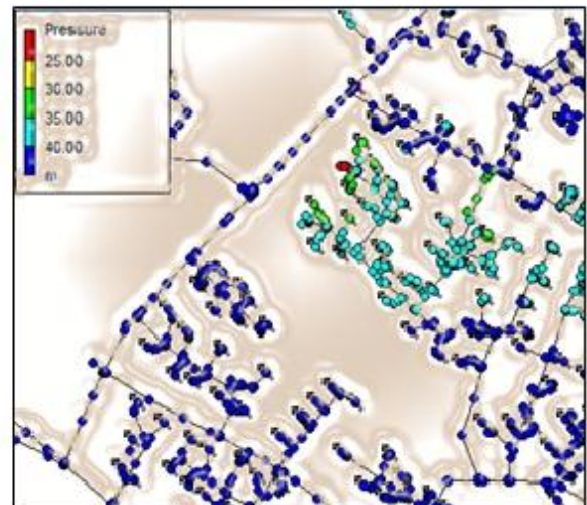
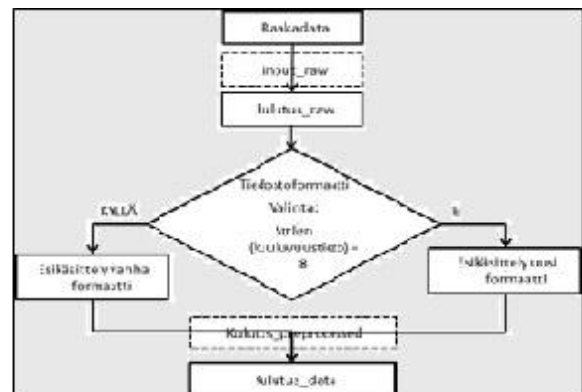


Vesijohtoverkoston reaaliaikainen hallinta – hanke loppuraportti

Kia Aksela (toim.)



Vesijohtoverkostojen reaaliaikainen hallinta – hanke loppuraportti

Kia Aksela (toim.)

Aalto-yliopisto

Insinööritieteiden korkeakoulu

Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

Vesitekniikka

Kansikuvat Kia Aksela

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	4
1 Esipuhe	6
2 Vesijohtoverkostojen hallinnan nykytilanne	7
2.1 Hydraulinen hallinta ja automaattinen mittarinluenta	7
2.1.1 Verkoston hydraulisen hallinnan suuntaukset	7
2.1.2 Kiinteistöjen vedenkäyttötietojen kerääminen automaattisella mittarinluennalla ja synergiamahdollisuudet muiden verkkoyhtiöiden kanssa	8
2.2. Verkstoveden laadunhallinta	10
2.2.1 Talousveden laatua koskeva lainsäädäntö	10
2.2.2 Juomaveden laadunmittaus – mihin nyt kyetään?	11
2.2.3 Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä	12
2.2.4 Vesiturvallisuuden kehittäminen – riskinarviointi ja hallinta	13
2.2.5 On line-mittaustekniikat ja vedenlaadun mallinnus	14
3 Hankkeen kuvaus.....	16
3.1 Yleistä hankkeesta	16
3.2 Tutkimuskohteet	18
3.2.1 Hämeenlinna	18
3.2.2 Kuopio.....	19
3.2.3 Pilot-koeverkosto	19
4 Vesijohtoverkoston mittaukset ja mittausjärjestelmät	21
4.1 Hydrauliset mittaukset verkostossa	21
4.2 Vedenkäytön mittaus – kiinteistöjen automaattinen mittarinluenta	21
4.3 Vedenlaadun mittaukset	24
4.3.1 Kenttäkokeet	24
4.3.2 Pilot -vesijohtoverkoston kontaminaatiokokeet	25
5 Vesijohtoverkostojen hallinta ja on-line tilannekuva	26
5.1 Vesijohtoverkoston hallintajärjestelmä tilannekuvan muodostajana	26
5.2 Yhdistettävät tiedot: staattiset ja dynaamiset tiedot, vedenkäytön mallit	29
5.2.1 Staattiset tiedot.....	29
5.2.2 Dynaamiset tiedot	32
5.2.3 Vedenkäytön mallinnus ja automaattisen mittarinluennan tarve	34

5.3 Vesijohtoverkostojen laatumittaukset.....	37
5.3.1 Hämeenlinnan verkostoseuranta.....	37
5.3.2 Kuopion verkostoseuranta	40
5.3.3 Pilot-verkoston mittaustuloksia	44
5.3.4 Laatumittausten analyysi ja mallintaminen	45
5.3.5 On-line laatumittausten soveltuvuus, sijoittaminen ja käyttö	51
6 Eräs etenemispolku vesijohtoverkoston hallinnan kehittämiseksi.....	53
6.1 Polku hydraulisen hallinnan kehittämiseksi	53
6.2 Polku veden laadunhallinnan kehittämiseksi	54
6.2.1 Lähtötietojen ja tavoitteiden kartoitus	55
6.2.2 Vedenlaadun monitoroinnin suunnittelu	56
6.2.3 Järjestelmän ylläpito ja siitä saatavat hyödyt	57
7 Yhteenveto ja loppusanat	58
Lähdeluettelo	60

1 Esipuhe

Vesijohtoverkoston rakentaminen on Suomessa aloitettu 1920-luvulla ja kokonaisuudessaan verkostoa on yli 90 000 km. Nykypäiviin saakka pääpaino on ollut uusien johto-osuuksien rakentamisessa. Uusinvestointipainotteisuuden ja hyvälaatuisen raakaveden runsauden seurauksena verkostojen kunnon hallinta ja huonokuntoisten osuuksien saneeraus ovat olleet sivurooleissa. Tästä on ollut seurauksena, että vuotovesimäärät ovat kasvaneet paikoin korkeiksi, putkirikot yleistyneet, suorituskykyindeksejä ei ole otettu kattavasti käyttöön, mittauksia verkostossa on vähän ja vesilaitoksilla olevat verkoston hallintajärjestelmät ovat eriytyneitä. Kokonaisuutena tilanne tänä päivänä on, että verkoston hydrauliset ja veden laatuhäiriöt havaitaan usein asiakaslähtöisesti, vasta vahingon tapahduttua. Tilanteen korjaaminen on välttämätöntä, mikäli palvelutaso halutaan säilyttää. Toisaalta viimeaikainen mittausten ja tietojärjestelmien kehittyminen tarjoavat huikeat mahdollisuudet verkostojen hydraulisen- ja omaisuudenhallinnan kehittämiseksi.

Vesijohtoverkoston reaaliaikainen hallinta – hankkeessa kehitettiin ratkaisuja vesijohtoverkoston hallintaan. Tavoitteina olivat staattisen ja dynaamisen tiedon tason parantaminen ja tietojen yhdistäminen, verkoston hallintajärjestelmän kehittäminen ja edelleen häiriötilanteiden nopeampi tunnistaminen sekä käyttöomaisuuden tehostunut hallinta. Hankkeessa kehitettiin myös veden laadunhallintaa verkostossa. Laadunhallinnan osalta hankkeessa testattiin verkosto-oloihin soveltuvien mittareiden toimintaa, määritettiin laadunhallinnan kannalta oleellisia seurattavia suureita sekä tutkittiin laatumittausten sijoittamista verkostoon siten että mahdolliset poikkeustilanteet ja mahdolliset kontaminaatiot olisivat havaittavissa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Tutkimusosapuolina hankkeessa olivat Aalto-yliopisto sekä Terveystieteiden ja Hyvinvoinnin Laitos. Lisäksi hankkeessa oli mukana yhteensä 19 vesi- ja/tai energialaitosta: Haminan kaupungin vesihuoltolaitos, Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, Jyväskylän Energia Oy, Kouvolan Vesi, Kuopion Vesi, Kymen Vesi Oy, Mikkelin Vesilaitos, Napapiirin Vesi, Oulun Vesi, Pietarsaaren Vesi, Porin Vesi, Porvoon Vesi, Savonlinnan Vesi, Tampereen Vesi, Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, Vaasan Vesi, Vantaan Energia Sähköverkot Oy, Ylä-Savon Vesi Oy, sekä 8 alan mittaus ja ohjelmistoratkaisuja toimittavaa yritystä: Keypro Oy, Lining Oy Ab, Logica Suomi Oy, Luode Consulting Oy, PAC-Solution Oy, PAMAS GmbH Suomi, Syspoint Oy ja Tekla Oyj, yhdistykset: Energiateollisuus ry, Vesilaitosyhdistys sekä Sosiaali- ja terveysministeriö ja Tekes.

Lämmin kiitos hankkeeseen osallistuneille.

Helsingissä 8.12.2012,

Kia Aksela

2 Vesijohtoverkostojen hallinnan nykytilanne

2.1 Hydraulinen hallinta ja automaattinen mittarinluenta

Kia Aksela ja Markus Piispanen

2.1.1 Verkoston hydraulisen hallinnan suuntaukset

Vesijohtoverkostojen hydraulisen hallinnan tavoite on taata korkeatasoinen asiakaspalvelu ja edelleen yhteiskunnan toiminnot. Verkoston hallinnan osatavoitteita ovat häiriöiden nopea havaitseminen, häiriöiden vaikutusalueiden tehokas rajaaminen mahdollisimman pieneksi sekä verkoston käyttöomaisuuden kokonaisvaltainen hallinta. Verkoston käyttöomaisuuden hallinnalla tavoitellaan häiriötilanteiden ennaltaehkäisyä sekä energiatehokkuutta muun muassa tehokkaasti kohdennettujen kunnan hallinnan toimenpiteiden, vuotovesijakeen pienentämisen (Aksela K., 2010) sekä energiahäviöiden minimoimisen kautta.

Perinteisesti verkostojen hallinta on ollut reaktiivista ja perustunut asiakkaiden yhteenottoihin. Häiriön kasvaessa riittävän suureksi ja aiheuttaessa palvelutason riittävän alenemisen on asiakkaan ilmoituksesta lähdetty paikallistamaan vikaa ja sitten pyritty mahdollisimman pikaisesti poistamaan vian aiheuttaja. Reaktiivinen lähestymistapa onkin toiminut, kun verkostot ovat olleet toimintakyvyltään uudehkoja, mutta verkosto-omaisuuden ikääntyessä tämä johtaa väistämättä toistuviin käyttöhäiriöihin, palvelutason laskuun sekä ylläpitokustannusten nousuun. Viime vuosina on laajasti tiedostettu tarve muuttaa reaktiivisuuteen perustuva verkoston hallinta proaktiiviseksi, jossa toimintahäiriöitä ennaltaehkäistään.

Proaktiivinen verkostonhallinta hyödyntää suorituskykymittareita keskimääräisen ja alueellisen kunnan arvioinnissa, ylläpidossa tehtyjä huomioita sekä eri hallintajärjestelmistä saatavia staattisia ja dynaamisia tietoja. Tulevaisuudessa verkostonhallinnan osana voidaan hyödyntää myös kiinteistöjen automaattista mittarinluenta joko kattavasti siten, että kaikki kiinteistöt ovat liitetty järjestelmään tai valikoiden hallinnan kannalta kriittiset kiinteistöt. Proaktiivisen verkostonhallinnan päätuotteita ovat verkoston tilan jatkuva tunteminen sekä päivittyvä, verkoston kuntoon ja kunnan kehittymisen ennakointiin pohjautuva saneerausten yleissuunnitelma.

Verkostojen tehokkaan hallinnan tekee haastaviksi se, että verkosto-omaisuutta ei voida visuaalisesti nähdä ja sen elinkaarenpituuteen vaikuttavat useat erilähteistä peräisin olevat tekijät, jotka voidaan luokitella fysikaalisiin tekijöihin, ympäristötekijöihin sekä käyttöön liittyviin tekijöihin. Tämän johdosta on mahdotonta laatia yleispäteviä verkoston mittarointi suunnitelmia joissa määritettäisiin esimerkiksi putkipituutta kohti sopiva verkoston hydraulisten ja laadullisten mittausten määrä sekä kiinteistöjen automaattisen mittarinluenta järjestelmän tarve ja laajuus. Myöskään yleispätevän saneerausten yleissuunnitelman laatiminen, joka perustuisi esimerkiksi putkien ikään, ei ole järkevää.

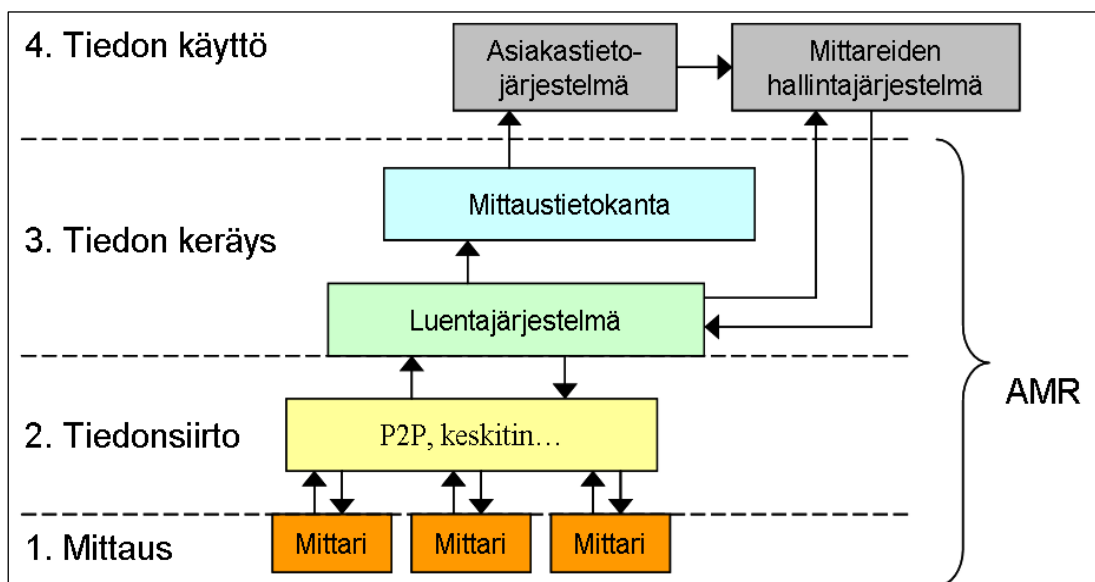
2.1.2 Kiinteistöjen vedenkäyttötietojen kerääminen automaattisella mittarinluennalla ja synergiamahdollisuudet muiden verkkoyhtiöiden kanssa

Asiakkaan vedenkäyttö mitataan säännöllisesti käyttöön pohjautuvan laskutuksen mahdollistamiseksi. Perinteisesti mittarinluenta on suoritettu manuaalisesti asiakkaan ja ajoittain, vähintään mittarin vaihdon yhteydessä, vesi-yhtiön toimesta. Manuaalinen luenta suoritetaan normaalisti kerran vuodessa. Tulevaisuudessa vesipuolellakin tulee harkittavaksi automaattiseen mittarinluentaan siirtyminen joko täysin kattavasti tai osittain valitsemalla järjestelmän piiriin kytkettävät kiinteistöt. Automaattisen mittarinluentajärjestelmän päätarkoitukset perinteiseen manuaaliseen luentaan verrattuna ovat: 1) minimoida tarve käydä mittarilla, 2) lyhentää luentaväliä ja parantaa asiakaspalvelua, 3) lisätä luennan oikeellisuutta ja 4) ajoittaa luenta samanaikaiseksi vedenkäyttöpisteillä sekä 5) edesauttaa verkoston hydraulista hallintaa erityisesti häiriöiden havaitsemisessa ja 6) tehostaa ylläpidon toimenpiteiden kohdentamista. Tässä yhteydessä vakavasti harkittavaksi tulee yhteistyö energiaverkkojen kanssa automaattisen mittarinluenta järjestelmän osalta, koska useita samanlaisia ja rinnakkaisia järjestelmiä ei kannattane kiinteistötasaisen tiedon keräämiseksi asentaa. Yhteistyömahdollisuuksien lisäämisen näkökulmasta tässä yhteydessä käydään läpi muun muassa laitevalmistajille asetettavia edellytyksiä, jotka tulisi täyttyä ennen kuin vesialalla kannattaa siirtyä laajamittaisesti automaattisen mittarinluennan piiriin. Laajemmin asiaa on käsitelty: ”Synergioiden saavutettavuus automaattisessa mittarinluennassa sähkö-, kaukolämpö- ja vesihuolto-yhtiöiden välillä” Piispanen, 2010.

Etäluentajärjestelmä voidaan jakaa toiminnallisiin kerroksiin kuvan 2.1.1 mukaisesti. Alin, mittauskerros, sisältää kaikki mittarin sisällä tapahtuvat toiminnot, kuten käyttö- ja mahdollisten laatusuureiden mittauksen, ohjaustoiminnot, paikalliset I/O-liitännät sekä tarvittaessa muun muassa asiakasnäytön. Tiedonsiirtokerros voidaan ajatella putkeksi ensimmäisen ja kolmannen kerroksen välillä, koska sen tehtävä on ainoastaan välittää viestejä molempiin suuntiin. Tiedonsiirtoyhteys itsessään usein kuitenkin koostuu useasta kerroksesta ja eri tekniikoista. Tiedonkeräyskerrokseen kuuluu luentajärjestelmä ja vedenkäytön mittaustietokanta, johon mittareiden käyttölukemat tallennetaan. Kolme ensimmäistä kerrosta muodostavat varsinaisen AMR-järjestelmän (*Automated Meter Reading System*), jonka päällä neljäs kerros, tiedon käyttö ja hyödyntäminen, toimii. Tiedonkäyttökerros koostuu muista tietojärjestelmistä, jotka hyödyntävät mittarinluentajärjestelmän tuottamaa tietoa.

Suurin osa markkinoilla olevista AMR-järjestelmistä käyttää patentoituja tiedonsiirtotekniikoita ja suljettuja rajapintoja. Järjestelmän skaalautuvuuden kannalta olisi tärkeää suosia avoimia rajapintoja sekä standardoituja tiedonsiirtotekniikoita, jolloin ei tarvitse sitoutua yhteen mittausjärjestelmätoimittajaan. Standardirajapintojen käyttö helpottaa myös yhteistyötä muiden jakeluverkkoyhtiöiden kanssa. Vesi-, sähkö- ja lämpö-yhtiöt voivat käyttää samaa AMR-järjestelmää, jossa yhteistyö keskittyy tiedonsiirto ja tiedon keräys vaiheisiin, kunhan kaikkien käyttämät mittarit tukevat samaa avointa rajapintaa. Standardoidun tiedonsiirtotekniikan käyttö takaa laitteiden saatavuuden useilta valmistajilta tulevaisuudessakin.

Mittareiden etäluenta yleistyy Suomessa tällä hetkellä voimakkaasti sähkönjakelu- ja kaukolämpöaloilla, joilla etäluennan kattavuuden odotetaan kasvavan jo hyvin lähelle 100 prosenttia seuraavan viiden vuoden aikana. Vesihuoltoalalla etäluentahankkeita ei vielä juuri ole, mutta alan kiinnostuksen odotetaan kasvavan muilla toimialoilla toteutettujen hankkeiden luoman osaamisen ja valmiin liiketoimintaympäristön myötä.



Kuva 2.1.1. AMR-järjestelmän rakenne toiminnallisiin kerroksiin jaettuna

Tarve automaattiseen mittarinluentaan siirtymiseen on erilainen eri toimialoilla. Sähkönjakelualalla muutostarpeen taustalla on lakimuutos, joka velvoittaa yhtiötä siirtämään kulutuspaikat etäluentaan vuoden 2013 loppuun mennessä. Kaukolämpöalalla lainsäädännöllistä etäluentavelvoitetta ei vielä ole, joten muutostarve perustuu pääosin taloudellisen hyödyn tavoittelemiseen. Vesihuoltoalalla tarve on toistaiseksi vähäinen, mutta kasvaessaan perustuu myös taloudelliseen etuun, joka on seurausta vesihuoltoverkostojen tehokkaammasta hallinnasta sekä mahdollisuudesta tarjota asiakkaille parempaa palvelua.

Tavoitteet automaattisen mittarinluennan tuomille hyödyille vaihtelevat eri toimialoilla. Tärkeä tavoite kaikilla on kustannusten säästäminen, mikä kuitenkin toteutuu eri toimialoilla eri tavalla. Sähkönjakelussa suoria mittarinluennassa syntyviä kustannussäästöjä tärkeämpää on järjestelmän mahdollistamien uusien ominaisuuksien avulla saavutettavat hyödyt, jotka lopulta näkyvät muun muassa välillisinä kustannussäästöinä ja asiakastytyväisyyden parantumisena. Vedenjakelussa, jossa automaattisen mittarinluennan mahdollistamia uusia ominaisuuksia on huomattavasti rajoitetummin, ovat suorat säästöt mittarinluennassa puolestaan tärkeämpiä. Kaukolämpöalalla painotus uusien ominaisuuksien ja suorien kustannussäästöjen välillä sijoittuu kahden edellä mainitun toimialan väliin.

Eri toimialoilla vallitsevista erilaisista lähtökohdista johtuen myös tiedonsiirrolle asetettavat tekniset vaatimukset poikkeavat toisistaan jonkin verran. Tällä hetkellä kaksisuuntainen tiedonsiirto on sähkönjakelualalla välttämätön ja kaukolämpöalalla tärkeä. Vesihuoltoalalla

sen sijaan riittää hyvin yksisuuntainen tiedonsiirto. Nämä erot eivät kuitenkaan merkittävästi haittaa toimialojen välisen yhteistyön toteuttamista, sillä kehittyneet sähkö- ja lämpöenergiamittarit mahdollistavat myös yksinkertaisempien vesimittareiden liittämisen samaan etäluentajärjestelmään edullista yksisuuntaista tiedonsiirtotekniikkaa käyttäen. Suurin tekninen este eri toimialojen järjestelmien integraatiolle on tiedonsiirtorajapintojen standardoinnin puute, mikä johtaa eri toimittajien laitteiden yhteensopimattomuuteen.

Toimialojen välisen yhteistyön kannalta paras vaihtoehto etäluennan lyhyen kantaman tiedonsiirron toteuttamiseen on avoin ja standardoitu radioverkkotekniikka. Langattomuus helpottaa asennusta etenkin järjestelmässä, johon liitetään eri toimialojen mittareita. Nykyaikaiset radioverkkotekniikat mahdollistavat myös paristokäyttöisten päätelaitteiden liittämisen tiedonsiirtoverkkoon, joten ainakin vesimittarit voidaan asentaa kokonaan ilman johdottamista. Helpottunut asennus laskee käyttöönottokustannuksia merkittävästi. Radioverkkojen kuulumuus eri olosuhteissa on kuitenkin askarruttanut alan toimijoita. Etenkin lämpöenergia- ja vesimittareiden sijainti talon kellarissa koetaan radiotekniikan kannalta haastavaksi. Kuulumuutta voidaan parantaa valitsemalla tähti-topologian sijaan tai rinnalle mesh-topologia, jossa radiolähettimet voivat kommunikoida kaksisuuntaisesti keskenään ja näin mahdollistaa useiden eri reittien käytön viestien välityksessä.

Vesihuoltoalalla etäluentajärjestelmälle asetettavat toiminnalliset vaatimukset ovat sähkö- ja kaukolämpöaloja vaatimattomammat, mikä johtuu siitä, että vesimittareihin ei kustannustehokkaasti voida yhtä monipuolisia lisäominaisuuksia sisällyttää. Tästä puolestaan seuraa, että hyvin pienillä lisäinvestoinneilla voidaan toteuttaa alan vaatimukset täyttävä etäluentajärjestelmä. Sähkö- ja kaukolämpöalalla vaatimukset täyttävän etäluentajärjestelmän toteuttaminen on selkeästi kalliimpaa. Vesiyritykset voisivat yhteistyöllä saavuttaa suhteellisesti suurempia synergiaetuja, koska jaettavat kustannukset suhteessa kokonaiskustannuksiin ovat pienemmät. Tässä esitettyjen näkökulmien lisäksi tulisi tarkastella myös energiayhtiöiden näkökulmasta kestäväan kehitykseen liittyvän yhteistyön mielekkyyttä, joka voi edellyttää muutosta sähkömarkkinalakiin toteutuakseen.

2.2. Verkstoveden laadunhallinta

Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

2.2.1 Talusveden laatua koskeva lainsäädäntö

Talusveden laatua ja valvontaa koskevat yleiset määräykset sisältyvät terveydensuojelulakiin 763/1994. Lain 20 §:n nojalla kunnan terveydensuojeluviranomaisen tehtävänä on valvoa talusveden laatua säännöllisesti. Yksityiskohtaiset talusveden laadun valvontaa koskevat määräykset on sisällytetty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksiin 461/2000 ja 401/2001. Talusveden laatuvaatimuksia ja valvontatutkimuksia koskevassa asetuksessa 461/2000 on otettu huomioon 25.12.1998 voimaan tulleen juomavesidirektiivin 98/83/EY vaatimukset ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta. Vaikka aivan kaikkia direktiivin vaatimuksia ei ole sisällytetty pieniä yksiköitä koskevaan asetukseen 401/2001,

on niidenkin toimittaman talousveden täytettävä mikrobiologiselle ja kemialliselle laadulle asetetut vaatimukset. Asetusten keskeinen tavoite on ihmisen terveyden suojeleminen.

Asetuksissa talousveden laadulle on asetettu sitovia, terveysperusteisia laatuvaatimuksia ja talousveden käyttökelpoisuuteen perustuvia laatusuosituksia. Laatuvaatimukset edellyttävät, että talousveden laatu täyttää mikrobiologisille muuttujille asetettujen enimmäistiheyksien ja kemialliselle muuttujille asetettujen enimmäispitoisuuksien vaatimukset. Laatusuositukset ovat osoitinmuuttujien enimmäispitoisuuksia tai tavoitetasoja, joita ei ole asetettu terveydellisiin perustein, mutta jotka hyvälaatuisen talousveden tulisi täyttää. Mikrobiologiset laatuvaatimukset on asetettu *Escherichia coli* -bakteerille ja enterokokeille. Näiden bakteerien löytyminen talousvedestä merkitsee aina välittömien toimenpiteiden käynnistämistä mahdollisen talousveden saastumisen selvittämiseksi ja talousveden käyttöön liittyvien terveyshaittojen ehkäisemiseksi. Kemiallisten laatuvaatimusten ylittyessä kunnan terveydensuojeluviranomaisen on arvioitava, liittyykö ylitykseen terveydellisen haitan mahdollisuus ja harkittava sen perusteella korjaavien toimenpiteiden kiireellisyys (Zacheus 2010).

Talousveden laadun säännöllinen valvonta koostuu jatkuvasta valvonnasta ja jaksottaisesta seurannasta. Usein jatkuvatoimisesti mitataan vain laitokselta verkostoon pumpatun veden laatua. Jatkuva valvonta painottaa talousveden aistinvaraista arvioimista ja mikrobiologisen laadun seuraamista. Jaksottaisella seurannalla selvitetään laatuvaatimusten täyttymistä verkostovedessä ja ne perustuvat terveysviranomaisten asettamiin veloitettaviksi tarkkailuihin sekä vesilaitosten omaehtoiseen tarkkailuun. Molemmissa näytteet otetaan manuaalisesti verkostosta ennalta määritetyn aikataulun mukaisesti. Jaksottainen seuranta sisältää kaikkien asetuksen muuttujien seurannan. Säännölliselle valvonnalle on asetettu vähimmäistutkimistiheys, joka riippuu vedenjakelualueelle toimitetun talousveden määrästä. Mitä enemmän jakelualueelle talousvettä toimitetaan, sitä enemmän talousvedestä edellytetään otettavan näytteitä (Zacheus 2010).

2.2.2 Juomaveden laadunmittaus – mihin nyt kyetään?

Juomaveden mikrobiologinen turvallisuus tulisi pystyä luotettavasti mittaamaan. Käytännössä talousveden laadunvalvonta kuitenkin keskittyy tällä hetkellä lopputuotteen laadun monitorointiin, mikä voi olla liian myöhäistä akuuttien haitallisten terveysvaikutusten ehkäisemiseksi. Normaalioloissa juomavesinäytteistä ei tutkita taudinaiheuttajamikrobien esiintymistä, vaan juomaveden mikrobiologinen turvallisuus varmistetaan suolistoperäistä saastumista ilmentävien indikaattoribakteerien avulla. Indikaattoribakteerien, *Escherichia coli* -bakteerin (*E. coli*), suolistoperäisten enterokokkien tai *Clostridium perfringens* -bakteerin havaitseminen juomavesinäytteestä tarkoittaa, että vesi on ulosteen saastuttamaa ja voi siten sisältää myös varsinaisia taudinaiheuttajamikrobeja, kuten norovirusia tai kampylobakteereita. Parhaana tuoreen ulostesaastutuksen ilmentäjänä pidetään suurina pitoisuuksina ihmisten ja tasalämpöisten eläinten suolistossa asustavaa *E. coli* -bakteeria (Tallon ym., 2005). *E. coli* -bakteerin esiintymisellä juomavedessä on kaikista veden laadun indikaattoreista suurin yhteys vesivälitteisiin infektioriskeihin ja sen esiintyminen talousvedessä kertoo veden saastumisesta ja välittömästä terveysriskistä. *E.*

coli -bakteeria ei kuitenkaan pidä sekoittaa yleensä samanaikaisesti vesinäytteestä mitattaviin muihin koliformisiin bakteereihin, jotka voivat suoliston lisäksi lisääntyä mm. maaperässä ja vesiympäristöissä. Yleisesti käytössä olevilla viljelymenetelmillä varmistetun *E. coli* -tuloksen saaminen kestää 2-3 työpäivää (ISO, 2000; Rompre ym., 2002) ja nopeimmillakin laboratoriokäytössä olevilla menetelmillä *E. coli* -analyysitulokset saadaan aikaisintaan vasta 18 h kuluttua näytteen saapumisesta laboratorioon (Pitkänen ym., 2009). Juomaveden hygieenisen laadun normaali testaus tapahtuu 100 ml:n eli yhden desilitran vesitilavuudesta. Sen sijaan juomavesivälitteisiä infektioita epäiltäessä tarvitaan tapausten selvittämiseksi taudinaiheuttaja-analytiikkaa, joka on indikaattoribakteerien testausta monivaiheisempaa, ja siten kustannuksiltaan kalliimpaa.

Asetuksen 461/2000 mukaisesti koliformisten bakteerien ja *Escherichia coli* -bakteerin määritykset ovat yleisin toimenpide Suomessa jaettavan talousveden mikrobiologisen laadun viranomaisvalvonnassa. Suomen viranomaisvalvonnassa näiden muuttujien osalta käytettäviksi on hyväksytty standardimenetelmät SFS-EN ISO 9308-1 ja SFS 3016 sekä kaupallinen Colilert-18 Quanti-Tray -menetelmä (IDEXX Laboratories). Esimerkiksi vuonna 2006 Suomessa mitattiin näitä molempia muuttujia noin 10 000 talousvesinäytteestä (Laboratorioselvitys, 2008).

Vaikka vesimikrobiologiset testausmenetelmät ovatkin nykyisin jo pitkälti standardoituja, entistä tehokkaampia menetelmiä veden mikrobiologisen laadun testaamiseen tarvitaan. Suurimmat haasteet liittyvät vesinäytteiden ottamisen ajoittamiseen ja viiveeseen ennen testaustuloksen valmistumista. Juomaveden saastumistapauksissa on tavallista, että vesinäytteitä lähdetään ottamaan vasta siinä vaiheessa, kun on herännyt epäily vesivälitteisistä infektioista. Näytteenoton jälkeen lisää aikaa kuluu, kun näyte toimitetaan laboratorioon. Laboratoriossa näyte konsentroidaan suodattamalla se bakteereja pidättävän kalvon läpi ja asettamalla tämä kalvo sitten valikoivalle kasvualustalle. Mikäli näyte sisältää tutkittavia bakteereja, kuten *E. coli* -bakteereja, kasvaa kalvolle silmin havaittavia pesäkkeitä. Laboratorioanalyysistä saadaan alustavia tuloksia aikaisintaan seuraavana päivänä näytteen saapumisesta. Tämän jälkeen perinteisillä standardimenetelmillä kestää vielä yhdestä jopa kolmeen päivään, ennen kuin *E. coli* -bakteeritulokset saadaan varmistettua.

2.2.3 Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä

Verkostoveden laatu on usean tekijän summa. Vesilaitokset käyttävät raakavetenään erilaisia vesiä, joiden ominaisuudet muokataan veden käsittelyssä jakeluun sopivaksi. Vedentuotannon raakavesinä käytetään pintavettä (37%), pohjavettä (52%) ja tekopohjavettä (11%) (Isomäki ym., 2008). Perusvaatimuksia vesilaitoksista lähtevälle vedelle ovat veden mikrobiologinen ja kemiallinen turvallisuus. Vesi ei myöskään saa olla jakeluverkostoa ja vesikalusteita korrodoivaa. Vesilaitoksilta lähtevän korkealaatuisen veden ominaisuudet voivat kuitenkin muuttua jakeluverkostossa. Muutokset ovat yleensä veden laatua heikentäviä. Merkittävin laadun lasku liittyy mikrobien kasvuun vesijohtojen pinnoilla. Mikrobien kasvu ja toiminta vesijohtoverkostossa saattaa myös heikentää veden kemiallista laatua. Nykyisessä vedenkäsittelyssä pyrkimyksenä on mahdollisimman kontrolloitu

desinfektiokemikaalien käyttö, mikä edellyttää hyvää jaettavan veden laatua ja virheetöntä jakeluverkoston kuntoa.

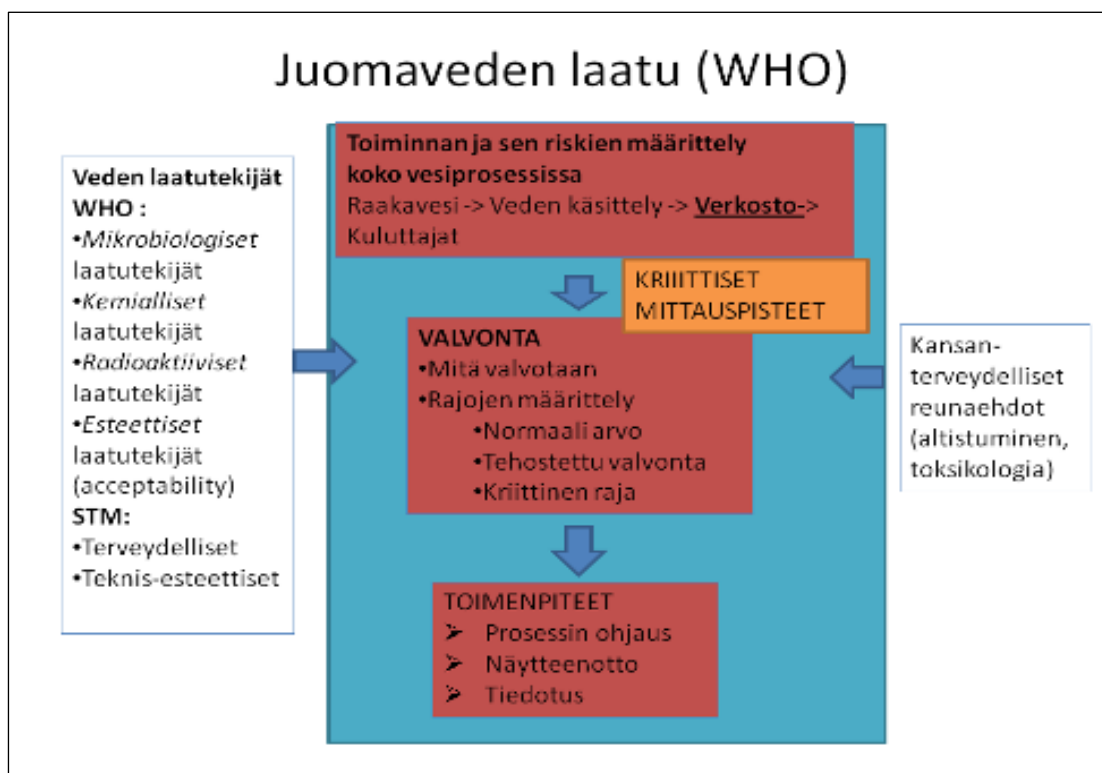
Verkostoveteen vaikuttavat myös verkostossa käytössä olevat materiaalit, verkoston pituus sekä veden virtauksen olosuhteet mm. viipymä. Talousveden viipymä verkostossa aiheuttaa veden ikääntymistä, joka voi näkyä erilaisina esteettisinä (haju, maku ja väri), sekä hygieenisinä laatuongelmina. Oman haasteensa verkostoveden laadunhallintaan aiheuttavat verkostojen pinnoille kerääntyvät löysät saostumat sekä biofilmit. Biofilmi syntyy, kun verkostovedessä oleva orgaaninen aines ja mikrobit kiinnittyvät ajan saatossa verkoston pintaan. Niiden tiedetään sisältävän keskimäärin jopa 10^6 - 10^8 solua/cm². Putkisto- materiaalin ominaisuudet vaikuttavat biofilmin syntyyn ja voivat myös toimia ravinne- lähteenä putkistojen biofilmeille. Biofilmien itsessään ei tiedetä aiheuttavan terveyshaittoja, mutta ne voivat sisältää erilaisia terveydelle vaarallisia mikrobeja (Batté ym., 2003). Orgaanisen aineen lisäksi putkistojen pinnoille kerääntyy epäorgaanisia aineita, yleensä rautaa, mangaania, alumiinia ja kalkkia. Saostumat aiheuttavat liikkeelle lähtiessään vähintäänkin ikäviä esteettisiä haittoja kuluttajille.

Talousveden laadunhallinta on nykyään keskittynyt kuluttajan hanasta tulevan veden laadunhallintaan, ei verkostoveden laatuun. Euroopan Unionin direktiivi 98/83/EC jakaa veden laadun tarkastelun yhteensä 48 mikrobiologiseen ja kemialliseen muuttujaan, joita viranomaisten tulee kuluttajan käyttämästä vedestä seurata. Veden laatu voi kuitenkin näiden raja-arvojen sisällä huomattavasti vaihdella. Veden laadun arvaamattomasta heikentymisestä on olemassa esimerkkejä, kuten vuonna 2007 tapahtuneen Nokian kaupungissa sattunut vesivälitteinen epidemia, jolloin vesijohtoverkostojen hallinnan parantamisen tarve tuli voimakkaasti esille. Epidemian aiheutti jäteveden puhdistamon kiinteistössä auki jäänyt venttiili, jonka kautta vesijohtoverkoston pääsi käsiteltyä jätevettä ja useita patogeenejä aiheuttaen laajan vatsatautiepidemian (Laine ym., 2010). Epidemian syy havaittiin vasta muutaman päivän päästä ja aiheutuneet vahingot muodostuivat massiivisiksi. Nokian kaltaiset esimerkkitapaukset osoittavat kuinka haavoittuvainen vesijohtoverkosto on ja kuinka sen laadunhallinnan parantamisella voidaan tehdä talousvedestä entistä turvallisempaa käyttää. Tosin vuosien 1998-2011 esiin tulleiden 75 vesiepidemian joukossa on vain kaksi tapausta jossa voidaan epäillä että jätevettä olisi päässyt juomavesiverkoston virhekytkennän tai takaiskuventtiilin toimimattomuuden takia.

2.2.4 Vesiturvallisuuden kehittäminen – riskinarviointi ja hallinta

Eri riskejä kartoittaessaan vesilaitokset voivat halutessaan toteuttaa talousveden tuotannon eri vaiheita koskevan riskinarvioinnin eli Water Safety Planin (WSP). Water safety planin ideana on laatia vesilaitokselle koko vedentuotantoketjun kattava suunnitelma. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitetaan koko tuotantoketjun toiminta. Sen jälkeen kartoitetaan riskit -> kriittisten kontrollipisteiden määrittäminen -> monitoroinnin suunnittelu -> toiminnan kehittämiseen ja ylläpitoon liittyvät toimenpiteet huomioiden luonnollisesti kaikki veden laadulle WHOn määrittämät parametrit (Kuva 2.2.1).

Eräs mahdollisuus WSP:n toteuttamisessa on ns. HACCP-analyysi (Hazard Analysis and Critical Control Points), jossa selvitetään tarkastelussa olevan prosessin, esim. veden tuotannon, eri vaiheita sen suhteen, onko niillä vaikutusta veden laatuun ja ennen kaikkea voidaanko niillä vaikuttaa veden laatuun. Ns. kriittisillä valvontapisteillä (KVP) tarkoitetaan prosessin vaiheita, joissa veden laatua voidaan sekä monitoroida että merkittävällä tavalla vaikuttaa itse veden laatuun esimerkiksi desinfioinnilla. Prosessin kriittisten valvontapisteiden valintakriteerinä voidaan käyttää myös sitä, millaisia seuraamuksia kyseisessä prosessin vaiheessa tapahtuva häiriö voi aiheuttaa. Perinteisin ja usein tehokkain veden tuotannon KVP on verkostoon syötettävän veden desinfiointi. Suurin haaste liittyy verkostoveden hallintaan ja merkittävien valvontapisteiden löytämiseen sieltä (Molarius 2004).



Kuva 2.2.1 Juomaveden laatuun vaikuttavat tekijät (WHO: www.who.int/)

2.2.5 On line-mittaustekniikat ja vedenlaadun mallinnus

Teknologiat, joita raakavesilähteiden suojelemisessa, veden tuotannossa ja verkostopuolen hallinnassa sekä mahdollisen kontaminaation havaitsemisessa käytetään vaativat vielä jatkojalostamista. Erityisesti niiden hyödynnettävyys riippuu mittauksen onnistumisesta ja mittaustietoon reagoimisen strategiasta (Storey et al., 2011). Yhdysvaltalaisen ympäristönsuojeluviraston U.S.EPAn mukaan parhaiten veden laatua voidaan monitoroida vapaan kloorin ja kokonaishiili-sensoreiden avulla, kun halutaan tunnistaa mikrobiologisia tai kemiallisia yhdisteitä (<http://www.epa.gov/nhsr/news/news021110.html>). Euroopan alueella, Itävallassa on tutkittu S:can sensorin mahdollisuuksia eri raakavesilähteiden kuvantajana. Spektroskopiaa hyödyntävässä tutkimuksessa havaittiin, että raakaveden laatu

voi vaihdella hyvin nopeasti ja, että on-line-mittauksessa useamman parametrin mittaus on tarpeen (http://www.s-can.at/medialibrary/publications/p_2006_05.pdf).

Suurimmilla suomalaisilla laitoksilla on ollut käytössä on-line sameusmittauksia esim. verkostoon syötettävän veden laadun valvonnassa. Aiempien Tarve, Vainu Ja Vesikko -projektien aikana on käynyt ilmi, että veden sameusmittaus ei ole ainoa keino mikrobiologisten kontaminaatioiden havaitsemiseen. Lisäksi on havaittu, että sameusmittaus ei ole läheskään yhtä herkkä havaitsemaan talousveden likaantumista, kuin vaikkapa partikkelien laskenta. Vesikko-projektin eräs loppupäätelmä oli se, että mikrobi-kontaminaation ollessa kyseessä tarvitaan todella voimakas kontaminaatio ennen kuin se voidaan havaita on-line sensorien avulla. Uuden on-line mittaustekniikan käyttöönoton edellyttää, että mittausjärjestelmät ja niiden sovellukset testataan kenttäolosuhteissa. Oleellista on myös selvittää, mitkä ovat ne kriittiset pisteet mihin sensorit tulisi sijoittaa kontaminaatioiden paikantamiseksi.

Tekniseltä kannalta talousveden laadun on-line mittausta ei pidetä ongelmattomana. On-line mittaukselle tyypillisiä piirteitä ovat ryömintä, hyppäykselliset muutokset, poikkeavat mittauks tulokset ja kohina. Mittausvirheiden erottamisesta on huolehdittava. Oikeiden mittaustulosten esille saaminen vaatii mittareiden säännöllistä huoltamista ja mittaustietoon tarkastelua. Jotta resursseja ei tuhlaantuisi mahdollisten väärin mittaustulosten aiheuttamiin toimenpiteisiin, tulisi suorittaa mahdollisten kontaminaatio-piikkien muodon ja korkeuden tarkastelu. Mittausten tarkastellessa huomio tulee kiinnittää erityisesti piikkien keston. Lyhytkestoiset piikit kuvaavat muutosta pienessä vesimäärässä, joten kiinnostavampia ovat piikit, jotka kestävät pidempään ja kuvaavat muutosta suuressa vesimäärässä ja ovat siten merkki suuremmasta muutoksesta ja mahdollisesta vakavammasta veden laatuongelmasta (Broeke., ym 2010; Kroll 2010).

Talousvesien on-line laadunmittauksia on suoritettu vuosikymmenien ajan ympäri maailmaa. Nykyisin ei enää pidetä riittävänä sitä, että havaitaan pelkästään laadun muutoksia, vaan niitä on kyettävä myös hyödyntämään niin, että on-line mittaustiedon avulla saadaan aikaiseksi tilannekuva esim. saastumisen leviämisestä ja mahdollisesti sen alkuperästä. (Hall ym. 2007; van der Broeke 2009) Modernit tietojen käsittelyjärjestelmät ovat johtaneet siihen, että lukuisat työryhmät ympäri maailmaa etsivät ratkaisuja, joiden avulla voidaan hallita verkostoveden laatua. On-line mittaustiedon hyödyntämistä matemaattisen mallinnuksen avulla on selvitetty erityisesti USAssa, mutta myös Euroopassa mm. EU-rahoitteisissa AWACCS-, Techneau- ja SecurEau-projekteissa. U.S.Epan kehittämä vapaasti käytettävissä oleva Epanet-ohjelmisto on yleisesti käytössä oleva mallinnusohjelma verkostovesien hydraulisen ja laadun muutosten seuraamiseen, jolla on mahdollista mallintaa sekä staattisia tai dynaamisia hydraulisia verkostomalleja. Hydraulisen verkostomallin "päälle" on mahdollista mallintaa erilaisiin kemiallisiin reaktioihin perustuvia laatu-malleja. Koska Epanet on ns. avoimen koodin ohjelma, on sen päälle rakennettu runsaasti erilaisia laajennoksia (<http://www.epa.gov>).

3 Hankkeen kuvaus

3.1 Yleistä hankkeesta

Kia Aksela

Lähtökohdan hankkeen käynnistymiselle loivat maassamme yleisesti tiedostetut vesihuolto-verkostojen rappeutuminen, saneerausvelka sekä kokonaisvaltaisen hallintajärjestelmän puuttuminen kuin myös veden laatuparametrien vähäinen mittaaminen vesijohtoverkostosta, joidenka seurauksena pahimmassa tapauksessa esimerkiksi likaantuminen tulee ilmi vasta epidemian synnyttyä.

Vesijohtoverkostojen reaaliaikainen hallinta – hankkeen tavoitteina olivat:

- staattisen ja dynaamisen tiedon tason parantaminen ja tietojen yhdistäminen
- verkoston hallintajärjestelmän kehittäminen ja prototyypin rakentaminen
- hydraulisten häiriötilanteiden nopeampi tunnistaminen
- verkosto-omaisuuden hallinnan tehostaminen
- kiinteistöjen vedenkäyttötietoja välittävän automaattisen mittarinluenta-järjestelmän testaaminen ja hyötyjen kartoittaminen
- verkostoveden kontaminaatioiden havainnoinnin kehittäminen
- veden laadun muutoksen hallinnan kehittäminen

Hankkeen kesto: 1.7.2008 – 30.6.2012

Kokonaisbudjetti: 1 498 854 €

Tekes rahoituksen osuus: 60% / 899 312 €

Ohjausryhmä ja rahoittajat:

Haminan kaupungin vesihuoltolaitos, Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, Jyväskylän Energia Oy, Kouvolan Vesi, Kuopion Vesi, Kymen Vesi Oy, Mikkelin Vesilaitos, Napapiirin Vesi, Oulun Vesi, Pietarsaaren Vesi, Porin Vesi, Porvoon Vesi, Savonlinnan Vesi, Tampereen Vesi, Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, Vaasan Vesi, Vantaan Energia Sähköverkot Oy, Ylä-Savon Vesi Oy, Keypro Oy, Lining Oy Ab, Logica Suomi Oy, Luode Consulting Oy, PAC-Solution Oy, PAMAS GmbH Suomi, Syspoint Oy ja Tekla Oyj, Energiateollisuus ry, Vesilaitosyhdistys sekä Sosiaali- ja terveysministeriö, Tekes.

Tutkimusalueet:

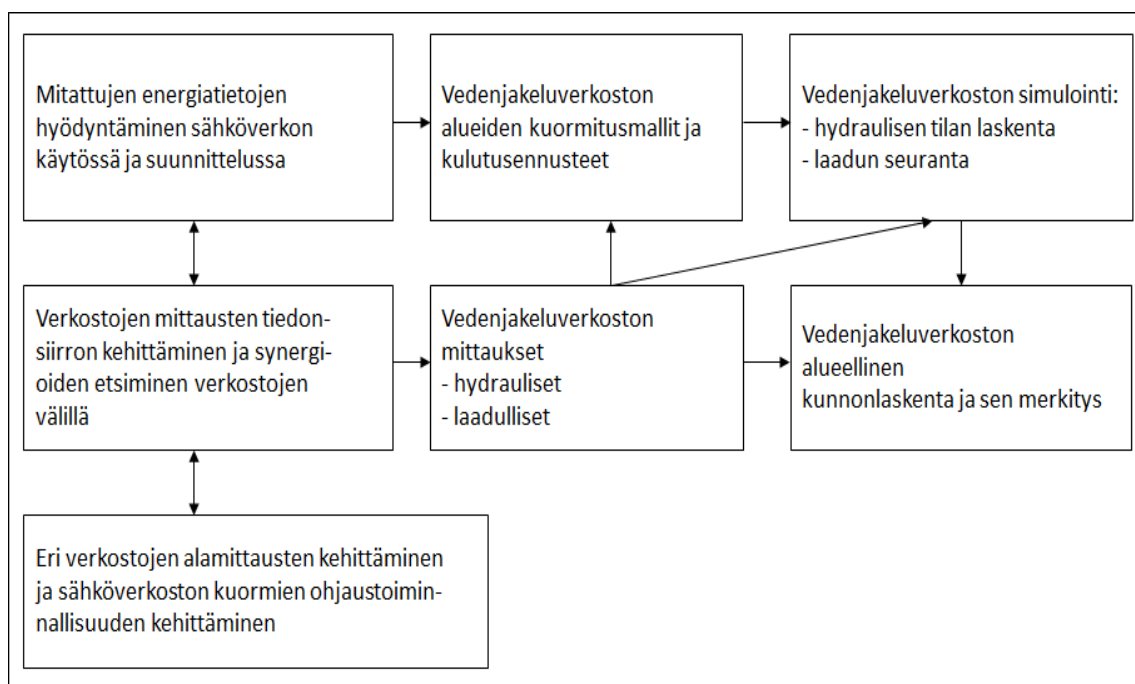
Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy

Kuopion Vesi

Hanke jakautui kolmeen osatehtävään:

1. Hydraulinen laskenta ja kunnon hallinta / Aalto-yliopisto Vesitekniikka
2. Kiinteistöjen automaattiset mittarinluentajärjestelmät / Aalto-yliopisto Sähkötekniikka
3. Veden laadunhallinta / Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos Ympäristöterveyden osasto

Osatehtävien linkittyminen on esitetty Kuvassa 3.1.1.



Kuva 3.1.1 Vesijohtoverkoston reaaliaikainen hallinta osatehtävät

Hydraulisen laskennan ja kunnon hallinnan osiassa luotiin verkoston on-line hallintajärjestelmän prototyyppi, joka hyödyntää sekä verkostossa olevia kaukokäyttöjärjestelmän välittämiä dynaamisia mittaustietoja ja kiinteistössä olevia automaattisen mittarinluennan (AMR) välittämiä vedenkäyttötietoja että staattisten hallintajärjestelmien (verkko- ja asiakastietojärjestelmät) tietoja. Tätä varten kiinteistöjen automaattiset mittarinluentajärjestelmät -osiossa kehitettiin automaattisen mittarinluennan järjestelmä johon kuuluvat kiinteistöihin asennetut vesimittareiden käyttölukemien luenta ja lähetyslaitteistot sekä tukiasemat, jotka toimivat kiinteistöjen vedenkäyttötietojen kerääjinä ja tietojen eteenpäin lähettäjinä vastaanottavalle serverille. Kehitetty verkoston hallintajärjestelmä mahdollistaa hydraulisten häiriöiden nopeamman tunnistamisen sekä verkosto-omaisuuden hallinnan tehostamisen.

Veden laadunhallinta osiossa selvitettiin veden laadun on-line mittausjärjestelmien toimivuus ja herkkyys erilaisissa koejärjestelmissä simuloitujen kontaminaatiotilanteiden avulla. Lisäksi testattiin veden laadun matemaattista mallinnusta, joka paljastaa kontaminaation laajuuden. Projektissa pyrittiin myös selvittämään, onko vedenjakeluverkostossa Water Safety plan:in (WSP) merkityksessä olevia kriittisiä valvontapistettä ja kuinka monta valvontapistettä tulisi olla siten että mahdolliset häiriöt havaittaisiin aikaisessa vaiheessa kuitenkin investointi- ja ylläpitokustannusten pysyessä kohtuullisella tasolla. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa testattiin eräiden markkinoilla olevien uusien on-line sensorien herkkyyttä. Laboratoriokokeiden avulla pyrittiin selvittämään sitä miten ja millaisia likaantumistilanteita mittausjärjestelmät voivat havaita. Koeverkostosta siirryttiin täyden mittakaavan kenttämittauksiin Hämeenlinnan ja Kuopion kaupunkien verkostoissa.

Tämä loppuraportti esittelee tiivistetysti hankkeen sisällön. Raportin luvussa 4 esitellään verkostoihin liittyvät mittaukset ja mittausjärjestelmät verkosto ja kiinteistötasolla sekä hydraulisten että laadullisten mittauksen osalta. Raportin luku 5 keskittyy verkoston hallintaan ja on-line tilannekuvan muodostamiseen verkostosta, lisäksi esitellään verkostoveden laatumittausten tuloksia. Luvussa 6 hahmotellaan polku vesilaitoksille verkostonhallinnan kehittämiseksi ja luvussa 7 esitellään yhteenveto.

3.2 Tutkimuskohteet

Kia Aksela, Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

Projektin kohdeverkostoina olivat Hämeenlinna ja Kuopio. Ennen verkostoissa tehtäviä veden laatu mittauksia toteutettiin pilot-vesijohtoverkostossa sarja suolakokeita, bakteeri-kontaminaatiokokeita sekä pitkäaikaista veden laadunseurantaa veden lämpötilan, sähkönjohtavuuden, pH:n ja sameuden osalta laadun muutosten havaitsemiseksi.

3.2.1 Hämeenlinna

Hämeenlinnan seudun vesi Oy (HS Vesi) jakaa vettä noin 70 000 asukkaalle. HS Vedellä on käytössä 10 vedenkäsittelylaitosta eri puolilla toiminta-aluetta. Laitokset ovat: Ahveniston tekopohjavesilaitos, pohjavesilaitokset Hakonummella, Hauholla, Isomäellä, Kylmälahdessa, Lammilla, Nummenkylässä, Pyssymäellä ja Sepänkaarteessa sekä Kalkkosen vedenkäsittelylaitos. Verkoston pituus on 826 km.

Hämeenlinnassa tutkimusalue oli osa HS Veden kantakaupungin verkkoa ja sijaitsi Vanajaveden itäpuolella. Vettä alueelle johdettiin pääasiassa Kylmälahden vesilaitokselta, mutta myös Ahveniston vesilaitoksen vettä virtasi alueelle laitosten ajotavasta johtuen.

Kylmälahden pohjavesilaitos sijaitsee Hattelmalan-Miemalan harjun läheisyydessä. Laitoksella raakaveden otto tapahtuu Alajärvestä sadevettä imeyttämällä Holstilan, Hattelmalan ja Ahveniston harjun läpi. Raakavetensä laitos saa tällä hetkellä neljästä

siiviläputkikaivosta. Laitoksella raakavesi alkaloidaan poistamalla hiilidioksidi ilmastustornien avulla. Hiilidioksidin poistuminen nostaa raakaveden pH:n arvoon 7,8 - 7,9. Tämän jälkeen vesi desinfioidaan UV-laitteiston avulla. Yleensä veden käsittelyssä ei käytetä kemikaaleja, mutta laitoksella on myös mahdollisuus pH:n nostoon lipeän avulla, mikäli pH ei jostain syystä nouse tarpeeksi ilmastustornien avulla. Vuonna 2009 laitokselta pumpattiin 1 623 775 m³ eli 4 450 m³/vrk talousvettä.

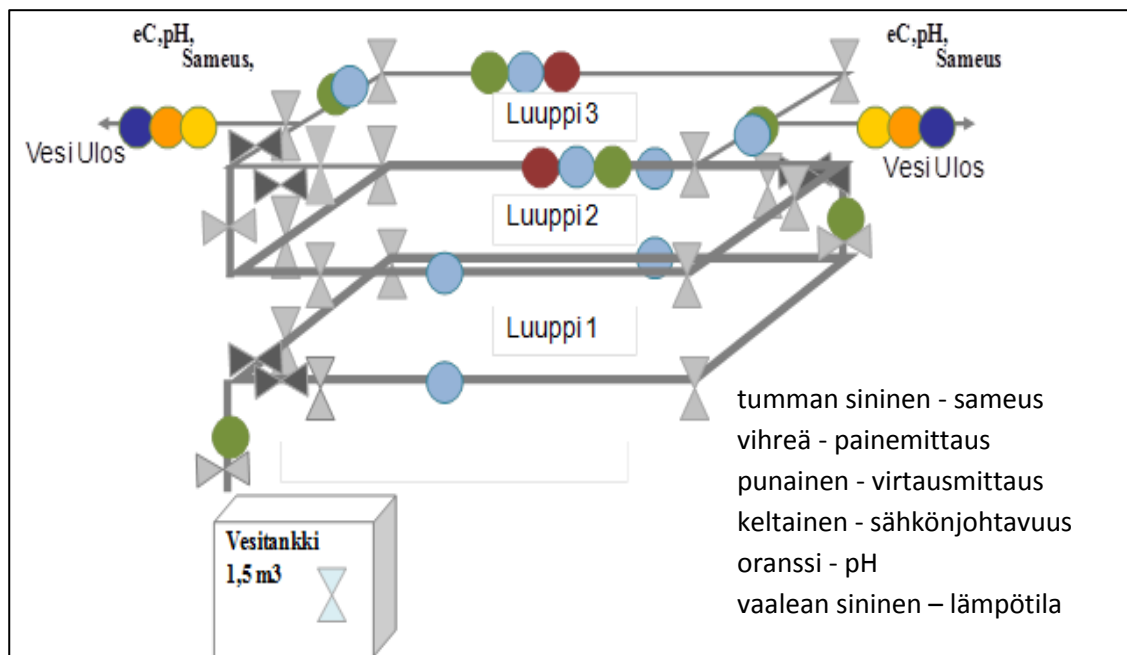
3.2.2 Kuopio

Kuopion Vesi jakaa vettä noin 90 000 asukkaalle. Laitoksen toiminta-alue kattaa keskeisen kaupunkialueen, sekä Melalahden, Kurkimäen, Vehmersalmen ja Karttulan asutusalueet. Laitoksella on omistuksessaan seitsemän vedenottamoja sekä noin 580 kilometriä vesijohtoverkosta.

Keskeisen kaupunkialueen veden kulutus on noin 16 500 m³/vrk. Kaupunkialueella toimii kaksi vedenottamoja: Jänneniemi ja Hietasalo. Hietasalosta vettä otetaan n. 6 000 m³/vrk ja Jänneniemestä loput. Vedenottamoiden vedenotto perustuu pääosin rantaimeytykseen. Jänneniemen vedenottamon raakavedestä poistetaan rauta ja mangaani biologisessa puhdistusprosessissa ja Hietasalon vesi käsitellään Itkonniemen vesilaitoksella kemiallisella puhdistusprosessilla. Ennen kulutukseen johtamista Jänneniemen ja Hietasalon vedet sekoitetaan ja lopuksi desinfioidaan klooraamalla. Viikonloppuisin Jänneniemen osuutta vedentuotannossa nostetaan. Laitoksen huoltojen aikana raakavesi otetaan suoraan Kallavedestä.

3.2.3 Pilot-koeverkosto

Projektissa hyödynnettiin Savonia -ammattikorkeakoulun tiloissa Kuopiossa sijaitsevaa pilot-vesijohtoverkosta (Kuvat 3.2.1, 3.2.2 a ja b). Pilot-järjestelmän avulla testattiin kontaminaatioiden simulointia ja verrattiin puhdistustoimien onnistumista. Käytössä oli kolmen luupin yhtenäinen verkosto, jotka kaikki muodostuivat PEX-putkista (Unipipe= polyetyleni-alumiini-polyetyleni). Verkoston pituus oli 400 metriä. Luupit yksi ja kaksi olivat sisähalkaisijaltaan 12 mm ja luuppi kolmonen 41 mm. Pilot-verkostossa oli käytössä kuusi painemittaria (Sitrans, Siemens, Saksa), kahdeksan lämpötilamittaria (ST21, Bürkert, Saksa), kaksi virtausmittaria (ST21, Bürkert, Saksa), kaksi pH -mittaria (Durafet III electrode, Honeywell), kaksi sähkönjohtokykyämittaria (Transmitter 8225, Bürkert, Saksa) ja kaksi sameusmittaria (1720E Low-range, HACH LANGE, Saksa) sekä UV-abs 254 nm mittaus (UVAS, Hyxo Oy, Suomi). Edellä mainitut mittarit olivat pilotissa kiinni omissa mittapisteissään, lisäksi bakteerikontaminaatiokokeiden aikana käytössämme oli on-line partikkelilaskin (S4031, PAMAS, Saksa), joka pystyttiin siirtämään haluttuun mittauspisteeseen.



Kuva 3.2.1 Pilot-verkoston periaatekuva- UV-abs mittaus sijaitsee silmukassa kolmoslinjassa vasemmalla olevan paine- ja lämpötilamittauksen kanssa



Kuva 3.2.2 a. Pilot-verkostoa Savonia-AMK:lla



b. Näytteenottohanoja Pilot- verkostossa

4 Vesijohtoverkoston mittaukset ja mittausjärjestelmät

4.1 Hydrauliset mittaukset verkostossa

Kia Aksela

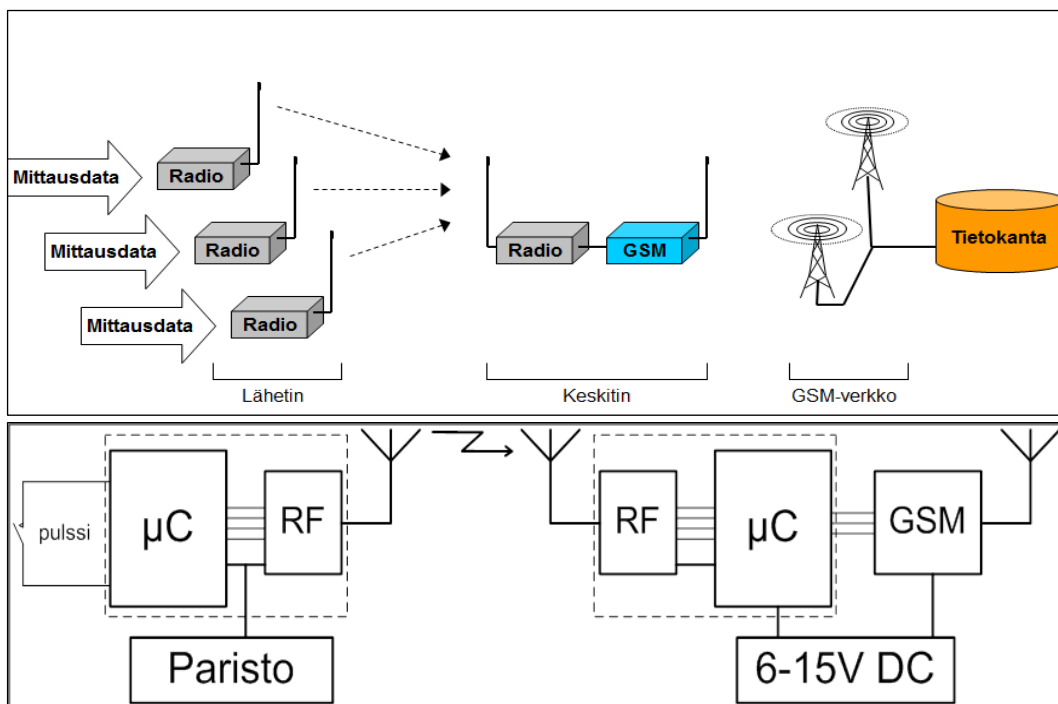
Hydraulisen hallinnan kehitystyö keskittyi HS Veden verkostoon, jossa tutkimusalueen verkostopituus oli noin 100 km. Kaikkiaan verkostoon rakennettiin hydraulisia mittauspisteitä 7 kappaletta. Näistä yksi mittasi Kylmälahdesta alueelle tulevaa vesimäärää ja painetta, neljä rajasivat alueen muusta verkostosta mitaten virtausta sekä painetta ja kaksi mittasivat painetta alueen sisällä. Edellä olevista mittauspisteistä alueen liittymiskohdissa muuhun verkostoon sijaitsevat pisteet mittasivat veden virtausta molempiin suuntiin ja palvelivat myös ympäröiviä verkostoalueita. Näiden kiinteiden, kaukokäyttöjärjestelmään liitettyjen mittauspisteiden lisäksi verkostosta suoritettiin väliaikaisia mittauksia erilaisten verkoston huuhtelu- ja valutustestausten yhteydessä sekä huuhtelupisteistä että alueella olevista palovesiasemista ja -posteista. Käytetyt hydrauliset mittarit edustivat yleisesti käytössä olevaa, luotettavasti toimivaa keskitasoa, joten itse hydraulisten mittareiden toimintaa ei tässä yhteydessä ollut tarvetta arvioida.

4.2 Vedenkäytön mittaus – kiinteistöjen automaattinen mittarinluenta

Markus Piispanen, Tatu Nieminen, Matti Lehtonen ja Kia Aksela

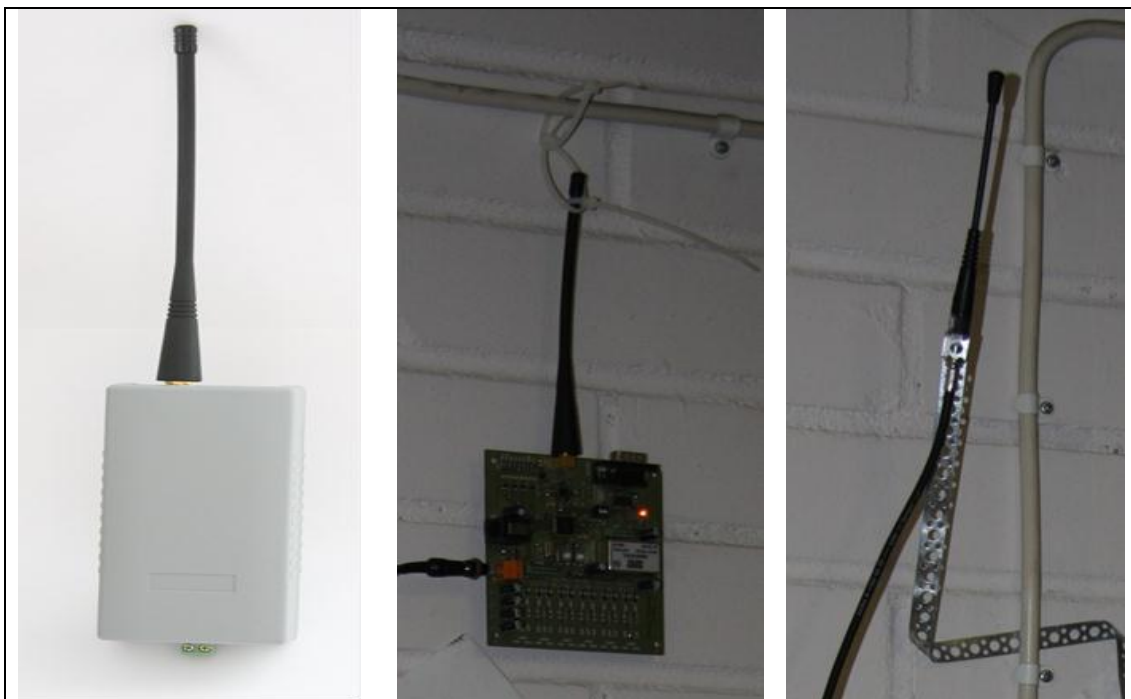
Asiakaskiinteistöjä tutkimusalueella oli noin 900 kpl. Alueen kiinteistöistä noin 91% oli kotitalouksia ja noin 9% ei-kotitalouksia, esimerkiksi yrityksiä, julkisia palveluja, kauppoja. Vedenkäytöstä kotitalouskiinteistöt vastasivat 56% osuudella ja ei-kotitalouskiinteistöt 44% osuudella. Noin 200 kiinteistöön asennettiin hankkeen puitteissa kehitetty mittarinlukija vesimittarin yhteyteen. Näissä kiinteistöissä vesilaitos vaihtoi vesimittarit impulssiulostulon sisältävään malliin. Automaattisen mittarinluenta järjestelmän tehtävänä oli seurata vedenkäyttöä ja lähettää vedenkäyttötietoja kiinteistöistä edelleen tukiasemille, joista ne siirrettiin vastaanotto- ja luentakoneelle. Automaattisen mittarinluennan järjestelmän piiriin pyrittiin saamaan lähes kaikki ei-kotitalouskiinteistöt sekä erityyppisistä kotitalouksista kattavat otokset.

Mittarinlukijalta impulssitieto lähetettiin 15 sekunnin välein langattomasti lisenssivapaalla taajuudella 434 MHz radioverkkotiedonsiirrolla keskittimille. Keskittimiltä useamman kiinteistön impulssitiedot siirtyivät GSM modeemin välityksellä aikaleimattuina tekstiviesteinä 30 minuutin välein vastaanottavalle serverille luentajärjestelmään. Testattu automaattinen mittarinluenta noudatti tähti-topologiaa ja periaate on esitetty kuvassa 4.2.1. Ratkaisussa kiinteistöjen mittarinlukijat varustettiin litium paristoilla, joten ulkoista energialähdettä ei tarvittu. Keskittimet puolestaan sijoitettiin sellaisiin paikkoihin, joissa ulkoinen energialähde oli saatavilla, esimerkiksi jäteveden pumppaamoille. Kuvassa 4.2.2. on esitetty automaattisen mittarinluennan laitteistoa kehitysvaiheessa ja kuvassa 4.2.3 on esitetty automaattisen mittarinluennan laitteisto kiinteistön vesimittarin yhteydessä sekä tukiasemia.



Kuva 4.2.1. Mittarinluennan periaate

Automaattisen mittariluennan haasteiksi hankkeessa tunnistettiin etenkin lyhyenkantaman, lisenssivapaaseen radiotiedonsiirtoon liittyvät kysymykset. Radioaallon etenemiseen vaikuttavat paitsi käytetty taajuus ja siihen liittyvä pieni lähetysteho (10 mW) myös antennin ominaisuudet ja sijoitus mahdollisuudet, maaston muodot, vuorokauden aika sekä vuodenaika ja ilmastotekijät. Lisäksi lisenssivapailla taajuuksilla on paljon muutakin liikennettä, joka haittaa tiedonsiirtoa. Tässä projektissa tehtyjen tutkimusten perusteella merkittävin kuuluvuuteen vaikuttava tekijä on radioaallon vaimentuminen mittarin ympärillä olevien rakenteiden johdosta. Vesimittarit sijaitsivat usein radiokuuluvuuden kannalta hankalissa paikoissa betonin vaimentaessa radioaaltoa erittäin tehokkaasti. Selkeästi tuli esiin ikkunallisten mittaritilojen mahdollistama merkittävästi parempi kuuluvuus. Antennin optimaalinen sijoitus ja oikea asento olivat ratkaisevassa asemassa etäluennassa käytettävän radiotiedonsiirron kuuluvuuden kannalta. Sääolosuhteilla ei havaittu olevan vaikutusta etäluennassa käytetyllä taajuusalueella tapahtuvaan lyhyen kantaman radiotiedonsiirtoon. Vuorokauden ajalla sen sijaan on selvästi vaikutusta kuuluvuuteen. Tutkimuksen perusteella kuuluvuus on keskimäärin hieman huonompi normaalin työpäivän aikana kuin muina aikoina. Radioverkon suunnittelussa ja testaamisessa kannattaa huomioida paitsi käytettävä taajuus ja lähetysteho, myös eri topologia mahdollisuudet. Hankkeessa testatun tähti-topologian sijaan osittaista mesh-topologiaa kannattaakin harkita.



Kuva 4.2.2. Automaattinen mittarilukija laitteisto kehitysvaiheessa



Kuva 4.2.3 Automaattisen mittarinluennan järjestelmä kiinteistössä sekä tukiasemat jätevedenpumppaamon yhteydessä ja kiinteistön huoltorakennuksen yhteydessä

4.3 Vedenlaadun mittaukset

Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

4.3.1 Kenttäkokeet

On-line verkostomittauksissa käytettiin kahta YSI-monikanavasensoria (Kuva 4.3.1); YSI 600XLM-V2-M ja YSI 6920-V2-M (www.ysi.com).

Verkostomittauksissa testatut parametrit olivat: lämpötila (°C), sähkönjohtavuus (µS/cm), pH, sameus (NTU), suolaisuus (ppt), ominaisvastus (Ohm*cm), liuennut kiintoaines (g/l) ja hapetus-pelkistys potentiaali (mV).

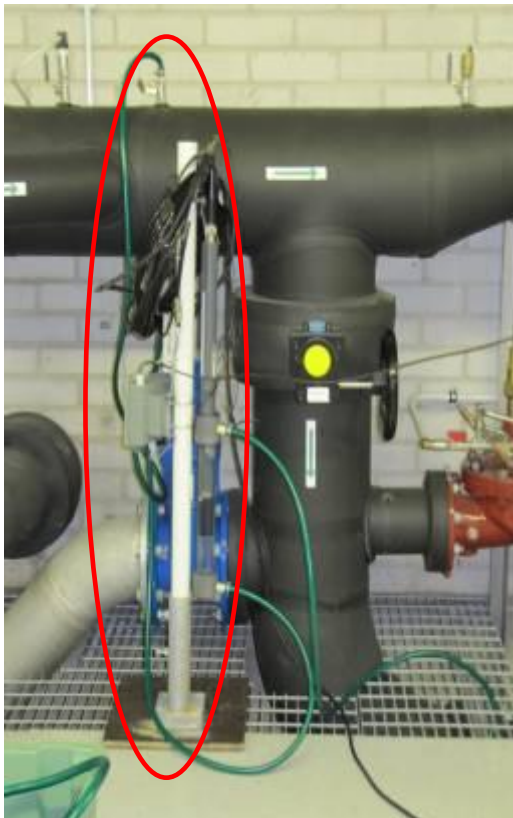


Kuva 4.3.1. YSI-sensori (YSI Calibration tips binder 1-26-09rev2)

Hämeenlinnan verkostoseuranta toteutettiin kahdessa pisteessä Kylmälahden pohjavesilaitoksella sekä Myllynkulmantien 18:ssä sijaitsevalla paineenkorotusasemalla (Kuva 4.3.2 a ja b). Myllynkulmantien 18:ssä sijaitsevalla paineenkorotusasemalla vettä voidaan pumpata Hämeenlinnasta Janakkalaan tai toisinpäin. Verkostoseuranta toteutettiin vuoden 2010 syys - lokakuun aikana.

Kuopion verkostoalueelta valittiin viisi verkoston seurantapistettä projektin käyttöön. Verkostoseurantapistteet olivat: Likolahden jäteveden pumpppaamo, Vip-tehtaan läheisyydessä sijaitseva kaivo, Taivalharjuntien päässä Kelloniemen alueella sijaitseva kaivo, Julkulan kaivo ja Savilahden jäteveden pumpppaamo. Kuopiossa verkostoseuranta toteutettiin vuonna 2011 helmi-syyskuun aikana.

Samaan aikaan on-line mittausten kanssa otettiin vesinäytteitä sekä on-line mittauspisteistä että muista verkostoista mukana olleista kohdepisteistä, joista analysoitiin Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen vesi- ja terveys yksikön vesimikrobiologian laboratoriossa seuraavia parametreja: lämpötila (°C), pH, sähkönjohtavuus (µS/cm) (Multi 3430 -mittari, WTW, Saksa), sameus (NTU) (WTW, Saksa), partikkelit (>0,5µm 1/10 -laimennos UP -vedessä) (PAMAS SVSS, Saksa), rauta (mg/l), kupari (mg/l) (DR5000, HACH Lange, Saksa), abs 254nm, abs 420nm (UV1601, Shimadzu, Japan), heterotrofinen pesäkelukumäärä, HPC (pmy/ml) R2A pintaviljelyllä (YVES TO1), koliformiset bakteerit (pmy/1000ml) CC-maljalle suodatettuna (YVES TO3) ja kokonaismikrobilukumäärä DAPI-värjäyksen avulla (soluja/ml) (YVES TO 10).



Kuva 4.3.2. a) YSI 600XLM-V2-M Hämeenlinnassa Kylmälahden vesilaitoksella ja b) YSI 6920-V2-M paineenkorotusasemalla

4.3.2 Pilot -vesijohtoverkoston kontaminaatiokokeet

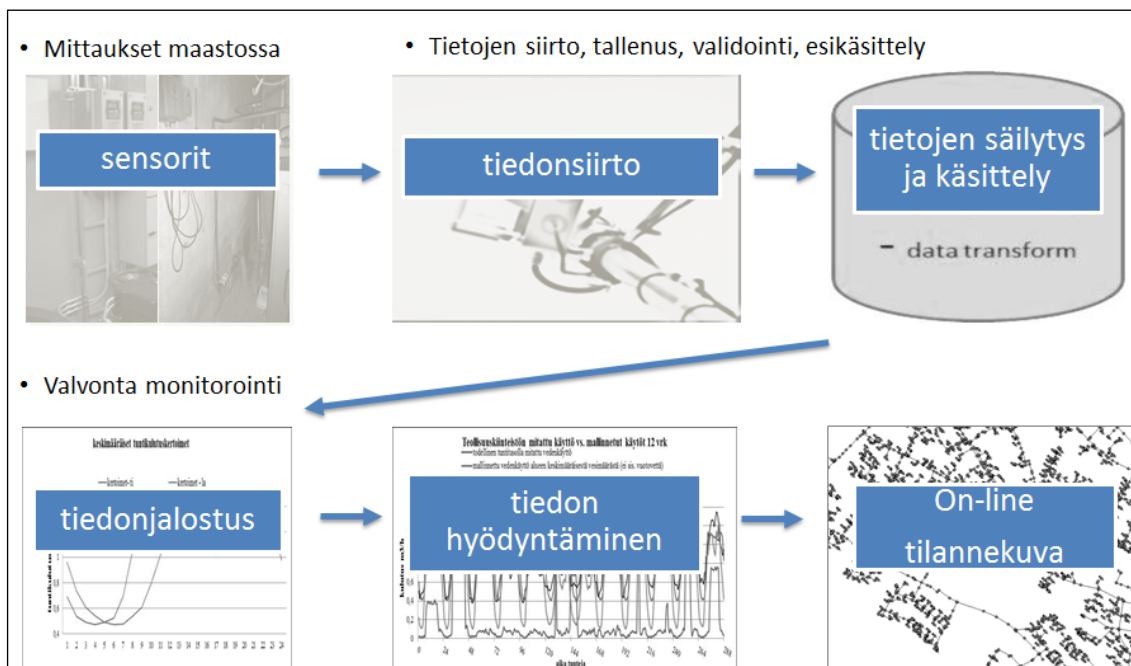
Ennen verkstoveden laatumittauksia toteutettiin 9 kuukauden pituinen veden laadun seurantajakso pilot-vesijohtoverkostossa ottamalla verkostosta näytteitä kolmesti viikossa. Bakterikontaminaatiokokeet suoritettiin syksyn 2009 ja kevään 2010 aikana ja niitä toteutettiin yhteensä seitsemän kappaletta. Kontaminaationa käytettiin 2000 ml:ä *E.coli* -bakteeria pitoisuuksina 10^6 pmy/ml. Sisäisenä merkkiaineena käytettiin 10% NaCl:a 10ml/2000ml (0,05%), jolloin bakterikontaminaation etenemistä pystyttiin seuraamaan merkkiaineen aiheuttamaa sähkönjohtavuuden muutosta mittaamalla. Yksi koe suoritettiin ilman merkkiainetta, jolloin saatiin testattua puhtaan bakterikontaminaation aiheuttamaa muutosta mitatuissa parametreissa. Kontaminaation kulku pilot -vesijohtoverkoston läpi kesti 1h 20min, kun vain oikeanpuoleinen osa verkostosta oli käytössä. Yhdessä kokeista testattiin PACS -liuoksen käyttöä desinfioinnissa.

5 Vesijohtoverkoston hallinta ja on-line tilannekuva

5.1 Vesijohtoverkoston hallintajärjestelmä tilannekuvan muodostajana

Kia Aksela

Hankkeessa kehitettiin kaikkia olemassa olevia verkoston perushallintajärjestelmiä kokonaisuutena hyödyntävä verkoston hallintajärjestelmä, jonka avulla on mahdollista paitsi havaita häiriöt aiempaa tehokkaammin, myös paikallistaa ne karkealla tasolla. Perustan järjestelmän toiminnalle luovat dynaamiset mittaukset maastossa verkoston mittauspisteissä ja tarvittaessa kiinteistöissä sekä mitattujen tietojen siirto, tallennus ja validointi mittautietokantaan. Tämän perustason toteuttaminen luo mahdollisuudet verkostonhallinnalle ja kannattaa toteuttaa huolella, vaikka on usein miten runsaasti aikaa ja resursseja kuluttava vaihe. Perustason ollessa kunnossa voidaan edetä tiedon jalostuksen kautta tiedon hyödyntämiseen ja siihen liittyvään häiriöiden havainnointiin ja edelleen alustavaan paikallistamiseen. Lopulta voidaan rakentaa simuloinnin tukemana verkoston on-line tilannekuvan välittävä järjestelmä. Eri verkoston hallintajärjestelmien tietojen synergiahyödyt yhdistyvät verkoston simuloinnissa, joka toimii verkoston mallinnusohjelmassa. Järjestelmän viimeisen vaiheen rakentamisessa tarvitaan myös staattisia tietoja. (Aksela K. et al., 2012 ja Aksela K., 2012) Prosessina verkoston hallintajärjestelmän toiminta mittaus-tapahtumasta tilannekuvan muodostamiseen on esitetty kuvassa 5.1.1.



Kuva 5.1.1 Verkostonhallintajärjestelmän toimintaprosessi tilannekuvan muodostamiseksi

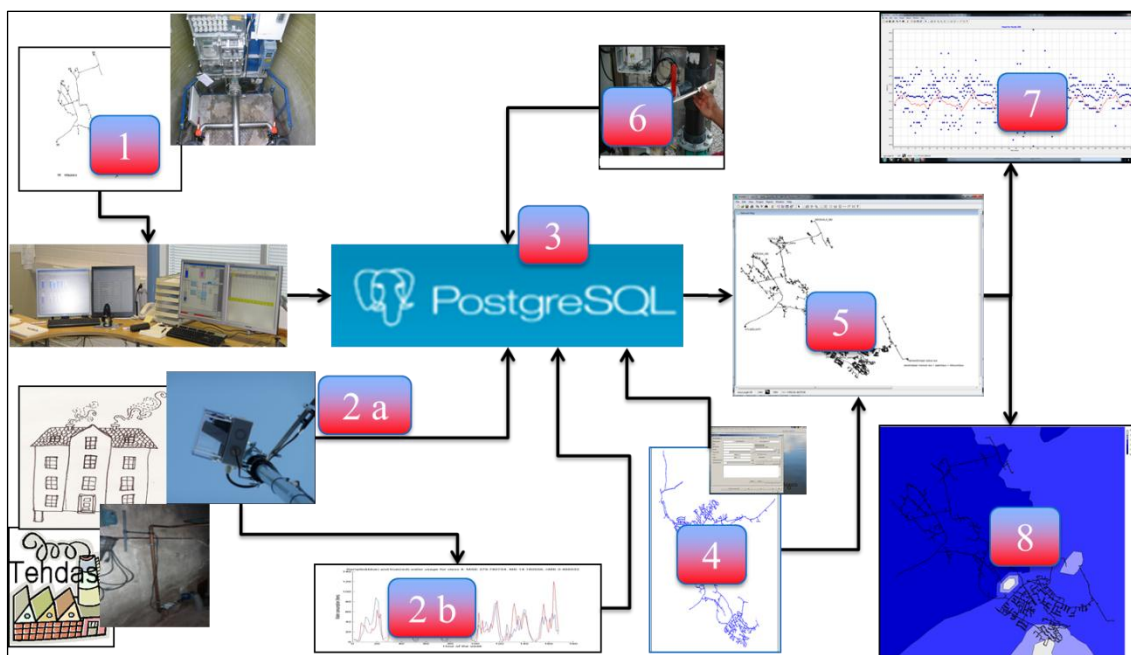
Verkoston mallinnuksessa vallitseva taso on runkoverkko mallien tekeminen, joka sisältää verkoston runkojohdot sekä merkitykselliset jakelujohdot. Nämä mallit kuvaavat verkostoa päätasolla, kertoen miten vesi verkossa liikkuu, kuinka kauan se on verkoston keskeisissä johto-osuuksissa ja kuinka päälinjojen kapasiteetti riittää. Tällaisen mallin avulla voidaan tehdä selvityksiä kapasiteettien riittävydestä toiminta-alueen laajentuessa tai vedenkäytön toiminta-alueen sisällä voimakkaasti muuttuessa. Toisaalta voidaan tehdä simulointeja kapasiteettitarkasteluista sammutusvesiin ja sprinklerilaitteistoihin sekä huoltotoimintoihin, esimerkiksi vesitornien tyhjennyksiin pesua ja korjausta tai vedenottamoiden katkoksia varten. Water safety planin hengessä päätason malleilla voidaan myös simuloida varavesilähteiden ja –yhteyksien toimintaa poikkeustilanteissa.

Tulevaisuudessa verkoston simuloinnissa otettaneen käyttöön myös kehittyneempi täyden paikkaresoluution mallinnus, johon on viety kaikki tai suurin osa verkoston johdoista sekä käyttöpaikat. Käyttöpaikkojen osalta vedenkäyttötiedot perustuvat nykyistä kehittyneempään vedenkäytön mallinnukseen sekä vedenkäytön mittaukseen hienommalla resoluutiolla. Perustason mallinnukseen nähden tämä tarjoaa mahdollisuuden tehokkaampaan verkoston-hallintaan kunnossapidon toimenpiteiden suunnittelun osalta. Kunnossapitoon liittyen esimerkiksi verkoston huuhteluita pystytään kohdentamaan nykyistä paremmin ja niiden vaikuttavuus todentamaan. Toisaalta täydenresoluution mallissa, johon on viety myös toteutuneet vedenkäyttötiedot käyttöpaikkatasolla on mahdollista simuloinnilla selvittää yksittäisiä verkoston lyhyempiä ja pienempiä johto-osuuksia joissa vesi seisoo pitkiä aikoja tai hahmottaa välityskykyä pienemmissä johtolinjoissa ja siten poimia näitä tarvittaessa ylläpito- ja huoltotoimenpiteiden piiriin.

Molemmissa edellä esitetyissä malleissa on mahdollisuus verkoston jatkuvaan dynaamiseen tarkasteluun, jossa simuloinnissa hyödynnetään ajantasainen verkoston rakenne verkkotietojärjestelmästä sekä päivittyvät vedenkäyttötiedot asiakastietojärjestelmästä ja alati muuttuvat dynaamiset mittaustiedot kaukokäyttöjärjestelmästä sekä mahdollisesti kiinteistöjen automaattisesta mittarinluentajärjestelmästä kuin myös vedenkäytön kiinteistötasoisia malleja. Kehittyneempää simulointia on mahdollista hyödyntää paitsi kunnan hallinnassa myös häiriöiden alustavassa paikallistamisessa sekä vaikutusalueiden hahmottamisessa häiriön tapahduttua, mikäli häiriön havaitsemisesta on huolehdittu dynaamisten mittausten analysoinnilla hyödyntämällä mittaustietokantaan tallennettuja verkoston mittaustietoja. Verkoston dynaaminen simulointi voidaan toteuttaa myös on-line, jolloin simuloinnissa dynaamisten tietojen päivitys tapahtuu halutulla aika-askeleella esimerkiksi vuorokausittain. Tällainen systeemi kehitettiin Sävel-hankkeessa. Sen etuna on tilannekuva-analyysin ajantasaisuus sekä häiriöiden alustava paikallistaminen hyvin lähellä niiden syntyhetkeä. Simulointiohjelman hyödyntämistä vuotojen alustavassa paikallistamisessa on esitelty kehitysvaihetta kuvaavassa työssä: ”Vesijohtoverkoston vuotojen paikannus simuloinnilla”, Eerola, 2012.

Kehitetyn vesijohtoverkoston hallintajärjestelmän komponentit on esitetty kuvassa 5.1.3. ja komponentit ovat seuraavat:

- | | |
|----|---|
| 1 | kaukokäyttöjärjestelmä/-t ja sen/niiden välittämät mittaustiedot verkostopisteistä |
| 2a | automaattinen mittarinluentajajärjestelmä ja sen välittämät tiedot vedenkäytöstä |
| 2b | automaattisen mittarinluentajajärjestelmän välittämien vedenkäyttötietojen pohjalta tehty kotitalouskiinteistöjen vedenkäytön mallinnus |
| 3 | kaikki dynaamiset tiedot yhteen kokoava mittaustietokanta, jonne myös tarvittavilta osin viedään tietoja verkko- sekä asiakastietojärjestelmästä tekstitiedostojen välityksellä |
| 4 | verkkotietojärjestelmästä tekstitiedostona saatavan digitaalisen kartan sekä tarvittavien ominaisuustietojen vienti simuloinnin lähtötiedoksi, vaihtoehtoisesti tämä työvaihe voidaan korvata piirtämällä verkosto manuaalisesti simulointiohjelmistoon |
| 5 | verkoston mallinnusohjelma, jonka avulla verkoston toimintaa voidaan simuloida |
| 6 | mahdollisten laatumittausten liittäminen simulointiin |
| 7 | häiriöiden vaikutusten mittauspistekohtainen tarkastelu |
| 8 | tilannekuvan muodostaminen ja mahdollisen häiriön vaikutusalueen hahmottaminen |

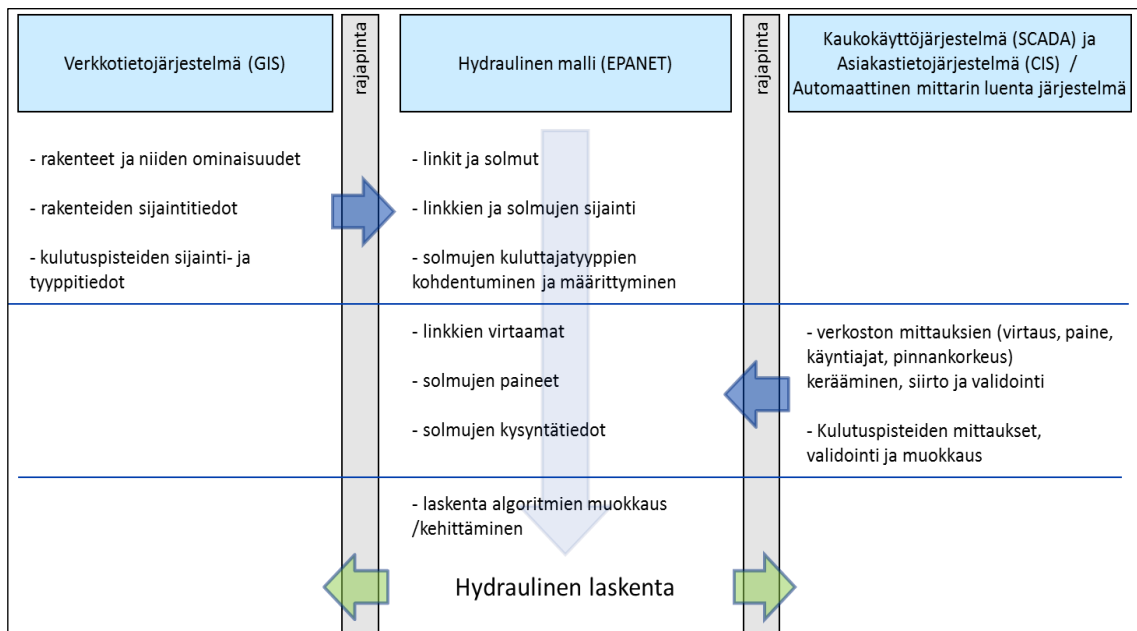


Kuva 5.1.3 Kehitetyn verkostonhallintajärjestelmän komponentit

5.2 Yhdistettävät tiedot: staattiset ja dynaamiset tiedot, vedenkäytön mallit

Kia Aksela

Verkoston hallintajärjestelmä hyödyntää vesilaitosten käyttämiä erillisiä perushallinta-ohjelmistoja, kuten asiakastietojärjestelmää, verkkotietojärjestelmää, kaukokäyttöjärjestelmää sekä hankkeen puitteissa myös automaattista mittarinluenta järjestelmää. Kuvassa 5.1.2 on esitetty verkostonhallinnassa käytettävät järjestelmät ja niiden väliset rajapinnat. Kehityksen mahdollistamisen kannalta vesilaitosten tilaajina ja verkostojensa tietojen omistajina tulisi vaatia monipuoliset rajapintaratkaisut järjestelmätoimittajilta siten, että kaikista järjestelmistä on mahdollista saada tiedot esimerkiksi taulukohtaisina tekstitiedostoina, linkitystiedoilla varustettuna hyödynnettäviksi yksittäisten järjestelmien ulkopuolella. Tämä takaisi vesilaitosten mahdollisuudet hyödyntää eri järjestelmien sisältämiä tietoja monipuolisesti ja riippumattomasti.



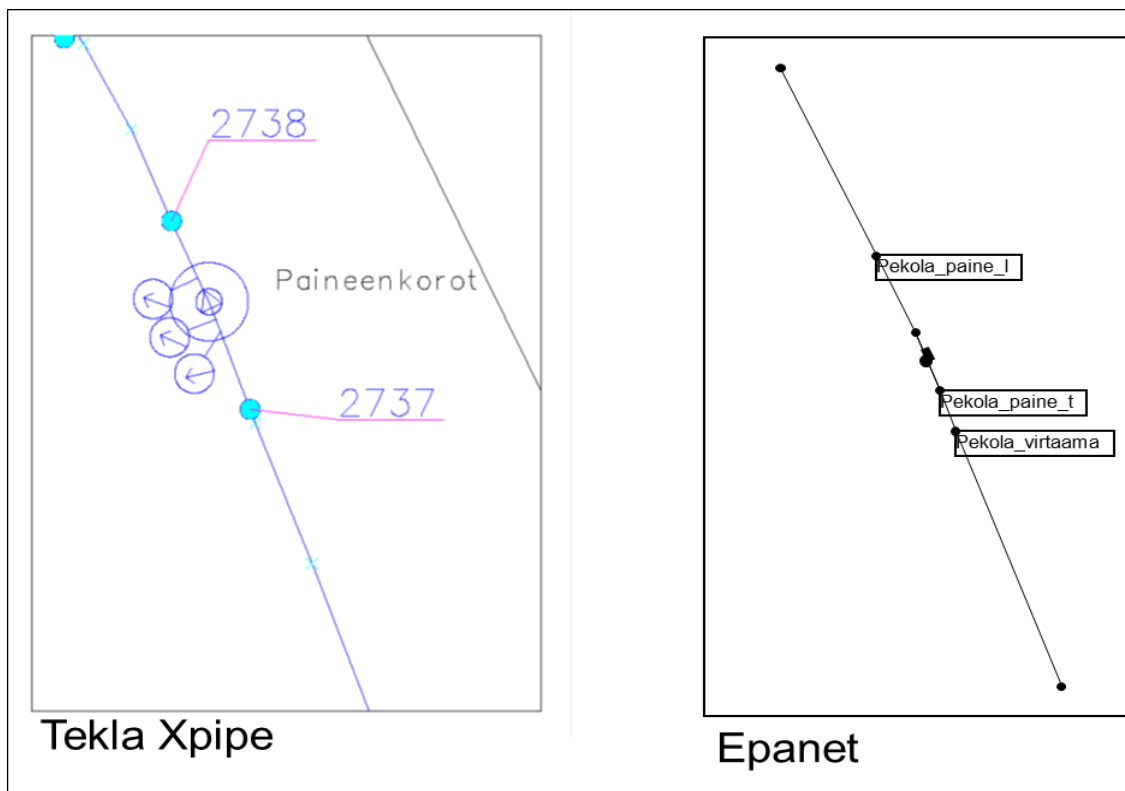
Kuva 5.1.2 Järjestelmien väliset rajapinnat

5.2.1 Staattiset tiedot

Järjestelmistä staattista tai hyvin hitaasti muuttuvaa tietoa hallitaan verkkotietojärjestelmässä. Verkkotietojärjestelmän perustehtävä on toimia digitaalisena karttana. Toinen verkkotietojärjestelmän perustehtävä on toimia ominaisuus- ja historiatietojen koottuna säilytyspaikkana, jossa ominaisuudet ja historiatiedot on kohdistettu digitaalisen kartan eri sijainneille. Kehittyneemmät verkkotietojärjestelmät tarjoavat verkoston perushallintaa edesauttavan lisäsovelluksen ylläpidon- sekä ennakoivan kunnossapidon ja huollon organisoimiseen sekä niiden yhteydessä verkostosta kerättävien tietojen järjestelmälliseen tallentamiseen ominaisuustietoina. Lisäksi kehittyneemmissä verkkotietojärjestelmissä on työkalu, joka kirjoittaa tietokantaan viedyt verkostojen sijainti- ja ominaisuustiedot esimerkiksi teksti-

tiedostoon siten, että eri tietojen linkitykseen käytettävät johtojen ja muiden varusteiden ja käyttöpaikkojen ID-tunnisteet ovat uloskirjoitettavissa tiedostoissa mukana yhtenä tietona.

Hankkeen puitteissa verkkotietojärjestelmää hyödynnettiin kattavasti kirjoittamalla siitä ulos verkoston topografia ja osa ominaisuuksista tekstitiedostona sekä kaikki verkoston kohteet ja ominaisuudet taulukkomuodossa. Vesilaitoksella verkoston topografia oli kokonaisuudessaan viety verkkotietojärjestelmään x- ja y-koordinaattien osalta mukaan lukien vedenkäyttöpisteiden sijainnit, jotka oli varustettu asiakastietojärjestelmän ID-tunnisteilla. Täydennyksenä käytiin läpi verkoston jatkuvuus / yhtenäisyys, tulppien sijainnit ja sulkuventtiilien tilat, lisäksi täydennettiin putkien halkaisija- ja materiaalitietoja vanhojen suunnitelma- ja valokuva-tarkasteluiden pohjalta. Verkkotietojärjestelmän tietojen osalta varmaksi tiedetty tieto oli esitetty järjestelmässä varmana ja muistikuvaan tai valistuneeseen perimätietoon pohjautuva tieto epävarmana, esimerkiksi rakennusvuosi noin 1978 tai rakennusvuosi 1970-luvun lopulla tai materiaalina muovi. Korkeustiedot verkoston kohteille otettiin Maanmittauslaitoksen maastomallista, joka vietiin verkkotietojärjestelmään. Kuvissa 5.2.1 a ja b on esitetty verkko-tietojärjestelmän sisältämien tietojen vienti simulointi ohjelmistoon mallin fyysiseksi rakenteeksi.



Kuva 5.2.1 a) Esimerkki mittausaseman fyysisen rakenteen viemisestä verkkotietojärjestelmästä simulointi ohjelmistoon

[TITLE]

HS-VESI_ESIM1: PAINEENKOROTUSASEMA

[JUNCTIONS]

;ID	Elev.	Demand	Pattern
;-----			
1	92.38		
2	92.82		
3	93.25		
4	93.69		
5	94.12		
6	94.56		

Solmut: solmujen ID-koodit

Korkeustiedot: korkeudet solmuille

[PIPES]

;ID	Node1	Node2	Length	Diam	Roughness	Mloss	Status
;-----							
1120509	1	2	3.18	160			OPEN
1661591	2	3	0.50	160			OPEN
1661592	3	4	0.73	160			OPEN
1120510	4	5	1.00	160			OPEN
1661593	5	6	2.41	160			OPEN

Putket: putkien ID-koodit, sekä liittyvien solmujen ID-koodit

Linkkien ominaisuuudet ja tilat

[PUMPS]

;taajuusmuuttajakäyttöinen

;ID	Node1	Node2	Properties
;-----			
P1	3	4	HEAD Curve1

Pumppulinkit: ID-koodi, alku- ja loppusolmut, pumppukäyrä

[LABELS]

;X-Coord.	Y-Coord.	Label	Anchor	Meter Type	Meter ID
;-----					
24370.72	70472.55	Pekola_virtaama	J2	Link	1661591
24370.54	70473.02	Pekola_paine_t	J3	Node	2
24369.86	70474.60	Pekola_paine_l	J4	Node	5

Verkostomittareiden yhdistäminen solmuihin ja linkkeihin

[COORDINATES]

;Node	X-Coord.	Y-Coord.
;-----		
1	24371.85	70469.57
2	24370.72	70472.55
3	24370.54	70473.02
4	24370.28	70473.70
5	24369.86	70474.60
6	24368.84	70476.79

Koordinaatit: solmujen ID-koodit sekä x- ja y-koordinaatit

- **Solmut:** solmujen ID-koodit
- Korkeustiedot: korkeudet solmuille

- **Putket:** putkien ID-koodit, sekä liittyvien solmujen ID-koodit
- Linkkien ominaisuudet ja tilat

- Pumppulinkit: ID-koodi, alku- ja loppusolmut, pumppukäyrä

- Verkstomittareiden yhdistäminen solmuihin ja linkkeihin

- **Koordinaatit:** solmujen ID-koodit sekä x- ja y-koordinaatit

Kuvat 5.2.1. b) Esimerkki mittausaseman fyysisen rakenteen viemisestä verkkotietojärjestelmästä simulointi ohjelmistoon, formaatti

Nykyisellään myös asiakastietojärjestelmän tiedot muuttuvat kohtuullisen hitaasti ja myös asiakastietojärjestelmää voidaan pitää staattista tietoa sisältävänä järjestelmänä. Asiakastietojärjestelmissä on usein selkeästi määritellyt rajapinnat, joiden kautta asiakastietojärjestelmästä on mahdollisuus siirtää haluttuja tietoja muihin verkoston hallintajärjestelmiin tai viedä järjestelmään tietoja muista järjestelmistä, kuten tulevaisuudessa automaattisesta mittarinluentajärjestelmästä. Myös tietojen uloskirjoittamiseen esimerkiksi tekstitiedostoihin on usein valmiudet, jolloin tarvittaessa on erinomaiset mahdollisuudet hyödyntää haluttuja tietoja muissa verkostonhallintaan käytettävissä tehtävissä.

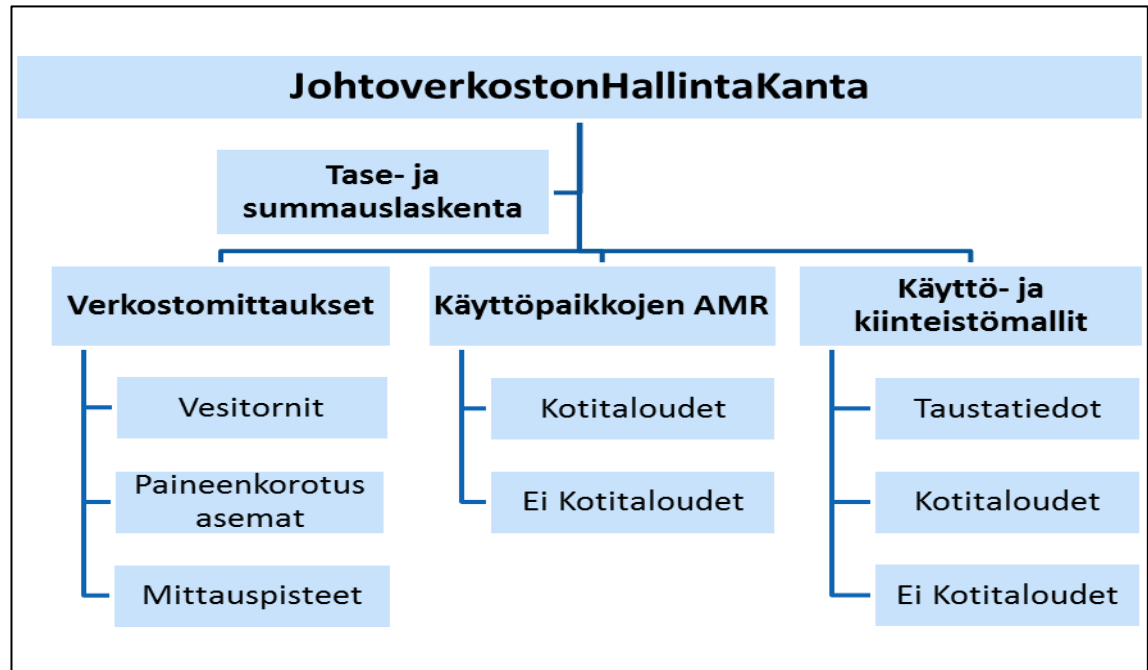
Kehitetyn hallinta järjestelmän kokonaisuutena toimimisen kannalta oleellisia asioita alkuvaiheessa staattisiin tietoihin liittyen olivat verkkotietojärjestelmän käyttö mahdollisimman laajana tietovarastona sekä asiakastietojärjestelmästä saatavien kiinteistöjen ID-tunnisteiden kattava käyttö kaikissa sovelluksissa muun muassa verkkotietojärjestelmässä ja kehitetyssä automaattisen mittarinluennan järjestelmässä.

5.2.2 Dynaamiset tiedot

Dynaamisia, alati muuttuvia, tietoja verkoston perushallintajärjestelmä sisältää kaukokäyttöjärjestelmä. Kaukokäyttöjärjestelmien toiminta ja käyttö on tänä päivänä erittäin vaihtelevaa ja perustason toiminnan määrittelyyn vesilaitoksilla olisi usein tarvetta panostaa. Perusasioina tulisi olla kaiken mitatun tiedon kerääminen yhteen tietokantaan. Tämä toteutuu automaattisesti, mikäli käytössä on vain yksi kaukokäyttöjärjestelmä, johon kaikki verkoston mittaukset on liitetty. Tilanteessa jossa on useita rinnakkaisia järjestelmiä tai jossa yhden kaukokäyttöjärjestelmän sivussa toimii joitakin tiedonsiirroltaan eri tavoin toimivia, osaan mittareita liitettyjä järjestelmiä on tietojen hallinta ja hyödyntäminen haasteellista, usein mahdotonta ilman manuaalista työtä, suljettujen rajapintojen vuoksi. Tällöin olisi suositeltavaa valita pääjärjestelmä, jonka rajapintoihin muiden rinnalla toimivien mittausjärjestelmätoimittajien olisi tarjottava rajapinta, jonka kautta näiden rinnakkaisten sivujärjestelmien tiedot voitaisiin siirtää pääjärjestelmän tietokantaan tai tietoturvasyistä pääjärjestelmän tietokannan kopioon, jonne voidaan ottaa yhteys myös pääjärjestelmän ulkopuolelta. Tällöin näiden rinnakkaisten järjestelmien tietoja voidaan hyödyntää tehokkaasti, koska ne saadaan liitettyä osaksi muita mittauksia, joka on perusvaatimus dynaamisessa verkostonhallinnassa.

Tulevaisuudessa, toista dynaamista tietoa käsittelevää, automaattista mittarinluentajärjestelmää vesilaitoksille mahdollisesti hankittaessa kannattaa hankinnan yhteydessä varmistaa, että järjestelmästä on toimiva rajapinta paitsi asiakastietojärjestelmään, myös kaukokäyttö- ja verkkotietojärjestelmiin. Tällöin automaattisen mittarinluennan tietokannasta olisi mahdollisuus siirtää halutuilla resoluutiolla tietoja hyödynnettäviksi asiakaspalvelussa ja laskutuksessa sekä osana verkostonhallintaa.

Kehitetyn verkostohallintajärjestelmän toimintaedellytys on dynaamisten mittausten käsittelyyn ja yhdistämiseen soveltuva mittaustietokanta. Tähän tietokantaan kootaan keskitetysti kaikkien dynaamisia tietoja välittävien järjestelmien tiedot. Kuvassa 5.2.2 on esimerkki dynaamisen mittaustietokannan sisältämistä mittaustiedoista.



Kuva 5.2.2 Esimerkki dynaamisen tietokannan sisältämistä tiedoista

Dynaamisten mittaustietojen tietokannan tehtävänä on paitsi tallentaa mittaustiedot vesilaitoksella kaikissa järjestelmissä käytettävien kohdekohtaisten ID-tunnisteiden mukaisesti, myös näiden mittaustietojen validointi. Validoinnissa huolehditaan siitä, ettei mittausvirheet tai virheet tiedonsiirrossa pääse etenemään verkostohallintajärjestelmään vaan ne havaitaan ja virheelliset tiedot tyhjennetään ja kirjoitetaan ilmoitus logitiedostoon ja tarvittaessa lähetetään hälytys valvojalle. Validoinnissa poistetut tiedot voidaan korvata mallinnetuilla keskimääräisillä tiedoilla. Tämä mahdollistaa verkoston tilannekuvan muodostamisen tilanteessa jossa osa mittaustiedoista on virheellisiä. Mittaustietokannassa tapahtuu myös perustaselaskennan laskutoimitukset esimerkiksi alueellisten suorituskymittareiden laskemiseksi. Lopuksi tietokannasta vielä kirjoitetaan simulointiin tekstitiedostot (kuva 5.2.3).

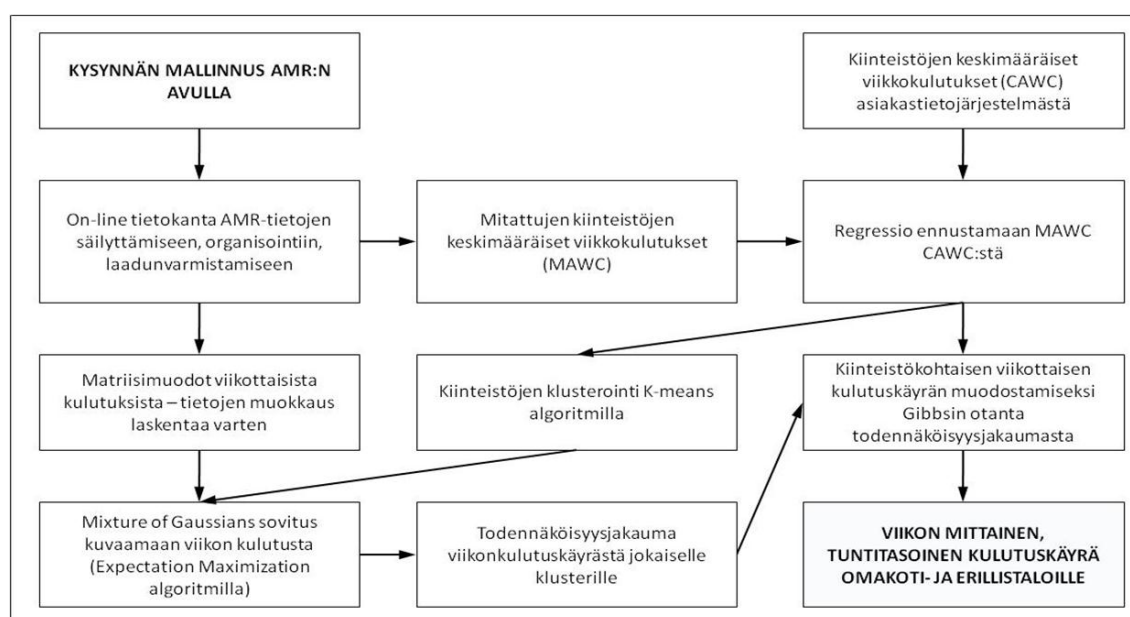
The screenshot shows a text file named 'consumption2011.txt' with a header indicating the date range from 2011-10-17 to 2011-10-21. The data is organized into columns representing different consumption points and their values. The file is opened in a Notepad application.

Kuva 5.2.3 Esimerkki dynaamisten mittaustietojen tiedostosta

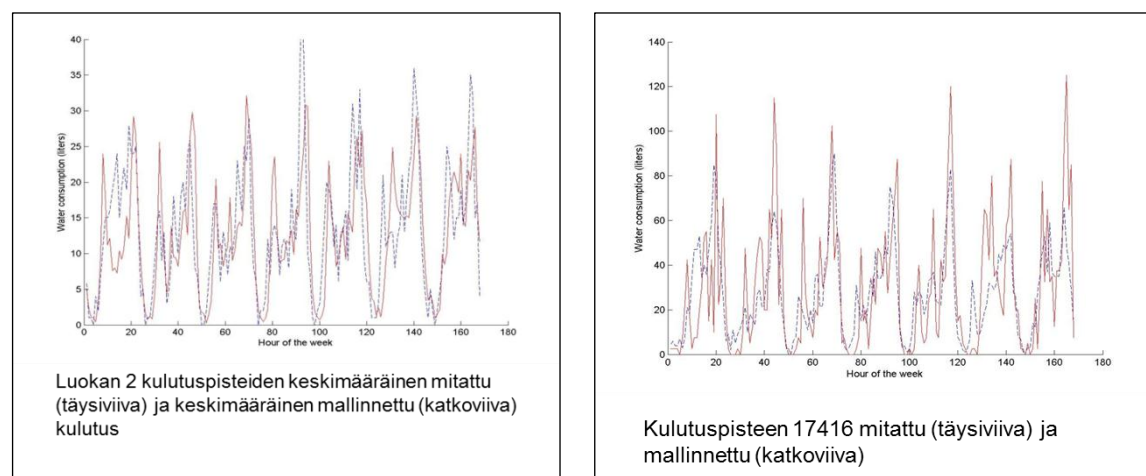
5.2.3 Vedenkäytön mallinnus ja automaattisen mittarinluennan tarve

Kotitaloudet

Automaattisen mittarinluentajärjestelmän välittämien mittausten pohjalta oli mahdollisuus kehittää vedenkäytön mallinnusalgorithmi ja edelleen mallintaa vedenkäyttöä sellaisten kotitalouksien osalta joissa ei ollut automaattisen mittarinluennan laitteistoa ja joista täten saatiin vain kerran vuodessa manuaalisesti luettu vedenkäyttötieto. Hankkeen puitteissa luotiin mallit muodostetulle kotitalousluokille, jotka edelleen yksilöllistettiin kiinteistötasolle vuosittaisen vedenkäytön mukaan (kuva 5.2.3). Kuvassa 5.2.4 on esitetty vedenkäyttöluokan 2 malli ja luokkamallista edelleen yksilöity kiinteistön vedenkäyttöä kuvaava malli. (Aksela K. ja Aksela M. 2010)



Kuva 5.2.3 Vedenkäytön mallinnus kiinteistötasolla pohjautuen AMR-mittauksiin



Kuva 5.2.4 Vedenkäytön malli kulutusluokalle ja yksittäiselle kotitalous kiinteistölle

Kotitalouksien vedenkäyttö on luotettavasti mallinnettavissa, koska suurin osa kotitalouksista noudattaa samaa vuodenaika- ja viikkorytmiä. Toisaalta poikkeuksellisten elämänrytmien ja loma-aikojen käyttökätköt eivät vaikuta verkoston hallinnassa yksittäisten kotitalouksien käyttämän veden määrän ollessa todella pieni verrattuna verkostoon pumpattuun kokonais-vesimäärään. (Aksela et al. 2011) Vertailtaessa vedenkäytön mallinnuksella saatavia kiinteistökohtaisia vedenkäytön profiileita sellaisiin vedenkäytön profiileihin jotka on muodostettu suhteuttamalla kiinteistön vedenkäyttö alueen vedenkäytön määrään tai alueelle virtaavaan veden määrään, joka sisältää vuotovesiosuuden todettiin mallinnuksella saatavan tarkimpia tuloksia. Pistokokein tehdyissä tarkasteluissa mallinnuksella virhe todelliseen vedenkäyttöön verrattuna oli 0,13%, kun virhe muodostettaessa kiinteistötasoiset vedenkäytöt alueen vedenkäytön määrän pohjalta oli 6,4% ja muodostettaessa kiinteistötasoiset vedenkäytöt alueelle virtaavaan veden määrän pohjalta oli 10%.

Ei-kotitaloudet, esim. teollisuus, kauppa, liikelaitokset tms.

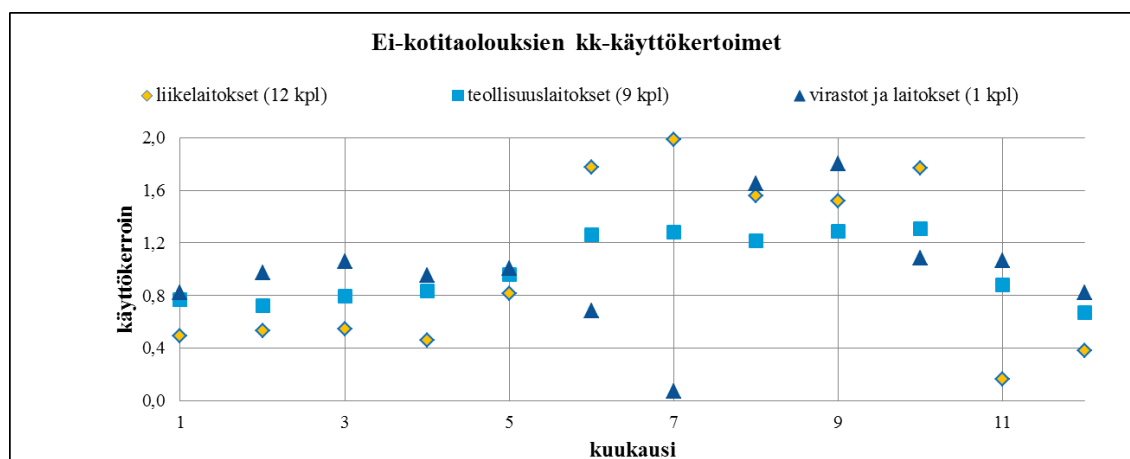
Automaattisen mittarinluennan ei-kotitalouskiinteistöistä välittämien vedenkäytön mittaus-tulosten pohjalta oli selkeästi pääteltävissä, ettei yleispätevää mallia näille kannata tehdä. Vedenkäyttöä on esitetty taulukossa 5.2.1 ja siitä nähdään, että vedenkäyttö vaihtelee voimakkaasti normaalipäivän vedenkäytön ympärillä, ollen vain 0,2% minimi vedenkäyttö-päivänä (aineistosta karsittu pois päivät jolloin vettä ei käytetty lainkaan) ja 414% maksimi vedenkäyttöpäivänä. (Aksela et al. 2011)

Taulukko 5.2.1 Esimerkkejä ei-kotitalouskiinteistöjen vuorokausittaisessa vedenkäytön vaihtelusta

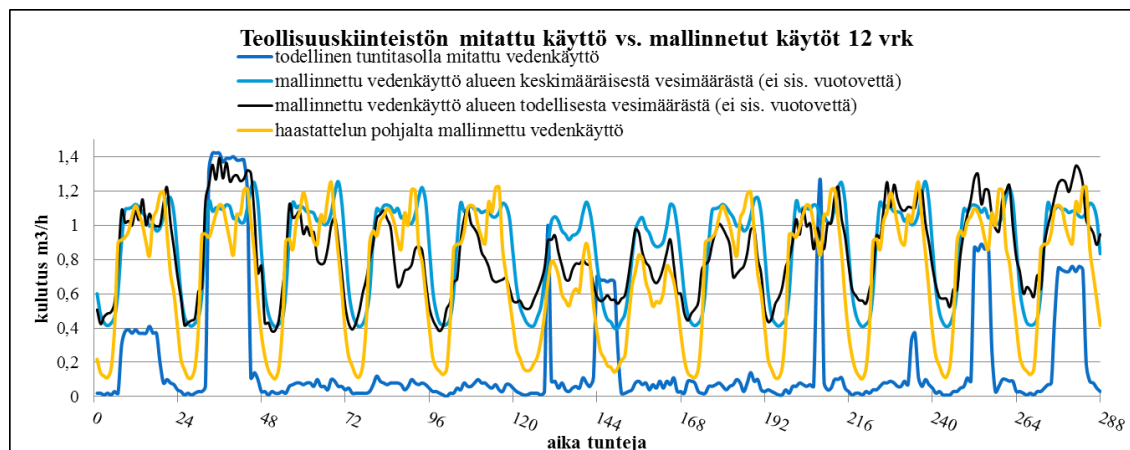
Kiinteistön toimintatyyppi	Vedenkäyttö toiminta-päivänä keskimäärin, l	Minimivedenkäyttö toimintapäivänä, l	Maksimivedenkäyttö toimintapäivänä, l
Liikelaitos	7 700	100	25 400
Liikelaitos	1 100	100	5 800
Teollisuus	300	10	800
Teollisuus	5 700	10	23 600
Teollisuus	3 600	100	22 200
Teollisuus	500	30	2 700

Toinen merkittävä huomio, joka liittyi ei-kotitalouksien vedenkäyttöön, oli vedenkäytön voimakas kuukausittainen vaihtelu (kuva 5.2.5). Ei-kotitalouskiinteistöissä esiintyi kuukausia jolloin vedenkäyttö oli nolla tai hyvin pientä ja toisaalta esiintyi kuukausia jolloin vedenkäyttö oli kaksinkertaista keskimääräiseen vedenkäyttöön verrattuna. Yksittäin teollisuuden, liikekiinteistöjen, kaupan tms. vedenkäyttöä kyllä pystytään mallintamaan haastatteluiden pohjalta, mutta aina tämäkään ei tuota hyvää tulosta. Tästä esimerkkinä kuvassa 5.2.6 esitetty

ei-kotitalouskiinteistön automaattisella mittarinluentalaitteistolla mitattu tuntitasoinen vedenkäyttö sekä haastattelun pohjalta mallinnettu vedenkäyttö ja alueelle lasketun virtaavan veden mukaan mallinnettu vedenkäyttö. Esimerkki kuvaa kiinteistöä jonka toiminta vaihtelee voimakkaasti asiakkaiden kysynnän ohjaamana ja on erittäin vaikea ennakoida edes kiinteistöllä työskentelevien henkilöiden toimesta. Ei-kotitalouskiinteistöjen vedenkäytön mittaamista automaattisella mittarinluentajärjestelmällä kannattaa paikoin harkita, mikäli siirrytään kohti täyden paikkaresoluution simulointia ja sen hyödyntämistä. (Aksela et al. 2011)



Kuva 5.2.5 Ei-kotitalous kiinteistöjen vedenkäytön keskimääräistä kuukausivaihtelua



Kuva 5.2.6 Esimerkki ei-kotitalous kiinteistöstä, jonka vedenkäytön mallinnus ei ole mielekästä ja joissa automaattisen mittarinluennan edut verkoston hallinnan kannalta olisivat perustellut

5.3 Vesijohtoverkostojen laatumittaukset

Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

5.3.1 Hämeenlinnan verkostoseuranta

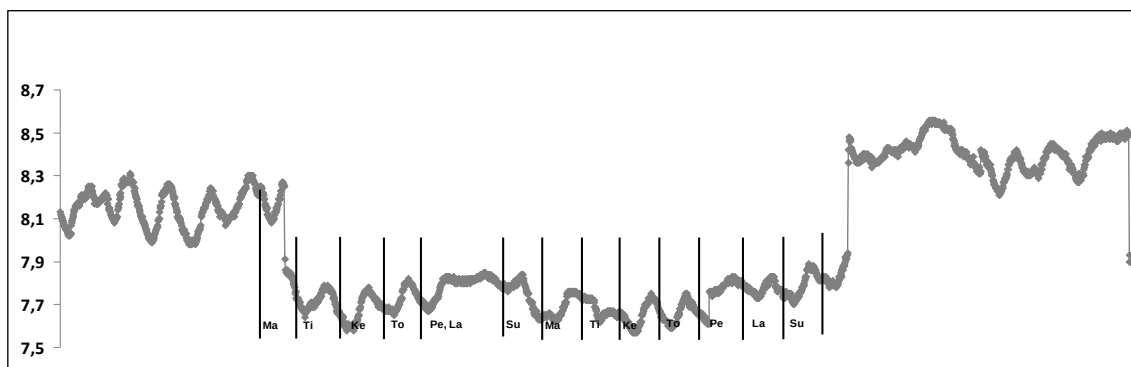
Laboratoriomittaukset

Lämpötila oli Kylmälahdessa näytteenottohetkellä keskimäärin 7,4 °C (6,8 - 8,8 °C) ja Janakkalassa 10,9 °C (9,3 - 12,2 °C). pH oli näytteenottoajanjaksolla keskimäärin Kylmälahdessa 7,61 (6,8 - 8,4) ja Janakkalassa 7,86 (7,5 - 8,2). Sähkönjohtavuus oli Kylmälahdessa keskimäärin 283 µS/cm (263 µS/cm - 318 µS/cm) ja Janakkalassa 279 µS/cm (262 µS/cm - 296 µS/cm). Sameus oli Kylmälahdessa keskimäärin 0,02 NTU (0,01 - 0,07 NTU) ja Janakkalassa 0,01 NTU. Partikkelilukumäärä (>0,5µm kpl/ml) oli Kylmälahdessa keskimäärin 1501 kpl/ml (422 - 2 945 kpl/ml) ja Janakkalassa 3018 kpl/ml (296 - 10 418 kpl/ml). Absorbanssi 420 nm oli kummassakin näytteenottopisteessä keskimäärin 0,002 (0,001 - 0,005 Kylmälahti, 0,001 - 0,006 Janakkala) ja UV-absorbanssi 254 nm 0,061 (0,054 - 0,064 Kylmälahti, 0,057 - 0,065 Janakkala). Raudan mittaamisen osalta Kylmälahdessa arvot olivat mittausajanjaksolla keskimäärin 0,02 mg/l (0,01 - 0,03 mg/l) ja Janakkalassa 0,01mg/l (0,01 - 0,02mg/l).

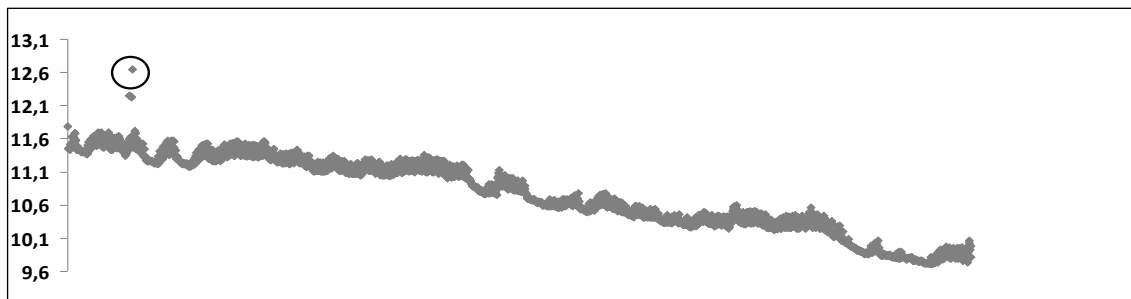
Heterotrofinen pesäkelukumäärä oli Kylmälahdessa keskimäärin 130 pmy/ml (30 - 350 pmy/ml) ja Janakkalassa 270 pmy/ml (30 - 790 pmy/ml). Kokonaismikrobilukumäärä oli Kylmälahdessa keskimäärin 15 000 solua/ml (4635 - 28 489 solua/ml) ja Janakkalassa 22 000 solua/ml (4689 - 48 200 solua/ml). Ympäristöperäisistä koliformeista yksi löydettiin Kylmälahdesta 28.9.2010 ja Janakkalasta 6.9.2010 kuusi kappaletta ja 13.9.2010 yksi kappale.

On-line kenttämittaukset

Kylmälahdessa lämpötilamittauksen havaittiin toimivan veden laadun kuvaamisessa suhteellisen hyvin. Neljän seurantaviikon aikana havaittiin vuorokauden veden tuotantoa kuvaava trendi (kuva 5.3.1), Janakkalassa tällaista trendiä ei löytynyt, joten todennäköistä on, että Kylmälahden trendi johtui prosessin toiminnasta. Janakkalassa havaittiin lämpötilassa laskeva trendi, joka todennäköisesti selittyi vuodenajalla. Janakkalan osalta havaittiin piikit 30.9.2010 (kuva 5.4.2). Syynä piikkeihin on voinut olla verkostossa tapahtuneet painenvaihtelut tai mittausvirhe.



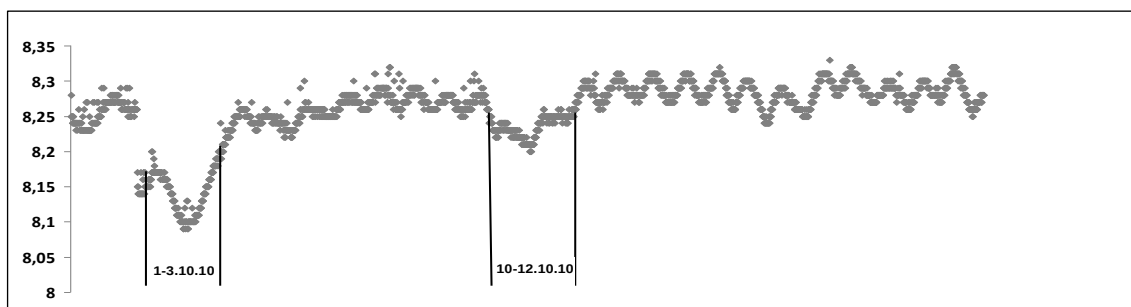
Kuva 5.3.1. Lämpötilan (°C) mittaus Kylmälahdessa 29.9. – 25.10.2010



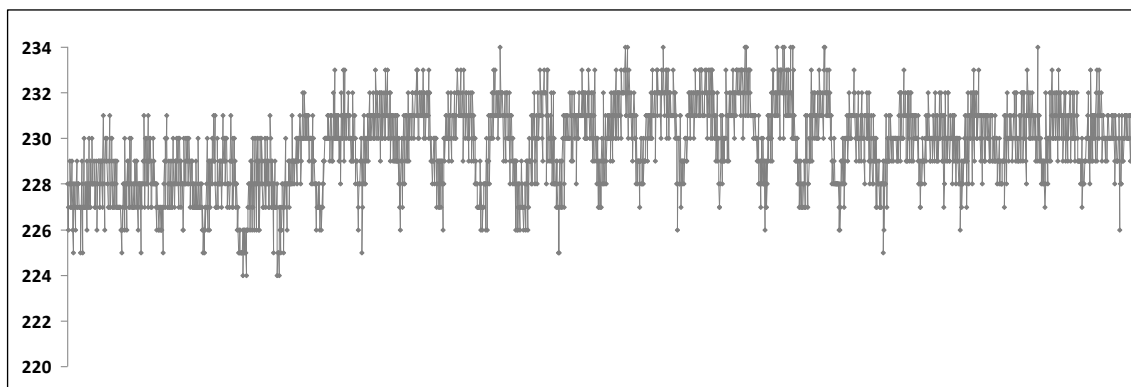
Kuva 5.3.2. Lämpötilan (°C) mittaus Janakkalassa 28.9. – 25.10.2010

pH-mittauksen osalta Kylmälahden mittauspisteestä saaduista mittauksista ei pystytty havaitsemaan selviä muutoksia. Mittauksien arvot pyörivät pH 8,5 ympärillä. Janakkalassa mittauksissa havaittiin nouseva trendi aamukuuden ja iltakymmenen/keskiyön välillä, tämän jälkeen arvot öisin laskivat. Lisäksi mittauksista pystyttiin erottamaan kaksi jaksoa, jotka poikkesivat trendistä selvästi (Kuva 5.3.3).

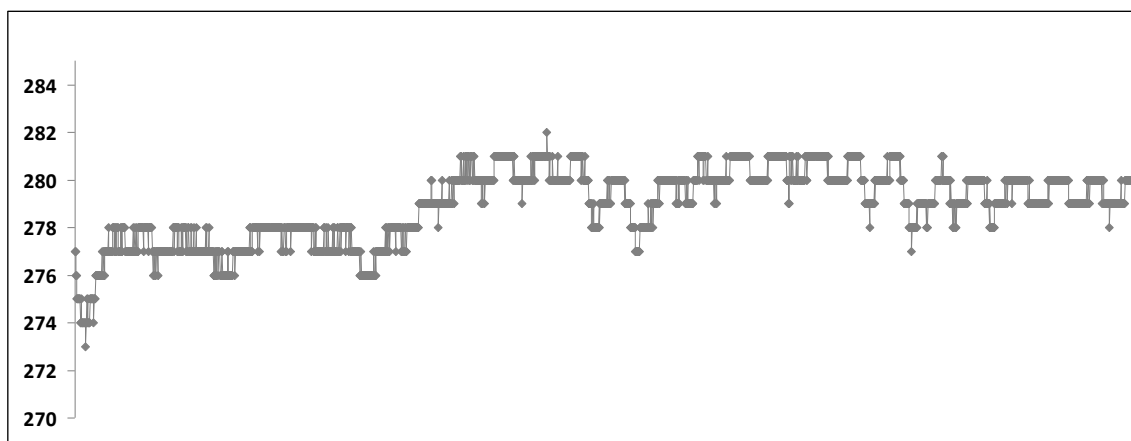
Sähkönjohtavuuden mittauksessa havaittiin Kylmälahdessa trendi aamukuuden ja iltakahdentoista välillä, trendi ajoittui siis samoihin aikoihin kuin lämpötilan muutokset. Kylmälahdessa mittauksien arvot vaihtelivat 224 – 234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ välillä (Kuva 5.3.4). Janakkalassa mittauksien arvot vaihtelivat 273 – 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kuva 5.3.5).



Kuva 5.3.3. pH:n mittaus Janakkalassa 28.9.2010 – 25.10.2010

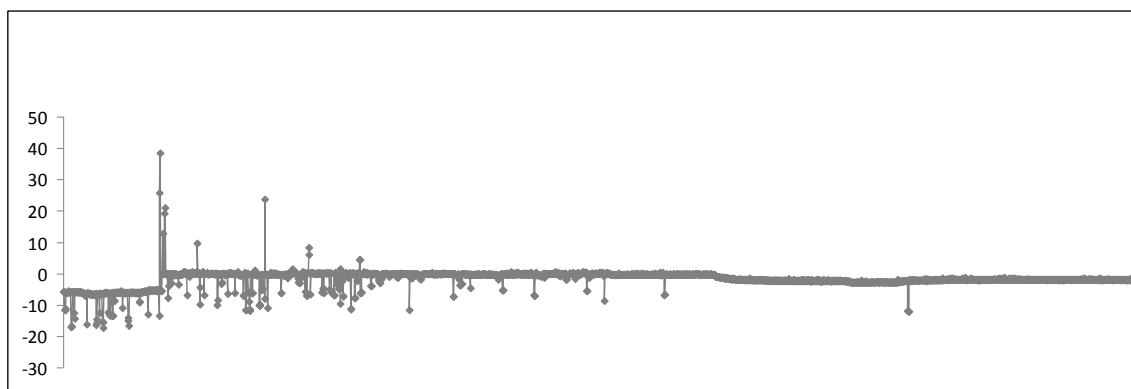


Kuva 5.3.4. Sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mittaus Kylmälahdessa 29.9. – 25.10.2010

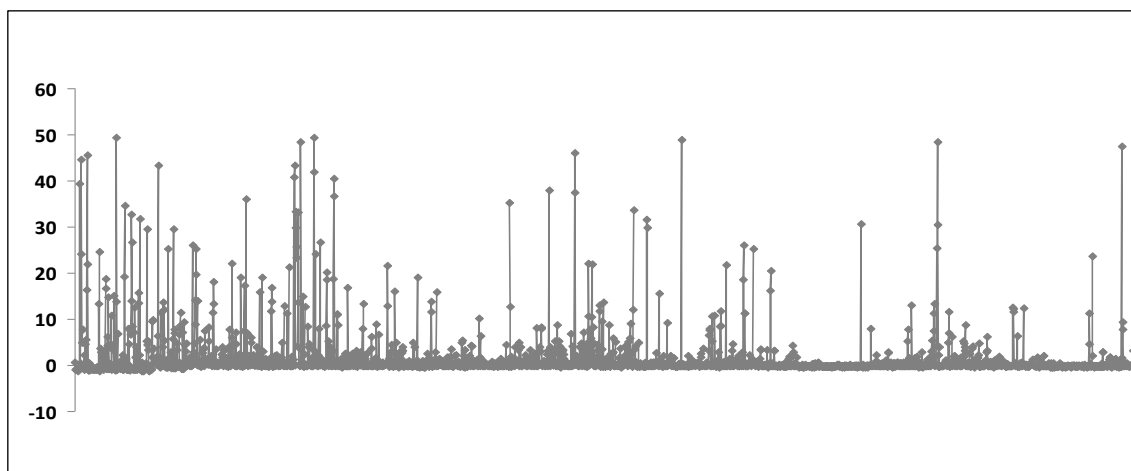


Kuva 5.3.5. Sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mittaus Janakkalassa 28.9. – 25.10.2010

Sameusdatasta siivottiin yli 50 NTU:n ylimenevät mittaustulokset. Sameusdatasta saatiin esiin pistemäisiä muutoksia, mutta luotettavasti muutoksia ei pystytty identifioimaan. Mittausvirhe osoittautui todennäköisemmäksi vaihtoehdoksi (Kuvat 5.3.6 ja 5.3.7).



Kuva 5.3.6. Sameuden (NTU) mittaus Kylmälahdessa 29.9. – 25.10.2010



Kuva 5.3.7. Sameuden (NTU) mittaus Janakkalassa 28.9. - 25.10.2010

5.3.2 Kuopion verkostoseuranta

Kuopion verkostoalueelta valittiin verkoston seurantapisteiksi Likolahden jäteveden pumpppaamo (1), Vip-tehtaan läheisyydessä sijaitseva kaivo (2), Taivalharjuntien päässä Kelloniemen alueella sijaitseva kaivo(3), Julkulan kaivo (4) ja Savilahden jäteveden pumpppaamo (5). Verkostopisteiden veden laatua seurattiin YSI 600XLM-V2-M ja YSI 6920-V2-M -sondien avulla. YSI 600XLM-V2-M oli koko verkostoseurannan ajan Likolahden pumpppaamon verkostopisteessä veden laatua mittaamassa, raportissa esitetyt kuvaajat ovat ajanjaksolta 9.5. – 21.9.2011. YSI 6920-V2-M -sondin paikkaa vaihdeltiin niin, että osa seurantajaksosta mitattiin Savilahdessa (9.5. – 26.6.2011) ja osa Taivalharjulla (6.7. – 30.8.2011). Vesinäytteitä pisteistä otettiin kolme kertaa viikossa ja kerran kuussa viiden päivän ajan.

Laboratoriomittaukset

Kuopion verkostoseurannan aikana määritettiin taulukoissa 5.3.1 ja 5.3.2 listatut parametrit.

Taulukko 5.3.1. Lämpötilan, pH:n ja sähkönjohtavuuden, ja veden absorbanssin (UV_{254nm}) keskiarvot Kuopion havaintopisteissä. Vaihteluväli suluissa.

Parametri	Likolahti	Savilahti	Vip	Taivalharju	Julkula
Lämpötila °C	8,5 (5,1 - 12,4)	8,4 (5 - 11,9)	7,2 (3,7 - 10,6)	7,5(3,5 - 12 ¹)	8,2 (4,6 - 12,2 ¹)
pH	8 (6,7 - 8,5)	7,8 (6,8 - 8,7)	8,1 (6,8 - 8,9)	8,1 (6,4 - 8,9)	8,1 (6,8 - 8,6)
Johtokyky (µS/cm)	242 (214 – 270)	246 (215 – 341)	246(215 – 341)	247 (228 – 297)	252 (227 – 295)
Abs(254nm)	0,228 (0,174 – 0,579)	0,231 (0,015 – 0,382)	0,237 (0,164 – 0,551),	0,232 (0,153 – 0,761)	0,258 (0,170 – 0,723).

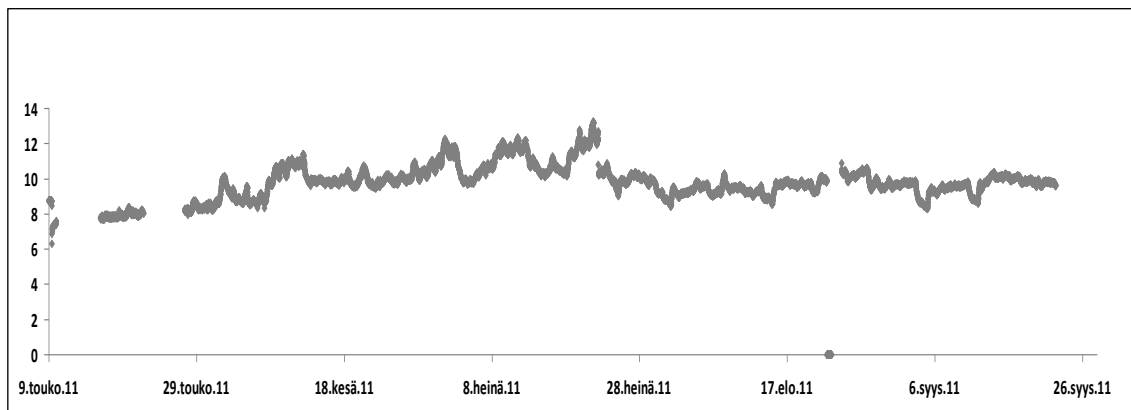
Taulukko 5.3.2. Pesäkeluvun (HPC, sameuden, raudan ja kloorin pitoisuuksien keskiarvot Kuopion havaintopisteissä. Vaihteluväli suluissa.

Parametri	Likolahti	Savilahti	Vip	Taivalharju	Julkula
HPC (pmy/ml)	20 (10 – 100)	400 (10 – 6700)	300 (10 – 2400)	500 (10 – 5600)	2700 (20 – 21000)
Sameus (NTU)	0,03 (0,01 - 0,61)	0,25 (0,01 - 2,4)	0,23 (0,01 - 3,82)	0,09 (0,01 – 1,17)	0,41 (0,01 - 4,2)
Rauta: mg/l	0,04 (0 - 0,54)	0,09 (0 – 0,68)	0,08 (0,01 - 0,58)	0,07 (0,01 – 1,08)	0,18 (0,02 - 1,56)
Kloori: mg/l	0,27 (0,03 - 0,46)	0,13 (0 - 0,34)	0,19 (0,02 - 0,36)	0,16 (0 - 0,48)	0,09 (0- 0,33)

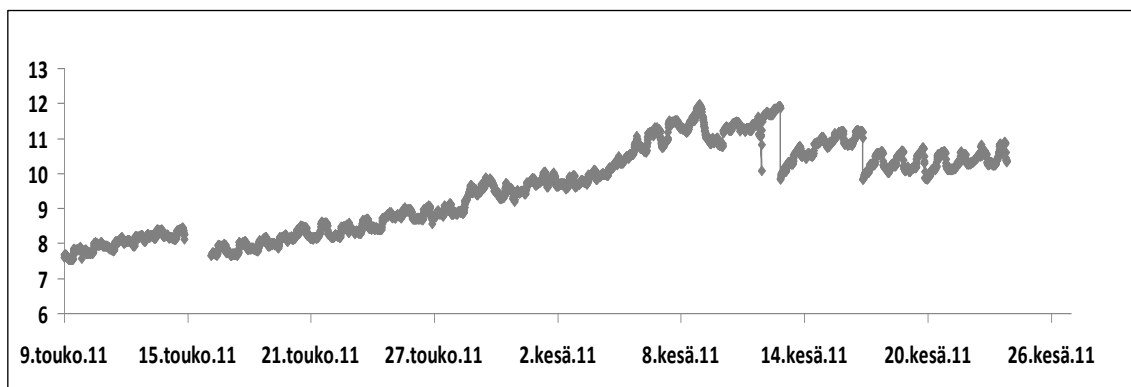
Mikrobien kokonaislukumäärä (mikroskooppilaskenta) säilyi yllättäen 41 000 partikkelia/ml pitoisuudessa. Joukkoon mahtui pisteitä joissa mikrobien kokonaislukumäärä oli 374000 solua/ml tasolla. Verkoston viipymä ei lisännyt merkittävästi mikrobien kokonaislukumäärää. PAMAS partikkelilaskimen antamat tulokset olivat samansuuntaisia: partikkelien lukumäärä vaihteli 10 000- 500000 partikkeli/ml pitoisuuksissa. Partikkelien lukumäärässä oli kuitenkin havaittavissa pitoisuuksien kasvu verkostoveden iän kasvaessa.

On-line kenttämittaukset Kuopiossa

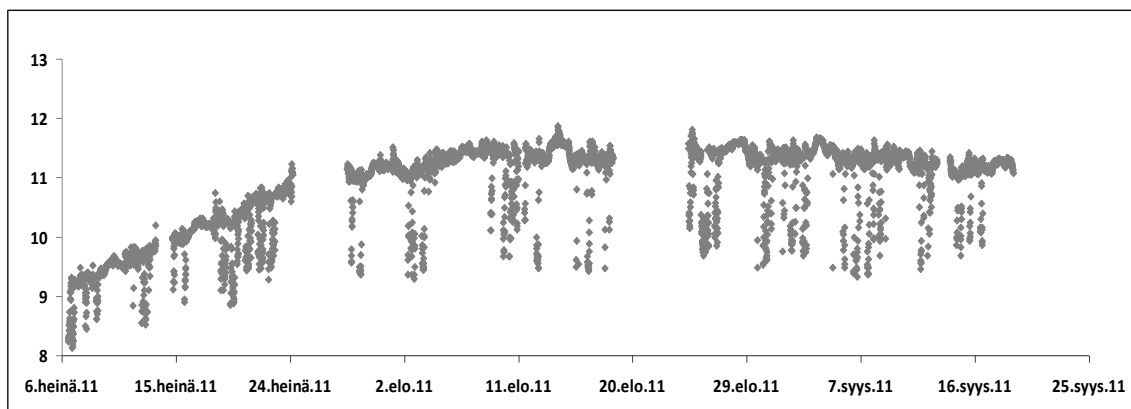
Lämpötilaa mittauksessa sekä Likolahdessa että Taivalharjussa havaittiin toukokuussa, että näytteenotto vaikutti on-line mittaustulokseen (kuva 5.3.8). Ongelma poistui, kun jatkuva ohjuusotus otettiin käyttöön. Kesäaika aiheutti selvän lämpötilan nousun joka näkyi selvimmin Savilahden ja Taivalharjun mittauspisteissä (kuvat 5.3.9 ja 5.3.10). Likolahden mittausdatassa oli poikkeavia lämmön muutosjaksoja, jotka eivät kuitenkaan vaikuttaneet heterotrofiseen pesäkelukuun.



Kuva 5.3.8. Lämpötilamittaus Likolahdessa 9.5. – 21.9.2011

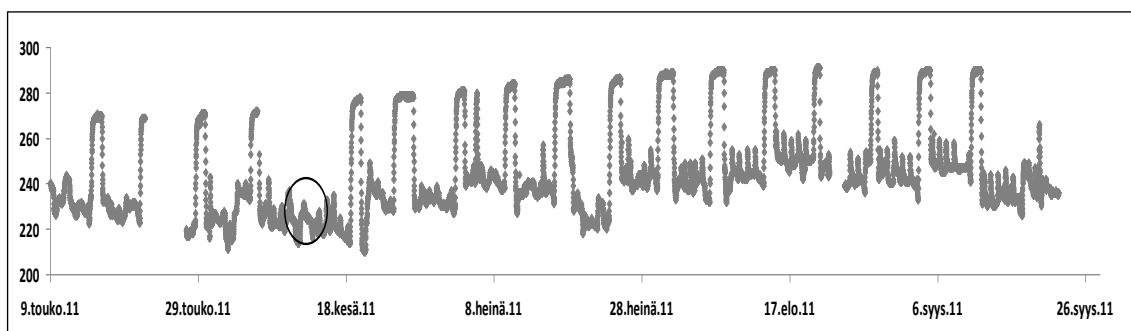


Kuva 5.3.9. Lämpötilamittaus Savilahdessa 9.5. – 26.6.2011

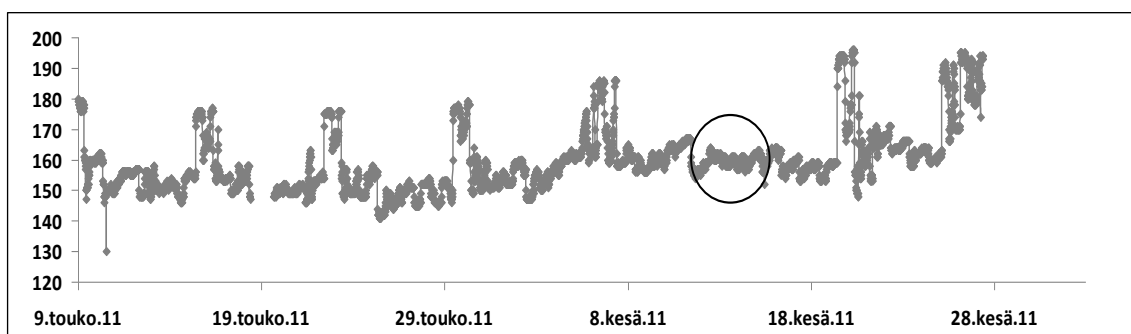


Kuva 5.3.10. Lämpötilamittaus Taivalharjuntien 6.7. – 19.9.2011

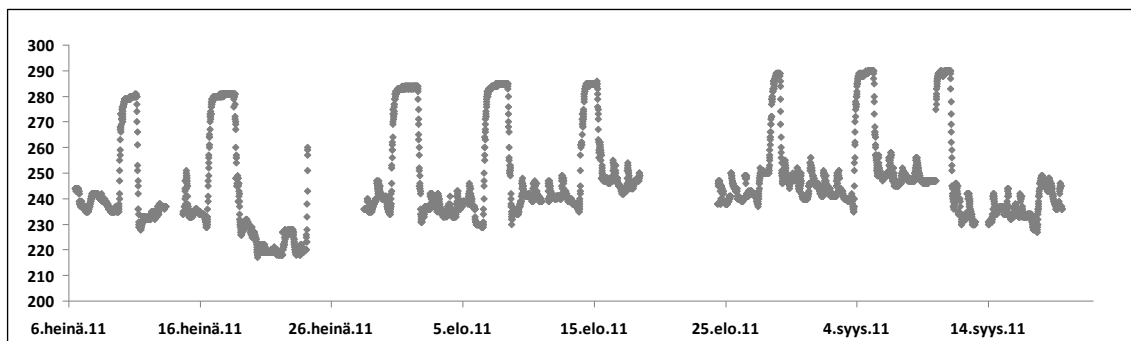
Kuopion raakavesilähteissä on eroja, jotka on helppo havaita sähkönjohtavuutta mittaamalla. Viikonloppuisin Jänneniemen osuutta veden tuotannossa nostetaan ja se aiheuttaa veteen noin 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kokoisen nousun (kuvat 5.3.11-5.3.13). Kesäkuun 10 päivä tällaista johtokyvyn nousua ei tullut. Syynä tähän oli laitoksen huolto ja varavesilähteen käyttö raakavesilähteenä. Muutamat datakatkokset Savilahden (kuvat 5.3.12) ja Taivalharjun monitorointijaksoissa (kuva 5.3.13) johtuvat virran (akku) loppumisesta. pH-mittauksen käytettävyys seurannassa oli huono, siinä havaittiin kohinaa ja datassa ilmenneille piikeille ei löytynyt selitystä (kuvat 5.3.14-5.3.16).



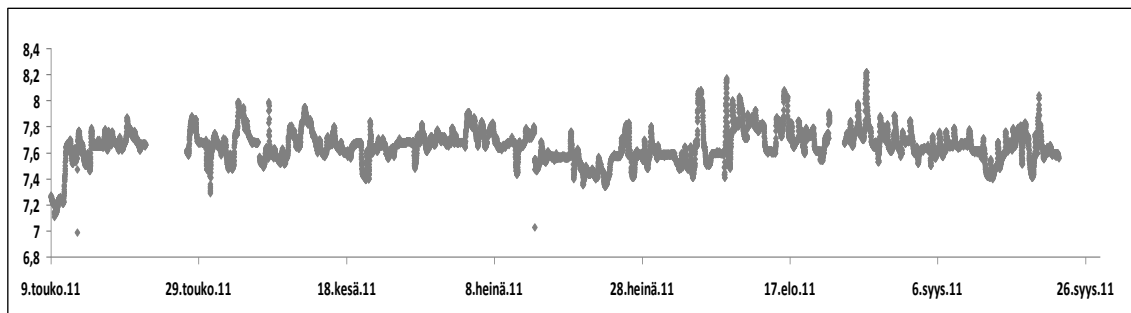
Kuva 5.3.11. Sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mittaus Likolahdessa 9.5. – 21.9.2011



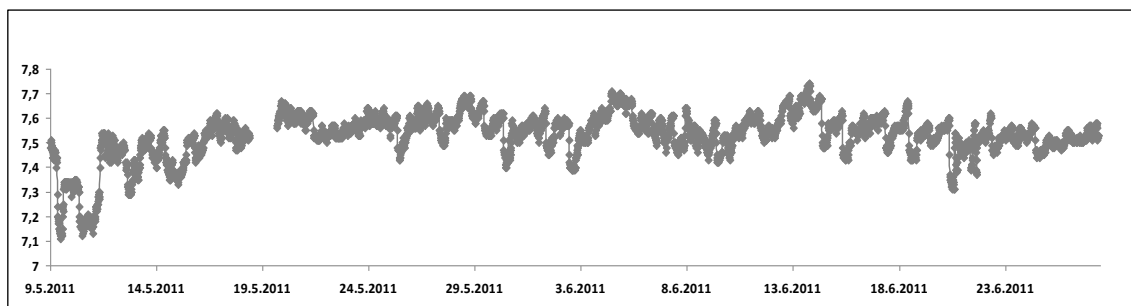
Kuva 5.3.12. Sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Savilahdessa 9.5. – 26.6.2011



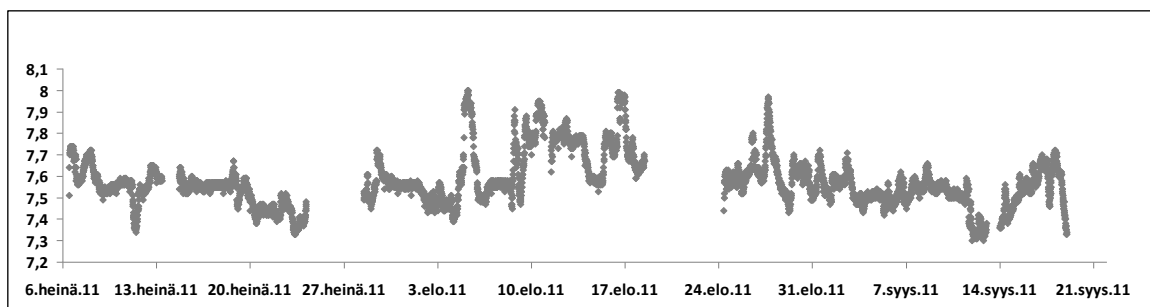
Kuva 5.3.13. Sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Taivalharjunttiellä 6.7 – 19.9.2011



Kuva 5.3.14. pH:n mittaus Likolahdessa 9.5. – 21.9.2011

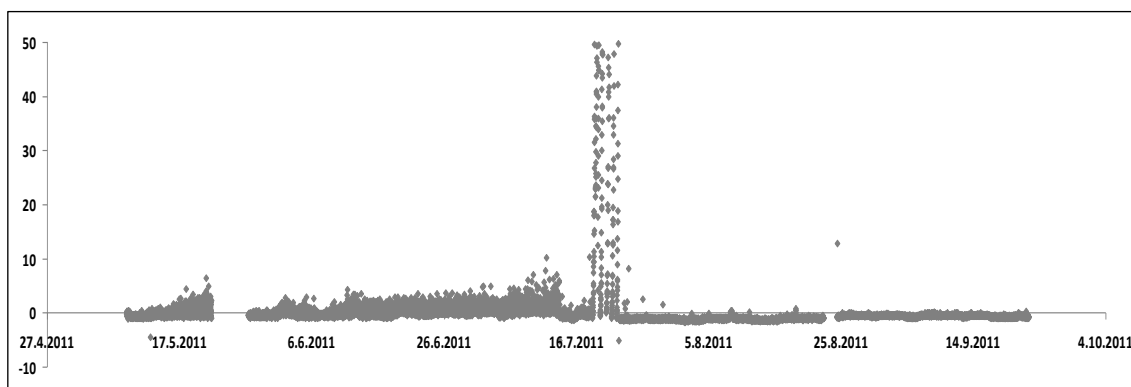


Kuva 5.3.15. pH:n mittaus Savilahdessa 9.5. – 26.6.2011

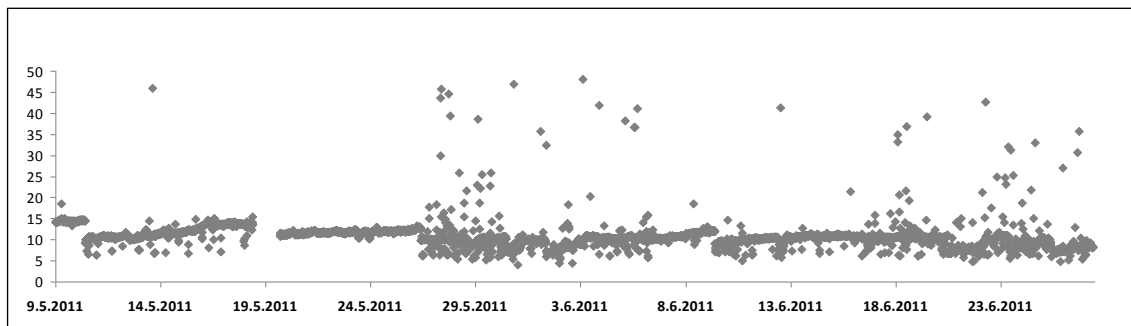


Kuva 5.3.16. pH:n mittaus Taivalharjunttiellä 6.7. – 19.9.2011

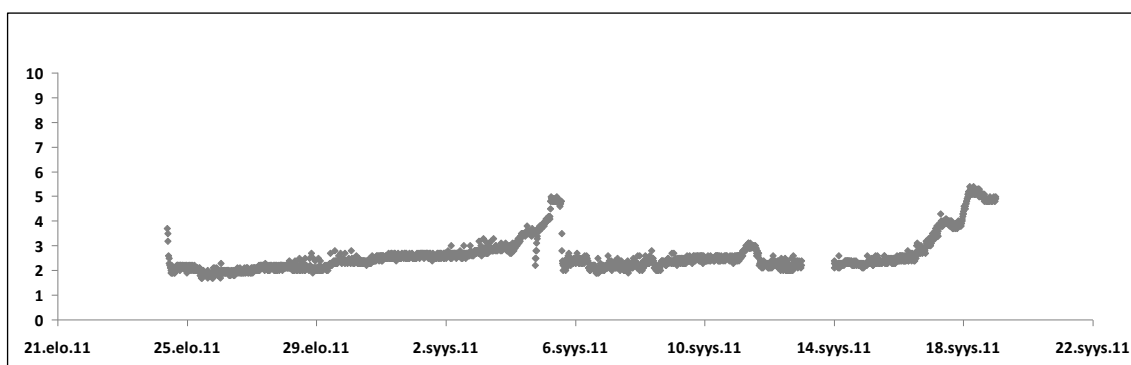
Sameuden mittauksessa jouduttiin dataa siivoamaan. Likolahdessa havaittiin 19.7.-22.7 (kuva 5.3.17) selittämätön nousu, jossa arvot olivat pitkään 200 NTU:n tuntumassa. Savilahden sameusdata pyörii 10 NTU:n tietämillä, jos selvät poikkeamat poistettiin aineistosta (kuva 5.3.18). Taivalharjussa mitattiin vain noin kuukauden mittainen aikajakso, koska anturi vaihdettiin ennen sen siirtämistä Taivalharjun kaivoon (kuva 5.3.19).



Kuva 5.3.17. Sameuden (NTU) mittaus Likolahdessa 9.5. – 21.9.2011



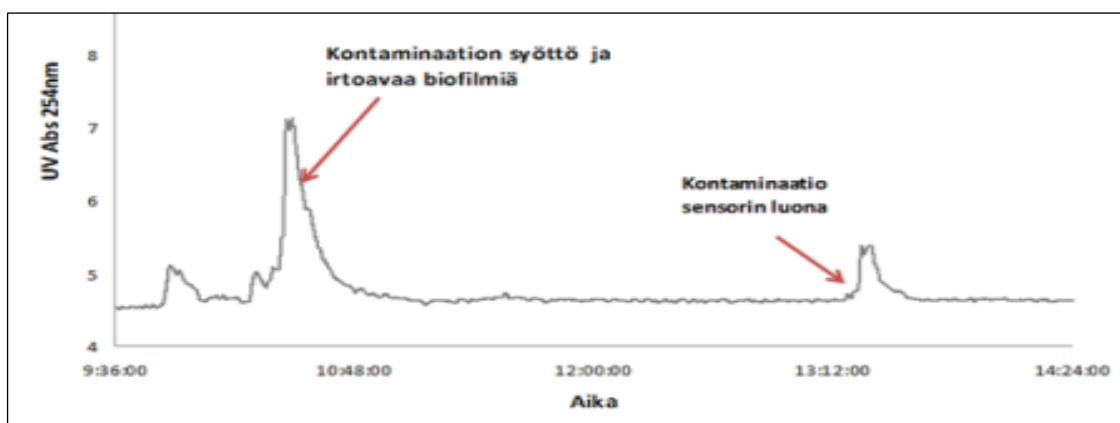
Kuva 5.3.18. Sameuden (NTU) mittaus Savilahdessa 9.5. – 26.6.2011



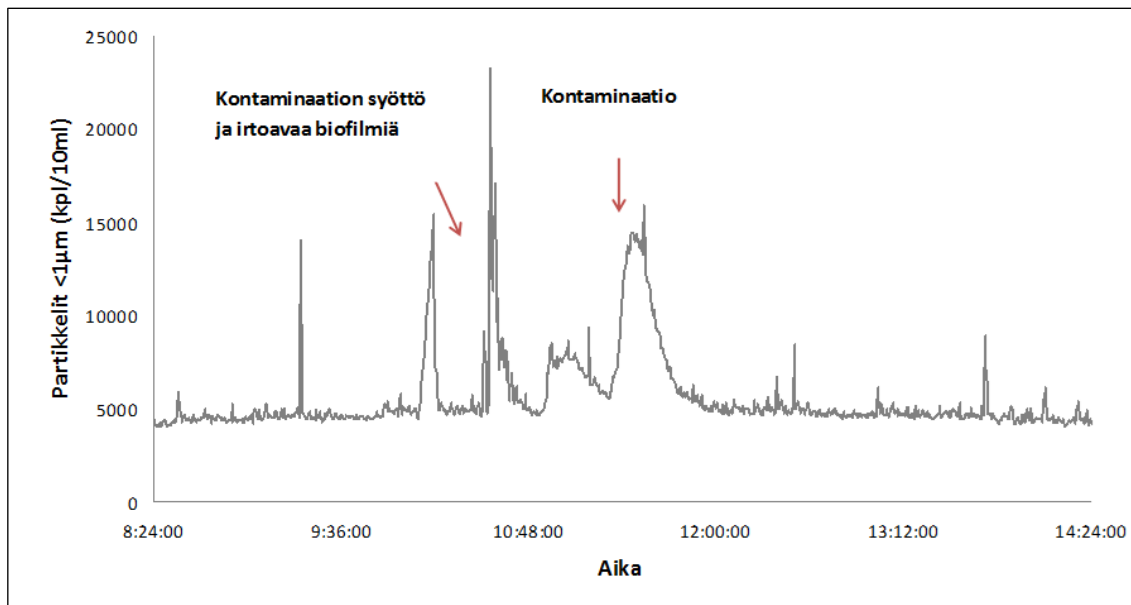
Kuva 5.3.19. Sameuden(NTU) mittaus Taivalharjunttiellä 24.8. – 19.9.2011

5.3.3 Pilot-verkoston mittaustuloksia

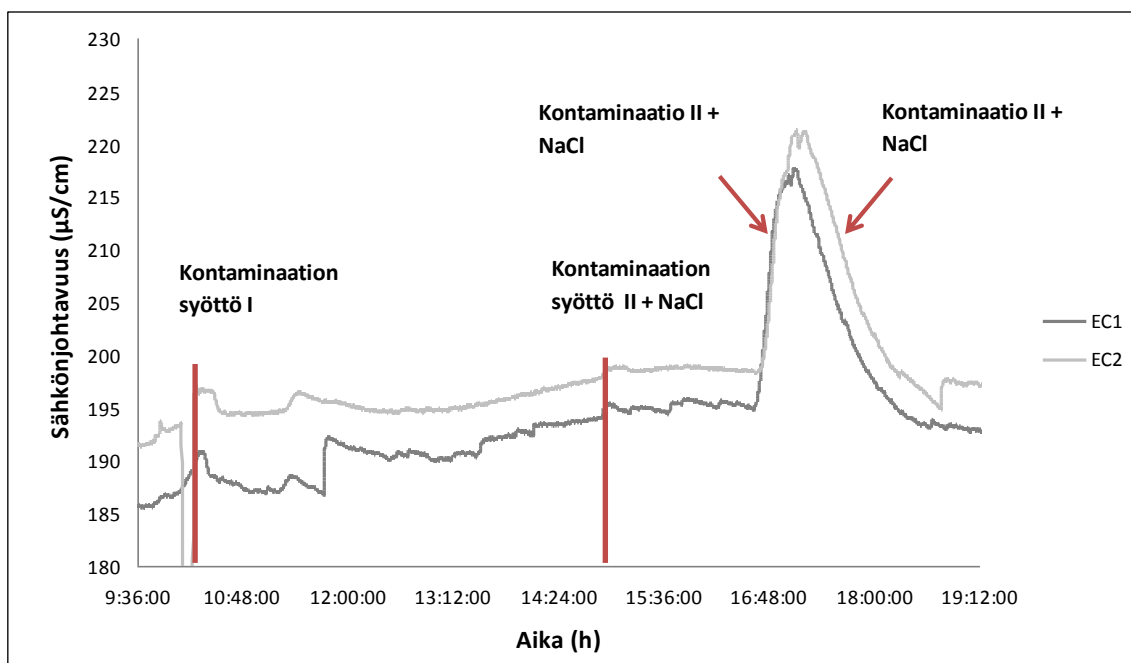
Toteutettujen kontaminaatiokokeiden avulla pystyttiin todistamaan, että epätavalliset muutokset verkostoveden laadussa kuten paineenvaihteluiden aiheuttama biofilmin irtoaminen tai pistemäisen epäpuhtauden (bakteerikontaminaatio/kemiallinen kontaminaatio) esiintyminen pystytään havaitsemaan yhdellä tai useammalla mitattavalla parametrilla. Bakteerikontaminaation havaitsivat parhaiten optiset mittaukset kuten absorbanssin mittaus aallonpituudella 254 nm ja partikkelimittaus ($>1\mu\text{m}$) (kuvat 5.3.20 ja 5.3.21). Kemiallisen (NaCl,suola) kontaminaation havaitsemiseen toimi sähkönjohtavuus oletetusti parhaiten (kuva 5.3.22). Tuloksia tarkasteltaessa täytyy kuitenkin huomioida se, että bakteerikontaminaatiokokeissa käytettiin suhteellisen korkeita bakteeripitoisuuksia ja, että bakteerit harvoin esiintyvät verkostoissa puhtaina bakteeripitoisuuksina.



Kuva 5.3.20. UV-absorbanssi 254 nm ja kontaminaation havaitseminen



Kuva 5.3.21. Partikkelilaskin PAMAS S4031 on-line partikkelimittauksen $>1\mu\text{m}$ (kpl/10ml) tulokset kontaminaatiokokeen aikana



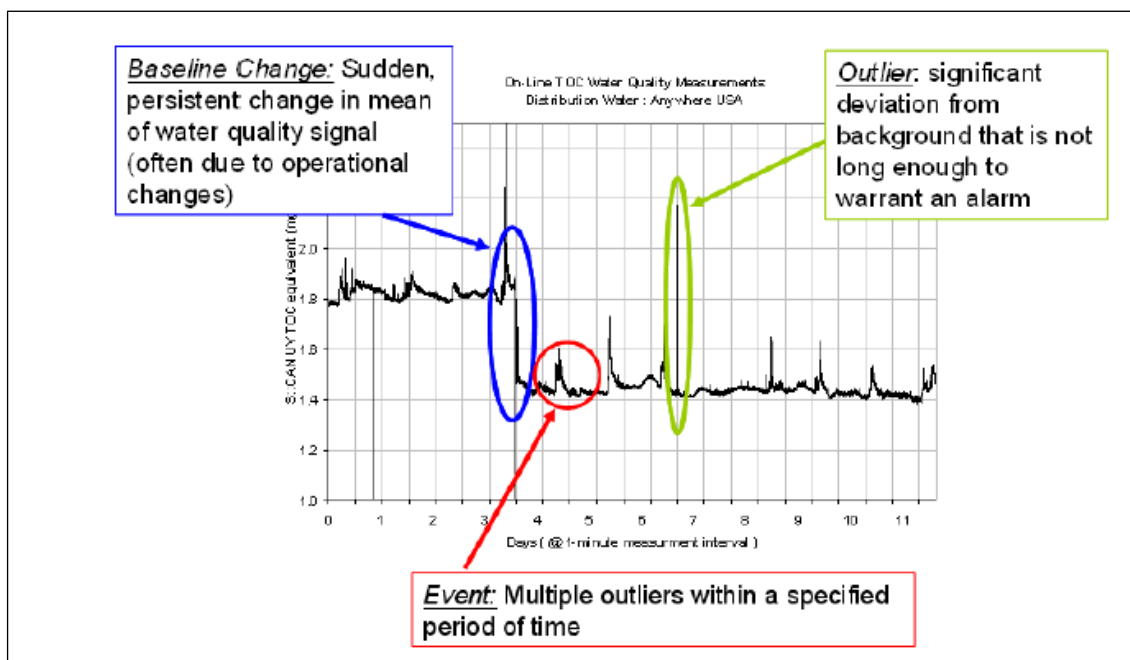
Kuva 5.3.22. Sähkönjohtavuuden mittaus kahden kontaminaatiokokeen aikana, ensimmäinen syöttö (I) ei sisältänyt merkkiainetta

5.3.4 Laatumittausten analyysi ja mallintaminen

Laatumittausten analysointi ja sen pohjalta tehtävä mallinnus on haasteellista useista syistä. Ensinnäkin analysoitavia muuttujia on yleensä paljon. Muuttujat voivat olla epälineaarisesti toisistaan riippuvia. Datassa on havaittavissa myös jaksottaisia tason vaihteluita, piikkejä sekä puhtaita mittausvirheitä. Monet muuttujat näin ollen eivät ole normaalijakautuneita, mikä rajoittaa tilastollisten analyysimenetelmien käyttöä. Lisäksi erilaisten datojen yhdistäminen (näytteen ottoon perustuva data, sensoridata) on haasteellista.

Mittauksissa kerätyn datan esikäsittely on tärkeää, jotta asiaan kuulumaton virhedata voidaan suodattaa pois. Myös syntyvän datan määrä on huomioitava. Voi olla että data-analyysi on tehtävä hyvin pienten datamäärien perusteella (eräät näytteenottoon perustuvat analyysit) tai dataa voi olla käytettävissä määriä, mikä on tavallisen tietokoneen laskentakapasiteetin rajoilla. Lisäksi mittauspisteiden välinen viive aiheuttaa ongelmia data analysoinnin kannalta; sama ilmiö näkyy eri aikoina eri mittauspisteissä.

Kontaminaation havaitseminen tämän tyyppisestä datasta on haasteellista (kuva5.3.23), koska varsinainen kontaminaatio (event) voi jäädä esim. suurten tasovaihteluiden (baseline change) varjoon. Toisaalta yksittäiset, esim. mittausvirheestä johtuvat piikit (outlier) voivat antaa väärän hälytyksen.

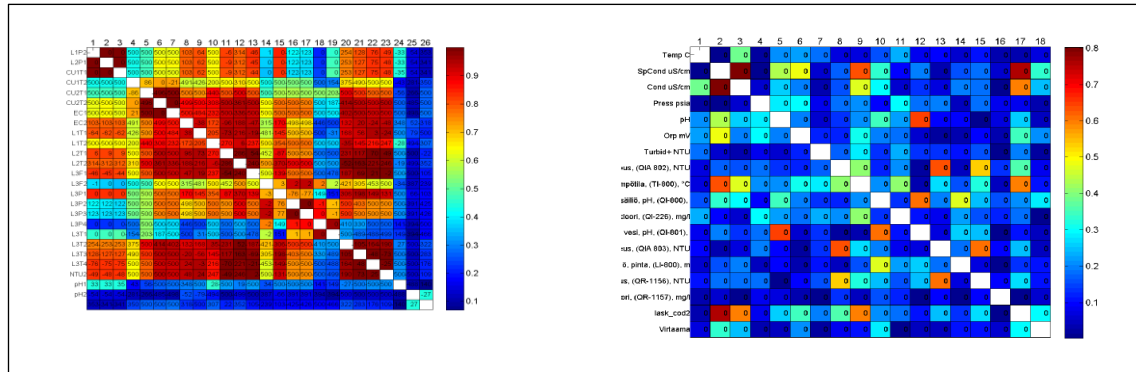


Kuva 5.3.23. Mittausdatan luonnetta perustason siirtymiseen, mittausvirhe piikkeineen sekä kontaminaatio tapahtumiseen

Yleisesti kontaminaatiotapahtuman mallintamiseen voidaan käyttää kahta eri lähestymistapaa. Ensinnäkin on mahdollista etsiä mallintamalla kontaminaatiolle ominainen "sormenjälki". Käytännön koetilanteissa tämä on harvoin mahdollista. Tässä projektissa "sormenjälkitunnistusta" kokeiltiin Savonia AMK datalla. Menetelmänä käytettiin itseorganisoituvaa karttaa SOM (Self Organizing Map). Toinen mahdollisuus on pyrkiä mallintamaan normaalitilanne mahdollisimman tarkasti ja seurata tämän jälkeen mitatun ja mallinnetun tuloksen välistä erotusta. Tämä on käytännössä osoittautunut varmemmaksi tavaksi, toisaalta tällä tavoin ei ole mahdollista päätellä, mistä kontaminaatio johtuu, ainakaan teoriassa. Projektissa datan analyysimenetelminä käytettiin pääasiassa shiftattua (eri viiveillä laskettua) korrelaatioanalyysia, regressioanalyysia sekä itseorganisoituvia kartoja.

Korrelaatioanalyysi

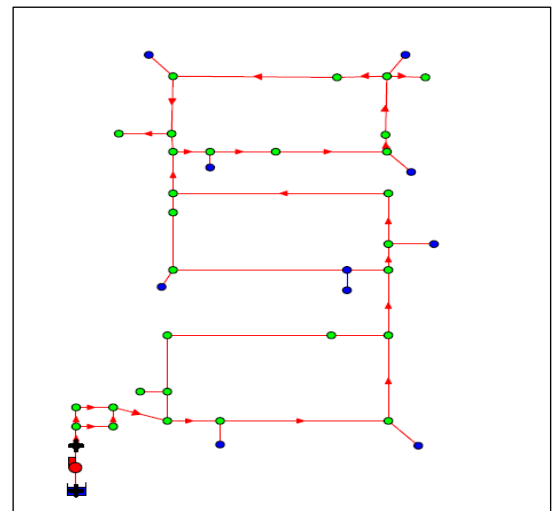
Tehdyistä mittauksista laadittiin korrelaatioanalyysit. Tarkoituksena oli selvittää eri muuttujien välisiä suoria riippuvuuksia. Lisäksi analyysin avulla oli mahdollista selvittää eri mittauspisteiden väliset viiveet (kuva 5.3.24).



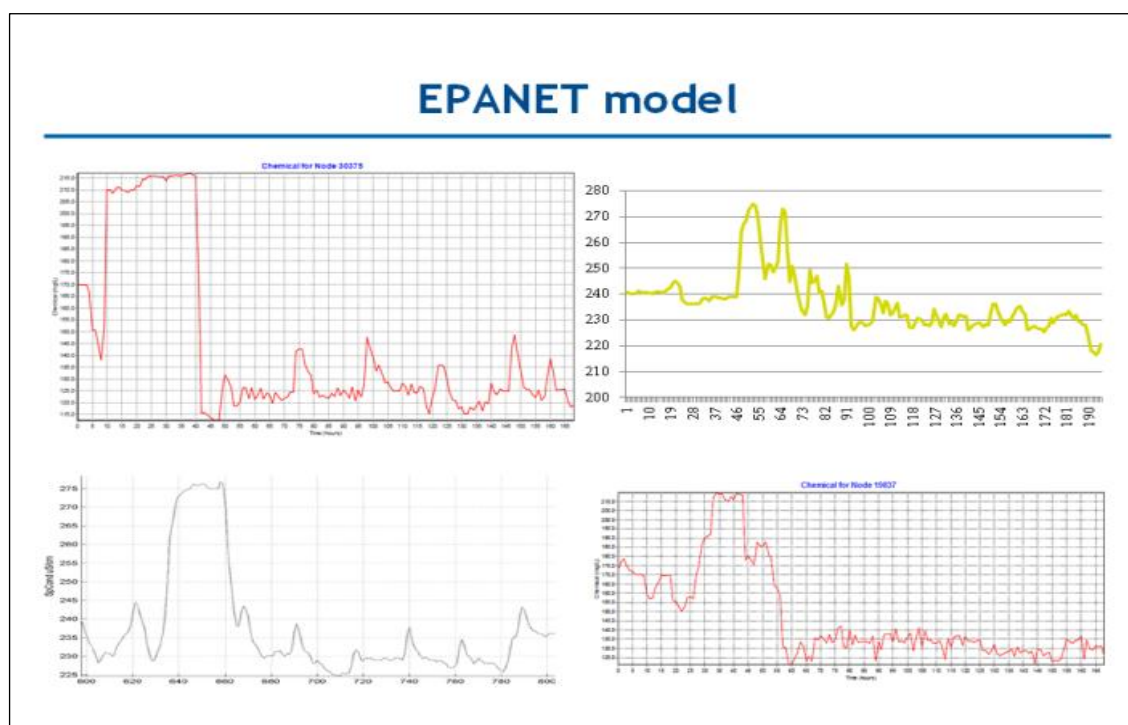
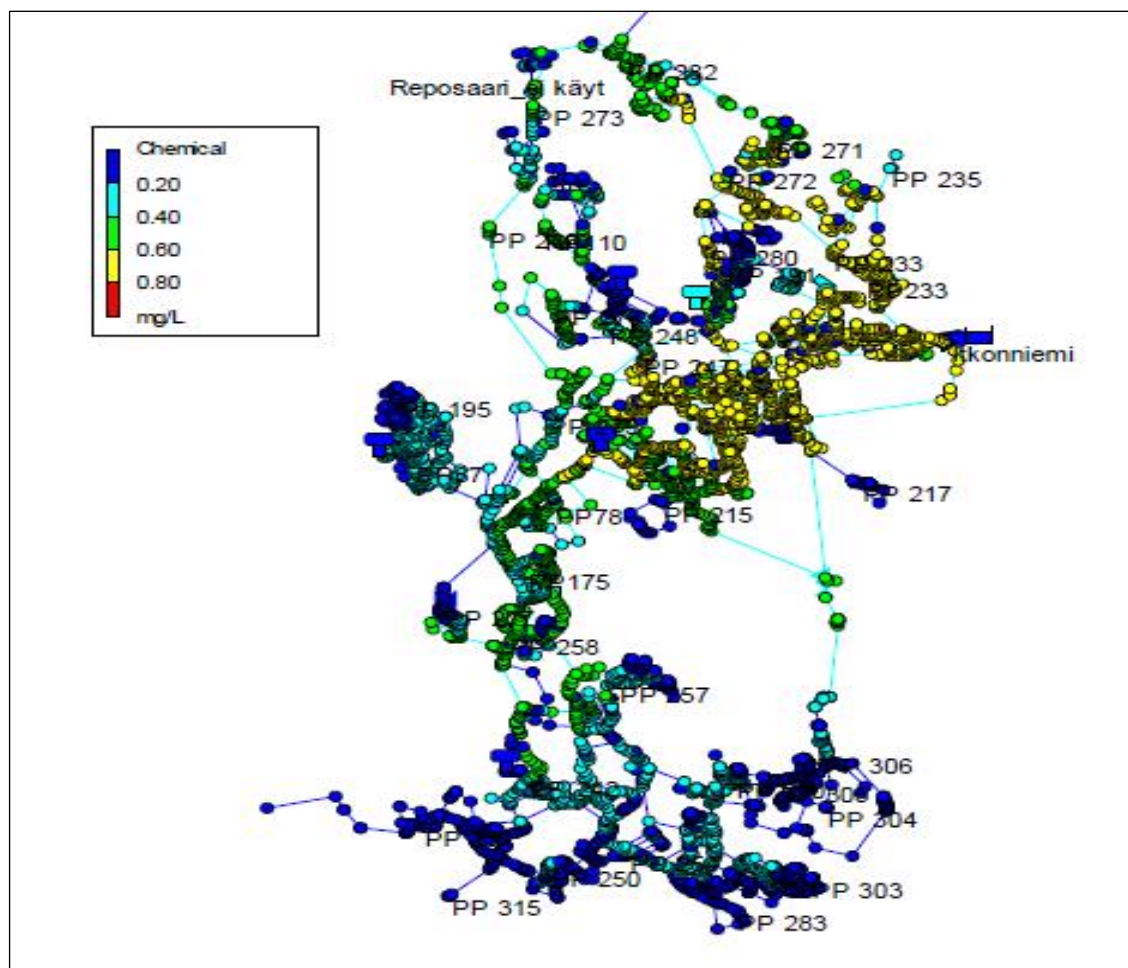
Kuva 5.3.24. Korrelaatioanalyysin tuloksen visualisointi

EPANET

Epanet malli tehtiin sekä Savonia AMK verkostolle sekä Kuopion vesijohtoverkostolle (kuva 5.3.26). Mallinnettavaksi parametriksi valittiin johtokyky, koska suurimmalla osalla kokeista muutokset olivat selvimmän havaittavissa, toisaalta kohina ei ollut liian suurta. Periaate oli että verkoston syöttöpisteeseen mallinnettiin lähtevän veden johtokykyä vastaavaa tilanne, jonka jälkeen verrattiin mallinnettua ja mitattuja arvoja keskenään. Mallinnus onnistui hyvin. Savonia-AMKn kokeissa Epanet-allin avulla voitiin paikantaa suolapulssien eteneminen verkostossa ja erotella etenevä suolapulssi muista datassa olevista johtokykypiikeistä (kuva 5.3.25).



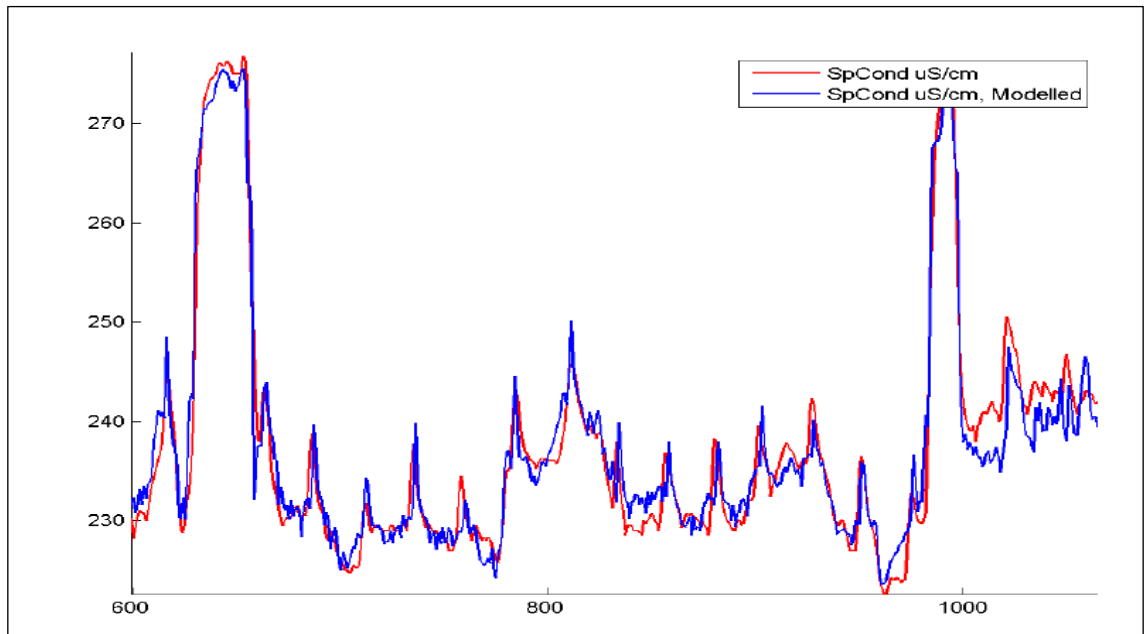
Kuva 5.3.25. Johtokykymalli Savonia-AMK verkostosta



Kuva 5.3.26. EPANET laatumalli sekä mitatut tulokset kahdessa eri mittauspisteessä

Datapohjainen malli

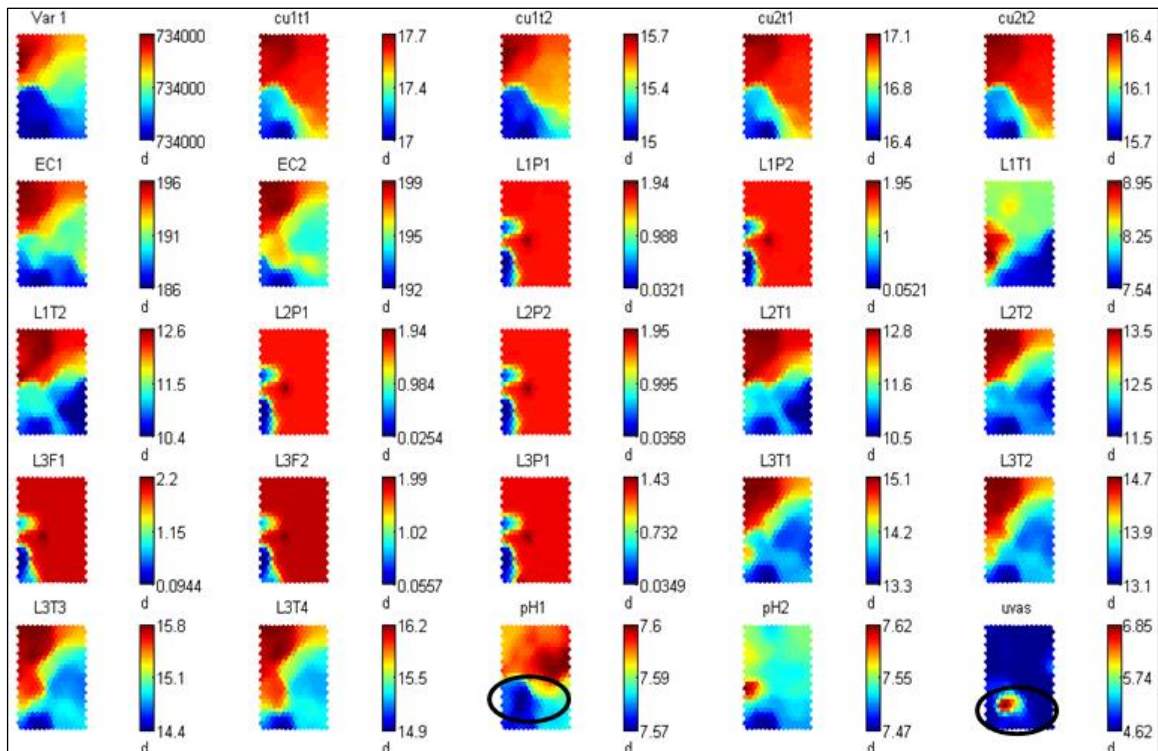
Laadittiin lisäksi datapohjainen regressiomalli Likolahden mittausdatan perusteella. Regressiomallin syöttödatana käytettiin vesilaitokselta lähtevää laatudataa. Malli toimi hyvin.



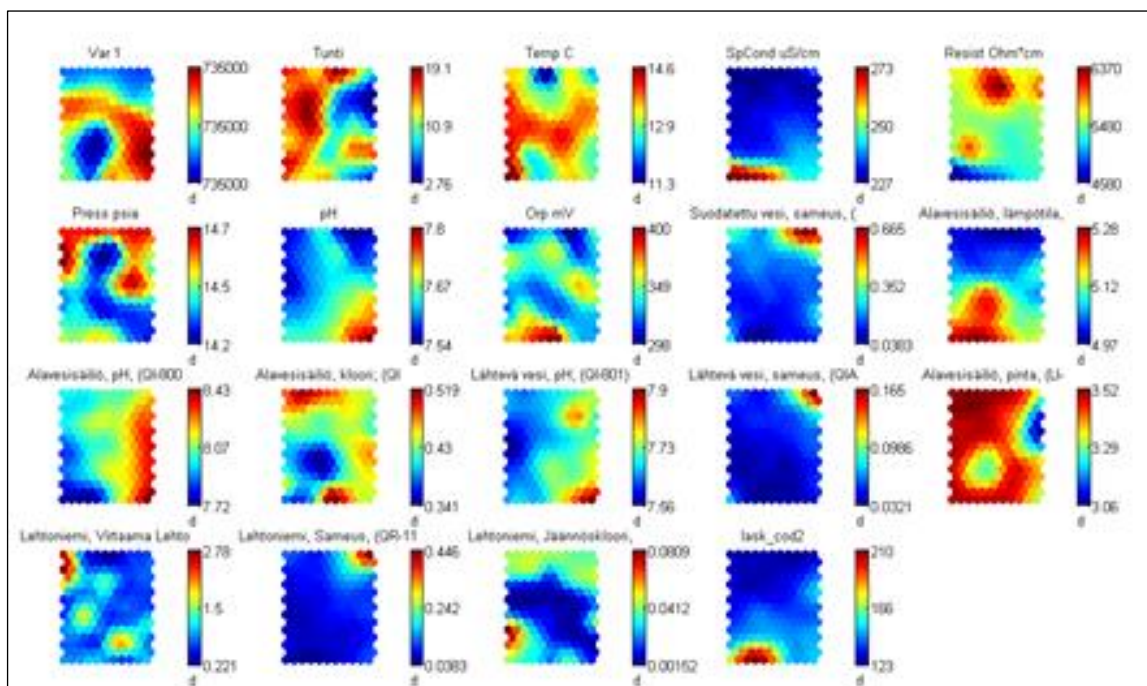
Kuva 5.3.27. Likolahden pisteen laatumalli

SOM kartat

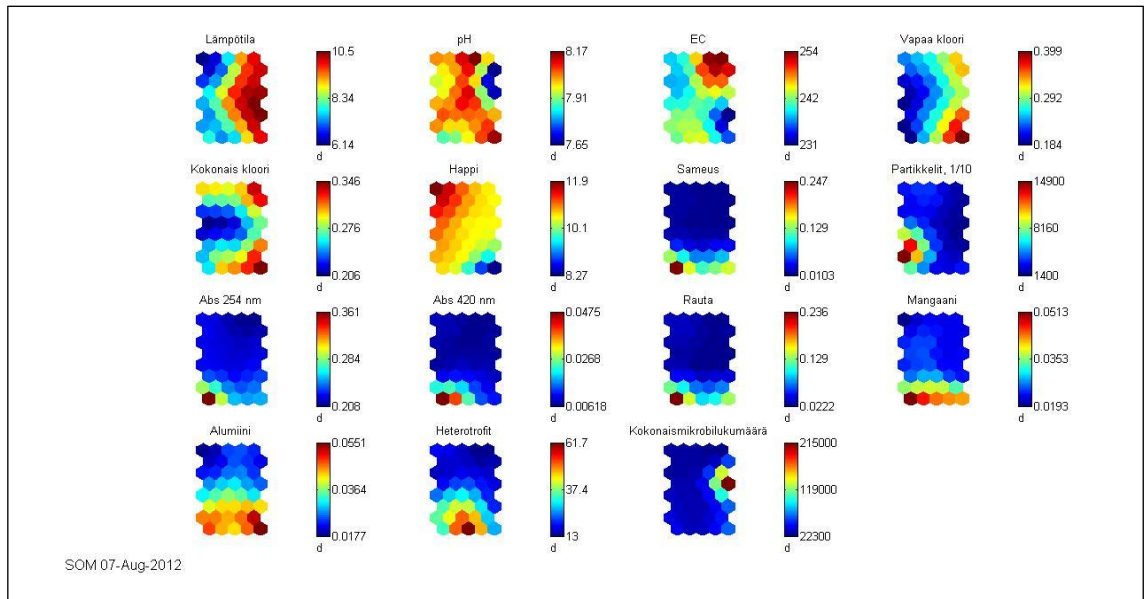
Itseorganisoivassa kartassa (SOM) datassa olevat tilastolliset yhteydet moniulotteisen eri muuttujien välillä muunnetaan yksinkertaisiksi geometrisiksi suhteiksi, jotka voidaan näyttää esimerkiksi kaksiulotteisena karttana. Moniulotteinen tieto siis pakataan tavalla, jossa tärkeimmät topologiset ja metriset suhteet alkioiden välillä säilyvät, ja lopputuloksena syntyvä kartta voi tarjota jonkinlaisen abstraktion tietosisältöön. SOM osoittautui hyväksi analysointi menetelmäksi, koska se on erittäin suoraviivainen, nopea, ja robusti. Lisäksi tulokset ovat helposti visualisoitavissa (kuvat 5.3.28 ja 5.3.29). Samaan SOM karttaan on mahdollista viedä sekä näytteenottoon että sensorimittauksia pohjautuvia tuloksia. Kuvasta voidaan mm. tehdä johtopäätös siitä, että mikrobien pitoisuuksia ei voida suoraan havaita millään yksittäisellä mittarilla (kuva 5.3.30).



Kuva 5.3.28. Savonia-AMK:n kokeet, ympyröitynä mahdollinen havaittu kontaminaatio



Kuva 5.3.29. Verkstokokeen SOM kartta



Kuva 5.3.30. SOM kartta jossa sekä näytteenotosta saatuja että sensoreiden välittämiä mittaustuloksia

5.3.5 On-line laatumittausten soveltuvuus, sijoittaminen ja käyttö

Alkuvaiheessa ensimmäiset mittauspisteet kannattaa sijoittaa paineenkorotusasemien yhteyteen. Parhaat paikat voidaan valita esim. karttatarkastelun perusteella. Jatkossa vesilaitosten käyttöön on tulossa mallinnuspohjaisia menetelmiä, joiden avulla voidaan määrittellä optimaalinen mittauspisteiden lukumäärä ja sijainti (ns. sensor placement mallit). Nämä mallit rakennetaan yleensä hydraulisen verkostomallin päälle.

$$Z_8(\delta) = \sum_{\alpha=1}^6 w_{\alpha} \frac{Z_{\alpha}(\delta)}{Z_{\alpha}(\emptyset)} + w_7 \frac{IC(\delta)}{|\delta| UIC_{\text{traffic}}}$$

Mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa määritetään hyvyysindeksit (Z). Indeksejä ovat esimerkiksi esim. kuinka nopeasi kukin sensori havaitsee kontaminaation tai kuinka suuri alue on "saastunut" ennen kuin sensori havaitsee kontaminaation. Muita käytettäviä indeksejä ovat altistuneiden ihmisten määrä, saastuneen veden tilavuus, saastuneen putkiston pinta-ala jne. Lisäksi malliin lisätään sensorien kustannusindeksi (IC) mittarien optimaalisen lukumäärän löytämiseksi. Tämän jälkeen malliin arvotaan tuhansia erilaisia pilaantumistapahtumia, joille kaikille laskettiin em. hyvyysindeksit. Näitä indeksejä vertaamalla voidaan päätellä optimaalinen mittarien luukumäärä ja sijainti.

Hankkeen yhtenä osatehtävänä oli mittauksissa saadun datan käsittely ja hyödyntäminen sekä sopivien datan tallennus- ja siirtomenetelmien kehittäminen. Datan hallinta osoittautui tärkeäksi, koska reaaliaikaisen early warning-järjestelmä vaatii kohtuullisen suurien datamäärien hallintaa. On-line mittaukselle tyypillisiä haasteita asettavat mittausdatassa mahdollisesti esiintyvät poikkeamat, jotka voivat johtua sensorien ryöminästä, äkillisistä mittausarvojen muutoksista tai kohinasta. Tällöin väärin mittaustulosten erottaminen oikeista, todellisista veden laatua osoittavista mittaustuloksista voi olla vaikeaa. On esitetty,

että dataa tarkastellessa huomio tulisi kiinnittää mittausten poikkeavien arvojen kestoan. Lyhytkestoiset piikit voivat kuvata lievää likaantumista tai vikasignaalia. Pitkäkestoiset poikkeavat arvot sen sijaan kuvaavat suuressa vesimäärässä tapahtunutta veden laadun muutosta ja kertovat mahdollisesta merkittävämmästä veden laatuongelmasta (Broeke ym., 2010, Kroll 2010). Oikeiden mittaustulosten esille saaminen vaatii mittareiden säännöllistä huoltamista ja datan jatkuvaa analysointia. Lisäksi luotettavassa veden laadun mittauksessa on kyse muustakin kuin mitattavan datan seuraamisesta. Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi tarvitaan veden laatua kuvaava mittari, jonka käyttökunto on testattu kalibroimalla.

Kenttäkokeet osoittivat sen kuinka erilaisia sensorit ja niiden tuottama informaatio voivat olla ja kuinka merkittäviä on-line mittausten käytännön ongelmat ovat. Vuoden 2010 ja 2011 aikana suoritetuissa verkostomittauksissa voitiin todeta, että jokaisella verkostolla on omat erityispiirteensä (raakavesien laatu, raakaveden pumppausmäärät, veden virtaus) joita voidaan hyödyntää veden laadun mallinnuksessa. Hyvä esimerkki on yleisesti käytetty jäännöskloorin mittaaminen. Jäännöskloorin pitoisuus voi olla pieni tai kulua nopeasti mittarin määrittämisrajan alle esimerkiksi korkean humuspitoisuuden vuoksi. Toisaalta mikäli laitoksella on käytössä esimerkiksi ammonium kloridilisäys, niin se todennäköisesti toimii hyvin. Mittaukset osoittivat Kuopion verkostossa luotettavimmaksi veden laadun vaihteluista kertovaksi parametriksi sähkönjohtavuuden. Hämeenlinnan verkostossa päädyttiin lämpötilaan. Haastavimmiksi on-line mittauksiksi koettiin sameuden ja pH:n mittaaminen. Sameusdatassa havaittiin paljon poikkeavia mittaustuloksia, joiden mittaustulos ylitti selvästi perustason. Kaikille poikkeaville sameuden muutoksille ei aina löytynyt selitystä. pH- mittausta käytettäessä on tiedostettava mittarin huoltotarve. Mittari tulisi kalibroida viikoittain, jotta tulokset olisivat luotettavia. Mitatun datan laadun lisäksi sähkönjohtavuuden ja lämpötilan mittausjärjestelmät todettiin kaikkein vähiten huoltotoimenpiteitä vaativiksi. Tällä hetkellä ei ole käytössä kenttätasolla toimivia biosensoreita, jotka havaitsevat luotettavasti suoraan bakteerikontaminaatioita. Laitteet ovat myös epäluotettavia, kalliita ja paljon huoltoa vaativia. Biosensoreita on testattu Suomessa myös toisen tutkimusprojektin yhteydessä samansisältöisin tuloksin.

Datan hallinnan saralla tulokset olivat lupaavia. Yhdistämällä eri pisteistä saadut mittaustiedot keskenään ja analysoimalla niitä tehokkailla analyysimenetelmillä verkostosta saatiin arvokasta tilannetietoa veden laadusta ja mittausvirheistä. Tämä kuitenkin asettaa paljon vaatimuksia verkoston mittaroinnille ja syntyvän datan käsittelylle. Aikaisemmin kuvattujen mittareiden luotettavuuteen liittyvien haasteiden lisäksi mittausympäristö itsessään voi olla haastava. Mittareiden sijainti voi olla syrjäinen, jolloin sähköntarve joudutaan toteuttamaan akuilla. Lisäksi mittarit ovat usein alttiina kosteudelle, likaantumiselle ja pakkaselle. Syntyvän datan tiedonsiirtoketju tulee myös suunnitella huolellisesti eri tietojärjestelmien rajapintoja myöten. On-line valvonta vaatii on-line tiedonsiirron ja käsittelyn. Mittareiden optimaalisen lukumäärän ja sijainnin määrittämiseen on maailmalla tehty runsaasti tutkimusta, mutta ainakin tällä hetkellä vesilaitoksen mahdollisuudet ylläpitää mittausverkostoa ovat käytännössä rajalliset ja sopivien mittareiden määrä ohjaa käytännössä mittareiden sijoittelua. Todennäköisesti huollon tarve ja muut ylläpitoasiat tulevat olemaan merkittävämpi kustannustekijä mittareiden hankinnassa kuin esimerkiksi mittauspisteen hankintakustannukset.

6 Eräs etenemispolku vesijohtoverkoston hallinnan kehittämiseksi

6.1 Polku hydraulisen hallinnan kehittämiseksi

Kia Aksela

Hydraulisen hallinnan kehittäminen on jaettu kolmelle tasolle, koska vesilaitoksilla vallitsevien tilanteiden kirjo on valtava. Tasot ovat perustaso, hyvä taso ja tulevaisuuden tavoite taso. Näistä perustason vaatimukset tulisi toteuttaa jokaisessa vesilaitoksessa kokoon tai yhtiömuotoon katsomatta, koska perustason verkostonhallinnan osatekijät muodostavat peruspilarit proaktiiviselle verkosto-omaisuuden hallinnalle sekä ennen kaikkea palvelutasolle.

Perustason verkostonhallinta

Staattinen näkökulma:

- järjestelmien tietojen linkitysmahdollisuuksista huolehtiminen siten, että kullakin osalla tai paikalla on yksi ID tunniste, joka on sama kaikissa vesihuollon järjestelmissä
- verkkotietojärjestelmän käyttöönottoaminen digitaalisena karttana, tähän liittyy oleellisesti verkoston sijainnin kartoituksesta huolehtiminen
- verkkotietojärjestelmän käyttöönottoaminen kattavana ominaisuustietojen keräys- ja tallennuspaikkana, jonne viedään myös vanhoja tietoja arkistoista tai mestareiden muistikuvista
- järjestelmällisten ylläpidon-, ennakoivan huollon ja kunnossapidon suunnitelmien laatiminen ja niiden yhteydessä saatavien havaintojen kirjaus verkkotietojärjestelmään
- tapahtumatietojen ja häiriöiden, esimerkiksi vuotojen ja verkostoveden riittävyttä tai laatua koskevien asiakasilmoitusten, kirjaaminen verkkotietojärjestelmään luokiteltuna tietona
- käyttöpaikkojen sijaintien vienti verkkotietojärjestelmään, paikkojen kartoitus hyvä ottaa osaksi mittarinvaihdon ja –asennuksen rutiineita

Dynaaminen näkökulma:

- suorituskykymittareiden laskeminen koko verkostolle
- useiden rinnakkaisten kaukokäyttöjärjestelmien vaihtaminen yhteen kokonaisuutena tarkasteltavan alueen kattavaan järjestelmään tai vaihtoehtoisesti samalla alueella toimivien rinnakkaisten järjestelmien toiminnan muuttaminen sellaiseksi että eri järjestelmät toimivat kokonaisuutena, jolloin perusajatuksena on, että kaikista järjestelmistä saatava tieto on samanmuotoista, samalla aika-askeleilla kerättyä ja yhteen tietokantaan tallennettua

- verkoston hydraulisten mittausten järkevä sijoittaminen ja näiden liittäminen koko verkoston kattavaan kaukokäyttöjärjestelmään ja tietojen tallennus
- hydraulisten mittausten validoinnista huolehtiminen ja perusanalyysien käyttöön ottaminen

Edistyneempi verkostonhallinta

- tietojen linkitykset eri järjestelmien välillä
- edistyneempien analyysien laatiminen dynaamisille mittauksille ja häiriöiden havainnointi kaukokäyttöjärjestelmän välittämistä hydraulisista mittauksista
- saneerausten yleissuunnitelman laatiminen
- verkostomallin laatiminen runkoverkko tasolla

Tavoitetaso tulevaisuuden verkostonhallintaan

- automaattisen mittarinluennan käyttöönotto ei-kotitalouskiinteistössä siten, että samalla tarjotaan asiakkaalle lisäpalveluna mahdollisuus seurata omaa vedenkäyttöä ja näin seurata kiinteistön sisäisen putkiston tilaa ja havaita itsenäisesti hallinnoimiensa putkien vuodot
- verkostomallin laatiminen yksityiskohtaisella tasolla
- verkoston hallintajärjestelmän hyödyntäminen
- häiriöiden paikallistamisen analytiikan ottaminen osaksi verkoston hallintajärjestelmää

6.2 Polku veden laadunhallinnan kehittämiseksi

Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

Tässä kehityspolku osiossa on kuvattu mistä kontaminaation havaitsemisjärjestelmän pitäisi koostua ja kuinka se rakennetaan. Järjestelmän rakentaminen on jaettu tässä kolmeen osaan seuraavasti:

1. Lähtötietojen ja tavoitteiden kartoitus
2. Veden laadun monitoroinnin suunnittelu
3. Järjestelmän ylläpito

6.2.1 Lähtötietojen ja tavoitteiden kartoitus

Jokainen järjestelmä tulee räätälöidä vesilaitoksen tarpeisiin ja resursseille sopivaksi. Lähtötietojen ja tavoitteiden kartoitusvaiheessa tulisi selvittää:

- Onko laitokselle tehty riskikartoitus, mitkä ovat etukäteen arvioituna suurimmat riskit
- Turvallisuusjärjestelmät: turvakamerajärjestelmät, kulun valvonta jne.
- Valmiussuunnitelmat ja kriisitilanneharjoitukset
- Nykyisen systeemin tila ja ominaisuudet, systeemien haavoittuvuudet ja paikallisten olosuhteiden aiheuttamien riskien kartoitus siten että vahvuudet, heikkoudet ja mahdollisuudet ovat selkeästi määritelty
- Uuden systeemin ominaisuudet ja kehitystyön jälkeinen tavoitetilanne
 - Halutaanko järjestelmän kattavan koko verkosto vai vain riskipitoisinta osaa, onko tarvetta priorisoida alueita
 - Kuinka nopeasti tulisi reagoida
 - Kuinka nopeasti mittaustiedot on mahdollista saada käyttöön järjestelmän kautta
 - Järjestelmän luotettavuus
 - Järjestelmän hinta, paljonko vesilaitos on valmis maksamaan; investointi- ja käyttökustannukset sekä takaisinmaksuajat
 - Järjestelmästä saatavat muut hyödyt, esimerkiksi asiakaspalvelun paraneminen, verkoston hydraulisen toiminnan paraneminen
 - Kuinka veden laadun seurantajärjestelmä yhdistetään muihin järjestelmiin ja toimintatapoihin, miten käytetään hyväksi koko laitoksen mittakaavassa
 - Näytteenotto ja analysointi sekä laatuajärjestelmät
 - raportointi käytännöt
- Yhteistyöjärjestelmät terveysviranomaisten kanssa, kuinka terveysviranomaisten epäily vesivälitteisestä epidemiasta välittyy vesilaitokselle
- Asiakaspalautteen rekisteröintijärjestelmä, ilmoitetun laatupoikkeaman laatu ja sijaintitiedon liittäminen monitorointijärjestelmään

6.2.2 Vedenlaadun monitoroinnin suunnittelu

Mittauspisteet

Mittauspisteiden sijainti tulee valita siten, että mahdollisimman kattava mittauspisteverkko saavutetaan mahdollisimman vähällä mittauspisteillä. Ainakin alkuvaiheessa voidaan suositella että rakennetaan mieluummin hyviä vähän kuin runsaasti, alle 10 kpl, keskikokoisilla laitoksilla. Mittauspisteisiin kannattaa panostaa, mittareille tulisi olla mahdollisimman lämmin tila, jossa on viemärointi ja sähköt. Lisäksi tarvitaan tehokas tietojensiirto sekä sopivat rajapintaratkaisut. Lähtökohdan ollessa lähes reaaliaikaisen tilannekuvan muodostaminen myös tiedon siirron ja käsittelyn tulee olla lähes reaaliaikasta. Tällöin tekstiviestipohjaiset järjestelmät eivät välttämättä toimi käytännössä. Näin ollen suositeltavia tiedonsiirtomenetelmiä ovat esimerkiksi 3G, radiomodeemi tai valokuitu. Käytännössä mittauspisteet tulisi sijoittaa mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi paineenkorotusasemien läheisyyteen.

Mittausparametrit ja mittareiden valinta

Luotettavassa veden laadun mittauksessa on kyse muustakin kuin mittausten seuraamisesta. Mittareiden soveltuvuuteen verkosto-olosuhteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota ja mittareiden huoltoon on panostettava, koska mittarit vaativat säännöllistä putsausta ja kalibrointia. Laatuparametrien valinnassa tärkeää on huomata, että samat parametrit eivät välttämättä sovellu eri vesilaitoksille, vaan jokaisen vesilaitoksen tulisi selvittää kenttäkokein, mitkä parametrit antavat eniten informaatiota kyseiselle laitokselle. Tulosten pohjalta suositellaan peruslaadun mittauksia siten, että valitaan 2-4 parametria seuraavista mittauksista:

- Johtokyky
- Lämpötila
- Jäännöskloori tai esim. kokonaiskloori
- Sameus
- UV- absorbanssi
- ORP
- pH

Kokemusten mukaan johtokyky ja lämpötila vaativat vähän huoltoa, pH vastaavasti eniten (kokeiden aikana kalibrointi 2-4 viikon välein). Muiden mittareiden osalta oli suuria verkostokohtaisia eroja. On-line mittareiden osalta oli selvästi havaittavissa, että verkostoympäristö oli mittausalueena uusi, mikä aiheutti tiettyjä ”lastentauteja” mittareiden valinnan, huollon ja ylläpidon osalta. Tästä syystä kaikki asennettavat mittarityypit täytyy pilotoida yhdessä laitetoimittajan kanssa ennen varsinaista järjestelmän rakentamista.

Jotta eri pisteistä saatavat tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään, samat mittausparametrit tulisi olla kaikissa mittauspisteissä mukaan lukien vesilaitokselta lähtevän veden mittausta. Mittaustulosten validointi on välttämätöntä kuin myös tulosten käsittely ja jalostaminen hyödynnettävään muotoon. Tällöin on mahdollista saada verkostosta arvokasta

tilannetietoa esimerkiksi verkoston vedenlaadusta ja mittausvirheistä yhdistämällä eri pisteistä saadut mittaustiedot keskenään ja analysoimalla niitä.

Mittausresoluutio

Mittausresoluutiona veden laatumittauksissa tulisi käyttää jopa yhtä minuuttia keskeisillä kaupunkialueilla, mikä on huomattavasti suurempi kuin mitä Suomessa yleensä käytetään veden laadun mittauksen arkistoinnissa. Mittaustulokset tulee siirtää mittaustietokantaan, jonne siirretään myös keskeiset mittausparametrit vesilaitoksen mittaustiedoista, erityisesti lähtevän veden mittausparametrit.

6.2.3 Järjestelmän ylläpito ja siitä saatavat hyödyt

Parhaan mahdollisen hyödyn saamiseksi on hyvä määritellä kuinka järjestelmän neuvonta ja ylläpito toteutetaan sekä miten kaikki informaatio käytetään mahdollisimman kattavasti. Suositeltavaa on myös toteuttaa väriä hälytysten tiedotus; väärät hälytykset hermostuttavat ja toisaalta ne pitää käydä systemaattisesti läpi.

Järjestelmää käytettäessä systemaattisesti, se johtaa siihen, että häiriöiden vaikutuksien vähentäminen onnistuu entistä paremmin, koska:

- aikainen havaitseminen paranee havaitsemis- ja reagointiaikojen lyhentyessä sekä uusien hälytysten johdosta, tehokkuuden riippuessa kontaminaatiosta ja sen sijainnista
- pystytään kehittämään toimenpiteitä, näytteenottoa ja analyysiä sekä tiedotusta ja operointia
- mahdollisuus hyödyntää ja kehittää kuluttajan valitusten raportointisysteemiä sekä terveydenhuoltojärjestelmän viestejä

Järjestelmästä on runsaasti myös muita hyötyjä vesilaitokselle:

- parempi verkoston hydraulikan ymmärrys, esimerkiksi lämpötila ja sähkönjohtokyky toimivat luonnollisina merkkiaineina verkostossa
- parempi prosessin toiminnanohjaus sekä parempi toimenpiteiden suunnittelu
- parempi tilannekuva esimerkiksi huuhtelutilanteista
- parempi asiakaspalvelu ja parempi tiedonkulku tapahtumista kaikille partnereille
- mahdollisuus hyödyntää saatuja tietoja valmiussuunnittelussa sekä järjestelmän hyödyntäminen kriisien hallinnassa

Hyödyttäviä lisäosia ovat:

- verkostomalli jolla parannetaan mittareiden sijoituspisteiden valintaa
- informaatiotekniikka mittaustietojen käsittelyä ja analyysiä varten
- vesilaitoksen hyvä valmiusasioihin varautuminen

Ehkäistävinä riskeinä huomioon tulisi ottaa:

- yhteistyö muiden viranomaisten kanssa
- rahan puute
- ei ymmärretä
- eteneminen juuttuu byrokratiaan

Kia Aksela, Ilkka Miettinen, Jenni Ikonen ja Petri Juntunen

Tarve vesijohtoverkostojen hallinnan kehittämiseksi kumpuaa paljolti verkostojen keskimääräisen toimintakyvyn heikkenemisestä, joka on seurausta ikääntyvien verkostojen johto-osuuksien kunnon vaihtelusta. Johto-osuuksien kunnon riippuessa useista eri tekijöistä on haastavaa hahmottaa resursseja vaativat kohteet yhden tai muutaman parametrin perusteella. Tämän johdosta proaktiiviseen verkoston hallintaan siirtyminen on perusteltua. Proaktiivinen verkoston hallinnan tavoitteena on verkoston hydraulinen hallinta johon kuuluvat sekä häiriöiden varhainen havaitseminen että verkosto-omaisuuden kunnon tehokas hallinta.

Yleisesti verkoston hallinnan kehittäminen vaatii perustakseen riittävän tasoiset staattisia ja dynaamisia tietoja sisältävät ja käsittelevät perusjärjestelmät. Vesilaitosten kannalta on oleellista pystyä turvaamaan sekä resurssit että osaaminen mikä liittyy näiden järjestelmien käyttöönottoon ja arkipäiväiseen käyttöön. Myös eri järjestelmien rajapinta ratkaisuiden tulisi olla tietojen siirtoa järjestelmien välillä tukevaa. Lisäksi erittäin tärkeää on, että vesilaitokset saavat kaikista järjestelmistä niiden sisältämät tiedot hyödynnettyä yli perusjärjestelmien. Tällä varmistetaan tietojen mahdollisimman laaja hyödynnettävyys sekä integrointi mahdollisuudet järjestelmä riippumattomasti. Erityyppisten ja -resoluutioisten tietojen integrointia voidaan pitää perusedellytyksenä verkoston hallinnalle.

Verkoston hydraulisen hallinnan perusta muodostuu verkoston hydraulisista mittauksista, sekä mittaustietoja lukevasta ja tiedonsiirroista vastaavasta kaukokäyttöjärjestelmästä. Oleellista on kaikkien dynaamisten tietojen siirto yhteen mittaustietokantaan sekä validointi. Tämän jälkeen on mahdollista tietoja jalostamalla ja analysoimalla parantaa häiriöiden havainnointia ja edelleen niiden epäsuoraa paikallistamista. Yhdistämällä vesilaitoksilla olevien perushallinta-järjestelmien tietoja ja samalla hyödyntämällä simulointia on mahdollista muodostaa verkoston hallintajärjestelmä jonka avulla jo havaittujen ja alustavasti paikallistettujen häiriöiden vaikutusalueiden selvittäminen mahdollistuu. Tämä verkoston tilannekuvan näyttävä järjestelmä voidaan rakentaa on-line toimivaksi halutulla aika-askeleella. Järjestelmään on mahdollista liittää myös veden laatuparametrejä. Tällöin on oleellista, että samojen parametrien mittauksia on käytettävissä sekä veden verkostoon syöttöpisteistä että valituista verkostoseurantapisteistä.

Yleensä vesilaitoksilla verkostoon lähtevän veden laatu on hyvinkin tiedossa. Vesiepidemiat ja kontaminaatiotilanteet ovat opettaneet, että ainakin tällä hetkellä raakavesien likaantuminen, erityisesti pohjavesilaitoksilla, on kaikkien merkittävien vesiturvallisuutta uhkaava tekijä. Näin tuntuisi loogiselta, että vedenlaadun on-line monitorointi aloitetaan nimenomaan vesilaitoksilta. Verkostossa olevasta vedenlaadusta ei ole tällä hetkellä paljonkaan reaaliaikaista tietoa. Verkostojen likaantuminen tapahtuu todennäköisimmin vesitornien likaantumisen tai verkostojen korjaus- tai asennustöiden yhteydessä. Täten laatuparametrien seuraaminen vesitornien yhteydessä on perusteltua muiden veden laatua mittaavien pisteiden sijaitessa säteittäisesti syöttöpisteistä veden pääasialliseen virtaussuuntaan nähden.

Vedenlaadun monitorointia voidaan tehdä epäsuorasti hyödyntämällä olemassa olevia fysikaalis-kemiallisia mittauksia. Veden laatuparametrit tulee valita laitos- ja verkostokohtaisesti, luotettavimmiksi veden laadun vaihtelusta kertoviksi mittareiksi kahden testatun verkoston osalta osoittautuivat lämpötila ja sähkönjohtavuus. Laatumittareiden lukumäärän ja sijainnin määrittämiseen ainakin tällä hetkellä vaikuttavat ennen kaikkea vesilaitoksen mahdollisuudet ylläpitää mittausverkostoa ja vaatimukset täyttävien mittauspisteiden olemassa olo. Todennäköisesti mittareiden huollon tarve ja muut niihin liittyvät ylläpitoasiat tulevat olemaan merkittävämpi tekijä veden laatumittausten käyttöönottamisessa kuin esimerkiksi mittauspisteen hankintakustannukset.

Kunnan hallinnan perusdokumentti on saneerausten yleissuunnitelma, joka perustuu kattavaan tietojen analysointiin ja jonka toteuttaminen ennaltaehkäisee verkoston häiriöitä. On-line hydraulinen mittaustieto yhdistettynä vedenlaatutietoon on tulevaisuudessa valvontatyökalu, jolla mahdollistetaan verkostossa tapahtuvien häiriötilanteiden aikainen havaitseminen ja edelleen vaikutusten minimointi. Lisäksi kehittynyt verkoston hallintajärjestelmä, jossa vesilaitoksilla olevien eri järjestelmien staattisia ja dynaamisia tietoja yhdistetään mahdollistaa kattavan verkosto-omaisuuden kunnan hallinnan.

Lähdeluettelo

- Aksela K. 2012. On-line simulation of water distribution system. *Eight Nordic Drinking Water Conference 18-20 June, Stockholm, Sweden*.
- Aksela K., Miettinen I., Ikonen J. ja Juntunen P. 2012. Ict-tuulia ja laadun seurantaa vesijohtoverkostojen hallintaan. *Ympäristö ja Terveys* (4).
- Aksela K., Heinonen T. ja Vahala R. 2011. Vedenkäyttö ja AMR. *Vesitalous* (5).
- Aksela K. Kaikki irti vuodoista. 2010. *Vesitalous* (6).
- Aksela K. ja Aksela M. 2010. Demand estimation with automated meter reading in a distribution network. *Journal of Water Resources Planning and Management* 137(5).
- Batté, M., Appenzeller, B.M.R., Grandjean, D., Fass, S. Gauthier, V. Jorand, F. Mathieu, L. Boualam, M. Saby, S. and Block, J.C. Biofilms in drinking water distribution systems (2003) *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2: 147–168, 2003. _ 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- van der Broeke J., Edthofer F., Weingartner A. (2010) Clean data and reliable event detection – turning results from on-line sensors into information. *Water contamination emergencies: Monitoring, understanding, acting*. Edited by K. Clive Thompson and Ulrich Borchers
- Eerola I., 2012. Vesijohtoverkoston vuotojen paikannus simuloinnilla, diplomityö, Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu.
- ISO 9308-1. 2000. Water quality - Detection and enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria - Part 1: Membrane filtration method. International Organization for Standardization:1-10
- Hall J, Zaffiro AD, Marx RB, Kefauver PC, Krishnan ER, Haught RC, Herrman JG. 2007. On-line water quality parameters as indicators of distribution system contamination. *Journal AWWA* 99(1):66-77.
- Isomäki, E., Valve M., Kivimäki A-L. and Lahti K. 2008. Ympäristöopas, Pienten pohjavesilaitos ylläpito ja valvonta, 129 s., Suomen ympäristökeskus, saatavana sähköisessä muodossa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=62570>
- Kosse P., Monitoring of microbial drinking water quality in a pilot-scale water network 2009, University Duisburg – Essen, Department of Chemistry, Curriculum “Water Science –Chemistry, Analytics, Microbiology”
- Kroll D., (2010) Is it real or isn't it? Addressing early warning systems alarms. *Water contamination emergencies: Monitoring, understanding, acting*. Edited by K. Clive Thompson and Ulrich Borchers.
- Laine, J., Huovinen, E., Virtanen, M.J. Snellman, M., Lumio, J., Ruutu, P., Kujansuu, E., Vuento R., Pitkänen, T., Miettinen, I., Herrala J., Lepistö, O., Anttonen, J., Helenius, J., Hänninen, M-L., Maunula, L., Mustonen, J., Kuusi, M. and the Pirkanmaa Waterbreak Outbreak Study Group. (2010) An extensive gastroenteritis outbreak after drinking-water contamination by sewage effluent, Finland *Epidemiol. Infect.*, Published online: 15 September 2010 pp. 1 -9.

Piispanen M., 2010. Synergioiden saavutettavuus automaattisessa mittarinluennassa sähkö-, kaukolämpö- ja vesihuolto-yhtiöiden välillä, diplomityö, Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu.

Pitkänen, T., Kalso, S., Vepsäläinen, A., Rapala, J. ja Niemelä, S.I. 2009. Colilert-menetelmän verifiointi sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaisiin koliformisten bakteerien ja *Escherichia coli* -bakteerin tutkimuksiin Suomessa. Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen julkaisuja. Raportti 17/2009.

Pitkänen, T., Meriläinen, P. ja Miettinen, I.T. (2011) Talousvesivälitteisten mikrobiologisten riskien kvantitatiivinen arviointi. Vesitalous 3/2011, p. 6-10.

Rompre, A., P. Servais, J. Baudart, M. R. de Roubin, and P. Laurent. 2002. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. Journal of Microbiological Methods 49:31-54.1

Tallon, P., B. Magajna, C. Lofranco, and K. T. Leung. 2005. Microbial indicators of faecal contamination in water: A current perspective. Water Air and Soil Pollution 166:139-166.

Van der Broeke J. 2009. Integrated UV-Vis parameters for distribution network monitoring. Deliverable of Techneau project (www-linkki)

United States Environmental Protection Agency. Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results. EPA/600/R-09/076 October 2009.

Zacheus. O. 2010. Talousveden valvonta ja laatu vuonna 2008. Yhteenveto viranomaisten tuloksista. Terveiden ja hyvinvoinninlaitos. Avauksia 18/2010

<http://www.epa.gov/nhsr/news/news021110.html> (luettu 22.5.2012)

http://www.s-can.at/medialibrary/publications/p_2006_05.pdf (luettu 22.5.2012)