä oli n. 12 putkimetriä. Tuon putkiosuuden nestetilavuus oli n. 0,9 litraa. Kuviossa ylempänä on kylmävesilinjan ja alempana lämpimän veden painevaihtelut. Verkoston yleinen painetaso oli molemmissa linjoissa 5,3 baaria. Kylmäpuolella nettopaineiskujen keskiarvot olivat: ensimmäinen suutin 4,1 baaria, A-suutin 7,3 baaria ja vesitähti 10,3 baaria. Sarjojen ensimmäiset paineiskut erosivat ajoittain huomattavasti sarjan keskiarvosta, jolloin ne jätettiin huomioimatta tuloksissa. Tällainen tulos on esimerkiksi kylmäpuolella ensimmäisellä suuttimella saatu arvo 14,0 baaria. Lämpimällä puolella keskiarvot olivat: ensimmäinen suutin 4,6 baaria, A-suutin 9,0 baaria ja vesitähti 12,2 baaria.



Kuva 19. Paineiskut lähellä kupariverkostossa

Kuvassa 20 paineanturit on siirretty vieläkin kauemmas keittiön paineiskuhanasta kupariverkostossa. Välimatkaa verkostossa on nyt n. 32 putkimetriä ja hanojen välisiä nestetilavuutta n. 5,1 litraa. Painetaso kuvan 20 mittausten aikana verkostossa oli 5,2 baaria. Nettopaineiskujen keskiarvot olivat kylmäpuolella: ensimmäisellä suuttimella 1,6 baaria (ensimmäinen paineisku 8,3 baaria jätetty huomioimatta poikkeavana tuloksena), A-suuttimella 2,9 baaria ja vesitähdellä 4,2 baaria. Vastaavat tulokset lämminvesijohdossa olivat: 1,7; 3,0 ja 4,3 baaria.



Kuva 20. Paineiskut kaukana kupariverkostossa

5.2.3 Yhteenveto paineiskuista ja sähkönjohtokyky

Taulukkoon 2 on koottu nettopaineiskujen keskiarvot molemmista verkostoista. Paineiskujen tekemisen aikana mitattiin myös käyttöveden sähkönjohtokykyä. Tulokset vaihtelivat tasaisesti paineiskujen mittauspisteissä välillä 307–313 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ennen paineiskuja mittaussarvo oli yleensä muutaman yksikön korkeampi, kuin viimeisen mittauksen jälkeen. Kuparipuolella paineiskujen vaikutus oli hieman selvempää, kun taas muovipuolella arvot eivät muuttuneet, kuin korkeintaan yhden mittayksikön verran. Veden sähkönjohtokyky kuitenkin pysyi lähes muuttumattomana koko mittauspäivän aikana. Verkostossa tapahtuvilla paineiskuilla ei näin ollen todettu olevan merkittävää vaikutusta johtokykyyn.

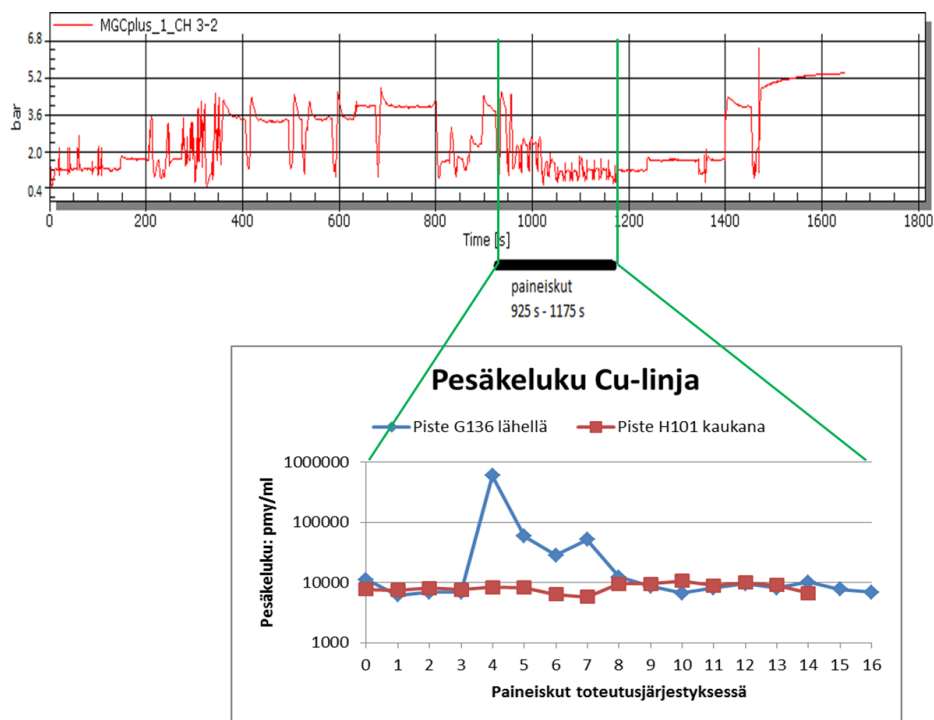
Taulukko 2. Nettopaineiskujen keskiarvot PEX- ja kupariverkostossa (arvot baareina)

PEX					PEX				
kylmä	5,5l/min	A-suutin	vesitähti	painetaso	lämmin	5,5l/min	A-suutin	vesitähti	painetaso
paineiskupaikka	3,7	5,4	6,4	5,4	paineiskupaikka	2,1	4,4	4,4	4,7
7,5 m etäisyydellä	1,3	1,8	2,5	5,3	7,5 m etäisyydellä	1,3	1,9	2,0	5,1
23 m etäisyydellä	0,6	1,7	1,7	5,3	23 m etäisyydellä	0,2	0,4	0,5	5,1
CU					CU				
kylmä	5,5l/min	A-suutin	vesitähti	painetaso	lämmin	5,5l/min	A-suutin	vesitähti	painetaso
paineiskupaikka	5,6	8,5	13,6	5,2	paineiskupaikka	6,9	11,2	16,0	5,3
12 m etäisyydellä	4,1	7,3	10,3	5,3	12 m etäisyydellä	4,6	9,0	12,2	5,3
32 m etäisyydellä	1,6	2,9	4,2	5,2	32 m etäisyydellä	1,7	3,0	4,3	5,2

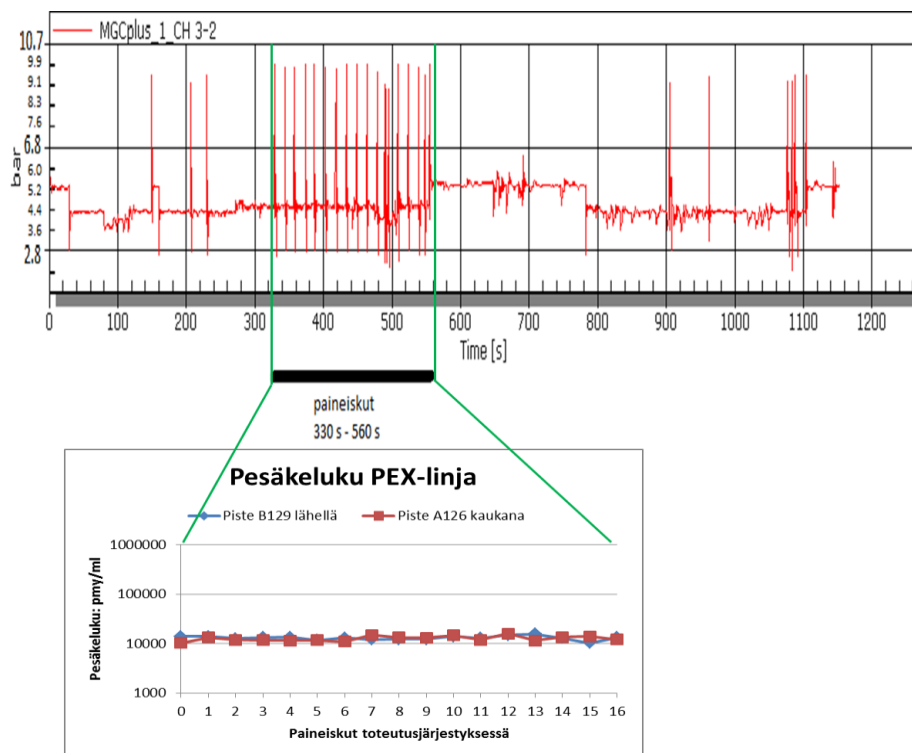
5.3 Veden mikrobiologinen laatu

THL tutki mittauksissaan normaalikäytön vaikutusta talousveden mikrobiologiseen laatuun. Tutkimuksen kohteina olivat virtauksen, materiaalin ja paineenvaihtelun vaikutukset veden laatuun. ”Heterotrofinen pesäkelukumäärä määritettiin pintaviljelynä R2A alustoilla (Difco) käyttäen 7 vuorokauden kasvatusaikaa (+22 C). R2A-alustalla saadaan talousveden mikrobeille edullisen ravinnekoostumuksen sekä pitkän inkubointiajan ansiosta suurempia pesäkelukumääriä kuin standardin SFS-EN ISO 6222 mukaisesti määritettynä.” (Miettinen sähköposti 26.8.2013.) Kuvissa 21 ja 22 on esitetty paineiskujen vaikutukset pesäkelukuun. Ennen ja jälkeen paineiskujen on suoritettu 5 minuutin huuhtelujaksot. Mittausten jälkeen kävi ilmi, että verkoston painetaso oli kuparipuolen mittausten aikana heitellyt runsaasti. Virtaamamittarilla

todettiin, että hanasta virtasi ilman poresuutinta vettä nopeudella 4 l/min, joka oli todella vähän.



Kuva 21. Paineiskun vaikutus pesäkelukuun kupariputkistossa 22.7.2013 (Kusnetsov sähköposti 30.8.2013)



Kuva 22. Paineiskun vaikutus pesäkelukuun PEX-putkistossa 29.7.2013 (Kusnetsov sähköposti 30.8.2013)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mitattujen tulosten perusteella on Sytyttimen painetaso kylmäjohdossa yleisesti yli 5 baaria. Toisessa kerroksessa molempien putkistojen kauimmaistenkin kalusteiden käytössä on yli 3,5 baaria, mikä on liikaa. Suomen rakentamismääräyskokoelman vesilaitteiston mitoitusohjeiden perusteella pitäisi rakennukseen asentaa paineenalennusventtiili. Mittaukset tehtiin vain kylmäpuolella, koska oletettiin painetason olevan samassa suhteessa lämminvesijohdon kanssa.

Suuri vedenpaine verkostossa johtaa siihen, että kalusteilta tulee liian suuri virtaama mitoitukseen nähden. Sytyttimessä joissain hanoissa virtaus on yli 200 %, kun maksimi saisi olla 150 % normivirtaamaan nähden (Rämö 2012, 63). Eri poresuuttimia käyttäen, mittauksissa todettiin suuremman virtaaman aiheuttavan myös suuremmat paineiskut. Suuri virtaama ja sen aiheuttamat paineiskut tuottavat kiusallisia äänihaittoja verkostossa ja vähentävät käyttömukavuutta. Voimakkaat paineiskut kuluttavat myös verkostoa suunniteltua nopeammin. Sytyttimessä olevien putkikeräinten ansiosta tieto eri putkimateriaalien kulumisesta lisääntyy tulevaisuudessa.

Materiaalivertailussa huomattiin muoviputken vaimentavan paineiskuja verkostossa metalliputkea tehokkaammin. Tämä johtuu materiaalin elastisuudesta. PEX ottaa paineiskun kupariputkea paremmin vastaan samalla vaimentaen sitä. PEX-puolella olevien jakotukkien uskoisin tulosten perusteella myös vaimentavan paineiskuja. Paineiskujen huiput olivat korkeampia kupari- kuin PEX-verkostossa johtuen juuri kupariputken jäykkyydestä. Sytyttimen eri materiaalien verkostot eivät kuitenkaan olleet täysin identtiset keskenään.

Kupariputkistossa painetasot olivat tasaiset kylmä- ja lämminvesijohdoissa mittausaikaan. Paineiskut olivat kupariverkostossa voimakkaampia lämminvesipuolella kuin kylmällä vedellä. PEX-putkessa paineiskut olivat hieman suurempia taas kylmävesipuolella, mutta tämä selittyy osin suuremmalla painetasolla kylmä- kuin lämminvesijohdossa.

Paineiskujen todettiin vaikuttavan myös kylmästä lämpimään ja päinvastoin. Kun paineiskuja aiheutettiin esimerkiksi kylmäpuolella, näkyi paineen muutokset myös lämminvesijohdossa. Yleensä paine toisessa johdossa laskee hanan avaamisen jälkeen, mutta sulkemisen yhteydessä ei aiheutunutkaan painetasoa ylittävää iskua. Poikkeuksena kuitenkin kuva 15 (PEX), jossa painetaso ei lämminvesijohdossa laske painetasoa alapuolelle kylmän veden virratessa, vaan ainoastaan nousee.

Verkoston paineiskut eivät mittauksissa vaikuttaneet käyttöveden sähkönjohtokykyyn eli konduktiivisuuteen. Mittaustapa oli kuitenkin aika karkea. THL:n mikrobiologisen laadun kuvaajien perusteella näyttää siltä, että paineiskut vaikuttivat pesäkeluvun määrään. Kuparipuolella pesäkeluku nousi noin satakertaiseksi näytteessä numero neljä ja pysyi vielä kolmen seuraavan näytteen ajan tavallista korkeampana. Verkoston painetaso oli kuparipuolella melko alhainen laatumittausten aikaan. Mittausten perusteella hanasta tullut vesimääräkin oli alhainen. Tästä johtuen eri verkostojen tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään.

LÄHTEET

- Cuporin www-sivut. 2013. Viitattu 1.7.2013. <http://www.cupori.com/fi>
- Gemini BV:n www-sivut. 2013. Viitattu 12.8.2013. <http://www.geminibv.nl>
- Harju, P. 2006. Vesi ja veden käyttö kiinteistöissä. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky
- HBM:n www-sivut. 2013. Viitattu 25.7.2013. <http://www.hbm.com>
- Ikonen, K. 1985. Paineiskukuormitukset putkistoissa. Rakenteiden Mekaniikka 4, 43
- Jäpölä, J. 2013. Tuotelaadun hallinnan päällikkö, Oras. Rauma. Haastattelu 3.7.2013.
- Keinänen-Toivola, M.M., Ahonen, M.H. & Kaunisto, T. 2007 Talousveden laatu Suomessa Vuosina 1984-2006. Vesi-Instituutin julkaisuja 2, Vesi-Instituutti/Prizztech Oy
- Kekki, T.K., Keinänen-Toivola, M.M., Kaunisto, T. & Luntamo, M. 2007 Talousveden kanssa kosketuksissa olevat materiaalit. Vesi-Instituutin julkaisuja 1, Vesi-Instituutti/Prizztech Oy
- Kupari.com. 2013. Viitattu 1.7.2013. <http://www.kupari.com>
- Kusnetsov, J. Vastaanottaja: marko.kukkasmaki@student.samk.fi Lähetetty 30.8.2013 klo 12:02 Viitattu 2.9.2013
- Laksola, J. 2007. Onnistunut putkistoremontti osa 2. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy
- LVI 12-10370. Putkistojen ja kanavien kannakointi. 2004. Rakennustietosäätiö RTS
- Miettinen, I. Vastaanottaja: marko.kukkasmaki@student.samk.fi Lähetetty 26.8.2013 klo 14:25 Viitattu 2.9.2013
- Oraksen www-sivut. 2013. Viitattu 5.7.2013. <http://www.oras.com/fi/consumer/Pages/Default.aspx>
- Orava, J. 2009. Living Lab –toiminta Suomessa. Seinäjoki: Innovaatio ja osaaminen -verkosto
- Prizztechin www-sivut. 2013. Viitattu 9.7.2013. <http://www.prizz.fi>
- Projektiuutisten www-sivut. 2013. Viitattu 9.7.2013. <http://www.projektiuutiset.fi>
- Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. Tampere: Tammertekniikka
- Raatikainen, M., Skön, J., Johansson, M., Keinänen-Toivola, M.M. & Kolehmainen, M. 2012. Analysing office building water network data using computational methods. Energy Procedia. Viitattu 3.9.2013. <http://www.sciencedirect.com>

Rauman Veden www-sivut. 2013. Viitattu 9.7.2013. <http://www.rauma.fi/vesi>

RYM OY:n www-sivut. 2013. Viitattu 19.8.2013. <http://www.rym.fi>

Rämö, M. 2012. Toimistorakennuksen käyttövesijärjestelmän energiatehokkuus. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.9.2013. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012090613452>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 1986. Paineisku vesihuoltoverkoissa. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL

Suomen RakMK D1. 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö

Terveysturvallisuuslaki. 1994. L 19.8.1994/763

Trafag:n www-sivut. 2013. Viitattu 26.8.2013. <http://www.trafag.com>

Uponorin www-sivut. 2013. Viitattu 1.7.2013. <http://www.uponor.fi>

Vallilan Raudan www-sivut. 2013. Viitattu 1.7.2013. <http://www.vallilanrauta.fi>