

Jake Nylund

JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN  
ANALYYSIMITTAUSTEN  
KÄYTETTÄVYYS

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniologia


Lokakuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 19.10.2016
<b>Tekijä(t)</b> Jake Nylund	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniikan koulutusohjelma
<b>Nimeke</b> Jätevedenpuhdistamoiden analyysimittausten käytettävyys	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Jäteveden puhdistamiseen on liittynyt jatkuvaa tarvetta tehostaa prosessia ja resurssitehokkuutta sekä parantaa etäkäyttömahdollisuuksia. Prosessisuunnittelussa on tehostamiseen liittyvissä projekteissa havaittu jätevedenpuhdistamoiden instrumentoinnin kaipaavan käytännönläheistä selvitystä mittausten toteutusten ja toimivuuden sekä käyttäjien toiveiden ja käyttötapojen suhteen. Työssä selvitettiin kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla käytettävien analyysimittausten toimivuutta ja käytettävyttä prosessia operoivien henkilöiden näkökulmasta. Tavoitteena oli dokumentoida käytössä olevia mittausten menetelmiä ja käyttöön liittyviä ratkaisuja sekä eri mittausten menetelmistä saatuja käytännön kokemuksia.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä oli käyttökäyttäjille osoitettu kyselytutkimus, jota täydennettiin puhelinhaastatteluilla ja vierailuilla. Tarkasteltavia kokonaisuuksia olivat laitteiden toiminta, ominaisuudet, huolto, mittaustiedon käyttö ja kehitystoiveet. Haastatteluissa pyrittiin selvittämään hyviä käytäntöjä ja kokemuksia analyysimittausten toteuttamiseksi. Lisäksi analyysimittauksista laadittiin markkinatilanneselvitys suomalaisten laitetoimittajien edustamien laitteiden teknisistä ominaisuuksista ja käytetyistä mittausten menetelmistä.</p> <p>Tulosten perusteella laitevalikoima prosessinohjauksen tarpeisiin on kattava ja useissa tapauksissa eri vaihtoehtoja on useita. Hyvin toimineita mittauksia olivat erityisesti optisiin menetelmiin perustuvat mittaukset. Myös automaattisilla puhdistuslaitteilla varustetut laitteet sekä automaattisesti kalibroivat analyysianturit toimivat yleensä hyvin. Heikosti toimineita laitteita olivat epäsäännöllisesti huolletut ioniselektiiviset anturit. Laitteiden huollon merkitys on kuitenkin suuri ja hyvin ylläpidettynä kaikilla mittausten menetelmillä pystytään toteuttamaan prosessinohjauksen tarpeisiin riittävät analyysimittaukset.</p>	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Jäteveden käsittely, instrumentointi, anturit	
<b>Sivumäärä</b> 64+25	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> FT Hannu Poutiainen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Ramboll Finland Oy

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b> 19.10.2016
<b>Author(s)</b> Jake Nylund	<b>Degree programme and option</b> Environmental Engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Usability survey of measurement sensors and analysers in wastewater treatment process	
<b>Abstract</b> <p>The constantly tightening treatment efficiency requirements of municipal wastewater effluent have led to complex processes and utilization of high precision on-line measurements. In process development and design have been found a need to evaluate current measuring technology, efficiency and operator's ability to use sensitive equipment. This thesis aims to document the situation in Finnish municipal wastewater treatment plants from users point of view.</p> <p>The research was conducted by inquiry addressed to plant operators and was complemented with interviews both by telephone conversations and on-site surveys of some wastewater treatment plants. Investigated details were instrument performance and abilities as well as maintenance experiences, use of measuring results and opinions of instrument development. Further, a comprehensive list of current equipment in Finnish representative's selections were made.</p> <p>The selection for required on-line measurements is wide and in some cases consists alternative measuring techniques. The survey has shown that especially optical instrument as well as automatically calibrated and cleaned instruments are found reliable by WWTP operators. Problems were occurred in some ion selective instruments, however by decent maintenance all evaluated instruments were usable for current measuring needs.</p>	
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Wastewater treatment, instruments, sensors	
<b>Pages</b> 64+25	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>  	
<b>Tutor</b> PhD Hannu Poutiainen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Ramboll Finland Oy

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	JÄTEVEDENPUHDISTAMON PROSESSINOHJAUS .....	2
2.1	Jäteveden puhdistusprosessi .....	3
2.2	Prosessinohjauksen toimintaperiaate .....	3
2.3	Mittaukset prosessissa .....	5
2.4	Rajaohjaus.....	6
2.5	PID .....	6
2.6	Kaskadiohjaus.....	8
2.7	Mallintamiseen perustuva ennustava ohjaus .....	9
2.8	Sumeaan logiikkaan perustuva ohjaus.....	9
2.9	Laitevalmistajien ohjausjärjestelmät .....	10
3	JÄTEVEDENPUHDISTAMON ANALYYSIMITTAUKSET.....	12
3.1	Mittaustiedon kerääminen prosessista .....	12
3.2	Analyysimittausten digitaalisuus ja analogisuus .....	15
3.3	Sähkökemialliset menetelmät .....	17
3.3.1	Potentiometria .....	17
3.3.2	Amperometria .....	19
3.4	Optiset menetelmät .....	21
3.4.1	Absorptio, UV-VIS-IR spektrometria ja kolorimetria .....	21
3.4.2	UV-VIS Luminenssi, luminesenssispektrometria.....	23
3.4.3	Vaimeneminen, mikroaalto.....	24
3.4.4	Valon sironta.....	25
3.5	Ohjelmistoanturit .....	26
3.6	Esikäsittelymenetelmät ja automaattiset puhdistusjärjestelmät.....	27
4	MATERIAALIT JA MENETELMÄT .....	28
4.1	Markkinatilanneselvitys.....	28
4.2	Kyselytutkimus .....	29
5	INSTRUMENTTITOIMITTAJAT JA LAITTEET SUOMESSA .....	31
5.1	Laitetoimittajat.....	31
5.2	Analyysimittaukset .....	32
5.2.1	Taulukoiden termit.....	32

5.2.2	Happi.....	34
5.2.3	Kiintoaine.....	36
5.2.4	Fosforimittaukset .....	37
5.2.5	Typpimittaukset .....	39
5.2.6	pH.....	41
5.2.7	Redox .....	42
5.2.8	Sähkönjohtokyky .....	43
6	KYSELYN TULOKSET .....	44
6.1	Kyselyssä edustetut laitokset .....	45
6.2	Puhdistamoilla käytetyt analyysimittaukset .....	45
6.3	Analyysimittausten toiminta.....	47
6.4	Ongelmien aiheuttajat .....	49
6.5	Laitteiden ylläpito .....	50
6.6	Mittaustiedon käyttö .....	52
6.7	Analyysimittausten kehityskohteita.....	53
7	POHDINTA .....	55
7.1	Analyysimittausten tilanne .....	56
7.2	Analyysimittausten ongelmien piirteitä ja paikallisia ratkaisuja .....	56
7.3	Mittaustiedon käytön kehitystarpeet.....	58
7.4	Avoimet kysymykset .....	59
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	59
	LIITTEET	
	1 Analyysimittausten tekninen vertailu	
	2 Kysely analyysimittauksista	

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkittiin Suomen kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden analyysimittaus-  
ten tilaa kesän 2016 aikana. Tavoitteena oli laatia yhteenveto laadukkaista mittauksista,  
hyviksi havaituista kokemuksista ja paikallisista ratkaisuista prosessin ohjauksessa tar-  
vittavien tietojen keräämiseksi. Lisäksi työssä selvitettiin käyttäjien kokemuksia ny-  
kyisten mittaustietojen käyttötavoista ja näkemyksiä mittaustiedon käytön kehittä-  
miseksi. Työn ohjaaja oli FT Hannu Poutiainen ja työelämäohjaajana toimi Ramboll  
Finland Oy:n DI Teemu Koskinen.

Mittausmenetelmissä on eroja tarkkuuden, mittausnopeuden, havaitsemisrajan, mittaus-  
alueen ja huollettavuuden osalta, joten eri mittausmenetelmien eroja pyrittiin selvittä-  
mään sekä kyselytutkimuksella että laitteiden teknisten tietojen perusteella. Käytettä-  
vyyden kannalta laitteiden tuottaman tiedon tarkkuus, luotettavuus ja huollettavuus ovat  
asioita, joita voitiin parhaiten selvittää kysymällä laitteita päivittäin työssään käyttäviltä  
ihmisiltä. Mittauksista laadittavan yhteenvedon toivotaan tarjoavan prosessinhoitajille  
ja prosessin suunnittelijoille käytännönläheisen näkökulman Suomessa käytetyistä rat-  
kaisuista.

Työssä tutkittavia mittauksia olivat jätevedenpuhdistamon prosessiin liittyvät kiinteät  
analyysimittaukset sekä niiden toimintaan vaikuttavat mittauskohtaiset tai yhteiset esi-  
käsittelylaitteet:

- pH
- Redox
- Sähkönjohtokyky
- Liuennut happi
- Kiintoaine
- Sameus
- fosfaattifosfori
- kokonaisfosfori
- Nitraattityppi
- Ammoniumtyppi
- Esikäsittelylaitteet.

Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät ne fysikaaliset mittaukset, joista on laitoksilla jo vuosikymmenien kokemuksia tai joita ei yleensä sovelleta ohjausjärjestelmien lähtötietoina. Näitä ovat ainakin paine, virtaus ja peruspintamittaukset. Lisäksi osa analyysimittauksista ovat niin harvinaisia tai uusia, esimerkiksi BOD, COD, TOC ja DOC, ettei laajaa käyttökokemusaineistoa niistä voida kerätä. Orgaanisten aineiden mittauksista kyselyssä selvitetään niiden yleisyys. Lietepatjan korkeusmittaus on pintamittauksen sovellus, josta selvitetään käyttökokemuksia.

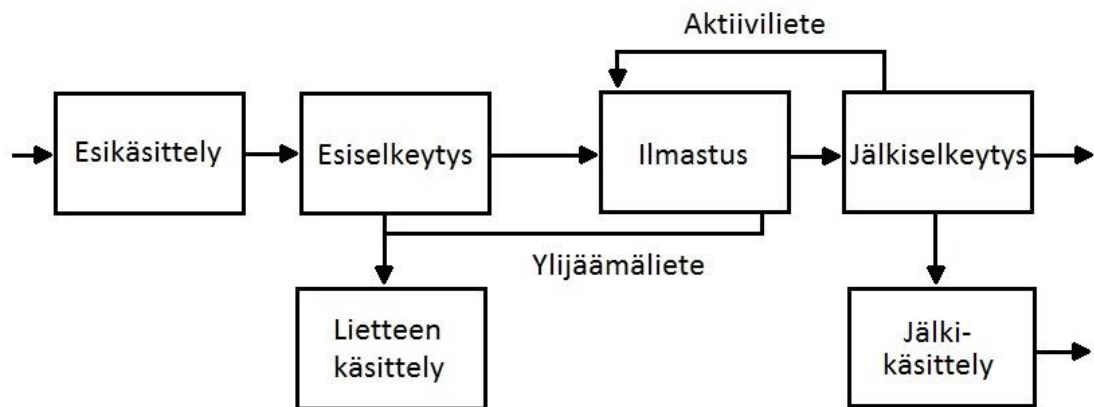
## 2 JÄTEVEDENPUHDISTAMON PROSESSINOHJAUS

Tätä työtä aiemmin automaation ja instrumentoinnin tilaa Suomessa on tutkittu Haimin, Mulas:n, Sahlstedtin ja Vahalan (2009) työssä *Advanced operation and control methods of municipal wastewater treatment processes in Finland*. Kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden prosessit ovat viime vuosikymmenten aikana kehittyneet erittäin tehokkaiksi ja monimutkaisiksi kokonaisuuksiksi. Erityisesti vaatimukset typenpoiston tehostamiseksi ovat muuttaneet prosessit monivaiheisiksi ja samalla automaatiota on lisätty energiansäästön, etähallinnan ja miehittämättömän käytön mahdollistamiseksi. Vanhojen laitosten olemassa olevat prosessirakennelmat edellyttävät prosessisuunnittelulta luovuutta toimivien ratkaisujen kehittämiseksi ja korkeat puhdistustehovaatimukset prosessin hoitajilta entistä suurempaa tarkkuutta. Toisaalta prosessia ohjaavien tietokoneiden laskentatehot ovat moninkertaistuneet viime vuosikymmenten aikana ja prosessinohjaukseen on tarjolla useita vaihtoehtoja, jopa kehittyneitä ennustavia ohjausmenetelmiä.

Tässä työssä käsiteltävien analyysimittausten lisäksi, puhdistamoilla on prosessiautomaatioon liitettyä paljon lämpötila-, virtaus-, paine- ja pinnankorkeusmittauksia sekä erilaisia toimilaitteita, kuten pumppuja, säätöventtiileitä ja kokonaisiksi järjestelmiksi katsottavia erikoislaitteita. Eri yksikköprosesseissa useat toimilaitteet ovat suoraan tai epäsuorasti vaikutuksissa toisiinsa. Analyysimittaukset ovat yksi osa kokonaisuutta, jota kutsutaan prosessinohjaukseksi. Ohjaus voi olla täysin automaattinen tai mittauksilla tuotetaan tietoa prosessinhoitajille, jotka mittaustiedon perusteella tekevät säätötoimet käsin tai muuttavat säätimien asetuksia.

## 2.1 Jäteveden puhdistusprosessi

Suomen jätevedenpuhdistamoiden toteutuksia on esitetty Ari Kankaan (2004) työssä *Suomen jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset*. Suurin osa Suomen jätevedenpuhdistamoista toimii biologisina rinnakkaissaostuslaitoksina, toisin sanoen aktiivilietelaitoksina. Puhdistamon alussa on jäteveden esikäsitely, jossa poistetaan mekaanisesti kiinteää ainesta ja erotetaan hiekkaa laskeuttamalla. Esikäsitelyä seuraa esiselkeytys, jossa poistetaan helposti laskeutuvaa ainesta. Viimeisenä vaiheena on aktiivilieteosa, jonka pääosat ovat ilmastus ja jälkiselkeytys. Aktiivilieteosaa seuraa mahdollinen jälkikäsitely. Kuvassa 1 on esitetty prosessin vaiheita yleisesti.



**KUVA 1. Jäteveden biologisen käsittelyprosessin päävaiheet**

Prosessien toteutukset vaihtelevat huomattavasti ja erityisesti biologisen prosessin osalta myös ajotavat sekä yksityiskohdat vaihtelevat. Yleisesti esitettynä, prosessien ajotapoja on optimoitu orgaanisen aineen- ja fosforinpoiston lisäksi ammoniumtyypen nitrifioimiseen tai kokonaistypenpoistoon. Kun prosessi yleensä tapahtuu samassa tilassa, se muuttuu monimutkaisemmaksi. Ammoniumtyypen nitrifikaatio edellyttää happellisia ja kokonaistypenpoisto hapettomia olosuhteita. Lisäeroja syntyy myös ilmastuksen rakenteesta ja sisäisestä kierrätyksestä sekä käytetyistä kemikaaleista. Analyysimittausten kannalta eri tekijöitä on esitelty luvussa 2.3. (Ingildsen 2002, 15-17.)

## 2.2 Prosessinohjauksen toimintaperiaate

Yleisin tapa ohjata laitosta on mitata tai arvioida tietoa prosessista ja sen tiedon perusteella tehdä säätötoimia. Laitoksia käyttävät tavalliset ihmiset, mutta laitoksen toiminta

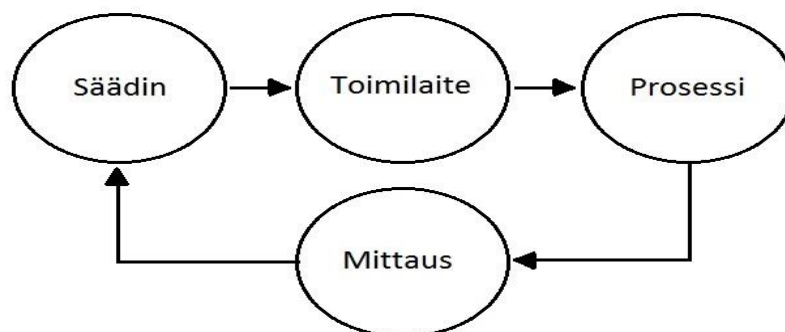


on riippuvainen automaatiosta. Prosessinohjauksella ja automaatiolla on kolme tärkeää tehtävää:

- pitää prosessi käynnissä
- ohjata prosessia tavoitteiden mukaisesti
- säästää energiaa ja resursseja. (Olsson 2012, 1587.)

Prosessinohjaukseen liitettyä osaa puhdistamon toimilaitteista ohjataan yleensä automaattisesti. Käyttäjien tehtävänä on asettaa toimilaitteiden asetusarvoja, esimerkiksi halutun ajotavan mukaisesti, sekä huolehtia ohjauksen säädöistä. Automaattisesti ohjattu säätö vaatii asetusten lisäksi joitakin lähtötietoja, jotka tavallisesti ovat mittaustietoja kenttälaitteilta. Vaihtoehtoisesti lähtötietoja voidaan asettaa käsin automaation käyttöliittymästä (käsimittaus tai arvio) tai kehittyneissä ohjausmenetelmissä tietoja voidaan tuottaa ohjelmallisesti joko mallinnus- tai simulointiohjelmilla tai ohjelmistoantureilla. (Haimi 2016a.)

Prosessista mitattavan tiedon perusteella tapahtuvan ohjauksen osatekijät on esitetty kuvassa 2. Ohjauksen vaativuuden perustella on valittavana eri tapoja säätää toimilaitteita, mutta joissakin tapauksissa ohjaus voi olla hyvin suoraviivainen *on/off*-ohjaus, eli rajaohjaus. Toinen erittäin yleinen ohjaustapa on PID- ohjaus. Analyysimittaus on siis ensimmäinen lenkki ohjausketjussa, joten virheen merkitys korostuu myöhemmissä vaiheissa. Mittausten toteutusta on esitetty yksityiskohtaisemmin luvussa 3.1. (Haimi ym. 2009, 20.)



**KUVA 2. Ohjauksen osatekijät (Haimi ym. 2009, 20)**

Kirjallisuudessa käytetään ohjauksen toiminnan täsmentämiseksi englanninkielisiä termejä *feedback* ja *feedforward* kuvaamaan ohjauksen toimintaa kytken ja mittauksen

suhteen. Kuvion 1 ohjaus on feedback-ohjaus, eli takaisinkytketty ohjaus, jossa säädin toimii prosessista fyysisesti mitatun tiedon perusteella. Feedforward-ohjaus, eli myötäkytketty ohjaus, toimii joko olemassa olevasta tiedosta sovelletun tiedon ja/tai ennustavan mallin laskelmien perusteella. (Flaherty 2012, 654.)

### 2.3 Mittaukset prosessissa

Prosessien toteutukset vaihtelevat paikallisten olosuhteiden ja ympäristöluvan ehtojen tai muiden vaatimusten mukaisesti. Samalla käytetyt mittaukset vaihtelevat ohjausten ja kerättävien tietojen perusteella. Osaa mittauksista käytetään prosessin tilan seuraamiseen, mutta osaa mittauksista voidaan käyttää suoraan ohjausten lähtötietoina. Eri-laisten ajotapojen yhteydessä käytetään eri menetelmiä, joiden ohjauksessa käytetään eri mittauksia. Esimerkiksi:

- ilmastuksen ohjaus hapen perusteella
- ilmastuksen ohjaus ammoniumtyypen perusteella
- nitraattikierrätyksen ohjaus nitraatin perusteella
- ilmastettujen lohkojen määrä ammoniumtyypen, nitraatin ja hapen perusteella
- lisähiilen syöttö nitraatin perusteella
- saostuskemikaalin syöttö fosforin perusteella
- polymeerin annostus kiintoaineen perusteella
- palautuslietteen virtaama lietepatjan korkeuden perusteella. (Olsson 2012, 1605-1609.)

Näytteenotto tai mittaus prosessista suunnitellaan edustavuuden ja tarpeen mukaan. Esimerkiksi Pernille Ingildsen (2002, 291-293) määrittelee ravinnemittausten suunnittelu-prosessin neljällä vaiheella:

1. Analyysivaihe. Määritellään potentiaali ja kartoitetaan säätövaihtoehdot;
2. Tarkkailuvaihe. Mittaukset asennetaan soveltuviin kohtiin päivittäistä seuranta varten. Tunnistetaan kehitystarpeet;
3. Kokeiluvaihe. Seurataan toimintojen vaikutusta mittauksiin;
4. Automaattiohjausvaihe. Varsinainen käyttöönotto ja järjestelmän dokumentointi.

## 2.4 Rajaohjaus

Rajaohjaus edustaa automaatioon liitettävää ohjausta yksinkertaisimmillaan. Tapa soveltuu tilanteisiin, jossa ohjaus ei edellytä tasaisen olosuhteen ylläpitoa ja/tai ohjaus halutaan toteuttaa mahdollisimman edullisesti. Ohjaus käyttää toimilaitetta kahden rajan välillä tai antaa ilmoituksen tai hälytyksen yhdestä rajasta (Haimi ym. 2009, 20). Tyypillinen esimerkki rajaohjauksesta on pumppaamo, jonka pumppuja ohjataan pinnan korkeuden perusteella. Pumput tai pumppu käynnistyy ylempänä olevalla käynnistysrajalla ja käy kunnes pinnanmittaus tavoittaa alarajan. Käynnistysrajan yläpuolella on hälytysraja, joka hälyttää, mikäli pinta nousee pumppauksen käynnistämistä huolimatta.

Rajojen ei ole välttämätöntä olla samaa suuretta, vaan ohjauksen käynnistäminen ja pysäyttäminen voidaan toteuttaa eri tavoilla. Esimerkiksi rasvanpoistokaivon vedenpoistopumpun ohjaus voi olla toteutettu siten, että pumppu käynnistyy asetetulla pinnan korkeudella ja käy asetetun ajan sen jälkeen. Toinen esimerkki on ylijäämälietteen poisto, joka käynnistyy tasatunnein ja poistaa virtaamamittauksen perusteella tietyn määrän liettä ilmastuksesta.

## 2.5 PID

Rajaohjaus soveltuu tilanteisiin, joissa ei tarvitse säätää toimilaitetta. Ohjauksen säätämiseen yleinen ohjaustapa jätevedenpuhdistamoilla on PID-säädin. Nimitys PID tulee englannin kielisistä termeistä propotional, integral ja derivative, suomennettuna integroiva ja derivoiva suhdesäädin. Säädin reagoi mitatun ja asetetun arvon väliseen eroon ja ottaa huomioon myös arvojen historian sekä ennustaa tulevaisuutta. Nimensä mukaisesti PID-säädössä on kolme yhdessä toimivaa säädintä ja tarpeen mukaan toimilaitteen ohjauksessa voidaan käyttää niistä vain yhtä tai kahta, esimerkiksi P-, I-, PD- tai PI-ohjausta. Ohjauksen viritykseen käytetään kolmea parametria, vahvistuskerrointa, integrointi-aikaa ja derivointiaikaa, jotka vaikuttavat ohjaukseen eri tavoilla. (Tehrani & Mpanda 2012, 213.)

Suhdesäädin seuraa asetusarvon ja mitatun arvon eroa mittaushetkellä ja vahvistuskerrointa muuttamalla vaikutetaan siihen nopeuteen, jolla säädin reagoi eroon. Suurella

kertoimella ohjaus tekee suuria muutoksia ohjaukseen ja pienellä kertoimella pieniä, jos mitatulla ja asetetulla arvolla on ero. Pelkän suhteen perusteella säätävä ohjaus on joko erittäin hidas tai ohjaa ohi tavoitteesta. Jos vahvistuskerroin on erittäin suuri, ohjaus ei tavoita asetusta missään vaiheessa, vaan värähtelee tavoitteen ylä- ja alapuolella. Värähtelyherkkyyttä lisää myös hitaasti ohjaukseen reagoiva prosessi. (Wescott 2008.)

Integrorivan säädön tehtävä on seurata virheen suuruutta ja virheen ajallista kestoa. Säädön summa perustuu virheen summaan integrointiaikana (Tehrani & Mpanda 2012, 214). Koska säätö perustuu mittausaikana havaittuun virheen summaan, se pystyy estämään pitkän ajan kuluessa tapahtuneen virheen syntymistä ohjauksessa. Sama pitkän ajan kuluessa tapahtuvan mittauksen seuraaminen aiheuttaa myös ongelmia. Mikäli hetkellinen arvo on jo lähestymässä asetusarvoa ja integrointiaika pitkä, integroiva säätö tekee havainnon aiemmin mitatun perusteella ja antaa liian suuren ohjausarvon. Seurauksena ohjaus värähtelee jälleen. (Wescott 2008.)

Nopeasti muuttuvassa prosessitilanteessa suhdessäätöä ei voida pienentää rajattomasti tai integrointiaikaa venyttää kovin pitkäksi. Tapahtumahetken seuraaminen yliohjaa, ja historiatietojen käyttäminen johtaa prosessin värähtelyyn, mutta käytännössä prosessin olosuhteiden muutokset muuttavat tasapainoa niin, ettei ilmiöillä ole prosessin toiminnalle käytännön merkitystä. Joissakin tilanteissa värähtelystä on kuitenkin haittaa, esimerkiksi palautuslietteen pumppauksessa värähtelevä ohjaus rasittaa pumppuja mekaanisesti. Värähtelyn torjumiseksi tarvitaan tilanteen ennustamista. Derivoiva säätö laskee ohjauksen virheen suuruuden ja ajan perusteella kulman tai suunnan, johon arvo on ohjautumassa. Derivoiva säätö vaikuttaa säätöön vakauttavasti ennustamalla tilanteen, jossa säätö on yliohjautumassa. (Tehrani & Mpanda 2012, 214.)

PID-säädin eri yhdistelmineen on erittäin suosittu ohjaustapa kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla sen yksinkertaisuuden, hallittavuuden, tarkkuuden ja säädön sekä mittauksen yhteen sovitettavuuden vuoksi. Viritysparametreille ei ole olemassa valmista oikeaa suhdetta, mutta sama lopputulos voidaan saavuttaa monilla eri asetusyhdistelmillä. Useissa tilanteissa ohjauksen värähtelyllä ei ole lopputuloksen kannalta merkitystä ja säädön virittämisessä riittää usein ”suboptimaalinen” tarkkuus. Värähtelyä voidaan kuitenkin torjua, opettelemalla eri asetusten vaikutusta ja virittämällä ohjausta

havaintojen perusteella sekä palaamalla tarvittaessa aiempiin asetuksiin. Toisaalta virittämiseen on laadittu toimintaohjeita, joita voidaan hyödyntää virittämisen lähtökohtaisina perusasetuksina.

## 2.6 Kaskadiohjaus

Kun ohjattava prosessi muuttuu monimutkaisemmaksi, PID-ohjauksen virittäminen voi olla erittäin hankalaa tai mahdotonta. Häiriöitä ohjaukselle voivat aiheuttaa prosessissa tapahtuvat muutokset, säädön vaikutusten viiveet tai toimilaitteiden keskinäiset vaikutukset (Kaya ym. 2007).

Esimerkiksi aktiivilieteprosessin ilmastuksen happipitoisuuden ohjaus on tyypillisesti toteutettu tiedoilla ilmastuslohkojen happipitoisuudesta, lohkoihin virtaavista ilmamääristä, runkoputken paineesta ja kompressoreiden kierrosnopeuksista. Muuttujia on paljon ja niiden vaikutukset ohjauksen säätöön ovat erilaiset. Osa muuttujista on nopeita; esimerkiksi runkoputken paineen on syytä olla mahdollisimman tasainen ja säädettävissä muutaman sekunnin välein. Osa säädöistä on puolestaan hitaita; esimerkiksi lohkojen happipitoisuus on niin hitaasti muuttuva arvo, ettei sitä ole järkevää säätää yhtä nopeasti. Happipitoisuutta säädetään ilmastuslohkoihin virtaavalla ilmalla avaamalla tai sulkemalla säätöventtiileitä. Mikäli kaikki piirit olisivat toteutettu omina säätöinä, niillä kaikilla olisi häiritsevää vaikutusta toisiinsa. Jos ilmastuksessa olisi esimerkiksi viisi ilmastuslohkoa, yhden säätö vaikuttaisi runkoputken paineeseen ja siten kaikkien muiden lohkojen ilmamääriin. Seurauksena olisi ketjureaktio, kun muut lohkot tekisivät korjaavia säätöjä ja ensimmäinen lohko joutuisi korjaamaan omaa tilannetta muiden jälkeen.

Ratkaisuna monimutkaisten kokonaisuuksien ohjaamiseksi PID-säädöllä voi olla kaskadiohjaus, jossa eri säätimet on koottu säätöpiireiksi. Kaskadiohjauksessa säätöpiirejä on kaksi, joista ensimmäinen piiri ohjaa toimilaitteita ohjaavaa piiriä (Haimi ym. 2009, 23). Ilmastuksen säätöpiireistä ensimmäinen, pääsäädin, seuraa lohkojen happipitoisuuksia ja antaa lohkoille tavoitteet syötettävistä ilmamääristä. Toiset piirit, apusäätimet, seuraavat ilmamääriä ja säätävät ilmaventtiileitä pääsäätimen asettaman tavoitteen mukaisesti. Tässä ensimmäinen piiri voidaan toteuttaa hitaasti toimivana, joka reagoi kohtuullisella viiveellä happipitoisuuksien muutoksiin. Toiset piirit puolestaan voivat

toimia nopeammin. Ilmastuksen tapauksessa kolmas tarvittava ohjaus on kompressoreiden ohjaus, joka toimii itsenäisesti ja huolehtii runkoputkeen paineesta nopeana säätönä. (Kaya ym. 2007.)

## 2.7 Mallintamiseen perustuva ennustava ohjaus

Prosessimallinnusta käytetään vesihuollossa yksittäisten osaprosessien tai prosessilaitteiden mitoituksesta aina kokonaisen laitoksen kattavaan ajotapasuunnitteluun tai laitosuunnitteluun. Mallinnuksen historia alkaa 1980-luvun lopulta, jolloin on luotu pohja nykyisille aktiivilietemalleille, ASM-perheelle. Nykyään käytettävissä on useita kaupallisia mallinnusohjelmia, kuten GPS-X, Simba tai BioWin. Mallinnustutkimusta tehdään useissa yliopistoissa ja tutkimusryhmissä. (Poutiainen 2012, 9–10.)

Ennustavien mallien perusteella tapahtuvan ohjauksen (Model Predictive Control) lähtökohtana on tunnistettujen prosessin ominaisuuksien ja säätötoimien vaikutuksen matemaattisen esittämisen hyödyntäminen prosessin ohjauksessa. Jätevedenpuhdistusmallien prosessinohjauksen perusteena ovat ennustetut ilmiöt ja mallien perusteella lasketaan ohjauksen säätöarvot tai muokataan arvoja tilanteeseen paremmin sopivaksi. (Haimi ym. 2009, 24.) Ohjauksen periaatteita ovat:

- matemaattisten mallien käyttö prosessin ilmiöiden ennustamiseen
- optimaalisten säätötoimien laskeminen
- kaikkien säätötoimien ketjuttaminen kokonaiseksi strategiaksi. (Camacho & Bordons 2007.)

Mallintamisen käyttöä Suomessa on esitelty Vesitalous-lehdessä Henri Haimin (2016b) artikkelissa *Datapohjaisella mallinnuksella työkaluja jätevedenpuhdistukseen*. Artikkelissa esitellään mekanistiseen ja datapohjaiseen mallintamiseen perustuneita tutkimuksia sekä virtuaalisten antureiden käyttöä.

## 2.8 Sumeaan logiikkaan perustuva ohjaus

Jäteveden virtaama ja parametrit ovat erittäin heterogeeninen ympäristö, jossa kaikki tekijät voivat vaihdella kellonajan, vuodenajan, sään ja monien eri tapahtumien vaiku-

tuksesta. Yksittäisen pitoisuuden suuruuteen vaikuttavia tekijöitä voi olla vaikea määrittellä matemaattisesti tai edes esittää tekijöistä yksiselitteisiä säännönmukaisuuksia. Kuitenkin kokenut puhdistamonhoitaja pystyy, ilman tarkkaa käsitystä olosuhteista, päättämään todennäköisimmän ennusteen tilanteesta ja tekemään oikean suuntaisia ratkaisuja. Sumean logiikan periaatteena on jäljitellä ihmisen ajattelua ja käsitellä fyysisiä ilmiöitä luonnostaan epävarmoina. (Olsson 2011, 1609.)

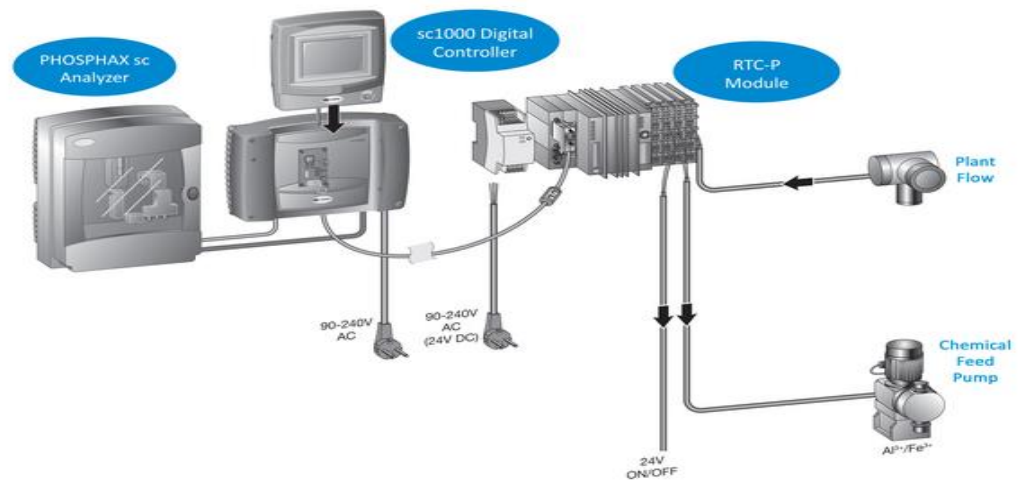
Kun perinteinen digitaalinen logiikka esittää ohjausarvon digitaalisina arvoina 0 tai 1, voi sumean logiikan arvo olla jotain siltä väliltä. Tällaisia arvoja ei voida käyttää yhdessä perinteisten säätimien kanssa, joten sumean logiikan ohjaus on normaalin tiedonsiirron välissä muuttamassa ohjauksen arvoa. Ohjaus tapahtuu kolmessa vaiheessa, tiedon syötössä, käsittelyssä ja tiedon antamisessa. Varsinainen säätö tapahtuu käsittelyssä, johon tieto syötetään sumeutettuina arvoina. Arvoja käsitellään olemassa olevien tietojen ja sääntöjen mukaan ja järjestelmästä ulos annettava ohjaus muutetaan takaisin normaaliksi ohjaussignaaliksi. (Haimi ym. 2009, 26- 27.)

Sumealla logiikalla toteutetut ratkaisut ovat Suomessa vielä harvinaisia. Ohjauksen käyttökohteita jätevedenkäsittelyssä voivat olla tilanteet, joissa analyttistä mallia prosessista ei ole saatavilla, malli on erittäin monimutkainen tai jos tavoitteen määrittely on epävarmaa (Haimi ym. 2009, 27). Monia onnistuneita käytännön kokeita on kuitenkin esitetty useissa tieteellisissä julkaisuissa. Esimerkiksi Ruano ym. (2011) kehittivät toimivan sumeaa logiikkaan perustuvan ohjauksen aktiivilieteprosessin nitrifikaation ja denitrifikaation ohjaukseen liuenneen hapen-, pH- ja redox-anturien tietojen perusteella.

## **2.9 Laitevalmistajien ohjausjärjestelmät**

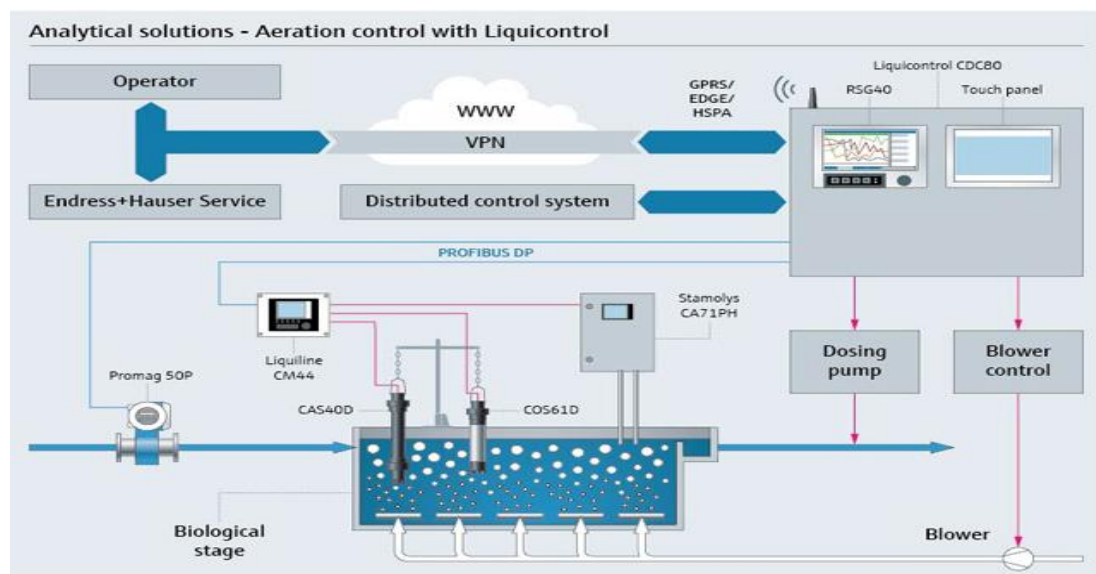
Osa laitevalmistajista tarjoaa myös analyysimittauksiin liitettyjä ohjauksia eri parametreille. Hachin tuote on Real Time Control, RTC. Hachin valikoimissa on yhteensä kymmenen erilaista RTC -moduuleiksi kutsuttua paikallislogiikkayksikköä ravinteiden ja kiintoaineen poistoon sekä lietteen sakeutukseen. Moduulit toimivat yhdessä tarpeellisten analyysimittausten kanssa. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkinä Hachin kuormituksen perustuvan fosforinpoiston P-RTC-yksikön toimintaperiaate. Ohjauksen toiminta-

periaate ei poikkea muista automaattisesti ohjatuista kemiallisista fosforinpoistomenetelmistä, mutta tarjoaa yhden mahdollisuuden lisää ohjauksen toteuttamiseen. (Hach 2016.)



**KUVA 3. Hachin kemiallisen fosforinpoistoyksikön toimintaperiaate (Hach 2016)**

Endress+Hauser tarjoaa ilmastuksen ohjaukseen dynaamista kuormitukseen perustuvaa ohjausjärjestelmää, Liquicontrol CDC80 (Kuva 4). Järjestelmän ytimenä on biologisen osan ohjausjärjestelmä, joka mittaa virtaamaa sekä fosfaatin, ammoniumtypen ja hapen pitoisuuksia ilmastuksessa, joiden perusteella ohjataan ilmastusta. Järjestelmää voidaan laajentaa myös kemikaalin annosteluun fosforin poistamiseksi. (Endress+Hauser 2013.)



**KUVA 4. Endress+Hauser Liquicontrol CDC80- ohjausjärjestelmän toimintaperiaate (Endress+Hauser 2016a)**

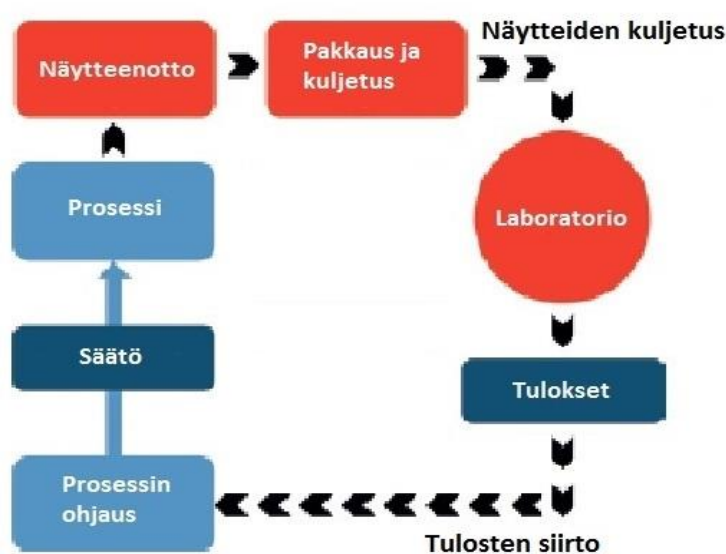


### 3 JÄTEVEDENPUHDISTAMON ANALYYSIMITTAUKSET

Analyysimittauksilla tuotetaan mittaustietoa, informaatiota prosessin tilasta, prosessi-automaatiolle ja prosessin käyttäjille. Gustaf Olsson (2012, 1586) toteaa artikkelissaan *ICA and me, että kaikki informaatio ei kuitenkaan ole tietoa*. Analyysimittausten tarjoama mittaustieto on vain yksi osa kokonaista järjestelmää, mutta järjestelmän ensimmäisenä vaiheena, mittaustulosten laadun merkitys on lopputuloksen kannalta suuri.

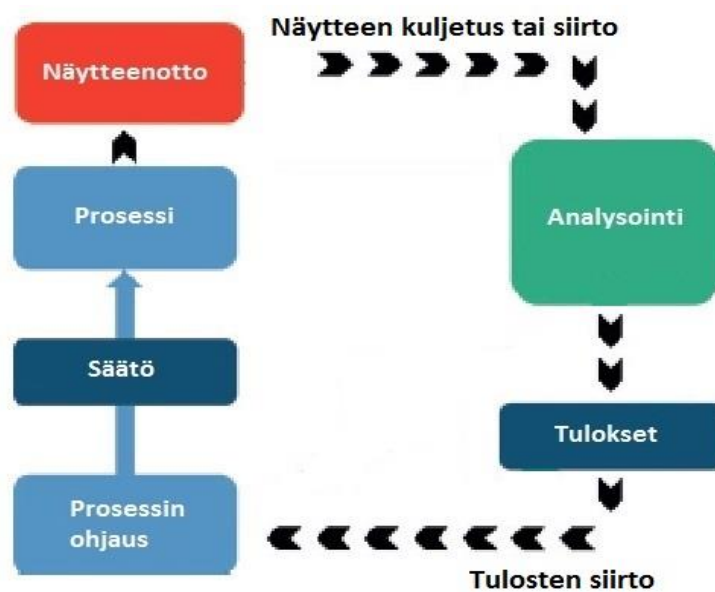
#### 3.1 Mittaustiedon kerääminen prosessista

Jätevedenpuhdistamon prosessi on monimutkainen kokonaisuus, jonka ohjaamiseksi tarvitaan säännöllisesti mitattuja arvoja prosessin tilanteesta. Kirjallisuudessa käytettyjä termejä eri vaihtoehdoille ovat off-line-, at-line-, on-line- ja in-line-mittaukset. Tarkimmat tulokset saadaan off-line-laboratorioanalyysien, jonka vaiheita on esitetty kuvassa 5. Laboratorioanalyysissä on kaksi erityisen heikkoa tekijää prosessinohjauksen kannalta: ne ovat hitaita ja kalliita. Muita heikkoja tekijöitä ovat näytteiden ja tulosten käsittelyn työläys sekä tutkittavan näytteen edustavuus käsittelyvirheiden ja käsittelyaikana tapahtuvan laadun muuttumisen kannalta. Tulosten tulkinnan kannalta vaikuttaa myös näytteenottotapa, edustaako näyte vuorokauden kokoomaa vai hetkellistä yhtä pistettä. Ohjauksen kannalta ei ole sama, onko tuloksissa kyseessä keskiarvo, satunnainen hetki päivällä vai kuormituksen huippu.



KUVA 5. Off-line-laboratorioanalysoinnin vaiheiden kaaviokuva (Metrohm 2016)

Joillakin puhdistamoilla on oma laboratorio, jossa voidaan tutkia mahdollisesti kaikkia ohjaamiseen tarvittavia parametreja. Samoin monia parametreja voidaan seurata käsimitareilla tai yksinkertaisilla tutkimuslaitteilla, joiden käyttöön riittää nopea käyttökoulutus. Näissäkin tulokset täytyy erikseen tallentaa trenditiedon keräämistä varten, mutta etuna ulkopuoliseen laboratorioon verrattuna on tulosten saamisen nopeus. Kuvassa 6 on esitetty kaaviona at-line-analysoinnin prosessi. Muuten heikkoudet ovat samat kuin off-line-analysoinnissa ja tulosten tulkitsijan täytyy tuntea myös olosuhteet, joita näyte edustaa.

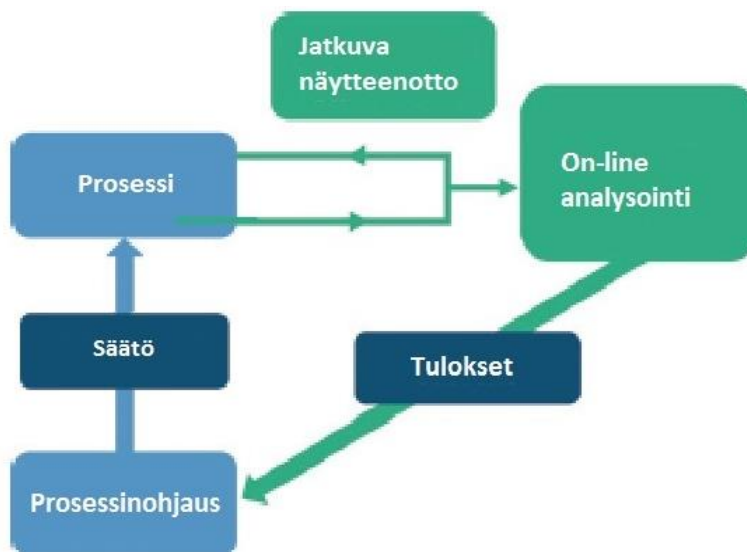


**KUVA 6. At-line-laboratorioanalysoinnin vaiheiden kaaviokuva (Metrohm 2016)**

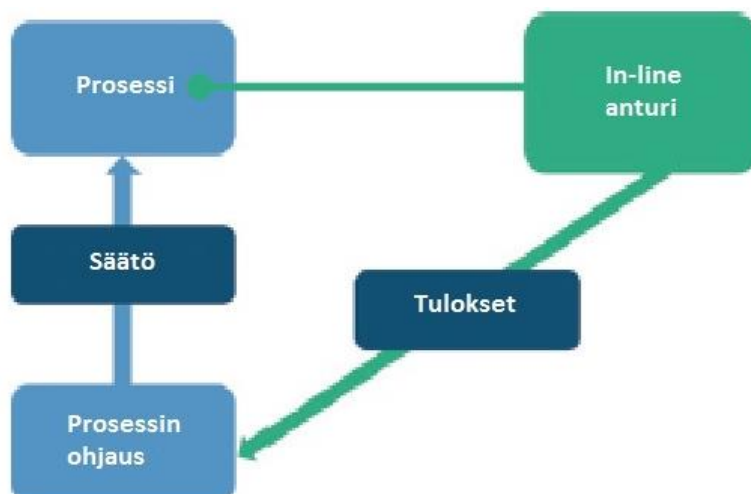
Monissa tapauksissa vähempikin tarkkuus riittää ja usein prosessinohjauksen kannalta merkittävämpää on tiheästi kertyvä trenditieto prosessin kehityksen suunnasta. Käytännössä kaikissa jätevedenpuhdistusprosesseissa on joitain analyysimittauksia, joilla kaetaan päivittäiset ja rutiininomaiset ohjaustoimet, ja laboratorioanalyysillä seurataan analyysimittausten toimintaa ja tutkitaan tulo- ja vesistökuormitustietoja sekä muita tarkempia analyysitarpeita. Analyysimittauksen määritelmänä voidaan pitää laitetta, joka:

- mittaa fysikaalista tai kemiallista parametria prosessista
- toimii reaaliajassa ja jatkuvasti
- mittaa joko suoraan prosessista (in-line) tai ottaa näytteen prosessista (on-line) omatoimisesti. (Orellana 2011, 211.)

Puhdistamolla suoraan prosessista tehtävät analyysimittaukset voidaan jakaa toiminnan perusteella kahteen pääryhmään, prosessista otettavista näytteistä tai näytevirrasta tehtäviin analyysimittauksiin (kuva 7) ja suoraan prosessista mittaaviin laitteisiin (kuva 8). Kirjallisuudessa käytetty termi suoraan prosessista mittaavista laitteista on in-line ja prosessin yhteydessä olevasta laitteesta on-line (Blan ym. 2012, 269- 270; Metrohm 2016). Merkittävimmät hyödyt analyysimittauksista ovat mittauksen tiheys, tulosten nopeus ja tulosten automaattinen tallentuminen ohjausjärjestelmään.



**KUVA 7. On-line-mittauksen kaaviokuva (Metrohm 2016)**



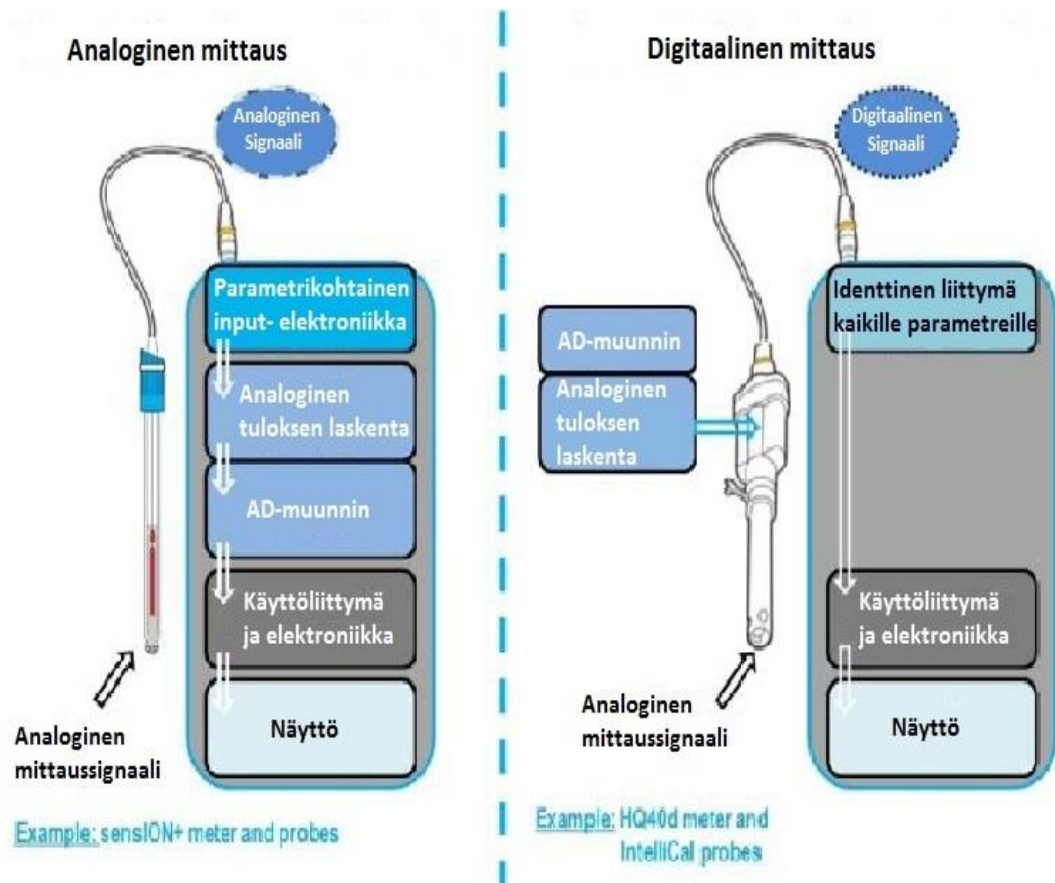
**Kuva 8. In-line-mittauksen kaaviokuva (Metrohm 2016)**

Mittauslaitteiden, in-line- ja on-line-toteutuksien lisäksi, erottavia teknisiä tekijöitä ovat esikäsitteilyvaatimukset, käytetyt mittausteknologiat, kommunikointitapa ja tietysti mitattava aine tai aineet. Mittauskohtaisia eroja ovat ylläpitoon ja huoltoon liittyvät varusteet ja automaattiset puhdistusjärjestelmät, joilla parannetaan laitteen tarkkuutta tai toiminta-aikaa. Tässä esiteltyjen mittausmenetelmien jako perustuu teknisiin eroihin eri mittausmenetelmissä. Tomi Pulli määrittelee (2015, 5) esityksessään ideaalisen anturin ominaisuuksiksi:

- herkkä mitattavalle ilmiölle
- epäherkkä muille ilmiöille
- tarkka
- kohinaton
- ei vaikuta mitattavaan kohteeseen
- omaa laajan mittausalueen
- ominaisuuksiltaan muuttumaton.

### 3.2 Analyysimittausten digitaalisuus ja analogisuus

Useista antureista on laitevalmistajien valikoimissa sekä perinteinen analoginen että digitaalinen vaihtoehto. Erona laitteissa on anturin ja lähettimen välinen kommunikointi. Digitaalisissa laitteissa tieto anturipäältä lähettimelle välittyy digitaalisena datana, kun taas analogisissa laitteissa anturipään lähettämä mV-signaali muutetaan AD-muuntimella digitaaliseen muotoon vasta lähettimessä. Digitaalisista antureista käytetään myös nimitystä *intelligent sensor*, ”älykäs anturi”, sillä digitaalisen anturin mukana liikkuu usein anturia koskevia tietoja ja digitaalisuus mahdollistaa joitakin käyttöä helpottavia ominaisuuksia. Vastaavasti analogisista antureista käytetään nimitystä *classical*, ”perinteinen”. Toteutuksen eroa on havainnollistettu kuvassa 9. (Hach 2013a.)



**KUVA 9. Analogisen ja digitaalisen mittauksen toteutusero (Hach 2013a)**

Käyttäjän kannalta digitaalisuus mahdollistaa ”plug and play” -käytön, sillä kaikki samaa sarjaa olevat lähettimet ja anturit toimivat keskenään ja monikanavaisissa lähettimissä myös yhtä aikaa (Hach 2013a). Esimerkiksi laitteen käyttöönotossa käyttäjän tehtäväksi riittää anturin liittämisen lähettimeen ja virran kytkemisen. Lähettimen tarvitsemat perustiedot, kuten anturityyppi, kalibrointitiedot tai huoltolaskurit, ovat anturissa ja myös siirtyvät anturin mukana, mikäli anturi kytketään toiseen lähettimeen. Tämä mahdollistaa esimerkiksi anturin kalibroinnin muualla, mukavammassa olosuhteissa. (Endress+Hauser 2016b.)

Toinen ”älykäs” digitaalisten antureiden ominaisuus on käyttöä helpottavien ominaisuuksien liittäminen anturin mittapäähän. Laitteeseen voidaan tallentaa huoltohistoriatietoja tai positionumeroita, joita voidaan käyttää huollon suunnittelussa ja vikojen karjoittamisessa. Kolmas etu muodostuu digitaalisen tiedonsiirron häiriönsietokyvystä. Analogisen mittauksen lähettämä mV-signaali voi muuttua matkalla sähkölaitteiden vaikutuksesta ja anturin kaapelin pituutta ei voi jatkaa yhtä pitkäksi kuin digitaalisella

mittauksella. Esimerkiksi Hach ilmoittaa analogisen anturin kaapelin maksimipituudeksi 3 metriä, kun digitaalisella anturilla kaapeli voi olla jopa 30 metriä pitkä (Hach 2013a).

### 3.3 Sähkökemialliset menetelmät

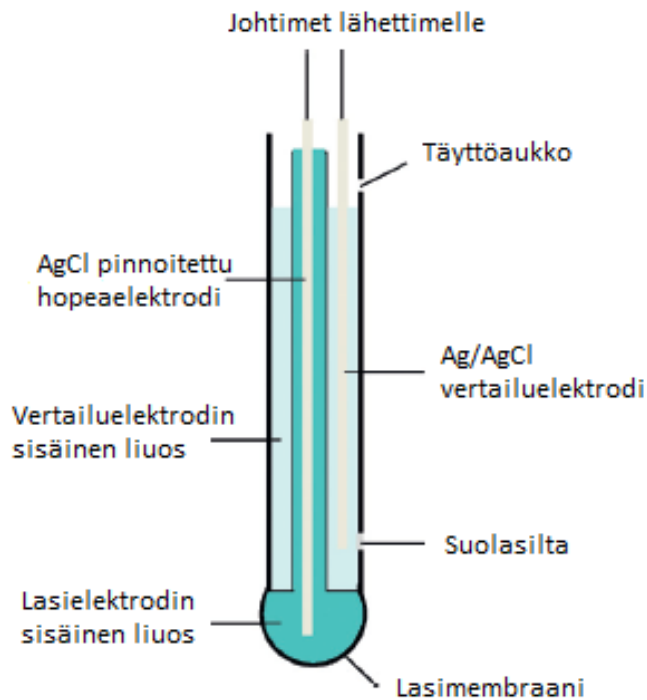
Sähkökemiallisissa laitteissa (Electrochemical sensors) mittaustulos syntyy sähköisten ilmiöiden tai hapetus-pelkistysreaktioissa muodostuvan tai kuluvan sähköenergian perusteella. Sähkökemiallisissa reaktioissa syntyvän potentiaalieron,  $E$ , laskemiseen keskeinen yhtälö on Nernstin yhtälö:

$$E = RT/FZ \ln(c_i/c) \quad (1)$$

missä  $R$  on kaasuvakio 8,314 J/mol,  $T$  on lämpötila,  $F$  on Faradayn vakio 96 485,3 C/mol,  $Z$  on ionin varaus ja  $c_i/c$  on ionikonsentraatioiden suhde järjestelmän sisä- ja ulkopuolien välillä. (Jeffery ym. 2005, 549.)

#### 3.3.1 Potentiometria

Potentiometrinen mittaus perustuu sähkökemialliseen kennoon, jossa sähköparin muodostavat mittauselektrodi ja vertailuelektrodi. Kun elektrodi upotetaan näytteeseen, syntyy näytteen ja mittauselektrodin välillä sähkömotorinen voima, elektrodipotentiaali. Elektrodipotentiaalia verrataan samassa olosuhteessa olevaan, vakiopotentiaalin omaavaan, vertailuelektrodin potentiaaliin ja syntynyt jännite-ero johtuu mitattavan liuoksen ionipitoisuudesta. Kun mittauksessa käytetään ioniselektiivistä elektrodia ja/tai ioniselektiivistä membraania, saadaan sopivissa olosuhteissa mitattua halutun ionin pitoisuus liuoksessa. Tyypillinen ioniselektiivinen potentiometrimittaus on pH-mittaus lasielektrodilla, jonka rakennetta on kuvattu kuvassa 10. (D’Orazio & Meyerhoff 2006, 151- 155; Orellana 2011, 222- 223.)



**KUVA 10. ISE pH-anturin lasielektrodin rakenne (Orellana 2011, 223)**

Ioniselektiivisiä membraaneja valmistetaan useimmille ionimuodossa esiintyville aineille, esimerkiksi nitraatille, kloridille tai raskasmetalleille (Orellana 2011, 226). Ioniselektiivisenä membraanina pH-mittauksissa käytetään lasimembraaneja, jonka koostumuksella voidaan vaikuttaa haluttuun selektiivisyyteen, esimerkiksi  $H^+$ ,  $Na^+$  tai  $NH_4^+$  (Jeffery 2005, 558). pH-mittarin kyky mitata  $H^+$ -ioneja perustuu amorfiseen lasielektrodiin, joka on suurelta osin piioksidia ja alkalimetallioksideja. Kun lasin pinta on kosketuksissa veteen, osa lasin Si-O- ryhmistä pelkistyy (Vanýsek 2004):



pH:n mittauksen perusteena on tasapainotila membraanin ja liuoksen välillä. Kun ioninvaihtoa lasin pinnalla tapahtuu, syntyy potentiaaliero, joka on laskettavissa Nernstin yhtälöstä johdetun perusteella (Vanýsek 2004):

$$E_{\text{lasi/liuos}} = \frac{RT \ln 10}{F} \log a[H_3O] \quad (3)$$

Missä  $a[H_3O]$  on hydroniumin aktiivisuus. Mittarin sisäpuolella sama potentiaali muodostuu vastakkaisilla polariteeteilla. Koska sisäpuoli on suljettu ja pH on vakio, kaikki

pH:n muutokset tulevat ulkopuolelta. Mittauselektrodin ja vertailuelektrodin potentiaalit ovat laskettavissa (Orellana 2011, 222):

$$E_{\text{elektrodi}} = E' + RT \ln 10 / F \log a[\text{H}_3\text{O}] \quad (4)$$

pH:n mittaamisessa referenssiliuoksessa olevan elektrodin lukemaa suhteutetaan mittauselektrodin lukemaan (Orellana 2011, 222):

$$\text{pH}_{\text{näyte}} = \text{pH}_{\text{vertailu}} + (E_{\text{näyte}} - E_{\text{vertailu}}) F / RT \ln 10 \quad (5)$$

Koska pH:n mittaustulos on lämpötilasta riippuvainen, analyysimittauksissa anturit on varustettu lämpötilamittauksella ja lämpötilakompensaatio lasketaan automaattisesti lähettimen tulokseen (Orellana 2011, 223). Vaihtoehtoisesti käyttäjä pystyy määrittelemään kompensoinnin itse. Kyseisistä antureista käytetään nimitystä yhdistelmäanturi tai kombinaatioanturi. Differentiaaliantureissa on kolmas vakioliuoksessa oleva elektrodi, johon mittaasanturin tulosta verrataan. Menettely lisää anturin tarkkuutta ja vähentää huollon sekä kalibroinnin tarvetta. (Labkotek 2008.)

### 3.3.2 Amperometria

Amperometriassa hyödynnetään samaa ilmiötä kuin potentiometriassa, mutta mittauksen toteutus on käänteinen. Mittauksessa ulkopuolisella virtalähteellä pyritään pitämään elektrodien välinen jännite vakiona ja tasapainon ylläpitämiseen kulunutta virtaa mitataan. Yleinen amperometrinen analyysimittaus on liuoksen hapen mittaus *Clark*-elektrodilla tai esimerkkinä oleva johtokyvyn mittaus, josta käytetään nimitystä konduktometria. (Orellana 2011, 236.)

Konduktometria on liuoksen sähkönjohtokyvyn mittaamista. Puhdas vesi on heikko sähkönjohdin, mutta tämä ei ole ongelma luonnonvesissä, saati jätevesissä. Vesi sisältää aina vaihtelevan pitoisuuden erilaisia happoja, emäksiä ja suoloja. Liuoksen sähkönjohtavuuteen vaikuttaa vain liuoksen ionipitoisuus. Mitä enemmän liuoksessa on ioneja, sitä pienempi on vastus. Ohmin lain ( $I = U / R$ ) mukaan johtimessa etenevä virta  $I$  on suoraan verrannollinen jännitteen  $U$  ja vastuksen  $R$  suhteen.



**Konduktiivisessa mittauksessa** näytteeseen upotetaan kaksi elektrodia, joiden välille syötetään jännite. Johtimelle voidaan ohmin lain mukaisesti määrittää virran ja jännitteen perusteella vastus  $R$ , jonka käänteisarvo on sähkönjohtavuus  $G$ , ja joka on johdin-kohtainen vakio (Jeffery ym. 2005, 519-520). Näytteen vastukseen vaikuttavat materiaalin pituus  $l$  ja pinta-ala  $A$  sekä näytteelle ominainen resistiivisyys  $\rho$ :

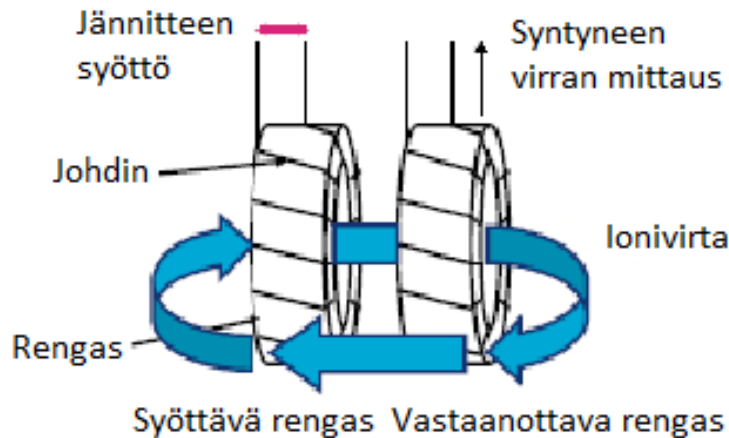
$$R = \rho l / A \quad (6)$$

Mitattu sähkönjohtavuus  $\kappa$  on resistiivisyyden käänteisarvo (Blan ym. 2012, 278):

$$\kappa = A/l \times 1/R \quad (7)$$

Näytekennon pituus ja tilavuus säilyvät samana, joten kennon geometriasta käytetään myös termiä kennovakio,  $\kappa_{\text{kenno}}$  (Orellana 2011, 258). Sähkönjohtavuus ilmoitetaan sieverteinä (S) sillä mittayksiköllä, jolla kennongeometria on laskettu. Analyysimittauslaitteissa käytetty yksikkö on tyypillisesti mS/cm. Menetelmän käyttöä, esimerkiksi tullevan jäteveden sähkönjohtavuuden mittaamiseen, rajoittaa suojojen kertyminen elektrodeille, joten voimakkaasti johtavien vesien mittaamiseen käytetään neljään elektrodiin perustuvaa potentiometristä menetelmää. (Orellana 2011, 258; WTW 2013, 11.)

Toinen yleinen sovellus sähkönjohtokyvyn mittaamiseen jätevedestä on **induktiivinen mittaus** (kuva 11), josta valmistajat käyttävät myös nimitystä *toroidal* (rengasmainen) tai elektroditon mittaus. Mittaus perustuu kahteen sähköä johtavaan renkaaseen, jotka on yleensä päällystetty yhdessä suojaavalla kuorella. Renkaiden läpi virtaavan nesteen sähkönjohtavuutta mitataan etummaiseen renkaaseen syötettävän virran muodostaman magneettikentän avulla, joka aiheuttaa jännitteen renkaan läpi virtaavaan ionipitoiseen nesteeseen. Toinen rengas mittaa syntynyttä sähkövirtaa ja virran suuruus on suoraan verrannollinen nesteen sähkönjohtavuuteen. (Emerson 2010.)



**KUVA 11. Induktiivisen sähköjohtokyvyn mittaamisen periaate (Emerson 2010)**

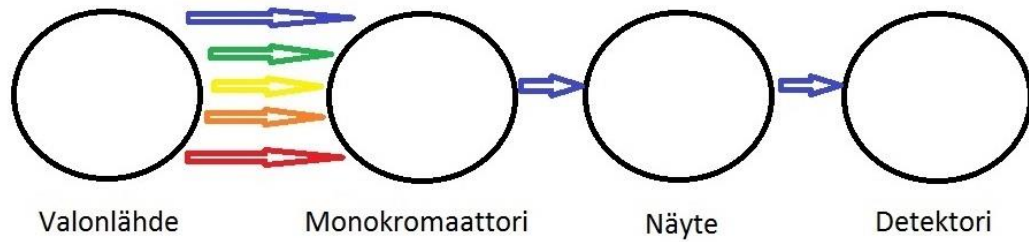
### 3.4 Optiset menetelmät

Optisissa menetelmissä (Optical sensors, Optodes) mittaustulos perustuu sähkömagneettisen säteilyn intensiteetin tai optisten muutosten mittaamiseen vedessä olevan aineen vaikutuksesta. Mitattavia suureita ovat mitattavan aineen läpäisevä säteily (transmittanssi), luminenssi, sironta ja taittokertoimen muutoksiin perustuvat ilmiöt.

#### 3.4.1 Absorptio, UV-VIS-IR spektrometria ja kolorimetria

Laittevalmistajat käyttävät absorptiota mittaavasta tekniikasta nimitystä photometer, joka tarkoittaa näkyvän tai lähellä näkyvää olevan valon intensiteettiä mittaavaa laitetta. Analyysimittauksissa käytetään usein kolorimetristä tekniikkaa, joka tarkoittaa yhdellä aallonpituudella tapahtuvaa mittausta (Blan 2012, 271). Menetelmä soveltuu hyvin yhden parametrin määrittämiseen ja esimerkiksi kaikki optiset fosforimittaukset ovat kolorimetrisiä mittauksia.

Usein fotometrin yhteydessä käytetään käytettävää aallonpituusalueita kuvaavaa etuliitettä, UV, VIS ja/tai IR. UV tarkoittaa ultraviolettia (ultraviolet), VIS näkyvää (visible) ja IR infrapunaista (infrared) aallonpituusalueita. Mittauksen pääkomponentit on esitetty kuvassa 12. Näytettä valaistaan monokromaattorilla haluttuun aallonpituuteen rajatulla valolla ja detektori mittaa näytteen läpi päässeän valon. (Jaarinen & Niiranen 2005, 55.)



**KUVA 12. Spektrofotometrin pääkomponentit (Jaarinen & Niiranen 2005, 55)**

Fotometrisen tekniikan perusteena on aineiden erilaiset ominaisuudet absorboida säteilyä ja verrata absorptiota näytteeseen menevään säteilyyn aallonpituuden funktiona. Sähkömagneettinen säteily sisältää tietyn määrän energiaa, jonka energiayksikkö on fotoni. Kun fotoni luovuttaa energiansa aineelle, kutsutaan ilmiötä absorptioksi. Fotonin energia on suhteessa säteilyn taajuuteen  $\nu$ , joka on suhteessa aallonpituuteen  $\lambda$  (Jaarinen & Niiranen 2005, 48, 55):

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (8)$$

Missä  $h$  on Plancin vakio  $6,62 \times 10^{-34}$ ,  $\nu$  on säteilyn taajuus,  $c$  on valon nopeus tyhjiössä  $3 \times 10^8$  m/s. Kun säteily  $P_0$  kulkee näytteessä, sen säteilyteho  $P_\lambda^0$  absorboituu eksponentiaalisesti (Jaarinen & Niiranen 2005, 52):

$$A = \log_{10}(P_\lambda^0 / P_0) \quad (9)$$

Ennen kuin säteily päästetään näytteeseen, sen aallonpituus erotellaan monokromaattisilla hilla ja suotimien avulla haluttuun aallonpituuteen. *Lambert-Beerin* lain mukaan säteilyn absorbanssi on riippuvainen näytteen pitoisuudesta  $C$ , näytteessä kulkemastaan matkasta  $b$  ja molaarisesta absorptiokertoimesta  $\epsilon$ , mikä on jokaiselle aineelle ominainen aallonpituuden funktio (Jaarinen & Niiranen 2005, 47, 52, 57):

$$A = \epsilon C b = \log_{10}(P_\lambda^0 / P_0) \quad (10)$$

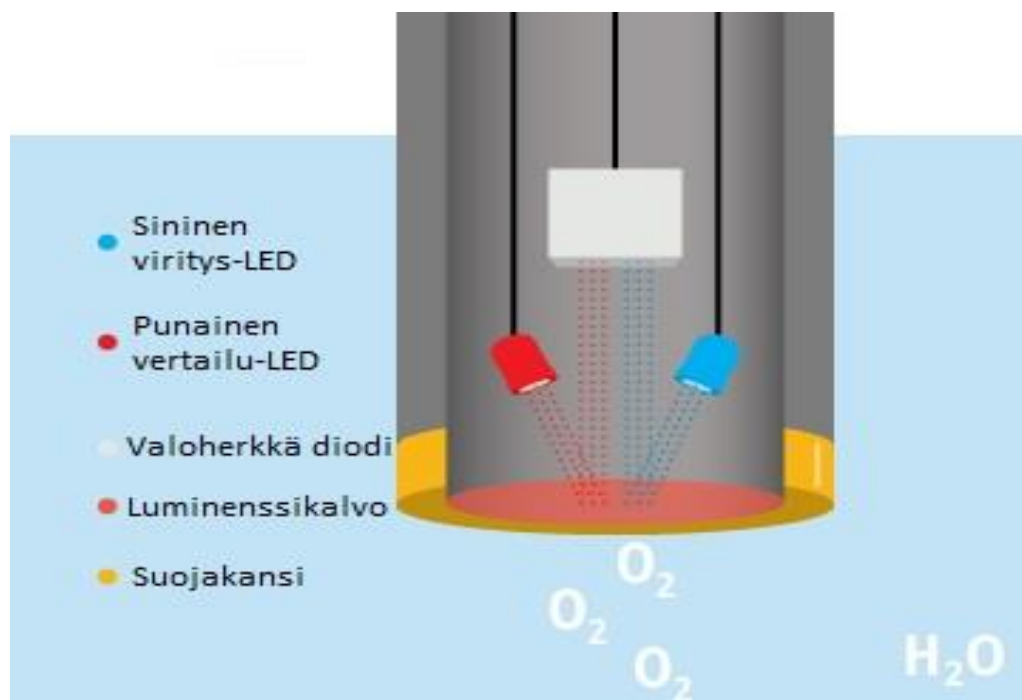
Spektrometrin detektori mittaa transmittanssia, joka on logaritmisesti suhteessa absorbanssiin (Jaarinen & Niiranen 2005, 52):

$$A = -\log T \quad (11)$$

### 3.4.2 UV-VIS Luminenssi, luminesenssispektrometria

Absorptio aiheuttaa aineessa energiatason hetkellisen virittymisen korkeammalle tasolle, jonka purkautumista kutsutaan emissioksi. Joissakin aineissa purkautuminen voi tapahtua lämmön sijaan valona ja siinä tapauksessa emission mittaaminen on hyvin herkkä ja spesifinen menetelmä (Jaarinen & Niiranen 2005, 68). Virittymisen purkautumista valona kutsutaan luminenssiksi, jolla voi olla useita muotoja, kuten fluoresenssi ja fosforenssi (IUPAC 2014). Mitattava emissio on suoraan suhteessa säteilyn absorbanssiin, mutta emission mittaaminen ei ole yhtä suora tapahtuma kuin transmittanssin mittaaminen (Jaarinen & Niiranen 2005, 49). Fluoresenssi säteilee tasaisesti ympärilleen, joten suurin osa mitattavissa olevasta intensiteetistä ei osu anturiin. (Gaigalas & Li 2001, 383.)

Yleinen puhdistamoilla käytettävä luminenssiin perustuva mittaus on liuenneen hapen optinen mittaus. Mittauksen periaatetta on esitetty kuvassa 13. Anturin suojakannen sisäpinta on päällystetty valoherkällä kalvolla (esim. Hach LDO:ssa platinaseos), jonka pinnassa tapahtuu hapen läsnä ollessa aineen virittymistä, kun seosta valaistaan kalvon aallonpituusherkkyyttä vastaavalla sinisellä valolla. Virittyminen purkautuu luminenssina, jonka intensiteetti on kääntäen verrannollinen hapen määrään kalvon toisella puolella. Luminenssia mittaamassa on valoherkkä diodi. (Mitchell 2006, 3.)

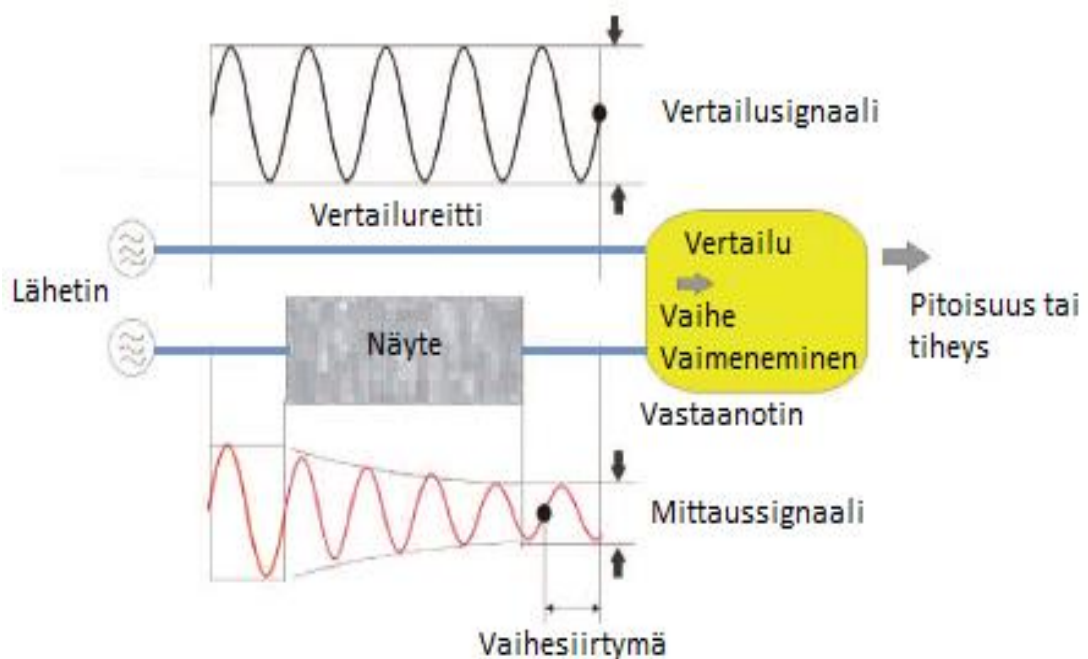


KUVA 13. Optisen hapen anturin pääkomponentit (Kemker 2014b)

Anturin suojakansi on päällystetty valoa läpäisemättömällä aineella hajavalon vaikutuksen estämiseksi. Sinisen valon lisäksi anturissa on punainen led, jonka valo ei aiheuta kalvossa virittymistä ja heijastuu anturin sisäpinnalta intensiteettiä mittaavalle diodille. Kun mittaus vuorottelee sinisen ja punaisen ledin välillä, punaisella valolla saadaan määritettyä anturin sisäinen vertailuarvo pitoisuuden laskemiseksi. (Mitchell 2006, 3-4.)

### 3.4.3 Vaimeneminen, mikroaalto

Mikroaallojen aallonpituutta käytetään teollisuudessa ja jätevedenpuhdistamoilla erityisesti lietteiden kiintoainepitoisuuksien mittaamiseen (Metso 2013). Mittausprosessin eri tekijöitä on kuvattu kuvassa 14. Mittauksia on toteutettu läpäisyajan muutosten (Poutiainen ym. 2009), vaihesiirron (Toshiba 2009) sekä vaimenemisen (Klute 2009) perusteella.



**KUVA 14. Mikroaaltomittauksen periaate (Klute 2008)**

Vedessä olevat partikkelit vaikuttavat mikroaallojen etenemisnopeuteen. Nopeus on esitettävissä kaavalla:

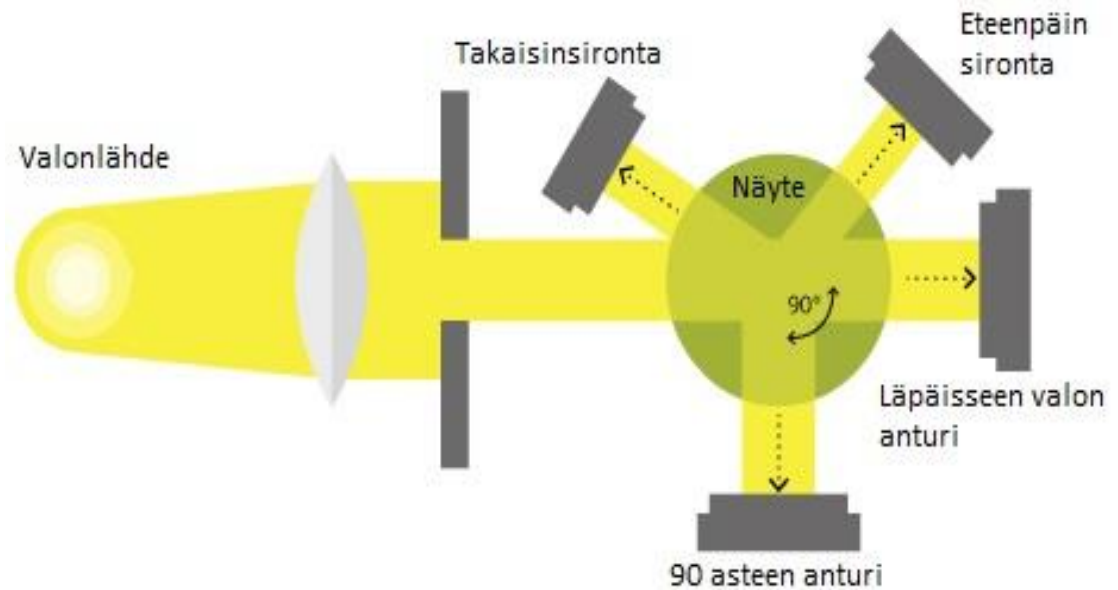
$$v = c \sqrt{\epsilon_r} \quad (12)$$

jossa  $c$  on valon nopeus tyhjiössä  $3 \times 10^8$  m/s, ja  $\epsilon_r$  on aineelle ominainen dielektrisyysvakio. Puhtaan veden dielektrisyysvakio on huomattavasti kiintoaineiden dielektrisyttä suurempi, joten kiintoaineen määrä vaikuttaa mikroaaltojen nopeuteen näytteessä. Mikroaaltojen nopeutta näytteessä verrataan dielektrisyysvakioon perustuvaan nopeuteen puhtaassa vedessä, jonka perusteella voidaan laskea näytteen kiintoainepitoisuus. (Poutiainen ym. 2009.)

Toinen lähestymistapa on samoihin yhtälöihin perustuva kuin spektrometrin kohdalla. Mikroaaltojen energia vaimenee nopeasti polaarisen aineen, kuten veden, vaikutuksesta, mikä mahdollistaa pitoisuuden määrittämisen. Poolittomat yhdisteet vaimentavat säteilyä huomattavasti heikommin kuin vesi, joten veteen liunneen aineen pitoisuuden määrittäminen on kääntäen verrannollinen säteilyn vaimenemiseen sekä vaihesiirtymään näytteessä. (Klute 2008.)

#### 3.4.4 Valon sironta

Sirontaan perustuvien mittausten periaatteena on mitata valolle tapahtuvia ilmiöitä nesteessä. Kun valo ohjataan liukenemattomia aineita sisältävään liuokseen, osa valosta läpäisee liuoksen ja osa siroaa ympäristöön tai absorboituu liuoksessa oleviin hiukksiin. Valon yhteen tai useampaan suuntaan tapahtuvan sironnan mittaamiseen perustuvia laitteita kutsutaan nefelometreiksi (esimerkiksi  $90^\circ$  nefelometreiksi) ja valon läpäisevyyttä mittaavia turbidimetreiksi. Käytetyn tekniikan perusteella tulokset ilmoitetaan eri yksiköinä, esimerkiksi *formazine nephelometric unit* (FNU), *nephelometric turbidity unit* (NTU) tai *formazine turbidity unit* (FTU). Eri yksiköitä käytetään eri mittaustekniikoiden yhteydessä, mutta kaikki ovat suhteellisia formasiinista valmistettavaan standardiliuokseen (Daly 2007, 9). Kuvassa 15 on periaatekuva sironnan mittauksen järjestämisestä. Eri suunnista tapahtuvalla mittauksella saadaan tarkempi ja luotettavampi tulos vaihtelevissa olosuhteissa. (Kemker 2014a.)



**KUVA 15. Valon sironnan mittauksen periaatteet (Kemker 2014a)**

Jätevedessä mitattuun tulokseen vaikuttaa korottavasti tai vähentävästi useita tekijöitä, kuten kaasukuplat, kaasukuplien sisältämä aine, kiintoaine, hiukkaskoko, tiheys tai väri. Eri tekijöiden merkittävyyteen voidaan vaikuttaa eri tekniikoilla, joiden käyttöönotto edellyttää virhelähteiden tunnistamista (Sadar 2002, 2). Pitoisuusmittauksiin verrattuna sameuden mittaaminen on kuitenkin kalibroitunakin epämääräisempää prosessiolosuhteista johtuen ja kahden eri prosessin arvoja ei voida verrata keskenään. Herkkyyttä olosuhdemuutoksille voi kuitenkin käyttää mittauksissa myös hyväksi seuraamalla tarkan arvon sijaan trendiä. Kun olosuhteet muuttuvat prosessissa, muuttuu myös mitattu tulos. (Daly 2007, 19.)

### 3.5 Ohjelmistoanturit

Ohjelmistoanturilla (ts. virtuaalianturilla) tarkoitetaan matemaattiseen mallintamiseen tai mittaustuloksien soveltamiseen perustuvaa mittausta. Nimitys tulee englannin kielestä termistä *softsensor*, jossa *soft* tarkoittaa softwarea (tietokoneohjelmaa) ja *sensor* samanlaisia arvoja tuottavaa toimintoa kuin anturit tuottavat. Ohjelmistoanturit ovat siis tietokoneohjelmia, jotka toimivat prosessin ohjauksessa samoin kuin mikä tahansa mittaustieto. (Kadlec ym. 2012, 2.)

Ohjelmistoanturien toteutukset jakautuvat kahteen ryhmään tuloksen laskentatavan perusteella. Englannin kielisiä termejä tavoille ovat *data-driven* ja *model-driven* softsensors. Model-driven-ohjelmistoanturit toimivat prosessisuunnitteluun kehitettyjen eri prosessimallien perusteella ja data-driven-ohjelmistoanturit käyttävät hyväkseen jo olemassa olevien anturien tuottamaa tietoa prosessista. Malleihin perustuvia ohjelmistoantureita kutsutaan myös nimellä white-box-malli, sillä niihin on ohjelmoitu kaikki mittaukseen liittyvä prosessin ilmiöiden tieto. Matemaattisina malleina voidaan käyttää esimerkiksi aktiivilieteprosessien ASM-malleja tai muita vastaavia malleja (Haimi 2016, 27). Vastaavasti mittaustuloksista kerättyyn historiatietoon perustuvat ohjelmistoanturit eivät sisällä mitään tietoa prosessista ja niitä kutsutaan black-box-malleiksi. Historiatiedon soveltamiseen käytetään erilaisia tilasto- ja tietojenkäsittelytieteellisiä algoritmeja prosessiolosuhteiden ennustamiseen. Näiden ääripäiden välille on kehitetty useita eri yhdistelmiä, joissa hyödynnetään kerättyä tietoa kehittyneisiin prosessimalleihin. (Kadlec ym. 2012, 16.)

### 3.6 Esikäsittelemenetelmät ja automaattiset puhdistusjärjestelmät

Useimpiin anturimallisiin mittauksiin voidaan liittää lisävarusteena erilaisia automaattisia puhdistuslaitteita tai -järjestelmiä, joilla voidaan pidentää huoltoväliä ja/tai parantaa laitteen tarkkuutta. Analysointilaitteiden kohdalla esikäsitteily on useimmiten välttämätöntä, sillä laitteen sisäiset mikropumput ja putket ovat erittäin pieniä ja kiintoainetukiksi laitteen nopeasti.

**Suodatin.** Suodatin on yksinkertainen kiintoaineen vaikutuksen vähentämiseen tai poistamiseen tarkoitettu laite, jossa ei ole omaa pumppausta. Suodatinratkaisuja on useita, esimerkiksi kuitusuodattimia, membraanikalvoja tai keraamisia patruunoita. (Hach 2012.)

**Suodatinjärjestelmä.** Suodatinjärjestelmään kuuluu näytteen pumppaus, suodatus ja mahdollisesti suodattimen automaattinen puhdistus joko jatkuvatoimisella pesurilla tai vastavirtahuuhtelulla ilmalla tai vedellä. Useilla valmistajilla on tarjolla eri suodatinmateriaaleihin perustuvia itsepuhdistavia suodatinyksiköitä. (Endress 2010.)



**Ultraääni.** Ultraääni aiheuttaa nesteen kavitoimisen anturin ympärillä. Anturin pinnalle kiinnittyneet ilmakuplat, saostumat tai kiintoaine liukenevat tai irtoava virtauksen vaikutuksesta. (Endress 2014.)

**Paineilma.** Paineilmasuihku toimii samalla tavalla kuin ultraäänipuhdistin. Etuna ilma aiheuttaa veden pyörteilyä anturilla, joka tehostaa epäpuhtauksien poistamista anturin läheisyydestä. Luonnollisesti paineilmapuhdistus ei ole paras sovellus optisille menetelmille tai happiantureiden puhdistukseen. (WTW 2013, 13.)

**Mekaaninen pyyhin.** Menetelmässä viton- tai silikonikumisen pyyhkijäsulan avulla pidetään anturin ikkuna puhtaana. (Hach 2009.)

## 4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Instrumentoinnin tilaa on aiemmin tutkittu työssä *Advanced operation and control methods of municipal wastewater treatment processes in Finland* (Haimi ym. 2009). Tutkimus tehtiin kyselytutkimuksena, joten samaa menetelmää käytettiin myös tässä. Haimin ym. työn perustana oli 2004 vesi- ja viemäriulaitosyhdistyksen julkaisema Jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset (Kangas 2004). Laitevalikoimaa kartoitettiin markkinatilanneselvityksellä laitetoimittajien valikoimien perusteella.

### 4.1 Markkinatilanneselvitys

Analyysimittausten toimintaperiaatteet vaikuttavat oleellisesti laitteiden käyttöominaisuuksiin. Samaa parametria voidaan mitata mahdollisesti usealla eri menetelmällä, joilla on omat käytettävyyteen vaikuttavat ominaisuutensa. Käytettävissä olevien laitteiden selvittämiseksi, analyysimittauksista laadittiin markkinatilanneselvitys kotimaisien laitetoimittajien valikoimissa olevien mittausten teknisistä ominaisuuksista. Analyysimittausten tilanneselvityksen materiaaleina ovat laitetoimittajien tai -valmistajien tarjoamat laitekohtaiset tekniset tiedot.

Analyysimittauksia on koottu laitemallien perusteella taulukkomuotoon. Laaja taulukko on työn liitteenä 1. Esitetyt tiedot ovat peräisin valmistajien emoyhtiöiden verkkosi-

vuilta olevista tai ladattavissa olevasta materiaaleista. Etsittyjä sanoja olivat *specifications, datasheet, technical data, manual* tai vastaava. Jos laitteesta oli olemassa ladattava pdf-dokumentti, tiedot kerättiin siitä. Laitteista pyrittiin selvittämään mittauseriaate, mittauserialue, erotuskyky, tarkkuus ja vasteaika. Kaikkia tekijöitä ei ollut laitteiden esitteissä tai verkkosivuilla esitetty ja ne kohdat on jätetty tyhjäksi. Kaikki esitetyt arvot ovat siinä muodossa kuin ne ovat esitteissä esitetty. Kerätyt tiedot ovat vain julkisesti saatavilla olevasta ja valmistajan ilmoittamasta materiaalista, tietoja ei pyydetty erikseen.

## 4.2 Kyselytutkimus

Analyysimittaukset vaativat jatkuvaa huoltoa ja niiden toimintaa täytyy varmentaa tarkistuksilla, kalibroimalla ja vertaamalla mittaustuloksia käyttötarkkailun laboratorioanalyysien tuloksiin. Huollon ja kalibroinnin vaativuuden lisäksi laitteissa saattaa olla sellaisia käytön aikaisia ominaisuuksia, jotka eivät tule ilmi laitetoimittajien esitteissä. Mittausten ryömiminen tai laitteiden taipumus likaantua herkästi ovat ominaisuuksia, jotka tulevat ilmi vain käyttöhenkilökunnan kokemuksista. Jo käytössä olevien laitteiden tehokas hyödyntäminen tai näköpiirissä olevien instrumentointihankintojen suunnittelu edellyttävät myös heikosti toimineiden mittausten ja toimintaa parantavien ratkaisujen selvittämistä. Vertaamalla laitosten kokemuksia helppohoitaisista ja perusteluista mittauksista, voidaan arvioida, mitkä mittaukset voisivat olla sellaisia nykyisen puhdistusprosessin perusmittauksia, joiden hankintaa voidaan suositella.

Käytännön tilanteen selvitys jakautui kahteen vaiheeseen. Ensimmäisenä suunniteltiin ja lähetettiin jätevedenpuhdistamoiden laitoshenkilöstölle kohdistettu kysely käytännön havaintojen selvittämiseksi, jota tarkennettiin henkilökohtaisilla haastatteluilla ja vierailuilla yksityiskohtien selvittämiseksi. Tällainen tarkennus oli esimerkiksi sameus- tai kiintoainemittauksen kohdentaminen allasmittauksen tai lietteenkuivaukseen syötettävän lietteen mittauksen välillä. Käytetty kysely on työn liitteenä 2.

Kysely viimeisteltiin vertaisarvioinnin avulla lähettämällä kysely kolmelle varsinaisen kohderyhmän ulkopuolella olevalle, mutta alalla työskentelevälle henkilölle. Saadun palautteen perusteella kysely viimeisteltiin lopulliseen muotoonsa. Kyselyssä oli viisi pääteemaa:

- laitoksen perustiedot
- käytössä olevat laitteet, valmistajat ja toimittajat
- analyysimittausten toiminta ja käyttöominaisuudet
- laitteiden huolto
- mittaustiedon käyttö

Laitoksen perustietojen täyttäminen olivat ns. ”lämmittelykysymyksiä”, joilla heräteltiin vastaajia vireeseen tulevia kysymyksiä varten. Samalla saatiin laadittua yhteenveto kyselyyn vastanneista laitoksista. Käytössä olevat laitteet, valmistajat ja toimittajat kysyttiin erikseen, sillä arvion mukaan osa vastaajista ilmoittaa laitteen valmistajan toimittajan nimen mukaan. Näin myös tapahtui ja laitetoimittajilta varmistettiin, että kyseessä on juuri heidän edustamansa laite, eikä heidän nimellä myytävä laite.

Kyselyn puolivälissä kysyttiin tulosten kannalta tärkeitä tietoja laitteiden toiminnasta, käyttöominaisuuksista ja huollettavuudesta. Suurin osa kysymyksistä oli ”rasti-ruutuun”-kysymyksiä, joita täydennettiin mahdollisuuksilla sanallisiin ”avoimiin vastauksiin”. Kyselyn lopuksi kysyttiin mittaustiedon käyttöä. Alue jakautui mittaustiedon nykyiseen käyttöön ja siihen, miten laitokset haluaisivat mittaustiedon käyttöä päivittää.

Kysely julkaistiin verkkopohjaisena Webropol-kyselynä huhti-toukokuussa 2016, jonka muotoilussa käytettiin Ramboll Finland Oy:n asiantuntijoiden apua. Tarkempana kohderyhmänä olivat ensisijaisesti puhdistamonhoitajat ja toisena vaihtoehtona prosessi- ja käyttöinsinöörit, joilta arvioitiin löytyvän hyvin käytännön näkemyksiä analyysimittauksista. Kysely lähetettiin vesihuoltoyhtiöiden ja kuntien verkkosivuilta löytyneiden tietojen perusteella yhteensä 216 henkilölle. Vanhentuneiden osoitetietojen, lomien, laitosten yhdistämisten ja henkilövaihdosten vuoksi kysely tavoitti lopulta 176 vastaajaa, jotka edustivat 169 laitosta.

Käytännön selvityksen toisessa vaiheessa tutustuttiin neljään jätevedenpuhdistamoon laitteiden toimivuuden, käyttökokemuksien ja erilaisten ratkaisujen selvittämiseksi. Vierailuilla haastateltiin käyttöhenkilökuntaa kyselyiden tulosten selittämiseksi ja käytettyjen ratkaisujen kuvaamiseksi. Vierailujen lisäksi tietoja tarkennettiin puhelimitse kuudeltatoista puhdistamolta, esimerkiksi kiintoainemittausten käyttötarkoituksen ja laitetyypin osalta. Puheluissa keskusteltiin myös muiden analyysimittausten toimin-

nasta, näkemyksistä mittaustiedon käytöstä sekä yleisesti laitosautomaation kehityksestä. Vierailuilla keskusteltiin samoista asioista kuin puhelimitse ja tutkittiin laitosten käytäntöjä mittausten järjestämiseksi. Osa vierailuista järjestettiin yhdessä työn tilaajan kanssa ja osan työn tekijä teki yksin. Haastatteluiden tuloksia on käytetty kyselyn tulosten selittämisessä.

## **5 INSTRUMENTTITOIMITTAJAT JA LAITTEET SUOMESSA**

Maailmanlaajuisesti analyysimittauslaitteiden valmistajia on lähes sata, mutta pääosa markkinoista on vain muutamien suuren toimijan hallussa (Olsson ym. 2013). Teknologian kehittyminen mahdollistaa pienienkin toimijoiden menestymisen, sillä yhä tarkemmille ja erikoistuneemmille laitteille syntyy kysyntää. Hankaluutena erikoistuneiden mittausten markkinoimiseksi puolestaan on instrumenttitoimitusten keskittäminen kokonaistoimituksiksi, minkä vuoksi instrumentit hankitaan yhdeltä laitetoimittajalta. Puhdistamon hoidon kannalta on toisaalta kätevää, kun kaikki laitteet kuuluvat samaan tuoteperheeseen ja asiointi tapahtuu saman henkilön kanssa kaikkien mittalaitteitten kannalta.

### **5.1 Laitetoimittajat**

Merkittäviä, lähes kaikkia jätevesiprosessin analyysimittauksia toimittavia, laitetoimittajia Suomessa ovat ABB, Endress+Hauser (MetsoEndress), Hyxo ja Christian Berner. Hyxo edustaa Hach&Langea ja Christian Berner WTW:tä. Hieman harvinaisempia, mutta mielenkiintoisia, tässä luvussa esitettyjä mittauksia ovat YSI ja S::can, joita suomessa edustaa vesistötutkimukseen erikoistunut Luode Consulting. Valmet puolestaan on merkittävä lietteiden kiintoainepitoisuutta mittaavien laitteiden valmistaja. Labkotec edustaa ThermoFisherä, jolta löytyy erityisesti pH- ja sähkönjohtokyky mittauksia, mutta myös muita mittalaitteita. Analyysimittauksia toimittavat myös Metrohm, Prominent, Sarlin (Honeywell ja Chemitec) ja Sintrol (mm. Swan ja AppliTek).

Taulukoissa ei voida esittää kaikkia yhteistyöliittymien tai tytä- ja sisaryhtiöiden laitteita, jotka voivat olla täysin yhteensopivia jokaista osaa myöten. YSI ja WTW ovat molemmat Xylemin tuotemerkkejä ja useat mittaukset ovat identtisiä jopa mallinimeä

myöten, joten taulukossa esiintyvä YSI:n IQ-sarjan anturi on täysin sama kuin vastaavan niminen WTW. Molemmilla tuotemerkeillä on kuitenkin myös omia mittalaitteita. Kokonaan oma lukunsa ovat nimet Valmet, Metso, Kajaani ja Endress+Hauser, jotka valmistavat sekä omia mittalaitteita, että ovat vuosien aikana tehneet yhteistyötä laitteiden kehittämisessä tai valmistamisessa. Yhteistyön tuloksena syntyneitä laitteita voi esiintyä eri nimillä, mutta ovat teknisesti toisiaan vastaavia. Esimerkiksi Kajaani TS, Metso TS ja Valmet TS ovat samanlaisia mittauksia eri vuosilta, tosin kehitystä on vuosien aikana tapahtunut ja yksityiskohdissa voi olla eroa. Nykyiset ja taulukossa käytettävät tuotemerkit ovat Valmet ja Endress+Hauser, jotka edelleen tekevät tiivistä yhteistyötä, mutta valmistavat omia mittauksiaan (Karaila 2016).

## 5.2 Analyysimittaukset

Useista mittauksista on eri malleja tai versioita eri mittausalueille, joiden teknisiä tietoja on esitetty tarkemmin liitteessä 1. Samoin useissa mittauksissa on eri parametreja mittaavia mittapäitä, mutta tiivistelmissä esitetään vain kyseisen taulukon parametrin mitaus. Tässä on esitelty valmistajien tuotemerkit ja perusmallit sekä tiivistetysti teknisiä ominaisuuksia.

### 5.2.1 Taulukoiden termit

**Kirjaimet S ja A** viittaavat mittarimalliin silloin kun taulukossa on esitetty molempia, analysaattoreita ja antureita. S tarkoittaa anturia (Sensori) ja vastaavasti A analysaattoria.

**Mittausperiaate** selvittää käytetyn mittausteknologian. Eri valmistajien samaa mittaus tapaa käyttävät laitteet ovat ominaisuuksiltaan hyvin samanlaiset, joten eri tekijöitä voi arvioida muiden vastaavien laitteiden ominaisuuksien perusteella. Eri mittauksilla on myös hyviä ja heikkoja ominaisuuksia, joten mahdolliset vaihtoehtoiset tavat on hyödyllistä huomioida heikosti toimivia laitteita vaihdettaessa.

**Mittausalue** kertoo, mille mittausalueelle laite tai laiteversio on suunniteltu. Yleisesti laitteiden tarkkuus ja erotuskyky voivat heikentyä mittausalueen ääripäissä, joten ratkaisuna monesta laitteesta on useita eri mittausalueille soveltuvia versioita. Versiot saat-

tavat olla tehdaskalibroituja ilmoitetulle alueelle ja mitta-alueen vaihto onnistuu helposti kentällä, mutta joissakin ero on rakenteessa ja edellyttää osien ja/tai ohjelmiston vaihtoa.

**Erotuskyky** tarkoittaa pienintä pitoisuutta, jonka laite pystyy erottamaan. Erotuskyky on usein sama kuin mittaus-alueen alaraja, mutta joissakin tapauksissa mittausalue on ilmoitettu alkavan nollassa, eikä erotuskykyä ole ilmoitettu. Erotuskyvyn lisäksi valmistajat saattavat käyttää ilmaisua resoluutio, jota käytettiin tuloksissa, ellei valmistaja ilmoittanut resoluution tarkoittavan sitä tarkkuutta millä tulos ilmoitetaan näytöllä.

**Tarkkuus** on ilmoitettu valmistajan ilmoittamasta tarkkuusalueesta tulosten kannalta heikoimman ilmoitetun tarkkuuden perusteella. Monet mittaukset ovat lämpötilariippuvaisia tai tarkkuudet vaihtuvat eri pitoisuuksilla. Jos valmistaja on ilmoittanut laitteen soveltuvan tietylle mittausalueelle ja eri tarkkuuksia eri alueille, tässä ilmoitetaan koko mittausalueen heikoin tarkkuus. Usein mittausten kohdalla tarkkuus on ilmoitettu mittausalueeseen suhteutettuina prosentteina. Esimerkiksi 5 %:n tarkkuus 0–100 mg/l mittausalueella tarkoittaa maksimissaan 5 mg/l mittausvirhettä. Joissakin laitteissa tarkkuus on suhteutettu taas mittauksen lukemaan, jolloin mittausvirhe on eri alueilla erisuuruinen. Tasapuolisuuden nimissä: jos lukema on mittausalueen ylärajalla, on tarkkuus silloin sama kuin edellä esitetystä tavasta ja edustaa laitteen silloin heikointa tarkkuutta, joten näitä tapoja ei eritellä taulukoissa.

Tarkkuudelle on olemassa eri määritelmiä. Tässä tarkkuudella tarkoitetaan ulkoista tarkkuutta, eli virheen suhdetta todelliseen arvoon. Toinen tarkkuutta tarkoittava termi on täsmällisyys, eli satunnaisuuteen perustavan virheen suuruus (Pulli 2015, 6). Täsmällinen mittaus mittaa toistuvasti saman arvon, mutta mahdollisesti ohi todellisesta arvosta. Laitevalmistajien dokumenteissa termistä käytettiin nimityksiä *precision* tai *repeatability*, mutta ilmoitettujen arvojen harvinaisuuden ja monimutkaisten esitystapojen vuoksi, niitä ei tässä työssä taulukoida.

**Vasteaika** tarkoittaa, kuinka usein mittauksella on mahdollista tuottaa tuloksia tai kuinka kauan yhden tuloksen mittaus menetelmällä kestää. Näillä on eroa, sillä vaikka mittausmenetelmä voi olla nopea, erityisesti analysointivaiheiden mittaussyklit sisältävät muitakin toimia kuin mittauksen, ainakin automaattisen puhdistuksen. Valmistajat ilmoittavat vasteajat yleensä todennäköisyysuhteella. Esimerkiksi ilmaisu t90 tarkoittaa

missä ajassa 90 % mittauksista on luettavissa. Käytännössä 95 %:n lukema voi olla heikompi, jos joka kymmenes mittaus sisältää laitteen automaattisen pesun tai kalibroinnin. Automaattiset toimet asetetaan tapauskohtaisesti, joten jos valmistaja ilmoittaa useamman vasteajan, on taulukkoon kirjattu niiden ääripää.

Joissakin tapauksissa antureilla saattaa olla käyttörajoitteita, esimerkiksi virtaaman, käyttölämpötilan tai pH:n suhteen. Rajoitteita ei ole taulukoissa mainittu, mikäli rajoite ei ole selvästi normaaleista puhdistamon olosuhteista poikkeava. Myöskään valmistajan ilmoittamia huoltovälejä ei ole lueteltu, sillä vain harvan mittauksen yhteydessä sellainen oli ilmoitettu ja lähes joka tapauksessa huolto oli määritelty eri tavalla, joten vertailu ei olisi ollut hyödyllistä. Vastaavasti osassa antureita on käytön kannalta hyödyllisiä ominaisuuksia, joita ei asiayhteydessä erikseen mainita kuin huomautuksena. Esimerkiksi tyypiantureiden yhteydessä osa antureista ovat ns. monitoimiantureita, jotka mittaavat esitetyn parametrin ohella useita muitakin parametreja, kuten COD, kloridi tms. Nämä ominaisuudet saattavat vaatia eri anturipäitä tai muita sellaisia toimenpiteitä, joiden erittelemine tekisi taulukoista sekavia tai hankalia, joten niistä tekijöistä on vain maininta anturin yhteydessä.

Analyysimittausten ohessa on esitetty esimerkkejä eri valmistajien huolto- ohjelmista havainnoimaan eri mittaukstopojen välisiä eroja huollon kannalta. Luonnollisesti huollettavuuteen vaikuttavat useat paikalliset tekijät, joko eroa kasvattavasti tai pienentävästi, mutta valmistajien ilmoittamien huoltovaiheiden perusteella eri tekniikoita voidaan verrata vaiheiden ja kuluviien osien määrän suhteen. Jokaisen mittauksen kohdalla on verrattu saman valmistajan ilmoittamia huolto- ohjelmia silloin kun se on mahdollista, sillä huolto- ohjelmien muoto vaihtelee eri valmistajilla. Huolto-ohjelmat ovat siis esimerkkeinä; ne eivät ole yleispäteviä menettelyitä kaikille samaa tekniikkaa käyttävillä laitteille.

### **5.2.2 Happi**

Liuenneen hapen analyysimittauksia on esitetty taulukossa 1. Useimpien valmistajien valikoimissa on mittauksia sekä ioniselektiivisinä että optisina laitteina. Kaikki ilmoitetut optiset mittaukset olivat VIS-luminenssimittauksia. Tyypillinen mittausalue oli 0-20 mg/l ja erotuskyky 0,1 mg/l tai alle.

**TAULUKKO 1. Liuenneen hapen mittaukset**

<b>Malli</b>		<b>Mittausalue</b>	<b>Erotuskyky</b>	<b>Tarkkuus</b>
		mg/l	mg/l	mg/l/ %
<b>ABB</b>				
9408				±0,2 / 0,2%
9437	ISE amperometri	0-20	0,1	±5%
ADS430	VIS luminenssi	0-50	0,01	0,1-0,2
<b>Endress+Hauser</b>				
Oxymax COS61	VIS luminenssi	0-20		± 1-2%
Oxymax COS51	ISE amperometri	0,01-100	0,01	± 1%
<b>Hach&amp;Lange</b>				
Evita Oxy	ISE amperometri	0-20		±0,1 -0,5%
5740 sc	ISE amperometri	0-40	0,01-0,1	± 2%
LDO	VIS luminenssi	0,01-20	0,01	± 0,05-0,2
<b>Prominent</b>				
Dulcotest DO	ISE amperometri	0,1-10		±0,5%
<b>S::can</b>				
Oxi::lyser	VIS luminenssi	0-25	0,01	±0,02/ ±1%
<b>Thermo Scientific</b>				
RDO Pro-X	Optinen	0-20	0,01-0,1	±0,1 -0,2
<b>Honeywell</b>				
DL5000	ISE amperometri			±0,2
<b>YSI/ WTW</b>				
FDO 925	VIS luminenssi	0-20		± 0,5%
FDO 700/701 IQ	Optinen	0-20	0,01	± 0,05 - 0,1
TriOxmatic IQ	ISE	0-60	0,1	

Happiantureiden huolto ja huoltovälit eri mittausmenetelmien osalta poikkeavat toisistaan. Ioniselektiivisissä antureissa on enemmän kuluvia ja tarkastettavia osia. Osassa mittauksissa anturipää on vaihdettavissa ”pakettina”, jolloin samalla vaihtuvat membraani, elektrolyytti ja katodi. Osassa mittauksista osat ovat huollettavissa erikseen. Esimerkkinä Endress+Hauserin Oxymax COS51 -ioniselektiivisten antureiden huolto-ohjelma sisältää:

- anturin puhdistus
- tiivisteiden vaihto
- katodin puhdistus
- elektrolyytin vaihto (0,5 – 1v)
- membraanin vaihto
- toiminnan tarkastus



- kalibrointi. (Endress+Hauser 2012a, 26- 27.)

Optisten antureiden huolto on yksinkertaisempaa kuin ioniselektiivisten laitteiden. Ainoat vaihdettavissa olevat osat ovat tiivisteet ja fluoresenssikalvo. Puhdistustarpeessa ei ole eroa ioniselektiiviseen laitteeseen. Esimerkkinä Endress+Hauserin Oxymax COS61D:n huolto-ohjelma:

- anturin puhdistus
- tiivisteiden vaihto
- fluoresenssikalvon vaihto (2v)
- toiminnan tarkastus. (Endress+Hauser 2012b, 21- 22.)

### 5.2.3 Kiintoaine

Kiintoainemittauksia on esitelty taulukossa 2. Kiintoainemittauksien toteutuksissa oli käytetty kolmea vaihtoehtoa: näkyvän- tai infrapunavalon sirontaa, UV-VIS-spektrometriaa ja mikroaallon läpäisynepeutta. Sironnan mittauksissa oli käytetty sekä yhtä 90° että takaisinsironnan mittausta. Mikroaaltotekniikkaa käytetään lietteiden kiintoainemittauksissa Valmetin tai Metson TS- ja DS-mittauksissa putkilinjasta. Sironnaan perustuvia kiintoainemittauksia oli haastatelluilla ja vierailuilla puhdistamoilla ilmasutaltaissa ja lähtevässä vedessä.

**TAULUKKO 2. Kiintoainemittaukset**

Malli		Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus	Puhdistus
		g/l TS	g/l	g/l / %	
<b>ABB</b>					
4670	Läpäisevyys	0-2			Pyyhin
Aztec ATS 430	90° sironta	0-100			Pyyhin
<b>Endress+Hauser</b>					
Turbimax CUS51D	90°/ 135° sironta	0-300		1-5 %	paineilma
<b>Hach&amp;Lange</b>					
Solitax ts-line sc	IR sironta x2	0,001-50		5%	pyyhin
TSS sc	IR sironta	0,001-500			

(jatkuu)

**TAULUKKO 2. Kiintoainemittaukset (jatkuu)**

<b>Malli</b>		<b>Mittausalue</b>	<b>Erotuskyky</b>	<b>Tarkkuus</b>	<b>Puhdistus</b>
		g/l TS	g/l	g/l / %	
<b>S::can</b>					
UV::lyser (1mm)	UV VIS spektrom	0-15			paineilma
Soli::lyser 1	IR absorptio	0,25-30	0,001-0,1	±0,1 (±5%)	
<b>Thermo Scientific</b>					
Datastick SS	Sironta ja läpäisy	0-20	0,001		paineilma
<b>Valmet</b>					
Valmet TS	Mikroaalto	0-40 % TS	0,001 %Cs		
Valmet LS	Sironta ja absorptio	0-5 TSS			
Valmet DS	Mikroaalto	15-35 % TS	0,001 %		
<b>WTW/ YSI</b>					
ViSolid 700 IQ	Sironta	0,003-1000			Ultraääni
VisoTurb 700 IQ	IR sironta	0,0001 -400			Ultraääni

Optisten kiintoainemittausten huolto on hyvin yksinkertaista. Useimmat mittaukset on varustettu automaattisella puhdistuslaitteella. Hach Solitax sc:n käyttöohjeen mukaan käyttäjä voi tehdä vain tarkkailutoimia, laitteen avaamisen saa tehdä vain koulutettu henkilö. Käyttöohjeen mukainen huolto sisältää laitteen tarkkailua ja kuluvien osien vaihtoa:

- ulkoinen tarkastus (1kk)
- toiminnan tarkastus (1kk)
- tiivisteiden vaihto (2v)
- pyyhkimen vaihto ja laskurin nollaus (käytön mukaan, raja 20 000 pyyhkäisyä).  
(Hach 2010, 19.)

**5.2.4 Fosforimittaukset**

Taulukossa 3 on esitelty fosfaatin ja kokonaisfosforin mittauksia kuudelta valmistajalta. Kaikki fosforin analyysimittaukset olivat fotometrisia analysointilaitteita. Suurin osa fosforin mittauksista oli fosfaattifosforin mittauksia, mutta lähes kaikilla valmistajilla on valikoimissa myös kokonaisfosforin mittauksia. Useissa laitteissa tarkkuus on ilmoitettu suhteellisena mittausalueeseen tai suhteellisena, johon lisätään virhe milligrammoina. Muista mittauksista poiketen, selvityksen loppuvaiheissa tietoon tulleen Metrohmin tiedot ovat selvitetty maahantuojalta sähköpostitse.

**TAULUKKO 3. Fosfaatin ja kokonaisfosforin analyysimittaukset**

Malli			Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus
			mg/l	mg/l	mg/l
<b>ABB</b>					
Aztec AW636	PO <sub>4</sub>	Kolorimetri	0,05-50	0,001	±5% (0,005)
<b>AppliTek</b>					
TOPHO	kok-P	Kolorimetri	0-1	< 0,005	< 2%
EnviroLyzer	PO <sub>4</sub>	Kolorimetri	0-1		
<b>Endress+Hauser</b>					
Liquiline CA80PH	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-10	0,01	± 2%
Stamolys CA71PH	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-2,5		± 2%
Spectron CA72TP A	kok-P	Spektrometri	0,05- 2		± 5%
<b>Hach&amp;Lange</b>					
Phosphax sc	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-15	0,05	± 2% +0,05
Phosphax sigma sc	kok-P	Kolorimetri	0,01- 0,5		
<b>Metrohm</b>					
2035	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0-2		
2035	kok-P	Kolorimetri	0-0,2		
<b>WTW</b>					
TresCon OP210	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-3	0,01	
TresCon OP510	kok-P	Kolorimetri	0,01- 3		
P700 IQ	PO <sub>4</sub> -P		0,05-15,00		± 2% ±0,05

Analysaattoreiden huolto on päivittäisessä käytössä yksinkertaista antureihin verrattuna, mutta ongelmatilanteissa tarvitaan mahdollisesti asiantuntijan apua. Laitteissa on automaattinen kalibrointi ja puhdistus, jotka pitävät laitteen toimintakunnossa. Normaaliin käytön aikaiseen tarkkailuun kuuluu mahdollisen suodatinlaitteen kunnossapito, mittaustulosten vertaaminen käyttötarkkailun tuloksiin ja laitteen toiminnan, standardiliuosten kulutuksen, vuotojen ja kolhujen seuraaminen. Esimerkkinä ABB Aztec 600 -analysaattorin huolto-ohjelma:

- vaihda standardiliuokset (käytön mukaan 2- 8kk)
- vaihda mäntäpumpun tiiviste ja näyteletku (12 kk)
- käännä lasikennoa (12 kk)
- vaihda membraani, tarkkailuletku ja lasikenno (24 kk). (ABB 2015.)

### 5.2.5 Typpimittaukset

Taulukossa 4 on esitetty seitsemän eri valmistajan typpianalyysimittauksien malleja. Laitteissa on käytetty useita eri tekniikoita, ioniselektiivisiä elektrodeja ja optisia luminesseihin perustuvia mittauksia, kolorimetrejä sekä spektrometrejä. Usein mittalaitemallia on tarjolla erikokoisilla mitta-aukoilla varustettuna, joilla vaikutetaan mitta-alueeseen ja erotuskykyyn. Taulukkoon on valikoitu vain yksi esimerkki mallisarjasta, tarkemmat mallit on esitetty liitteessä 1. Useista antureista on valittavissa vaihtoehtoja eri mitta-alueille tai lisäominaisuuksien kannalta. Monissa, erityisesti YSI:n ja WTW:n, mittauksissa on pääparametrin lisäksi muita mittauksia. Esimerkiksi NiCaVis 70x on yhdistelmämittaus nitriitille, nitraatille ja orgaanisille parametreille COD, BOD ja TOC.

**TAULUKKO 4. Typen analyysimittaukset**

Malli				Mitta-alue	Erotuskyky	Tarkkuus
				mg/l	mg/l	mg/l
<b>ABB</b>						
Aztec AAM631	A	NH <sub>3</sub>	ISE	0,05-1000	0,001-0,1	±5-7,5%
Aztec AAM632	A	NH <sub>3</sub>	Kolorimetri	0-3	0,001	±5% (0,005)
AV 450	A	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	UV s	0-100	0,1	±2% (0,5)
<b>AppliTek</b>						
TONI	A	kok-N	Kolorimetri	0-20	0,2	< 4%
<b>Endress+Hauser</b>						
Viomax CAS51D	S	NO <sub>3</sub> -N	UV lum.	0,1-50	0,1	0,2 (2%)
ISEmax CAS40D	S	NO <sub>3</sub> -N	ISE potent.	0,1-1000		±5% ±0,2
ISEmax CAS40D	S	NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,1-1000		±5% ±0,2
<b>Hach&amp;Lange</b>						
Nitratax plus sc	S	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV	0,1-100	0,1	0,5 (3%)
NISE sc	S	NO <sub>3</sub> -N	ISE	0-1000	0,2	0,2 (5%)
AN-ISE sc	S	NH <sub>4</sub> -N	ISE	0-1000	0,3	0,2 (5%)
AMTAX sc	A	NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,05-20	0,05	3% ±0,05
<b>Metrohm</b>						
2035 NH4-N	A	NH <sub>4</sub> -N	Kolorimetri	0-2		
2035 NO3-N	A	NO <sub>3</sub> -N	Kolorimetri	0-5		
2035 NO2-N	A	NO <sub>2</sub> -N	Kolorimetri	0-2		
<b>S::can</b>						
Nitro::lyser 2 (2mm)		NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-40		±3% +0,5
Ammo::lyser 4 eco	A	NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,3-30	0,02-0,1	±3% (0,5)
Multi::lyser (2mm)	A	NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-40		±3% (0,5)

(jatkuu)

**TAULUKKO 4. Typen mittaukset (jatkuu)**

Malli				Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus
				mg/l	mg/l	mg/l
<b>YSI/ WTW</b>						
VARiON Plus 700 IQ	S	NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	±5% ±0,2
AmmoLyt 700 IQ	S	NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	±5% ±0,2
NitraLyt 700 IQ	S	NO <sub>3</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	
NitraVis 705 IQ	S	NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-50	0,01	
NiCaVis 705 IQ	S	NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-50	0,01	
UV 701 IQ Nox	S	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV ab	0-100	0,1	
TresCon A111	A	NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,05-10	0,005	
TresCon ON210	A	NO <sub>3</sub> -N	UV ab	0,1-60	0,1-1	
TresCon ON510	A	NO <sub>2</sub> -N	Kolorimetri	0,005-1,2	0,001	

Typpimittausten huolto poikkeaa eri mittausmenetelmien kohdalla toisistaan. Optiset mittaukset ja analysaattorit ovat käyttäjälle yksinkertaisia huollettavia. Normaali käytön aikainen huolto tarkoittaa laitteen puhdistamista ja tarkkailua, laitteiden osien vaihtaminen edellyttää laitetoimittajan hyväksymän huoltohenkilön käyttämistä. Optisen Hach Nitratax sc:n huolto-ohjelma sisältää:

- ulkoinen tarkastus (1 vko)
- kalibroinnin tarkastus (1 vko)
- laitteen tarkastus (6 kk)
- tiivisteen vaihto (12 kk)
- pyyhkijän vaihto (käytön mukaan). (Hach 2014, 23.)

Hach Amtax sc ioniselektiivisen analysaattorin huolto on mahdollista vain valmistajan hyväksymälle koulutetulle henkilölle. Laite kalibroi ja puhdistaa itsensä automaattisesti, ja liuosten vaihtotiheyteen vaikuttavat mittausalue ja automaattisten toimien tiheys. Laitteen huoltoväli on 6 kk, jonka yhteydessä vaihdetaan kuluvat liuokset ja osat valtuutetun huoltajan toimesta. Käyttäjän tehtäviä rutiinihuoltoja ovat:

- mekaanisten kolhujen ja vuotojen seuranta (säännöllisesti)
- tuulettimen suodattimen vaihto
- reagenssien tarkastus (3 kk)
- puhdistusliuoksen tarkastus (3 kk)

- huoltolaskurin seuraaminen
- membraanikorkin ja elektrolyytin vaihto (mittausalueesta riippuva, 1- 3kk). (Hach 2013b, 49.)

Hachin ioniselektiivisen AN-ISE anturin käyttöohjeessa on sama varoitus kuin edellisissä, eli huoltaminen on sallittua vain valtuutetulle huoltohenkilölle (Hach 2013c). Typpeä mittaavien antureiden membraanit eivät erottele mitattavia ioneja täydellisesti, ja mittauspäissä on yleensä typpi- ja vertailuanturien lisäksi eri kompensointiantureita, joita huolletaan samalla kuin mittausanturia. Optisista antureista poiketen ioniselektiivisen anturin kennot ovat kuluvia osia, jotka vaihdetaan säännöllisesti.

Laitteen kalibrointi on yksinkertaista ja tehdään joko tehdaskalibroitina tai kalibrointiliuosten avulla, mutta kalibroinnin jälkeen anturin mittausalue tarkistetaan juuri kyseisen prosessin olosuhteisiin sopivaksi. Normaalin käytön aikainen huolto-ohjelma Hach AN-ISE sc anturille on:

- anturin puhdistus (1vko- 1kk)
- anturin ulkoinen tarkastus (1 kk)
- anturipäiden vaihto (6 kk)
- mittaustulosten vertailu käyttötarkkailun tuloksiin (1 kk). (Hach 2013c.)

### 5.2.6 pH

pH-mittauksia on arviolta kaikkien valmistajien valikoimissa, ja useimmilta myös monia eri malleja. Taulukossa 5 on esitelty eri valmistajien laitemalleja. Lisäksi pH-mittauksia on useiden muidenkin valmistajien valikoimissa, sillä samaa mittausmenetelmää käytetään laajasti eri teollisuuden aloilla. Kaikki esitetyt anturit ovat potentiometrisesti toimivia sähkökemiallisia lasimembraaniantureita. Hach&Lange, Endress+Hau-ser ja Thermo Scientific valmistavat myös kolmannella vertailuelektrodilla varustettuja differentiaali-antureita.

**TAULUKKO 5. pH:n analyysimittaukset**

<b>Malli</b>			<b>Mittaus- alue</b>	<b>Erotuskyky</b>
			pH	pH
<b>ABB</b>				
AP300	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14	
TBX551/556/557/561/587	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14	
<b>Endress+Hauser</b>				
Orbipac CPF81 (D)	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	
Orbisint CPS11 (D)	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12	
<b>Hach&amp;Lange</b>				
pHD sc	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	0,01
<b>Prominent</b>				
Dulcotest PHER	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12	
Dulcotest PHEX	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12	
<b>S::can</b>				
pH::lyser pro	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14	0,01
<b>Thermo Scientific</b>				
pHR ROSS	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14	0,01
DataStick pH	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	0,01
AnalogPlus pH	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	0,01
<b>WTW/ YSI</b>				
SensoLyt 700 IQ	Sähkökemiallinen		0-14	

pH-mittarin huoltaminen vastaa muiden ioniselektiivisten mittausten huoltoa. Käyttäjän säännöllisiin toimiin kuuluu anturin pitäminen puhtaana ja toiminnan varmistaminen seuraamalla mittaustulosta käyttötarkkailun tuloksiin. Mikäli mittaustulokset alkavat poiketa vertailutuloksista, anturin kalibrointi tarkistetaan puskuriliuksilla. Tarvittaessa anturi kalibroidaan. Huollontarve on kuitenkin hyvin tapauskohtaista ja jopa suuntaa antavien aikataulujen arviointi on tapauskohtaista. Huollon ennakoimiseksi, kokemuksista kannattaa muodostaa paikallinen rutiini kalibrointi-aikojen suunnittelemiseksi. Kalibrointi on syytä suorittaa aina kun anturin puhdistamisessa on käytetty happamia pesuaineita. (Kohlmann 2012.)

**5.2.7 Redox**

Redox-mittaukset ovat rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan hyvin pH-mittauksen kaltaisia ja monien valmistajien valikoimissa anturi onkin sama, mutta eri ohjelmistolla. Monilla valmistajilla on myös useita eri anturimalleja eri olosuhteisiin. Mittausalueet vaihtelevat 1500 mV ja 2100 mV välillä. Valmistajien malleja on esitetty taulukossa 6.

**TAULUKKO 6. Redox-potentiaalin analyysimittaukset**

Malli			Mittausalue	Erotuskyky
			mV	mV
<b>ABB</b>				
AP300	platina	potentiometri	±2000	
TBX551 inline	platina	potentiometri	±2000	
TBX562	platina	potentiometri	±2000	
<b>Endress+Hauser</b>				
Orbipac CPF82 (D)	platina/kulta	potentiometri	± 1500	
<b>Hach&amp;Lange</b>				
pHD sc ORP	platina/kulta	potentiometri	± 1500	0,5
<b>Prominent</b>				
Dulcotest RHER-Pt-SE	platina	potentiometri	± 1500	
Dulcotest RHEX-Pt-SE	platina	potentiometri	± 1500	
<b>S::can</b>				
Redo::lyser		potentiometri	±2000	1
<b>Thermo Scientific</b>				
DataStick ORP	platina/kulta	differentiaali	±2100	0,1
AnaalogPlus ORP	platina/kulta	differentiaali	±2100	0,1
<b>WTW/ YSI</b>				
SensoLyt 700 IQ	platina		± 2000	

Redox-mittausten huoltotoimet vastaavat pH-mittareiden kohdalla (5.2.6) esitettyjä toimia.

### 5.2.8 Sähkönjohtokyky

Myös sähkönjohtokyvyn mittaamiseen oli useilla valmistajilla useitakin eri malleja. Malleja on esitetty taulukossa 7. Osalla valmistajista on valikoimissa sekä induktiivisia että konduktiivisia mittauksia. Mittausalueet olivat tyypillisesti hyvin laajat 0- 2000 mS/cm, mutta myös pienemmälle mittausalueelle 0,01- 20 mS/cm ja erittäin laajalle 0-5000 mS/cm alueelle on mittauksia.

**TAULUKKO 7. Sähkönjohtokyvyn analyysimittaukset**

Sähkönjohtokyky				
Malli		Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus
		mS/ cm	mS/ cm	mS/ cm
<b>ABB</b>				
TB404	Induktiivinen	0-2000		
TB454	Konduktiivinen	0-2000		

(jatkuu)



**TAULUKKO 7. Sähkönjohtokyvyn analyysimittaukset (jatkuu)**

Sähkönjohtokyky				
Malli		Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus
<b>Endress+Hauser</b>				
Indumax CLS50D	Induktiivinen	0,002 - 2000		±0,005 +0,5%
Condumax CLS21D	Konduktiivinen	0,01 - 20		1%
<b>Hach&amp;Lange</b>				
3798-S sc	Induktiivinen	0,25 - 2500		±0,004
3700	Induktiivinen	0,2- 2000		± 0,015
<b>Honeywell</b>				
5000TC	Induktiivinen	0,2-2000		
<b>Prominent</b>				
Dulcotest ICT1 (- IMA)	Induktiivinen	0,2-1000		< 1%
Dulcotest ICT2	Induktiivinen	0,02- 2000		±0,005 +0,5%
<b>S::can</b>				
Condu::lyser	Konduktiivinen	0-500		1%
<b>Thermo Scientific</b>				
AnalogPlus TCS	Induktiivinen	0-2000	4,5	0,1%
AnalogPlus C/RS	Konduktiivinen	0-5	4,5	0,1%
DataStick TCS	Induktiivinen	0-2000	4,5	0,1%
DataStick C/RS	Konduktiivinen	0-5	4,5	0,1%
<b>WTW</b>				
TetraCon 700 IQ		0,01 -500		

Sähkönjohtokyvyn mittausten huoltotoimet ovat yksinkertaiset. Esimerkkinä huollosta on Hach 3798-S induktiivinen mittausta. Anturin mittaustekniikka poikkeaa muista menetelmistä, sillä anturipää ei tarvitse suoraa kosketusta mitattavan aineen kanssa ja koko anturi voidaan koteloida suojaavasti. Laite on kalibroitu tehtaalla pysyvästi, eikä normaalikäytössä ole tarvetta kalibroida. Säännöllisiä huoltotoimia ovat:

- anturin puhdistus (3 kk)
- vaurioiden tarkastus (3 kk)
- kalibrointi (tarvittaessa). (Hach 2013d, 17–19.)

## 6 KYSELYN TULOKSET

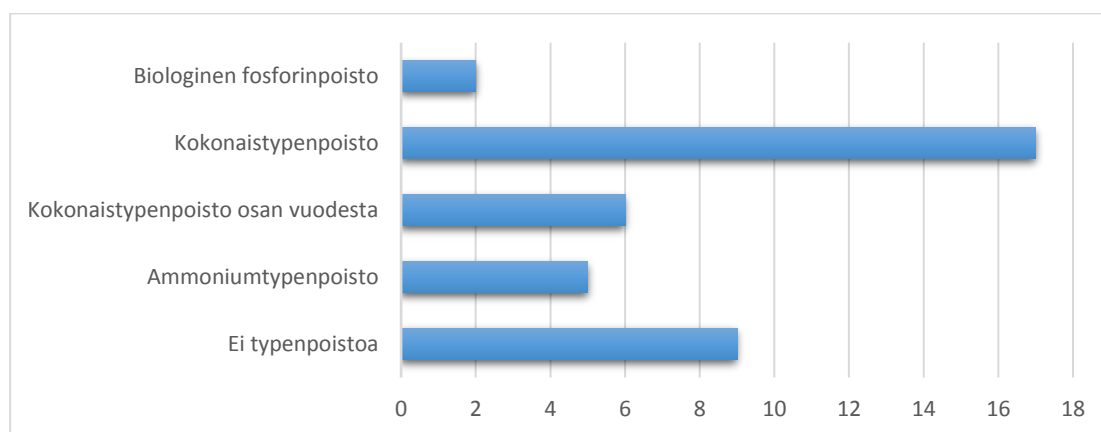
Kyselyyn vastasi yhteensä 41 vastaajaa, joista kaksi olivat samalta laitokselta ja yksi vastauksista oli siinä määrin vain osittain täytetty, että se hylättiin tuloksista. Kyselyn tuloksissa käytettiin siis 39 laitoksen vastauksia. Vastanneiden laitosten joukossa oli

sekä suuria monilinjaisia laitoksia, että pieniä yhden henkilön työllistäviä puhdistamoita. Käytetty kysely on työn liitteenä 2.

### 6.1 Kyselyssä edustetut laitokset

Kyselyyn vastanneista 29 ilmoitti edustamiensa laitosten perustiedot, joten tietoja ei saatu kaikilta laitoksilta. Suuria, yli 100 000 asukasvastineluvun (AVL), laitoksia edustavaa vastaajaa vastasi kyselyyn 7. Alle 20 000 AVL:n laitoksien edustajaa vastasi 12 ja keskiuuria 20 000- 100 000 AVL:n laitoksien edustajia 8. Uusin laitos oli vuodelta 2015 ja vanhin 1950-luvulta. Kyselyyn osallistunut keskimääräinen laitos oli valmistunut vuonna 1980, laitoksen keskivirtaama oli 9600 m<sup>3</sup>/vrk ja asukasvastineluku oli noin 60 000. Henkilöstöä laitoksilla oli 1- 18. Yleisimmät automaatiojärjestelmät olivat Insta automationin, Mipron tai Schneiderin toimittamia, osassa laitoksista oli useita eri automaatiojärjestelmiä, joiden viimeisin päivitys oli tapahtunut 2001 ja 2016 välillä. Keskimäärin laitosten automaatiojärjestelmät olivat vuodelta 2012.

Suurin osa kyselyssä edustetuista laitoksista oli kokonaistypenpoistolaitoksia, mutta myös muita tyyppä poistavia ajotapoja oli käytössä. Ilman typenpoistoa toimi 9 laitosta. Kuvassa 16 on esitetty vastanneiden edustamien laitosten prosessien ajotavat.

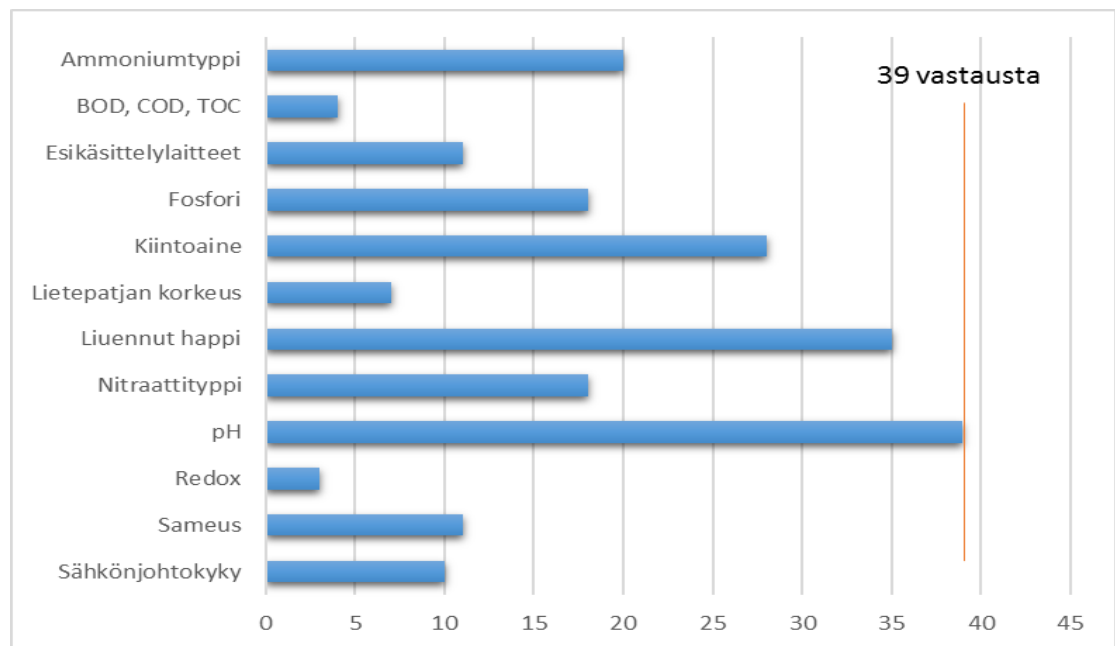


**KUVA 16. Vastanneiden laitosten ajotavat**

### 6.2 Puhdistamoilla käytetyt analyysimittaukset

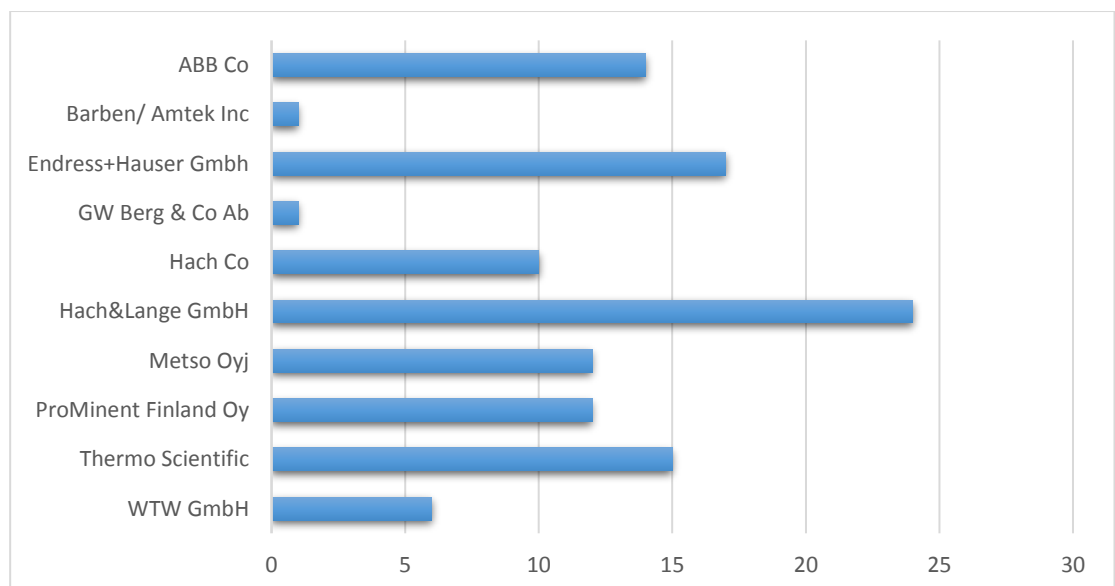
Analyysimittausten yleisyyttä vastaajien lukumäärään suhteutettuna on esitetty kuvassa 17. pH-mittauksia oli käytössä kaikilla jätevedenpuhdistamoilla. Muita yleisiä mittauksia olivat liuennan hapen mittaukset sekä kiintoainemittaukset. Ravinnemittauksia oli

noin puolella tutkituista laitoksista. Orgaanisen aineen mittauksia oli käytössä neljällä laitoksella.



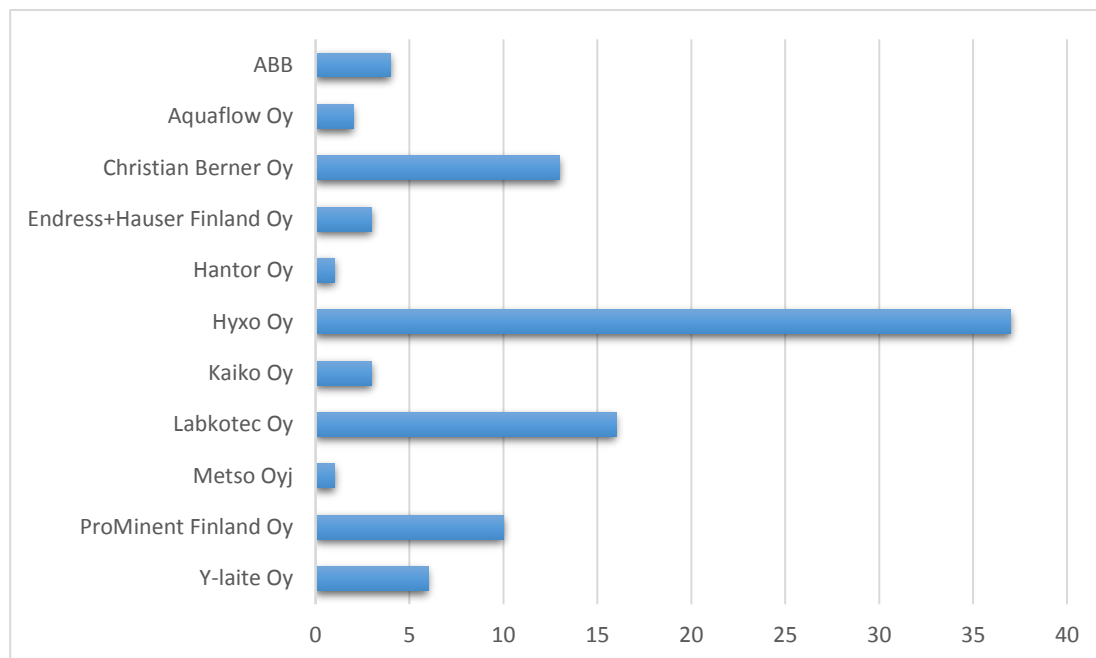
**KUVA 17. Analyysimittausten yleisyys jätevedenpuhdistamolla**

Kyselyyn vastanneissa laitoksissa yleisin tuotemerkki oli Hachin tuotemerkki Hach&Lange, jonka mittauksia oli 24 laitoksella. Hachin omalla nimellä ilmoitettuja mittauksia oli kymmenellä laitoksella, joten valmistajan laitteiden kokonaismäärä on 34. Toiseksi yleisimpiä tuotemerkkejä olivat Endress+Hauser, Thermo Scientific, ABB, ProMinent ja Metso. Tuotemerkkien jakaumaa on esitetty kuvassa 18.



**KUVA 18. Eri tuotemerkkien määrät analyysimittauksissa**

Kuvassa 19 on esitetty ilmoitettuja laitoksilla käytettyjä laitetoimittajia ja huoltopalveluiden tarjoajia. Laitetoimittajista ylivoimaisesti suurin oli Hyxo. Toiseksi suurin oli Labkotec ja seuraavaksi suurimpia Christian Berner sekä ProMinent.

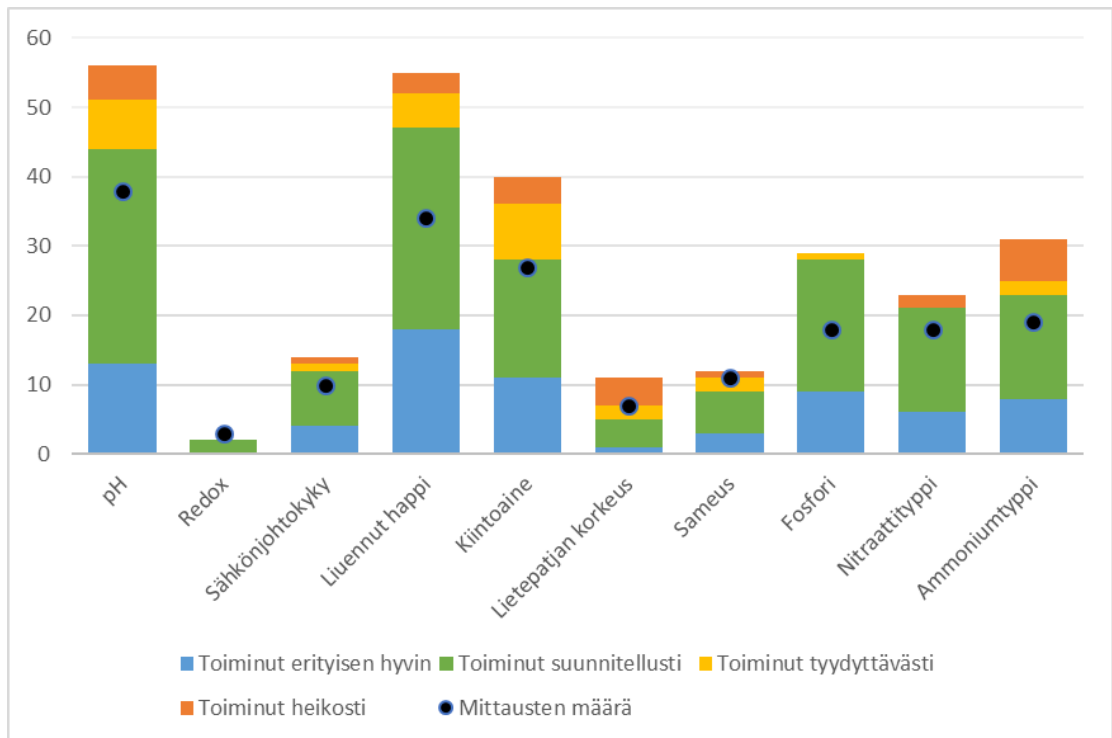


**KUVA 19. Laitetoimittajien käyttö analyysimittausten hankinnassa**

### 6.3 Analyysimittausten toiminta

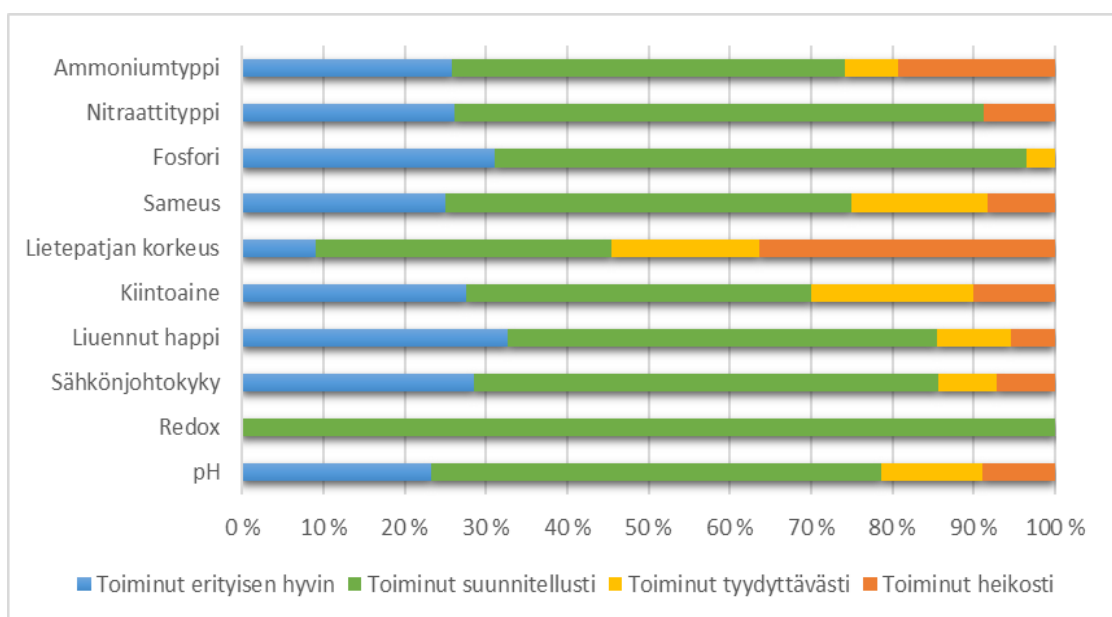
Mittausten määrään suhteutettuna hyvin toimineita mittauksia olivat fosforimittaukset ja liuenneen hapen mittaukset. Eniten vaikeuksia oli sameus- ja lietepatjan korkeusmittauksissa sekä kiintoainemittauksissa. Ammoniumtypen mittaukset jakoivat mielipiteitä. Osa ammoniumtypen mittauksista toimi hyvin, mutta vastaavasti mittausten määrään suhteutettuna heikosti toimineita mittauksia oli useita.

Avoimissa vastauksissa ja haastatteluissa tulokset vastasivat kyselyn tuloksia. Erityistä kiitosta hyvästä toiminnasta saivat Hach&Lange, Endress+Hauser, WTW ja Valmet. Erikseen hyvinä mainittuja mittauksia olivat Hach&Langen sc-sarjan LDO, Nitratax ja Phosphax. Endress+Hauserin tuotteista hyvinä mainittuja olivat Oxymax sekä CPS11 pH-mittaus. Kiintoainemittauksista erikseen mainittuja hyviä mittauksia olivat mikroaaltotekniikkaa käyttävät Valmet (Metso) TS kiintoainemittaukset. WTW:n mittauksista hyvin toimineiksi mainittiin ammoniumtypen ja liuenneen hapen mittaukset. Kuvassa 20 on esitetty yhteenveto analyysimittausten toimivuudesta ja laitteiden määrästä.



**KUVA 20. Yhteenveto laitteiden toimivuuden kokemuksista**

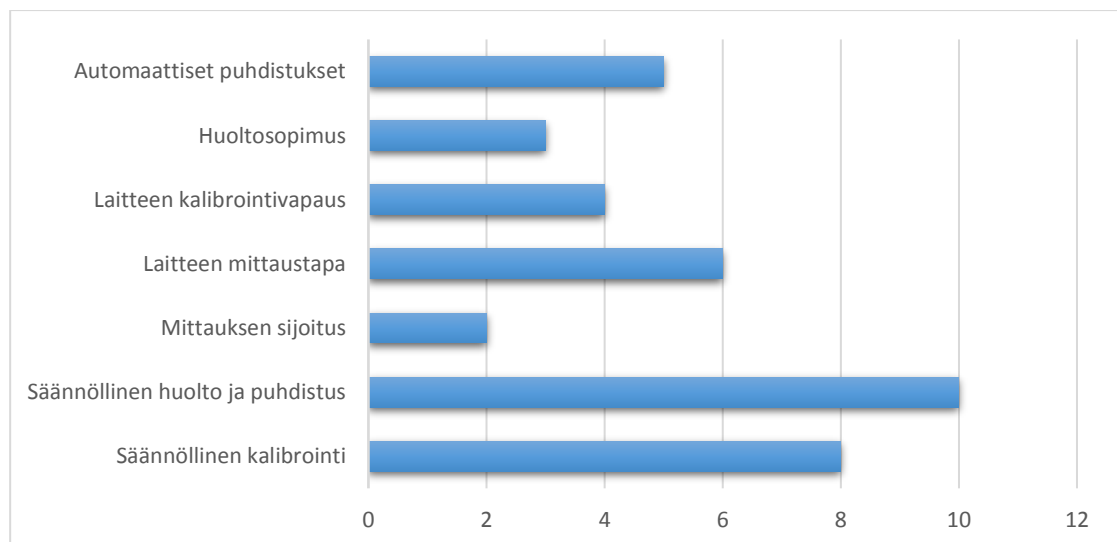
Kuvassa 21 on esitetty toimivuutta koskevien vastausten suhteita parametrikohteisesti. Suunnitellun mukainen toiminta tarkoittaa pienten murheiden sietämistä, eli mittauksessa ei ole ollut erityisiä ongelmia. Tyydyttävässä toiminnassa laite on saatu toimimaan lisätöiden avulla, joita ovat voineet olla esimerkiksi mittauspisteen vaihto tai automaattisten puhdistuslaitteiden käyttöönotto.



**KUVA 21. Analyysimittausten kokemusten suhteet**

Kuvaan 22 on koottu vapaissa vastauksissa ja haastatteluissa esiintyneitä laitteiden hyvään toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Hyvin toimineiden mittausten toimintaan vaikuttavista tekijöistä yleisimmin mainittu oli säännöllinen huolto ja puhdistus. Merkittäviksi vastattiin myös laitteen mittaustapa ja laitteen kalibrointivapaus. Myös automaattiset puhdistukset toistuivat vastauksissa usein.

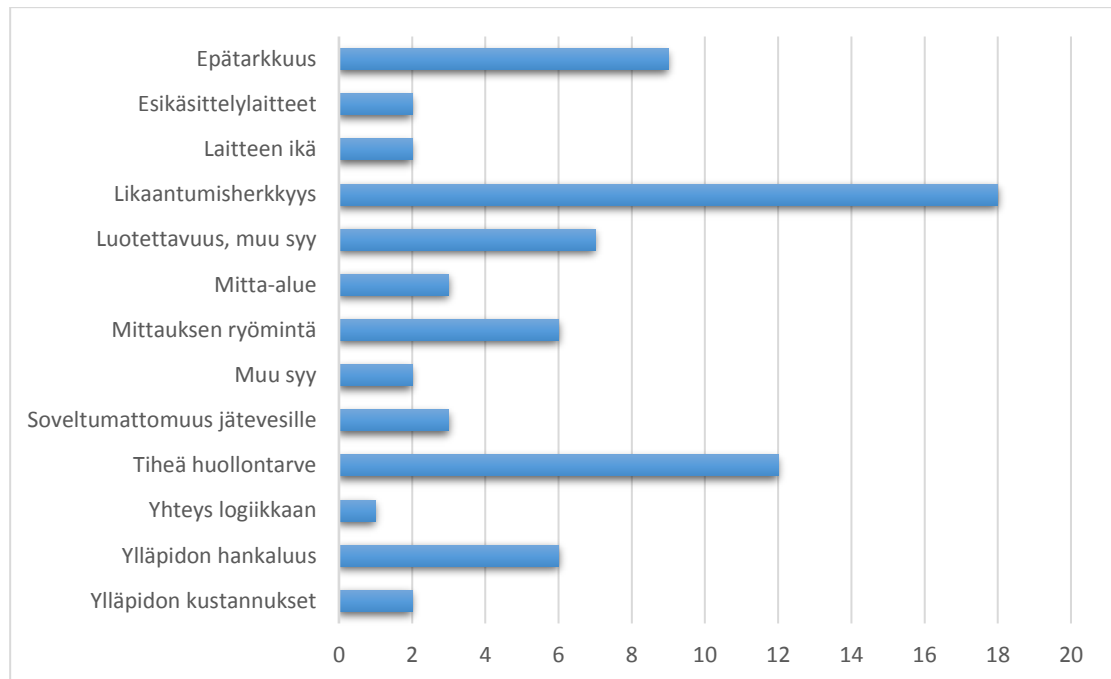
Haastatteluissa painotettiin poikkeuksetta säännöllistä huoltoa ja laitteen tarkkailua tärkeänä toimivuuteen vaikuttavana tekijänä. Eräs esiin tullut hyvään toimintaan vaikuttava yksittäinen tekijä oli laitteiden ominaisuuksien tunteminen ja tietojen välittäminen muille laitteita käyttäville. Lisäksi haastatteluissa mainittiin hyvänä käytäntönä analyysimittausten tulosten seuranta ja vertaaminen käyttötarkkailuiden tuloksiin. Tulosten seuranta onnistuu hyvin, kun mittaustulokset tallentuvat suoraan laitosautomaation historia- tai raporttitietoihin.



**KUVA 22. Hyvään toimivuuteen vaikuttavat tekijät**

#### 6.4 Ongelmien aiheuttajat

Kuvassa 23 on kuvattu vastaajien kokemuksia mittauksissa esiintyvien ongelmien aiheuttajista. Kyselyn perusteella merkittävin mittauserongelmien aiheuttaja oli antureiden likaantumisherkkyys. Merkittäviä tekijöitä olivat myös laitteiden tiheä huollontarve sekä epätarkkuus. Muita toistuvasti mainittuja tekijöitä olivat luotettavuus, ylläpidon hankaluus ja mittauksen ryömintä.

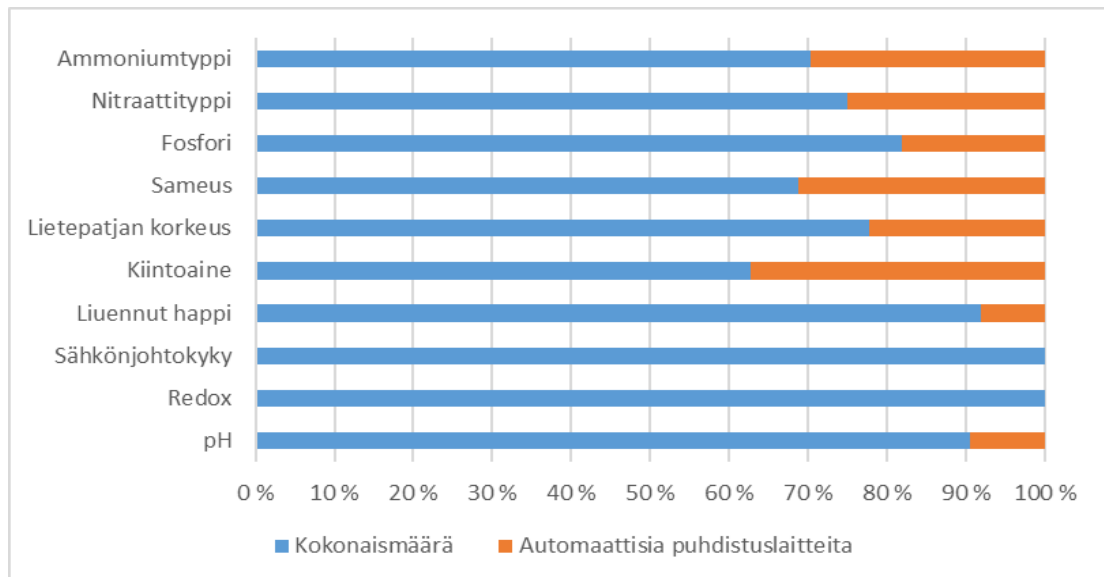


**KUVA 23. Ongelmien aiheuttajien määrä analyysimittauksissa**

Haastatteluissa vastattuja syitä luotettavuuden puutteeseen olivat erityisesti ulkotiloihin sijoitettuihin mittauksiin liittyvät ongelmat sekä huoltoon vaikuttavat ympäristötekijät. Ulkotiloihin sijoitettujen mittausten huoltaminen pimeässä ja kylmässä olivat raskaiksi mainittuja tehtäviä. Vastaavasti kesäaikaan antureiden limoittuminen on nopeampaa ja voi edellyttää talvikautta tiheämpää puhdistamista. Esimerkiksi happiantureiden tulokset voivat limoittumisen vaikutuksesta muuttua alle viikossa, verrattuna talviajan yli kuukauden puhtaana pysymiseen. Yleisesti haastatteluissa analyysimittauksiin suhtauduttiin vähemmän kriittisesti kuin kyselyssä ja usein ongelmien syyksi mainittiin huollon epäsäännöllisyys tai väärin arvioitu huollon tarve. Keskusteluissa tuli usein esiin laitteiden oikean käytön ja laitteisiin tutustumisen merkitys laitteiden luotettavuudelle.

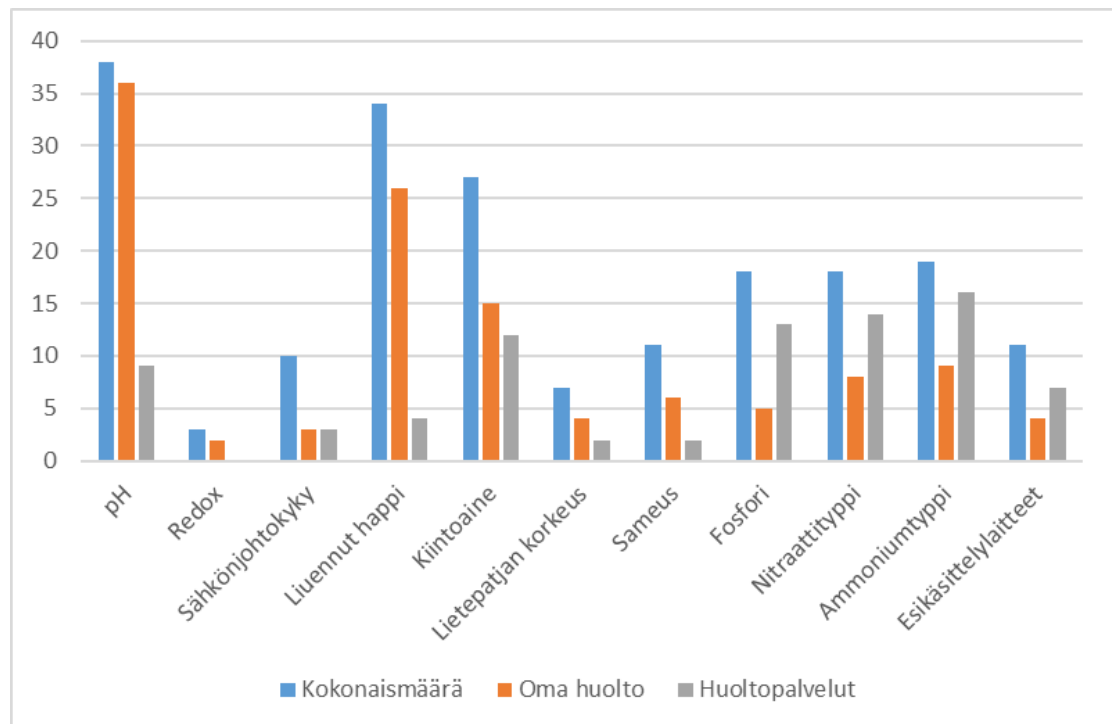
## 6.5 Laitteiden ylläpito

Kuvassa 20 on esitetty automaattisten puhdistuslaitteiden suhteellinen osuus eri analyysimittauksissa kokonaismäärään verrattuna. Automaattisia puhdistuslaitteita oli käytössä kaikissa mittauksissa sähkönjohtokykyä ja redoxmittausta lukuun ottamatta. Yleisimpiä automaattiset puhdistuslaitteet olivat kiintoaine-, sameus- ja ammoniumtyypin mittauksissa. Haastatteluissa pyyhkimiseen perustuvaa puhdistinta pidettiin erityisen hyvänä ratkaisuna.



**KUVA 24. Automaattisten puhdistuslaitteiden suhteellinen määrä**

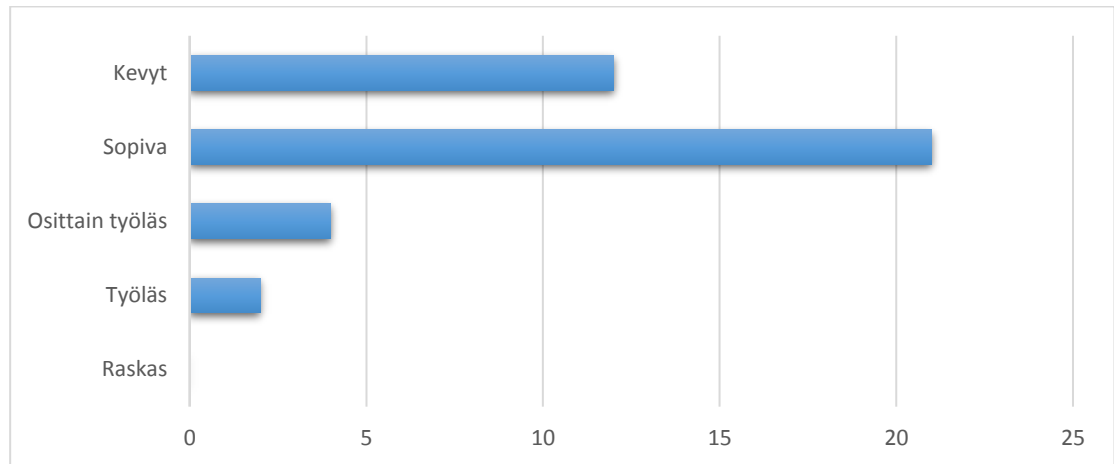
Laitteiden huoltoa ja ylläpitoa kysyttiin erikseen oman työn ja huoltopalveluiden käytämisen osalta. Kuvassa 25 on esitetty laitemäärään verrattuna oman työn ja huoltopalveluiden käytön suhde eri analyysimittausten huoltamisessa. Useissa tapauksissa huoltopalveluiden mainittiin tukevan hyvin omaa huoltoa ja parantavan laitteiden luotettavuutta. Kaikki haastatellut huoltopalveluiden käyttäjät olivat tyytyväisiä huoltopalveluihin.



**KUVA 25. Laitteiden huollon oman työn ja huoltopalveluiden suhteet**



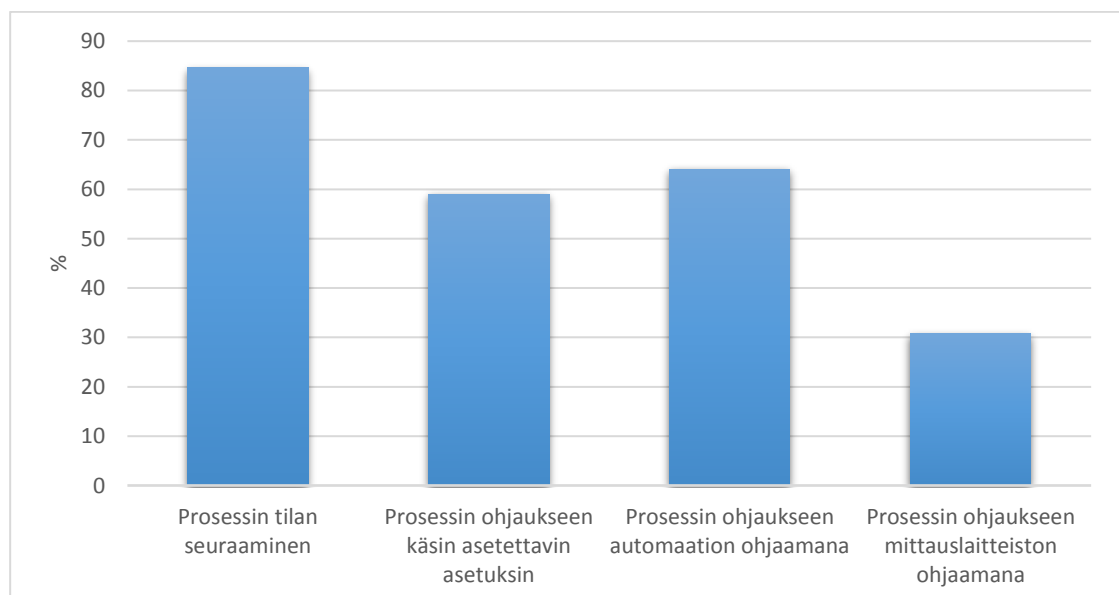
Kyselyissä oman huollon työmäärä vaihteli alle tunnista viikossa n. 16 tuntiin viikossa. Haastatteluissa ei selvinnyt kyselystä poikkeavia tuloksia. Suurin osa laitoksista kokee työmäärän sopivana tai kevyenä, mutta seitsemällä laitoksella huoltotyö arvioidaan ainakin osittain työlääksi. Tuloksia on esitetty kuvassa 26.



**KUVA 26. Laitteiden ylläpidon työllistävyys**

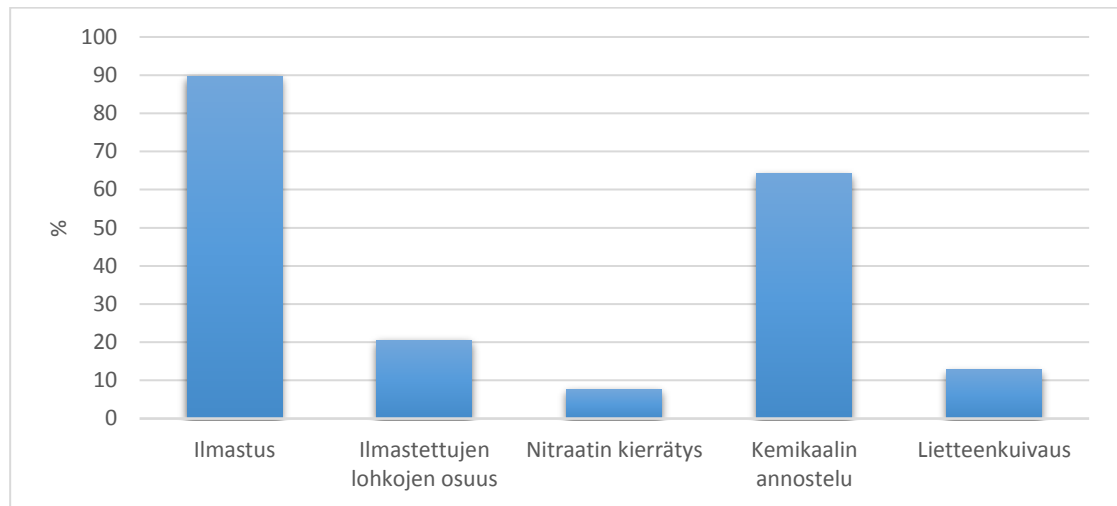
## 6.6 Mittaustiedon käyttö

Kuvassa 27 on esitetty mittaustiedon käyttöä vastaajien (39) ja vastausten määrän suhteen. Pääosin mittaustietoa käytetään informaation keräämiseen prosessista ja informaation perusteella käsin tehtävään prosessinohjaukseen. Yli 60 % laitoksista käyttää mittaustietoa automaatio-ohjauksen lähtötietona.



### KUVA 27. Mittaustiedon käyttö

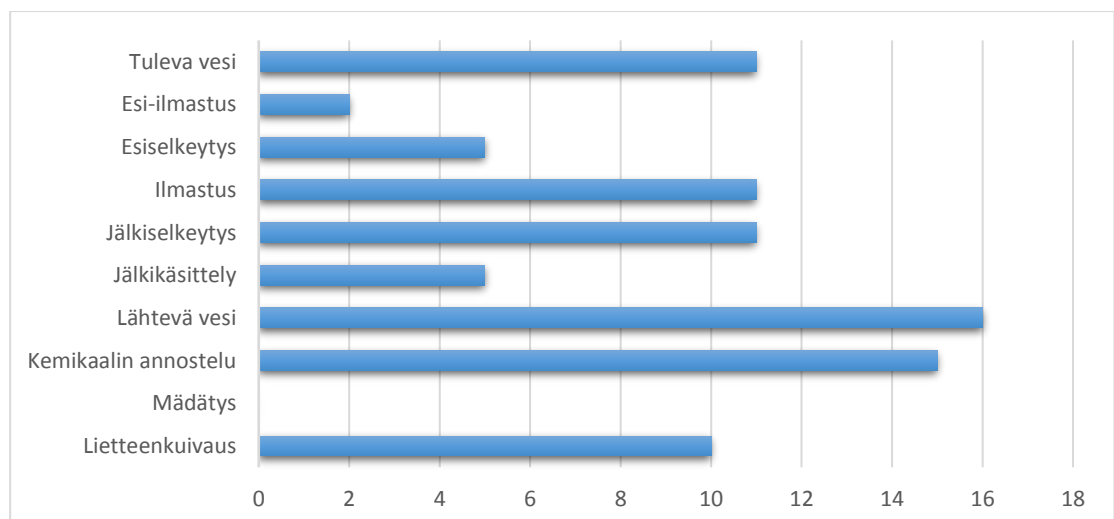
Kuvassa 28 on esitetty mittaustiedon perusteella tapahtuvan automaattiohjauksien käytötapoja vastaajien ja vastausten määrään suhteutettuna. Automaattisen ohjauksen piirissä olevia toimintoja olivat yleisimmin ilmastuksen ohjaus sekä kemikaalin annostelu. Muita kysytyjä toimintoja olivat ilmastettujen lohkojen osuus, lietteenkuivaus ja nitraatin kierrätys.



### KUVA 28. Prosessin osien automaattiset ohjaukset

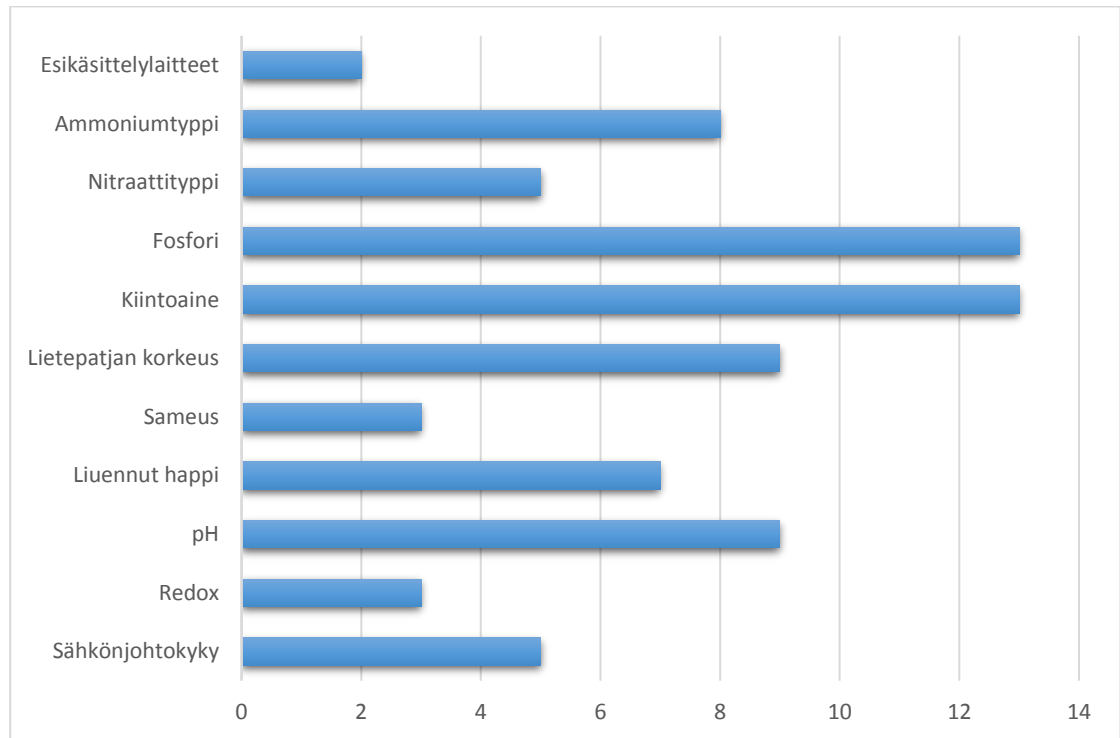
## 6.7 Analyysimittausten kehityskohteita

Kuvassa 29 on esitetty analyysimittausten lisäämisen tai parantamisen tarpeita eri prosessin osissa. Yli kolmannes vastaajista ilmoittivat kemikaloinnin ja lähtevän veden mahdolliseksi mittaustiedon kehityskohteeksi. Mädätystä lukuun ottamatta myös kaikkia muitakin prosessin vaiheita oli ilmoitettu vastauksissa.



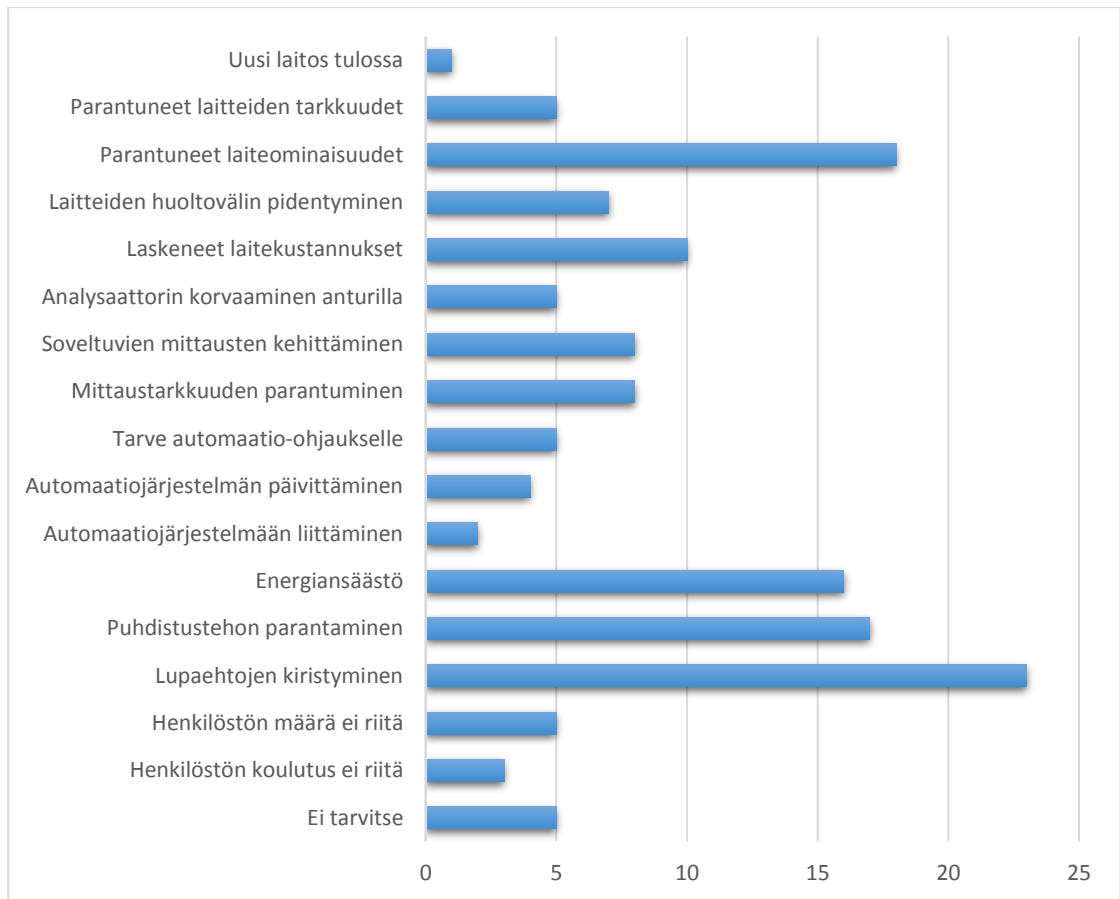
### KUVA 29. Mittaustiedon lisäämisen tai uusimisen kohteet prosesseissa

Merkittävimpiä parametrikohdaisia kehityskohteita olivat kiintoaine ja fosfori. Osa vastaajista ilmoittivat myös ammoniumtyypen, lietepatjamittausten, pH:n ja liuennun hapen mittausten edellyttävän joko mittausten lisäämistä tai päivittämistä. Eri analyysimittausten lisäämistarpeita on esitetty kuvassa 30.



### KUVA 30. Eri mittausten lisäämisen ja päivittämisen tarpeet prosesseissa

Kuvassa 31 on esitetty niitä mahdollisia tekijöitä, jotka voisivat vaikuttaa mittausten lisäämiseen laitoksella. Kysymykseen vastasi 38 vastaajaa, joilla kullakin oli mahdollista valita korkeintaan 5 sellaista tekijää, jotka voisivat vaikuttaa analyysimittausten päivittämiseen tulevaisuudessa. Vain 5 vastajaa arvioi, ettei tarvetta mittausten lisäämiselle tai päivittämiselle ole näköpiirissä, mutta muuten kaikkia kysytyjä vaihtoehtoja esitettiin. Tärkeimpiä tekijöitä olivat prosessin tehostamiseen teemaan liittyvät syyt, luopuhtojen kiristymisen, puhdistustehon ja energiatehokkuuden parantaminen. Muista syistä merkittävä tekijä oli laitteiden ominaisuuksien parantuminen.



**KUVA 31. Mahdolliset tekijät mittausten lisäämiseksi laitoksilla**

Haastatteluissa ei löytynyt poikkeavia tai tarkentavia tuloksia. Haastatteluiden johdattelevan luonteen vuoksi keskustelut tyypillisesti syvenyivät yksityiskohtaisemmin kyseistä laitosta koskeviin aihepiireihin.

## 7 POHDINTA

Kyselytutkimus osoittautui hyväksi ratkaisuksi kerätä käytännön kokemuksia laitteiden toiminnasta, mutta hankaluutena oli mielipiteiden yhdenmukainen tulkinta. Osallistuneiden määrä osui tarkalleen vastaajatavoitteen 30–50 väliin ja osallistuneet edustivat monipuolisesti erilaisia ja -kokoisia laitoksia. Myös haastatteluihin ja vierailupyyntöihin suhtauduttiin hyvin positiivisesti, eikä tutkimuksen suorittamisessa ollut käytännön ongelmia. Materiaalin keräämisessä oli ongelmana selvien mittausingelmien osoittaminen, sillä ongelmat olivat ratkaistu jo kauan aiemmin, eikä tarkkoja yksityiskohtia ongelmanratkaisusta ollut enää muistissa. Vastaavasti näin saatiin materiaalia paikallisten ratkaisujen keräämiseksi.

## 7.1 Analyysimittausten tilanne

Analyysimittausten valikoima on tällä hetkellä puhdistamonhoitajien ja instrumentoinnin suunnittelijoiden kannalta mielenkiintoinen. Valittavana on useita eri valmistajia ja laitemalleja. Myös mittaustekniikoita on joissakin parametreissa useita. Poikkeuksetta hyvin toimineista menetelmistä löytyy useilta valmistajilta ainakin yksi laitemalli.

Merkittäviä laitevalmistajia, joiden valikoimista löytyy käytännössä ratkaisu kaikkiin tutkittuihin analyysimittauksiin, olivat ABB, Endress+Hauser, Hach (Hach&Lange), S::can, WTW ja YSI. Pienemmällä laitevalikoimalla, mutta teknisesti mielenkiintoisia laitteita valmistavia toimijoita olivat Valmet, AppliTek ja Metrohm, joista jälkimmäisistä olisi ollut mielenkiintoista kuulla käyttökokemuksia. Muita puhdistamon käyttöön soveltuvia ja myös käytössä olevia mittauksia valmistavat Honeywell, Prominent ja Thermo Scientific.

## 7.2 Analyysimittausten ongelmien piirteitä ja paikallisia ratkaisuja

Usein mainittu yksittäinen tekijä analyysimittausten ongelmissa oli likaantuminen. Likaantuminen ei ole laite- tai mittaustyyppikohtainen ongelma, vaan yleinen ongelma. Likaantumista aiheuttavat jätevedessä olevat kiintoaineet, saostuskemikaalit ja vaahto, mutta myös mittauspinnoille kasvava biofilmi. Likaantuminen vaikuttaa mittauksessa mittaustulokseen ja vasteaikaan sekä käytettävyydessä luotettavuuteen ja huollon raskauteen. Useissa tapauksissa optisia mittauksia pidettiin huoltovapaampina kuin sähkökemiallisia mittauksia. Joissakin tapauksissa likaantumisen aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä esikäsitteilyjärjestelmillä. Ratkaisuja herkkään likaantumiseen ovat:

- mittauspisteen vaihto
- optinen mittaus
- automaattiset puhdistusjärjestelmät
- puhdistamista helpottavat apuvälineet (teleskooppiharjat ja vesipisteet)

Toinen merkittävä ongelma oli tiheä huollontarve ja siihen vaikuttava huollon hankaluus. Erityisesti pienen henkilökunnan laitoksilla ja ulkotiloissa olevat mittaukset saattavat olla työläitä ylläpidettäviä. Huollontarvetta voidaan keventää seuraavilla seikoilla:

- optinen mittaus
- huoltosopimus
- automaattiset puhdistuslaitteet
- digitaalinen mittaus ja vaihtoanturit
- mittauspisteen vaihto tai läpivirtausastiat

Optiset mittaukset ovat käytännössä huoltovapaita ioniselektiivisiin mittauksiin verrattuna, mutta puhdistustarpeeseen mittaustavalla ei ole vaikutusta. Huollon suorittamisen hankaluuteen voidaan vaikuttaa laitteen sijoituksella ja automaattisilla puhdistuslaitteilla. Ulkotiloihin sijoitettuja mittauksia voidaan myös siirtää sisätiloihin järjestämällä mittaukset prosessista pumpattavaan läpivirtausastiaan. Näitä järjestelyitä oli joillakin puhdistamoilla lähtevän veden mittauksissa.

Kolmas merkittävä analyysimittausten ongelma-alue on mittauksen luotettavuus. Samaan alueeseen kuuluvat myös epätarkkuus ja ryömintä. Nämä ovat osittain selitettävissä likaantumisella, mutta myös laiteominaisuuksilla on merkitystä. Tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

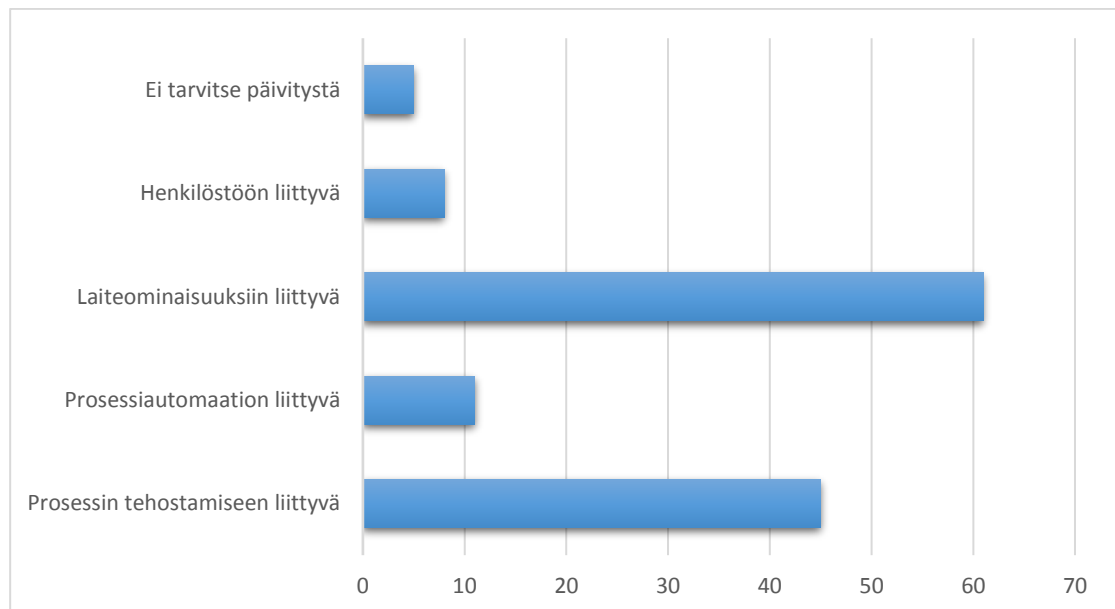
- mittausalue
- mittausalueelle sopiva kalibrointi
- monipistekalibrointi
- digitaalinen mittaus tai lyhyempi anturin kaapeli
- optinen- (happi) tai differentiaalimittaus (pH ja redox)

Analyysimittausten tarkkuuteen, tai suhteelliseen virheeseen, vaikuttaa merkittävästi niiden mittausalue. Erittäin tarkkoja tuloksia on mahdollista saada pienelle, tarpeeseen sopivalle mittausalueelle suunnitellulla laitteella. Samoin mittauksen ryömintä tapahtuu niiden mittausalueen suhteen, joten pienemmällä mittausalueella ryömintä on vähäisempää. Analysaattoreissa puolestaan on automaattinen kalibrointi, monipuolisesti mittausalueita ja niiden tarkkuus on antureita parempi. Analysaattoreiden hankintakustannus on yleensä antureita korkeampi, mutta erityisesti pienien pitoisuuksien mittaamisessa toiminta on parempaa. Digitaalisten mittausten yksi etu on mittaustuloksen muut-

tumattomuus ja häiriönsietokyky moninkertaisesti pidemmällä siirtomatkoilla analogisiin mittauksiin verrattuna. Optisissa- ja differentiaaliantureissa on sisäänrakennettu virheenkorjaus, joka vähentää ryömintää ja parantaa mittaustarkkuutta.

### 7.3 Mittaustiedon käytön kehitystarpeet

Analyysimittausten kehitystarpeissa oli suurta hajontaa, mutta teemoittain jaoteltuna nykyaikaiset laitteet ja kehittyneet ominaisuudet olivat houkuttelevia perusteita uusien analyysimittauksien laittokseen. Myös prosessin tehostaminen nähtiin selvästi muista teemoista suurempana tekijänä. Teemoiksi koostetut vastaukset on esitetty kuvassa 32. Tulosten tulkinnassa on mielestäni huomattava, että kysely ja haastattelut painottuivat erityisesti analyysimittausten toimintaan ja niiden parissa työskentelyyn.



**KUVA 32. Mittaustiedon kehitystarpeet teemoittain**

Prosessinohjauksessa analyysimittauksia käytettiin lähinnä ilmastuksen ohjaamiseen ja kemikaalin annosteluun. Mittaustiedon lisäämisessä kiinnostavimmat analyysimittaukset olivat ravinteiden ja kiintoaineen mittaukset, joita molempia voidaan käyttää suoraan prosessia ohjaavina mittauksina. Typenpoiston ohjaamisessa analyysimittausten käyttö oli vielä harvinaista, mutta laitteiden ominaisuuksien puolesta ohjauksen toteuttaminen olisi mahdollista.

## 7.4 Avoimet kysymykset

Selvitys oli painottunut käytännön havaintoihin ja kokemuksiin. Mittaustiedon käytön ja kehitystarpeiden selvittämiseksi kysely ja haastattelut olisi voinut käyttökäyttökunnan sijaan kohdistaa laitosten esimiehiin, asiantuntijoihin, suunnittelijoihin, laitetoimittajiin ja laitosautomaatiotoimittajiin. Käyttökäyttökunnalla ei välttämättä ole samantyyppisiä valmiuksia pohtia eri kehitysvaihtoehtoja kuin erikoistuneilla asiantuntijoilla ja toisaalta aihealue on niin laaja, että siihen tulisi laatia oma kyselynsä.

Muita lisätutkimusta edellyttäviä osa-alueita ovat kehittyneiden ohjausjärjestelmien ja nykyaikaisten analyysimittausten yhteensopivuus sekä mittausten todellisen suorituskyvyn selvittäminen. Kehittyneitä ohjausjärjestelmiä on kokeiltu käytännössä ja käytetään enemmän tai vähemmän aktiivisesti muutamilla laitoksilla Suomessa, mutta kokeilun aikaisia olosuhteita ei voida soveltaa suoraan yleiseen käyttöön. Koeajoja on järjestetty asiantuntijoiden johdolla isoilla laitoksilla, joissa on arviolta paremmat resurssit keskittyä koeajon aikaiseen ylläpitoon. Miten kehittyneitä ohjausjärjestelmiä voidaan soveltaa käytännössä ja millaisia mittauksia niiden käyttäminen edellyttää? Analyysimittausten valikoima on laaja ja monipuolinen prosessinohjauksen kannalta, mutta tässä työssä ei tutkittu laitteiden suorituskykyä. Mittauksissa on myös useita mielenkiintoisia laitteita, joita voidaan soveltaa perusmittauksia laajemmin prosessin ohjauksessa. Esimerkiksi WTW:llä on useita monen parametrin mittaamiseen suunniteltuja laitteita. Näiden laitteiden voisi ajatella tuovan pienellä laitemäärällä ratkaisun pienten tai keskisuurten laitosten prosessinohjaukseen, mikäli ilmoitetut tarkkuudet pitäisivät paikkansa. Käytännössä asia pitäisi testata suunnitelmallisesti, tässä työssä tulokset olivat käyttäjien mielipiteitä omista laitteistaan.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Käytettävyydeltään hyvän analyysimittauksen toteuttamiseen vaikuttaa useita tekijöitä, joista useimmiten toistunut kokonaisuus oli käyttäjän toimet eri muodoissa. Kaikista mittaustyypeistä havaittiin hyvin toimineita toteutuksia ja useimmista myös heikosti toimineita. Varsinaisia täysin toimimattomia laitetyppejä ei tutkimuksessa tullut ilmi. Erityisen hyvin toimineita mittauksia sen sijaan selvitettiin useita. Käyttäjien kokemus-



ten mukaan optiset happimittaukset, fosforianalysointilaitteet ja mikroaaltotekniikkaan perustuvat kiintoainemittaukset toimivat hyvin ja mainittiin usein erityisen hyvin toimivina mittauksina. pH- ja redox-mittaukset ovat koeteltua tekniikkaa ja niiden ominaisuudet ovat hyvin tunnettuja, joten niiden osalta esiintyi ongelmia vain harvoin. Myös ioniselektiivisistä mittauksista selvitettiin hyviä kokemuksia. Hyvin toimineita laitteita olivat automaattisilla puhdistuslaitteilla varustetut mittausseläimet, joista hyviä kokemuksia oli saatu erityisesti pyyhkimillä toimineista laitteista.

Hyvin toimivan analyysimittauksen tekijät voidaan tulosten perusteella jakaa neljään eri tekijäkokonaisuuteen:

- Laite soveltuu tarkoitukseensa
- Laitetta huolletaan suunnitelmallisesti
- Käytön aikainen tarkkailu on säännöllistä
- Käyttäjät tuntevat laitteen ominaisuudet

Tarkoitukseen soveltuvalla mittauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä yksittäisen parametrin mittaamiseen sopivaa mittausaluetta ja ennalta sopivaksi arvioitua huollon tarvetta. Useimpien parametrien mittaamiseen on valittavissa monia eri mittausseläimiä tai erittäin laajoja mittausseläimiä, jotka vaikuttavat mittaustulosten käytettävyyteen. Joidenkin mittausten kohdalla myös mittaustapa voidaan valita. Optinen mittaaminen on yleensä käyttäjän kannalta helpoin ja automaattisesti kalibroiva analysointilaitteiden tarkkin.

Eniten hyvin toimineita mittauksia yhdistivät analyysimittausten säännöllinen huolto ja rutiinomainen puhdistaminen. Halutun toiminnan varmistamiseksi analyysimittausten tarkastaminen ja huoltaminen on suunniteltava ennakoon säännölliseksi, paikalliset ja ajankohtaan perustuvat olosuhteet huomioon ottaen. Kaikilla valmistajilla ja laitetuottajilla on valmiudet arvioida laitteiden huollontarvetta, mutta paikallisten olosuhteiden arviointi on tehtävä käyttäjien kokemusten perusteella. Analyysimittaukset tulisi lisätä mahdolliseen huolto-ohjelmaan tai kalenteriin ja laitteiden puhtaanapidon tulisi olla osa viikoittaista rutiinia. Liian raskaaksi muodostuvan huolto-ohjelman helpottamiseksi tulisi harkita huoltopalveluiden käyttämistä ja keskittää omia resursseja käytön aikaiseen ylläpitoon.

Säännöllisen huollon ja kunnossapidon lisäksi laitteita on myös seurattava ja niiden toimintaa täytyy arvioida käytön aikana. Huollon tarvetta tulee arvioida analyysimittaus-  
ten toimintaan liittyvien epäilyjen, kokemusten tai käyttötarkkailutuloksista poikkeavien mittaustulosten perusteella. Vertailu käyttötarkkailutuloksiin onnistuu helposti, jos mittaustulokset tallentuvat puhdistamon automaatiojärjestelmään, vaikka mittausta ei käytettäisikään prosessin ohjaamiseen.

Käyttäjien tulee myös osata käyttää laitteita. Huoltoa ja tarkkailua tukee laitteiden tunteminen ja niiden ominaisuuksiin tutustuminen. Laitteiden ohjeisiin tutustuminen, kokemusten jakaminen, kunnossapitotietojen kerääminen ja mahdollisesti käyttökoulutus vaikuttavat laitteiden käytettävyyteen koko niiden elinkaaren ajan. Laitteiden käytön ohella myös vikaantumismuotojen tuntemisella on merkitystä laitteiden luotettavuuteen ja kestävyteen. Laitteiden ominaisuuksien tuntemisesta on hyötyä myös laitteiden sijoittelun suunnittelussa.

## LÄHTEET

Blan, Nicole, Nunn, Jessica, Roxas, Pamela Anne & Sequerah, Cynthia 2012. Composition Sensors. Teoksessa Chemical Process Dynamics and Control. University of Michigan. Open textbook. Pdf-dokumentti. [http://open.umich.edu/sites/default/files/chemical\\_process\\_dynamics\\_and\\_controls-book\\_1.pdf](http://open.umich.edu/sites/default/files/chemical_process_dynamics_and_controls-book_1.pdf) Päivitetty 25.7.2012. Luettu 19.5.2012.

Camacho, Eduardo F. & Bordons, Carlos 2007. Model Predictive Control. Springer-Verlag. Lontoo.

Daly, John 2007. What is turbidity? Pdf-esitys. International society of automation. [http://www.isanorcal.org/download/tech2007\\_presentations/turbidity.pdf](http://www.isanorcal.org/download/tech2007_presentations/turbidity.pdf) Päivitetty 15.5.2007. Luettu 26.4.2016.

D’Orazio, P & Meyerhoff, M 2006. Electrochemistry and Chemical Sensors. Teoksessa Burtis, Carl A. & Bruns, David. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnosis. USA: Elsevier Saunders, 151 –171.

Emerson 2010. Theory and application of conductivity. Application data sheet. Emerson Process Management. Pdf-dokumentti. [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq\\_ADS\\_43-018.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq_ADS_43-018.pdf) Päivitetty 21.1.2010. Luettu 16.5.2016.

Endress+Hauser 2012a. Operating instructions. Oxymax COS51D. Pdf-dokumentti. [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000093/0607/000/02/BA00413CEN\\_1312.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000093/0607/000/02/BA00413CEN_1312.pdf) Päivitetty 5.10.2012. Luettu 19.6.2016.

Endress+Hauser 2012b. Operating instructions. Oxymax COS61D. Pdf-dokumentti. [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000335/1712/000/01/BA00460CEN\\_1312.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000335/1712/000/01/BA00460CEN_1312.pdf) Päivitetty 22.8.2012. Luettu 19.6.2016.

Endress+Hauser 2013. The perfect formula for your wastewater treatment plant: Efficiency up, costs down with the Liquicontrol CDC80. Pdf-dokumentti. [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000521/4961/000/01/IN01005CEN\\_0113\\_Liquicontrol\\_CDC80.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000521/4961/000/01/IN01005CEN_0113_Liquicontrol_CDC80.pdf) Päivitetty 12.4.2013. Luettu 21.6.2016.

Endress+Hauser 2014. Technical Information. CYR52 Ultrasonic cleaning. Pdf-dokumentti. [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000896/7154/000/01/TI01153CEN\\_0214.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000896/7154/000/01/TI01153CEN_0214.pdf) Päivitetty 16.7.2014. Luettu 17.5.2016.

Endress+Hauser 2016a. Load-based biological treatment solution Liquicontrol CDC80. www-sivu. <http://www.endress.com/en/solutions-lowering-costs/analytical-solutions/aeration-control-load-based/aeration-control-wastewater-liquicontrol> Ei päivitystietoa. Luettu 21.6.2016.

Endress+Hauser 2016b. Memosens: cutting-edge sensor technology. www-sivu. <http://www.endress.com/en/Endress-Hauser-group/product-center-competencies/endress+hauser-conducta/technology-highlights-liquid-analysis/memosens-digital-sensor-technology> Ei päivitystietoa. Luettu 22.6.2016.

Flaherty, Brittany, Curran, Christine & Pakan, Lauren 2012. Optimization. Teoksessa Chemical Process Dynamics and Control. University of Michigan. Open textbook. Pdf-dokumentti. [http://open.umich.edu/sites/default/files/chemical\\_process\\_dynamics\\_and\\_controls-book\\_1.pdf](http://open.umich.edu/sites/default/files/chemical_process_dynamics_and_controls-book_1.pdf) (627- 657) Päivitetty 25.7.2012. Luettu 19.5.2012.

Gaigalas, A.K. & Li, Li 2001. The Development of Fluorescence Intensity Standards. Teoksessa Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 106. 381-389. Pdf-dokumentti. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/106/2/j62gai.pdf> Päivitetty 23.5.2001. Luettu 16.5.2016.

Hach 2009. Solitax sc. Tekninen esite. Pdf-dokumentti. <http://uk.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593615199> Päivitetty 23.1.2009. Luettu 17.5.2016.

Hach 2010. Solitax sc user manual. Pdf-dokumentti. <http://uk.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593604875> Päivitetty 18.1.2010. Luettu 19.6.2016.

Hach 2012. Filtrax online analysers accessories. Tekninen esite. Pdf- dokumentti. <http://www.hyx.fi/products/documents/4feae7a074ac/Filtraxonlineanalyser-sENG.pdf> Päivitetty 11.5.2012. Luettu 17.5.2016.

Hach 2013a. Technical note. What is the difference between pH meters/probes offered as classic (alalogue) or new digital (intelligent) version? Pdf-dokumentti. <http://pt.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593629891> Päivitetty 25.11.2013. Luettu 21.6.2016.

Hach 2013b. Amtax sc user manual. Pdf-dokumentti. <http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639982970> Päivitetty 2.8.2013. Luettu 19.6.2016.

Hach 2013c. AN-ISE, AISE, NISE sc user manual. Pdf-dokumentti. <http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=10070775050> Päivitetty 9.4.2013. Luettu 19.6.2016.

Hach 2013d. 3798-S sc Digital inductive conductivity sensor user manual. <http://uk.hach.com/3798-s-sc-digital-inductive-conductivity-sensor-10m-cable/product-details?id=26371027477&callback=pf> Pdf-dokumentti. Päivitetty 20.2.1013. Luettu 19.6.2016.

Hach 2014. Nitratatx sc user manual. Pdf-dokumentti. <http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639982966> Päivitetty 31.10.2014. Luettu 19.6.2016.

Hach 2016. Real Time Controls (RTC). Tekninen esite. www- dokumentti. <http://www.hach.com/real-time-controls-rtc/real-time-controls-rtc/family?productCategoryId=35547627776#> Ei päivitystietoa. Luettu 23.5.2016.

Haimi, Henri, Mulas, Michela, Sahlstedt, Kristian & Vahala, Riku 2009. Advaced operation and control methods of municipal wastewater treatment processes in Finland.

Teknillinen korkeakoulu. Pdf-dokumentti. [http://builtenv.aalto.fi/fi/midcom-serveat-attachmentguid-1e3897b5ba0b532897b11e384ef05a57a0f9d3c9d3c/ica\\_report\\_haimi\\_et\\_al.pdf](http://builtenv.aalto.fi/fi/midcom-serveat-attachmentguid-1e3897b5ba0b532897b11e384ef05a57a0f9d3c9d3c/ica_report_haimi_et_al.pdf) Päivitetty 10.6.2009. Luettu 29.4.2016.

Haimi, Henri 2016a. Data-derived soft sensors in biological wastewater treatment. Väitöskirja. Aalto yliopisto. Helsinki.

Haimi, Henri 2016b. Datapohjaisella mallinnuksella työkaluja jätevedenpuhdistukseen. *Vesitalous* 3/2016. s 28–31.

IUPAC 2014. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). <http://goldbook.iupac.org/L03641.html> Päivitetty 24.2.2014. Luettu 12.5.2016.

Jaarinen, Soili, Niiranen, Jukka 2005. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy, 2005.

Jeffery, G.H., Basset, J., Mendham, J. & Denney, R.C. 2005. *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. 5. painos. [http://www.ufpa.br/quimicanalitica/Vogel's%20-%20Textbook%20of%20quantitative%20chemical%20analysis%20\(5th%20Edition;%20Longmann\).pdf](http://www.ufpa.br/quimicanalitica/Vogel's%20-%20Textbook%20of%20quantitative%20chemical%20analysis%20(5th%20Edition;%20Longmann).pdf) Pdf-dokumentti. Päivitetty 1.1.2005. Luettu 10.5.2016.

Kangas, Ari 2004. Jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset. Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja numero 15. Copy-Set. Helsinki.

Karaila, Heli 2016. Henkilökohtainen tiedonanto. 24.5.2016. Product Manager. Valmet automation.

Kadlec, Petr, Bogdan, Gabrys & Strandt, Sibylle 2012. Data-driven soft sensors in the process industry. *www-julkaisu. Academica*. [http://www.academia.edu/2213478/Data-driven\\_soft\\_sensors\\_in\\_the\\_process\\_industry](http://www.academia.edu/2213478/Data-driven_soft_sensors_in_the_process_industry) Ei päivitystietoa. Luettu 3.5.2016.

Kaya, Ibrahim, Tan, Nusret & Atherton, Derek p. 2007. Improved Cascade Control Structure for Enhanced Performance. <https://core.ac.uk/download/files/109/2709321.pdf> Päivitetty 27.8.2007. Luettu 2.5.2016.

Kemker, Christine 2014a. Measuring Turbidity, TSS, and Water Clarity. *Fundamentals of Environmental Measurements*. Fondriest Environmental, Inc. <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/equipment/measuring-water-quality/turbidity-sensors-meters-and-methods/> Päivitetty 5.10.2014. Luettu 13.5.2016.

Kemker, Christine 2014a. Measuring Dissolved Oxygen. Fondriest Environmental, Inc. <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/equipment/measuring-water-quality/dissolved-oxygen-sensors-and-methods/> Päivitetty 7.1.2014. Luettu 16.5.2016.

Klute, Ulrich 2008. Microwave measuring technology for the sugar industry. Berthold Technologies GmbH & Co. Pdf-dokumentti.

[https://www.berthold.com/en/.../en\\_isj\\_microwave.pdf](https://www.berthold.com/en/.../en_isj_microwave.pdf) Päivitetty 19.2.2008. Luettu 16.5.2016.

Kohlmann, Fred 2012. pH Sensors: Know wheter to calibrate the sensor, clean the sensor, perform a calibration check or ...? Endress+Hauser. Pdf-dokumentti. [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000485/0038/000/00/CP01202C\\_ph%20sensor\\_calibrate%20clean%20or%20check.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000485/0038/000/00/CP01202C_ph%20sensor_calibrate%20clean%20or%20check.pdf) Päivitetty 14.2.2012. Luettu 21.6.2016.

Kotiranta, Olli 2012. Amperometrisen välittäjäaineanturin karakterisointilaitteiston suunnittelu ja toteutus. Diplomityö. Aalto yliopisto. Pdf-dokumentti. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100567.pdf> Päivitetty 30.1.2012. Luettu 9.5.2016.

Labkotec 2008. pH-pH anturin tekniset tiedot. Ei tekijätietoja. Pdf-dokumentti. [http://www.labkotec.fi/sites/default/files/tiedostot/pHD%2BpH%2B%26%2Bre-dox\\_FIN.pdf](http://www.labkotec.fi/sites/default/files/tiedostot/pHD%2BpH%2B%26%2Bre-dox_FIN.pdf) Päivitetty 17.11.2008. Luettu 10.5.2016.

Metso 2013. Metso Total Solids Measurment. Tekninen esite. Pdf-dokumentti. [http://www.precisioncontrol.com.my/pdf/Metso\\_E8923.pdf](http://www.precisioncontrol.com.my/pdf/Metso_E8923.pdf) Päivitetty 25.10.2013. Luettu 17.5.2016.

Mitchell, Thomas O. 2006. Luminescence Based Measurment of Dissolved Oxygen in Natural Waters. Hach Co. Pdf-dokumentti. <http://www.ott.com/download/ldo-white-paper/> Päivitetty 23.1.2006. Luettu 16.5.2016.

Olsson, Gustaf 2012. ICA and me. Teoksessa Water Research, vol 46, s 1585- 1624. Pdf- dokumentti. [http://ac.els-cdn.com/S0043135411008487/1-s2.0-S0043135411008487-main.pdf?\\_tid=692f321a-57db-11e6-965a-00000aacb35e&acdnat=1470051235\\_0cd39b388431125efe6d3f2708f63926](http://ac.els-cdn.com/S0043135411008487/1-s2.0-S0043135411008487-main.pdf?_tid=692f321a-57db-11e6-965a-00000aacb35e&acdnat=1470051235_0cd39b388431125efe6d3f2708f63926) Päivitetty 16.2.2012. Luettu 1.8.2016.

Olsson, Gustaf, Carlsson, Bengt, Comas, Joaquim, Copp, J, Gearnaey, K.V., Ingildsen, P, Jeppsson, Ulf, Kim, C, Rieger, L, Rodriguex-Roda, I, Steyer, Jean-Philippe, Takács, Imre, Vanrolleghen, P.A., Vargas Casillas, A, Yuan, Zhiguo & Linda Åmand 2013. Instrumentation, Control and Automation in wastewater – from London 1973 to Narbonne 2013. Pdf- dokumentti. <http://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/pvr1102.pdf> Päivitetty 10.7.2013. Luettu 18.4.2016.

Orellana, G, Cano-Raya, C, López-Gejo, J & Santos, AR 2011. Online Monitoring Sensors. Teoksessa Wilderer, Peter (toimittanut) Treatise on Water Science, osa 3. 221-262. Academic Press. Elsevier Ltd. Oxford.

Poutiainen, H., Laitinen, S., Juntunen, P. & Heinonen-Tanski, H. 2009. On-line microwave total solids sensing in sewage characterization. IWA Publishing 2009. Sähköisesti toimitettu Pdf-dokumentti. 18.5.2016.

Poutiainen, Hannu 2012. Jätevedenpuhdistuksen mallinnuksen kehittäminen ja optimointi. Teoksessa Poutiainen, Hannu & Heinonen-Tanski, Helvi (toimittaneet) 2012. Modernit menetelmät yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn tehostamisessa. Itä-Suomen

yliopisto. Pdf-dokumentti. <https://www2.uef.fi/documents/1110526/1357930/MOME+Raportti+2012.pdf/4804394f-811a-413f-aa0f-4ec32c9c6904> Päivitetty 13.4.2012. Luettu 12.5.2016.

Pulli, Timo 2015. Anturit ja Arduino. Aalto yliopisto. Pdf-esitys. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/99002/mod\\_page/content/44/Anturit.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/99002/mod_page/content/44/Anturit.pdf) Päivitetty 28.9.2016. Luettu 21.6.2016.

Sadar, Mike 2002. Turbidity instrumentation – an overview of today’s available technology. Hach yhtiö. Pdf-dokumentti. <http://water.usgs.gov/osw/techniques/TSS/sadar.pdf> Päivitetty 15.4.2002. Luettu 18.4.2016.

Tehrani, Kambiz Arab & Mpanda Augustin 2012. PID Control Theory. Teoksessa Panda, Rames C. (toimittanut) 2012. Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas. Pdf-dokumentti. <http://www.intechopen.com/books/introduction-to-pid-controllers-theory-tuning-and-application-to-frontier-areas/theory-of-pid-and-fractional-order-pid-fopid-controllers> Päivitetty 1.1.2012. Luettu 10.5.2016.

Toshiba 2009. LQ Series. Tekninen esite. Pdf-dokumentti. <https://www.toshiba.co.jp/sis/en/seigyofind/pdf/H15028.pdf> Päivitetty 4.8.2009. Luettu 18.5.2016.

Wen, Bin Ji, Swee, Chuan Tjin, Bo, Lin & Choong, Leng Ng 2013. Highly Sensitive Refractive Index Sensor Based on Adiabatically Tapered Microfiber Long Period Gratings. Pdf-dokumentti. [www.mdpi.com/1424-8220/13/10/14055/pdf](http://www.mdpi.com/1424-8220/13/10/14055/pdf) Päivitetty 17.10.2013. Luettu 11.5.2016.

Wescott, Tim 2008. PID without a PhD. FLIR Systems. Pdf-dokumentti. <http://eas.uccs.edu/~cwang/ECE4330F12/PID-without-a-PhD.pdf> Päivitetty 22.2.2008. Luettu 1.5.2016.

Vanýsek, Peter 2004. The Glass pH electrode. The Electrochemical Society. Pdf-dokumentti. <https://www.electrochem.org/dl/interface/sum/sum04/IF6-04-Pages19-20.pdf> Päivitetty 1.7.2004. Luettu 10.5.2016.

WTW 2013. WTW tuoteluettelo. Pdf-dokumentti. <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/uk/en-gb/industries/Documents/Xylem%20Analytics%20Products%20-%20Coal%20Authority.pdf> Päivitetty 11.11.2013. Luettu 18.5.2016.

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Typpimittaukset

Malli	Parametrit	Tekniikka	Mittausalue mg/l	Erotuskyky mg/l	Tarkkuus mg/l	Vasteaika min	Muuta
<b>Hach&amp;Lange</b>							
Nitratax plus sc	S NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV	0,1-100	0,1	0,5 (3%)	1	
Nitratax eco sc	S NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV	1-20	0,5	1 (5%)	15	
Nitratax clear sc	S NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV	0,5-20	0,1	0,5 (5%)	5	
NISE sc	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	0-1000	0,2	0,2 (5%)	3	
A-ISE sc	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,2-1000	0,2	0,2 (5%)	2	
AN-ISE sc	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	0-1000	0,2	0,2 (5%)	3	
	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	0-1000	0,3	0,2 (5%)	4	
AMTAX sc	A NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,02- 5	0,02	0,02 (3%)	5	
AMTAX sc	A NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,05-20	0,05	3% ±0,05	5	
AMTAX sc	A NH <sub>4</sub> -N	ISE	1-100	1	3% ±1	5	
AMTAX sc	A NH <sub>4</sub> -N	ISE	10-1000	10	4,5% ±10	5	
<b>Endress+Hauser</b>							
Viomax CAS51D	NO <sub>3</sub> -	UV lum.	0,01-10	0,01	0,04 (2%)		COD, TOC
Viomax CAS51D	NO <sub>3</sub> -N	UV lum.	0,1-50	0,1	0,2 (2%)		COD, TOC
ISEmax CAS40D	S NO <sub>3</sub> -N	ISE potent.	0,1-1000		±5% ±0,2	2	K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup>
ISEmax CAS40D	S NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,1-1000		±5% ±0,2	2	K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup>
<b>YSI/ WTW</b>							
VARiON Plus 700 IQ	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	±5% ±0,2	3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , ( K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> )
	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	1-1000	1	±5% ±0,2	3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , ( K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> )
	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	±5% ±0,2	3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ( K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> )
	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	1-1000	1	±5% ±0,2	3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ( K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> )
AmmonoLyt 700 IQ	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1	±5% ±0,2	3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (K <sup>+</sup> )
	S NH <sub>4</sub> -N	ISE	1-2000	1	±5% ±0,2	3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (K <sup>+</sup> )
NitraLyt 700 IQ	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	0,1-100	0,1		3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	S NO <sub>3</sub> -N	ISE	1-1000	1		3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NitraVis 701 IQ	S NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-150	0,1			
	S NO <sub>3</sub>	UV VIS s	0-750	0,1			
NitraVis 705 IQ	S NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-50	0,01			
	S NO <sub>3</sub>	UV VIS s	0-250	0,1			
NiCaVis 705 IQ	S NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-50	0,01			NO <sub>3</sub> , COD, BOD, TOC
NitraVis 701 IQ NI	S NO <sub>2</sub> -N	UV VIS s	0-75				TS
	S NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-150				TS
NitraVis 705 IQ TS	S NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0- 50	0,01			
	S TSS	UV VIS s	0- 900	0,1			
NiCaVis 701 IQ NI	S NO <sub>2</sub> -N	UV VIS s	0-75	0,01			NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , COD, BOD, TOC



## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Typpimittaukset

Malli	Parametrit	Tekniikka	Mittausalue mg/l	Erotuskyky mg/l	Tarkkuus mg/l	Vasteaika min	Muuta
UV 701 IQ Nox	S NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	UV ab	0-100	0,1			
	S		0-20	0,1			
TresCon A111	A NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,1-1000	0,01			
TresCon A111	A NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,05-10	0,005			
TresCon A111	A NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ISE potent.	0,1-1280	0,01			
TresCon A111	A NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ISE potent.	0,05-12,8	0,005			
TresCon ON210	A NO <sub>3</sub> -N	UV ab	0,1-60	0,1-1			
TresCon ON210	A NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	UV ab	0,1-250	0,1-1			
TresCon ON510	A NO <sub>2</sub> -N	Kolorimetri	0,005-1,2	0,001			
TresCon ON510	A NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Kolorimetri	0,02-4	0,001			
<b>ABB</b>							
Aztec AAM631	A NH <sub>3</sub>	ISE	0,05-1000	0,001-0,1	±5- 7,5% ±5%	5	
Aztec AAM632	A NH <sub>3</sub>	Kolorimetri	0-3	0,001	(0,005)	20	
AV 450 (puhdasvesi)	A NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	UV s	0-100	0,1	±2% (0,5)	3	
AV 455 (puhdasvesi)	A NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	UV s	0-100	0,1	±2% (0,5)	3	
<b>S::can</b>							
Nitro::lyser 2 (1mm)	A NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-100		±3% +1		
	TSS	UV VIS s	0-15000				
Nitro::lyser 2 (2mm)	NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-40		±3% +0,5		
	TSS	UV VIS s	0-3000				
Ammo::lyser 4 eco	A NH <sub>4</sub> -N	ISE potent.	0,3-30	0,02-0,1	±3% (0,5)		pH
	NO <sub>3</sub> -N	ISE potent.	0-200				
Multi::lyser (2mm)	A NO <sub>3</sub> -N	UV VIS s	0-40		±3% (0,5)		TSS, COD, BOD, TOC
<b>Metrohm</b>							
2035 NH4-N	A NH <sub>4</sub> -N	Kolorimetri	0-2				
2035 NO3-N	A NO <sub>3</sub> -N	Kolorimetri	0-5				
2035 NO2-N	A NO <sub>2</sub> -N	Kolorimetri	0-2				
<b>AppliTek</b>							
TONI	A kok-N	Kolorimetri	0-20	0,2	< 4%	30-60	

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Fosforimittaukset

Malli			Mittausalue mg/l	Erotuskyky mg/l	Tarkkuus mg/l	Vasteaika min
<b>Hach&amp;Lange</b>						
Phosphax sc	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-15	0,05	± 2% + 0,05	5
<b>Endress+Hauser</b>						
Liquiline CA80PH	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-10	0,01	± 2%	
Liquiline CA80PH	PO <sub>4</sub> -P		0,5-50	0,05	± 2%	
Stamolys CA71PH	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-2,5		± 2%	6
Stamolys CA71PH			0,05-10		± 2%	
<b>WTW</b>						
TresCon OP210	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0,05-3	0,01		
TresCon OP210	PO <sub>4</sub>	Kolorimetri	0,05-3			
P700 IQ	PO <sub>4</sub> -P		0,05-15,00		± 2% ± 0,05	5
P700 IQ	PO <sub>4</sub> -P		1-50		± 2% ± 1	5
<b>Metrohm</b>						
2035 (o-PO <sub>4</sub> -P)	PO <sub>4</sub> -P	Kolorimetri	0-2			
2035 (total phosphorous)	kok-P	Kolorimetri	0-0,2			
<b>ABB</b>						
Aztec AW636	PO <sub>4</sub>	Kolorimetri	0,05-50	0,001	±5% (0,005)	15
<b>AppliTek</b>						
TOPHO	kok-P	Kolorimetri	0-1 0-5	< 0,005	< 2%	30
EnviroLyzer	PO <sub>4</sub>	Kolorimetri	0-1			

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Happimittaukset

Malli		Mittausalue mg/l	Erotuskyky mg/l	Tarkkuus mg/l/ %	Vasteaika s
-------	--	---------------------	--------------------	---------------------	----------------

## Hach&amp;Lange

Evita Oxy	ISE amperometri	0-20		±0,1 -0,5%	10
5740 sc	ISE amperometri	0-40	0,01-0,1	± 2%	120
LDO	VIS luminenssi	0,01-20	0,01	± 0,05-0,2	40-60

## Endress+Hauser

Oxymax COS61	VIS luminenssi	0-20		± 1-2%	60
Oxymax COS51	ISE amperometri	0,01-100	0,01	± 1%	30-480

## YSI/ WTW

FDO 925	VIS luminenssi	0-20		± 0,5%	60
FDO 700/701 IQ	Optinen	0-20	0,01	± 0,05 - 0,1	60-200
TriOxmatic IQ	ISE	0-60	0,1		180
	ISE	0-20	0,01		30-90

## Prominent

Dulcotest DO	ISE amperometri	0,1-10		±0,5%	110
--------------	-----------------	--------	--	-------	-----

## ABB

9408				±0,2 / 0,2%	20
9437	ISE amperometri	0-20	0,1	±5%	1
ADS430	VIS luminenssi	0-50	0,01	0,1-0,2	60

## S::can

Oxi::lyser	VIS luminenssi	0-25	0,01	±0,02/ ±1%	60
------------	----------------	------	------	------------	----

## Thermo Scientific

RDO Pro-X	Optinen	0-20	0,01-0,1	±0,1 -0,2	30
-----------	---------	------	----------	-----------	----

## Honeywell

DL5000	ISE amperometri			±0,2	60
--------	-----------------	--	--	------	----

**LIITE 1(5).****Analyysimittausten tekninen vertailu****Kiintoainemittaukset**

Malli		Mittausalue	Erotuskyky	Tarkkuus	Vasteaika	Puhdistus	Huom!
<b>Hach&amp;Lange</b>		g/l TS	g/l	g/l / %			
Solitax ts-line sc	IR sironta x2	0,001-50		5%	1-300	pyyhin	
Solitax hs-line sc	IR sironta x2	0,001-150		5%		pyyhin	
TSS sc	IR sironta	0,001-500			1-300		

**Endress+Hauser**

Turbimax CUS51D	90°/ 135° sironta	0-4		1-5 %		paineilma	
Turbimax CUS51D	90°/ 135° sironta	0-300		1-5 %		paineilma	

**WTW/ YSI**

ViSolid 700 IQ	Sironta	0,003-1000				Ultraääni	
VisoTurb 700 IQ	IR sironta	0,0001 -400				Ultraääni	

**ABB**

4670	Läpäisevyys	0-2				Pyyhin	
------	-------------	-----	--	--	--	--------	--

**S::can**

UV::lyser (1mm)	UV VIS spektrom	0-15				paineilma	
Soli::lyser 1	IR absorptio	0,25-30	0,001-0,1	±0,1 (±5%)		paineilma	
Soli::lyser 2	IR absorptio	0-1,5	0,001-0,1	±0,002 (±5%)	60	paineilma	

**Valmet (lietemittaukset)**

Valmet TS	Mikroaalto	0-40 % TS	0,001 %Cs				Linjamittaus
Valmet LS	Sironta ja absorptio	0-5 TSS					Rejektimittaus
Valmet DS	Mikroaalto	15-35 % TS	0,001 %				Kuivattu liete

**Thermo Scientific**

Datastick SS	90° sironta	0-20	0,001				
--------------	-------------	------	-------	--	--	--	--

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Sameusmittaukset

Malli		Mittausalue FNU	Erotuskyky FNU	Tarkkuus FNU	Vasteaika s	Puhdistus
<b>Hach&amp;Lange</b>						
Solitax t-line sc	IR sironta	0,001- 4000		0,01		Pyyhin
Solitax ts-line sc	IR sironta x2	0,001- 4000		1%	1-300	Pyyhin
Solitax hs-line sc	IR sironta x2	0,001- 4000		1%		Pyyhin
TSS sc	IR sironta	0,001- 4000		5% tai $\pm 0,01$	1-300	
<b>Endress+Hauser</b>						
Turbimax CUS51D	90°/ 135° sironta	0-4000		2% tai $\pm 0,1$		Paineilma
Turbimax CUS51D	90°/ 135° sironta	0-4000		2% tai $\pm 0,1$		Paineilma
Turbimax CUS52D	90° sironta	0-4000		2% $\pm 0,01$	1	Paineilma
<b>WTW</b>						
ViSolid 700 IQ	Sironta	0,05-4000				Ultraääni
VisoTurb 700 IQ	IR sironta	0,1-4000				Ultraääni
<b>Prominent</b>						
Dulcotest turb C	90° sironta	0-1000		$\pm 2-5\%$		Ultraääni
<b>ABB</b>						
4670	Läpäisevyys	0-2000 FTU	1 FTU	$< \pm 10\%$		Pyyhin
	Läpäisevyys	0-1000 FTU	1 FTU	$\pm 2\%$		Pyyhin
4690	90° sironta	0-400	0,3	$\pm 5\%$ tai 0,3	$< 60$	
<b>Thermo Scientific</b>						
DataStick WRTMS	NIR 90° sironta	0,1-4000	0,1	0,2%		

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## pH-mittaukset

Malli			Mittausalue pH	Erotuskyky pH	Tarkkuus pH	Vasteaika
<b>Hach&amp;Lange</b>						
pHD sc	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	±0,01	±0,02	
<b>Endress+Hauser</b>						
Orbipac CPF81 (D)	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14			
Orbisint CPS11 (D)	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12			
<b>WTW/ YSI</b>						
Sensolyt 700 IQ	Sähkökemiallinen		0-14			
<b>Prominent</b>						
Dulcotest PHER	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12			
Dulcotest PHEX	Sähkökemiallinen	Potentiaali	1-12			
<b>ABB</b>						
AP300	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14			
TBX551/556/557/561/587	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14			
<b>S::can</b>						
pH::lyser pro	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14	0,01	0,1	30
<b>Thermo Scientific</b>						
pHR ROSS	Sähkökemiallinen	Potentiaali	0-14			
DataStick pH	Sähkökemiallinen	Differentiaali	0-14	0,01	0,1 %	30

**LIITE 1(8).****Analyysimittausten tekninen vertailu****Redox-mittaukset**

Malli			Mittausalue mV	Erotuskyky mV	Tarkkuus mV	Vasteaika s	Ryömintä mv/ 24h
<b>Hach&amp;Lange</b>							
pHD sc ORP	platina/kulta	potentiometri	± 1500	0,5	5		2
<b>Endress+Hauser</b>							
Orbipac CPF82 (D)	platina/kulta	potentiometri	± 1500				
<b>WTW/ YSI</b>							
SensoLyt 700 IQ	platina		± 2000				
<b>Prominent</b>							
Dulcotest RHER-Pt-SE	platina	potentiometri	± 1500				
Dulcotest RHEX-Pt-SE	platina	potentiometri	± 1500				
<b>ABB</b>							
AP300	platina	potentiometri	±2000				
TBX551 inline	platina	potentiometri	±2000				
TBX562	platina	potentiometri	±2000				
<b>S::can</b>							
Redo::lyser		potentiometri	±2000	1	±10	30	
Thermo Scientific DataStick ORP	platina/kulta		±2100	0,1	0,1%	90	

## Analyysimittausten tekninen vertailu

## Sähkönjohtokyky

Malli		Mittausalue mS/ cm	Erotuskyky mS/ cm	Tarkkuus mS/ cm	Vasteaika s
<b>Hach&amp;Lange</b>					
3798-S sc	Induktiivinen	0,25 - 2500		±0,004	15
3700	Induktiivinen	0,2- 2000		± 0,015	0,5
<b>Endress+Hauser</b>					
Indumax CLS50D	Induktiivinen	0,002 - 2000		±0,005 +0,5%	2
Condumax CLS21D	Konduktiivinen	0,01 - 20		1%	3
<b>WTW</b>					
TetraCon 700 IQ		0,01 -500			
<b>Prominent</b>					
Dulcotest ICT1 (-IMA)	Induktiivinen	0,2-1000		< 1%	
Dulcotest ICT2	Induktiivinen	0,02- 2000		±0,005 +0,5%	
<b>ABB</b>					
TB404	Induktiivinen	0-2000			
TB454	Konduktiivinen	0-2000			
<b>S::can</b>					
Condu::lyser	Konduktiivinen	0-500		1%	
<b>Thermo Scientific</b>					
AnalogPlus TCS	Induktiivinen	0-2000	4,5	0,1%	
AnalogPlus C/RS	Konduktiivinen	0-5000	4,5	0,1%	
DataStick	Induktiivinen	0-2000	4,5	0,1	30
<b>Honeywell</b>					
5000TC	Induktiivinen	0,2-2000			



## Analyysimittausten tekninen vertailu

Analyysimittausten lähteet, luettu 18.5. – 29.6.2016

<b>ABB</b>	
Aztec AAM631	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/bb64df459ecbbb31c1257a75004da23e/DS_AAM631-EN_A.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/bb64df459ecbbb31c1257a75004da23e/DS_AAM631-EN_A.pdf</a>
Aztec AAM632	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/91995780e39c4647c12579bb004ff69f/DS_AZT6AM-EN_C.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/91995780e39c4647c12579bb004ff69f/DS_AZT6AM-EN_C.pdf</a>
AV 450 /455	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/a19034324b1e0a8ec1257862003b0d87/DS_AV4NIT-EN_E.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/a19034324b1e0a8ec1257862003b0d87/DS_AV4NIT-EN_E.pdf</a>
Aztec AW636	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/795d8b3962c59e47c1257d7300365c8e/DS_AZT6P-EN_E.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/795d8b3962c59e47c1257d7300365c8e/DS_AZT6P-EN_E.pdf</a>
9408	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/e961ce5e8ca5c74bc1257e300032fb4d/IM_9408_J.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/e961ce5e8ca5c74bc1257e300032fb4d/IM_9408_J.pdf</a>
9437	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/935d14ea6dc93cb6c1257a620036f164/IM_9437_H.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/935d14ea6dc93cb6c1257a620036f164/IM_9437_H.pdf</a>
ADS430	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/e38a8bcfcf985bc6c1257e2900525a59/DS_ADS430-EN_A.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/e38a8bcfcf985bc6c1257e2900525a59/DS_ADS430-EN_A.pdf</a>
4670	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/0d96351381441196c1257a1a004fe4e3/DS_4670-EN_R.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/0d96351381441196c1257a1a004fe4e3/DS_4670-EN_R.pdf</a>
AP300	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/3101cc44458246e8a2ef739bb408cb90/DS_AP300-EN_G.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/3101cc44458246e8a2ef739bb408cb90/DS_AP300-EN_G.pdf</a>
TBX551/556/557/561/587	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/98b4f5ccc94f4983c12579580050864c/DS_TBX5-EN_E.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/98b4f5ccc94f4983c12579580050864c/DS_TBX5-EN_E.pdf</a>
TB404	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/71012faf6d57ba7fc1257bc2004f6d40/DS_TB404-EN_D.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/71012faf6d57ba7fc1257bc2004f6d40/DS_TB404-EN_D.pdf</a>
TB454	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/8a1832d57f178e0ec1257c470034c952/DS_TB4CS-EN_G.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/8a1832d57f178e0ec1257c470034c952/DS_TB4CS-EN_G.pdf</a>
4670	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/0d96351381441196c1257a1a004fe4e3/DS_4670-EN_R.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/0d96351381441196c1257a1a004fe4e3/DS_4670-EN_R.pdf</a>
4690	<a href="https://library.e.abb.com/pub-lic/9fe9a8bde2acd9c0c1257ca70037568b/DS_4690-EN%20Rev.%20B.pdf">https://library.e.abb.com/pub-lic/9fe9a8bde2acd9c0c1257ca70037568b/DS_4690-EN%20Rev.%20B.pdf</a>
<b>AppliTek</b>	
TONI	<a href="http://www.applitek.com/documents/Attachments/TONI-EN.pdf">http://www.applitek.com/documents/Attachments/TONI-EN.pdf</a>
TOPHO	<a href="http://www.applitek.com/documents/Attachments/TOPHO-EN.pdf">http://www.applitek.com/documents/Attachments/TOPHO-EN.pdf</a>
EnviroLyzer	<a href="http://www.applitek.com/documents/Attachments/EnviroLyzer-EN.pdf">http://www.applitek.com/documents/Attachments/EnviroLyzer-EN.pdf</a>

## Analyysimittauksen tekninen vertailu

<b>Endress+Hauser</b>	
Viomax CAS51D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3677/000/02/TI459CEN_1310.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3677/000/02/TI459CEN_1310.pdf</a>
ISEmax CAS40D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000396/7645/000/01/TI00491CEN_0214.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000396/7645/000/01/TI00491CEN_0214.pdf</a>
Liquiline CA80PH	<a href="http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/Orthophosphate-analyzer-ca80ph?highlight=phosphate">http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/Orthophosphate-analyzer-ca80ph?highlight=phosphate</a>
Stamolys CA71PH	<a href="http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/ortho-phosphate-analyzer-ca71ph?highlight=phosphate">http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/ortho-phosphate-analyzer-ca71ph?highlight=phosphate</a>
Oxymax COS61	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000543/5894/000/04/TI00387CEN_1312.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000543/5894/000/04/TI00387CEN_1312.pdf</a>
Oxymax COS51	<a href="http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/oxygen-amperometric-sensor-cos51d">http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/oxygen-amperometric-sensor-cos51d</a>
Turbimax CUS51D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3680/000/03/TI00461CEN_1513.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3680/000/03/TI00461CEN_1513.pdf</a>
Orbipac CPF81 (D)	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/6431/000/04/TI00191CEN_1314.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/6431/000/04/TI00191CEN_1314.pdf</a>
Orbisint CPS11 (D)	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/6795/000/04/TI00028CEN_1415.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/6795/000/04/TI00028CEN_1415.pdf</a>
Indumax CLS50D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000525/9838/000/06/TI00182CEN_1512.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000525/9838/000/06/TI00182CEN_1512.pdf</a>
Condumax CLS21D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000549/5581/000/05/TI00085CEN_1312.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000549/5581/000/05/TI00085CEN_1312.pdf</a>
Turbimax CUS51D	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3680/000/03/TI00461CEN_1513.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3680/000/03/TI00461CEN_1513.pdf</a>
Stamoclean CAT430	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000427/4763/000/04/TI338CEN_1311.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000427/4763/000/04/TI338CEN_1311.pdf</a>
Stamoclean CAT411	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0370/000/01/TI349cen.PDF">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0370/000/01/TI349cen.PDF</a>
Stamoclean CAT221	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000000/1381/000/01/TI384CEN_0610.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000000/1381/000/01/TI384CEN_0610.pdf</a>
Liquiline CAT820	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000825/4590/000/00/TI01131CEN_0114.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000825/4590/000/00/TI01131CEN_0114.pdf</a>
Liquiline CAT860	<a href="https://portal.endress.com/wa001/dla/5000830/7439/000/00/TI01137CEN_0114.pdf">https://portal.endress.com/wa001/dla/5000830/7439/000/00/TI01137CEN_0114.pdf</a>

## Analyysimittauksen tekninen vertailu

<b>Hach&amp;Lange</b>	
Nitratax plus sc	<a href="http://www.hach.com/nitratax-plus-sc-sensor-2-mm-path-length/product?id=7640095062">http://www.hach.com/nitratax-plus-sc-sensor-2-mm-path-length/product?id=7640095062</a>
Nitratax eco sc	<a href="http://www.hach.com/nitratax-eco-sc-sensor-1-mm-path-length/product?id=7640095090">http://www.hach.com/nitratax-eco-sc-sensor-1-mm-path-length/product?id=7640095090</a>
Nitratax clear sc	<a href="http://www.hach.com/nitratax-clear-sc-sensor-5-mm-path-length/product?id=7640095071">http://www.hach.com/nitratax-clear-sc-sensor-5-mm-path-length/product?id=7640095071</a>
NISE sc	<a href="http://www.hach.com/nise-sc-ise-nitrate-probe/product?id=14667082654">http://www.hach.com/nise-sc-ise-nitrate-probe/product?id=14667082654</a>
AN-ISE sc	<a href="http://www.hach.com/an-ise-sc-combination-sensor-for-ammonium-and-nitrate/product?id=9296230750">http://www.hach.com/an-ise-sc-combination-sensor-for-ammonium-and-nitrate/product?id=9296230750</a>
AMTAX sc	<a href="http://www.hach.com/amtax-sc-ammonium-analyzer-0-05-20mg-l-nh4-n-115v-5m-filter-probe-sc/product?id=7640092926">http://www.hach.com/amtax-sc-ammonium-analyzer-0-05-20mg-l-nh4-n-115v-5m-filter-probe-sc/product?id=7640092926</a>
Phosphax sc	<a href="http://uk.hach.com/phosphax-sc-phosphate-analyser-on-site-0-05-15-mg-l-5-m-filter-probe/product-details?id=26371003413&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/phosphax-sc-phosphate-analyser-on-site-0-05-15-mg-l-5-m-filter-probe/product-details?id=26371003413&amp;callback=qs</a>
Evita Oxy	<a href="http://uk.hach.com/evita-oxy-dissolved-oxygen-package-2-0-20-mg-l-85-264v-ac-50-60-hz/product-details?id=26373129452&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/evita-oxy-dissolved-oxygen-package-2-0-20-mg-l-85-264v-ac-50-60-hz/product-details?id=26373129452&amp;callback=qs</a>
5740 sc	<a href="http://uk.hach.com/5740-sc-digital-galvanic-dissolved-oxygen-sensor/product-downloads?id=26371027472&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/5740-sc-digital-galvanic-dissolved-oxygen-sensor/product-downloads?id=26371027472&amp;callback=qs</a>
LDO	<a href="http://uk.hach.com/lido-sc-process-sensor-for-dissolved-oxygen/product?id=26370978354&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/lido-sc-process-sensor-for-dissolved-oxygen/product?id=26370978354&amp;callback=qs</a>
Solitax	<a href="http://uk.hach.com/solitax-inline-sc-suspended-solids-built-in-probe-wiper-stainless-steel/product-downloads?id=25034734870&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/solitax-inline-sc-suspended-solids-built-in-probe-wiper-stainless-steel/product-downloads?id=25034734870&amp;callback=qs</a>
TSS sc	<a href="http://uk.hach.com/tss-sc-suspended-solids-probe-stainless-steel-immersion-style/product-downloads?id=26370871244&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/tss-sc-suspended-solids-probe-stainless-steel-immersion-style/product-downloads?id=26370871244&amp;callback=qs</a>
pHD sc	<a href="http://uk.hach.com/hach-phd-sc-online-process-ph-sensor-ph-sensor-for-clean-water/product-downloads?id=24929177847&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/hach-phd-sc-online-process-ph-sensor-ph-sensor-for-clean-water/product-downloads?id=24929177847&amp;callback=qs</a>
pHD sc ORP	<a href="http://uk.hach.com/hach-phd-sc-online-process-ph-sensor-ph-sensor-for-clean-water/product-downloads?id=24929177847&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/hach-phd-sc-online-process-ph-sensor-ph-sensor-for-clean-water/product-downloads?id=24929177847&amp;callback=qs</a>
3798-S sc	<a href="http://uk.hach.com/3798-s-sc-digital-inductive-conductivity-sensor-10m-cable/product-details?id=26371027477&amp;callback=pfb">http://uk.hach.com/3798-s-sc-digital-inductive-conductivity-sensor-10m-cable/product-details?id=26371027477&amp;callback=pfb</a>
3700	<a href="http://uk.hach.com/conductivity-sensors/3700-digital-inductive-conductivity-sensors/family-downloads?productCategoryId=25114174824">http://uk.hach.com/conductivity-sensors/3700-digital-inductive-conductivity-sensors/family-downloads?productCategoryId=25114174824</a>
TSS sc	<a href="http://uk.hach.com/tss-sc-suspended-solids-probe-stainless-steel-immersion-style/product-downloads?id=26370871244&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/tss-sc-suspended-solids-probe-stainless-steel-immersion-style/product-downloads?id=26370871244&amp;callback=qs</a>

## Analyysimittauksen tekninen vertailu

Filter probe	<a href="http://www.hach.com/filter-probe-sc-5-m-heated-hose-230-vac-50-hz/product?id=7640095962&amp;callback=qs">http://www.hach.com/filter-probe-sc-5-m-heated-hose-230-vac-50-hz/product?id=7640095962&amp;callback=qs</a>
Filtrax	<a href="http://uk.hach.com/sample-conditioning/filtrax-eco-sample-filtration-systems/family-downloads?productCategoryId=24758400527">http://uk.hach.com/sample-conditioning/filtrax-eco-sample-filtration-systems/family-downloads?productCategoryId=24758400527</a>
High Output Airblast	<a href="http://uk.hach.com/high-output-airblast-230v/product-details?id=24758448630&amp;callback=qs">http://uk.hach.com/high-output-airblast-230v/product-details?id=24758448630&amp;callback=qs</a>
<b>Honeywell</b>	
DL5000	<a href="https://www.honeywellprocess.com/library/support/Public/Documents/70-82-25-114.pdf">https://www.honeywellprocess.com/library/support/Public/Documents/70-82-25-114.pdf</a>
5000TC	<a href="https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/tech-specs/70-82-57-09.pdf">https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/tech-specs/70-82-57-09.pdf</a>
<b>Metrohm</b>	
2035	Henkilökohtainen tiedonanto, Teemu Koskinen/ Salla Paajanen/ Markku Kanto 25.8.2016
<b>Thermo Scientific</b>	
RDO Pro-X	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-RDO-Pro-X-EN-spec.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-RDO-Pro-X-EN-spec.pdf</a>
DataStick SS	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D16947~.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D16947~.pdf</a>
pHR ROSS	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D20993~.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D20993~.pdf</a>
DataStick pH	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensor-DataStick-pH-system-S-ASDSPH-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensor-DataStick-pH-system-S-ASDSPH-EN.pdf</a>
DataStick ORP	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/D16904~.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/D16904~.pdf</a>
AnalogPlus TCS	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-toroida-conductivity-sensor-S-ASAPTORO-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-toroida-conductivity-sensor-S-ASAPTORO-EN.pdf</a>
AnalogPlus C/RS	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-Cond-resistivity-S-ASAPCOND-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-Cond-resistivity-S-ASAPCOND-EN.pdf</a>
AnalogPlus pH	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-differential-pH-sensor-S-ASAPPH10-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-AnalogPlus-differential-pH-sensor-S-ASAPPH10-EN.pdf</a>
DataStick	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-DataStick-toroidal-S-ASDSTORO-E-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-DataStick-toroidal-S-ASDSTORO-E-EN.pdf</a>
DataStick WRTMS	<a href="https://static.thermoscientific.com/images/D16950~.pdf">https://static.thermoscientific.com/images/D16950~.pdf</a>
AquaClear	<a href="https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-DataStick-AquaClear-low-range-turbidimeter-S-ASDSTRLLR-EN.pdf">https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AquaSensors-DataStick-AquaClear-low-range-turbidimeter-S-ASDSTRLLR-EN.pdf</a>
<b>Prominent</b>	

## Analyysimittauksen tekninen vertailu

Dulcotest PHER	<a href="http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf">http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf</a>
Dulcotest RHER-Pt-SE	<a href="http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf">http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf</a>
Dulcotest turb C	<a href="http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf">http://share.prominent.com/Product-Catalogues/Product-Catalogues/Measuring-Control-Sensor-Technology-ProMinent-Product-Catalogue-Volume-2.pdf</a>
<b>S::can</b>	
Nitro::lyser 2	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/nitrolyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/nitrolyser_ww_EN.pdf</a>
Ammo::lyser 4 eco	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/ammolyser_eco_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/ammolyser_eco_ww_EN.pdf</a>
Multi::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/multilyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/multilyser_ww_EN.pdf</a>
Oxi::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/oxilyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/oxilyser_ww_EN.pdf</a>
UV::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/uvlyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/uvlyser_ww_EN.pdf</a>
Soli::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/solilyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/solilyser_ww_EN.pdf</a>
pH::lyser pro	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/phlyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/phlyser_ww_EN.pdf</a>
Redo::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/redolyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/redolyser_ww_EN.pdf</a>
Condu::lyser	<a href="http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/condulyser_ww_EN.pdf">http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/condulyser_ww_EN.pdf</a>
<b>Valmet</b>	
Valmet TS	<a href="http://www.valmet.com/globalassets/products/automation/analyzers-and-measurements/wastewater/valmet_ts_en.pdf">http://www.valmet.com/globalassets/products/automation/analyzers-and-measurements/wastewater/valmet_ts_en.pdf</a>
Valmet LS	<a href="http://www.valmet.com/globalassets/industries-we-serve/more-industries/wastewater/valmet-ls_en_ds.pdf">http://www.valmet.com/globalassets/industries-we-serve/more-industries/wastewater/valmet-ls_en_ds.pdf</a>
Valmet DS	<a href="http://www.valmet.com/globalassets/products/automation/analyzers-and-measurements/wastewater/br81569_en_01-valmet-dry-solids-measurement.pdf">http://www.valmet.com/globalassets/products/automation/analyzers-and-measurements/wastewater/br81569_en_01-valmet-dry-solids-measurement.pdf</a>
<b>WTW ja YSI</b>	
VARiON Plus 700 IQ	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76000-VARiON-Plus-e01.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76000-VARiON-Plus-e01.pdf</a>
AmmoLyt 700 IQ	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76003AmmoLyt-Plus-700-IQ-e01.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76003AmmoLyt-Plus-700-IQ-e01.pdf</a>
NitraLyt 700 IQ	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76004-NitraLyt-Plus-700-IQ-e01.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76004-NitraLyt-Plus-700-IQ-e01.pdf</a>

## Analyysimittauksen tekninen vertailu

NitraVis 701 IQ	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76078e02_NitraVis_701_705_IQ_YSI.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76078e02_NitraVis_701_705_IQ_YSI.pdf</a>
NiCaVis 705 IQ	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76082e01_NiCaVis_705_IQ_YSI.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76082e01_NiCaVis_705_IQ_YSI.pdf</a>
NitraVis 701 IQ NI	<a href="http://static.wtw.com/fileadmin/upload/Service/Downloads/Flyer-Broschueren/INT/Brochure_8_UV-VIS_1390-KB_INT-pdf.pdf">http://static.wtw.com/fileadmin/upload/Service/Downloads/Flyer-Broschueren/INT/Brochure_8_UV-VIS_1390-KB_INT-pdf.pdf</a>
NitraVis 705 IQ TS	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76079e02_NitraVis_701_705_IQ_TS_YSI.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76079e02_NitraVis_701_705_IQ_TS_YSI.pdf</a>
NiCaVis 701 IQ NI	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76132e01_NiCaVis_701_705_IQ_NI_YSI.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76132e01_NiCaVis_701_705_IQ_NI_YSI.pdf</a>
UV 701 IQ Nox	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76170e01_UV_701_705_IQ_NOx_YSI.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76170e01_UV_701_705_IQ_NOx_YSI.pdf</a>
TresCon A111	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-ammonium.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-ammonium.html</a>
TresCon ON210	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-nitrate.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-nitrate.html</a>
TresCon ON510	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-nitrite.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-nitrite.html</a>
TresCon OP210	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-orthophosphate.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/tresconr-analyzer/analyzer-for-orthophosphate.html</a>
P700 IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/iq-sensor-net-analyzer/p700-iq.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/analyzer/iq-sensor-net-analyzer/p700-iq.html</a>
FDO 9xx	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-ids-sensors-lab/ids-optical-dissolved-oxygen-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-ids-sensors-lab/ids-optical-dissolved-oxygen-sensors.html</a>
FDO 7xx	<a href="https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76014e03_FDO_70x_IQ_SW_H_YSI_web.pdf">https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76014e03_FDO_70x_IQ_SW_H_YSI_web.pdf</a>
TriOxmatic IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-electro-chemical-oxygen-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-electro-chemical-oxygen-sensors.html</a>
ViSolid	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-suspended-solids-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-suspended-solids-sensors.html</a>
VisoTurb	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-turbidity-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-turbidity-sensors.html</a>
SensoLyt 700 IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-phorp-armatures.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-phorp-armatures.html</a>

**Analyysimittauksen tekninen vertailu**

TetraCon 700 IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-conductivity-measuring-cells.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-conductivity-measuring-cells.html</a>
ViSolid 700 IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-suspended-solids-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-suspended-solids-sensors.html</a>
VisoTurb 700 IQ	<a href="http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-turbidity-sensors.html">http://www.wtw.com/en/products/product-categories/sensor-technology/digital-iq-sensors-online/iq-turbidity-sensors.html</a>

## a) Laitoksen perustiedot

Paikkakunta Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Alkuperäinen valmistusvuosi Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

AVL Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Keskivirtaama m<sup>3</sup>/vrk Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Ilmastuslinjojen lukumäärä Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Henkilöstömäärä Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Viimeisimmän automaation tai instrumentoinnin uudistusvuosi? Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

Automaatiojärjestelmän nimi ja toimittaja? Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

## b) Käytössä olevat laitteet, valmistajat ja toimittajat

### 1 Mitä kiinteitä analyysimittauksia laitoksellanne on käytössä? (Valitse kaikki soveltuvat)

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liuennot happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	BOD/COD/TOC	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteita	<input type="checkbox"/>

### 1b Mitä laitetyppejä laitoksellanne on käytössä? (Valitse kaikki soveltuvat)

Analogisia	<input type="checkbox"/>
Analogisia mittauksia ja digitaalisia lähettämiä	<input type="checkbox"/>
Digitaalisia	<input type="checkbox"/>



**2 Minkä laitetoimittajien palveluita on käytetty analyysimittausten hankinnassa tai huoltopalveluissa? (Valitse kaikki soveltuvat)**

- |                     |                          |   |                          |
|---------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| ABB                 | <input type="checkbox"/> | Labkotec Oy   | <input type="checkbox"/> |
| Aquaflow Oy         | <input type="checkbox"/> | ProMinent Finland Oy                                    | <input type="checkbox"/> |
| Christian Berner Oy | <input type="checkbox"/> | Sintrol Oy  | <input type="checkbox"/> |
| Dosfil Oy           | <input type="checkbox"/> | Y-Laite Oy  | <input type="checkbox"/> |
| Hantor Oy           | <input type="checkbox"/> | Muu yritys, mikä?                                       |                          |
| Hyxo Oy             | <input type="checkbox"/> | Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä. |                          |
| Kaiko Oy            | <input type="checkbox"/> |   |                          |

**3 Minkä valmistajien laitteita puhdistamalla on käytössä? (Valitse kaikki soveltuvat)**

- |                     |                          |              |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| ABB Co              | <input type="checkbox"/> | Knick GmbH   | <input type="checkbox"/> |
| Barben/ Amtek Inc   | <input type="checkbox"/> | Metso Oy     | <input type="checkbox"/> |
| Endress+Hauser GmbH | <input type="checkbox"/> | Partech Co   | <input type="checkbox"/> |
| Hamilton Co         | <input type="checkbox"/> | ProMinent Oy | <input type="checkbox"/> |
| GW Berg & Co Ab     | <input type="checkbox"/> | Swan AG      | <input type="checkbox"/> |
| Hach Co             | <input type="checkbox"/> | WTW GmbH     | <input type="checkbox"/> |
| Hach&Lange GmbH     | <input type="checkbox"/> | Labkotec Oy  | <input type="checkbox"/> |

**4 Muut mittausten laitevalmistajat?**

Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

### c) Analyysimittausten toiminta ja käyttöominaisuudet

#### **5 Mitkä mittaukset ja laitteet ovat toimineet suunnitellusti? (esim. ei huomautettavaa)**

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

#### **6 Mitkä mittaukset ja laitteet ovat toimineet erityisen hyvin? (esim. tarkka ja kalibrointivapaa)**

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

#### **7 Hyvin toimineet laitemallit, tuoteperheet tai laitteiden valmistajat?**

Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

**8 Mikä tai mitkä tekijät ovat vaikuttaneet hyvään toimivuuteen?** (esim. mittaustapa, analogisuus/digitaalisuus, automaattiset puhdistukset ja kalibroinnit)

Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

**9 Mitkä mittaukset ja laitteet ovat aiheuttaneet uudelleensijoittelua tai lisätöitä asennuksen jälkeen, mutta saatu toimimaan tyydyttävästi?** (esim. virtaus ei riittänyt, likaantui herkästi)

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

**10 Mitkä mittaukset ja laitteet ovat soveltuneet heikosti tehtäväänsä?** (esim. ryömintä, väärä mitta-alue yms.)

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

**11 Mikä tai mitkä tekijät ovat vaikuttaneet heikosti toimineisiin mittauksiin?** (Valitse kaikki soveltuvat)

- |                       |                          |                              |                          |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Mittauksen ryömintä   | <input type="checkbox"/> | Likaantumisherkyys           | <input type="checkbox"/> |
| Epätarkkuus           | <input type="checkbox"/> | Esikäsittelylaitteet         | <input type="checkbox"/> |
| Tiheä huollontarve    | <input type="checkbox"/> | Ylläpidon hankaluus          | <input type="checkbox"/> |
| Luotettavuus, muu syy | <input type="checkbox"/> | Soveltumattomuus jätevesille | <input type="checkbox"/> |
| Laitteen ikä          | <input type="checkbox"/> | Ylläpidon hankaluus          | <input type="checkbox"/> |
| Mitta-alue            | <input type="checkbox"/> | Ylläpidon kustannukset       | <input type="checkbox"/> |
| Yhteys logiikkaan     | <input type="checkbox"/> |                              |                          |

Muu syy, mikä? Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

## d) Laitteiden huolto

**12 Mitkä laitteet kalibroidaan ja huolletaan itse?**

- |                     |                          |                      |                          |
|---------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| pH                  | <input type="checkbox"/> | Sameus               | <input type="checkbox"/> |
| Redox               | <input type="checkbox"/> | Fosfori              | <input type="checkbox"/> |
| Sähkönjohtokyky     | <input type="checkbox"/> | Nitraattityppi       | <input type="checkbox"/> |
| Liuennut happi      | <input type="checkbox"/> | Ammoniumtyppi        | <input type="checkbox"/> |
| Kiintoaine          | <input type="checkbox"/> | Esikäsittelylaitteet | <input type="checkbox"/> |
| Lietepatjan korkeus | <input type="checkbox"/> |                      |                          |

**13 Mitä mittalaitteita on varustettu automaattisilla puhdistuslaitteilla?** (esim. puhallus, ultra-ääni, pyyhin)

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

**14 Kuinka suurta työmäärää laitteiden ylläpito edellyttää?**

Työtuntien määrä viikossa, noin Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

**15 Arvio työn määrästä saatuihin hyötyihin suhteutettuna?**

Kevyt	<input type="checkbox"/>	Joiltakin osin työläs	<input type="checkbox"/>
Sopiva	<input type="checkbox"/>	Raskas	<input type="checkbox"/>
Työläs	<input type="checkbox"/>		

**16 Minkä laitteiden huoltamiseen käytetään huoltopalveluja?**

pH	<input type="checkbox"/>	Sameus	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>	Fosfori	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>	Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Liennut happi	<input type="checkbox"/>	Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>	Esikäsittelylaitteet	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>		

## e) Mittaustiedon käyttö

### 17 Mikä on prosessin ajotapa?

- |                                   |                          |                                 |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Ei typenpoistoa                   | <input type="checkbox"/> | Kokonaistypenpoisto koko vuoden | <input type="checkbox"/> |
| Ammoniumtypenpoisto               | <input type="checkbox"/> | Biologinen fosforin poisto      | <input type="checkbox"/> |
| Kokonaistypenpoisto osan vuodesta | <input type="checkbox"/> |                                 |                          |

### 18 Mihin mittaustietoja käytetään? (Valitse kaikki soveltuvat)

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| Prosessin tilan seuraamiseen                      | <input type="checkbox"/> |
| Prosessin ohjaukseen käsin laitettavin asetuksin  | <input type="checkbox"/> |
| Prosessin ohjaukseen mittauslaitteiston ohjaamana | <input type="checkbox"/> |
| Prosessin ohjaukseen automaation ohjaamana        | <input type="checkbox"/> |

### 19 Mitä prosessin toimintoja ohjataan automaattisesti mittaustiedon perusteella?

- |                              |                          |                      |                          |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| Ilmastus                     | <input type="checkbox"/> | Kemikaalin annostelu | <input type="checkbox"/> |
| Ilmastettujen lohkojen osuus | <input type="checkbox"/> | Lietteenkuivaus      | <input type="checkbox"/> |
| Nitraatin kierrätys          | <input type="checkbox"/> |                      |                          |

Muuta, mitä? Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.

**20 Missä prosessinosassa voisi mahdollisesti lisätä mitatun tiedon määrää tai parantaa nykyisiä?**

Tuleva vesi	<input type="checkbox"/>	Jälkikäsittely	<input type="checkbox"/>
Esi-ilmastus	<input type="checkbox"/>	Lähtevä vesi	<input type="checkbox"/>
Esiselkeyty	<input type="checkbox"/>	Kemikalointi	<input type="checkbox"/>
Ilmastus	<input type="checkbox"/>	Mädätys	<input type="checkbox"/>
Jälkiselkeyty	<input type="checkbox"/>	Lietteenkuivaus	<input type="checkbox"/>

**21 Mitä mittauksia prosessissa voisi lisätä tai päivittää?**

pH	<input type="checkbox"/>
Redox	<input type="checkbox"/>
Sähkönjohtokyky	<input type="checkbox"/>
Liuennut happi	<input type="checkbox"/>
Kiintoaine	<input type="checkbox"/>
Lietepatjan korkeus	<input type="checkbox"/>
Sameus	<input type="checkbox"/>
Fosfori	<input type="checkbox"/>
Nitraattityppi	<input type="checkbox"/>
Ammoniumtyppi	<input type="checkbox"/>
Esikäsittelylaitteita	<input type="checkbox"/>

**22 Mitkä 1- 5 tekijää voisivat vaikuttaa analyysimittausten päivittämiseen tulevaisuudessa?**

- Ei tarvitse päivittää
- Lupaehtojen kiristyminen
- Puhdistustehon parantaminen
- Energiansäästö
- Automaatiojärjestelmään liittäminen
- Automaatiojärjestelmän päivittäminen
- Automaattiohjauksen tarve
- Henkilöstön koulutus ei riitä
- Henkilöstön määrä ei riitä
- Mittaustarkkuuden parantuminen
- Soveltuvien mittausten kehittäminen
- Analysaattorin korvaaminen anturilla
- Laskeneet laitekustannukset
- Laitteiden huoltovälin pidentäminen
- Parantuneet laitteiden ominaisuudet
- Parantunut laitteiden tarkkuus

Joku muu tekijä? Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä.