

---

# JATKUVATOIMISET MITTAUKSET TALOUSVEDEN VALMISTUKSESSA



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakentamisen koulutusohjelma

Visamäki, kevät 2016

---

Veli-Ville Vihersalo



VISAMÄKI

Rakentamisen koulutusohjelma

**Tekijä**

Veli-Ville Vihersalo

**Vuosi** 2016

**Työn nimi**

Jatkuvatoimiset mittaukset talousveden valmistuksessa

## TIIVISTELMÄ

Työn tilaaja ja toimeksiantaja on Tampereen Vesi Liikelaitos. Tilaaja pyrkii työn avulla lisäämään automaation tasoa ja vaikuttavuutta parantamalla vedenpuhdistusprosessin mittarointia. Työn aihe rajattiin koskemaan vain jatkuvatoimisia mittauksia.

Työn tavoitteena on tunnistaa jatkuvatoimisen mittauksen tarpeet ja sen jälkeen etsiä niihin tekniset ratkaisut. Työn tuloksena tulee esittää selkeä kehitysehdotus tilaajalle.

Työ on laaja-alainen kehittämistehtävä. Työn tavoitteiden täyttäminen edellyttää laajan vaihtoehtokentän hahmottamista ja soveltuvien vaihtoehtojen tunnistamista vertailukriteereillä. Vaihtoehdot asetetaan paremmuusjärjestykseen. Kriteeristöt luotiin vesihuoltosektorin lainsäädännön, viranomaisohjauksen ja asiantuntijatiedon pohjalta. Apuna käytettiin myös laajalti ympäristöviranomaisen julkisia tietolähteitä sekä asiaan liittyviä tutkimuksia.

Työn tuloksena tilaajalle ehdotetaan vesikemian analyysikokonaisuutta raakaveteen sekä partikkelijakauman mittausta tai fosforin mittausta lähtevään veteen.

**Avainsanat** Kemian tekniikka, Mittauslaitteet, Prosessinohjaus

**Sivut** 59 s. + liitteet 12 s.

VISAMÄKI

Degree programme of construction

**Author**

Veli-Ville Vihersalo

**Year** 2016

**Subject of Master's thesis**

Continuous measurements in drinking water production

---

ABSTRACT

This thesis was commissioned by Tampere Water. With this thesis commissioner aims to enhance the level and efficacy of the automation by better measuring of the water purification process. The scope of the thesis was limited to continuous measurements only.

The goal of the thesis is to identify needs for continuous measurement and then find feasible technical solutions for them. Thesis shall present practical proposal for development.

Work is an interdisciplinary development task. In order to reach the goals a wide field of options must be outlined for identifying suitable options utilizing comparison criteria. Options will be arranged by cost-benefit score. Criteria were created based on legislation, guidance by official operatives and knowledge gathered by expert organizations. Wide array of public information from environmental officials and relevant previous studies were also used.

An array of aquatic chemistry measurements in raw water and a particle distribution measurement or a phosphorus analyzer in the purified water is suggested as a conclusion.

**Keywords** Chemical technology, Measuring devices, Process control

**Pages** 59 p. + appendices 12 p.

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Absorbanssi 254 nm	Mittaustekniikka jossa mitataan aallonpituudeltaan 254 nm (ultravioletti) valon energian absorboituminen väliaineeseen.
Aivoriihi	Työskentelytapa, jossa intuitiivisesti ideoidaan asioita ja kirjataan kaikki ylös. Ideoinnin jälkeen kirjauksia analysoidaan pidemmälle ja karsitaan.
ATP	Adenosiinitrifosfaatti, solujen energiatalouden tärkeä koentsyymi.
Baseline	Mitattavan suureen tavanomainen tausta-arvo.
CANopen	Tietoliikenneprotokolla ja laitemääritys automaatioon upotetuille kokonaisuuksille.
Confluence-työympäristö	Atlassianin luoma etäkäyttöinen projektityötilasovellus.
Desalinaatio	Suolan poisto vedestä, yleensä merivedestä.
DOC	Dissolved Organic Carbon, liuennut orgaaninen hiili
EIA/ELISA	Enzyme ImmunoAssay/Enzyme Linked Immunosorbent Assay, entsymaattisia havaitsemismenetelmiä.
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Ottivat alueellisesti hoidettavakseen lakkautettujen ympäristökeskusten tehtävät.
EPA/U.S.EPA	United States Environmental Protection Agency. Amerikan Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto, joka tutkii ympäristöasioita, sekä jossakin määrin myös asettaa ja valvoo säädöksiä. Vesivarantojen suojeleminen on yksi EPA:n seitsemästä pääteemasta.
Ethernet	Tietokoneiden tietoliikenneverkko. Pohjautuu IEEE 802.3 standardiin.
EUREAU	Euroopan laajuinen vesihuoltosektorin edunvalvonta- ja yhteistyöelin. Sen jäseniä ovat kansalliset vesilaitosyhdistykset.
FCG	Finnish Consulting Group (aiemmin Suunnittelukeskus Oy).
Foundation Fieldbus	Täysin digitaalinen, sarjaliikenteinen, kaksisuuntainen tiedonsiirtojärjestelmä.
GSM-modeemi	Langattoman tiedonsiirron laite, joka vaatii energiaa, riittävän signaalikuuluvuuden sekä SIM-kortin.

HART	Tietoliikenneprotokolla (Highway Addressable Remote Transducer), joka mahdollistaa digitaalisen tiedon välittämisen analogisessa johtimessa analogisen signaalin rinnalla.
Hormonimimiikki	Orgaaninen kemikaali, joka muistuttaa biokemiallisesti hormonia. Vaikuttaa eliöiden hormonitoimintaan haitallisesti liian suurina annoksina.
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
Hydrostaattinen paine	Paine joka fluidissa vallitsee eri syvyyksillä.
Indikaattorilaji	Mikrobilaji, jonka havaitsemisen voidaan olettaa indikoivan jotakin. Yleensä käytetään ulostesaastumisen indikointiin.
Kaivosalue	Fyysinen yhtenäinen alue, jolle voidaan luvan puitteissa perustaa (tai on jo perustettu) kaivos. Lisäksi kaivokseen voi liittyä kaivoksen apualueita, jotka palvelevat kaivoksen toimintaa.
Kaivospiiri	Kumotun kaivoslain 1965/503 mukainen kaivosalue, jolle voidaan luvan puitteissa perustaa (tai on jo perustettu) kaivos apualueineen.
Kaliumpermanganaattiluku/COD <sub>Mn</sub>	Kemiallinen hapenkulutus ilmoitettuna kaliumpermanganaattina / Chemical Oxygen Demand, kemiallinen hapenkulutus ilmoitettuna happena.
Koagulointi	Vedessä olevien epäpuhtaushiukkasten liittäminen yhteen isommiksi hiukkasiksi kemiallisilla ja fysikaalisilla menetelmillä.
KVVY	Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys. Rekisteröity yhdistys, joka on perustettu edistämään vesiensuojelua toimialueellaan. Nykyisin se on myös yksi suurimmista ympäristölaboratoriopalveluiden tarjoajista. Toimii edelleen vesistöjen tutkimus- ja kunnostustyössä osittain aatteelliselta pohjalta.
Läpivirtauskyvetti	Astia, jonka läpi virtaa näytettä ja jossa sensori havainnoi näytettä.
Malminetsintälupa	Kaivoslain 10.6.2011/621 ehtojen mukainen lupa etsiä malmeja maan pinnalla luvassa rajatulla alueella.

Malminetsintävaraus	Malminetsintäalueen varaus malminetsijälle malminetsintälupahakemuksen valmistelua varten. Varaajalla on etuoikeus malminetsintälupaan varausalueella.
Mie-sironta	Säteilyn sirontatyyppi silloin, kun sironnan aiheuttavat suunnilleen aallonpituuden kokoiset, pyöreätköt hiukkaset.
Modbus	Sarjaporttien tiedonsiirtoprotokolla.
NOM	Natural Organic Matter, luonnollinen orgaaninen aines. Orgaanista hiiltä sisältävä aines, joka luonnostaan esiintyy vedessä kuten esimerkiksi humus.
Persentiili	Prosenttipiste. Esimerkiksi 10. persentiili ilmoittaa muuttujan arvon, jonka toiselle puolelle jää 10 prosenttia arvoista.
Pietsyresistiivinen	Elektroninen komponentti, jonka resistiivisyys muuttuu mekaanisessa puristuksessa. Mahdollistaa paineen muuttamisen resistanssiksi.
Pollutanti	Epäpuhtaus tai saaste. Voi olla mikrobiologinen, kemiallinen tai radiologinen.
PROFIBUS	PROcess Field BUS. Täysin digitaalinen, sarjaliikenteinen, kaksisuuntainen tiedonsiirtojärjestelmä.
Resoluutio	Erottelukyky. Mittauksen kyvykyys havaita pieniä muutoksia.
RS-232	Määritelmä, joka kuvailee tietokoneen sarjaportin liittimen, johtimen, ja tiedonsiirtotavan.
STM	Sosiaali- ja terveysministeriö.
Talvivaara	Nikkeli- ja uraanikaivos Sotkamossa. Vuonna 2014 Suomen kaivoshistorian pahimpien ympäristöonnettomuuksien tapahtumapaikka.
TOC	Total Organic Carbon, orgaaninen kokonaishiili.
TOL 2008	Suomen Tilastokeskuksen käyttämä toimialaluokitus.
UNESCO	The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
Valtaus	Kumotun kaivoslain 1965/503 mukainen valtaus, jolla valtaaja on oikeutettu etsimään malmia kaivoksen hyödynnettävyyden määrittämiseksi. Vastaa pääpiirteissään nykyistä malminetsintälupaa. Valtaaja voi hakea valtaukselleen kaivospiiriä.

---

VAK	Vaarallisten aineiden kuljetus.
Vastapaine	Virtaus putkessa aiheuttaa painehäviötä, joka pumpun on voitettava pitääkseen nesteen liikkeessä. Tätä painehäviötä voidaan kutsua vastapaineeksi ja sen suuruus riippuu putken/putkiston ominaisuuksista ja virtausnopeudesta.
VVY	Vesilaitosyhdistys (aiemmin vesi- ja viemärlaitosyhdistys) on suomalaisten vesihuoltolaitosten edunvalvonta- ja yhteistyöelin. Tarjoaa kehitystyötä, neuvontaa ja koulutusta vesihuoltolaitoksille Suomessa.
Watchdog	Yleistermi silloin, kun mittaustekniikkaa käytetään varoittamaan vaarasta. Ei varsinaisesti anna ulos mittaustulosta, mutta generoi hälytyksen, jos sensorit havaitsevat rajan ylittyvän. Esimerkiksi palohälytin on Watchdog-tyyppinen laite. Tarkoittaa suunnilleen samaa kuin Early Warning System.
WLAN	Wireless Local Area Network. Rajatulle alueelle toteutettu tietokoneiden langaton tietoliikenneverkko. Pohjautuu IEEE 802.11 standardiin.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TEOREETTINEN PERUSTA.....	1
2.1.	Tutkimuksen teoreettinen viitekehys .....	1
2.2.	Tutkimuksen suoritus .....	3
2.3.	Mittauksista ja automaatiosta .....	5
2.3.1.	Automaation merkitys vesihuollossa.....	5
2.3.2.	Jatkuvatoimiset mittaukset .....	6
2.3.3.	Jatkuvatoimisten mittausten ominaisuuksia .....	7
2.3.4.	Resurssien kohdennus .....	9
2.3.5.	Henkilötyö korvaaminen .....	9
2.3.6.	Säädösten vaatimukset.....	11
2.3.7.	Viranomaisten vaatimukset .....	14
2.4.	Tilastolliset menetelmät .....	15
3	MITTAUSKOHDAT .....	20
3.1.	Teoriaperusta.....	20
3.2.	Kriteerit .....	24
3.3.	Suoritus.....	26
3.3.1.	Ruskon yleistason prosessiselostus .....	26
3.4.	Tulokset.....	28
4	RATKAISUT - RAAKAVESI.....	29
4.1.	Teoriaperusta.....	29
4.2.	Tekniset ratkaisut .....	39
4.2.1.	Vertailu .....	39
4.2.2.	Sijoitus.....	41
5	RATKAISUT – LÄHTEVÄ VESI.....	42
5.1.	Teoriaperusta.....	42
5.2.	Tekniset ratkaisut .....	47
5.2.1.	Vertailu .....	50
5.2.2.	Sijoitus.....	52
6	TYÖN LOPPUTULOS .....	52
7	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET .....	56

Liite 1	Valintakriteerit	Liite 5	Valuma-alueen kartta
Liite 2	Vertailukriteerit	Liite 6	Valuma-alueen maanpeite
Liite 3	Raakavesi – vertailu	Liite 7	Valuma-alueen yhdys-
Liite 4	Puhdas vesi – vertailu		kuntarakenne



## 1 JOHDANTO

Vesihuolto on jatkuvassa kehityksen tilassa. Uusiin haasteisiin etsitään ratkaisuja ja vanhojen haasteiden ratkaisuja pyritään tehostamaan. Samalla korostuu vesihuoltolaitoksen vastuu olla selvillä toiminnastaan ja mitata olennaisia asioita prosessistaan. Asia, joka kerrotaan hyvin selvästi uudessa vesihuoltolaissakin.

Tampereen Vesi näkee yhtenä kehitystehtävänä jatkuvatoimisen mittaamisen lisäämisen. Tässä työssä etsitään keinoja tuohon kehityspolkuun. Tavoitteena on ensinnäkin kartoittaa, missä jatkuvatoimisia mittauksia voitaisiin hyödyntää. Kun mahdollisuudet on tunnistettu – niitä lienee melkoinen joukko, on tehtävä vaihtoehtojen karsintaa. Tuohon karsintatyöhön on luotava jonkinlainen systemaattinen järjestelmä.

Valittuihin kohteisiin etsitään ratkaisuvaihtoehtoja, joita vertaillaan parhaan vaihtoehdon löytämiseksi. Työn tehtävä on täytetty, kun parhaiksi havaitut ratkaisuvaihtoehdot esitetään kehittämisehdotuksina tilaajalle.

## 2 TEOREETTINEN PERUSTA

### 2.1. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys

Tutkimuksen aiheeksi valikoitui jatkuvatoimisten mittausten käyttö vesilaitoksella. Aihe on melko laaja, koska mahdollisia mittauksia on lukemattomia. Mittauksia voidaan soveltaa eri osa-alueilla, kuten talousveden valmistuksessa, verkostossa tai jäteveden puhdistuksessa. Lisää vaihtelua tuo vielä prosessien moninaisuus. Puhdistusprosessi on erilainen riippuen raakavesilähteestä, tyyppillisimmistä epäpuhtauksista, puhdistusvaatimuksista, verkoston laatutekijöistä ja yksikköprosesseista.

Työ on luonteeltaan perinteinen parempaan toimintaan tähtäävä kehittämistehtävä, kuten Toikko ja Rantanen (2009) sen teoksessaan määrittelevät. Tässä työssä pyritään kuitenkin ensin luomaan vankka teoreettinen viitekehys ja suunnittelemaan ennalta kehitystyön vaiheet. Näin ollen työ on enemmän suunnitteluorientoitunut kuin prosessorientoitunut. Työssä pyritään painottamaan peräkkäisten vaiheiden tarkkaa määrittelyä edeltä käsin oikean lopputuloksen saavuttamiseksi sen sijaan, että vaiheita toistettaisiin prosessina loputtomiin, kunnes haluttu lopputulos saavutetaan. Reflektiivisyydestä ei silti luovuta kokonaan, vaikka se jääkin väistämättä vähän pienemmälle huomiolle. Tässä työssä kehittämistoiminta noudattaakin hyvin lineaarista mallia, jossa ensin

- määritellään tavoite, sitten
- suunnitellaan toiminta,
- toteutetaan toiminta ja
- päätetään projekti ja arvioidaan tulokset.

Kehittämistoimintaa on tapana tarkastella viiden eri tehtävän kautta:

### Perustelu

Kehittämistoiminta perustuu joko olemassa olevan ongelman poistamiselle tai toiminnan parantamiselle ilman varsinaista kimmoketta. Olemassa olevan ongelman poistaminen on useimmiten hyvin selväpiirteistä ja helppo rajata. Kehittäminen vain kehittämisen takia voi johtaa turhan eteerisiin ja korkealentoisiin projekteihin. Toisaalta pelkkä reagointi ongelmiin ei yleensä riitä nopeasti tai laajasti muuttuvissa olosuhteissa. Lisäksi ennakoivaa toimintaa puolustaa vesihuoltosektorin toiminnan poikkeuksellisen pitkä aikaskaala. (Toikko & Rantanen 2009)

Vesihuollon ollessa kyseessä ennakoivan kehittämisen realistisuus ja sitominen ajankohtaisiin olosuhteisiin käy melko kivuttomasti. Ensinnäkin vesihuolto on yleismaailmallinen aihepiiri. Vesihuolto koskettaa kaikkia yhteiskuntia kaikilla tasoilla vaikka ongelmien tarkka laatu vaihtelee. Yleismaailmallisuuden mukana tulee myös laaja-alainen tieteellinen aktiivisuus, mikä lisää tiedon määrää ja sen liikkuvuutta.

Yleisiä suuntaviivoja ja ohjausta on vesihuoltokysymyksissä helposti saatavilla. Ohjaavat puitteet voi johtaa lainsäädännöstä, kansainvälisistä asiantuntijalähteistä (esim. WHO), kattojärjestöjen suunnalta (VYV, EUREAU) tai vaikka vesihuoltotoimijoiden omista pitkän tähtäimen suunnitelmista ja skenaarioista. Tarkastelukulma voi olla terveydensuojelullinen, ympäristönsuojelullinen, teknis-taloudellinen tai vaikka sosioekonominen ja ylemmän tason ohjausta on kyllä löydettävissä.

Kolmas näkökohta avautuu vesihuollon vielä toistaiseksi melko suuresta julkisesta luonteesta. Julkisuus takaa tiedon vapaan käytettävyyden ja toisaalta se myös luo tunnetta yhteisestä tekemisestä ja yleisestä edusta. Julkisuus ja avoimuus vahvistavat pitkän tähtäimen toimintaa ja vähentävät halua omien intressien lyhytnäköiseen suojaamiseen. Tämä näkyy hyvin esim. seudullisissa vesihuoltoselvityksissä. Selvitykset ovat kaikkien käytettävissä, joten kaikki huomaavat, jos jokin kunta tai muu instanssi alkaa suojella ennakoivasti omia intressejään yhteisen kehittämisen kustannuksella.

### Organisointi

Tässä tapauksessa organisoinnin periaatteet ovat suoraa seurausta työn opinnäytetyö-luonteesta. Työtä tehdään hyvin itsenäisesti ja vastataan itse mm. resursoinnista. Työryhmään on hankittu vahvistukseksi käytännön osaajia automaation ja analysoinnin alalta. Suuria linjoja on tarkoitus käsitellä melko epämuodollisesti ja hyvin avoimilla areenoilla kuten Confluence-työympäristössä. Käytännön kysymyksiä, jotka liittyvät erilaisten ratkaisujen teknisiin yksityiskohtiin, käsitellään työryhmässä.

Organisointi on asia, josta ensimmäisenä aloitettiin itse työ, koska se muodostaa suurimman osan opinnäytetyösuunnitelmasta. Organisointi ja

resurssien mitoittaminen oli suuressa roolissa heti alusta lähtien työn aihetta määriteltäessä.

### Toteutus

Kehitystöissä on tavallisesti hyvin paljon käytännön tekemistä. Tässäkin työssä käytäntö on vahvasti läsnä, mutta päätöksentekoon tarvittavia tietoja hankitaan etupäässä case-tutkimuksista tutulla havainnoinnilla (Toikko & Rantanen 2009). Havainnointi kohdistuu enimmäkseen laitoksen prosessiin – sen toimintaan, laitteisiin ja nykyisiin mittauksiin. Toisaalta havainnointia tehdään myös muista prosesseista ja laitteista. Laitteista ei voida työn laajuuden vuoksi tehdä tavanomaisia koeajoja. Lisäksi tietoa pitää hankkia kokeilemalla, mutta tällöin tieto on vain viitteenomaista, eikä tutkittua tietoa.

Tämän työn tuloksena on perusteltu arvio ja suositus kehittämistoimenpiteistä. Ei siis itse käytännössä realisoituvia toimenpiteitä. Tällöin olisikin asianmukaista, että seuraava vaihe, joka olisi siis jonkin ehdotuksen toteuttaminen, olisi oma työnsä, johon kuuluisi koeajot ja arvioinnit.

### Arviointi ja tulosten levittäminen

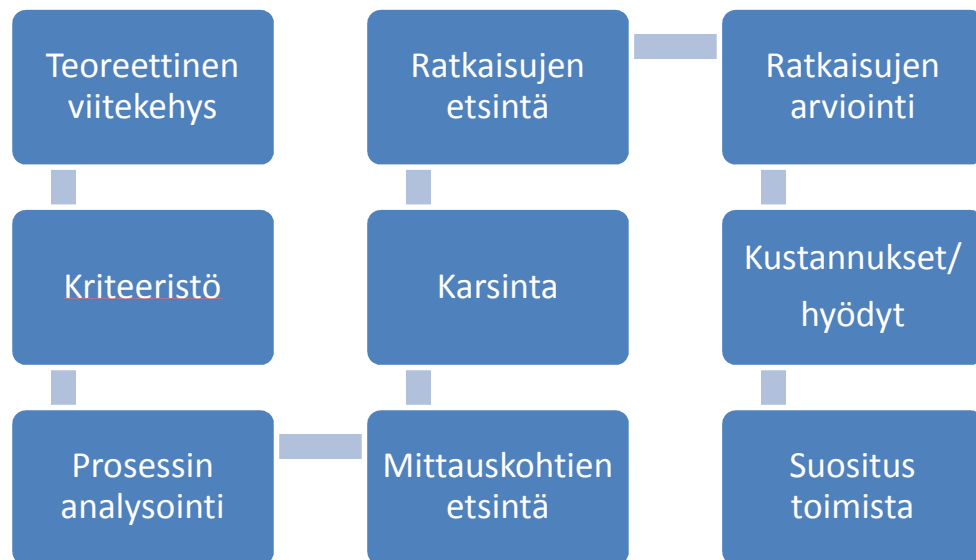
Nämä asiat on syytä lykätä toimenpiteiden toteuttamiseen. Kun toimenpide on toteutettu ja sen toimintaa seurattu noin vuosi, voidaan aloittaa arviointi ja tarvittaessa levittää tietoa. Näin ollen nämä vaiheet tulisivat ajankohtaisiksi noin 2 vuotta tämän työn valmistumisen jälkeen.

## 2.2. Tutkimuksen suoritus

Tutkimustehtäväksi tuli selvittää miten jatkuvatoimisia mittauksia voitaisiin hyödyntää Tampereen Veden talousveden valmistuksessa. Tehtävästä muotoiltiin kolme tutkimuskysymystä, joihin pyritään vastaamaan.

- Mitä jatkuvatoimisia mittauksia talousveden valmistuksessa voitaisiin hyödyntää?
- Miten jatkuvatoimisia mittaussovelluksia tulisi vertailla?
- Mistä sovelluksista olisi eniten hyötyä

Työn kulku tulee olemaan pääpiirteissään seuraavan kuvion kaltainen.



Kuvio 1. Opinnäytetyö prosessina esitettynä

Kuviossa yksi on esitetty opinnäytetyön eteneminen prosessina ja se käsittää vaiheet tässä järjestyksessä: Tehtävä → Teoriapohja → Mittaustarpeiden ja mittausmahdollisuuksien etsintä → Karsinta → Mittaussovellusten tai –ratkaisujen etsintä → Vertailu → Kustannus-hyöty vertailu → Suositus

Ensimmäinen vaihe on etsiä vedenpuhdistusprosessista mittausmahdollisuuksia ja –tarpeita. Kaikenlaisia asioita, joita olisi pitänyt mitata jatkuvatoimisesti, mutta jostain syystä ei ole mitattu, tai asioita, joita voidaan mitata, mutta mittauksia ei ole vielä tähän mennessä nähty hyödyllisenä. Tämä vaihe toteutetaan ”aivoriihi”-periaatteella, eli mitään ei karsita, vaan kohteita etsitään systemaattisesti ja ennakkoluulottomasti. Kohteita löytyy oletettavasti kymmeniä, joten seuraava vaihe on kohteiden karsinta.

Karsinta on tehtävä puolueettomasti jonkinlaisella tasapuolisella työkalulla. Parhaaksi vaihtoehdoksi nähtiin luoda kriteeristö, jonka perusteella eri kohteille annetaan pistemäärä. Parhaat pisteet saaneet mittauksien tai -mahdollisuudet otetaan jatkoon ja loput jätetään työn ulkopuolelle odottamaan seuraavaa kehitystyötä.

Seuraavaksi etsitään valittuihin mittauskohteisiin mittausratkaisuja eli teknisiä ratkaisuja, joiden avulla mittauksien saadaan tyydytettyä. Tässäkin vaiheessa on oltava luova ja avoin, mutta koska kyse on teknisistä yksityiskohdista, ihan kaikkia mahdollisuuksia ei ole tarpeen ottaa käsittelyyn. Joka tapauksessa valinta on tehtävä ja sitä varten on luotava taas kriteeristö. Tällä kertaa kriteerejä on enemmän ja ne ovat yksityiskohtaisempia.

Samaa kriteeristöä on tarkoitus käyttää teemapohjana kustannusten ja hyötyjen arvioinnissa. Arvioinnin jälkeen eri sovellukset ja ratkaisut voidaan laittaa järjestykseen esim. vaikuttavuuden, toteutettavuuden, kustannustehokkuuden tai kriittisyyden perusteella. Tällaisia priorisoituja

luetteloita voidaan esitellä päätöksentekijöille ja käyttää apuna investointiohjelman ja sen budjetin laadinnassa.

## 2.3. Mittauksista ja automaatiosta

### 2.3.1. Automaation merkitys vesihuollossa

Suomessa automaatio alkoi yleistyä vesihuollossa 1990-luvulla. Nyt 20 vuotta myöhemmin automaatio nähdään olennaisena osana vedenpuhdistuslaitoksen toimintaa. Kaikki suuret laitokset ja lähes kaikki pienemmätkin on jo automatisoitu luonnollisella tavalla saneerauksien ja laajennuksien yhteydessä. Nykyisin automaatio valtaa alaa todella pienillä laitoksilla, kuten vesiosuuskunnissa. Samaan aikaan monilla isoilla laitoksilla on edessään vanhan järjestelmän perusparannus tai uusiminen järjestelmien tullessa elinkaarensa loppupäähän. (Vesihuolto I 2003)

Esimerkiksi Ruskoon automaatio on tullut kaksi vuosikymmentä sitten ja se on uusittu 2010-luvun alussa. Vanha ja uusi järjestelmä eivät kuitenkaan ole piirteiltään ja toiminnaltaan samanlaisia. Automaatio on muuttunut ja muuttuu yhä laajemmaksi ja monisyisemmäksi. Automaatio vastaa laajemmin laitoksen toiminnoista ja tehtävät ovat monipuolistuneet pumppujen ohjaamisesta esimerkiksi pumppujen energiankulutuksen seurantaan, toiminnan optimointiin ja vaikka ennustavaan säätöön. Esimerkkinä energiankulutuksen hallinnan tarpeesta ovat Tampereen ilmastotavoitteet >20 % päästövähennys vuoteen 2020 mennessä ja 30 % absoluuttinen vähennys vuoteen 2030 mennessä.

Samaa tahtia lisääntyvät myös automaatiojärjestelmän ylläpitotyöt (Vilmi & Perkiö 2010). Itse asiassa vesihuollossa automatisoinnit ovat pikemminkin elinkaariprojekteja kuin järjestelmätoimituksia. Paperitehdas ajetaan ylös ja sen jälkeen automaatio on valmis. Siihen hankitaan varaosia rikkoutuneiden tilalle ja sopivassa kohdassa investoidaan laajennukseen tai kehittyneempään laitekantaan. Jostain syystä tämä ei toimi vesihuoltolaitoksissa. Verkoston tekniikan uusiminen voi kestää 5 – 10 vuotta (Vilmi 2008, 1). Tuona aikana verkostoon voidaan liittää uusia asemia kuten paineenkorottamoita tai jätevedenpumppaamoita. Viranomaisten vaatimukset voivat muuttua, mikä vaatii tehokkaampaa puhdistusta. Konserniohjaus tai poliittinen tahtotila voi asettaa esimerkiksi energiansäästötavoitteita tai rajoituksia kustannuksiin. Jopa raakaveden laatu voi muuttua, mikä saattaa asettaa aivan erilaisia tavoitteita ja pyrkimyksiä automaatiolle puhumattakaan esimerkiksi asiakasohjelmistoista ja verkoston tietojärjestelmistä ja näiden keskinäisestä kommunikoinnista. Toisin kuin tyypillisissä tehdastoimituksissa, vesilaitoksissa automaatio on jatkuvassa muuttumisen, kehittymisen ja päivittämisen tilassa.

Ylläpidon ja etenkin työn osalta automaation yksikkökustannukset ovat vesihuollossa selvästi korkeammat kuin muussa teollisuudessa. Normaali ohjelmointityö on karkeasti arvioiden jopa kaksi kertaa kalliimpaa

tuntihinnaltaan (Vilmi & Perkkiö 2010, 3). Tilanteeseen on ajauduttu toisaalta julkisen hankintamenettelyn ja huonosti hoidettujen hankintojen ja toisaalta yritysten ansaintalogiikan vuoksi. Joka tapauksessa lopputuloksena automaation elinkaarikustannukset ovat vesihuollossa kovat ja alkuinvestoinnin osuus kustannuksista on pieni, eräissä tapauksissa jopa marginaalinen.

Tilanne on johtanut viimeisen viiden vuoden aikana pyrkimykseen luoda puitteet avoimelle automaatiojärjestelmälle, joka ei olisi toimittajaan tai urakoitsijaan sidottu. Nähtäväksi jää mitä näistä visioista toteutuu ja miten tavoitteet saavutetaan. (Vilmi & Perkkiö 2010)

### 2.3.2. Jatkuvatoimiset mittaukset

Suurin osa mittauksista on luonnostaan jatkuvatoimisia eli ne tiettyjen aikarajoitusten puitteissa mittaavat reaaliaikaisesti jotakin suuretta. Kun mittauksesta tulee riittävän monimutkainen, se on edullisempaa tehdä kertaluontoisesti esim. laboratoriossa. Kertamittauksia voidaan syöttää vaikka käsin automaatiojärjestelmään ja käyttää niitä ohjaavina tietoina. Tosin tällöinkin voi tietysti ajatella, että mittaus on jatkuva, mutta sen vasteaika on hyvin, hyvin suuri.

Automaation käyttökelpoisuus perustuu hyvin pitkälti mittauksiin. Mittaukset keräävät tietoa prosessimuuttujista ja välittävät sen automaatioon, jotta järjestelmä voi tehdä vaadittavat säädöt laitteisiin. Ilman automaatiota tilanne olisi aivan sama, tiedot vain välitettäisiin järjestelmän sijasta ihmisoperaattorille. Mittarit ovat myös välttämättömiä automaation tekemien muutosten seurantaan. Mittauksilla on monia eri tehtäviä ja mittaukset voidaan räätälöidä erilaisiin tarkoituksiin. (Process Control, Automation, Instrumentation and SCADA. 2012, 23)

Tärkein ero jatkuvatoimisten mittausten ja kertamittausten välillä on toiminnan jatkuvuus. Jos mittaus on olennainen automaation toiminnan kannalta, mittauksen kahdentaminen on suositeltavaa. Kertamittauksia voi aina teettää muualla tai voi hankkia varalaitteen lainaksi tekemään mittauksia, mutta jos automaation toiminta vaatii jatkuvatoimista mittausta, mittauksen on myös toimittava jatkuvasti. On kohtuutonta, että mittarin vikaantuminen kaataa koko ohjausjärjestelmän. Koska toiminta – ja tarvekin – on jatkuvaa, ei mittaria ole helppo ottaa pois käytöstä vaikka kalibrointia varten. Kertamittari voidaan kalibroida tarvittaessa ja kalibrointi tarkistaa vaikka joka mittauksen yhteydessä, mutta jatkuvatoimisen mittarin kalibrointiväli on tavallisesti muutamien kuukausien luokkaa. (Vilmi 2009, 9)

Mittarit voidaan kytkeä monin eri tavoin. Perustason kytkentä on 4-20 mA analoginen viesti. Nimensä mukaan tämä kytkentä mahdollistaa vain mittaustuloksen siirtämisen. Kun mukaan tuodaan digitaalinen komponentti, saadaan HART-kytkentä, joka mahdollistaa mittausviestin lisäksi digitaalista tiedonsiirtoa kuten vaikka laitteen kunnonvalvontaa. Täysin digitaalisia kytkentöjä ovat esim. RS-232, Modbus, CANopen,

Profibus, Foundation Fieldbus ja Ethernet. Näissä tekniikoissa ei enää liiku perinteistä I/O-tietoa ja ne vaihtelevat huomattavasti ominaisuuksiltaan. Modbus omaa vikaherkän järjestelmän maineen, CANopen on avoin mutta keskittyy laitteiden sisäiseen ja väliseen kommunikointiin ja Ethernet on laajalle levinnyt ja sitä pidetään hyvin varmana ja vikasietoisenä ratkaisuna. (Communications, Industrial Networking and TCP/IP 2012, 23)

Lisäksi varsinainen kytkentä voidaan tehdä valokuidulla tai langattomasti. Valokuitu siirtää suuria tietomääriä helposti, mutta se ei yleensä ole mittauksessa ensisijainen ongelma. Langaton yhteys voidaan toteuttaa vaikka WLAN-tekniikalla tai GSM-modeemilla. Tekniikalla on tiettyjä selviä etuja, mutta langaton yhteys ei tule lähtökohtaisesti kysymykseen ensisijaisena suuren laitoksen laajuusena kytkentätapana muuten kuin erikoistapauksissa. (Vilmi 2008, 14; Communications, Industrial Networking and TCP/IP 2012, 29)

### 2.3.3. Jatkuvatoimisten mittausten ominaisuuksia

#### Anturi – Analysaattori

Ensiksi tehdään ero lähettämiin ja analysaattoreihin. Tämä liittyy etupäässä mittaustekniikan monimutkaisuuteen. Eräs yksinkertaisimmasta mittauksista on painelähetin, joka koostuu joustavasta kalvosta, voimaa tai venymää aistivasta elimestä ja 4-20 mA signaalin lähettämiseen vaadittavista komponenteista. Laite on kymmenisen senttimetriä pitkä ja paksun tussin kokoinen halkaisijaltaan.

Analysaattori on monimutkaisempi laite, jonka toteuttama mittaus vaatii enemmän toimenpiteitä ja johon liittyy enemmän muuttujia. Hyvä esimerkki on vaikka vapaan kloorin mittaus. Tähän saattaa liittyä läpivirtauskyvetti, joka on kalibroitu tietylle virtaama-alueelle, jolloin tietysti virtaamakin on saatettava tälle alueelle. Laitteistoon voi kuulua itse kloorianturin lisäksi pH-anturi tai puskuriliuoksen ja värireagenssin annostelulaitteet. Jos kyseessä on vaikka kloorianturi + pH-anturi –laite, klooripitoisuus saadaan laskennan tuloksena, joten analysaattorin pitää sisältää jonkinlainen logiikankaltainen komponentti, joka tekee laskennan. Vasta sitten analysaattori voi lähettää mitattua, tai pikemminkin analysoimansa, klooripitoisuuden milliampeeriviestinä.

#### Suora – Epäsuora mittaus

Kun mittaus on suora, se hyödyntää anturitekniikkaa, joka mahdollisimman suoraan ja välittömästi reagoi nimenomaan mitattavaan suureeseen. Nimenomaan paineen mittaus ja esimerkiksi lämpötilan mittaus ovat tällaisia. Paine vaikuttaa suoraan kalvoon ja sen kautta vaikka nyt pietsoresistiiviseen anturiin, mikä aiheuttaa muutoksen signaalissa.

Astetta epäsuorempiin tekniikoihin päästään, kun mitataan säiliön pinnankorkeutta. Jos mitataan paineanturilla, mitataan itse asiassa hydrostaattista painetta nesteessä. Hydrostaattisen paineen ajatellaan

riippuvan vain nestepinnan korkeudesta eli paineanturin upotussyvyydestä. Jos mittaus taas tehdään vaikka ultraäänitutkalla, mitataan itse asiassa väliaikaa äänipulssin lähettämisestä sen kaiun palaamiseen. Ja koska mittalaite on paikallaan, jää ainoaksi muuttujaksi mittalaitteen ja ainespinnan etäisyys, joka on kääntäen verrannollinen säiliön pinnankorkeuteen.

Mittauksen välittömyys ei välttämättä ole kytköksissä mittauksen monimutkaisuuteen tai edistyneisyyteen. Niinkin yksinkertaista asiaa kuin kemikaalin annostusta on mahdotonta mitata suoraan. Annostusta varten tarvitaan nimittäin kemikaalin virtaamatieto sekä kemikaalin vastaanottavan prosessiaineen virtaamatieto. Näin yhdistelemällä eri antureiden tietoja voidaan rakentaa hyvinkin pitkälle vietyjä mittauksia, joista saadaan hyvin spesifistä, haluttuun tarkoitukseen soveltuvaa dataa.

### Viive

Mittauksella on tietysti aina viive. Mittari ei voi reagoida mihinkään reaali maailman muutokseen ilman viivettä. Viive voi olla hyvin pieni, kuten lämpötilan mittauksessa tai se voi olla pitempi. Yleisesti ottaen viive kasvaa jos tarvitaan suurta tarkkuutta, suurta erottelukykyä tai suure on erityisen vaikeasti havaittava. Tavallisesti analysaattori-tyyppisillä laitteilla on suuremmat viiveet. Esimerkiksi useat anturit tai näytteen esikäsittelyt nostavat sitä.

### Virhetekijät

Jatkuvatoimisen mittauksen kalibrointi tarkistetaan harvoin ja suoritetaan vielä harvemmin. Tämä asettaa mittauksen alttiiksi virhetekijöille. Mittaus saattaa alkaa ryömimään, eli mittausarvo siirtyy hitaasti jompaankumpaan suuntaan. Mittaukset pyritään aina saattamaan lineaarisiksi, mutta se ei välttämättä ole mahdollista ainakaan koko mittausalueella. Myös jonkin komponentin resoluutio voi olla riittämätön. Mittaus on aina ketju, jossa voi olla esimerkiksi anturi, jokin signaalia muokkaava komponentti ja signaalin lähetin. Jos yhdenkin komponentin resoluutio on huono, se vääristää koko ketjun mittaustulosta siitä eteenpäin. Huono resoluutio voi johtua esimerkiksi sopimattomista mitta-alueista. (Hiltunen, Linko, Hemminki, Hägg, Järvenpää, Saarinen, Simonen ja Kärhä 2011, 9 – 20)

Lisäksi mittalaitteilla voi esiintyä hystereesiä. Hystereesi tarkoittaa sitä, että mittalaitteen antama tulos riippuu aiemmista olosuhteista. Esimerkiksi pH-anturi, joka on sijoitettu neutraaliin nesteeseen, voi antaa eri tuloksen riippuen siitä lähestyykö se oikeata arvoa sen yläpuolelta vai alapuolelta. Tai mittaustulos voi riippua siitä, miten korkeita tuloksia laite on antanut viimeisen tunnin aikana. Tosin tässä voidaan jo lähestyä ihan anturin ominaisuuksiakin, nimittäin ainakin väliaineelliset kaksijohdinelektrodit voivat ”kyllästyä” tai ”väsyä” mitta-asteikon ääripäihin joutuessaan. Tällöin ei kyse varsinaisesti ole hystereesistä. Luonnollisesti merkittävin ja yleisin virheen aiheuttaja on yhä edelleen puutteellinen tai huonosti tehty kalibrointi. (Hiltunen ym. 2011, 9 – 20)



Samat vaivat kiusaavat kertamittauksia, mutta ero on siinä, että kertamittauksista virheet on helppo huomata. Kertamittaukset voidaan tehdä rinnakkaisina, toistaa ja tarkistaa standardiliuoksilla. Jatkuvatoimisista mittauksista virheiden huomaaminen on teknisesti vaikeampaa ja ikävä kyllä taipumus on jättää mittarit asennuksen jälkeen oman onnensa nojaan. Teknisiä ongelmia voi yrittää torjua vaikka vertailumittauksilla tai hälytysrajoilla, inhimillisiin ongelmiin tepsinevät parhaiten selkeät huoltosuunnitelmat ja oikea resursointi.

### 2.3.4. Resurssien kohdennus

TOL 2008 luokka 36000 kuvaillaan näin: ”Veden otto, puhdistus ja jakelu”. Tähän luokkaan kuuluvat siis talousveden tuotannosta vastaavat laitokset. Vuonna 2009 tämän luokan yrityksissä työskenteli 834 henkilöä. Vuonna 2011 työntekijöitä oli enää 577 eli 31 prosenttia vähemmän. Samalla aikavälillä tuntipalkat ovat nousseet alle 3 prosenttia. Työtuntimäärä työntekijää kohden on noussut hämmästyttävät 46 prosenttia, mikä tarkoittaa että edellä mainittujen arvojen perusteella laskettuna palkkojen kustannukset ovat nousseet 3,9 %. Samaan aikaan koko kuntasektorin menot ovat nousseet 17 prosenttia ja palkkojen osuus kaikista työvoimakustannuksista on 74 – 75 %, mikä on ollut käytännöllisesti katsoen koko 2000-luvun ajan vakio. (SVT, Kuntasektorin palkat; SVT Teollisuuden alue- ja toimialatilasto)

Vuosien 2010 ja 2012 välillä Tampereen Veden työntekijöiden määrä väheni 5 % alkuperäisestä 145 henkilöstä. Samaan aikaan palkkamenot kasvoivat noin 13 %. Palkkamenojen kasvuun vähenevästä henkilöstöstä huolimatta voi olla useita syitä. Yksi syy voi olla ylityökorvausten lisääntyminen työtehtävien lisääntyessä ja suorittavan henkilöstön huvetessa. (Tampereen Veden vuosikertomukset 2010 – 2012)

Edellisestä voidaan päätellä, että henkilöresursseja on vähennetty voimakkaasti ja lisääntyvät työtehtävät pyritään hoitamaan nykyistä toimintaa tehostamalla eikä merkittäväillä resurssien lisäyksillä. Automaatio nähdään usein yhtenä merkittävänä tehostamistekijänä.

### 2.3.5. Henkilötyö korvaaminen

Automaatiota perustellaan usein säästöillä. Automaattinen kokoonpanolaitteisto esimerkiksi tekee kokoonpanotyön ihmisten puolesta, jolloin säästetään palkkakustannuksissa. Asia ei ole aivan näin yksinkertainen jatkuvatoimisten mittausten suhteen. Perinteisessä ajattelussa automaattinen mittaus voi korvata laboratorioissa käsin tehdyn mittauksen. Tosiasiassa on-line -laitteiden tarkkuus ja luotettavuus eivät yleensä ole monimutkaisissa analyyseissä lähelläkään laboratorion tasoa ja vaikka suorituskyky saataisiinkin riittävälle tasolle, tarvitaan laboratoriomittausta silti kalibrointiin ja kalibroinnin seurantaan. (Hiltunen ym. 2011, 47)

Uusi jatkuvatoiminen mittausdata pitää hyödyntää muulla tavoin. Helpointa on kerätä uutta dataa prosessista ja hyödyntää se joko prosessin automaattisessa ohjaamisessa tai prosessin valvojan päätöksenteossa. Tällöinkin on vaikea säästää työvuosissa, mutta säästöjä voidaan saavuttaa kulutushyödykkeiden tehokkaampana käyttönä, kunnossapidon oikeana kohdistamisena ja välttämällä poikkeustilanteita ja niistä aiheutuvia kuluja.

Etenkin kunnossapidon ja poikkeustilanteiden säästöjä voi olla saavutettavissa, jos käytetään mittauksia, jotka kohdentuvat toisiin mittauksiin tai laitteisiin, eivätkä perinteisesti prosessisuureisiin. Tavanomaisin ja käytetyin tällainen mittaus on sähkösuureiden (teho, virta, jännite) mittaaminen esimerkiksi moottorista. Mittausten perusteella voidaan yrittää tehdä johtopäätöksiä laitteen toiminnasta, kunnosta tai soveltuvuudesta. Nämä mittaukset tulee kuitenkin lähes poikkeuksetta yhdistää muuhunkin tietoon. Esimerkiksi moottorin ottamaa tehoa on verrattava pumpun aikaansaamaan tuottoon, jotta normaalit käyttövaihtelut saadaan häivytettyä. Sinänsähän ei välttämättä ole kyse viasta, jos pumpun ottama teho nousee. Kyseessä voi olla vain tavanomainen prosessisuureiden vaihtelu, kuten vaikka verkoston vastapaineen nousu yöllä.

Kun laitteeseen liittyvä suure ja prosessisuure on saatu liitettyä yhteen, pitää yleensä myös järjestää vielä trendin tarkkailu. Jos mitataan tänään pumpun tuotto ja siihen käytetty sähköteho, se harvoin yksinään kertoo mitään käyttökelpoista laitteesta. Mutta jos sama mittaus toistetaan vaikka kerran kuukaudessa puolen vuoden ajan, saadaan aikajanelle trenditietoa, jonka pohjalta voidaan yrittää tehdä johtopäätöksiä laitteen kunnan kehittymisestä. Yleisesti ottaen tämä pohjautuu oletukseen, että laitteen, tässä tapauksessa pumpun, käyttö aiheuttaa kulumista laitteessa. Tämä kulumisen ilmentyy suurempana energiahukkana laitteen ottaman energian ja tuottoon siirtämän energian välillä. Teoriassa pitäisi olla mahdollista määrittää ainakin empiirisesti sellainen kulumisen eli sisäisten häviöiden taso, joka ei enää ole hyväksyttävissä laitteen käytettävyyden kannalta.

Tällaisia mittauksia voidaan toteuttaa myös suuremmin. Mittaus voidaan tehdä suoraan laitteesta, ilman prosessisuureita kuten esimerkiksi värinämittaus. Tässä tapauksessa värinän oletetaan korreloivan liikkuvien osien kuten laakereiden kunnan kanssa. Tämä ei ole täysin ongelmattonta, koska värinäänkin saattaa vaikuttaa olosuhteet (lämpötila, paine, virtausnopeus) tai interferenssien kautta muut käynnissä olevat koneet tai värinävaikutukset. Toisaalta voidaan mitata pelkästään prosessisuureita. Esimerkiksi likaantumista ja tukkeutumista on jo pitkään mitattu paine-erolla. Yleisin esimerkki on suodattimen suodatusvastuksen mittaaminen paine-eromittarilla. Mittaus on yksinkertainen ja helposti sovellettavissa moniin eri kohteisiin.

Mittauksia voidaan tehdä myös mittauksista. Esimerkkinä on vaikka kahden samassa astiassa sijaitsevan pinnankorkeusmittarin eromittaus. Eroa tarkkailemalla voidaan valvoa mittareiden toimintaa ja mittausten oikeellisuutta. Kalibrointitarpeen ilmaisevista mittauksista on usein paljon

hyötyä ja siksi ominaisuus onkin usein jo sisäänrakennettu mittalaitteisiin, jolloin ne itse hälyttävät kun kalibrointi ei ole enää kohdallaan.

Tällaiset mittaukset, jotka kertovat prosessin sijaan laitteista, tähtäävät nimenomaan kunnossapidon kehittämiseen ja niistä on saatavissa taloudellisia ja teknisiä hyötyjä sitä kautta. Yksinkertaisimmallaan voidaan ajatella, että jatkuvatoiminen kunnonvalvonta poistaa tarpeen tehdä laitteiden tarkastuskäyntejä, mikä säästää jonkin verran työvuosia. Tavoitteena tulee kuitenkin olla mittausten määrittely niin, että datasta voitaisiin tehdä ennusteita. Ennusteiden avulla pystytään suunnittelemaan kunnossapitotoimia ja vähentämään korjaustoimenpiteitä.

Ennusteiden avulla on mahdollista saada jo merkittäviä hyötyjä. Kun kunnossapito on suunnitelmallista ja ennusteiden perusteella ennakoivaa, tehdään vähemmän korjauksia, joihin huoltoihin verrattuna menee yleensä enemmän työtunteja, enemmän materiaali- ja ostopalvelukustannuksia sekä kiireisissä tapauksissa enemmän ylityökustannuksia tai korvaavista järjestelyistä aiheutuvia kustannuksia. Lisähyöty tulee kuitenkin itse suunnitelmallisesta toiminnasta. Kun huollot tehdään suunnitelman mukaan, kunnossapitohenkilöstön ajankäyttö voidaan räätälöidä tehokkaammaksi, koska siitä puuttuvat suvantovaiheet ja turhat siirtymät ja koska töitä voidaan järjestellä.

Tästäkin voidaan mennä vielä askel eteenpäin. Kuvitellaan näin: Mittaus suoraan prosessista tai laitteesta on ensimmäisen kertaluvun mittaus. Esimerkiksi kävisi vaikka painemittaus tai sähköenergian mittaus. Toisen kertaluvun mittaus on näitä yhdistelevä tai näihin kohdistuva mittaus, kuten vaikka juuri pumpun sisäisten häviöiden mittaus. Tämä tarvitaan kunnonvalvontaan ja huollon suunnitteluun. Voidaan tehdä myös kolmannen kertaluvun mittaus, joka tässä tapauksessa kohdistuisi laitteen suunnitelmalliseen huoltoon. Voidaan esimerkiksi mitata sisäisten häviöiden muutosnopeuden muutosta tai vaikkapa laitteen käyttövalmiusajan suhdetta huollossaoloaikaan. Kolmannen kertaluvun mittaus tuottaisi tässä tapauksessa sen tyypistä tietoa kuin esimerkiksi, milloin pumppu kannattaa vaihtaa, mikä pumppu on muita vikaherkempi tai onko jokin huoltotapa laadukkaampi kuin muut. Kyseessä on tietyllä tavalla datan derivointi. Tämän analogian mukaisesti datassa näkyvien muutosten aika-akseli on erilainen. 1. asteen mittaus voi reagoida vaikka sekuntien – minuuttien tarkkuudella. 2. asteella tarkkuus olisi pienimmillään päiviä ja 3. asteella luontevin olisi luultavasti vuositaso.

### 2.3.6. Säädösten vaatimukset

Normaalioperoinnissa voimakkain vesihuoltoa säätelevä laki on Vesihuoltolaki (9.2.2001/119). Poikkeustilanteissa valmiuslait tai muu poikkeustilan lainsäädäntö voivat olla etusijalla. Luonnollisesti myös EU-lainsäädäntö on kansallista lainsäädäntöä velvoittavampaa, mutta vesihuoltolaki pohjautuu jo Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2000/60/EY eli vesipoliittiseen puitedirektiiviin. Toinen hyvin vahva normi

on Terveysturvallisuuslain nojalla annettu Talousvesiasetus (1352/2015).  
(Vesipuidedirektiivi)

Vesihuoltolain pykälät 14 ja 15 kuuluvat näin.

14 §

Vesihuoltolaitoksen velvollisuus huolehtia talousveden laadusta

Vesihuoltolaitoksen tulee huolehtia siitä, että laitoksen toimittama talousvesi täyttää terveydensuojelulaissa säädetyt laatuvaatimukset.

15 §

Vesihuoltolaitoksen tarkkailuvelvollisuudet

Vesihuoltolaitoksen on tarkkailtava käyttämänsä raakaveden määrää ja laatua sekä veden hävikkiä laitoksen verkostossa.

Mitä 1 momentissa säädetään, koskee myös sitä, joka toimittaa vettä vesihuoltolaitokselle.

Tässä jo määrätään konkreettisia velvollisuuksia kuten talousveden ja raakaveden laadun seuranta. Maa- ja metsätalousministeriön Vesihuoltolakiopas avaa vähän näitä käsitteitä. 14 § juontaa juurensa siitä, että Terveysturvallisuuslaissa ei erikseen määrätä tarkkailuvelvoitteita talousveden toimittajalle toiminta-alueensa ulkopuolella. Raakaveden tarkkailuvelvollisuudesta taas on tarkoitus antaa tarkentavia määräyksiä. Tällä hetkellä voimassa on edelleen Valtioneuvoston päätös juomaveden valmistamiseen tarkoitetun pintaveden laatuvaatimuksista ja tarkkailusta (19.5.1994/366). Asetus tarjoaa kolmiportaisen luokituksen lähes 40 eri suureen suhteen. Raja-arvoissa otetaan myös huomioon ilmasto-olot ja vuodenaikaisilmiöt kuten tulvat. Tarkkailuohjelman vahvistaa valvova viranomaisen, mutta laatusuureet sinänsä ovat merkittäviä raakaveden laadusta kertovia mittauksia, joten niiden seuraaminen on hyödyllistä. (Belinskij 2015, 12)

Säädöksissä puhutaan laitoksen toimittaman veden laadusta. On tärkeää huomata, että toimitukseen kuuluu myös veden kuljettaminen kuluttajan käyttöpisteeseen saakka (Belinskij 2015, 24). Kun katsoo vesihuoltolaitosten julkaisemia raportteja veden laadusta, ne hyvin usein mainitsevat, että laitokselta lähtevä vesi täyttää asetuksen laatuvaatimukset. Se on hyvin suppea näkökulma asiaan, sillä vesi viettää todennäköisesti enemmän aikaa jakeluverkostossa kuin laitoksen käsittelyprosessissa. Veden laadun tulee olla sellaista, että se vielä käyttökohteessakin täyttää laatuvaatimukset ja on turvallista. Erityisesti tämä seikka korostuu siitä tosiasiasta, että hyvin usein sama taho vastaa sekä puhdistamosta että jakeluverkosta, eikä seurantavastuun rajaaminen vain laitokseen ole mielekäästä. Lisäksi vesihuoltolaitos itse tuntee parhaiten verkostonsa ja siihen liittyvät riskit ja on siis myös parhaiten varautunut torjumaan kyseiset riskit.

Poikkeuksena ovat tietysti kiinteistön omat verkostot ja laitteet, jotka voivat vaarantaa veden laadun. Vaikka laitoksella onkin vesihuoltolain nojalla oikeus tarkastaa kiinteistön järjestelmät, ei sillä ole tosiasiallista mahdollisuutta laajamittaisesti ohjata niiden kunnonvalvontaa ja ylläpitoa. Näin ollen vastuu talousvedestä kuuluu laitokselle aina liittymiskohtaan tai vesimittariin tai muuhun sopivaan selkeästi määriteltyyn paikkaan saakka. (Belinskij 2015, 22 - 24)

Vesihuoltolain uudistus on juuri tekeillä ja laista on tehty jo luonnos lausuntokierrokselle. Luonnoksessa on joitakin ydinkysymyksiä, mutta tämän työn aihepiiriä koskevat asiat ovat seuraavat esityksen pääkohdat:

Vesihuoltolaitosten tulisi laatia suunnitelmat erityistilanteisiin varautumiseksi ja ryhtyä niiden perusteella toimenpiteisiin vesihuollon palvelujen varmistamiseksi. Laitosten tulisi olla selvillä raakaveden laatuun ja määrään kohdistuvista riskeistä sekä laitteistojensa kunnosta sekä tarkkailla raakaveden määrän ja laadun ohella laitteistonsa kuntoa ja vuotovesien määrää. (Hallituksen esitys vesihuoltolain muuttamisesta 2013)

Selvästi viimeaikaisten tapahtumien perusteella (Nokian vesikriisi, Jyväskylän vesitornin romahdus, Helsingin metrotunnelin tulvat, Tyrnävän, Siilinjärven, Tohmajärven, Kurikan ja muiden alueiden keittokehotukset) viranomaiset haluavat panostaa veden turvallisuuteen. Avainsanat lainauksessa ovat ”olla selvillä” ja ”tarkkailla”. Luonnollinen vastaus on kehittää automaatiota. Lisäämällä mittauksia, sekä mittauspisteitä että mitattavia suureita, saadaan enemmän tietoa prosessista ja sen tilasta. Kolikon käänttöpuoli on tietenkin ylläpitokustannusten hallitsematon kasvu, koska mittalaitteet tarvitsevat säännöllistä huoltoa toimiakseen luotettavasti. Vesihuoltolaki kantaa huolta myös laitosten taloudesta eli etupäässä siitä, että laitoksen tulot riittävät kustannusten kattamiseen ja investointeihin. Koko vesihuoltolain pääajatus onkin:

Vesihuoltolain tavoitteena on turvata sellainen vesihuolto, että kohtuullisin kustannuksin on saatavissa riittävästi terveydellisesti ja muutenkin moitteetonta talousvettä sekä ... (Vesihuoltolaki 15 §)

Näin ollen laitosten on löydettävä tasapaino reaaliaikaisista mittauksista saatavien hyötyjen ja kohonneiden kustannusten välillä.

Talousvesiasetus 1352/2015 määrittää pykälissä 7 – 11 valvontaa ja seurantaa. Ensinnäkin se määrää suorittamaan talousveden laadun jatkuvaa valvontaa sekä jaksottaista seurantaa. Jatkuvan valvonnan on tarkoitus kertoa prosessista kun taas jaksottainen seuranta valvoo asetuksen laatuvaatimusten täyttymistä. Seurannan on oltava laadukasta mm. näytteenoton osalta. Terveysturvallisuuden ja vesihuoltolaitos ovat yhdessä velvollisia laatimaan valvontatutkimusohjelman, josta käy ilmi määritykset ja näytteenoton suunnittelu.

Valvontatutkimusohjelmassa otetaan huomioon kunkin laitoksen ominaispiirteet ja ohjelmaan on myös koottava tiedot laitoksen omavalvonnasta ja käyttötarkkailusta. Uudessa asetuksessa on annettu käyttötarkkailusta seuraava määräys.

Käyttötarkkailuun tulee sisältyä riittävä, riskinarviointiin perustuva ja dokumentoitu laitoksen toimintaympäristön, raakaveden määrän ja laadun sekä laitteiston kunnon seuranta veden käsittelyn asianmukaisuuden varmistamiseksi sekä talousveden saastumisen ja häiriötilanteista aiheutuvien terveyshaittojen ennalta ehkäisemiseksi.

(Talousvesiasetus 10§)

Lisäksi laki velvoittaa vielä epäillyissä saastumistilanteissa tarvittaessa tiheämpään seurantaan sekä desinfiointivalmiuteen.

EU-lainsäädännön ohjaamana Suomessa on voimassa laki (366/1994), joka velvoittaa tarkkailemaan talousveden raaka-aineena käytettävän pintaveden laatua. Pintaveden tulee täyttää tietyt raja-arvot, jotta sen käyttö olisi sallittua. Laissa vedet on jaettu kolmeen laatuluokkaan A1, A2 ja A3, joilla kaikilla on omat raja-arvonsa sekä laatuluokkaa vastaava vähimmäisvedenkäsittely.

### 2.3.7. Viranomaisten vaatimukset

Ympäristönsuojeluviranomaisia ovat mm. Suomen ympäristökeskus, alueelliset ELY-keskukset ja kaupungin ympäristöviranomaiset. Seurannan pääpaino on luonnonvesien eli tässä tapauksessa raakavesilähteen määrässä ja laadussa. Tällöin kyseeseen tulevat mittaukset, jotka seuraavat nimenomaan otetun raakaveden laatua. Suomessa ei ole juuri koskaan määrätty vedenottoon ympäristönsuojelullista seurantaa, paitsi pohjavesien pinnankorkeuden seuranta, mikä on jo rutiinia. Yleensä veden ottajalla itsellään on jokin muu syy seurata raakavettä ja ympäristönsuojelullinen seuranta tulee siinä samassa ikään kuin sivutuotteena. (VVY 2009; Valtioneuvoston päätös juomaveden valmistamiseen tarkoitetun pintaveden laatuvaatimuksista ja tarkkailusta)

Terveystoimintaviranomaiset ovat nykyään kaikki kunnallisia viranomaisia lukuun ottamatta EVIRA:a. Terveystoimintaviranomaiset syyt voivat olla perusteena hyvinkin monenlaisille tarkkailuvaatimuksille. Ne voivat olla pysyviä vaatimuksia tai väliaikaisia ja niitä voidaan asettaa aina tarvittaessa tilanteen mukaan. Esimerkiksi vesileviteistä epidemiaa epäiltäessä terveystoimintaviranomainen voi määrätä aloittamaan mikrobiologisen seurannan tai tehostamaan seurantaa (Talousvesiasetus 9 §).

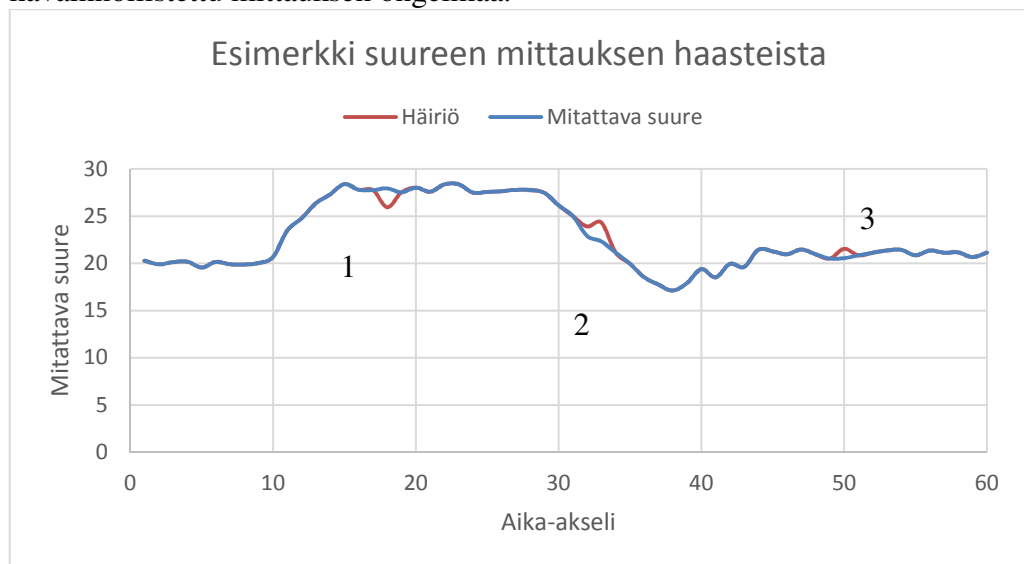
Kummatkin yllä mainitut viranomaiset sekä monet muutkin tahot, kuten vesi- ja viemärlaitosyhdistys (VVY) sekä Maailman terveysjärjestö (WHO) ovat viime vuosina kiinnittäneet huomiota erikoistilanteiden

hallintaan. Suurimpia syitä lienevät ilmastonmuutos ja ilmaston epävakauden tuomat riskit sekä veden vähyydestä johtuvat ongelmat. Vesivarojen huvetessa yhdyskuntien on pakko turvautua useisiin raakavesilähteisiin, poikkeuksellisiin prosessiratkaisuihin tai vesien kierrättämiseen. Kaikki nämä ovat verrattain uusia asioita eikä niiden kaikkia riskejä vielä tunneta. Suomessa hyviä esimerkkejä vesihuollon erikoistilanteista ovat Nokian vesikriisi 2007 ja Petäjäveden tulviin liittyvät ongelmat 2012.

#### 2.4. Tilastolliset menetelmät

Pelkästä mittauksesta on helppo tehdä raja-arvohälytys. Jos suure ylittää jonkin aseteltavan arvon, tapahtuu hälytys. Aina ei kuitenkaan voida tietää mikä raja-arvon tulisi olla. Tai sitten mittaus saattaa vaihdella luontaisesti ja halutaan havaita äkillinen muutos suuressa. Varsinkin raakavedessä on usein vaihtelua johtuen luonnon omista sykleistä. Jos kuvitellaan jokin häiriö, joka vaikka aiheuttaa sameutta, on eri asia pitääkö sameuspiikki havaita talvella jääkannen aikaan vai keväällä sulamisvesien aikaan.

Näin ollen ”baseline” eli perustaso pitää ennen varsinaista hyödyntämistä määrittää. Kirjallisuuslähteistä ja aiemmista analyyseistä saadaan jonkinlainen käsitys vaihteluvälistä, mutta parhaimmillaankin aiemman seurannan näytetaajuus on 1 näyte/arkipäivä. Nyt näytetaajuus tulee nousemaan huomattavasti. Aivan minimissään se on 1 näyte/tunti, mutta tekniikka ei estä esim. 10 näytettä/minuutti taajuutta. Kuviossa 2 on havainnollistettu mittauksen ongelmaa.



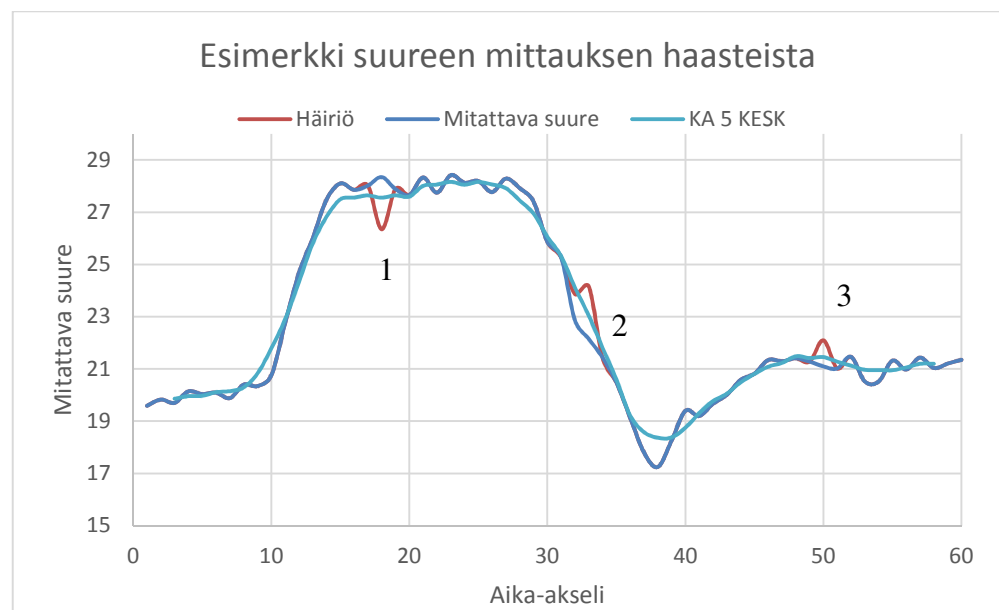
Kuvio 2. Havainnollistus suureen mittauksesta ja siihen liittyvistä ongelmista.

Sininen viiva kuvaa jotakin suuretta, jota mitataan raakavedestä. Kuvaaja on piirretty mielivaltaisesti ja siihen on luotu satunnaisluvuilla keskimäärin  $\pm 2,5\%$  kohinaa. Piikki 1 on noin  $7\%$  suuruinen ja erottuu selvästi suhteellisen tasaisesta perusviivasta. Tällainen voidaan tunnistaa myös raja-

arvohäilytyksellä, jos perusviiva tunnetaan ja se on suhteellisen tasainen. Tosin onnistuminen riippuu täysin siitä, milloin piikki sattuu ilmaantumaan. Jos tämä piikki olisi positiivinen ja ilmaantuisi kohtaan  $X=37$ , se olisi lähes mahdoton tunnistaa. Piikki 3 on vastaavanlaisessa kohdassa, mutta kooltaan vain 5 %, eli saman verran kuin kohinan kokonaisamplitudi. Tällaista piikkiä ei voi tunnistaa raja-arvohäilytyksellä, koska piikin huippu ei ”pistä esiin” kohinan yläpuolelle. Tunnistaminen olisi mahdollista ehkä vain tarkkailemalla muutosnopeutta.

Piikki 2 on 9 % kokoinen eli lähes kaksinkertainen kohinaan verrattuna. Piikki olisi helppo tunnistaa raja-arvolla, mutta piikki esiintyy samaan aikaan luonnollisen muutoksen kanssa. Näin ollen raja-arvon pitäisi muuttua samaa tahtia luonnollisen muutoksen kanssa tai järjestelmä antaisi vikahäilytyksen. Jälleen kerran muutosnopeus auttaisi tai vaihtoehtoisesti perusviivan tunteminen.

Tiedonkäsittelyyn voisi ottaa mukaan myös tilastollisen komponentin. Käyttäjälle voidaan laskea tieto siitä, miten yleinen mittauksen poikkeama perusviivasta on. Tällöin käyttäjän ei tarvitse edes tulkita itse lukemaa. Kun automaatio ilmoittaa, että tällainen sameuslukema kesäkuukausina tavataan kerran sadassa vuodessa, on selvää että tilanne on poikkeuksellinen, riippumatta siitä, mikä sen aiheuttaja on. Tilastollinen metodi vain vaatii datan keräämistä pitkältä ajalta ennen kuin sitä voidaan täysipainoisesti hyödyntää. Kuviossa 3 on sama käyrä vähän eri skaalauksella.



Kuvio 3. Keskiarvon vaikutus häiriöiden havaitsemiseen.

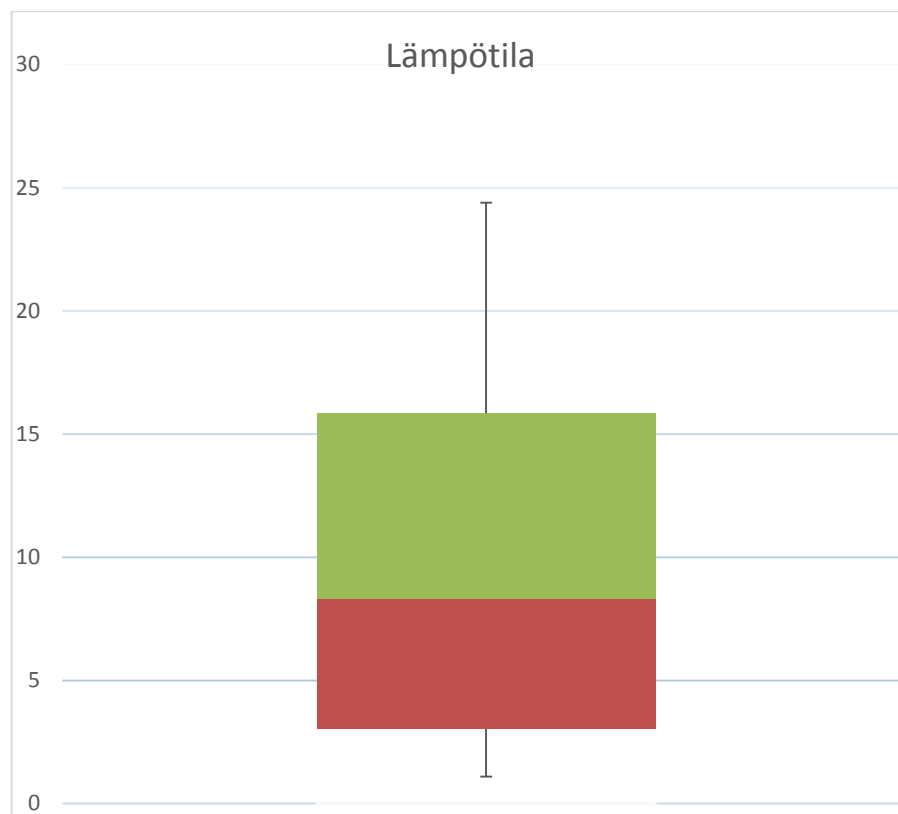
Käyrät ovat samat kuin kuviossa 2 sekä lisäksi suureesta laskettuna 5 mittaustuloksen liukuva keskeinen keskiarvo (KA 5 KESK). Jos lasketaan mitattavan suureen eroa keskiarvokäyrästä, häiriöpiikit paljastuvat suurina eroarvoina. Tässä kyseisessä esimerkissä piikit 1 ja 2 aiheuttivat häilytyksen, kun eron itseisarvon häilytysrajaksi oli aseteltu 0,9. Piikki 3 ei aiheuttanut



hälytystä. Haittapuolena on se, että tässä kuvaajassa aiheutui myös kaksi aiheetonta hälytystä, kohdissa  $X = 10$  ja  $X = 38$ .

Menetelmän etu on siinä, että hälytysraja saadaan määriteltyä kaikissa kuvaajan osissa. Riippumatta siitä onko mitta-arvo normaalisti 25 vai 10, tietyn suuruinen häiriöpiikki aiheuttaa aina hälytyksen. Tästä on etua etenkin kun kyseessä on suure, joka luonnostaan vaihtelee voimakkaasti kuten vaikka lämpötila. Silti myös kiinteitä raja-arvoja on syytä käyttää, koska muuttuva raja-arvo ei aiheuta hälytystä suureen hitaassa ryömimisessä.

Tilastomatematiikkaa voidaan hyödyntää enemmänkin. Yksi hyvä menetelmä on nimeltään laatikko ja viikset (box and whiskers), jolla havainnollistetaan arvojen jakautumista kvartiilien avulla (Ruohonen 2011, 3). Kvartiili on käsite, joka tarkoittaa neljäsosaa koko havaintojoukosta. Kvartiileja on luonnollisesti neljä ja niiden käyttö on tarkoituksenmukaista vain havaintojoukossa, joka on järjestetty suuruusjärjestykseen. Kuviossa 4 on havainnollistettu menetelmää soveltamalla sitä Ruskon lähtevän veden lämpötilan laboratoriohavaintoihin vuosilta 2013 - 2015.



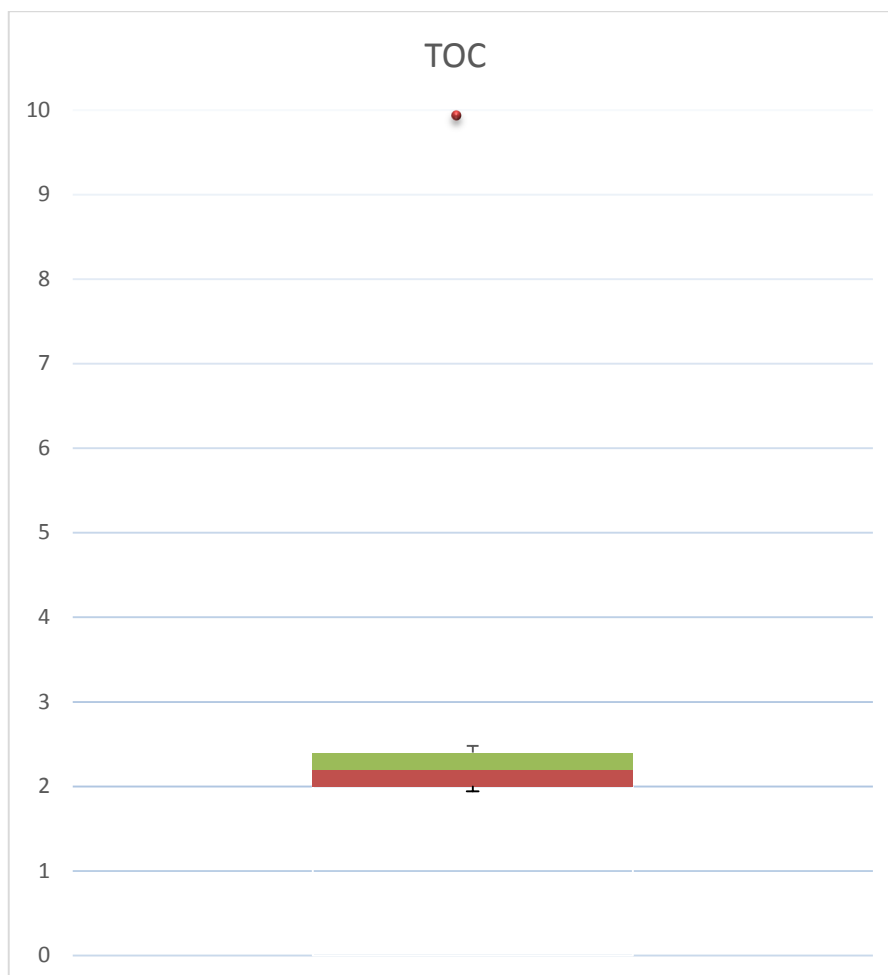
Kuvio 4. Laatikko ja viikset havaintoesitys Ruskon lähtevän veden lämpötilasta.

Alaviiksi edustaa kvartiilia Q1 eli pienimpiä havaintoja. Punainen laatikko edustaa kvartiilia Q2, vihreä laatikko Q3 ja yläviiksi Q4. Laatikoiden välisellä rajalla on mediaani. Viiksien päissä ovat minimi ja maksimi. Tässä esitetään viisi tärkeätä tilastollista tunnuslukua yhdessä kuvassa – minimi, maksimi, mediaani ja kvartiilirajat.

Luvut on helppo laskea ja tilastollisen menetelmän etu näkyikin siinä, että voidaan vapaasti valita mitä tietojoukkoa käsitellään. Nyt käsiteltiin kolmen laboratoriovuoden 475 havaintoa. Ihan hyvin voitaisiin käsitellä vaikka tuhatta viimeistä havaintoa tai kuukauden havaintoja. Tai voidaan käsitellä erikseen hetkellisiä arvoja ja vuorokauden keskiarvoja.

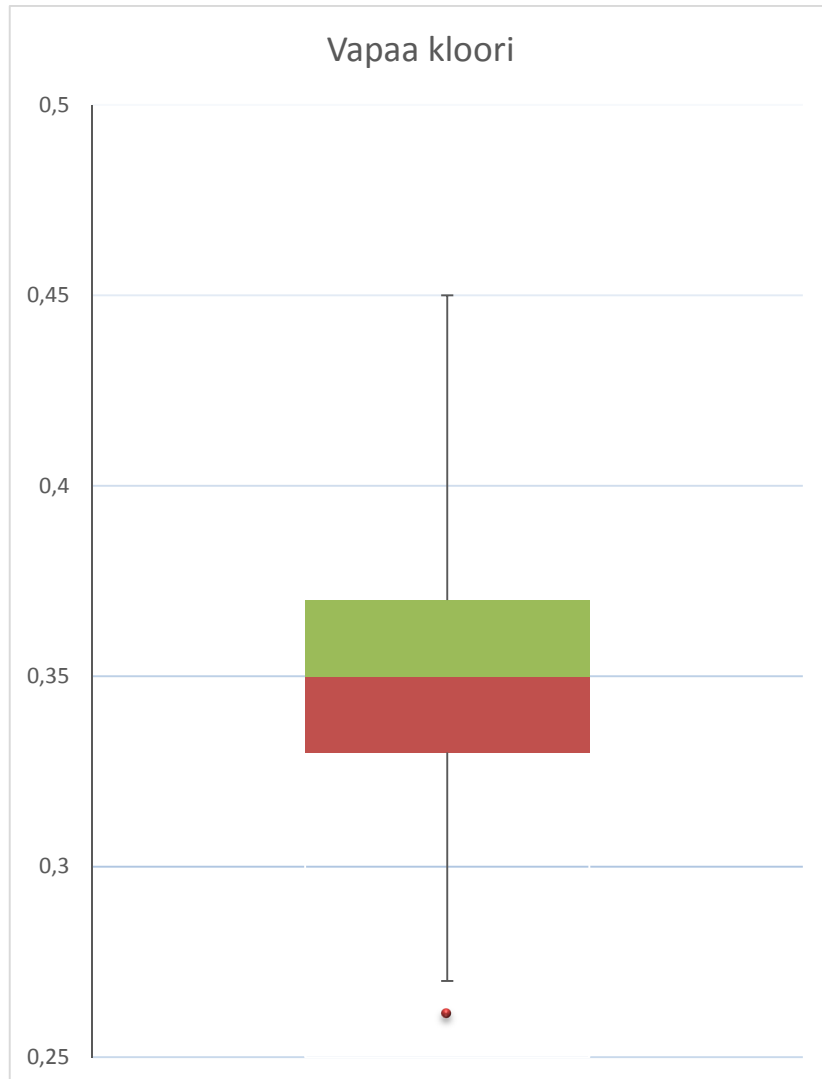
Kvartaaleja 2 ja 3 kutsutaan joskus sisäkvartaaleiksi tai QI:ksi. Kuvaustavan kehittäjä John Tukey on havainnut, että hyvin usein ”normaalit” hyväksyttävät arvot poikkeavat korkeintaan  $1,5 \cdot QI$  verran sisäkvartiilien alueelta. Arvoja jotka poikkeavat enemmän kutsutaan termillä ”outlier” tai suomeksi ”oudokki”. Tällaisia arvoja voidaan perustellusti pitää poikkeavina ja hälytyksen tai varoituksen aiheina. (Ruohonen 2011, 4)

Kuviossa 5 on Ruskon lähtevän veden TOC samalla tavalla esitettyinä. Kuvassa on myös punainen merkki kohdassa 9,9. Tämä edustaa yhtä oudokki-arvoa – 2.1. 2015. Tukeyn menetelmällä laskettu hyväksyttävien arvojen alue on tässä tapauksessa 1,4...3. Arvo on selvästi yli hyväksyttävien rajojen ja onkin selvää, että kyseessä on virheellinen tulos.



Kuvio 5. Ruskon TOC:n laatikko ja viikset kaavio.

Vielä yksi esimerkki kuviossa 5. Ruskon lähtevän veden vapaa kloori. Sama käsittely, samankaltainen kaavio. Tällä kertaa löytyy kolme ”outlier”-arvoa, kaikki 0,26 mg/l, kun alin hyväksyttävä arvo olisi ollut 0,27 mg/l. Tämä osoittaa hyvin, että näillä tunnusluvuilla on mahdollista saada kiinni sekä virheellisiä arvoja että todenmukaisia poikkeamia. Tilastollisilla menetelmilläkin on kuitenkin rajoituksensa. Esimerkiksi Tukeyn menetelmä antaa lämpötilan tapauksessa (Kuvio 4) hyväksyttävien arvojen alueeksi -16,15...35,05 °C, mikä on ongelmallista. Paras tulos saadaankin, kun yhdistellään kiinteitä raja-arvoja tilastollisiin dynaamisiin elementteihin.



Kuvio 6. Ruskon lähtevän veden vapaan kloorin laatikko ja viikset esitys.

### 3 MITTAUSKOHDAT

#### 3.1. Teoriaperusta

Tämä vaihe on parhaiten ehkä luokiteltavissa systemaattisen havainnoinnin piiriin (Toikko & Rantanen 2009). Mahdollisesti kyseeseen tulee jopa analyysi. Havainnointi ja analyysi kohdistuvat nimenomaan vedenpuhdistusprosessiin. Laajin ja tärkein tiedonlähde ovat PI-kaaviot ja prosessinkuvaukset. Lisäksi on kuitenkin käytettävä käytännönläheistä ammattitietoa. Tähän tietoon päästään käsiksi löyhästi strukturoidulla avointen kysymysten haastattelulla. Haastattelujen pääkohteina ovat prosessin kanssa päivittäin toimivat ihmiset, kuten käyttöinsinööri, käytönvalvojat ja huoltomiehet.

Mittauskohteiden karsinnan tulee perustua pisteytykseen. Kriteeristöä saadaan sekä pisteytettävät osa-alueet, että pisteytyksen perusteetkin. Pisteille voidaan antaa eri painotuksia sen mukaan mikä nähdään tärkeänä. Pisteistä voidaan myös laskea keskiarvoja ja esim. ylä- ja alapäästä voidaan leikata tietty prosentti pois, mikäli pisteytyksen epäillään vääristävän tuloksia.

Mittauskohteet laitetaan pistemäärän mukaiseen järjestykseen. Mielenkiintoista tietoa voidaan saada myös, jos käytetään yhteispisteiden tai keskimääräisten pisteiden sijasta vain kunkin osa-alueen pisteitä. Tällöin joukosta voidaan seuloa esiin mittauskohteet, jotka ovat esimerkiksi kustannusten tai kunnossapidon kannalta merkittävimpiä.

Mittauskohteita voidaan myös ryhmitellä ja laskea ryhmien pistemääriä. Luonnollisia ryhmiä olisivat esimerkiksi prosessin osat kuten kalkki tai raakavesi. Muita ryhmittelyperusteita voisi olla mittauksen laaja-alaisuus, eli miten monesta eri osa-alueesta mittaus saa pisteitä tai vaikka teknisen toteutuksen ennakkokäsitys eli onko ehdotettu esimerkiksi suoraan virtausmittausta vai onko tunnistettu vain jonkin mittauksen tarve.

Mittauskohteiden etsintä on suhteellisen yksinkertaista ja helppoa. Pelkkä pintapuolinenkin prosessin tarkastelu tai käytönvalvojan kokemusperäinen tieto tuovat esiin parannusehdotuksia. Paljon ongelmallisempaa tässä työssä on eri vaihtoehtojen arvottaminen ja vertailu. Miten päätetään mitä ratkaisuja pitäisi toteuttaa? Miksi jokin mittauskohde olisi parempi tai tärkeämpi kuin toinen niin, että siihen tulisi investoida ensimmäiseksi.

Lisää vaikeuksia seuraa työn laajuudesta. Mahdollisia mittauskohteita löytyy varmasti kymmeniä. Niitä kaikkia ei voida lähteä kehittämään eteenpäin, koska se yksinkertaisesti veisi aivan liikaa aikaa. Lisäksi jokaiseen kohteeseen voi olla useita ratkaisuja. Asioita voidaan mitata monella eri tavalla ja mittaustekniikatkin vaihtelevat. Niinkin yksinkertainen asia kuin pH-mittaus voidaan rakentaa ainakin kolmella eri asennustavalla ja varmasti kymmenillä eri elektrodeilla.

Ratkaisuksi ongelmaan nähdään kriteeristön luominen. Kriteeristö on esitetty liitteessä 1 ja se on kaksiosainen. Ensimmäinen osa käsittää

valintakriteerit eli ne kriteerit, joiden perusteella valitaan mittauskohteet ja –tarpeet. Toinen osa käsittää vertailukriteerit, joilla eri ongelmiin löydettyjä kilpailevia ratkaisuja arvioidaan.

Molemmat kriteeristöt ovat hierarkkisia. Luettelossa ensimmäisenä mainitulla kriteerillä on aina etusija jälkimmäisiin nähden. Jokaisesta kriteeristä on myös kuvattu eritasoisia vaikutuksia 3 – 5 eri luokkaa. Nämä tasot myös arvioidaan niin, että taso 1 saa vähiten pisteitä ja taso 5 eniten.

Mittauskohtien valintakriteerit perustuvat tarpeisiin, jotka juontuvat Suomen vesihuoltolaista – voimassaolevasta ja tulevasta – sekä YK:n vuoden 2010 päätöslauselmasta, joka teki vedestä ihmisoikeuden. Ihmisoikeusstatuksen myötä veteen liittyvät nyt monia eettisesti merkittäviä näkökohtia, joista kolme on nostettu erityisen relevantteina esiin. Suomessa kysymykset veden fyysisestä saavutettavuudesta ja veden tasapuolisesta ja syrjimättömästä jakamisesta eivät ole merkityksellisiä. Tai ainakin niiden merkityksen selvittäminen vaatisi paljon syvempää sosiologista tutkimusta. (YK 2010)

Sen sijaan kysymykset veden laadusta, saatavuudesta ja kustannuksista ovat erittäin ajankohtaisia. Näitä samoja asioita heijastellaan myös uuden vesihuoltolain määräyksissä ja vaatimuksissa. Veden laadun ylläpitäminen on ehkä selkeästi tärkein yksittäinen asia koko vesihuollossa. Laadun pitää pysyä riittävän hyvänä kaikissa tilanteissa, myös poikkeustilanteissa. Laatu ei saa laskea alle vaatimusten verkostossakaan. Lisäksi laatu pitää pystyä säilyttämään pitkän aikavälin haasteissa, kuten kaupunkirakenteen muutoksissa ja suurissa maailmanlaajuisissa muutoksissa, kuten ilmastonmuutoksessa. (YK 2010; Vesihuoltolaki)

Veden saatavuusongelmat vaikuttavat äkkiseltään kaukaisilta ongelmilta tuhansien järvien Suomessa. Vettä tulee kuitenkin olla saatavilla myös poikkeusoloissa. Suomessa on kustannusten takia totuttu luottamaan vahvasti pohjaveteen raakavesilähteenä ja nyt ollaan heräämässä siihen, että myös meille voi tulla kuivuuksia, jotka aiheuttavat vaikutuksia vesihuoltoon. Yle uutisoi 15.10. 2013 (Rantala & Laakso 2013):

### **Pohjavesien pinta länsirannikolla huolestuttavan alhaalla**

**Satakunnassa pohjavedet alkavat olla matalalla. Pahimmassa tapauksessa talvella saatetaan joutua rajoittamaan vedenkäyttöä.**

SYKE taas raportoi 1.3. 2011 Etelä-Hämeessä ja Etelä-Savossa paikoin 30 – 60 cm alle keskiarvon olevista pohjaveden pinnoista (SYKE Vesitilanne 2011).

Uudessa vesihuoltolaissa asiaa on lähestytty lähinnä valmiusajattelun näkökulmasta. Eli vesihuollossa tulee olla riittävästi varakapasiteettia ja esimerkiksi varayhteyksiä, että vettä voidaan valmistaa ja toimittaa kaikille vaikka sähkökatkon tai suuren putkirikon aikana. (Vesihuoltolaki 15 §)

Jatkuvatoimiset mittaukset nähdään yleensä ”hienouksina”, joita ei tarvita erityistilanteissa. Kriteeristössä on kuitenkin otettu huomioon mahdollisuus, että mittauksista voisi olla hyötyä erityistilanteissa tai niistä saadaan jotakin etua varautumiseen.

Kolmas aspekti on kustannustaso. Ihmisoikeuspäätöksen perusteluissa sanotaan, että ihmisillä on oltava varaa veteen eli vedestä ei voi pyytää mitä hintaa tahansa (YK 2010, 10 – 11). Vesihuoltolaki lähestyy asiaa toteamalla, että vesihuollon kustannukset katetaan siitä saatavilla tuloilla eli vesimaksuilla ja vastaavilla. Suomessa kiskonta ei luultavasti tule olemaan ongelma, toisin kuin eräissä kehittyvissä maissa ja maissa, joissa yksityistäminen on ollut vastuutonta. Suomessa kustannusongelma kiteytyy järjestelmän ylläpitoon ja korjausvelkaan. On oikeasti olemassa riski, että vesihuoltojärjestelmän ylläpitokustannukset paisuvat niin korkeiksi, että järjestelmän kunnossapidosta joudutaan tinkimään tai maksuja joudutaan korottamaan (ROTI 2015, 31 – 32).

Vesihuoltoverkoston keski-ikä kasvaa edelleen ROTI 2015 -raportin mukaan. Tämä on sikäli huolestuttavaa, että useimmat kunnat ovat jo aktiivisesti alkaneet järjestelmälliseen korjaustoimintaan. Keski-ikää ovat alentaneet isoihin verkkoihin sulautetut vesiosuuskuntien verkostot, jotka yleensä ovat nuorempia kuin suurten vesihuoltolaitosten verkot. Ikävä kyllä ne ovat joskus myös huonosti suunniteltuja teknis-taloudellisesta näkökulmasta, jolloin niiden ylläpito voi tulla kohtuuttoman kalliiksi. (ROTI 2015, 31 – 32).

Näiden kolmen kohdan lisäksi voidaan kehitystyö nähdä vielä universaalina asiana, joka on osa kaikkia kolmea asiaa. Uudet innovaatiot ja tekniikat tähtäävät nimenomaan parempaan veden laatuun, kustannustehokkuuteen ja varmuuteen toiminnassa. Kehitystyö itsessään on jo eräänlainen arvo ja sen tukeminen vaatii omanlaisiaan panostuksia. Uutta tietoa pitää tuottaa, innovaatioita tehdä ja uusia tekniikoita testata. Voi olla, että työstä saatavat hyödyt realisoituvat vasta 30 tai vaikka 50 vuoden päästä, mutta ne ovat hyötyjä yhtä lailla ja ne auttavat kaikkia. Lisäksi kehitystyö on olennaisen tärkeää, jotta saataisiin valmiuksia todella pitkän tähtäimen haasteisiin vastaamiseksi. Sellaisiin haasteisiin, joista meillä ei nyt ole välttämättä vielä aavistustakaan.

Ajankohtaisia tutkimusaiheita selvitettiin tarkastelemalla tieteellisten julkaisujen artikkelien aihepiirejä. Esimerkiksi IWA (The International Water Association) julkaisee lehteä nimeltä Water Research, joka esittelee paljon tieteellisiä artikkeleita vesihuollon aiheista. Water Research -lehdestä tarkasteltiin numeroita 47 – 60 (vuosilta 2013 - 2014) ajankohtaisten aiheiden selvittämiseksi. Artikkeleita noissa numeroissa oli yhteensä 480 kpl, joista 201 tulkittiin aihepiiriin relevanteiksi. 77 artikkelia voitiin osoittaa johonkin tiettyyn epäpuhtauteen liittyviksi ja 124 artikkelia käsittelivät enemmänkin prosessiin liittyviä asioita.

Prosessiin liittyvissä artikkeleissa aktiivisimpia aiheita olivat kalvotekniikat (46 kpl), erilaiset mallinnukset (16 kpl), klooraus (16 kpl), nanomateriaalit (11 kpl), aktiivihilisuodatus (5 kpl) ja UV-käsittely (4 kpl).

Kalvotekniikoihin liittyvät artikkelit käsitelivät odotetusti etupäässä kalvojen likaantumista. Kalvoihin on laskettu mukaan myös mikrokuituputkiin perustuvat tekniikat. Klooraus-aihepiirissä keskusteltiin etupäässä kloorauksen sivutuotteista ja nanomateriaaleissa niiden vaikutuksista vesiympäristöön. Loput ovat enimmäkseen perinteisempiä prosessin tehokkuutta käsitteleviä artikkeleita.

Yksittäisiin kontaminantteihin liittyvissä artikkeleissa käsiteltiin eniten lääkeaineita (13 kpl), orgaanista materiaalia (11 kpl), mikrobeja yleensä (10 kpl), leviä (6 kpl) ja fekaalikoleja erityisesti (5 kpl). Lääkeaineisiin on luettu aidot lääkkeet, hormonit ja hormonimimikit ja kosmetiikka- ja itsehoitotuotteet. Orgaaniseen materiaaliin on luettu kuuluvaksi NOM ja DOC. Artikkelit ovat laajalti koskeneet nimenomaan orgaanisen aineksen fraktiointia. Yleisesti mikrobeja koskevat artikkelit ovat sellaisia, joissa keskitytään nimeämättömiin mikrobilajeihin tai yleisiin indikaattorilajeihin kuten E. Coli tai Cryptosporidium. /22/

Tyypillisiä artikkelien otsikoita olivat mm.

- Orgaaninen aines: ”Fluorescence characteristics of size-fractionated dissolved organic matter: Implications for a molecular assembly based structure?”, vol 55, ss. 40-51.
- Lääkeaineet: ”Sunlight-induced transformation of sulfadiazine and sulfamethoxazole in surface waters and wastewater effluents”, vol 57, ss. 183-192
- Levät: ”Nitrogen availability increases the toxin quota of a harmful cyanobacterium, *Microcystis Aeruginosa*”, vol 54, ss. 188-198
- Klooraus: ”Factors affecting the formation of disinfection by-products during chlorination and chloramination of secondary effluent for the production of high quality recycled water”, vol 48, ss. 218-228
- Aktiivihiili: ”Kinetics of hydrophobic organic contaminant extraction from sediment by granular activated carbon”, vol 51 ss. 86-95

Tulevaisuuden haasteita tutkittaessa tarkasteltiin lähinnä eri järjestöjen asiantuntijaryhmien näkemyksiä. USA:n painotuksia selvitettiin tutkimalla USEPA:n vuosiraportteja viideltä viime vuodelta. Selkeinä teemoina nousivat esiin ilmastonmuutos, energiatehokkuus, puhtaan veden saavutettavuus ja, ehkä kansallisten ominaispiirteiden värittäjänä, konfliktit.

YK:n UNESCO:n alaisuudessa toimivat elimet ovat julkaisseet erittäin kattavia raportteja vesihuollon tulevaisuudennäkymistä. Raportit antavat hyvin selkeän kuvan siitä mihin suuntaan kehitystä tulisi painottaa. Tärkeimmät teemat ovat desalinaatiotekniikka, nanoteknologia ja energiakysymykset. Kanta energiakysymyksiin on kuitenkin hieman eri, sillä YK ei painota pelkkää energiatehokkuutta vaan pikemminkin tasapainoa vedenkäytössä ihmisten kulutuksen ja energiantuotannon kulutuksen välillä.

YK antaa myös erityisiä kohdealueiden mukaan laadittuja uhkakuvalistauksia. EU:n ja USA:n alueella merkittävimpinä uhkina

nähdään erityiset yksittäiset pollutantit, ilmastonmuutos ja vesien hygieenisuus. Yksittäiset pollutantit vaihtelevat suuresti paikan mukaan, mutta voivat olla peräisin teollisuudesta, lääkeaineista tai esim. maataloudesta.

Suomessa kattojärjestö VVY on koonnut yhteen asiantuntijoiden ja toimijoiden ajatuksia tulevaisuuden haasteista. VVY:n teemoihin kuuluvat veden laadun seuranta, puhdistus- ja desinfiointimenetelmien kehitys sekä poikkeustilanteisiin varautuminen ja tietysti energiatehokkuus.

### 3.2. Kriteerit

A1.1 Kohteen mittaus parantaa talousveden laatua tai ehkäisee laatuhäiriöitä.

Vesi on välttämätöntä elämälle. Ensimmäinen ajatus voi helposti olla, miksi keskittyä laadun parantamiseen? Eikö pitäisi keskittyä veden saatavuuden lisäämiseen? Varsinainen ongelma ei olekaan veden saatavuus, vaan nimenomaan puhtaan veden saatavuus. Veden tulee olla riittävän hygieenistä ja kemiallisesti puhdasta, jotta se voisi täyttää YK:n julistuksen mukaisen ihmisoikeuskäsitteen vaatimukset (YK 2010, 9).

Itse asiassa asetelma kääntyy vähän päinvastoin. Koska vesi on välttämätöntä, kaikki juovat vettä – riippumatta sen laadusta. Jos vesi ei ole riittävän hygieenistä, se toimii erinomaisena taudinaiheuttajien levittäjänä ja epidemioiden moottorina. Jos vedessä on vahingollinen kemiallinen yhdiste, se aiheuttaa pitkällä aikavälillä laajoja myrkytyksenomaisia vaikutuksia, koska kaikkien on juotava. 1990-luvun lopulla kansainväliset organisaatiot autoivat Bangladeshin köyhiä alueita kehittämällä vedensaantia. Auttamistapa oli arteesisten kaivojen tekeminen maaseudulle. Noin kahdeksan miljoona porakaivoa toivat pohjaveden laajojen väestöryhmien käyttöön, mutta ikävä kyllä juuri näillä alueilla maaperä sisältää paljon arseenia. Noin joka viides kaivo ylitti raja-arvot. Arseni aiheuttaa suurina pitoisuuksina maksavaurioita, iho- ja verisuonimuutoksia sekä syöpää. Vuonna 2006 vielä arviolta 12 miljoonaa bangladeshilaista käytti vaarallisen paljon arseenia sisältävää vettä. (Hallanaro & Loukola-Ruskeeniemi 2014, 30 – 32)

Kriteerissä nähdään arvokkaampana, jos parannus kohdistuu mikrobiologiseen laatuun. Lisäksi pisteytetään onko kyseessä talousvesiasetuksen vaatimus vai suositus. Periaatteessa ei tehdä eroa sen suhteen, onko kyseessä aito jatkuvatoiminen mittaus vai ”Watchdog”-tyyppinen monitorointi.

A1.2 Kohteen mittaus parantaa vedentuotannon kustannustehokkuutta.

Perusteena ovat luonnollisesti vesihuoltolain ja YK:n julistuksen kohdat, jotka vaativat, että veteen on oltava varaa. Vesihuollon kustannukset tulee kattaa vesihuollosta kerättävillä maksuilla, jolloin liian suuret kustannukset heijastuvat välittömästi suoraan kuluttajan maksuihin. (Vesihuoltolaki 18 §;



YK 2010, 10 - 11) Tämä on hyvin monitahoinen kysymys siksi, että vaikka vesihuoltolaitos vastaa sekä kustannuksista että niiden kattamisesta maksuilla, sen mahdollisuudet vaikuttaa kustannuksiin ovat hyvin rajalliset. Kustannuksista suuri osa tulee investoinneista ja siitä taas suurin osa muodostuu verkostoinvestoinneista. Verkosto tulee ulottaa määrättyille alueille vesihuoltolain mukaisesti ja alueiden muodostumisesta vastaa kaavoittaja. Kaavoittajan toimet ovat avainasemassa verkostoinvestointien ja usein myös esim. pumppauksen kulujen muodostumisessa.

Näin ollen kustannustehokkuuden parantaminen on aina järkevää, vaikka varsinaista taloudellisesti pakottavaa syytä ei olisikaan. Tällöin varaudutaan ennalta aavistamattomiin kustannusten nousupaineisiin. Tässä on kuitenkin huomattava, että on kyse nimenomaan kustannustehokkuudesta – ei menojen leikkaamisesta. Yksityisellä puolella suosittua ”juustohöylää” ei voi käyttää loputtomasti, koska lain mukainen laatu on turvattava.

Kriteerissä saa pienimmät pisteet käyttöhyödykkeiden kuten energian ja kemikaalien säästämisestä. Vaikka esimerkiksi energian säästö on ympäristön kannalta tärkeää, se ei vesihuollon taloudessa näytele niin suurta osaa. Tämä johtuu edellä mainitusta vesihuoltolain kustannusvastaavuusperiaatteesta. Enemmän pisteitä saa kriteerissä investointeihin vaikuttamisesta ja vielä enemmän työmäärään vaikuttamisesta.

A1.3 Kohteen mittaus parantaa talousveden valmistuslaitteiston kunnossapidon laatua.

Tämä kriteeri on luettelon ensimmäinen, joka ennakoii tulevia muutoksia. Kriteerin arvotuksissa pyritään ottamaan huomioon vesihuoltolain muutosehdotuksessa esitettyjä ajatuksia laitteiston ja järjestelmien kunnan valvonnasta sekä järjestelmien hallittavuudesta kaikissa oloissa (Vesihuoltolaki 15 §). Eniten arvostetaan huollon tehostumista silloin, kun se johtaa käyttöiän pitenemiseen tai elinkaarikustannusten pienenemiseen.

Pisteitä jaetaan vähemmän suppeista vaikutuksista, kuten yhden laitteen vikaantumisen vähenemisestä. Kriteeri taas palkitsee enemmän laajan mittakaavan pyrkimyksistä, jotka viittaavat huollon suunnitteluun, budjetointiin ja ennakkointiin.

A1.4 Kohteen mittaus edesauttaa talousveden laadun säilyttämistä poikkeavissa oloissa.

Tämä kriteeri pureutuu toiseen vesihuoltolain uudistuksen merkittävään teemaan eli poikkeustilanteiden hallintaan (Vesihuoltolaki 15a §). Tämän työn tarkoitus ei ole porautua kovin syvälle poikkeustilanteisiin ja sen takia tasokuvaukset on laadittu yleispäteviksi. Kriteeri palkitsee ominaisuuksista, joita voidaan hyödyntää poikkeustilanteissa ottamatta kantaa siihen, miten niitä hyödynnetään tai mitä niillä voidaan tavoitella.

A1.5 Kohteen mittaus edistää kehitystyötä, jolla parannetaan talousveden laatua tai ehkäistään sen laatuhäiriöitä.

Kansainvälisellä ja Suomen vesihuoltosektorilla on viime aikoina puhuttu paljon vesihuollon tulevaisuuden haasteista. Haasteet liittyvät muutoksiin kuten ilmastonmuutos tai demografiset muutokset ja niille on tunnusomaista suuri laajuus, huono ennustettavuus ja monimuotoisuus (Arvola 2010). Näihin haasteisiin vastaaminen vaatii paljon uutta tietoa, eikä Tampereen Vesi voi merkittävänä vesihuollon toimijana väistää vastuutaan kehitystyössä.

Kehitystyön ja tutkimuksen pääsuuntaviivoiksi on tunnistettu seuraavia aihepiirejä:

- Ilmastonmuutos
- Energiansäästö
- Erillispollutantit
  - Orgaaninen aines
  - Lääkeaineet
  - Mikrobit ja levät
  - Torjunta-aineet ja muut kemikaalit
- Kehittyvät tekniikat
  - Kalvosuodatustekniikat
  - Nanoteknologian sovellukset
  - Desalinaatiotekniikat

Yllä kuvatun viiden kriteerin luokittelujärjestelmän avulla siis pitäisi olla mahdollista järjestää löydetty mittauskohteet järjestykseen niiden potentiaalisen hyödyllisyyden suhteen. Tässä vaiheessa on tavoitteena karsia muodostunutta listaa niin, että varsinaisten mittalaitteiden ja ratkaisujen määrästä muodostuisi järkevä. Seuraavassa vaiheessa löydettyihin ratkaisuihin sovelletaan toista kriteeristöä, joka on jaettu teknisiin ja taloudellisiin kriteereihin. Näiden kriteerien tarkoituksena on arvottaa parhaaksi valittujen kohteiden yksittäisiä ratkaisuja niin, että niistä voidaan valita teknisesti ja taloudellisesti suotuisimmat toteutettavaksi.

### 3.3. Suoritus

#### 3.3.1. Ruskon yleistason prosessiselostus

Rusko käyttää raakavetenään Roineen pintavettä. Vesi otetaan puisella putkella 3 – 4 metrin syvyydestä. Vesi pumpataan järven rannalla olevan pumppaamon kautta Ruskon vedenpuhdistamolle noin 7 kilometriä pitkää, etupäässä betonista, siirtolinjaa pitkin. Imuputki on halkaisijaltaan 1 200 mm ja siirtolinja 800 mm. Imuputken pää sekä pumppaamo on varustettu siivilöillä.

Ruskossa vesi purkautuu avopintaiseen säiliöön, josta käytetään nimitystä raakavesitorni. Tästä vesi jatkaa omalla painollaan flotaatioon ja siihen

annostellaan hiilidioksidi, alkukalkki sekä rauta(III)sulfaattipohjainen PIX-322 koaguloitkemikaali. pH säädetään noin 5,0:een ja sekoitus varmistetaan staattisella sekoittimella.

Sekoittimen jälkeen vesi purkautuu luukuista kolmelle flotaatiolinjalle. Flotaatiossa veteen lisätään mikrokuplia sisältävää vesi-ilma –dispersiota. Ilmakuplat tarttuvat muodostuneisiin flokkeihin ja etupäässä raudasta ja humuksesta koostuva pintaliete poistetaan hydraulisesti määrääjain. Selkeytetty vesi kerätään pohjalta rei'itetyn pohjalevyn kautta.

Flotaation jälkeen veteen lisätään klooridioksidia ja lisää kalkkia ennen sen johtamista hiekkasuodatuksen välialtaaseen. Vesi jakautuu altaasta hydraulisesti kuudelle hiekkasuodattimelle. Tässä vaiheessa veden pH on noin 7,8. Suodattimien pinta-ala on  $6 \times 30 \text{ m}^2$  ja suodatinpatjan paksuus noin 1 m. Suodatinhiekkä on tavallista kvartsihiekkää. Suodattimet huuhdellaan vastavirtaan vedellä ja ilmalla suodatusvastuksen mukaan.

Hiekkasuodatettu vesi kerätään välipumppauksen imualtaaseen ja pumpataan aktiivihiilisuodatuksen välialtaaseen, mistä vesi jakautuu edelleen hydraulisesti kahdeksalle hiilisuodattimelle. Suodattimien pinta-ala on  $8 \times 30 \text{ m}^2$  ja suodatinpatjan paksuus noin 1,5 m. Suodatinmassa on rakeista kivihiihlopohjaista aktiivihiihtä.

Seuraavaksi veteen lisätään vielä klooria ja kalkkia ja vesi viipyy isommissa ja pienemmissä varastoaltaissa ennen kuin se pumpataan verkostoon, laitoksen prosessivedeksi tai suodattimien huuhteluun. Lähtevän veden pH on noin 8,6 ja vapaan kloorin pitoisuus noin 0,35 mg/l.

pH-säätelyyn käytetty kalkki toimitetaan kuivana kalkkioksidina. Laitoksella kalkkioksidi ”sammutetaan” eli siihen lisätään vettä, jolloin se muuttuu kalkkihydroksidiksi. Klooridioksidi valmistetaan natriumkloriitista ja kloorista. Hiilidioksidi vain höyrystetään. PIX-322 annostellaan nesteinä kuten se toimitetaan.

### Prosessikaavio

Ruskon prosessikaavio piirrettiin uudestaan yksinkertaistettuna viivakaaviona, joka ilmentää Ruskon prosessin pääpiirteitä. Materiaali- ja energiavirtoja (flow) kuvataan viivoilla ja toiminnallisia yksiköitä ja viivojen risteyksiä pisteillä (node). Yksiköt voivat olla todellakin esim. putkien haarautumisia tai varusteita kuten linjasuodatin tai jopa kokonaisia prosessilaitteita kuten flotaatio. Käytännön työn helpottamiseksi kaavio piirretään ensin pelkistetyssä muodossa ja sitä laajennetaan tarvittaessa. Alkuvaiheessa ei ole esimerkiksi tarpeen piirtää kaikkia suodattimia, koska ne toimivat samalla tavalla ja mikä toimii yhdessä suodattimessa, toimii kyllä sen rinnakkaiskappaleissakin.

Kaikille viivoille ja pisteille annettiin kuuden merkin pituinen tunnus, jossa 3 kirjainta kuvaa ensin viivan tai pisteen toimintaa ja 3 numeroa muodostavat juoksevan numeroinnin. Seuraavaksi olemassa olevat jatkuvatoimiset mittarit ja analysointorit kartoitettiin ja merkittiin

taulukkoon sekä kaavioon oikeille paikoilleen. Kartoitusta tehtiin huoltokortiston ja laitoskatselmuksen avulla. Työn tarkoituksena on toisaalta välttää turhien mittareiden tutkimista ja toisaalta tutkia mahdollisuuksia vanhojen tietojen uuteen käyttämiseen tai yhdistämiseen uudella tavalla.

Seuraavaksi kaaviota järjestelmällisesti tutkimalla kartoitettiin mahdollisia mittaushaaroja liitteen 1 mukaisilla kriteereillä.

### 3.4. Tulokset

Mittauskohtien etsimisen ja arvottamisen jälkeen tehtiin päätös jatkokehitykseen valittavista mittaushaaroista eli niistä mittaushaaroista, joihin aletaan etsiä teknisiä mittausratkaisuja. Päätös tehtiin moniammatillisena yhteistyönä, jossa olivat edustettuna myös esimiestaso ja johtajataso. Päätös tehtiin palaverissa, joka pidettiin Tampereen veden toimitiloissa 30.4. 2015.

Palaverissa työn tekijä esitteli työn tilanteen ja lyhyen kuvauksen jäljellä olevasta prosessista. Myös käytetyt kriteerit ja niiden teoria- ja arvoperusta esiteltiin tiivistetysti. Lopuksi esiteltiin vielä lista mittaushaaroista, jotka kriteerien perusteella olisivat tärkeitä kehityshaaroja ja hyviä ehdokkaita jatkotyöstämiseen. Lista on liitteenä 2.

Palaverin perusteella päätettiin keskittyä seuraaviin mittaushaaroiksi:

- Early Warning System raakavesilähteen spesifeistä riskitekijöistä.
- Mittaus lähtevästä vedestä, jonka avulla voidaan ennustaa veden hygieenisyyden säilymistä verkostossa.
- Näkemys kohdan 2 laajentamiseksi verkostossa. Esim. kehitystarpeena.

Ensimmäinen mittaushaara vastaa aika hyvin listassa esitettyä kohtaa 1, jossa ehdotetaan mitattavaksi raakaveden kuormittavuutta. Tämä asia sijoittui sijalle 6 tai 7 riippuen painotettiin pistelaskussa eri kriteeriluokat eri arvoiksi vai annettiin kaikille kriteeriluokille samat maksimipisteet.

Toinen ja kolmas valittu mittaushaara vastaavat melko hyvin listassa esitettyä kohtaa 41, joka viittaa lähtevän veden sakanmuodostukseen. Tämä sijoittui toiseksi pistelaskutavasta riippumatta.

Voisikin sanoa, että mittaushaarat on valittu siitä joukosta, joka kriteeristöllä arvioiden nousi tärkeimmäksi. Valittuihin mittaushaaroihin on vain tehty painotuksia ja muotoiluja niin, että ne paremmin vastaavat yrityksen tarpeita.

## 4 RATKAISUT - RAAKAVESI

### 4.1. Teoriaperusta

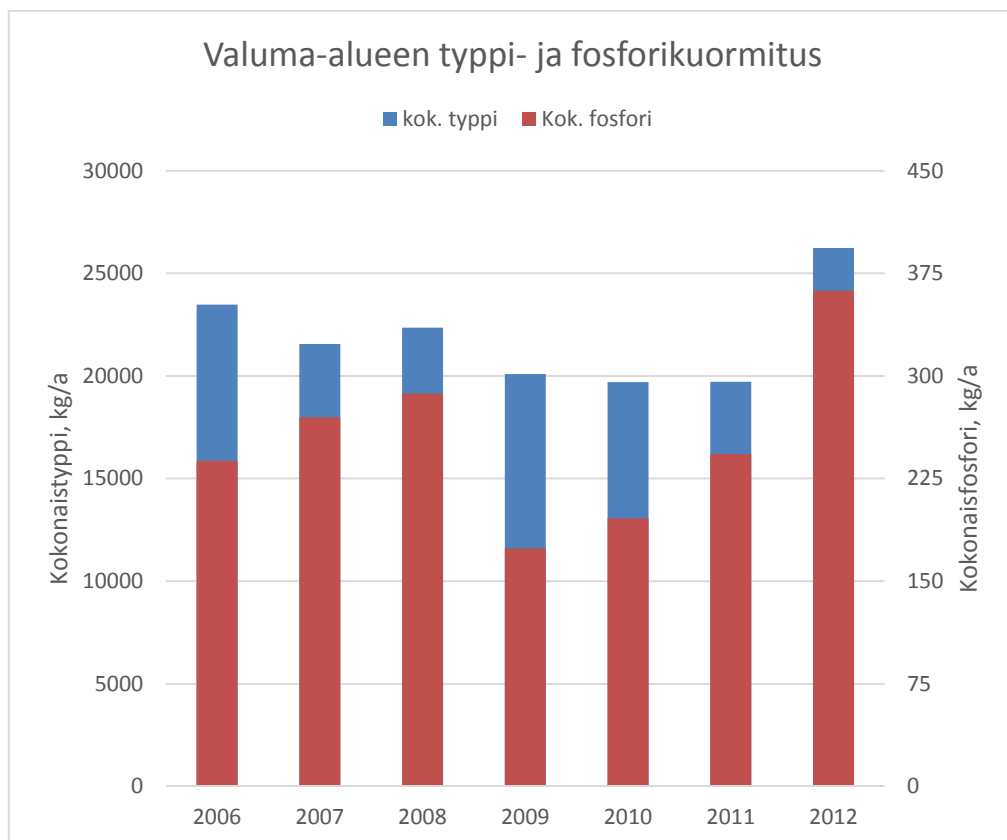
Raakavedenottopiste sijaitsee Roineen valuma-alueella Roineessa. Näin ollen vedenottopisteeseen vaikuttava valuma-alue käsittää Kokemäenjoen vesistön Längelmäveden reitin suurimmalta osin. Valuma-alue on esitetty liitteessä 5. Erillisiä valuma-alueita on yhteensä 32 kpl ja niiden yhteispinta-ala on noin 2 330 km<sup>2</sup>. Yli 50 ha kokoisia järviä alueella on 63 kpl yhteispinta-alaltaan 360 km<sup>2</sup>. Järvisyys vain nämä isoimmat altaat huomioiden on 15,6 %. (KARPALO 5)

Karttataarkastelun perusteella rehevöityminen ja torjunta-aineet ovat selviä riskejä, sillä Roineen ympäristö on laajalti maatalousvaltaista (KARPALO 3). Myös vaarallisten aineiden kuljetukset on nähtävä riskinä alueilla, missä pääväylät kulkevat raakavesilähteiden läheisyydessä. Karttapalveluista saadaan myös tietoa mahdollisista kaivoksista ja turvesoista. Muuta laajamittaista teollista toimintaa on vaikea arvioida, koska sen sijainneista ja prosesseista on vaikea saada tietoa. Toisaalta voitaneen olettaa, että suurilla tehtailta on omat jätevedenpuhdistamonsa ja ympäristölupien mukaiset päästöraja-arvot. Tiheä taajamamainen maankäyttö on joka tapauksessa pientä valuma alueella (KARPALO 2). Vaikka samat asiat pätevät myös esim. kaivosteollisuuteen, Talvivaara on osoittanut, että kaivosteollisuus vaikuttaisi olevan selvästi herkempi raja-arvojen ylityksille. Maankäytöstä johtuvien riskien arvioinnin perusteena käytetyt kartat ovat liitteinä 6 ja 7.

Myös olemassa olevat laboratoriotulokset arvioitiin. Ympäristötietojärjestelmästä saatiin tietoja usean kymmenen vuoden jaksolta (KARPALO 7). Kaikkein kattavimmat tulokset ovat peräisin Tampereen Veden oman laboratorion käyttötarkkailusta, jotka on vuodesta 1999 lähtien kirjattu digitaaliseen muotoon VEKAlims-ohjelmaan Ruskon vesilaitoksen talousvesi-laboratoriossa. Laboratoriotulokset ajalta 1999 – 2014 listattiin ja niistä laskettiin vuosikeskiarvot sekä erilaisia liukuvia keskiarvoja. Ajanjakso jaettiin myös puoliksi ja verrattiin vuosien 1999 – 2006 ja vuosien 2007 – 2014 keskiarvoja toisiinsa. Havaittiin, että absorbanssi (254 nm) sekä sentrifugoidusta että sentrifugoimattomasta raakavedestä ja väri sekä klorofylli ovat jälkimmäisellä puoliskolla 23 – 26 % korkeammat. Samansuuntaiset, mutta selkeämmät nousut havaittiin 22 °C pesäkeluvussa (71 %) ja mangaanissa (80%). Järkyttävän suuri nousu havaittiin myös sinkissä (> 1200 %), mutta se johtuu yhdestä ainoasta laboratoriotuloksesta, jonka uskotaan olevan virheellinen. Ilman virheellistä tulosta muutos on 103 %, mikä tuntuu harvoin mitattavalle hivenaineelle aivan mahdolliselta. Samanlaisella tarkastelulla kiintoaine, kupari, pesäkeluku 37 °C, sameus ja orgaaninen aines ovat nousseet kun taas lämpötila, koliformiset bakteerit, enterokokit, fekaalikolit, homeet, nitriitti- ja nitraattityppi sekä fosfaattifosfori ovat laskeneet. Näistä kupari ja lämpötila ovat hyvin epäluotettavia analyysien vähyyden takia.

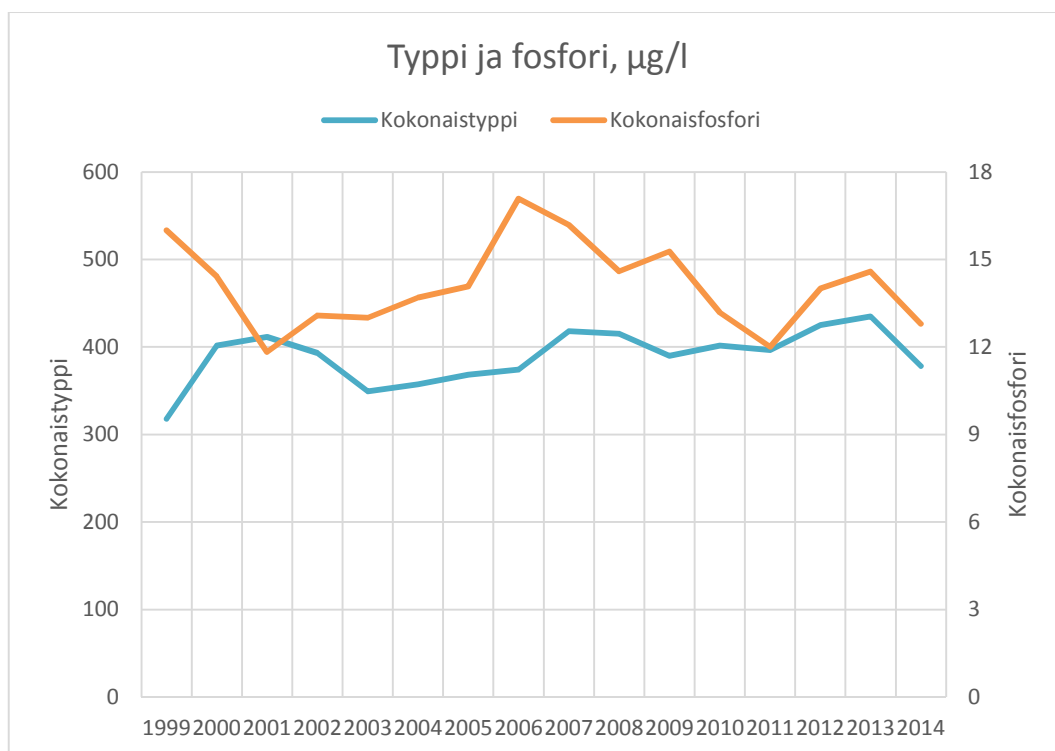
## Rehevöityminen

Valuma-alueella on kolme typpi- ja fosforikuormittajaa, joista kaksi ovat jätevedenpuhdistamoita (KARPALO 6). Kuviosta 7 käyvät ilmi kuormitukset vuosilta 2006 – 2012. Kuvaajassa ei ole huomioitu mahdollista kuormitusta Kirkkojärvestä. Kangasalan Kirkkojärvi, joka sijaitsee Roineen valuma-alueella ja laskee suoraan Roineeseen, on toiminut 1980-luvulle saakka Kangasalan jätevedenpuhdistamon laskupaikkana. KVVY:n Reijo Oravaisen tekemän kuormitustarkastelun (2003) mukaan Kirkkojärvestä kulkeutuu Roineeseen noin puoli kilogrammaa jätevedestä sedimentoitunutta fosforia päivässä.



Kuvio 7. Yhteenlaskettu N- ja P-kuormitus raakavedenottoalueen yläpuolisella valuma-alueella

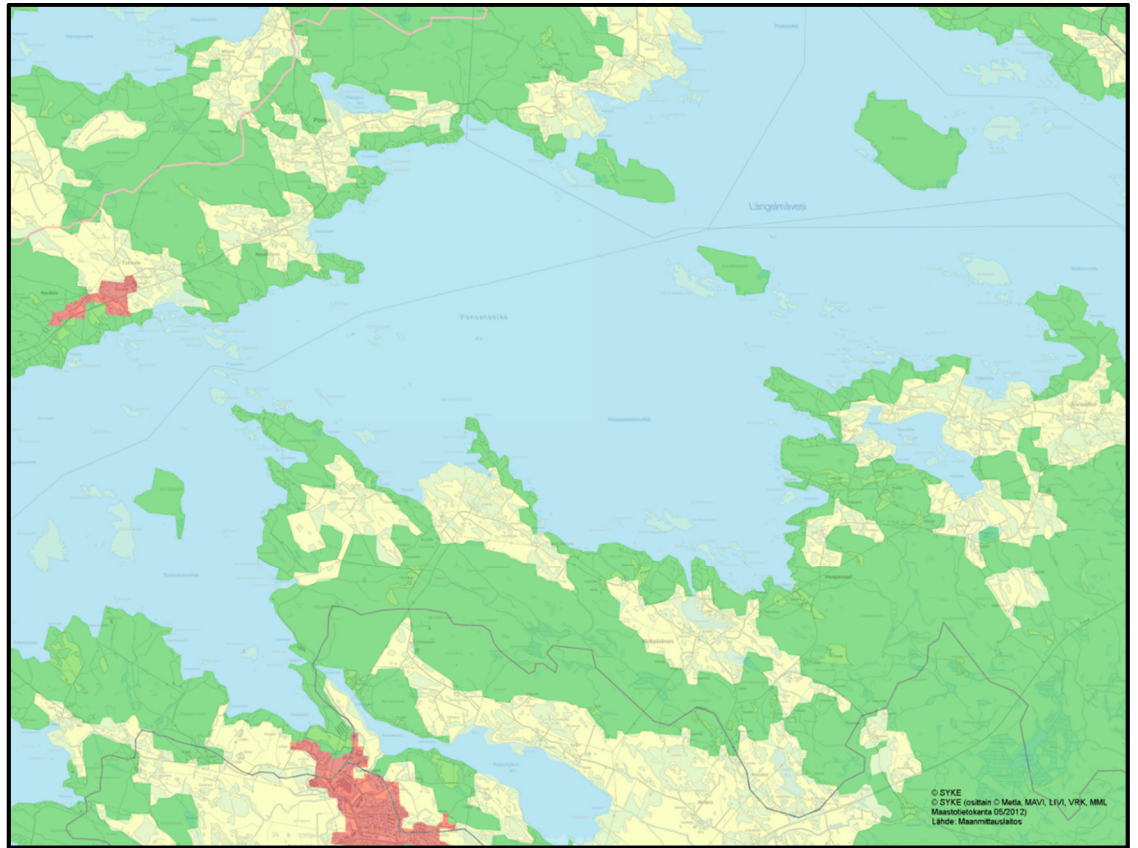
Rehevöitymistä voisi olettaa suureksi uhkaksi vedenotolle, etenkin kun karttakuvassa on selvästi havaittavissa maataloutta ja metsämaita valuma-alueella (SYKE Tilastollinen kuormitusmalli). Kuvio 8 Ruskon laboratorion tuloksista kuitenkin osoittaa, että rehevöityminen ei vaikuta olevan ongelma.



Kuvio 8. Kokonaisfosforin ja kokonaistypen pitoisuus Ruskon raakavedessä

Kokonaistyyppi on noussut hieman ja kokonaisfosfori on pysynyt keskiarvoltaan vakaana. Vuosittaisten muutosten keskiarvo on 1,1 ja -0,1 %. Näiden lisäksi ammoniumtyppi on laskenut 5 % ja fosfaattifosfori on laskenut 15 % pitkällä aikavälillä. Rehevöitymistilanne ei siis ole huolestuttava. Ravinteikkuusluokituksessa molemmat suureet ovat juuri vähäravinteisen ja keskiravinteisen luokan rajalla.

Toivottavasti syynä ovat säännökset ja hyvät käytännöt maataloudessa, jotka auttavat hillitsemään huuhtoumaa viljellyltä maa-alalta. Myös haja-asutukselta vaadittu jätevesienkäsittely on luultavasti auttanut. Kuva 1 on mielivaltainen otanta KARPALO-karttapalvelusta, jossa on esitetty pohjakartta, valuma-alueajat ja Corine-maanpeiteluokitus. Kuvassa näkyvä alue on Längelmäveden pohjoisosasta vedenottopisteen erään suurimmista valuma-alueista alueelta.



Kuva 1. Karttaote Längelmävedeltä, johon on merkitty rakennetut alueet (punainen), metsäalueet (vihreä) ja maanviljelysalueet (keltainen). (KARPALO 4)

Kuvasta 1 havaitaan, että peltoalueet eivät laajalti yllä järveen saakka. Syynä on tietysti suojaavan viherkaistan jättäminen rantaan. Toinen tekijä voi olla suomalainen kansanpiirre kesämökkit, jotka pyritään sijoittamaan rantaan ja jotka samalla varmistavat suojavyöhykkeen pelloille. Toisaalta kesämökkejä muutetaan jatkuvasti kakkosasunnoiksi ja niistä halutaan usein myös talviasuttavia. Tämä saattaa lisätä ranta-asutuksen jätevesikuormaa. Toisaalta kartassa näkyy, että viljelty ala voi myös lisääntyä tulevaisuudessa.

#### Vaarallisten aineiden kuljetukset

Alueen läpi kulkee luonnollisesti eräitä pääliikenneväylistä – etenkin Tampere-Jyväskylä-välillä. Tie numero 9 sijoittuu valuma-alueelle 58,4 km matkalla ja Tampere-Jyväskylä rautatie 67,8 km matkalla. Näille väylille on tehty riskinarviointi, jossa on huomioitu myös muun muassa pääsyä pintaveteen. Riskinarvioinnin perusteella todetaan, että 39,9 % maantiestä ja 71,4 % rautatiestä sijoittuu niin, että mahdollinen vuoto päättyy pintaveteen. Maantiestä lähes kaikki riskiosuudet ja rautatien riskiosuuksista 70 % on arvioitu vakavimpaan riskiluokkaan, joka aiheuttaa välittömimmän uhan pintaveden saastumisesta onnettomuustapauksessa. (KARPALO 1)

Vuosina 2000 – 2010 Suomen maanteillä on liikkunut joka vuosi yli 10 miljoonaa tonnia vaarallisia aineita, keskimäärin 13 miljoonaa tonnia



vuodessa. Tampere-Jyväskylä -välillä rahdataan maantiekuljetuksina viikoittain arviolta 3 000 – 7 000 tonnia muita vaarallisia aineita kuin palovaarallisia. Rautatiekuljetuksien määrää valuma-alueella ei voida päätellä lähdeaineistosta, mutta Tampere – Jyväskylä -reitillä kuljetettavat aineet kuuluvat pääosin luokkiin 8 tai 9. Luokka 8 käsittää syövyttävät aineet ja luokka 9 muut aineet – mm. ympäristövaaralliset. Osa luokan 8 aineista on myös ympäristövaarallisia ja etenkin vesieliöstölle haitallisia. VAK-kuljetuksissa fosforihappo, rikkihappo, typpihappo ja fluoripiihappo muodostavat kuitenkin 96 % luokan 8 kuljetuksista ja ne kaikki ovat vain syövyttäviä tai korkeintaan syövyttäviä ja hapettavia. (Kumpulainen, Ryyänen, Oja, Sorasahi, Raivio & Gilbert 2012, 1 – 7, 10 – 49, 53 – 66)

#### Herbisidit/pestisidit

Torjunta-aineita, niin rikkakasvien kuin tuhoeläinten ja tautienkin torjuntaan käytettäviä kemikaaleja, voi pitää realistisena uhkatekijänä sikäli, että suuri osa valuma-alueesta on maanviljely- tai talousmetsäkäytössä. Suojakaista, joka suojaa ravinteiden huuhtoutumiselta ei juurikaan vaikuta torjunta-aineisiin, jotka ovat jo luonteeltaan hyvin pysyviä ja kulkeutuvia. Pelkästään kasvinsuojeluaineita oli TUKES:in kasvinsuojeluaineiden rekisterissä 6.9. 2015 428 kappaletta. Näistä 408 aineella oli jonkinlainen vesistörajoitus. Rekisteristä ja käytöstä on poistettu 270 ainetta ja niistä 228 aineella on vesistörajoitus. Eli käytössä olevista aineista 95 % on jonkinlainen ominaisuus, joka rajoittaa niiden käyttöä vesistön lähellä. Vähän alle 36 % vesistörajoitteisista aineista on poistunut käytöstä. (Kasvinsuojeluainerekisteri, TUKES)

Kasvinsuojeluaineita on siis monta erilaista ja ne kuuluvat tyypillisesti varsin monimuotoiseen orgaanisten kemikaalien ryhmään. Niiden havaitseminen on vaikeaa ja vaatii yleensä laboratoriotason kaasukromatografian. Etenkin jos halutaan arvioida nimenomaan määrää eikä pelkästään ”watchdog”-tyyppisesti havainnoida kemikaalin mahdollista läsnäoloa näytteessä.

Otetaan esimerkiksi vuonna 2003 myydyin hyönteismyrkky dimetoatti (Rautio 2010, 5). Sen vaikuttava aine on fosforihapon esteri, jonka rakennekaava on  $\text{CH}_3\text{NHCOC}_2\text{H}_5\text{OCH}_3$ . Moolimassa on 229,2 g/mol. Molekyyli sisältää vain 5 hiiliatomia, joten sen massasta vain 26,2 % on orgaanista hiiltä. Massasta 13,5 % on fosforia. (Dimetoatti ICSC) Dimetoatille ei ole asetettu ympäristölaatu normia talousveden ottoon käytettäville pintavesille, mutta seuraavan ylemmän tason (muut pintavedet) ympäristölaatu normin raja-arvo on 0,07 µg/l (Kasvinsuojeluainerekisteri, TUKES).

Jos halutaan havaita vesistöä dimetoatin pitoisuuden nousu 0 µg/l -> 0,07 µg/l käyttäen orgaanisen hiilen tai fosforin havainnointia, mittarin tulisi kyetä havaitsemaan 0,02 µg/l muutos orgaanisessa hiilessä ja 0,01 µg/l muutos fosforissa. Tällaista tekniikka ei ole vielä saatavilla ja vaikka olisikin, näin pienet muutokset jäisivät kyseisten suureiden luonnollisen vaihtelun alle.

## Kaivokset

Valuma-alueella on 14 kaivosrekisteriin merkittyä aluetta ja välittömässä läheisyydessä vielä 10 lisää valuma-alueen länsipuolella. Alueista 19 on valtauksia ja niistä 2 on voimassa – loput karensissa. Malminetsintäluvista yksi on voimassa, yksi on hakemusvaiheessa ja yksi on vielä varauksena. Kaivospiireistä toinen on voimassa (Oriveden kultakaivos – Dragon Mining Oy) ja toinen karensissa (maasälpä – Uihelan Maasälpä oy). Kohteista 83 % liittyy kultaan ja suurin osa lisäksi myös kupariin. (Kaivosrekisterin karttatiedostot)

Kullan rikastamiseen sulfidimineraalista ainoa taloudellinen keino tällä hetkellä on syanidiliuotus. Esimerkiksi Suomessa toimivia kaivoksia, joista louhitaan kultaa, on kuusi kappaletta. Näistä kolme (Kutemajärvi, Orivesi – Dragon Mining oy; Laiva, Raahe – Nordic Mines; Suurikuusikko, Kittilä – Agnico-Eagle Finland Oy) ilmoittavat käyttävänsä nimenomaan syanidiliuotusta. Lisäksi yksi kaivos (Pampalo, Ilomantsi – Endominex) käyttää vaahdotusta, joka on myös kemikaaliperustainen menetelmä, joskin kemikaalit eivät ole yhtä riskialttiita kuin syanidiliuotuksessa. Pahtavaara, Sodankylä – Lappland Goldminers Oy käyttää mekaanista erotusta, mutta prosessi vaatii silti paljon vettä. Yhdestä kaivoksesta (Pyhäsalmi, Pyhäjärvi – First Quantum) ei löytynyt tietoa käytetystä prosessista.

Tyypillisesti kaivosten prosessivedet sisältävät paljon metallisia ja epämetallisia ioneja. Syanidi on lisäksi hyvin myrkyllistä vesieliöille sekä melko hitaasti hajoavaa.

## Ilmastonmuutos

Tämän työn puitteissa ei ole mahdollista tutkia ilmastonmuutoksen vaikutuksia raakavesilähteisiin. Sen sijaan käytetään jo tutkittua tietoa. Ilmasto-opas.fi, joka on Ilmatieteen laitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto yliopiston yhteinen tiedotussivusto, listaa lukuisia vaikutuksia vesiympäristöön.

Lämpötila vaikuttaa mm. veden happitasoon ja hapetus-pelkistyspotentiaaliin. Se vaikuttaa myös veden kerrostuneisuuteen ja sekoittumiseen. Eliöryhmistä vaikutuksia on havaittu ainakin levissä, bakteereissa ja sienissä sekä eri eliöryhmien kasvussa. Yhtenä merkittävänä vaikutuksena esitetään myös järvien rehevöityminen huuhtouman kautta ja siitä seuraava planktonlevien perustuotannon kasvu kaikkine seurannaisvaikutuksineen. Vaikutukset ovat erilaisia kesällä ja talvella. (Korhonen 2002, 88 – 91)

Asiaa tarkasteltiin myös tutkimalla korrelaatiota ilmaston lämpötilan ja sademäärän sekä raakaveden erilaisten laatutekijöiden välillä. Ilmastotiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen tilastoista. Pearsonin korrelaatiot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Ilmaston ja raakaveden laatutekijöiden välisiä korrelaatioita

	Vuoden lämpötilä	Vuoden sateisuus	Kesän lämpötilä	Kesän sateisuus	Vuoden lämpötilä	Vuoden sateisuus	Kesän lämpötilä	Kesän sateisuus	
KMnO4-luku	-0,32	-0,27	0,07	0,22	0,22	-0,17	0,42	-0,26	Pes.l. 37°C 2d
DOC	-0,23	-0,17	-0,01	0,15	-0,05	-0,19	0,09	-0,05	Bikarb.kov.
TOC	-0,38	-0,23	0,08	0,00	0,20	-0,19	-0,17	0,18	Ca
ABS	-0,27	-0,15	-0,12	0,26	0,08	-0,01	0,10	-0,29	Cl
ABS sentrif.	-0,32	-0,05	-0,22	0,09	0,17	-0,02	0,07	0,03	F
pH	0,18	-0,07	-0,14	0,15	0,01	-0,04	0,03	0,26	Hiivat
Sameus	0,08	-0,26	0,20	-0,13	0,02	-0,10	0,27	0,21	Homeet
Sähk. joht.	0,20	0,23	-0,07	0,07	-0,12	0,25	-0,01	0,06	K
Väri	-0,27	-0,08	-0,25	0,29	-0,11	0,25	-0,05	-0,04	Mg
Klorof.a	-0,01	-0,01	-0,40	0,27	-0,12	0,25	-0,07	-0,04	Mg-kov.
Pes.l. 22°C 3d	0,10	0,43	-0,38	0,49	0,21	0,09	-0,02	0,10	Na
Fe	-0,04	-0,17	0,18	0,03	-0,43	0,24	-0,02	-0,21	NH4-N
Mn	-0,38	-0,21	-0,17	0,04	-0,30	-0,16	0,46	-0,63	NO3-N
Happi	-0,14	-0,10	0,00	0,35	0,56	0,02	-0,45	0,09	NO2-N
Alkaliteetti	-0,03	-0,26	0,12	0,02	0,34	0,19	0,05	-0,21	PO4-P
CO2	0,21	0,20	0,23	-0,01	0,27	0,47	-0,16	0,16	S
Kok-N	-0,10	0,29	-0,15	0,24	0,24	-0,02	-0,04	-0,04	SiO2
Kok-P	0,16	-0,03	-0,17	-0,11	0,30	0,02	-0,03	0,03	SO4
Kolif. b. 37°C	0,48	0,58	-0,20	0,12	-0,10	-0,05	-0,22	0,23	Kiintoaine 1um

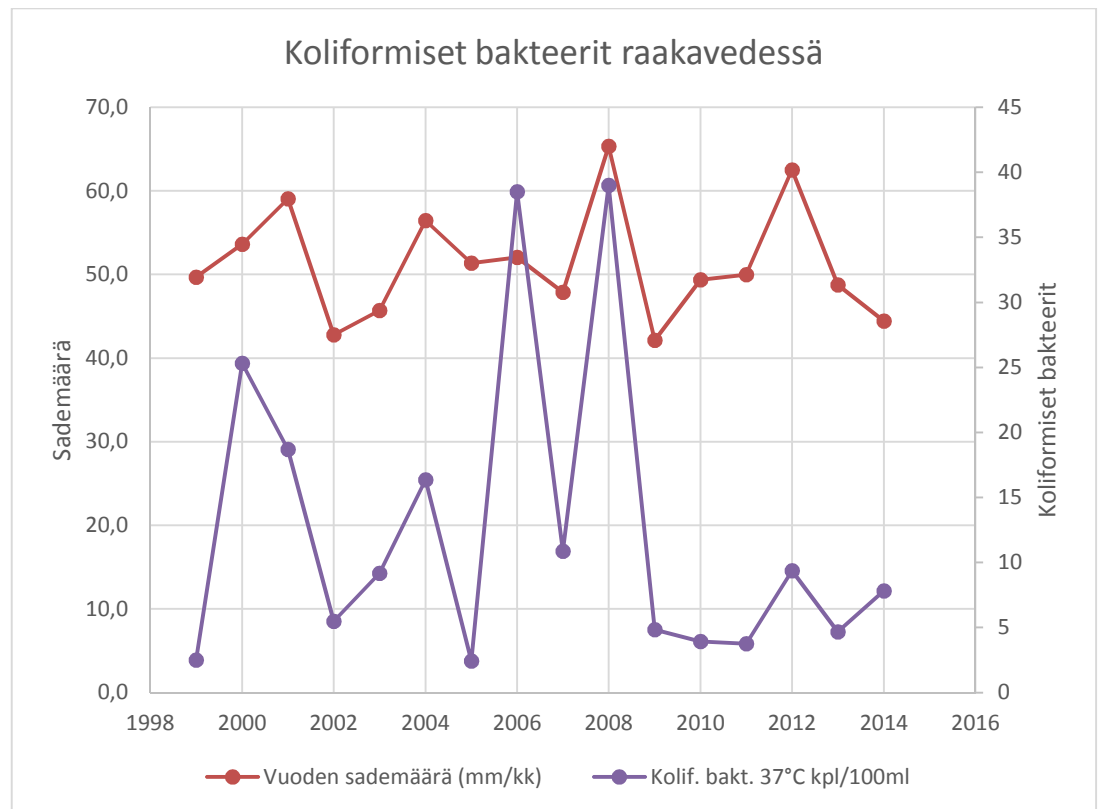
> +0,7	Vahvako positiivinen korrelaatio
+0,5 - +0,7	Heikohko positiivinen korrelaatio
+0,3 - +0,5	Heikko positiivinen korrelaatio
+0,1 - +0,3	Ei korrelaatiota
-0,1 - +0,1	Ei korrelaatiota
-0,1 - -0,3	Ei korrelaatiota
-0,3 - -0,5	Heikko negatiivinen korrelaatio
-0,5 - -0,7	Heikohko negatiivinen korrelaatio
< -0,7	Vahvako negatiivinen korrelaatio

Taulukosta 1 löytyy muutama edes jonkin verran merkittävä korrelaatio. Koliformiset bakteerit näyttävät korreloivan vuoden lämpötilan ja sateisuuden kanssa kun taas nitraattiin näyttävät vaikuttavan kesän olosuhteet. Nitriitin määrä näyttäisi merkkejä korrelaatiosta, mutta erikoisesti vuoden lämpötila vaikuttaisi positiiviselta yhteydeltä ja kesän lämpötila vaikuttaisi negatiiviselta. Muita esiin nousevia korrelaatioita ovat pesäkeluku 37°C, pesäkeluku 22°C, rikki, ammoniumtyppi ja klorofylli a. Arkiajatteluun nähden paradoksaalisesti klorofyllin pitoisuus näyttäisi korreloivan kesän lämpötilan kanssa negatiivisesti.

Taulukon 1 lukemia ei pidä käyttää tilastollisina näyttöinä syy-seuraus - yhteyksistä. Järjestelmä jota tarkastellaan, on äärimmäisen monimutkainen ja laaja ja siihen liittyvät järvet, ympäröivä maantieteellinen alue sekä ilmasto. Otanta on järjestelmän laajuuteen nähden suppea ja käytettyjä tietoja on vahvasti keskiarvotettu, mikä edelleen karsii niiden tarkkuutta.

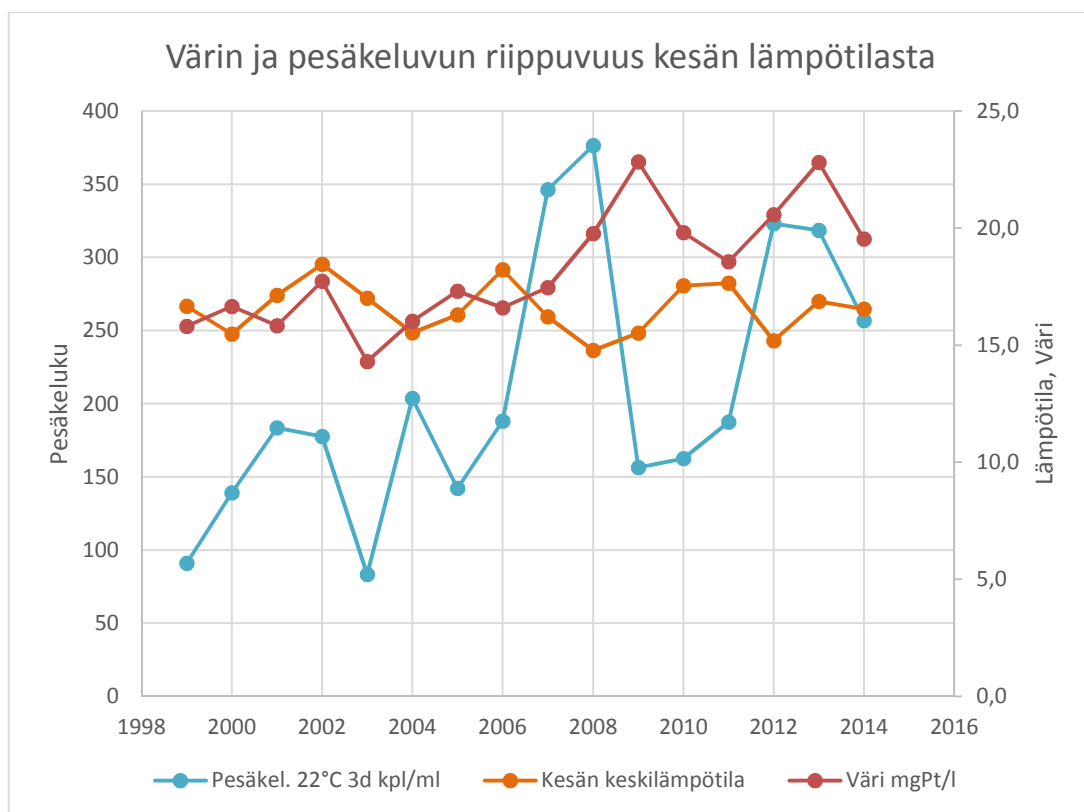
Tässä tapauksessa menetelmää on käytetty vain järjestelmällisenä tapana etsiä tarkemmin tarkasteltavia kohteita. (Figueras ja Borrega 2010)

Kuviossa 9 on piirretty kaavio eräästä edellä löydetystä yhteydestä. Kuvassa nähdään selvästi useita samanaikaisia piikkejä sekä ylös- että alaspäin. On huomattava, että piikit eivät kuitenkaan ole suhteessa samansuuruisia, joten systeemissä on selvästi riippuvuuksia, joita ei tunneta tai pystytä selittämään.



Kuvio 9. Koliformisten bakteerien esiintyvyys raakavedessä ilmasto-olosuhteiden mukaan

Kuvaajassa 10 on esitetty hieman mielenkiintoisempi ja monimutkaisempi mahdollinen yhteys.



Kuvio 10. Pesäkeluvun ja värin riippuvuus kesän lämpötilasta. Kesäksi on katsottu kesä-elokuu.

Kuviossa 10 Pesäkeluku 22°C näyttäisi liittyvän kuumiin kesiin. Kuvaajan mukaan kuumia kesiä on ollut 2002, 2006 ja 2010-2011. Pesäkeluvun piikit sijoittuvat vuosille 2001, 2004, 2007-2008 ja 2012-2013. Pesäkeluvun huiput vaikuttaisivat ilmenevän kuumien kesien jälkeen. Vastaavasti värissä ilmenee piikki pesäkelukupiikkien jälkeen. 2001 on pesäkelukupiikki ja 2002 väripiikki. Samanlaisia pareja löytyy 2004-2005, 2008-2009 ja 2012-2013. Luonnollisesti kyseessä on sumuinen vilkaisu hämäärään mekanismiin, jonka toimintaa voidaan vain arvailla, mutta se vaikuttaa liian järjestäytyneeltä ollakseen kaottista sattumaa.

### Turvesuot

Valuma-alueella on yhteensä 52 energiavaroiltaan arvioitua turvesuota, joista yhtäkään ei ole osoitettu Pirkanmaan maakuntakaavassa turpeenottoalueeksi. Nykyiset turpeenottoalueet sijaitsevat n. 75 km päässä valuma-alueen länsi- ja luoteispuolella. VTT:n selvityksestä vuodelta 2005 selviää myös, että Pirkanmaalla turpeen kysyntä on selvästi suurempaa kuin tuotanto. (KARPALO 5; Pirkanmaan 1. vaihemaakuntakaava, kartta)

Pirkanmaan nykyisiä turpeenottoalueita arvioitiin vuonna 2005 olevan noin 2 200 ha. Vuotuiseksi poistumaksi arvioidaan n. 120 ha, mikä tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä noin kaksi kolmasosaa nykyisistä tuotantoalueista on jo poistunut käytöstä. GTK ei ole julkaissut valuma-alueen kuntien turvetutkimuksia, joten ei liene luultavaa, että alueen turvesoita hyödynnetään kovin pian tai suuressa mittakaavassa. (Keränen,

Jaakkola & Vesisenaho 2014, 15 – 18; Pirkanmaan 1. vaihemaakuntakaava, Kaavaselostus 2013, 15 - 18 )

Turvesoiden päästöt vaihtelevat suotyypin, tuotantovaiheen, käsittelyrakenteiden ja vuodenaikojen mukaan. Päästötarkkailussa keskitytään kemialliseen hapenkulutukseen ( $COD_{Mn}$ ), kiintoaineeseen, fosforiin, typpeen, happamuuteen ja sameuteen. Lisäksi tapauskohtaisesti voidaan mitata myös väri, rauta tai sähkönjohtavuus. (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2013, 55 – 65)

Yhteenvedona voidaan todeta, että tunnistettavia raakaveden riskejä ovat rehevöityminen, vaarallisten aineiden kuljetukset, torjunta-aineet, kaivokset, ilmastonmuutos ja turvesuot. Rehevöitymistilanne on pysynyt vakaana ainakin kymmenen vuotta. Rehevöitymisen voi havaita mittaamalla fosforia tai typpeä. Toissijaisesti sen voi havaita mittaamalla orgaanista ainesta. Vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuudet johtavat todennäköisimmin pH:n muutokseen tai vesieliöstön joukkokuolemaan. Vesieliöstön joukkokuolema taas aiheuttaa sameutta ja muutoksia orgaanisessa aineessa. Torjunta-aineita on mahdotonta mitata on-line-tekniikalla, mutta torjunta-aineiden vaikutukset voi havaita pH-, sameus- tai orgaanisen aineen mittauksella. Kaivosonnettomuuden vaikutukset näkyvät pH:ssa, värissä, sameudessa ja sähkönjohtokyvyssä sekä mahdollisesti eliöiden joukkokuoleman vaikutuksina. Ilmastonmuutos on moniulotteinen riski, joka vaikuttaa lähes kaikkiin suureisiin. Turvesoiden vaikutuksia kannattaa kartoittaa sameuden, pH:n, värin, kiintoaineen tai orgaanisen aineen avulla (Hirvi n.d., 9 – 18).

Näin ollen ainoa järkevä ratkaisu on peruskemian mittausta raakavesilähteestä tai mahdollisimman läheltä sitä. Perusmittausten tulisi kattaa pH, väri, sähkönjohtokyky, orgaaninen aines ja sameus. Kuviossa 10 oli viitteitä pesäkeluvun 22 °C mahdollisesta soveltuvuudesta merkkianalyysiksi, mutta sen mittaaminen on vaikeaa. Käytännössä kysymykseen tulisi hiukkaslaskenta joko perinteisin menetelmin tai kuvaamalla. Tällöin kuitenkin orgaanisten hiukkasten erottaminen epäorgaanisista on vaikeaa. Vielä vaikeampaa on erottaa pesäkeluku 22 °C muista mikrobiologisista suureista. Kyse ei ole niinkään siitä, onko mikrobin optimilämpötila 22 astetta vai 37 vai jokin muu. Kyse on siitä onko kyseessä bakteeri, home, hiiva, alkueläin vai levä.

Varsinaista mittaustekniikkaa tärkeämpää on mielestäni tässä tapauksessa kerätyn tiedon käsittely. Raakavesilähteeseen kohdistuu melko vähän äkillisesti toteutuvia uhkia. Käytännössä kyseeseen tulevat lähinnä VAK onnettomuudet sekä mahdolliset onnettomuudet torjunta-aineiden käsittelyssä. Tällaiset onnettomuudet ovat tapahtuessaan pienialaisia verrattuna koko vesialtaan tilavuuteen. Näin ollen mahdolliset vaikutukset leviävät laajalle, mikä tarkoittaa, että vaikutukset ilmenevät raakavedenotossa viiveellä ja voimakkuudeltaan heikentyneinä. Suuremman mittakaavan vaikutuksia voi syntyä kaivosteollisuuden tai turvetuotannon seurauksena, mutta kumpikaan teollisuudenala ei ole tällä hetkellä valuma-alueella merkittävässä roolissa. Oriveden kultakaivos on pelkkä louhintaoperaatio ja itse prosessointi tapahtuu Vammalassa.

Turvesoiden taloudellista hyödyntämistä ei ole syytä odottaa ainakaan 10 – 20 vuoteen (Pirkanmaan 1. vaihemaakuntakaava, Kaavaselostus, 9 – 14).

Tarkkailussa ei siis ole odotettavissa suuria, äkillisiä, selviä piikkejä, mikä on haastavaa tilanteen seurannalle. Piikit ovat luultavasti niinkin pieniä, että ne eivät ylitä suureen luonnollisen vaihtelun amplitudia. Näin ollen piikki pitää tunnistaa eri tavalla. Joko tunnistaminen tapahtuu derivaatan eli suureen muutosnopeuden perusteella tai sitten piikki pitää erottaa perustasosta eli ”baseline”:sta. Tilastolliset menetelmät ovat erittäin suositeltavia raakaveden valvontaan.

## 4.2. Tekniset ratkaisut

### 4.2.1. Vertailu

Teknisiä kokonaisratkaisuja on vain yksi, joten vertailtavaa ei paljon jää. Ainoa asia jota oikeastaan voi tai kannattaa vertailla, on orgaanisen aineksen mittaaminen. Kyseeseen tulevat TOC:n, DOC:n, kaliumpermanganaattiluvun tai UV-absorbanssin mittaaminen. TOC ja DOC saadaan lähes poikkeuksetta mitattua samalla laitteella, joten kyse ei ole niinkään laitteen valinnasta vaan laitteen operointitavan valinnasta. Vertaillaan siis TOC-analysaattoria, UV-absorbanssin mittausta ja kemiallisen hapenkulutuksen eli CODMn-analysaattoria. Huomionarvoista on, että Ruskon prosessissa TOC on silti määräävin suure, kun prosessia tarkastellaan. Sen takia mitattavan suureen on ainakin jollakin tasolla korreloitava TOC:n kanssa. Näistä UV-absorbanssi on todennäköisesti soveltuvin ja käyttökelpoisin (Weishaar, Aiken, Bergamaschi, Fram, Fuji & Mopper 2003).

Korrelaatiota selvitettiin laskemalla Pearsonin korrelaatiokertoimia eri mittausten välillä Ruskon raakaveden mittaustuloksista. Laskennassa käytettiin vain sellaisia mittauksia, jotka oli tehty samana päivänä. Otanta on silti aina yli 250 ja yltää jopa 700 saakka riippuen mittauksista. Absorbanssin havaittiin korreloivan hyvin sekä TOC:n että DOC:n kanssa. Korrelaatiokertoimet olivat 0,80 ja 0,78. Permanganaattiluku korreloi paremmin TOC:n kuin DOC:n kanssa. Kertoimet olivat 0,85 ja 0,70. Permanganaattiluvun ja absorbanssin keskinäinen korrelaatio oli 0,88. Kaiken kaikkiaan kaikki kolme suuretta korreloivat keskenään hyvin. (Ruuhonen 2011, 80 – 81)

### Luotettavuus ja käytettävyys

UV-absorbanssin mittaaminen on tavanomainen optinen perusmittaus. Toimittajia on useita ja varsinaisia sensori- ja anturiratkaisuja löytyy useisiin eri sovelluksiin. Näitä on käytössä nykyään esimerkiksi UV-desinfiointin yhteydessä, kun halutaan määrittää veden UV-läpäisevyys ennen reaktoria. Koska toimittajia on useita, voidaan vapaasti valita sopivin, jolloin huoltoa ja koulutusta koskevat asiat voidaan pitkälti sopia tapauskohtaisesti. Mitta-alue riittää erittäin hyvin kuten myös tarkkuus.

Tekniikkaan liittyy useita standardeja, myös kansainvälisiä ja nimenomaan vesihuoltoon kohdennettuja.

TOC-analysaattorit ovat monimutkaisempia. Niissä näytettä on esikäsiteltävä suoran mittauksen sijaan. Tämä tarkoittaa, että vaikka laitteet ovatkin nykyään jatkuvatoimisia, niillä on tietty vasteaika muutokseen reagoinnissa. Tyypillisesti vasteaika on pienimmillään minuutin luokkaa, mutta sovelluksesta riippuen voi olla kymmenenkin minuuttia.

Analysaattorit ovat selvästi laboratoriomaisempia laitteita. Niiden toimittajia on vähemmän, mikä rajoittaa vaihtoehtoja. Niiden huolto on järkevää ulkoistaa vaadittavan erikoisosaamisen takia. Niiden kalibrointia tulee kuitenkin seurata tarkasti ja tarvittaessa korjata. Se ei ole koulutetulle laboratorion henkilöstölle mikään ongelma, mutta edellyttää kuitenkin koulutusta.

COD<sub>Mn</sub>-analysaattori on vielä laboratoriomaisempi, koska siinä laboratoriomethodi on sellaisenaan siirretty on-line-mittariin. Tämän myötä laitekaan ei ole enää jatkuvatoiminen, vaan yhteen mittaukseen kuluu aikaa 10 – 60 minuuttia. Se sinällään ei tee mittauksesta kelvotonta. Etenkin kun sen tarkkuus ja mitta-alue ovat riittävät kuten TOC-analysaattorillakin. Laite tehdään aina enemmän tai vähemmän räätälöitynä kuhunkin sovellukseen. Eri komponentit valitaan sen mukaan, mitä laboratorioanalyysin työvaiheita milloinkin on tarve jäljitellä. Se taas tarkoittaa, että toimittajia on vähän – mahdollisesti jopa vain yksi. Käyttö vaatii lähes varmasti erikoisosaamista ja huoltopalveluiden hankkiminen voi olla hankalaa. Laitteen standardointi on myös kevyempää.

Sekä TOC- että COD<sub>Mn</sub>-analysaattorin haittapuoli ovat näytteen vaatimukset. Näytettä on tultava oikea määrä ja riittävän puhtaana. Lisäksi näytevedelle on annettu minimilämpötila. TOC vaatii kaksiasteista vettä ja kemiallinen hapenkulutus viisiasteista. Ruskon raakavesi voi kylmimpänä aikana laskea kymmenesosa-asteiden päähän nolasta. Veden lämmittäminen kahteen asteeseen on vielä hyväksyttävissä, mutta viisi astetta on liikaa. Ei niinkään energian kulutuksen takia vaan näytteen ominaisuuksien muuttumisen takia.

### Ympäristöystävällisyys ja elinkaari

Kaikkien menetelmien ympäristöystävällisyys ilmenee materiaalin säästämisen kautta. Niillä voidaan nimittäin vaikuttaa laitoksen koagulantin kulutukseen. Tämän arvioimiseksi tarkasteltiin PIX-322:n kulutusta vuonna 2014. Kemikaalia annosteltiin jatkuvasti keskimäärin 62 g/m<sup>3</sup> raakavettä. Se tarkoittaa, että koagulanttia annosteltiin keskimäärin 3 kertaa kaliumpermanganaattiluvun verran. Annostuksen pysyessä samana suhdeluku kuitenkin vaihteli alueella 2,75 – 3,25 kertaa kaliumpermanganaattiluku. Koska puhdistustulos on pysynyt hyvänä, voidaan olettaa, että myös alaraja eli 2,75 kertaa kaliumpermanganaattiluku riittää. Tällöin kemikaalia annosteltaisiin 52 – 62 g/m<sup>3</sup> raakavettä raakaveden orgaanisesta aineksesta riippuen. Annostuksen keskiarvo asettuisi 56,8 g/m<sup>3</sup> raakavettä.



Kemikaalin syötön säädöllä kemikaalia säästyisi yli 8 %. keskimääräisellä 1 500 m<sup>3</sup>/h ajolla se tarkoittaisi arviolta 68 t vuodessa. Suunnilleen kolme säiliöperävaunullista siis.

#### Taloudellisuus

Laitteiden hinnat on arvioitu saatavilla olevista lähteistä. Etupäässä tämä on tarkoittanut ulkomaisia tietoja, jotka on korjattu valuuttakurssilla ja tarvittaessa indeksikorjauksella. Ne ovat silti melko epätarkkoja arvioita ja hinnat voivat vaihdella suuresti toimittajasta riippuen.

UV-absorbanssi anturi maksaa 2 000 – 3 000 €. COD<sub>Mn</sub>-analysointilaitteisto maksaa noin kaksi kertaa niin paljon ja TOC-analysointilaitteisto kymmenen kertaa niin paljon. Elinkaarikustannukset voidaan melko tarkasti arvioida, kun toimittaja ilmoittaa huolto-, kalibrointi- ja varaosatarpeen. TOC-analysointilaitteen elinkaarikustannuksia on vaikeampi arvioida, koska laite on monimutkaisempi ja vielä ei voida tietää esimerkiksi mitä lisävarusteita se tarvitsee. COD<sub>Mn</sub>-analysointilaitteisto on täysin räätälöity ja edes sen käyttökustannuksia ei pysty tässä vaiheessa arvioimaan.

Liitteenä 3 ovat laitteiden kriteerilomakkeet täytettyinä. UV absorbanssin mittausta saa pisteitä 66, TOC-mittaus saa pisteitä 49 ja COD<sub>Mn</sub>-mittaus 43.

#### 4.2.2. Sijoitus

Mittausten sijoittaminen raakavesilähteeseen olisi kallista ja vaivalloista. Mittauslaitteisto pitäisi upottaa tai rakentaa jäidenkestäväksi. Kustannustehokkaampi tapa on asentaa raakavesilähteeseen putkisto, jonka avulla vettä imetään halutusta kohdasta, vesi kierrätetään pumpuilla mittausaseman kautta ja palautetaan takaisin raakavesilähteeseen, mutta riittävän kauas näytteenottokohdasta. Roineen tapauksessa jälkimmäinen tapa voidaan toteuttaa helposti sijoittamalla mittauslaitteisto raakavesipumppaamoon, joka sijaitsee Roineen rannalla. Tällöin viipymä raakavesilähteestä mittaukseen on hyvin pieni kun taas viive mittauksesta vedenpuhdistuslaitokselle on suurempi. Viive mittauspisteeltä laitokseen on 1 800 m<sup>3</sup>/h virtaamalla noin 2 tuntia, mikä on sopiva aika mahdollisiin hälytyksiin reagoimiseen.

Sijoitus raakavesipumppaamolla voi tapahtua joko raakavesiputken pumppujen painepuolelle tai pumppujen imukaivon läheisyyteen. Mikäli näytevesi otetaan raakavesiputkesta pumppujen paineella, ei tarvita erikseen näytepumppua. Vesi voidaan pumpata takaisin raakavesiputken tai se voidaan juoksentaa anturien jälkeen viemäriin tai se voidaan palauttaa raakaveden imukaivoon. Mikäli vesi otetaan raakavesipumppujen imukaivosta, se voidaan palauttaa takaisin sinne ja järjestelmä vaatii näytepumpun. Optimivaihtoehto olisi veden ottaminen raakavesiputkesta. Näyte johdetaan kiinteällä putkella pumppaamon sisälle mittauslaitteille ja palautetaan sieltä imukaivoon painovoimaisesti.

Tehokkain järjestely on esiasentaa anturit, niiden prosessiputket ja sähkö- ja automaatioasennukset saman kaappiin ja sitten asentaa kaappi pumppaamolle. Näin laitteet voidaan testata rauhassa ennen asennusta ja käyttöönotto sujuu ongelmitta.

## 5 RATKAISUT – LÄHTEVÄ VESI

### 5.1. Teoriaperusta

Tältä osalta työn fokuksiksi sovittiin mittauksen etsiminen, jolla lähtevästä vedestä voitaisiin ennustaa veden hygieenisyyden säilymistä verkostossa. Tässä tapauksessa etusija on annettava nimenomaan mikrobiologiselle hygieenisyydelle, koska sen merkitys ihmisten terveydelle ja hyvinvoinnille on tärkeämpi. Lisäksi Suomessa ei ole juurikaan havaittu ongelmallisia kemiallisia epäpuhtauksia vesijohtovedessä. Lähinnä tällaisista ongelmatekijöistä tulevat kysymykseen arseeni (paikallinen), radon (helppo poistaa), liuottimet (paikallisia ja/tai helppo poistaa), pestisidit/herbisidit (käyttö hallittua ja säänneltyä) ja lääkeaineet (ei vielä riittävästi tietoa). Mikrobiologisia uhkia taas ovat esimerkiksi patogeenit (epidemiaa), levät (vähän tietoa vaikutuksista), homeet/hiivat (ongelmallisia herkistyneille) ja normaaliflooran muodostama biofilmi (esteettiset vaikutukset ja mahdollinen osallistuminen patogeenien leviämiseen). (Meriläinen 2013, 3, 8 – 12; Hallikainen 2009, 122 – 134)

Mikrobien kohdalla ongelma kiteytyy kysymykseen ”mitä mitata?” On olemassa yksinkertaisia yleismenetelmiä kuten pesäkeluku. Joidenkin lähteiden mukaan pesäkeluku ilmaisee noin neljänneksen kaikista näytteen bakteereista. Seuraava askel on käyttää yleisindikaattoria eli mikrobia, joka yleensä on peräisin suolistosta tai muualta elimistöstä. Sopivin indikaattori tähän ovat fekaalikolit eli lämpöä sietävät kolibakteerit. Etenkin Suomessa pitää paikkansa oletus, että kylmissä vesissä esiintyvät lämpöisen kasvuympäristön kolit ovat peräisin tasalämpöisen eliön elimistöstä. E. Coli –ryhmän kolibakteerit ovat suorastaan lämpöhakuisia, joten ne ovat vielä sopivampia indikaattoreita. (Figueras ja Borrego 2010, 1 – 2)

Kolit eivät kuitenkaan ole ainoita ulosteperäisiä bakteereja eivätkä ne myöskään pärjää kovin hyvin kilpailussa. On siis mahdollista, että tapahtuu ulostesaastuminen, mutta kolit häviävät suurimmaksi osaksi luonnollisissa prosesseissa. (Leclerc 2003, 99, 107) Tällöin veteen jäävät kuitenkin muut ulosteperäiset mikrobit, kuten streptokokit, maitohappobakteerit ja Clostridiat. Lisäksi tietysti virukset, itiöt ja alkueläimet eivät paljastu samoilla menetelmillä eivätkä ne korreloi juurikaan havaittavien indikaattoribakteerien määrän kanssa (Mesquita ja Noble 2013). Toisaalta kontaminaatio voi olla myös muu kuin eläin-/ulosteperäinen. Homeet, hiivat ja sädesienet viihtyvät vedessä kuten myöskin kasvisolut kuten levät. Nämä myös saattavat erittää haitallisia toksineja, parhaimpina esimerkkinä sinilevät.

Raakavesi kerätään jostakin luonnon lähteestä, jolloin se sisältää vaihtelevan määrän sekä tavanomaisia harmittomia mikrobeja että patogeenisia mikrobeja. Vedenpuhdistamossa vesi hygienisoidaan. Tällöin suurin osa mikrobeista tapetaan ja osa inaktivoidaan. Vettä ei kuitenkaan missään nimessä steriloida. Laitokselta vesi lähetetään jakeluverkostoon, jossa vesi viettää vaihtelevan ajan moninaisissa eri olosuhteissa. (Lehtola 2002, 17) Verkostossa inaktivoituneet mikrobit voivat aktivoitua, mikrobit voivat lisääntyä ja kulkeutua verkostossa ja mikrobilajien määrasuhteet voivat muuttua. Mikrobeja myös luonnollisesti kuolee verkostossa. Verkostoa ei tule myöskään ajatella suljetuksi systeemiksi, koska yhteyksiä ulkomaailman muodostuu aika ajoin. Uusia putkia liitetään, vanhoja puretaan pois ja erilaisia korjauksia ja kunnostuksia tehdään jatkuvasti. lisäksi vuotoja voi luonnollisesti esiintyä. Näin ollen verkostoon voi myös tulla ulkopuolelta mikrobilajeja. Kaikista ilmeisin reitti tällaiseen imigraatioon on vesisäiliö, jossa on vapaa vesipinta. (Figueras ja Borrego 2010, 6- 7)

Usein hygieenisyyden mittana on totuttu pitämään veden mikrobipitoisuutta eli pyritään mittaamaan, paljonko laitokselta lähtevässä vedessä on mikrobeja. Periaatteessa ajatus on yksinkertainen, koska tähän on menetelmiä ja arkisesti voidaan ajatella: ”mitä vähemmän sen parempi”. Talousveden suhteen kuitenkin joudutaan miettimään mitä mitataan ja mitä mittaus kertoo. Osa mikrobeista on patogeenisia ja on selvää, että näitä ei vedestä pitäisi löytyä. Esimerkiksi nyt vaikka E. Coli tai Cl. Perfringens tai kambylobakteerit tai poliovirukset. Ongelma on tietysti se, että esimerkkien lisäksi näitä on satoja tai tuhansia, jotka voivat saastuttaa juomaveden, ja niiden kaikkien tutkiminen on käytännössä mahdotonta. (Figueras ja Borrego 2010, 2 – 4)

Toinen lähestymistapa on pyrkiä mittaamaan mikrobien kokonaismäärää tai biomassaa. Tällöin voidaan käyttää laajempia menetelmiä ja tehdään oletamus, että jos biomassaa on vähän, se on luultavasti osoitus desinfiointijärjestelmien toiminnasta ja kun ne toimivat, ei patogeenejäkään esiinny. Tähän ajatteluun perustuu mm. talousvesiasetuksen suositus heterotrofisesta pesäkeluvusta – ei selittämättömiä poikkeamia. (Lehtola 2002, 16)

Biofilmi näyttää tärkeää osaa mikrobien elämässä verkostossa. Biofilmi ei koostu homogeenisestä mikrobipopulaatiosta vaan se on enemmänkin kuin eri biotooppeja elättävä elinympäristö. Tällöin jotkin lajit biofilmissä voivat esimerkiksi tuottaa ravinteita muille lajeille tai metaboloida muiden erittämiä jätteaineita. Näin mikrobilajit voivat tukea toisiaan ja biofilmi elinympäristönä selviää hyvin yrityksistä tuhota se. (Lehtola 2002 , 23 – 25)

Yleisesti ottaen bakteerit biofilmissä ovat melko hyvin suojassa. Niiden inaktivointi vapaalla kloorilla vaatii yli 3 mg/l konsentraation. Bakteereilla on tietysti myös omat selviämiskonstinsinsa. Ne voivat esimerkiksi käyttää eri ravintomuotoja mm. hiilen suhteen. Mikrobit voivat myös mennä ns. ”survivalismi”-tilaan, jolloin ne rajoittavat omaa kasvuaan ja irtautuvat herkemmin biofilmistä. Tällöin myös koloniat pienenevät, mikä osaltaan

auttaa jakamaan niukat ravintovarot tehokkaammin koko populaatiolle. (Leclerc 2003, 84 – 86)

Koska bakteerit voivat kiinnittyä biofilmiin ja irtautua siitä, ne vaeltavat verkostossa paikasta toiseen. Tosin tietysti vain alavirtaan, mutta sillä ei ole väliä, koska ylävirralla on omat biofilminsa. Näin ollen mikrobien voidaan ajatella etsivän aina optimiympäristön itselleen, riippumatta siitä missä verkoston kohdassa se sijaitsee. Yleisesti ottaen biofilmillä on lokoiset oltavat kun desinfiointikemikaaleja on vähän, virtaama on maltillinen, lämpötila ei ole kylmä tai liian kuuma ja ravinteita riittää. (Lehtola 2002 , 23 – 25)

Talousveden hygieenisyyden varmistamisessa voidaan käyttää eri strategioita. Yleisin ja tunnetuin strategia on monien desinfiointivaiheiden käyttö eli ns. ”multi-barrier” ajattelu. Tällöin keskitytään vähentämään mikrobien määrää ja eliminoimaan täysin haitalliset mikrobit laitoksella. Toisaalta voidaan myös valita desinfiointitapoja, joiden desinfiointiteho ulottuu myös verkostoon. Varsinaisten desinfiointitapojen lisäksi voidaan hyödyntää muitakin enemmän tai vähemmän luonnollisia konsteja, jotta olosuhteet olisivat mahdollisimman epäedulliset mikrobeille. (Figueras ja Borrego 2010, 6 – 7)

Desinfiointi laitoksella voidaan suorittaa kloorikemikaaleilla, UV-desinfioinnilla, otsonilla tai uuden sukupolven menetelmillä, jotka yleensä nojaavat peretikkahappoon, peroksidiin, otsoniin/muihin hapettimiin tai näiden yhdistelmiin. Keinot ovat hyvin tutkittuja ja tunnettuja ja niiden soveltaminen laitoksella on helppoa. Osa vaikuttaa vain laitoksella kuten UV ja otsoni. Osa taas säilyttää tehonsa ja desinfiointivaikutuksensa myös verkostossa.

Useimmat kemialliset menetelmät ovat pitkävaikutteisia, mutta niiden ominaisuudet vaihtelevat. Esimerkiksi klooridioksidin sanotaan tehoavan erityisen hyvin biofilmiin, mutta sen pitoisuudella on tarkat maksimirajat kansainvälisten ohjeiden perusteella. Klooriamiinien on todettu olevan pysyviä ja pitkävaikutteisia, mutta vastapainona niiden teho on rajallinen ja tietynlaiset olosuhteet saavat aikaan ei-toivottuja reaktioita.

Kemiallisiin menetelmiin liittyy monia mittauksia, joista suurin osa on vakiintunutta tekniikkaa. Kokonais- tai vapaata jäännösklooria esimerkiksi voidaan mitata ISE:lla tai kolorimetrisellä menetelmällä. UV-intensiteetti ja -annos voidaan mitata kuten myös UV-valon läpäisevyyteen liittyvät suureet transmittanssi tai absorbanssi. Otsonin ja muiden desinfiointikemikaalien pitoisuuden lisäksi voidaan mitata myös epäsuorasti desinfiointiin liittyviä suureita. Hapetus-pelkistys-potentiaali, pH, lämpötila ja esimerkiksi sameus vaikuttavat eri desinfiointimenetelmiin.

Hankaluus mittaamisessa liittyykin lähinnä sen arviointiin, miten hyvin hygieenisuus säilyy verkossa. Koko lähestymistavassa merkittävä kysymys on, mitä suuretta laitoksella voitaisiin mitata, joka kertoisi veden hygieenisyyden säilymisestä. Vesi viettää laitoksella muutamia tunteja ja

laitoksella on useita desinfiointijärjestelmiä ja mittareita. Verkostossa vesi viettää pahimmillaan päiviä, muita desinfiointipisteitä ei ole ja mittaussuranta on hyvin rajallista. Kun tarkastellaan hygieenisyyttä verkostossa, mittaus laitoksella ei välttämättä ole sellainen, jota on totuttu pitämään hygieenisyyden mittana. Jos esimerkiksi mitataan vain bakteerimäärää, se kertoo vain, että laitokselta ei syötetä liikaa biomassaa verkostoon. Bakteerit voivat kuitenkin lisääntyä hallitsemattomasti verkostossa. Jos varmistetaan, että lähtevässä vedessä ei ole patogeeneja, silloin on varmistettu, että kontaminaatiolähde ei ole laitoksella, mutta se voi olla verkostossa. Mikrobien mittauksen laitoksilla onkin yleensä tarkoitus varmistaa, että laitoksen desinfiointi toimii odotetusti. Se ei niinkään osoita, että vesi on hygieenistä vaan että vesi on hygienisoitu. (Mesquita 2013)

Parasta olisikin keskittyä tekijöihin, jotka yleismaailmallisesti vaikuttavat mikrobien elinolosuhteisiin verkostossa. Yksi varhaisimmista konsteista on käyttää vettä, joka on viileää ja sisältää mahdollisimman vähän mikrobeja alun alkuaan. Tällöin mikrobit eivät todennäköisesti lisäänty haitallisesti koska niitä on vähän ja viileässä niiden kasvuvauhti on rajallinen. Tämän takia pohjavettä pidetään yleensä pintavettä parempana raakavetenä. Tässä auttaa myös, jos veden viipymä verkostossa on mahdollisimman lyhyt. (LeChevallier ym. 1991)

Mikrobien kasvua voidaan myös rajoittaa vähentämällä mikrobien ravinteita. Elintärkeitä ravinteita on kymmeniä, mutta suurin osa on tietysti hivenaineita, joiden merkittävä poistaminen vaatisi tislaukseen tai kalvosuodatukseen verrattavia menetelmiä. Happi ja vety taas tuskin muodostuvat rajoittaviksi tekijöiksi vesiympäristössä. Merkittävimpiä ravinteita ovatkin solujen perusrakennusaineet hiili, typpi ja fosfori. (Lehtola 2002, 25 – 29)

Jo varhain mikrobien ravinnontarpeeksi on määritetty C:N:P suhde 100:10:1 (LeChevallier 1991, 857). Hiilestä ja fosforista kuitenkin vain osa on mikrobeille käyttökelpoisessa muodossa. Näistä voidaan käyttää vaikka nimityksiä AOC-p ja MAP. Riippuu aineiden suhteista, kumpi rajoittaa mikrobien kasvua. Lehtola (2002, 55) on tutkimuksessaan mikrobeille kelpaavasta fosforista havainnut, että pohjavesistä valmistetussa talousvedessä AOC-p:MAP on keskimäärin noin 27:1 ja pintavesistä valmistetussa keskimäärin noin 633:1. Kun hiiltä ja fosforia tarvitaan suhteessa 100:1, on selvää, että pohjavesissä hiilen lisäys ja pintavesissä fosforin lisäys parantaa mikrobien ravinnonsaantia. (Lehtola 2002, 25 – 29, 55)

Veden hygieenisuus voi myös parantua vaikka mikrobimäärä pysyisi muuttumattomana tai jopa kasvaisi. Olennaista on se, että haitallisista patogeenisistä mikrobeista päästään eroon. Suurin osa mikrobeista on harmittomia tai yhdentekeviä. Osa saattaa jopa olla hyödyllisiä. Yleensä merkkimikrobina haitallisesta kontaminaatiosta käytetään *E. Colia*, joka on sopivin indikaattori kertomaan tasalämpöisen eliön ulostesaastutuksesta. *E. Coli* ei kuitenkaan voi kertoa virus- tai alkueläinkontaminaatiosta. Toisaalta *E. Coli* ei myöskään luonnostaan menesty vesijohtovedessä eikä kestä hyvin

kilpailua, joten mikrobin löytäminen viittaa nimenomaan hiljattaiseen, paikalliseen ulkopuoliseen kontaminaatioon. (Leclerc 2003, 86 – 94; Ashbolt 2001, 290 – 293)

Mikrobien tunnistamiseen ja määrän arviointiin käytetään yleensä jotakin viljelysovellusta. Sovelluksiin kuuluu aina elatusaine, joka sopii joillekin mikrobeille ja joillekin ei. Yleensä käytössä ovat agar-pohjaiset elatusalustat. Näytteet ovat luonnollisesti vesinäytteitä ja näytteistä voidaan tehdä useita laimennoksia mikrobin määrän tarkempaa laskemista varten. Näytettä yksinkertaisesti lisätään elatusainetta sisältävälle petrimaljalle, jonka jälkeen petrimaljaa inkuboidaan vakiolämpötilassa. Yleisimmin käytetään lämpötilana 22 °C ja 37 °C ja aikana 2 d tai 7 d. Menetelmässä nojataan vahvasti tilastomatematiikkaan ja mikrobin määrän laskeminen perustuu siihen, että kun eri laimennoksista lasketaan mikrobit, mikrobin määrä perusliuoksessa eli näytteessä on todennäköisesti jotakin tai jollakin välillä. Samalla tavalla menetelmissä oletetaan, että todennäköisesti jokainen mikrobisolua on oma itsenäinen partikkeli, joka kasvaa ja muodostaa kolonian, mikäli on elinkykyinen. Todellisuudessa mikrobit esiintyvät myös klustereissa ja osa soluista on elinkykyisiä, mutta ei viljeltävissä.. (Ashbolt 2001, 293 – 294; Mesquita 2013, 32 – 34)

Tällä on merkitystä inkubointiajan suhteen. Hyvin usein nimittäin petrimaljaa voidaan tarkastella jo yhden tai kahden päivän inkuboinnin jälkeen ja saada viitteitä todennäköisestä lopputuloksesta. Matemaattisestikin kolonioiden ilmaantumiseen menevä aika riippuu siitä, montako jakautuvaa solua alkuperäisessä klusterissa on. Toisaalta inkubointiaika on melko pitkä ja jos elinkykyisiä soluja on maljassa, ne kyllä muodostavat kolonioita jo aiemminkin, mutta tällöin tietysti mikrobimäärän määrittämisen luotettavuusväli heikkenee. Vastaavasti myös, jos soluja on paljon ja laimennus ei riitä, kolonioita voi muodostua niin paljon, että niiden laskeminen on mahdotonta.

Erilaisia sively- tai annostelutekniikoita on myös kehitetty. Näissä ajatuksena on levittää näyte jollakin tietyllä tavalla maljalle, jotta kolonioiden laskenta kävisi mahdollisimman helposti ja jotta laskennan tuloksena saataisiin mahdollisimman luotettava arvio todennäköisestä mikrobimäärästä (Ashbolt 2001, 293 – 294). Erilaisia tekniikoita käytetään myös sen suhteen onko tavoitteena mikrobimäärän kvantitatiivinen mittaaminen vai mikrobilajien kvalitatiivinen eristäminen ja määrittäminen.

Mikrobien määrittämisessä on siis hyvin paljon varianssia aiheuttavia tekijöitä ja mahdollisia virhelähteitä ja muita epävarmuustekijöitä. Onkin mahdollista, että jos halutaan tutkia vaikka biofilmiä, sen mikrobit eivät välttämättä kasva nykyisin käytössä olevilla alustoilla tai menetelmillä.

Mikrobeja voidaan myös suoraan laskea partikkelilaskennan keinoin. Partikkelilaskureissa useimmiten ohjataan pieni näyte esimerkiksi kapillaariputkeen tai kyvetiin. Näytteestä voidaan laskea yksittäiset partikkelit ja niiden kokojakauma esimerkiksi lasersäteiden katkeamisten perusteella tai valon refraktioon perustuen. Joissakin sovelluksissa partikkelit voidaan myös kuvata. Stillkuvia tai videokuvaa voidaan myös

ottaa mikroskooppisesti itse näytteestä ja laskea partikkeleita kuvasta ohjelmallisesti.

Partikkelilaskennan menetelmät ovat siinä määrin kehittyneitä, että laskentatulokset ovat luotettavia. Haittapuolia ovat kuitenkin vielä mm. näytteen edustavuus. Parhaimmillaankin näyte edustaa häviävän pientä murto-osaa vesimäärästä. Tosin tämä sama ongelma koskee myös viljelymenetelmiä. (Mesquita 2013, 31) Toinen ongelma liittyy tietysti partikkelien tunnistamiseen. Pelkästään elollisten erottelu on elottomista on haastavaa. Puhumattakaan ongelmista, jotka liittyvät levien, bakteerien, homeiden ja virusten erotteluun toisistaan.

Virukset ovat yleensä kooltaan kymmeniä tai satoja nm. Suurimmat lienevät noin  $\mu\text{m}$  luokkaa. mikrometrinä aina 10  $\mu\text{m}$  asti on bakteereita, yleensä kuitenkin 3 – 5  $\mu\text{m}$ . 3 – 30  $\mu\text{m}$  on hiivoja ja 15  $\mu\text{m}$  – satoja mikrometrejä on homeita. Tätä suuremmat ovat monisoluisia alkueläimiä. Yksittäiset solut ovat yleensä kokoluokkaa 10 – 100  $\mu\text{m}$ . Tähän ryhmään voivat kuulua esimerkiksi leväsolut. (Hellsten 2005, 47 – 52) Vesimolekyyli on kooltaan 0,2 nm ja rautapohjaiset molekyylit yleensä 0,3 – 0,7 nm, mutta suuri orgaaninen molekyyli voi helposti olla esimerkiksi 10 nm kokoinen. Luonnollisesti rautamolekyyleillä ja orgaanisilla molekyyleillä on taipumus esiintyä yhteen liittyneinä, etenkin vedenpuhdistusprosessissa, missä niitä pyritään aktiivisesti koaguloimaan.

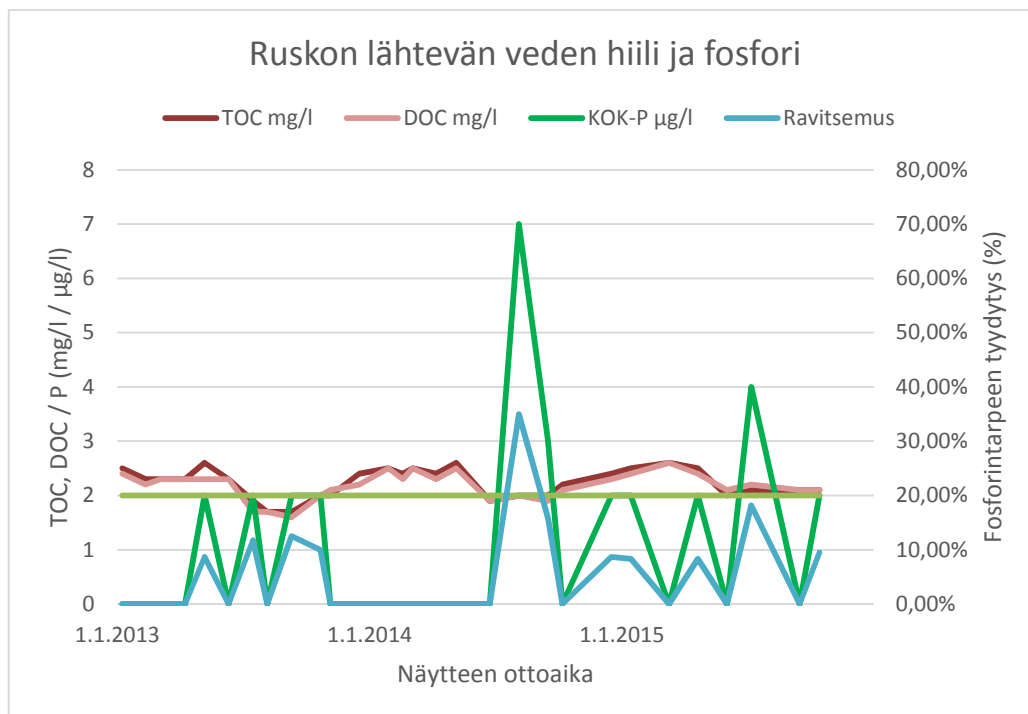
## 5.2. Tekniset ratkaisut

Perustason tekninen ratkaisu on tietenkin desinfiointikemikaalin tai tehosuureen mittaus. Jäännösklooria on erittäin helppo mitata ja sovelluksia on useita saatavilla. UV-desinfiointissa voidaan mitata UV-intensiteettiä ja laskea sen perusteella UV-annos. Molemmat tekniikat ovat jo käytössä Ruskossa. Näin ollen pitää keskittyä mittauksiin, jotka liittyvät mikrobien elinoloihin tai mikrobeihin itseensä.

Selkeimmältä ratkaisulta vaikuttaa mikrobien ravinteiden mittaaminen. Tämä tosin vaatii ensin mikrobien käytettävissä olevan osuuden määrittämistä, jotta voidaan valita, kumpaa ravinnettä mitataan. Tässä voidaan nyt kuitenkin olettaa, että rajoittava ravinne on fosfori, joten keskitytään sen mittaamiseen. Lisäksi orgaanisen hiilen mittausta sivuttiin jo kohdassa 4.2.1.

Fosforin mittaaminen on kuitenkin ongelmallista pienten pitoisuuksien vuoksi. Ruskon lähtevässä vedessä kokonaisfosfori vaihteli 2013 - 2015 välillä 0 ... 7  $\mu\text{g/l}$ . Jatkuvatoimisten onlinemittareiden toiminta ulottuu alueelle 0,5 ... 50  $\text{mg/l}$ , joten se on siis ihan eri kymmenluvulla. Lehtola (2002, 46) havaitsi tutkimuksessaan, että jo 1  $\mu\text{g/l}$  fosforin lisäys kaksinkertaisti bakteerien määrän biofilmissä ja nopeutti niiden kasvua. Tämän alkuhyppäyksen jälkeen muutosvauhti hidastui ja suurempien lisäysten merkitys oli suhteessa huomattavasti vähäisempi.

Mikäli fosforia halutaan mitata jatkuvatoimisemmin vaaditulla alueella, pitää turvautua laboratoriotason laitteistoon. Tällöin näytteenottoa ja näytteenkäsittelyä pitää automatisoida, mutta mittausta ei siltikään todennäköisesti saada jatkuvatoimiseksi. Kuvio 11 havainnollistaa asiaan liittyviä ongelmia.



Kuvio 11. Hiilen ja fosforin suhteet Ruskon lähtevässä vedessä

Kuvaajassa 11 on piirretty lähtevän veden TOC- ja DOC-pitoisuus yksikössä mg/l. Vihreällä on piirretty kokonaisfosforipitoisuus yksikössä µg/l. Sininen käyrä kuvaa, montako prosenttia mikroben ravitsemuksen optimifosforipitoisuudesta toteutuu olettaen, että kaikki liukoinen hiili ja kaikki fosfori ovat mikrobeille käyttökelpoista. Toisin sanoen paljonko mikroben fosforintarpeesta tyydytetään. Harmaanvihreä viiva on nykyisen fosforianalyysimenetelmän määrittäysraja. Suurin osa mittaustuloksista on alle määrittäysrajan. Myös negatiivisesti vaikuttava fosforinlisäys voi olla alle määrittäysrajan. Tämän vaikeuden voittaminen vaatii kehittyneitä tekniikkaa etenkin, jos tavoitteena on jatkuvatoimisuus. Kuvaajasta on myös havaittavissa yhteys – mataliin hiilipitoisuuksiin vaikuttaisi liittyvän keskimääräistä korkeampia fosforipitoisuuksia..

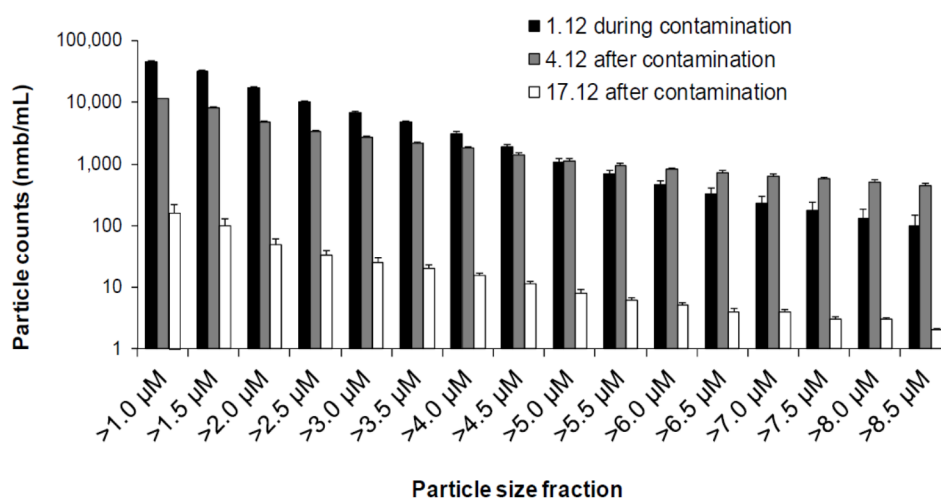
Partikkelilaskennassa ei mitata kemiallisia tai biologisia ominaisuuksia vaan nimensä mukaan lasketaan partikkeleita. Laskenta perustuu laserpohjaisiin detektoreihin, jotka havaitsevat partikkelit hyvin kapeassa virtauksessa. Tekniikka on hyvin reaaliaikainen, mutta luonnollisesti vain pieni määrä näytettä voidaan mitata. Näyte on siis saatava edustavaksi, jotta mittaus olisi käyttökelpoinen.

Havaittava partikkelikoko vaihtelee 0,5 – 800 µm ja partikkelimäärä 1 200 – 200 000 partikkelia/ml. Mittausalueen valinnalla voidaan vaikuttaa ominaisuuksiin. Pienempiä partikkeleita voidaan havaita enemmän, mutta



kapillaarin on oltava pienempi, joten näytevirtauskin on pienempi. Tyypillinen alue on 1 – 400  $\mu\text{m}$ , <120 000 partikkelia/ml ja 25 ml/min. Partikkelijakauma taas voi korreloida muiden, myös mikrobiologista tilaa kuvaavien suureiden kanssa, jolloin se toimii hygieenisyyden epäsuorana mittauksena. (Ikonen, Pitkänen & Miettinen 2013, 5353 – 5357)

Partikkelilaskennassa elollisia ja elottomia partikkeleita ei kyetä erottelemaan. Tekniikan mitta-alue käsittää kuitenkin juuri bakteerien kokoalueen 1 – 10  $\mu\text{m}$ . Ikonen ym. (2013) on tutkimuksessaan päässyt soveltamaan partikkelilaskentaa aitoon talousveden kontaminaatiotapaukseen, nimittäin Nokian vesikriisiin. Kuviossa 12 on partikkelilaskennan tuloksia kontaminaation ajalta ja sen jälkeen. Vaaka-akselilla on laskettujen partikkelien kokoluokka ja pystyakselilla on partikkelien määrä kpl/ml. Mustat pylväät ovat kontaminaation ajalta, harmaat vähän sen jälkeen ja valkoiset jo pitemmän ajan kuluttua.



Kuvio 12. Nokian vesikriisin partikkelilaskentatulokset. Kuva julkaistu teoksessa (Ikonen, Pitkänen, Miettinen 2013, 5358)

Kuviosta 12 nähdään selvästi, että ainakin vakavan kontaminaation havaitseminen on helppoa partikkelilaskennalla. Etenkin 6 – 10  $\mu\text{m}$  luokassa erot ovat hyvin selkeitä. On hyvä muistaa, että Nokian tapauksessa vaikutukseltaan merkittävin patogeeni norovirus on kuitenkin vain noin 0,03  $\mu\text{m}$  kokoinen, eikä siis näy tässä mittauksessa mitenkään.

Uudempana tekniikkana on partikkelilaskennan ja mikrobien tunnistamisen välimuoto, joka perustuu valofluoresenssiin ja Mie-sirontaan. Menetelmässä pystytään erottelemaan elottomia partikkeleita elollisista ja jopa algoritmeilla määrittelemään elollisten partikkelien tyyppiä ja lukumäärää. Menetelmä ei vaadi inkubointia ja on siten melko reaaliaikainen. Toisaalta vastaavuus fluoresenssin ja pesäkeluvun välillä vaihtelee mikrobista riippuen. Yhteys ei välttämättä ole lineaarinen mitta-alueen ääripäissä.

Tämä heikentää sovelluksen käytettävyyttä varsinaisena mittarina, koska talousvesi yleensä on hyvin puhdasta, jolloin laite operoi skaalansa alarajalla lähes aina. Mittaustulos saattaa heilahdella, vaikka varsinaisen

pesäkeluku pysyisi samana. Toinen mahdollinen ongelma liittyy mikrobilajien tunnistamiseen. Sillä on väliä, ilmoittaako laite havainneensa 2 CFU:ä merkkimikrobi *E. Colia* vai tavallista mikrobia *Pseudomonasta*.

On myös tekniikoita, jotka perustuvat suoraan mikrobimassan mittaamiseen. Esimerkiksi ATP:n määrää voidaan pitää mikrobimassan mittana. *E. Colin* kokoisessa bakteerissa on keskimäärin 1 fg ja sienisolussa 10 – 100 fg ATP:a. Mittaus sinällään on yksinkertaista. Erotetaan solut suodatuksella, hajotetaan solut ja vapautetaan ATP, saadaan se loistamaan valoa reagensseilla ja mitataan luminenssi yksinkertaisella valomittarilla. Tekniikat voivat perustua myös muiden solukomponenttien kuten esimerkiksi proteiinien tai hiilihydraattien mittaamiseen.

Jos tästä mennään vielä askel spesifimpään suuntaan, tulee vastaan EIA/ELISA-menetelmät. Näissä menetelmissä käytetään entsyymiä, joka sitoutuu valikoivasti johonkin mikrobin tai mikrobien sisältämään antigeeniin. Sen jälkeen kompleksiin sitoutetaan vielä markkerientsyymi, joka aiheuttaa fluoresenssia, joka voidaan helposti mitata.

Nämä tekniikat voidaan virittää tarpeen mukaan joko laaja-alaisemmiksi tai spesifisemmiksi, kuin kasvatusmenetelmät. Toisaalta menetelmän valinta vaatii paljon tietoa ja harkintaa, jotta se mittaa oikeasti sitä mitä pitääkin. Esimerkiksi Ashbolt (2001, 292 - 293) listaa heti 11 mahdollista indikaattorimikrobia tai -mikrobiryhmää, joita voidaan käyttää eläinperäisen kontaminaation havaitsemiseen. Menetelmät ovat selvästi nopeampia kuin viljelymenetelmät ja menetelmät on mahdollista ainakin osittain automatisoida. Niillä on silti osittain samoja ongelmia tarkkuuden ja spesifisyyden suhteen. Mittaustulos ei pysy vakiona ajan suhteen. Jos viljelyä ei lueta oikean ajan jälkeen, malja kasvaa täyteen, eikä sitä voi enää lukea. Jos solukomponentti-/entsyymimenetelmää ei mitata oikean ajan jälkeen, reaktio etenee silti ja aiheuttaa väärän positiivisen tuloksen.

### 5.2.1. Vertailu

Vertailuun valitaan fosforinmittaus, partikkelilaskenta ja yhdistetty partikkelilaskenta - fluoresenssimittaus.

Luotettavuus ja käytettävyys

Kriteereistä B1.1 ... B1.2.2 annetut pisteet korreloivat suoraan tekniikoiden kehitysjen kanssa. Partikkelimittaus ja fosforimittaus ovat pitkäikäisiä vakiintuneita tekniikoita, jotka on jo hyvin standardoitu. Yhdistelmämittaus on tullut markkinoille viime vuonna. Partikkelimittauksesta on käytännön kokemuksia vesisovelluksessa mm. Nokian vesikriisissä ja HSY koeajoissa.

Partikkelimittauksen pisteitä laskee se, että partikkelimittauksella on vaikeampi kalibroida ja kalibrointia varmentaa kuin perinteisessä laboratorioanalyysissä. Fosforin mittausta varten taas Ruskon laboratorio voi jo nyt valmistaa standardiliuoksia. Yhdistelmämittaus on paljon uudempaa tekniikka ja saattaa kärsiä lastentaudeista ja arvaamattomista

vioista. Uuden tekniikan etuna taas ovat hyvät liityntämahdollisuudet automaatioon ja muihin järjestelmiin.

Toinen suuri kysymys käytettävyydessä on mittauksen laatu. Yhdistelmämittaus on melko herkkä riippuen parametroidista ja joka tapauksessa erittäin tarkka. Partikkelimittaus taas on erittäin herkkä, mutta ei kovin spesifi. Partikkelimittaus tuottaa erittäin hyvin dataa, mutta datan käsittelyä ja etenkin sen merkitysten ymmärrystä pitää työstää. Fosforin mittauksessa on useita eri menetelmiä, joista voidaan valita sopiva. Fosforin kohdalla joudutaan silti luultavasti tekemään kompromissi mittauksen laadun ja kustannusten välillä. (Hiltunen ym. 2011)

Partikkelimittaus on nopeahko perustaa, mutta datan käyttöä pitää opetella muutama vuosi. Yhdistelmämittaus saattaa olla nopeakin perustaa, riippuen tekniikan kypsyydestä, mutta datan käyttökelpoisuutta on vaikea arvioida. Fosforimittaus on nopea perustaa ja data on heti käyttökelpoista.

Huollon suhteen vanhemmat tekniikat ovat luonnollisesti etulyöntiasemassa, koska myyntiorganisaatio on laajentunut ja huoltoorganisaatiot ja -väylät on saatu jo perustettua.

### Ympäristöystävällisyys ja elinkaari

Nämä mittaukset eivät ole sellaisessa roolissa, että niiden kautta olisi saatavissa energian- tai luonnonvarojen säästöä. Voidaan tosin väittää että säästöjä tulee, jos mittauksilla pystytään parantamaan talousveden hygieenisyyttä verkostossa, mutta sen tarkasteleminen olisi erittäin laaja ja monialainen tehtävä. Tässä osiossa ei noussutkaan esiin minkäänlaista eroa pisteissä, joten kaikilla vertailluilla tekniikoilla voidaan olettaa olevan normaali elinkaari.

Toimittajat ovat kaikki hyvämaineisia standardoituja toimijoita, joten voidaan luottaa siihen, että ympäristönäkökohdat on jo toimittajan toiminnassa otettu huomioon. Näin ollen laitteet ja tekniikat ovat jo hyvää perustasoa ympäristökysymyksissä. Partikkelimittauksessa on vähiten kuluvia osia ja fosforin mittaus taas on ainoa, joka vaatii reagensseja. Nämä ovat kuitenkin yksityiskohtia, joita ei ole kriteereissä otettu huomioon.

### Taloudellisuus

Fosforimittaus maksaa 20 000 – 30 000 €, partikkelimittaus noin 30 000 € ja yhdistelmämittaus 50 000 – 70 000 €. Partikkelimittauksesta on budjettitarjous ja muiden hinnat on arvioitu saatavilla olevien lähteiden perusteella. Hankinnat ovat pieniä Tampereen Veden investointibudjettiin suhteutettuna.

Tässä tapauksessa ratkaisujen käyttökustannusten arviointi on erityisen vaikeaa. Partikkelimittauksesta on vähän hintatietoja, mutta fosforin mittauksessa kustannukset riippuvat paljon valittavasta analyysimenetelmästä. Yhdistelmämittaus taas on niin uusi, että kustannustietoja ei ole vielä saatavilla.

Liitteenä 4 ovat laitteiden kriteerilomakkeet täytettyinä. Partikkelimittaus sai pisteitä 40, fosforin mittaus sai pisteitä 40 ja yhdistetty partikkeli- ja fluoresenssimittaus sai pisteitä 29. Jos pisteet laskettaisiin tavalla, joka painottaa huippuominaisuuksia, fosforimittaus saisi 26 pistettä ja partikkelimittaus 24 pistettä. Yhdistelmämittaus saisi 22 pistettä.

### 5.2.2. Sijoitus

Jokainen laitteista on järkevää sijoittaa Ruskoon lähtevän vesijohdon läheisyyteen kellarikerrokseen. Tällöin verkostoveden oma paine putkessa riittää huolehtimaan riittävästä näytevesivirtaamasta laitteessa. Riittää että näytelinjä varustetaan säätöventtiilillä. Vastaavasti poistuva näytevesi voidaan johtaa läheiseen viemäriin.

Automaatioyhteys on hivenen hankalampi järjestää, mutta ainakin yhteyttä ensimmäisen kerroksen automaatiokeskukseen tai kalkinammuntahuoneen hajautettuun I/O:hon voitaisiin harkita. Myös langaton tiedonsiirto voi olla toimiva ratkaisu.

Tilassa saattaa esiintyä kosteutta, lämpötilavaihteluja sekä pölyä, mikä vaatii laitteiden koteloitua. Partikkelimittauksesta on koteloituja malleja suoraan saatavilla. Fosforimittaus ja yhdistelmämittaus saattavat vaatia koteloinnin rakentamista erikseen.

## 6 TYÖN LOPPUTULOS

Tehtävänä oli löytää raakavesilähteen riskitekijöistä varoittava ”Early Warning System” sekä mittaus, jonka avulla voitaisiin ennustaa veden hygieenisyyttä verkostossa.

Raakaveden mittaukseen ehdotetaan mittauspatteria, joka koostuu perusmittauksista sekä hieman epätavallisemmasta orgaanisen aineksen mittauksesta UV-absorbanssin avulla. Mittaukset ovat:

- pH
- Väri
- Sameus
- Johtokyky
- UV-absorbanssi (254 nm)

Mittarit sijoitetaan Roineen raakavesipumppaamolle.

Lähtevään veteen ehdotetaan mittaukseksi joko partikkelilaskentaa tai fosforipitoisuuden mittausta. Sijoituspaikkana tulisi olla Rusko ja näytteenottopisteenä laitokselta verkostoon lähtevä päävesijohto.

Tampereen Vedellä ei ole ongelmia verkostoveden hygieenisyyden kanssa, mutta Roineen riskitekijät ovat aktiivisia ja ajan suhteen muuttuvia. Ehdotetaan, että ensin toteutetaan raakaveden monitorointi riskien hallitsemiseksi sekä perustiedon keräämiseksi ennen riskien mahdollista toteutumista. Sen jälkeen tehdään päätös, kumpaa menetelmää halutaan soveltaa lähtevän veden monitoroinnissa ja toteutetaan se.

## 7 POHDINTA

Työ oli poikkeuksellisen laaja-alainen. Työn tekemisen haasteet eivät liittyneet teknisiin asioihin vaan pikemminkin valtavan mahdollisuuksien viidakon raivaamiseen. Varsinainen haaste oli löytää menettelytapa kaikkien mahdollisuuksien kartoittamiseksi niin, että kaikki vaihtoehdot tulevat kirjattua eikä mitään jää huomioimatta. Kun varsinaiset tekniset kysymykset, joihin tulee keskittyä, saatiin selville, oli soveltuvien vaihtoehtojen etsiminen helppoa.

Kysymykset osoittautuivat silti hyvinkin erilaisiksi. Raakaveden kysymys oli aseteltu niin, että se käytännössä pakotti tekemään pienimuotoisen riskiselvityksen Ruskon raakavesilähteelle. Kun riskit olivat selvillä, tarpeelliset tekniset mittausratkaisut olivat ilmiselviä. Raakaveden mittauksissa korostuu hienosti eräs kriteeri – tiedon tuottaminen myös muiden hyödynnettäväksi. Etenkin ilmastonmuutoksen kannalta on erittäin tärkeää, että tietoa saadaan pitkältä aikaväliltä, mahdollisimman vakioidulla tavalla. Näin saadaan pitkiä aikasarjoja, joita voidaan käyttää johtopäätösten tukena tieteellisessä työssä.

Siinä missä raakavesikysymys oli helppo, lähtevän veden kysymys oli haastava. Mikrobeihin liittyvät mittaukset ovat monimuotoisia ja alttiita vaihteluille. Niitä on vaikea vakioida ja näytteitä on vaikea käsitellä. Jos mitattavana on vaikka rauta, voit aina ottaa kaksi näytettä ja lähettää toisen mihin tahansa laboratorioon maailmassa. Rauta ei häviä eikä lisäänty näytteessä. Mikrobit pitää mitata aika lailla heti tai näytteessä tapahtuu muutoksia. Vakioinnin vaikeudesta esimerkiksi käy perusmittaukseksi muodostunut heterotrofinen pesäkeluku, joka tehdään ihmisen laskemana. Ihminen aina itse harkitsee onko piste pesäke vai ei. Ohjeistuksella pyritään samaan aikaan vakiopuitteet, mutta silti laborantti itse tekee aina lopullisen ratkaisun.

Lisäksi haasteena on elollisten objektien mittaamisen vaikeus. Geenien sekvensointi ei ole mahdollista kaikille mikrobeille, joten mittauksessa joutuu aina luottamaan siihen, että tämä menetelmä nyt tietyllä tarkkuudella mittaa sitä mitä pitäisikin. Arvioiden mukaan esimerkiksi heterotrofinen pesäkeluku ilmaisee noin neljänneksen mikrobeista. En tahdo vähätellä biologisten mittausten käyttöarvoa, mutta oma vaistoni kehottaisi keskittymään kemiallisiin mittauksiin, joilla voidaan kvantifioida mikrobien elinedellytyksiä.

Mielestäni talousvesiasetus on oikeassa jättäessään pesäkeluvun ilman ehdotonta numeraalista raja-arvoa. Sillä ei ole juurikaan väliä, onko

pesäkeluku 2 vai 20, kunhan mittaus on tehty samalla tavalla ja tulos sopii aikasarjaan. Vasta jos pesäkeluku heilahtaa ja syy ei ilmeisesti ole mittaustavan muutoksissa, voi epäillä että mikrobimäärä on oikeasti muuttunut. Tällöinkään mittaus ei ole absoluuttinen, joten ei voi sanoa paljonko biomassaa mittauspisteen ohi on kulkenut. Pesäkeluku on silti useimmiten riittävä tarkkailu jatkuvaan mikrobiologisen laadun valvontaan ja aivan varmasti hyvä mittaus kertomaan desinfiointiprosessin tehosta.

Partikkelilaskennassa saa tarkemman kuvan mikrobeista, mutta myös kaikista muistakin partikkeleista. Mittaus vastaa mielestäni paremmin asetettuun kysymykseen. Se mittaa partikkelivirran mittapisteen ohitse, eikä pelkkää biomassaa. Partikkelit voivat toimia kiinnittymispisteinä mikrobeille, tarjota mikrobeille ruokaa tai rakennusmateriaalia biofilmiin. Partikkelien vaikutus siihen, miten hyvin mikrobit viihtyvät vesijohtoverkossa, on suurempi ja monitahoisempi kuin sen, montako mikrobia verkostoon pääsi. FCG:n tekemien mallinnuksien mukaan Tampereen Veden verkostossa voi veden viipymä olla useita päiviä. Jos vesi on putkessa päiviä, sillä ei ole väliä pääseekö putkeen bakteereita kymmenen vai miljoona. Niillä on joka tapauksessa riittävästi aikaa lisääntyä ja veden tullessa ulos putkesta bakteereita on. Paitsi jos lisääntymistä haitataan.

Ravinteiden poistaminen on helpoin ja selvin tapa estää lisääntymistä. Minulle tieto mikrobien ravintotaloudesta vesijohtovedessä oli täysin uutta ja ajatuksia herättävää. Yllättävää oli se, että pintavedessä fosfori on rajoittava tekijä, mutta pohjavedessä taas hiili. Tampereen Veden raakavedestä noin kolmannes tulee pohjavedestä ja kaksi kolmannesta pintavedestä. Pelkkä mittaus yksinään ei riitä rajoittamaan ravinteita, koska vedet sekoittuvat joka tapauksessa jossakin vaiheessa. Jos ravinteita halutaan rajoittaa, se vaatii johtamisjärjestelyitä. Mittauksella olisi kuitenkin syytä varmistaa tutkimusten tulokset ja tarkistaa, että Tampereellakin asia on yleisen suuntauksen mukainen. Sen jälkeen voi ravinnemittausta käyttää suoraan prosessin optimointiin ja muokkaamiseen. Ongelmaksi muodostuu varmasti riittävän herkän laitteen löytäminen, koska 1 µg/l on todella pieni pitoisuus. Toisaalta hyvä uutinen on se, että fosforin mittaamisen on useita menetelmiä.

Yhdistelmämittaus on niin uusi tekniikka, että siitä on vaikea muodostaa mielipidettä. Vaikka se on täysin tuotteistettu, pitää ymmärtää että siinä varmasti on käynnistysvaikeuksia. Sen tuottama tieto voi olla hyvinkin laadukasta, kunhan tekniikka vakiintuu. On ymmärrettävää, että kukaan ei haluaisi olla ensimmäinen uuden tekniikan kokeilija, mutta toisaalta uusi tekniikka ei tule käyttöön ennen kuin sitä on kokeiltu.

Tekniikan käyttäminen verkostossa asettaa eräitä reunaehtoja. Ensinnäkin tekniikan on oltava ylipäättään liikuteltavissa, mutta lisäksi myös siinä mielessä vankkatekoista, että se kestää hieman haastavampiakin oloja. Jos luonnolliset mittauspisteet verkostossa ovat paineenkorottamat, vesitornit ja venttiiliasemat, laite voi joutua alttiiksi kolhuille siirroissa, kylmyydelle, kosteudella ja vedelle ja sähköhäiriöille. Tämän lisäksi ratkaistavaksi tulee näytteen oton ja poiston järjestäminen, tiedonsiirto sekä mahdollisesti

laitteen kaukovalvonta. Jos nämä ongelmat saadaan voitettua, en näe syytä miksi mikään tässä työssä esitellyistä tekniikoista ei soveltuisi mittauksiin verkostossa.

Parhaiten verkostoon soveltuu kuitenkin mielestäni partikkelimittaus, sillä siitä on saatavissa helposti liikuteltava versio. Sen kytkeminen on helppoa ja se voi toimia akulla tarvittaessa. Tiedonsiirto saattaa muodostua haasteeksi, mutta tuskin ylipääsemättömäksi. Uskoisin vielä, että partikkelimittauksen hyöty paranisi, jos siihen voitaisiin verkostossa yhdistää muita mittauksia, kuten sameus, johtokyky tai väri.

Kaikki työssä laitteista esitetyt väittämät perustuvat oikeisiin laitetietoihin. Laitteiden malleja tai edes merkkejä ei kuitenkaan ole paljastettu. Suurin syy on se, että en halua ohjata mahdollista valintaa kohti yhtä laitevalmistajaa. Vertailu on kuitenkin koskenut laitetekniikkaa, ei laitemallia. Tämän työn perusteella ei siis ole mahdollista suoraan hankkia mitään yksittäistä laitetta, vaan sitä varten on käynnistettävä oikea hankintaprosessi määrittelyineen ja menettelyineen.

Työn ajankohtaisuus on paljastunut yllättävästi. Ensinnäkin yksi vertailussa käytetyistä laitteista on julkistettu marraskuussa 2015 eli aivan äskettäin. Ilmeisesti siis muutkin näkevät tämän tyyppisille laitteille tilausta. Toisekseen kaksi tärkeää lakia, Vesihuoltolaki ja Talousvesiasetus, uudistuivat työn tekoaikana. Kolmanneksi, ympäristötiedon karttapalvelut uudistuivat helmikuussa 2016. Niihin lisättiin juuri niitä ominaisuuksia, joita olin käyttänyt työn tekemisessä. Minun on siis pakko uskoa, että ainakin työn fokus oli oikea.

## LÄHTEET

Ashbolt, N. J., Grabow, W. O. K. & Snozzi, M. 2001. Indicators of microbial water quality. Teoksessa Fewtrell, L. & Bartram, J. (Toim.) 2001. Water Quality: Guidelines, Standards and Health, WHO, London, UK: IWA Publishing. ISBN: 1 900222 28 0

Arvola, L. 2010. Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesistöön Teoksessa George, G. (Toim.) 2010. Aquatic Ecology Series, Vol. 4. The Impact of climate Change on European lakes

Belinskij, A. Vesihuoltolakiopas 2015. Maa. metsätalousministeriö. ISBN 978-952-453-906-7

Communications, Industrial Networking and TCP/IP. 2012. Ventus Publishing ApS. ISBN 978-87-403-0002-4

Dimetooatti ICSC (kansainvälinen kemikaalikortti), CAS 60-51-5, <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/>

Figueras, M.J ja Borrego, J.J, 2010, New Perspectives in Monitoring Drinking Water Microbial Quality, International Journal of Environmental Research and Public Health, 7(12), 4179 - 4202

Hallanaro, E.-L. & Loukola-Ruskeeniemi, K. 2014. Arsenia kalliossa! ja mitä siitä sitten seuraa, Espoo: Geologian tutkimuskeskus

Hallikainen, A. (Toim.) 2009. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat, Eviran julkaisu 13/2009

Hallituksen esitys eduskunnalle vesihuoltolainsäädännön muuttamisesta, Luonnos 11.2. 2013

Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. ja Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet, MIKES julkaisu J4/2011, Espoo: MIKES

Hirvi, M. n.d. Turvetuotannon vesiensuojelutoimenpiteiden sekä eri maankäyttömuotojen vaikutus liuenneen orgaanisen aineksen määrään ja laatuun (osa TASO-hanketta). Itä-Suomen yliopisto, Biologian laitos

Ikonen, J., Pitkänen, T. & Miettinen I. T. 2013 Suitability of Optical, Physical and Chemical Measurements for Detection of Changes in Bacterial Drinking Water Quality, International journal of Environmental Research and Public Health. 2013, 10, 5349 - 5363. ISSN 1660-4601

Kaivosrekisterin karttatiedostot, TUKES, Viitattu <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kaivokset/Karttatiedostot/> syyskuussa 2015

KARPALO. Ympäristökarttapalvelu. <https://www.wp2.ymparisto.fi/Karpalo>



KARPALO 1 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus; Aineiston nimi: Liikennealueiden ympäristöriskiluokitus; INSPIRE-id: 1002106; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2012-11-27; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 2 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus; Aineiston nimi: Harva ja tiheä taajama-alue; INSPIRE-id: NaN; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2015-09-22; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 3 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus; Aineiston nimi: YKR-aluejaot; INSPIRE-id: NaN; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2015-09-22; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 4 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus; Aineiston nimi: Corine maanpeite 2012; INSPIRE-id: 1002025; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2014-11-11; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 5 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus; Aineiston nimi: Valuma-aluejako; INSPIRE-id: NaN; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2010-05-11; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 6 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Pohjois-Pohjanmaan ELY; Aineiston nimi: Valvonta ja kuormitustietojärjestelmä VAHTI;; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2016-02-02; Aineiston kieli: suomi

KARPALO 7 Metatiedosta vastuussa oleva osapuoli: Suomen ympäristökeskus/Vesikeskus; Vesienhoitoalueiden pintavesien kaikki seurantapaikat; INSPIRE-id: NaN; Aineiston päivytyspäivämäärä: 2014-03-04; Aineiston kieli: suomi

Kasvinsuojeluainerekisteri. TUKES. <https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/>. Viitattu lokakuussa 2015

Keränen, J., Jaakola, P. & Vesisenaho, P. 2014. Läntisen Suomen turvetuotannon vesistötarkkailun vuosiyllyteenveto 2013. Kokkola. Pöyry

Kumpulainen, A., Ryytänen, E., Oja, L., Sorasahi, H., Raviio, T. & Gilbert, Y. 2013. Vaarallisten aineiden kuljetukset 2012, Trafın julkaisuja 20/2013, Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi

Korhonen, J. 2002. Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla, Helsinki: Suomen ympäristökeskus

LeChevallier, M. W., Schulz, W. & Lee, R. G. 1991. Bacterial nutrients in drinking water, Applied and environmental microbiology, Mar. 1991, Vol. 57, No. 3

Leclerc, H. 2003. Relationships between common water bacteria and pathogens in drinking water. Teoksessa Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M.,

Fricker, A. & Glasmacher, A. (Toim.) 2003. Heterotrophic Plate Counts and drinking water safety. WHO, London, UK: IWA Publishing. ISBN: 1 84339 025 6. 81 – 113.

Lehtola, M. 2002. Microbially available phosphorus in drinking water. Kuopio, ISBN 951-740-307-0 (PDF)

Meriläinen, P. 2013. Mikrobin ja kemikaalien riskinarviointi vesilaitoksissa, esitysmateriaali Vesihuollon riskien hallinta ja monitorointi seminaari, 24. – 25.4. 2013

Mesquita, S. & Noble, R. T. 2013. Recent Developments in Monitoring of Microbial Indicators of Water Quality Across a Range of Water Types, Water Resources planning and Management. 29 - 51

Oravainen, R. 2003. Kangasalan Kirkkojärven kuormitustarkastelu ja arvio kunnostusmahdollisuuksista, Tampere: Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry

Pirkanmaan 1. vaihemaakuntakaava, Turvetuotanto, Kaavaselostus 2013. Pirkanmaan liitto. ISBN 978-951-590-292-4

Pirkanmaan 1. vaihemaakuntakaava, Turvetuotanto, Kartta Pirkanmaan liitto, <http://www.pirkanmaa.fi/fi/maakuntakaavoitus/pirkanmaan-1-vaihemaakuntakaava-turvetuotanto>, viitattu 14.9. 2015

Process Control, Automation, Instrumentation and SCADA. 2012. Ventus Publishing ApS. ISBN 978-87-403-0056-7

Rantala, K. & Laakso, A. 2013. YLE [http://yle.fi/uutiset/pohjavesien\\_pinta\\_lansirannikolla\\_huolestuttavan\\_alha\\_alla/6883162](http://yle.fi/uutiset/pohjavesien_pinta_lansirannikolla_huolestuttavan_alha_alla/6883162)

Rautio, S., 2010. Kasvinsuojeluaineiden jäämät vesistöissä, Esitysmateriaali PesticideLife-seminaari. Jokioinen.

ROTI 2015. Vehmaskoski, T. (Proj. johtaja) Rakennetun omaisuuden tila 2015, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, Helsinki

Ruuhonen, K. 2011. Tilastomatematiikka, luentomateriaali, Tampere: TTY

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kuntasektorin palkat [verkkójulkaisu]. ISSN=1799-0203. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 5.5.2013]. Saantitapa: <http://www.tilastokeskus.fi/til/ksp/tau.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Teollisuuden alue- ja toimialatilasto [verkkójulkaisu]. ISSN=1797-4747. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 5.5.2013]. Saantitapa: <http://www.tilastokeskus.fi/til/atoi/tau.html>

SYKE, Vesitilanne. [http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE\\_Info/Viestintaaineistot/Vesitilannekatsaukset/Vesitilanne\\_helmi\\_kuun\\_lopussa\\_2011\\_Jarvi%282145%29](http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE_Info/Viestintaaineistot/Vesitilannekatsaukset/Vesitilanne_helmi_kuun_lopussa_2011_Jarvi%282145%29). Viitattu elokuussa 2015.

SYKE, Tilastollinen ominaiskuormitusmalli, [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Itameren\\_vesistöjen\\_ja\\_vesivarojen\\_kestava\\_kaytto/Mallit\\_ja\\_tyokalut/Vesienhoidon\\_mallit/Tilastollinen\\_kuormitusmalli](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Tilastollinen_kuormitusmalli), viitattu syyskuussa 2015

Talousvesiasetus. 1352 / 2015

Tampereen Veden vuosikertomukset ja tilastotiedot vuosilta 2010 – 2012. Tampere. Tampereen Vesi Liikelaitos

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta, Tampere: Tampere University Press

Valtioneuvoston päätös juomaveden valmistamiseen tarkoitetun pintaveden laatuvaatimuksista ja tarkkailusta. 366 / 1994

Vesihuolto I, RIL 124-1. 2003. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto

Vesihuoltolaki. 9.2. 2001 / 119

Vesipuitedirektiivi. 2000/60/EY

Vilmi, J. 2008. Kaukovalvonnan uusinta.

Vilmi, J. 2009. Automaation omatoiminen huolto

Vilmi, J. & Perkkiö, A. 2010. Loppuraportti; Avoin automaatio, VVY

VVY 2009. Talousvesiasetuksen soveltamisopas. Helsinki

Weishaar, J. L., Aiken, G. R., Bergamaschi, B. A., Fram, M. S., Fuji, R. & Mopper, K. 2003. Evaluation of specific Ultraviolet Absorbance as an Indicator of the Chemical composition and Reactivity of Dissolved Organic Carbon. Environmental Science and Technology, Vol. 37, No. 20, 2003

YK, 2010. The Right to Water, Fact sheet No 35

Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2013 Turvetuotannon ympäristönsuojeluohje. Helsinki: Ympäristöministeriö ISBN 978-952-11-4198-0

JATKUVATOIMISTEN MITTAUSTEN VALINTAKRITEERISTÖ

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
A1.1 Kohteen mittaus parantaa talousveden laatua tai ehkäisee laatuhäiriöitä	Kohteen mittaus saattaa parantaa talousveden keskimääräistä laatua.	Kohteen mittaus parantaa laatua ja ehkäisee poikkeamia talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaisissa kemiallisissa laatusuosituksissa.  Kohteen mittaus parantaa pysyvästi talousveden keskimääräistä kemiallista laatua.	Kohteen mittaus parantaa laatua ja ehkäisee poikkeamia talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaisissa mikrobiologisissa laatusuosituksissa.  Kohteen mittaus parantaa pysyvästi talousveden keskimääräistä mikrobiologista laatua.	Kohteen mittaus parantaa laatua ja ehkäisee poikkeamia talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaisissa kemiallisissa laatuvaatimuksissa.  Kohteen mittaus parantaa pysyvästi talousveden keskimääräistä mikrobiologista ja kemiallista laatua.	Kohteen mittaus parantaa laatua ja ehkäisee poikkeamia talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaisissa mikrobiologisissa laatuvaatimuksissa.
A1.2 Kohteen mittaus parantaa vedentuotannon kustannustehokkuutta	Kohteen mittaus saattaa pienentää energian tai muiden käyttöhyödykkeiden kulutusta.	Kohteen mittaus pienentää energian tai muiden käyttöhyödykkeiden kulutusta.	Kohteen mittaus saattaa pidentää laitteiston tai sen osan elinkaarta.  Kohteen mittaus saattaa vähentää käyttöön ja kunnossapitoon vaadittavaa työmäärää.	Kohteen mittaus auttaa kohdentamaan oikein investointimäärärahoja.	Kohteen mittaus vähentää käyttöön ja kunnossapitoon vaadittavaa työmäärää.
A1.3 Kohteen mittaus parantaa talousveden valmistuslaitteiston kunnossapidon laatua	Kohteen mittaus vähentää huoltotöihin kuluva työmäärää.	Kohteen mittaus vähentää laitteiston tai sen osan vikaantumisesta johtuvaa seisonta-aikaa.	Kohteen mittaus pidentää laitteiston tai sen osan käyttökelpoista elinikää.	Kohteen mittaus auttaa kunnossapidon budjetoinnissa, suunnittelussa ja oikean suuruudessa varautumisessa.	Kohteen mittaus edistää ennakoivaa kunnossapitoa.
A1.4 Kohteen mittaus edesauttaa talousveden laadun säilyttämistä poikkeavissa oloissa	Kohteen mittaus on hyödynnettävissä paikallisesti muissakin kohteissa.	Kohteen mittaus suojaa veden hygieenisyyttä poikkeustilanteissa.	Kohteen mittaus edesauttaa veden tuotantoa ja jakelua poikkeustilanteissa.		
A1.5 Kohteen mittaus edistää kehitystyötä, jolla parannetaan talousveden laatua tai ehkäistään sen laatuhäiriöitä	Kohteen mittaus voi tuottaa uutta tietoa liittyen kehittyviin tekniikoihin: - Kalvosuodatustekniikat - Nanoteknologian sovellukset - Desalinaatiotekniikat	Kohteen mittaus voi tuottaa uutta tietoa liittyen erillispollutantteihin: - Orgaaninen aines - Lääkeaineet - Mikrobit ja levät - Torjunta-aineet ja muut kemikaalit	Kohteen mittaus voi tuottaa uutta tietoa liittyen energiatehokkuuteen.	Kohteen mittaus voi tuottaa uutta tietoa liittyen ilmastonmuutokseen.	

JATKUVATOIMISTEN MITTAUSTEN VERTAILUKRITEERISTÖ

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Tekniikka ei ole testauksessa tai koeajossa vaan normaalissa käytössä.	Tekniikan toimittaja voi esitellä teoreettisen perustan ja viitekehysten, joille tekniikan toiminta pohjautuu.	Tekniikka toimii Suomessa voimassaolevat viranomaisäädökset ja -määräykset täyttäen.	Tekniikka on standardoitu.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyys	Käyttöohjeet ovat suomenkielisiä.	Yleiset tekniset ominaisuudet kuten esim. nimellisvirta ja -jännite ja prosessi- ja automaatioliittynät ovat kohteeseen sopivia.	Mittauksen ominaisuudet kuten esim. tarkkuus, herkkyyks, luotettavuus ja viive ovat käyttötarkoitukseen sopivia.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönotto vaatii käytönvalvojen koulutuksen.	Tekniikan käyttöönotto ja ylläpito vaativat vain insinööritason työntekijöiden koulutuksen.	Tampereen Vesi pystyy itse huolehtimaan tekniikan parametroinnista.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat saatavissa ulkomailta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat saatavissa Suomesta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat ulkoistettavissa.	Tampereen Vesi kykenee itse huolehtimaan tekniikan kailbroinnista ja sen seurannasta.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Tekniikan toimittaja noudattaa toiminnanohjaus tai laatuohjelmää.	Tekniikan toimittaja noudattaa asiaankuuluvia viranomaisvelvoitteita, -määräyksiä ja -ohjeita.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikka säästää energiaa jonkin verran.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 10 %.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä jonkin verran.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päätyminen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikkaan ei liity yksinoikeuksia tai pitkäaikaisia sitoumuksia muihin toimijoihin.	Tekniikka on oma itsenäinen järjestelmänsä eikä se liity erottamattomana osana mihinkään muuhun tekniikkaan.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat yli 1 promille Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,25 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on yli 2.

HAVAITUT JATKUVATOIMISET MITTAUSMAHDOLLISUUDET

Rivi	Selite	Yht.	A1.1	A1.2	A1.3	A1.4	A1.5
12	Mittaus, jolla ennustetaan pumppujen huoltotarvetta (Esim. tärinä, pumpun suorituskyky)	21,2	5,2	6,4	5,4	3,2	1
41	Mitataan veden taipumus muodostaa sakkoja putkistoon.	20,8	5,2	6,4	5	2,8	1,4
26	Mitataan aktiivihiihi-suodattimen adsorptiokykyä ja reaktiivointitarvetta.	20	5,2	5,6	5	2,8	1,4
36	Mitataan kalkkiliuoksen sakkautumistaijumusta.	19,6	5,2	5,8	5,4	2,2	1
35	Mitataan kalkin samentajasta asioita, jotka kertovat samentuksen laadusta.	19,6	5,2	5,2	6	2,2	1
32	Mitataan kalkin holvautumisvaarasta kertovia asioita holvauksen torjumiseksi.	19,4	5,2	6,4	4,6	2,2	1
1	Mitataan raakavesilähteestä yleistä prosessin kuormituksesta kertovaa suuretta (esim. TOC, COD, fosfori, ...).	19,4	5,2	5,8	4,2	2,8	1,4
40	Mitataan veden korrodoivuus huollontarpeen määrittämiseksi.	18,8	5,2	5,4	5	2,2	1
43	Mitataan paineilmavirtaamia paineilmaverkoston kunnon seuraamiseksi.	18,6	5	5,2	5,4	2	1
31	Mitataan paineilman tuottoa paineilman kulutuksen seuraamiseksi.	18,6	5	5,6	4,8	2,2	1
13	Vertailevat hydrodynaamiset mittaukset raakavesiputken kummastakin päästä putkivuodon havaitsemiseksi.	18,4	5	4,8	4	3,6	1
21	Mitataan lähtevän veden laatu eri flotaatiolinjoilla.	18,4	5,2	5,8	4	2	1,4
34	Mitataan kalkin samentajasta asioita, jotka kertovat laitteen toiminnasta.	18,2	5,2	5,8	4,2	2	1
5	Mitataan järvestä ja ympäristöstä suureita, joilla voidaan ennustaa raakaveden laatuvahtelut.	18,2	5,2	5	3,8	2,2	2
11	Mitataan sähkön laatua ja ennakoidaan sähkön laatuhäiriöitä	18,2	5	5,2	3	3,2	1,8
50	Kaksisuuntainen virtausmittaus raakavesijohdossa paljastaa putken takaisinvirtauksesta johtuvan vajaatytön.	18,2	5	4	5,2	3	1
9	Raakavesipumppauksen heilumisen mittaaminen, jotta pumput toimisivat mahdollisimman vakaasti.	18	5,2	4,4	4,6	2	1,8
48	Mittaus, joka kertoo dispersioveden vaikutuksesta flotaation puhdistustulokseen.	18	5,2	4,8	4,8	2,2	1
39	Mitataan UV-teho laitteiden puhdistustarpeen mittaamiseksi.	18	5	5,2	4	2,8	1
47	Mittaus, joka paljastaa ylimääräiset vuotovedet viemärijärjestelmässä.	18	5	4,8	5,2	2	1
7	Raakavesikaivon pyörteilyn mittaus pumppujen imun tehokkuuden arvioimiseksi.	17,8	5	4,8	4	2,2	1,8
28	Mitataan puhtaan veden hygieenisyyttä mikrobiologisen turvallisuuden varmistamiseksi.	17,8	6,6	4	3	2,8	1,4
6	Mitataan altaan pinnan kasvustoa puhdistustarpeen määrittämiseksi.	17,6	5,2	4,6	4,8	2	1
29	Tarkkaillaan puhdasvesisäiliöiden vuotamista veden hygieenisyyden varmistamiseksi.	17,6	6,6	4,8	3	2,2	1
37	Mitataan kalkkisaturaattoreiden kuormitusta prosessin ohjauksen tehostamiseksi.	17,6	5	5,2	4,2	2,2	1
55	Mittaus, joka varmistaa, että kloori otetaan kaasuna, jotta laitteet eivät rikkoutuisi.	17,4	5	4,6	4	2,8	1
54	Mittaukset, jotka varmistavat, että laitokselle toimitetaan oikeata kemikaalia.	17,2	5,6	4	3,4	3,2	1
30	Mitataan hiilidioksidin määrä ja annostus kulutuksen seuraamiseksi.	17,2	5,2	5	3,8	2,2	1
2	Mitataan raakavesilähteestä erityistä ongelmakontaminanttia (esim. pestisidit, levät, radioaktiivisuus, ...).	17,2	5,2	4,8	3	2,8	1,4
16	Mitataan sekoittimelta jotakin, joka kertoo sakan kertymisestä flotaatioon niiden puhdistustarpeen arvioimiseksi.	17,2	5,2	4	4,8	2,2	1
52	Sähkön mittaukset helpottamaan laitoksen käyttöä sähkön säännöstelytilanteissa.	17,2	5	4,2	3	3,2	1,8
27	Mitataan jotakin, josta huomataan liiallinen mikrobikasvusto aktiivihiihiessä huuhelutarpeen määrittämiseksi.	17	5,8	4,2	3,6	2	1,4
8	Orgaanisen aineksen mittaaminen flokkaukemikaalin annostelua varten.	17	5,6	4,6	3	2	1,8
22	Mitataan suuretta, joka kertoo dispersiosäiliön toiminnasta.	17	5,2	4,2	3,8	2	1,8
45	Klooraatin ja klooriitin mittaus klooridioksidin varmuustekijänä.	16,8	6	4	3	2,8	1
23	Mitataan klooridioksidin määrä hapetuksen ohjaamiseksi.	16,8	5,8	4,2	3	2,8	1
4	Mitataan Roineen laatuun vaikuttavista korkean riskin kohteista ennakvaroituksena saastumisesta.	16,8	5,8	4	3	2,6	1,4
38	Mitataan kalkkiliuoksen alkaloitinkyky.	16,6	5,4	5	3	2,2	1
20	Mitataan tulevan veden laatu eri flotaatiolinjoilla.	16,6	5	4,8	3,8	2	1
49	Laitoksen ajon vakauttaminen mittaamalla veden kulutusta ennakoivasti.	16,4	5,2	4,2	3	3	1
44	Mitataan kalkkilietepatjan korkeutta tyhjennystarpeen määrittämiseksi.	16,4	5	5,2	3	2,2	1
10	Raakavesipumppaamosta ja sen häiriöistä aiheutuvien kontaminanttien tunnistaminen laitoksella.	16,2	5,4	4	3	2,8	1
53	Mittaus, joka kertoo ennakoivasti veden alkaloitintarpeen.	16,2	5,2	5	3	2	1
25	Mitataan hiekkasuodattimien toimintaa huuhelutarpeen ja vikojen havaitsemiseksi	16,2	5,2	4,2	3	2,8	1
3	Mitataan raakavesilähteestä yleistä laadusta kertovaa suuretta (esim. sameus, pH, johtokyky, ...).	16,2	5,2	4,2	3	2,8	1
51	Mittaukset, jotka mahdollistavat muiden flokkausaineiden ja apukemikaalien käytön parantavat toimintavarmuutta.	16,2	5,2	4,2	3	2,8	1
17	Mitataan suuretta, joka kertoo PIX-322:n jakaantumisen prosessiosiin.	16	5,2	4	3,8	2	1
46	Mittaus mikä kertoo, milloin hiekkasuodattimen huuhelu on riittävä ylihuuhelun estämiseksi.	16	5	4,8	3	2,2	1
14	Mitataan sekoitustehoa flokkauksen ohjaamiseksi ja valvomiseksi.	15,8	5,2	4,2	3	2	1,4
33	Mitataan kiinteän kalkin siirtoputkien tukkeutumista.	15,8	5	4,6	3	2,2	1
15	Mitataan sakan kertymistä sekoittimeen puhdistustarpeen arvioimiseksi.	15,8	5	4,2	3	2,2	1,4
24	Mitataan veden sekoittumista hiekkasuodatuksen välialtaassa.	15,8	5	4	3,8	2	1
56	Alkaliteetin mittaus ehkäisisi hiilidioksidin yliannostusta.	15,4	5,2	4,2	3	2	1
19	Mitataan flokkaukemikaalin jakautuminen eri flotaatiolinjoille.	15,4	5,2	4,2	3	2	1
18	Mitataan veden jakautuminen eri flotaatiolinjoille.	15,4	5,2	4,2	3	2	1
42	Mitataan hiilidioksidin liuotusveden ominaisuuksia niin, että vettä voidaan annostella juuri oikea määrä.	15,2	5	4,2	3	2	1

VERTAILU – UV

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käytettävyydeltään tunnettu	Käytössä esim. UV-desinfiointissa.	Perustuu yleisesti tunnettuun Lambert-Beerin-lakiin	Viranomaismääräykset täyttyviä laitteita on. STUK valvoo UV-säteilylaitteita.	Standardeja löytyy mm. USEPA:lta, DVGW:lta, ÖNORM:ilta ja CEN:iltä.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyyys	Suomenkielisiä käyttöohjeita on saatavissa.	Yleensä toimivat 24 V syötöllä, kuten monet muutkin mittalaitteet.	Jatkuvatoiminen tarkka mittaus. Mitta-alue on 0-2,5 AU eli 0-99,7 ABS%.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Käyttö on helppoa.	Käyttöönotto onnistuu insinööri-koulutuksella.	Pystytään itse parametroidaan ja ottamaan käyttöön.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huoltopalveluita saa ulkomailta	Huoltopalveluita saa kotimaasta.	Huoltopalvelut voidaan ulkoistaa.	Kalibrointi voidaan tehdä itse.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Iso 9001 ja OHSAS 18001	Tiedossa ei ole laiminlyöntejä viranomaisohjeiden suhteen.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä jonkin verran.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää PIX-322 kemikaalia 8,3 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päättymisen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikka on avointa.	Tekniikka on itsenäistä ja riippumatonta.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat yli 1 promille Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	kustannukset ovat noin 0,106 promillea 17 M€ inv.budjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on n. 10.

VERTAILU – TOC

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Käytössä esim. laboratorioissa.	Perustuu epäorgaanisen hiilen poistoon, lopun hiilen muuttamiseen hiiliidioksidiksi ja sen mittaamiseen infrapunavälillä.	Viranomaismääräykset täyttäviä laitteita on.	Tekniikkaa ohjaa mm. standardi SFS-EN 1484.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyyttä	Suomenkielisiä käyttöohjeita on saatavissa.	Syöttö 230 V ja tehontarve 250 W. Näytteen alin lämpötila saa olla 2° C	Jatkuvatoiminen mittaus. Mitta-alue on 0-5 mg/l ja tarkkuus on ± 2 % mitta-alueesta. Vasteaika voi vaihdella minuutista kymmeneen minuuttiin.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönnotto vaatii käytönvalvojien koulutuksen.	Käyttö vaatii insinöörikoulutusta.	Parametrointi vaatii erityisiä tarvikkeita ja osaamista, mutta se onnistuu laboratorion väeltä.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huoltopalveluita saa ulkomailta	Huoltopalveluiden saaminen kotimaasta on epävarmaa.	Huoltopalvelut voitaneen ulkoistaa.	Kalibrointi vaatii erityisiä tarvikkeita ja osaamista, mutta se onnistuu laboratorion väeltä.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Iso 9001 ja OHSAS 18001	Tiedossa ei ole laiminlyöntejä viranomaisohjeiden suhteen.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä jonkin verran.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää PIX-322 kemikaalia 8,3 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päätyminen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikka on avointa.	Tekniikka on itsenäistä ja riippumatonta.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat 1,1 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,25 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on noin 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on yli 2.



VERTAILU - COD<sub>Mn</sub>

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Laboratoriomenetelmä, joka on muokattu on-line-käyttöön.	Perustuu orgaanisten aineiden hapettamiseen ja kolorimetriseen mittaukseen.	Viranomaismääräyksiä voi olla vaikea selvittää tai soveltaa.	Mahdollisesta ohjaavasta standardista ei ole tietoa.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyys	Suomenkielisiä käyttöohjeita on saatavissa.	Syöttö 230 V ja tehontarve 210 W. Näytteen alin lämpötila 5°C	Jaksottainen mittaus. Mitta-alue on 0-200 mg/l. Mittausyksi voi vaihdella 10 minuutista tuntiin.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönotto vaatii käytönvalvojen koulutuksen.	Käyttö vaatii insinööriä koulutusta.	Parametrointi vaatii erityisiä tarvikkeita ja osaamista, ja sen onnistuminen laboratorion väeltä on epävarmaa.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huoltopalveluita saa ulkomailta	Huoltopalveluiden saaminen kotimaasta on epävarmaa.	Huoltopalvelut voitaneen ulkoistaa.	Kalibrointi vaatii erityisiä tarvikkeita ja osaamista, ja sen onnistuminen laboratorion väeltä on epävarmaa.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Iso 9001 ja OHSAS 18001	Tiedossa ei ole laiminlyöntejä viranomaisohjeiden suhteen.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.	Tekniikka ei säästä merkittävästi energiaa.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä jonkin verran.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää PIX-322 kemikaalia 8,3 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päätyminen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikka on avointa.	Tekniikka on itsenäistä ja riippumatonta.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat yli 1 promille Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat noin 0,14 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on noin 8.

VERTAILU – FOSFORIMITTAUS

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Jatkuvatoimisia mittareita on ollut käytössä 15 vuotta.	kyseessä on suoraan laboratorion siirretty menetelmä.	Täyttää Suomen kansalliset määräykset.	SFS-EN ISO 10695 kyvaa Suomessa fosforiyhdisteiden määrittystä kaasukromatografilla. ISO 6878:2000 määrittelee spektrofotometrisen menetelmän. Lisäksi ISO määrittelee myös ICP-MS menetelmän ja FIA- ja CFA-menetelmät.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyyttä	Suomenkielisiä ohjeita ei välttämättä ole saatavilla.	Sähkö- ja prosessiliitännät ovat sopivia. Automaatioliitännät eivät välttämättä ole.	CG-, ICP-MS-, FIA- ja CFA-menetelmillä on erittäin hyvä ja riittävä tarkkuus. Spektrofotometrisen menetelmän tarkkuus riittää, mutta mitta-asteikon minimi 0,5 µg/l voi osoittautua riittämättömäksi.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönotto vaatii käytönvalvojen koulutuksen.	Tekniikan käyttöönotto ja ylläpito vaativat vain insinööritason työtekijöiden koulutuksen.	Tampereen Vesi pystyy itse huolehtimaan tekniikan parametroinnista.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat saatavissa ulkomailta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat eivät välttämättä ole saatavissa Suomesta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat ulkoistettavissa.	Tampereen Vesi kykenee itse huolehtimaan tekniikan kaibroinnista ja sen seurannasta koska esimerkiksi standardiliuoksia on saatavilla.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Toimittajilla on ISO 9001 sertifikaatti. Osa vastaa myös USEPA:n vaatimuksiin.	Toimittajat noudattavat asiaankuuluvia viranomaisvelvoitteita, -määräyksiä ja -ohjeita.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikan hyödyntämisellä ei ole odotettavissa energiansäästöjä.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 10 %.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikan hyödyntämisellä ei ole odotettavissa materiaalisäästöjä.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päättymisen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikkaan ei liity yksinoikeuksia tai pitkäaikaisia sitoumuksia muihin toimijoihin.	Tekniikka on oma itsenäinen järjestelmänsä eikä se liity erottamattomana osana mihinkään muuhun tekniikkaan.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat noin 1,5 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,25 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on yli 2.

VERTAILU – PARTIKKELIMITTAUS

Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Tekniikka on ollut käytössä vuodesta 1992.	Tekniikan toimittaja voi esitellä teoreettisen perustan ja viitekehysten, joille tekniikan toiminta pohjautuu.	Tekniikka toimii Suomessa voimassaolevat viranomaispäätökset ja -määräykset täyttäen.	ISO 21501 kuvaa partikkelien laskennan valon avulla ja ISO/TR 16386:2014 kuvaa kontaminaation hallintaa.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyyks	Käyttöohjeet on mahdollista saada suomen kielellä.	Yleiset tekniset ominaisuudet kuten esim. nimellisvirta ja -jännite ja prosessi- ja automaatioliittynät ovat kohteeseen sopivia.	Mittauksen ominaisuudet kuten esim. tarkkuus, herkkyys, luotettavuus ja viive ovat käyttötarkoitukseen sopivia.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönotto vaatii käytönvalvojen koulutuksen.	Tekniikan käyttöönotto ja ylläpito vaativat vain insinööritason työntekijöiden koulutuksen.	Tampereen Vesi pystyy itse huolehtimaan tekniikan parametroinnista.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huolto, ylläpito palvelut ja varaosat ovat saatavissa ulkomailta.	Huolto, ylläpito palvelut ja varaosat ovat saatavissa Suomesta.	Huolto, ylläpito palvelut ja varaosat ovat ulkoistettavissa.	Partikkelilaskennalle ei ole saatavissa kalibrointineiteitä. Myös 0-näytteen saaminen on vaikeaa.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Tekniikan toimittaja noudattaa ISO 9001 -laatu järjestelmää.	Tekniikan toimittajan toiminnassa ei ole havaittu puutteita viranomaisvelvoitteiden, määräyksien ja -ohjeiden noudattamisessa.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikka tuskin säästää energiaa.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 10 %.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikka ei säästä aineellisia hyödykkeitä lainkaan.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päättymisen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikkaan ei liity yksinoikeuksia tai pitkäaikaisia sitoumuksia muihin toimijoihin.	Tekniikka on oma itsenäinen järjestelmänsä eikä se liity erottamattomana osana mihinkään muuhun tekniikkaan.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat noin 1,8 promillea Tampereen Veden 17 M€ investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,25 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla ei voi olettaa saavutettavan säästöä.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on yli 2.

VERTAILU – YHDISTELMÄMITTAUS

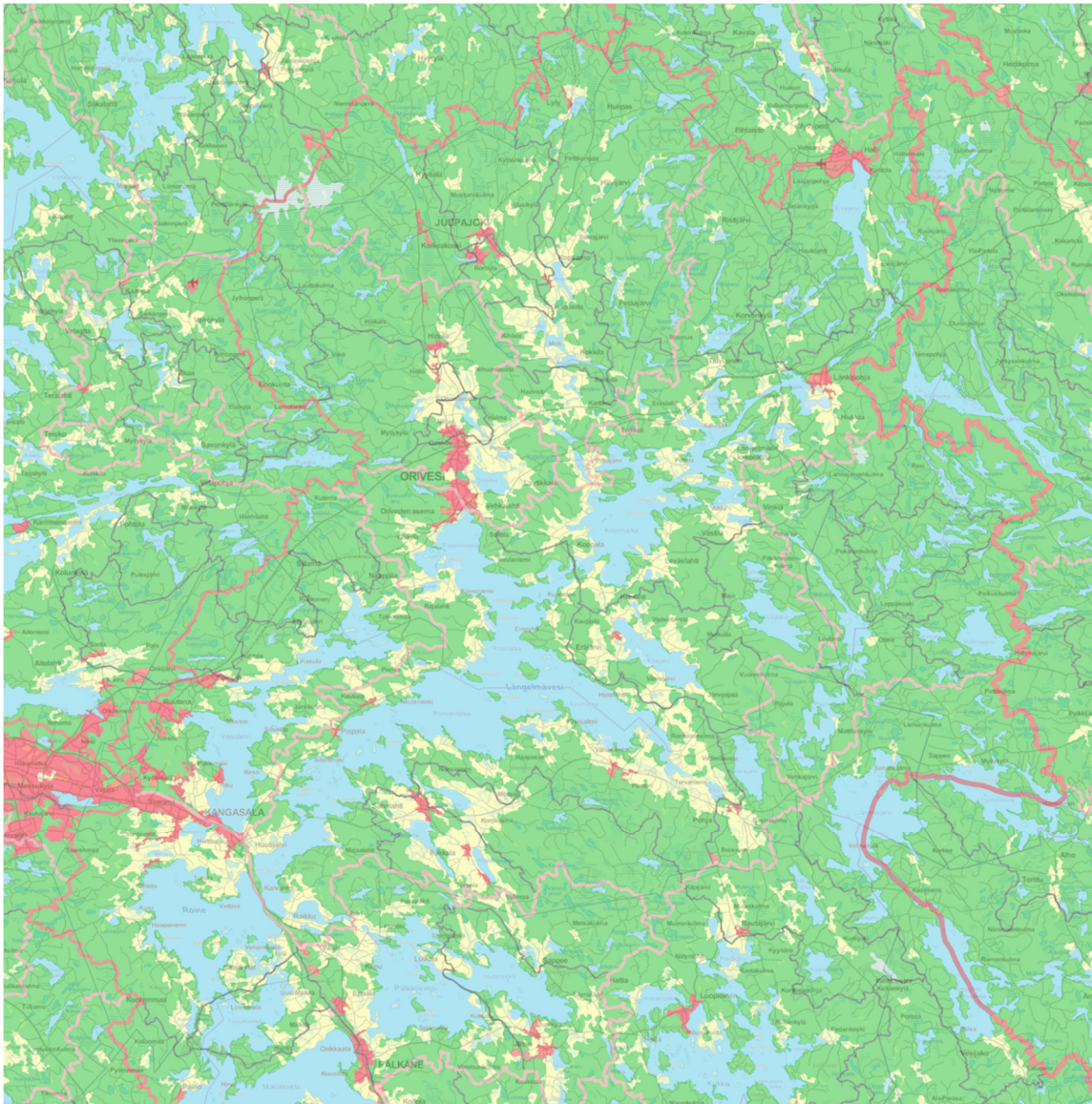
Kriteeri	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4	Taso 5
B1.1 Tekniikka on luotettava ja käyttäytymiseltään tunnettu	Tekniikka on julkaistu lokakuussa 2015.	Tekniikan toimittaja voi esitellä teoreettisen perustan ja viitekehysten, joille tekniikan toiminta pohjautuu.	On vielä liian aikaista sanoa täyttääkö tekniikka Suomessa voimassaolevat viranomaisäädökset ja -määräykset.	Tekniikan eri osia on standardoitu, mutta ei niiden yhdistelmää.	
B1.2 Tekniikalla on hyvä käytettävyys	Käyttöohjeet ei saa suomen kielellä.	Yleiset tekniset ominaisuudet kuten esim. nimellisvirta ja -jännite ja prosessi- ja automaatioliittynät ovat kohteeseen sopivia.	Mittauksen ominaisuudet kuten esim. tarkkuus, herkkyys, luotettavuus ja viive ovat käyttötarkoitukseen sopivia.		
B1.2.1 Tekniikka vaatii vain kohtuullista lisäkoulutusta	Tekniikan käyttöönotto vaatii käytönvalvojen koulutuksen.	Tekniikan käyttöönotto ja ylläpito vaativat vain insinööritason työntekijöiden koulutuksen.	Tampereen Vesi pystyy itse huolehtimaan tekniikan parametroinnista.		
B1.2.2 Tekniikan huolto ja ylläpito on järjestettävissä	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat saatavissa ulkomailta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat saatavissa Suomesta.	Huolto, ylläpitopalvelut ja varaosat ovat ulkoistettavissa.	Tampereen Vesi kykenee itse huolehtimaan tekniikan kailbroinnista ja sen seurannasta.	
B1.3 Tekniikka on ympäristöystävällistä	Tekniikan toimittaja noudattaa ISO 9001 ja ISO 14001 -järjestelmiä.	Tekniikan toimittaja ilmeisesti noudattaa asiaankuuluvia viranomaisvelvoitteita, -määräyksiä ja -ohjeita.			
B1.3.1 Tekniikka säästää energiaa	Tekniikalla ei säästetä energiaa.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää energiaa vähintään 10 %.
B1.3.2 Tekniikka säästää luonnonvaroja	Tekniikalla ei säästetä aineellisia hyödykkeitä.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 2,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 5,0 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 7,5 %.	Tekniikka säästää aineellisia hyödykkeitä vähintään 10 %.
B1.4 Tekniikan elinkaaren päätyminen ei sulje muita ratkaisuja pois eikä aiheuta kohtuuttomia teknisiä haasteita	Tekniikkaan ei liity yksinoikeuksia tai pitkäaikaisia sitoumuksia muihin toimijoihin.	Tekniikka on oma itsenäinen järjestelmänsä eikä se liity erottamattomana osana mihinkään muuhun tekniikkaan.			
B2.1 Tekniikan kustannukset ovat kohtuulliset suhteessa Tampereen Veden talouteen	Tekniikan kustannukset ovat noin 3,5 promillea Tampereen Veden 17 M€ investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 1 promillen Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,75 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,50 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.	Tekniikan kustannukset ovat alle 0,25 promillea Tampereen Veden investointibudjetista.
B2.2 Kustannukset kohdistuvat eettisesti hyväksyttävästi	Tekniikka nostaa veden kuluttajahintaa.	Tekniikka aiheuttaa kustannuksia Tampereen Vedessä muillekin toiminnolle kuin Veden valmistus.	Tekniikka ei vaikuta kuluttajahintaan.	Tekniikka mahdollistaa kuluttajahintojen laskun.	Tekniikka laskee kuluttajahintoja.
B2.3 Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään arvioimaan luotettavasti	Tekniikasta aiheutuvat yksikkökustannukset tunnetaan, mutta ei menekkiä.	Tekniikasta aiheutuvat menekit tunnetaan, mutta ei yksikkökustannuksia.	Tekniikasta aiheutuvat menekit ja yksikkökustannukset tunnetaan.	Tekniikan elinkaarikustannukset pystytään laskemaan.	Elinkaarikustannuslaskelman epätarkkuus pystytään arvioimaan
B2.4 Tekniikalla on saatavissa säästöjä	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 0,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 1,5.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on alle 2.	Tekniikalla saavutettavien säästöjen suhde tekniikan kuluihin on yli 2.

VALUMA-ALUEEN KARTTA





MAANPEITE VALUMA-ALUEELLA



Punainen = Rakennetut alueet

Vaaleankeltainen = Maatalousalueet

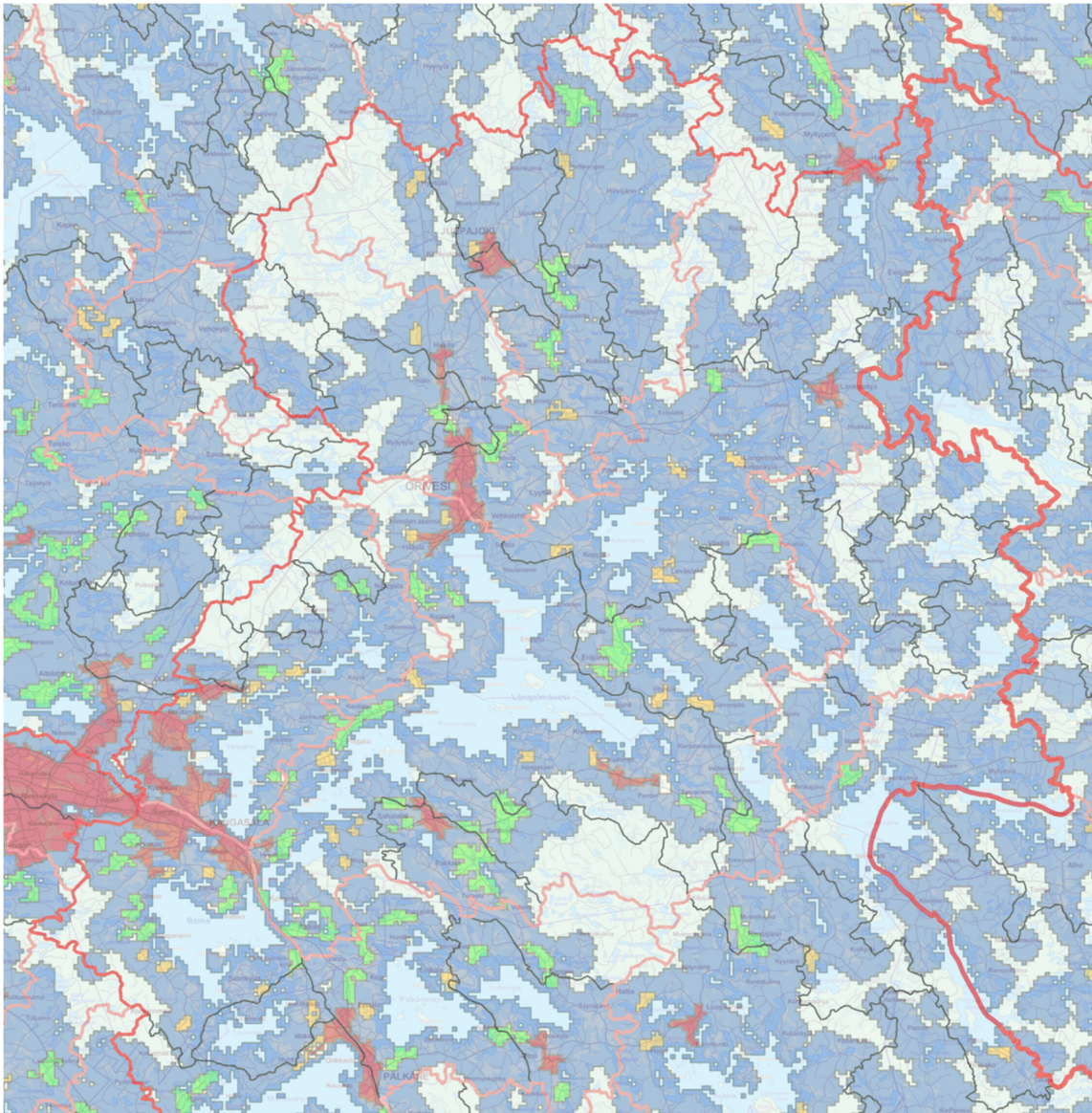
Vihreä = Metsät

Valkoinen = Kosteikot

Vaaleansininen = Vesialueet



YHDYSKUNTARAKENNE VALUMA-ALUEELLA



Punainen = Taajamat

Vihreä = Kylät

Keltainen = Pienkylät

Sininen = Maaseutualue