

Vesijohtojen kunnan tutkiminen

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 79

Helsinki 2022



Julkaisun jakelu:

Vesilaitosyhdistys
Ratamestarinkatu 7 B
00520 Helsinki

puh. (09) 868 9010
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu www.vvy.fi

ISSN-L 2242-7279
ISSN 2242-7279

ISBN 978-952-6697-77-2

Helsinki 2022

KUVAILEHTI			
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
<i>Tekijät</i>	Viivi Magi, Tuija Laakso, Jere Metsävuori ja Kalervo Mattila; Ramboll Finland Oy		
<i>Julkaisun nimi</i>	Vesijohtojen kunnan tutkiminen		
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 79		
<i>Julkaisun teema</i>	Vesijohtojen ja paineviemäreiden kuntotutkimukset		
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.		
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Suomen vesijohtoverkostot ikääntyvät ja vesijohtojen kunnan tutkiminen on ajankohtaista. Vesijohtojen ja paineviemäreiden kunnan selvittämistä koskevan ohjeen tavoitteena on esitellä menetelmiä paineellisten johtojen kunnan selvittämiseen ja seurantaan. Kuntotieto on keskeisessä asemassa verkosto-omaisuuden hallinnassa ja verkoston elinkaaren eri vaiheissa. Ohjeessa esitellään kunnonhallinnan prosessi ja vaihtoehtoisia lähestymistapoja kuntotiedon keruuseen. Lisäksi käydään läpi kuntotiedon hyödyntämisen edellytyksiä ja tapoja hyötyä kuntotiedoista monipuolisesti, esimerkiksi kunnanmallinnuksen avulla. Koska vesijohtojen kunnan selvittäminen maastossa ei ole aina mahdollista, ohjeessa esitellään jatkuvatoimisen mittauksen hyödyntämistä vesijohtoverkoston kunnonhallinnassa pitkälti suomalaisten ja yhdysvaltalaisien vesihuoltolaitosten haastatteluiden pohjalta. Ohjeen viimeisessä osiossa käydään läpi vesijohtojen ja paineviemäreiden paikallisia kuntotutkimuksia, joiden avulla voidaan selvittää yksittäisten linjojen kuntoa maastossa. Menetelmät on jaoteltu sisäisiin ja ulkoihin kuntotutkimusmenetelmiin ja näiden soveltuvuudesta erilaisiin kohteisiin on laadittu koostetaulukot.</p>		
<i>Avainsanat</i>	Vesijohdot, paineviemärit, kuntotutkimus, omaisuudenhallinta		
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
	<i>ISBN</i> 978-952-6697-77-2	<i>ISSN</i> 2242-7279	
	<i>Sivuja</i> 73	<i>Kieli</i> suomi	<i>luottamuksellisuus</i> julkinen
<i>Julkaisun jakelu</i>	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi		
	Tekijät vastaavat julkaisun sisällöstä eikä julkaisun sisältöä voida tulkita Vesilaitosyhdistyksen kannanotoksi.		

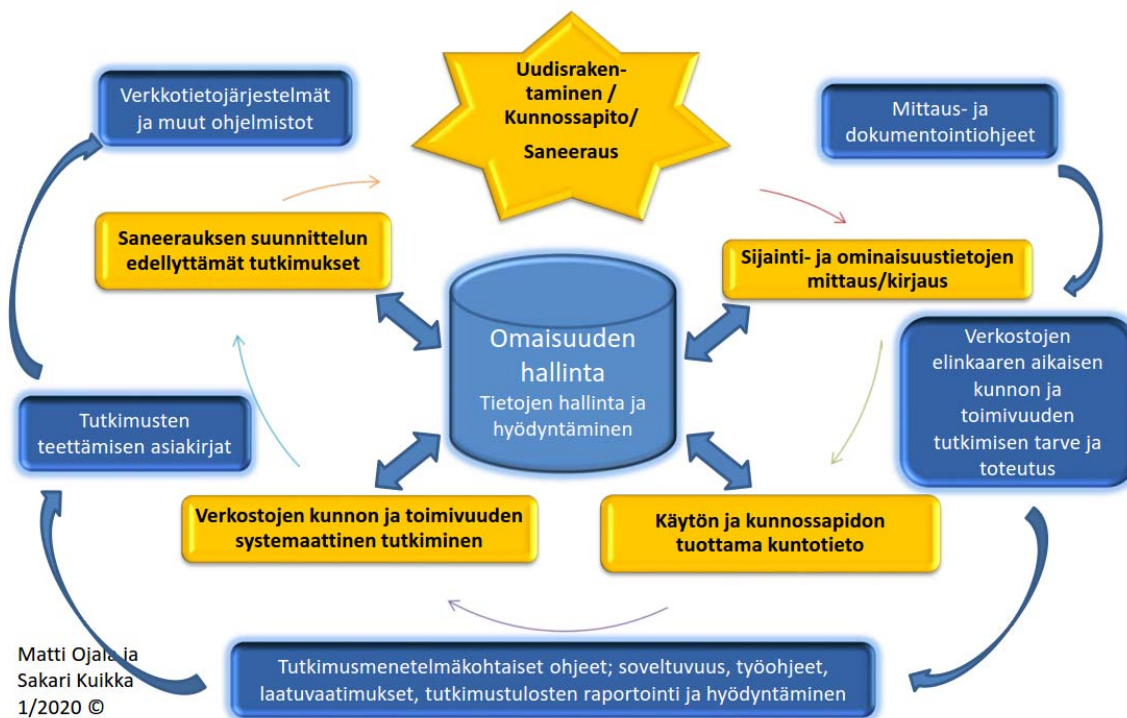
BESKRIVNINGSLAD			
<i>Publicerat av</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Författare</i>	Viivi Magi, Tuija Laakso, Jere Metsävuo och Kalervo Mattila; Ramboll Finland Ab		
<i>Publikationens titel</i>	Inspektion av vattenledningar		
<i>Publikationsseriens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens duplikatserie nr 79		
<i>Publikationens tema</i>	Inspektion av vattenledningar och tryckavlopp		
<i>Tillgänglighet</i>	Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.		
<i>Sammanfattning</i>	<p>Finlands vattenförsörjningsnätverk föråldras och en granskning av vattenledningarnas kondition är aktuellt. Syftet med anvisningarna för vattenledningar och tryckavlopp är att beskriva olika metoder för att utreda skicket av dessa samt för att följa upp konditionen. Information om konditionen är avgörande för hanteringen av nätverksegendomen under olika faser i dess livscykel. I anvisningen beskrivs processen för förvaltandet av konditionen samt alternativa metoder för att samla in information. Utöver detta, beskrivs förutsättningar för att kunna utnyttja data om nätverkets kondition och metoder för att utnyttja informationen mångsidigt, tex genom modellering av konditionen. Eftersom det inte alltid är möjligt att utreda nätverkets kondition på fältet, presenteras möjligheten att utnyttja kontinuerlig mätning för vattenledningsnätverk. Detta baseras till en stor del på intervjuer med vattenverk i Finland och i USA. I den sista delen av anvisningen presenteras lokala konditionsmätningar med vilka man kan utreda enskilda ledningars kondition i terräng. Metoderna är delade i interna och externa konditionsmätningar och sammanfattande tabeller presenteras för deras lämplighet för olika fall.</p>		
<i>Nyckelord</i>	vattenledningar, tryckavlopp, inspektion, förvaltning av nätverk		
<i>Finansiär/uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	<i>ISBN</i> 978-952-6697-77-2	<i>ISSN</i> 2242-7279	
	<i>Sidantal</i> 73	<i>Språk</i> finska	<i>Konfidentialitet</i> offentlig
<i>Distribution av publikationen</i>	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
	Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Vattenverksföreningens ståndpunkt.		

DESCRIPTION SHEET			
<i>Publisher</i>	Finnish Water Utilities Association		
<i>Author</i>	Viivi Magi, Tuija Laakso, Jere Metsävuo and Kalervo Mattila; Ramboll Finland Ltd		
<i>Publikationens titel</i>	Water pipe condition inspections		
<i>Name and number of publication series</i>	Publication series of Finnish Water Utilities Association n:o 79 (Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 79)		
<i>Subject of publication</i>	Condition inspection of water pipes and pressure sewers		
<i>Availability</i>	www.vvy.fi		
<i>Abstract</i>	<p>Water and wastewater networks in Finland are ageing and inspecting their condition is currently needed. The purpose of this manual, regarding the condition inspections of water distribution pipes and pressure sewers, is to present methods for the condition inspection and monitoring of pressurized pipelines. Condition information has a fundamental role in network asset management and at different phases of the network life cycle. This manual presents the condition management process and alternative ways for the collection of condition information. In addition, it presents prerequisites for advanced utilization of condition information and how condition information can be used comprehensively, for example in condition prediction. Since on site condition inspection is not always possible, the manual gives an overview on the use of online monitoring for the condition management of water distribution systems. This section is largely based on interviews of water utilities in Finland and the USA. The last section of the manual presents different condition inspection methods suitable for on-site inspection of individual pipelines. The inspection methods have been categorized into internal and external methods and their suitability for different situations are presented in tables.</p>		
<i>Key words</i>	Water pipes, pressure sewers, condition inspection, asset management		
<i>Financing</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	<i>ISBN</i> 978-952-6697-77-2	<i>ISSN</i> 2242-7279	
	<i>Pages</i> 73	<i>Language</i> Finnish	<i>Confidentiality</i> Public
<i>Distribution</i>	Finnish Water Utilities Association, www.vvy.fi		
The authors are responsible for the content of the publication and the content of the publication cannot be interpreted as a statement of Finnish Water Utilities Association (FIWA).			

Esipuhe

Vesijohtojen ja paineviemäreiden kuntotutkimukset ovat keskeinen osa ikääntyvien vesihuoltoverkostojen kunnonhallintaa. Kuntotutkimuksia käsittelevän ohjeen laatimisen tausta on Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys FiSTT:ssä, joka ryhtyi vuonna 2019 hahmottamaan vesihuoltoverkostoihin liittyviä ohjeistustarpeita. FiSTT:ssä tunnistetut ohjeistustarpeet on esitetty alla olevassa kuvassa. Kokonaisuudesta on valmistunut ”Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi, Verkoston elinkaaren hallinnan parantaminen” vuonna 2021 ja ”Viemäreiden kunnon tutkiminen, Visuaaliset tutkimusmenetelmät” vuonna 2021 ja näiden lisäksi nyt käsissä oleva ”Vesijohtojen kunnon tutkiminen”.

Vesihuoltoverkostojen elinkaaren aikainen tutkimustoiminta ja siihen liittyvät ohjeistustarpeet



Ohjeen kirjoitustyöstä ovat vastanneet Viivi Magi ja Tuija Laakso. Lisäksi ohjeen laatimiseen ovat osallistuneet Jere Metsävuori ja Kalervo Mattila. Kimmo Hell on toiminut projektissa asiantuntijana ja Tuija Laakso projektipäällikkönä. Hankkeen toteutuksesta on vastannut Ramboll Finland Oy.

Tekijät haluavat kiittää kaikkia, jotka antoivat panoksensa ohjeen laatimiselle haastattelujen muodossa tai toimimalla ohjausryhmässä.

Hankkeen ohjausryhmässä toimivat Mika Rontu, Juha Kettunen, Sami Kinnunen, Peter Ekstam, Esa Jokela, Juho-Matti Ahokas, Petri Ahti, Petri Elo, Jari Jantunen, Tiia Lamppola, Päivi Kopra, Ari Kaunisto, Sami Väisänen, Anssi Yrjölä, Toni Sivonen, Tommi Mäki, Hannu Mustonen, Hans Laihia, Tero Kilpeläinen (ohjausryhmän puheenjohtaja), Matti Huttunen, Enni-Maria Peltola, Piritta Kinnunen, Timo Kyntäjä, Pekka Laakkonen, Johan Storlund, Matti Ojala, Sakari Kuikka ja Ilkka Miettinen.

Ohjeen laatimisen rahoittivat Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto, Alva-yhtiöt Oy, FiSTT, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, Kokkolan Vesi, Kymen Vesi Oy, Lahti Aqua Oy (Aqua Palvelu Oy), Lappeenrannan Energia Oy, Nurmijärven Vesi, Oulun Vesi, Porvoon vesi, Riihimäen Vesi, Seinäjoen Vesi, Siipoon Vesi, Tampereen Vesi, Turun Vesihuolto Oy ja Vaasan Vesi.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	10
1.1	Kuntotiedon merkitys.....	10
1.2	Ohjeen käyttötarkoitus	11
1.3	Koulutustarpeet.....	11
2	Kunnonhallinnan prosessi ja kuntotutkimusten kohdistaminen.....	13
2.1	Kuntotieto ja kunnonhallinta	13
2.2	Riskiperusteinen kohteiden valinta.....	15
2.3	Kohteiden valinta verkoston kuntojakauman hahmottamiseksi.....	16
2.4	Kuntotutkimusmenetelmän valinta	18
2.4.1	Verkoston suunnitteluvaiheen vaikutus kuntotutkimuksiin	18
2.4.2	Kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuus eri kohteisiin	20
3	Kuntotiedon hyödyntäminen.....	23
3.1	Tulosten dokumentointi.....	23
3.2	Tiedonsiirto	24
3.3	Kunnonmallinnus	26
4	Jatkuvatoimisten mittausten hyödyntäminen kunnonhallinnassa.....	29
4.1	Vuotavuudenseuranta, vuodontunnistus ja vuodonpaikannus.....	29
4.2	Mittaustiedon hyödyntämisen edellytykset.....	29
4.3	Haastattelut vuodonpaikannuksesta	32
4.3.1	Taustatietoa	32
4.3.2	Alva-yhtiöt	32
4.3.3	Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY	33
4.3.4	Lahti Aqua	34
4.3.5	Seinäjoen Vesi	35
4.3.6	Virginia Beachin kaupungin vesihuoltolaitos	36
4.3.7	DC Water	37
4.3.8	Baltimoren vesihuoltolaitos	37
4.4	Kooste vuodonpaikannuksesta haastatelluilla laitoksilla.....	38
5	Paikalliset kuntotutkimukset.....	40
5.1	Kuntotutkimusmenetelmien jaottelu	40
5.2	Kuntotutkimuksilla selvitettävät tekijät.....	40
5.3	Valmistelevat työt.....	41
5.4	Ulkoiset kuntotutkimusmenetelmät	43
5.4.1	Menetelmätyypit.....	43
5.4.2	Elektroninen kuuntelupistin	43
5.4.3	Akustokorrelaattori ja hydrofoni.....	44
5.4.4	Maamikrofoni.....	45
5.4.5	Ääni- ja paineloggerit	46
5.4.6	Maaperätutka	47
5.4.7	Ultraäänimittaus	48
5.4.8	Drooni.....	48
5.4.9	Satelliittitutkimus	49
5.4.10	Kaikuluotaus.....	50
5.4.11	Seinämäpaksuuden akustinen mittaus	51
5.4.12	Veden laatuparametrien ja virtausominaisuuksien mittaaminen	52
5.4.13	Koostetaulukko vesijohtojen ulkoisista kuntotutkimusmenetelmistä	53
5.5	Sisäiset kuntotutkimusmenetelmät.....	55
5.5.1	Menetelmätyypit.....	55
5.5.2	Hygienia	55

5.5.3	Merkkikaasu	55
5.5.4	Vapaasti uivat työkalut.....	56
5.5.5	Vesijohtokamera	58
5.5.6	Yhdistetty akustinen ja sähkönjohtavuustutkimus	60
5.5.7	Puhdistuselementtiin yhdistetty vuotoäänitutkimus	60
5.5.8	Akustinen putken skannaus.....	60
5.5.9	Läpiajettava videokuvaus ja digitaalinen kuvaus	61
5.5.10	Robotit	62
5.5.11	Näytepalat	62
5.5.12	Koostetaulukko vesijohtojen sisäisistä kuntotutkimusmenetelmistä .	63
5.5.13	Muut.....	65
5.6	Verkoston laitteiden kuntotutkimukset	65
5.7	Paineviemäreiden tutkimukset.....	66
5.7.1	Ulkopuoliset kuntotutkimusmenetelmät	66
5.7.2	Sisäiset kuntotutkimusmenetelmät	66
5.7.3	Koostetaulukko paineviemäreiden kuntotutkimusmenetelmistä	67
6	Lähteet.....	69

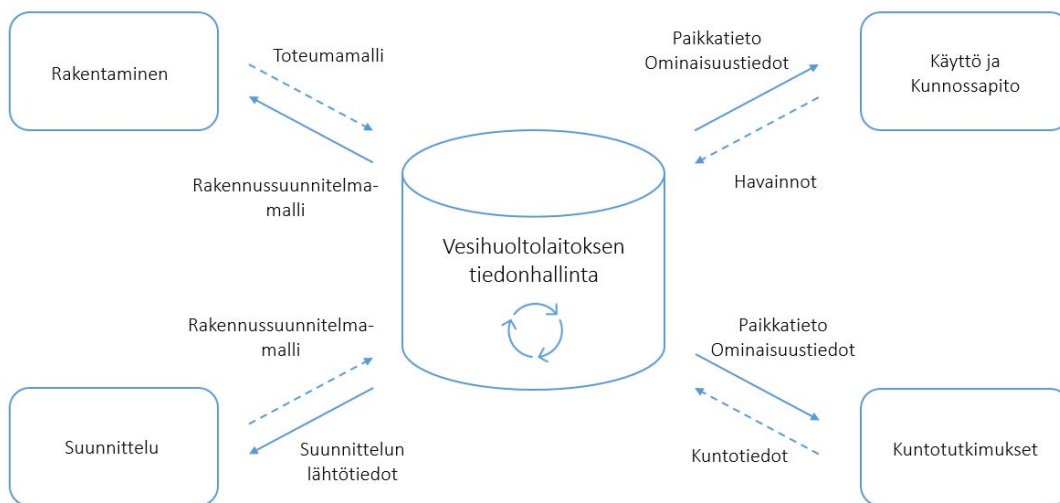
1 JOHDANTO

1.1 KUNTOTIEDON MERKITYS

Suomen vesihuoltoverkostoista valtaosa on rakennettu 1970-luvulla tai sen jälkeen (*Lapinlampi ja Raassina 2002*). Verkostossa voi olla myös esimerkiksi yli satavuotiaita vesijohtoja, mutta tällaisten määrä on hyvin vähäinen. Verkoston ikääntyminen aiheuttaa kasvavan tarpeen selvittää putkiston kuntoa, jotta tiedetään, milloin saneeraukset ovat ajankohtaisia.

Vesihuoltolakiin (119/2001) vuonna 2014 tehty lisäys (§15) edellyttää, että vesihuoltolaitos on selvillä verkostojensa kunnosta. Vesijohtojen ja paineviemäreiden kunnon tutkiminen on hankalaa, sillä toisin kuin viettoviemäreille, kaikille vesijohdoille ja paineviemäreille yleisesti sopivaa kuntotutkimusmenetelmää ei ole olemassa.

Varsin pienilläkin suomalaisilla vesihuoltolaitoksilla on satoja kilometrejä vesijohtoverkostoa. Tämän verkosto-omaisuusmassan hallitsemisessa kuntotutkimuksilla on suuri merkitys. Kuntotutkimuksista saatavat tiedot ovat olennaisia verkoston kunnossapidon kannalta ja ratkaisevassa asemassa uusia kuntotutkimuksia ja tulevia saneerauksia koskevien päätösten kannalta. Kuva 1 esittää kuntotutkimusten sijoittumista verkoston elinkaareissa.



Kuva 1. Vesihuoltolaitoksen tiedonhallinta elinkaaren näkökulmasta (*muokattu lähteestä Laakso ym. 2021*).

Kuntotietoa voi syntyä jo heti rakentamisvaiheen jälkeen vastaanotto- ja takuutarkastusten tuloksena sekä käytön ja kunnossapidon yhteydessä. Kuntotietojen keruuta edeltää prosessi, joka määrittää, mitä, miten ja mistä kuntotietoja kerätään. Tietojen keruun onnistumisesta riippuu paljolti, kuinka paljon hyötyä tiedoista on koko verkoston kunnon hallinnan ja toisaalta kuntotutkittujen kohteiden elinkaaren hallinnan kannalta. Parhaimmillaan kuntotiedot ja niiden pohjalta tehtävä kunnonmallinnus palvelevat elinkaaren kaikkia vaiheita.

Kuntotieto on keskeisessä asemassa, kun arvioidaan verkoston nykyistä ja tulevaa saneeraustarvetta, saneerauksiin ja kuntotutkimuksiin tarvittavia resursseja ja saneerausten oikeaa kohdentamista. Saneerausten kohdentamista on saattanut ohjata viemäreiden kunto, koska niiden tutkiminen on helpompaa. Vesijohtojen kuntotiedot antavat kuitenkin kokonaiskuvan verkostojen tilanteesta. Lisäksi ne mahdollistavat läpinäkyvän päätöksenteon ja antavat saneeraustarpeelle selkeän perustelun myös vesihuoltolaitoksen ulkopuolelle.

Vesijohtojen kuntotutkimus edellyttää yleensä sekä verkoston jatkuvaa kunnonseurainta että erilaisia paikallisia kuntotutkimuksia. Paikalliset kuntotutkimusmenetelmät poikkeavat toisistaan esimerkiksi sen suhteen, mitä kuntotietoa tutkimuksesta saadaan, vai kuttaako tutkimusten toteuttaminen vedenjakeluun tai mitä johtopäätöksiä tarvittavista toimenpiteistä tutkimuksen pohjalta voidaan tehdä. Päinvastoin kuin paikallisilla tutkimuksilla, jatkuvatoimisella seurannalla pystytään yleensä seuraamaan vain yksittäistä linjaa laajemman alueen kuntoa.

Tämä ohje keskittyy maastossa tehtäviin paikallisiin, tyypillisesti elinkaaren loppuvaiheessa toteutettaviin kuntotutkimuksiin sekä jatkuvatoimiseen kunnonseurantaan, jota voidaan tehdä missä tahansa elinkaaren vaiheessa.

1.2 OHJEEN KÄYTTÖTARKOITUS

Vesijohtojen ja paineviemäreiden kunnan tutkimista koskeva ohje on tarkoitettu monipuolisesti vesihuoltoalan käyttöön. Ensisijainen käyttäjäryhmä on vesihuoltolaitoksen henkilökunta, esimerkiksi verkostoinsinöörit, putkimestarit, asentajat ja vesihuoltolaitoksen johto. Ohjeen mahdollisia hyödyntäjiä ovat myös esimerkiksi kuntotutkimusten toteuttajat ja urakoitsijat, konsultit ja tietojärjestelmien toimittajat.

Ohjetta voidaan käyttää eri kuntotutkimusvaihtoehtojen vertailussa, kuntotutkimusten suunnittelun ja toteutuksen tukena ja kunnossapidon kohteiden valinnan apuna. Lisäksi ohjeessa käsitellään tutkimuksista saatavan kuntotiedon tallentamista, hyödyntämistä ja jatkojalostusta.

1.3 KOULUTUSTARPEET

Tämän oppaan laatimisen yhteydessä tunnistettiin vesijohtojen kuntotutkimuksiin liittyen kuvassa 2 esitettyjä koulutustarpeita. Koulutuksesta voivat hyötyä laajasti vesihuoltokentän eri toimijat, esimerkiksi asentajat, mittaajat, mittausalan yritykset, suunnittelijat ja konsultit sekä vesihuoltolaitoksen omaisuudenhallinnasta vastaavat tahot. Koulutuksilla lisätään tietoisuutta eri kuntotutkimusvaihtoehdoista ja niistä saatavan tiedon oikeasta dokumentoinnista ja laajamittaisesta hyödyntämisestä. Tavoitteena on, että kuntotutkimukset ja kunnonseuranta huomioitaisiin verkoston elinkaaren eri vaiheissa, esimerkiksi suunnittelun ja kunnossapitotöiden yhteydessä. Oman kokonaisuutensa muodostaa jatkuvatoimisen mittauksen hyödyntäminen vuotojen havaitsemisessa ja paikannuksessa ja erityisesti etälueuttavien vesimittareiden ja hydraulisen mallinnuksen käyttö. Koulutukset tähtäävät sujuvaan ja systemaattiseen kunnonhallintaan.



Kuva 2. Koulutus osana kunnonhallintaa.

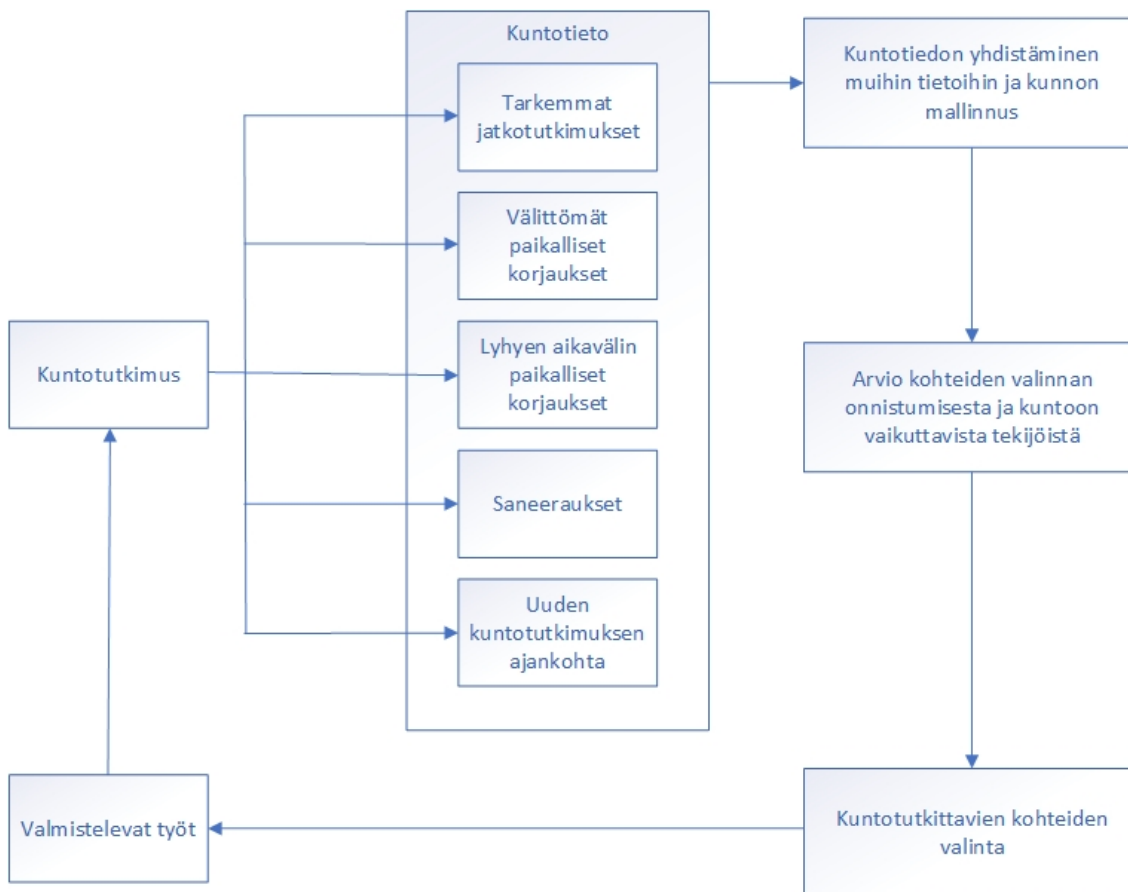
2 KUNNONHALLINNAN PROSESSI JA KUNTOTUTKIMUSTEN KOHDISTAMINEN

2.1 KUNTOTIETO JA KUNNONHALLINTA

Kuntotieto on keskeisessä asemassa kunnonhallinnan prosessissa, joka on esitetty kuvassa 3. Prosessi alkaa kohteiden valinnalla ja tämän jälkeen toteutetaan kuntotutkimukset kaikkine valmistelutöineen. Kuntotutkimus voi olla kaksivaiheinen. Yksi menetelmä voi toimia ennakkovaiheena tarkemmille tutkimuksille silloin, kun alkuperäisestä tutkimuksesta saadaan yleiskuva kunnosta ja esimerkiksi vuotokohtien sijainnin selvittäminen edellyttää tarkempaa kuntotietoa antavaa menetelmää. Tutkimuksista saadun kuntotiedon pohjalta tehdään päätökset tarvittavista korjauksista, jotka voivat olla välittömästi tai lyhyellä aikavälillä toteutettavia korjauksia tai putken saneeraus. Tietojen pohjalta arvioidaan myös seuraavan kuntotutkimuksen tarpeellisuus ja ajankohta.

Kuntotietoa voidaan koostaa ja yhdistellä muihin tietoihin, hyödyntää kunnon matemaattisessa mallintamisessa ja käyttää näin saatua ymmärrystä uusien kuntotutkimusten kohdentamisessa. Lähtötietoina voidaan käyttää esimerkiksi putkien ominaisuustietoja, putkien lähiympäristöä koskevia paikkatietoja ja putkien aiempaa kunto- ja kunnossapitohistoriaa. Näiden pohjalta analysoidaan esimerkiksi kuntoon vaikuttavia tekijöitä ja mallinnetaan eri putkiryhmien tai koko verkoston kunnon tulevaa kehittymistä. Aiempaa kuntotietoa ovat paitsi aiempien kuntotutkimusten tulokset, myös tiedot putkiriikoista tai vuotavuudesta ja esimerkiksi aiemmin saneerattujen tai käytöstä poistettujen putkien kunnosta tehdyt silmämääräiset arviot. Putkien ominaisuustietoja ovat esimerkiksi asennusvuosi, materiaali, halkaisija, asennussyvyys ja tiedot hydraulisesta toiminnasta, putkien ympäristöä koskevia tietoja puolestaan esimerkiksi maaperä, pohjavesiolosuhteet ja liikenteestä tuleva kuormitus.

Kerättyjen kuntotietojen ja analyysitulosten pohjalta voidaan arvioida kriittisesti kuntotutkimuksen kohdentamisen onnistumista, jos kuntotutkimuksen tarkoituksena on ollut löytää verkosta huonokuntoisia kohteita. Uuden tiedon valossa voidaan säätää periaatteita, joiden pohjalta seuraavat kohteet valikoidaan kuntotutkimuksiin.



Kuva 3. Kuntotutkimukset osana kunnonhallintaa.

Ennen kuntotutkimusten ja kuntotietojen keräämisen aloittamista on hyvä selvittää:

- miksi kuntotietoja kerätään
- mistä kuntotietoja kerätään
- mitä kuntotietoja kerätään
 - kertaluonteisesti
 - säännöllisesti
 - epäsäännöllisesti
 - jatkuvasti.

Kun näihin kysymyksiin on vastaukset, on vesihuoltolaitoksella tiedossa kuntotietojen keräämisen periaatteet, jotka mahdollistavat järjestelmällisen kuntotietojen keräämisen aloittamisen. Liikkeelle voidaan lähteä pilottien ja esimerkkien kautta. Kun periaatteet ovat selvillä, tiedetään mitä tietoja tarvitaan ja sen myötä tiedetään minkälaisilla menetelmillä ja laitteilla tietoja kerätään.

Näiden perusteella vesihuoltolaitos pystyy suunnittelemaan kuntotiedon hallinnan periaatteet:

- minne kuntotiedot tallennetaan
- mitä ohjelmia ja sovelluksia kuntotietojen käsittelyyn ja analysointiin käytetään
- missä kuntotiedot julkaistaan
- siirretäänkö kuntotietoja johonkin muuhun järjestelmään.

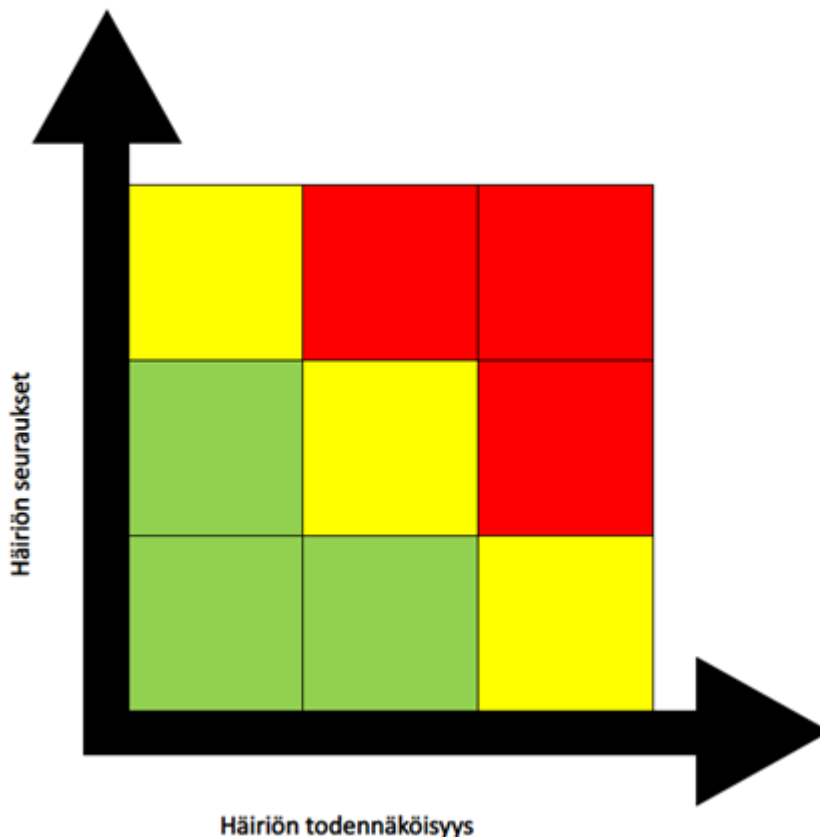
Kuntotietojen hallinnan periaatteiden myötä vesihuoltolaitos tietää mitä tietoja tarvitaan, missä ja kuinka usein. Tämä mahdollistaa myös tiedonsiirtomenetelmistä sopimisen ja

ns. kuntotietojen hallinnan tietoarkkitehtuurin toteuttamisen. Kuntotietojen tietoarkkitehtuurin toteuttaminen edellyttää suunnittelua ja sopimista, mutta se helpottaa ja mahdollistaa järjestelmällisen kuntotietojen hallinnan ja siirtämisen sekä ilman standardoituja tiedonsiirtoformaatteja että standardoitujen tiedonsiirtoformaattien kanssa.

2.2 RISKIPERUSTEINEN KOHTEIDEN VALINTA

Kunnonhallinta linkittyy vahvasti riskienhallintaan. Riskillä tarkoitetaan yleisesti häiriön todennäköisyyttä yhdistettynä häiriön seurausten vakavuuteen (SFS 2011). Vesijohtoverkoston häiriöt ovat esimerkiksi putkirkkoja, veden painevaihteluita tai veden laatuongelmia. Häiriön mahdollisuus riippuu monesta tekijästä, kuten putken rakenteellisesta kestävyydestä, rakentamisen laadusta ja käyttöolosuhteista kuten paineiskuista. Häiriön todennäköisyys nousee, jos putken tai linjaa koossa pitävän liitoksen tai liittimen rakenne heikkenee tai näissä on alun perin ollut puutteita. Häiriön seuraukset puolestaan riippuvat asemasta verkossa, sijainnista suhteessa muuhun ympäristöön ja putken ominaisuuksista.

Vesijohtoverkoston mahdollisista häiriöistä osaa voidaan ehkäistä kuntotutkimusten ja niiden seurauksena tehtävien korjausten ja saneerausten avulla. Silloin, kun kohteita valikoidaan kuntotutkimuksiin riskiperusteisesti, tarkastellaan sekä häiriön mahdollisuutta eli todennäköisyyttä että häiriön seurauksia. Tätä havainnollistaa kuvan 4 riskimatriisi.



Kuva 4. Kohteisiin liittyvän riskin hahmottaminen riskimatriisin avulla.

Riskimatriisissa pienin riski liittyy putkiin, joiden häiriön todennäköisyys on pieni ja joiden häiriön seuraukset ovat verrattain vähäisiä. Nämä sijaitsevat matriisin vasemmassa alanurkassa. Suurin riski puolestaan liittyy matriisin oikeassa yläkulmassa sijaitseviin kohteisiin, joiden häiriön todennäköisyys on korkea ja seuraukset vakavia.

Kun kohteita valitaan kuntotutkimuksiin riskiperusteisesti, keskitytään kohteisiin, joiden häiriön todennäköisyys on arvioitu suureksi ja kohteisiin, joiden häiriön seuraukset on arvioitu vakaviksi. Käytännössä todennäköisyyttä ei etenkään vesijohtojen tapauksessa yleensä tunneta yksittäisen putken tasolla. Tästä syystä huomionarvoisia voivat olla myös kohteet, joiden häiriön seuraukset voivat olla vakavia.

Häiriön todennäköisyyttä voidaan arvioida asiantuntijatiedon pohjalta esimerkiksi putkien iän, materiaalin ja aiemman häiriöhistorian tai aiempien kuntotietojen pohjalta. Putkirikon todennäköisyyttä voidaan myös mallintaa matemaattisesti, jos tätä varten on käytettävissä riittävästi historiatietoa jo toteutuneista putkirikoista ja putkien ominaisuuksista kuten rakennusvuosi, materiaali, halkaisija. Tyypillisesti todennäköisyys voidaan tällöinkin määrittää vain putkiryhmittäin eli esimerkiksi tietyn materiaalin putkille, joista kaikille tulee sama todennäköisyys.

Häiriön seurausten vakavuuteen vaikuttavat esimerkiksi:

- putken virtaama, paine, putkimateriaali ja halkaisija
- sijainti korjauksen kannalta hankalassa paikassa kuten muun infran läheisyydessä, sillassa, vesistöissä tai rakennuksen alla
- putken merkitys vedenjakelun kannalta yleisesti ja yksittäisten kiinteistöjen, esimerkiksi kriittisten vedenkuluttajien kannalta.

Häiriöstä voi olla monenlaisia seurauksia. Se voi vaikuttaa haitallisesti vedenjakeluun ja erilaisten vedenkuluttajien vedensaantiin tai se voi rikkoa tai vahingoittaa ympäröiviä rakenteita. Putken ominaisuudet, esimerkiksi putkimateriaali, vaikuttavat putkirikon voimakkuuteen. Häiriön seurauksiin vaikuttaa myös esimerkiksi alueen rajaamiseksi tarvittavien venttiilien kunto.

Koska yksittäisen putken häiriön todennäköisyyden ja seurausten määrittämiseen liittyy epävarmuuksia, kuvan 4 riskimatriisissa voi olla tarpeen huomioida myös vihreälle alueelle osuvia kohteita, joissa häiriön seuraukset on arvioitu suuriksi, vaikkakin häiriön todennäköisyys on arvioitu alhaiseksi. Näihin kohteisiin liittyviä riskejä voidaan pienentää esimerkiksi jatkuvatoimisella mittauksella.

2.3 KOHTEIDEN VALINTA VERKOSTON KUNTOJAKAUMAN HAHMOTTAMISEKSI

Kohteita voidaan valita kuntotutkimuksiin myös muuten kuin riskiperusteisesti. Tällöin tavoitteena ei ole niinkään yksittäisiin putkiin liittyvä riskien hallinta, vaan esimerkiksi verkoston tai sen putkiryhmien kuntojakauman selvittäminen. Tällaiset tutkimukset palvelevat ennen kaikkea kuntotutkimuksiin ja saneerauksiin tarvittavien investointien hahmottamista, ei niinkään yksittäisten kohteiden kunnan selvittämistä.

Jotta kuntojakaumasta saadaan tällä tavalla luotettavaa tietoa, täytyy tutkimukset toteuttaa satunnaisotoksella ja niitä pitää olla riittävä määrä. Satunnaisotoksella tehtävillä kuntotutkimuksilla ei ole pitkää perinnettä kunnallisessa vesihuollossa, mutta toisaalta menetely on käytössä esimerkiksi rakennusten sisäisten putkien kunnan selvittämisessä.

Rakennusten LVV-tutkimuksia varten laaditussa oppaassa (*Suomen LVI-liitto 2013*) esitellään mm. tarvittavien röntgenkuvien vähimmäismäärä asuinkerrostalon porrashuoneiden mukaan.

Vesijohtojen kuntojakauman selvittämisessä käytettävän tutkimusmenetelmän täytyy olla sellainen, että sillä pystytään selvittämään kohteen rakenteellista kuntoa, eli esimerkiksi näytepala. Kuntotutkittavien kohteiden riittävä määrä riippuu verkoston kokonaispituudesta. Vesijohdosta tarvitaan noin 0,5 m:n mittaisia näytepaloja kunnan selvittämiseksi laboratorioissa.

Oleellisen tärkeä seikka mahdollisimman hyvän tilastollisen varmuuden saavuttamiseksi on hyvä otoksen suunnittelu kuntotutkimusta varten. Otoksen koossa tulee huomioida tutkittavan putkiverkon pituus, mutta pituutta tärkeämpää on se, kuinka hyvin otos kuvaa putkiverkon erilaisia ominaisuuksia mm. alueellisuuden, putkimateriaalien ja rakentamisen mukaan. Otoksen suunnittelussa tulee siis mahdollisimman hyvin huomioida erilaiset omaisuudet, joita voi kutsua otoksen ominaisuuksiteoreiksi. Tällöin ominaisuuskriteerien pienin määrä voi vaatia suhteessa suuremman otoksen kuin suurin määrä. Esimerkiksi paikkakunnalla vähän käytetty putkimateriaali edellyttää suhteessa suurempaa otosta kuin paljon käytetty putkimateriaali.

Kuntotutkimustulosten käsittelyn edellytyksenä on selkeä kuntoluokittelu, jonka avulla tulosten virhemarginaali voidaan laskea ja joka samalla mahdollistaa korjaustarpeessa olevien ja sitä parempikuntoisten verkoston osien hahmottamisen. Tilastollisessa laskennassa käytetään laskentakaavana virhemarginaalia prosenttiluvulle, joka edellyttää tässä tapauksessa kunkin kuntoluokan prosenttiosuuden laskentaa kuntotuloksista. Virhemarginaalin laskennassa on käytössä kaksi tyypillistä otoskoon ja prosenttiosuuden avulla laskettavaa testisuuretta, joiden tuloksen sekä virhemarginaalin suuruuden kautta voi hahmottaa otoksen riittävyttä.

Yleisluontoisena ohjeena otoksen kokonaismäärän laskemiseen voi käyttää taulukossa 1 esitetyjä vaihtoehtoja. Taulukossa oletuksena on 500 km pituinen vesijohtoverkosto. Mitä lyhyempi verkoston kokonaispituus on, sitä suhteellisesti suurempi määrä kuntonäytteitä tarvitaan. Määrää ohjaa se, kuinka varmoja tuloksista halutaan. Taulukon määrissä on käytetty esimerkkinä normaalijakautunutta kuntotutkimustulosta sekä 95 %:n varmuutta. Otoksen suuruuden yksikkönä kannattaa käyttää metrejä, samoin kuin verkoston pituuskin ilmaistaan metreinä. Tilastollisessa laskennassa vain näytekappaleiden määrä ja haluttu laskelman tarkkuus ratkaisevat. Taulukon mukaan otoksen tulisi olla vähintään 200 kappaleen tienoilla. Jos tulokselle halutaan 99 % varmuus, tulisi otoksen olla lähes kaksinkertainen. Taulukon termi virhemarginaali tarkoittaa tilastollisessa kielenkäytössä luottamusvälin puolikasta lasketulla luottamustasolla.

Taulukon tuloksissa on käytetty oletuksena tyypillistä kuntotilan jakaumaa, jossa ääripäät eli erittäin hyvä kunto ja erittäin huono kunto ovat harvinaisempia kuin tyydyttävä kunto.

Aiemmin todetun mukaisesti otoksen hyvä suunnittelu ja kohdistaminen on vähintään yhtä tärkeää kuin otoksen suuruus. Hyvin suunniteltu otos antaa hyvät mahdollisuudet tehdä johtopäätökset ja määrittää tarvittavat jatkotoimenpiteet. Vertailevien kuntoluokkосуuksien laskenta eri alueille ja esimerkiksi eri putkimateriaaleille antaa arvokasta tietoa kuntotilanteesta.

Taulukko 1. Otoskoon vaikutus virhemarginaalin suuruuteen ja testisuureisiin 500 km:n pituisessa verkostossa.

Otos (näytekappaleiden yhteispituus)	Virhemarginaali	Testisuureet
10 kpl = 5 m	43 %	Ei ok
50 kpl = 25 m	19 %	Ei ok
100 kpl = 50 m	14 %	Ei ok
200 kpl = 100 m	10 %	Osittain ok
500 kpl = 250 m	6 %	OK
1000 kpl = 500 m	4 %	OK

Taulukosta 1 nähdään, että luotettavien johtopäätösten tekemiseksi verkoston kuntojakaumasta tarvitaan suuri määrä näytepaloja. Koska riittävän suuren näytepalaerän ottaminen kertaluontoisena kampanjana on sekä aikaa vievää että kallista, kannattaa näytepaloja kerryttää muiden toimien kuten liitostöiden, kunnossapitotoimien ja saneeraus-työyhteydessä. Tällöin kuitenkin täytyy huolehtia siitä, että otos on edelleen edustava ja todennäköisesti on tarpeen täydentää näytepalaotosta varta vasten toteutetuilla materiaalinäytteillä. Jos jollain helpommin toteutettavalla menetelmällä kuin näytepaloilla on mahdollista tuottaa luotettavaa tietoa verkoston erityyppisten putkien kunnosta, tämä on yksi tapa keventää prosessia. Tulevaisuudessa olennaista olisikin tärkeää löytää kustannustehokas tapa selvittää erilaisten ja erilaisissa kohteissa sijaitsevien putkien kunto luotettavasti. Joka tapauksessa taulukon 1 olennainen viesti on, että edes kohtalaisen suuresta määrästä kuntotietoa ei voida vielä päätellä luotettavasti koko verkoston kuntojakaumaa.

2.4 KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄN VALINTA

2.4.1 Verkoston suunnitteluvaiheen vaikutus kuntotutkimuksiin

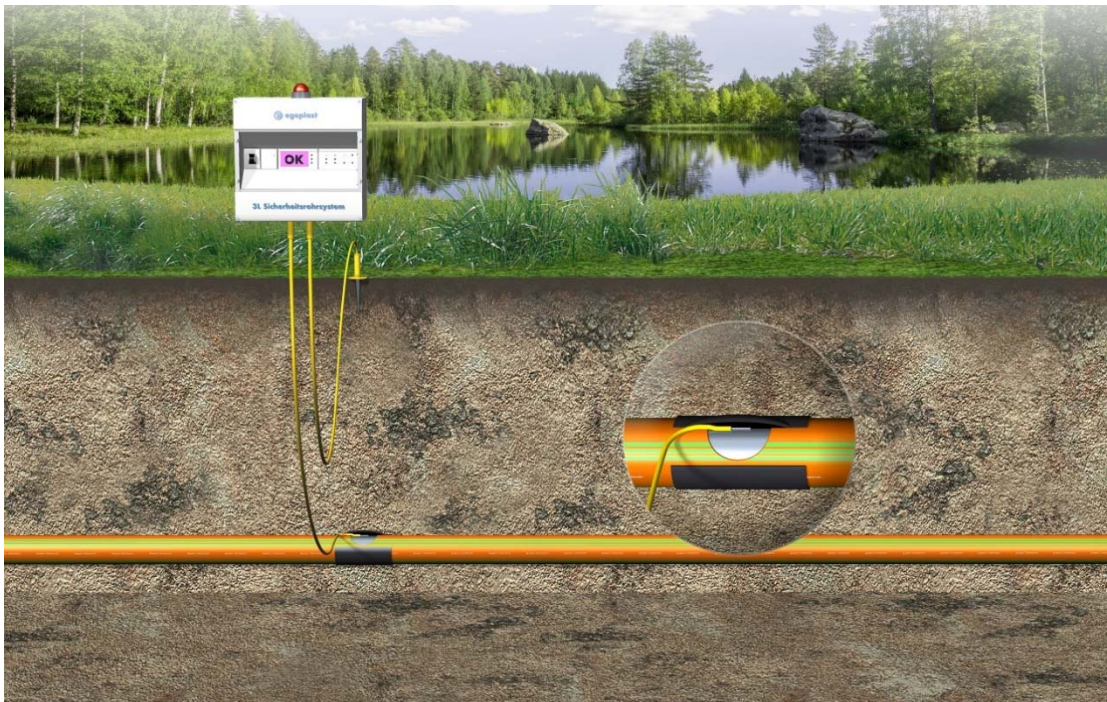
Uudisrakentamisessa ja saneerausasennuksissa vuotojen havaitsemiseen voi varautua valitsemalla vuodonhavaitsemisen mahdollistavia rakenteita, joihin sensorit tai tutkimuslaitteet ovat kytkettävissä. Moni vesijohtojen kuntotutkimusmenetelmä edellyttää, että verkostossa on esimerkiksi venttiilejä, paloposteja ja putkiyhteitä. Jos näitä on verkossa vain harvakseltaan ja tutkimusten kannalta väärissä paikoissa, soveltuvia menetelmiä on vähemmän tai tutkimus edellyttää esimerkiksi erillisten pysty-yhteiden asennusta. Verkostoa rakennettaessa ja saneerattaessa on siksi hyvä huomioida myös elinkaaren aikana myöhemmin vastaan tuleva kuntotutkimistarve. Myös korjausten yhteydessä on tärkeää huomioida kuntotutkimusten toteuttamisen mahdollisuus. Jos on esimerkiksi tehty metalliputkeen korjaus muovilla, ei linjan kuuntelu välttämättä enää onnistu.

Suunnitteluvaiheen ratkaisut vaikuttavat kuntotutkimuksiin monella tapaa. Venttiilit mahdollistavat linjojen sulkemisen tutkimusten ajaksi sekä niiden avulla voidaan tehdä kuntotutkimuksia, esimerkiksi vuodonpaikannusta venttiilistä kuuntelemalla. Venttiilejä pitäisi olla metalliputkissa 100–200 metrin välein ja muovisissa edellytyksenä olisi venttiilien sijainti muutaman kymmenen metrin välein, jotta kuuntelu olisi mahdollista. Tontiventtiileistä voi olla apua kuunteluun, etenkin jos ne sijaitsevat lähellä runkolinjaa. Vanhoissa verkostonosissa venttiilejä saattaa olla vähänlaisesti, nykyään niitä asennetaan enemmän. Myös siirtolinjojen suorille osuuksille on suositeltavaa asentaa sulkuventtiilejä.

Palopostin kautta on mahdollista syöttää tutkimuslaitteita (pieni kamera tai SmartBall) verkostoon. Käytännössä tämä ei aina onnistu, sillä kulmat voivat joissain paloposteissa olla liian ahtaita.

Laitekaivoista voi olla mahdollista kuunnella vuotoääniä ja syöttää kuntotutkimuksiin tarvittavia laitteita. Laitekaivoon on mahdollista lisätä yhde kameran tms. syöttämistä varten. Ilmanpoistokaivosta on mahdollisuus vuotokuunteluun. Jos laitekaivo on rakennettu linjan sivuun, kaivoon tuleva haara on mahdollista mitoittaa riittävän suureksi kuntotutkimuslaitetta varten. On myös mahdollista rakentaa erillisiä kaivoja kuntotutkimuksia varten. (Keränen, Al-Rammahi, Marvin 15.11.2021)

Niin kutsutuilla vuotokontrolliputkilla (Kuva 5) on mahdollista saada tieto putken rikkoutumisesta ja vuodosta automaattisesti. Erityisesti putken rikkoutumisen havaitsemiseen kehitettyä tekniikkaa sovelletaan kaivamattomilla menetelmillä asennettavilla putkilla, mutta saman tyyppistä tekniikkaa on myös putken toiminnan jatkuvatoimiseen seurantaan. Vuodon/putkirikon havainnointi perustuu putken ympärille tehtyyn kerrokseen, johon johdetaan sähköä. Sähköä johtava kerros on putken suojuoreen ja virtausputken välissä. Putken eheys tarkastetaan testaamalla, johtuuko sähkö kerroksen läpi. Mikäli sähkö ei johdu kerroksen läpi, on se merkki kerroksen ja sitä kautta myös putken vioittumisesta. (Huusko 3.8.2021) Pisin mitattava matka on 3 500 metriä (Berg 7.6.2022). Putkityypistä riippuen putki voidaan tarkastaa tietyin aikavälein tai jatkuvana verkkovalvontana. Hyvinkin pienestä putkivauriosta tulee putkeen liitettyyn valvontayksikköön hälytys, josta on mahdollista saada viesti suoraan matkapuhelimeen tai erilliseen ohjauskeskukseen. (Huusko 3.8.2021)



© egeplast international / istockphoto.com/Ysign

Kuva 5. Putken rikkoutumisen automaattinen havaitseminen (Kuva: Egeplast international GmbH).

2.4.2 Kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuus eri kohteisiin

Kappaleessa 5 on kuvattu erilaisia paikallisia kuntotutkimusmenetelmiä. Kuntotutkimusmenetelmän valintaan vaikuttavat seuraavat asiat:

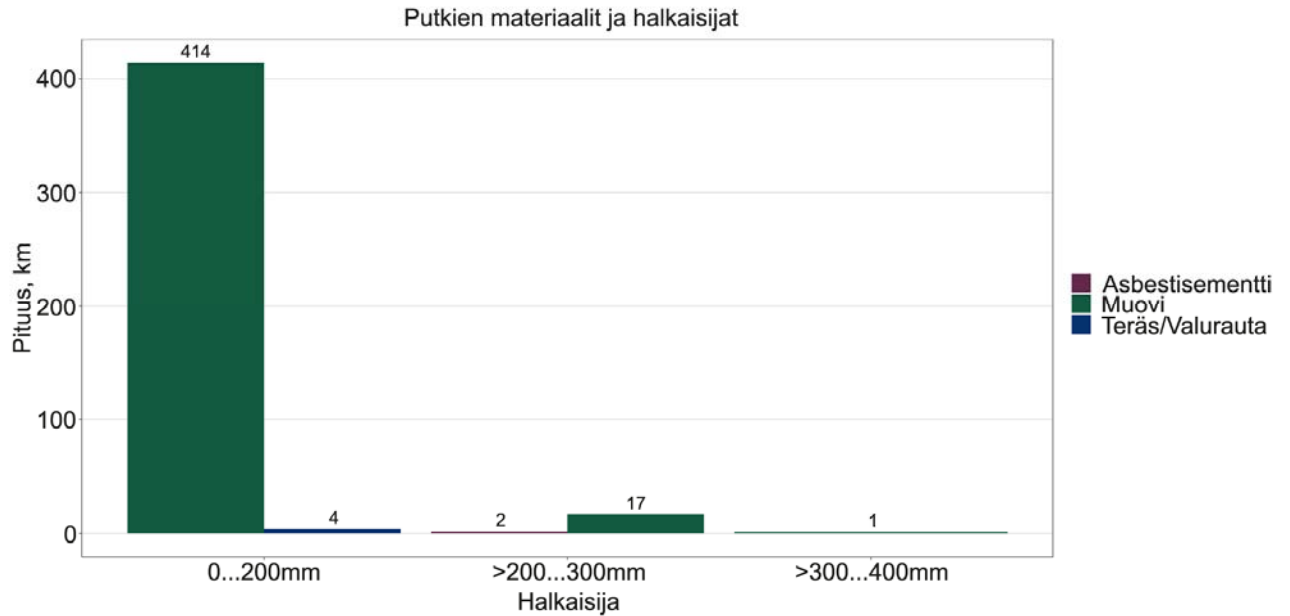
- tutkittavan linjan ominaisuudet, etenkin materiaali, halkaisija ja venttiilien ja palopostien sijainti
- tutkimusinstrumentin koko ja tyyppi, esimerkiksi mahtuuko tutkimusinstrumentti palopostista tai vaatiiko tutkimus linjan sulkemisen
- tutkittavan linjan sijainti; onko kuntotutkimuksen toteuttaminen esimerkiksi liikenteen puolesta mahdollista
- vesihuoltolaitoksen tietotarpeet; halutaanko selvittää vuotavuutta vai toiminnallista tai rakenteellista kuntoa
- kuntotutkimuksen hinta suhteessa tutkimuksesta saatavan tiedon hyöty.

Tutkittavan linjan ominaisuudet ratkaisevat sen, mitkä kaikki kuntotutkimusmenetelmät ovat käytännössä mahdollisia. Esimerkiksi monet vuodonpaikannusmenetelmät toimivat paremmin metalli- kuin muoviputkille ja putken halkaisija rajaa vaihtoehtoja. Menetelmän valintaan vaikuttaa myös se, minkälaista kuntotietoa tutkittavasta linjasta halutaan. Vuodonpaikannukseen on käytettävissä suurempi määrä menetelmiä kuin rakenteellisen kunnan selvittämiseen.

Kuntotutkimuksen hinta on yksi kuntotutkimuspäätökseen ja menetelmän valintaan vaikuttavista tekijöistä. Mikäli hinta on alhainen, voi olla taloudellisesti järkevää tutkimuksella varmistaa, että kohde on kunnossa. Mitä korkeampi hinta kuntotutkimuksella on, sitä tarkemmin joudutaan vertaamaan kuntotutkimuksesta saatavan tiedon arvoa ja hyödyllisyyttä suhteessa mahdollisesti ennenaikaisen saneerauksen kustannuksiin. Toisaalta myös kohteeseen liittyvä riskitaso määrittää, missä tilanteessa kuntotutkimus kannattaa tehdä – mikäli häiriön seuraukset olisivat vakavia, voi kuntotieto olla järkevää hankkia hieman korkeampaankin hintaan.

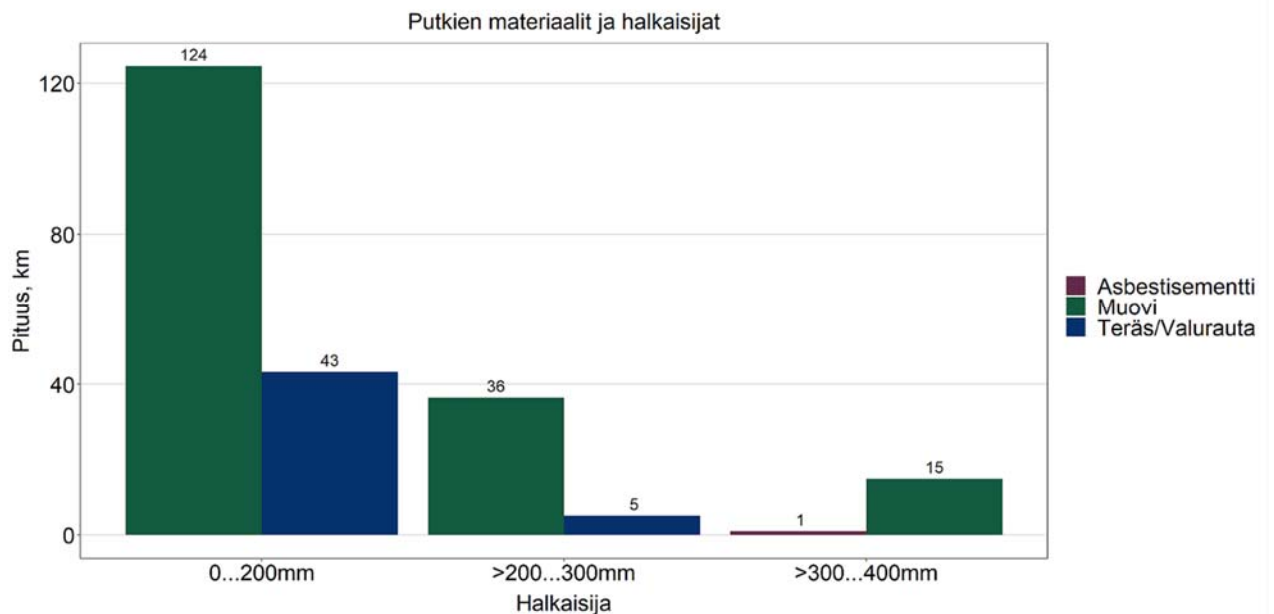
Erikokoisten vesihuoltolaitosten verkostot eroavat usein siinä, mitä kuntotutkimuksia niissä voidaan tehdä. *Kekki ym. (2007)* selvittivät vesijohtoverkostojen materiaali- ja kaumia Suomessa. Suurimmat materiaaliryhmät olivat tuolloin PEH, PVC ja pallografiittivalurautaa, muovien ollessa tyypillisin putkimateriaali kaikenkokoisilla vesihuoltolaitoksilla. Pallografiittivalurautaa ja harmaata valurautaa löytyi lähes yksinomaan suurilta ja keskisuurilta vesihuoltolaitoksilta. Pienillä laitoksilla putket olivat pääosin muovisia (etenkin PEH- ja PVC-muovia). Kun samanaikaisesti pienillä vesihuoltolaitoksilla putkihalkaisijat ovat valtaosin pieniä, laitostekoko määrittää usein myös sen, mitä kuntotutkimusmenetelmiä vesijohtojen tutkimiseen on käytettävissä.

Seuraavassa on annettu esimerkit kolmen erityyppisen vesilaitoksen verkostojen materiaali- ja halkaisijakaumista eli verkostoprofiilista. Kuva 6 edustaa maaseutumaisen kunnan vesijohtoverkostoa, joka sijaitsee laajalla alueella. Kuvasta nähdään, kuinka verkostossa on lähes yksinomaan muoviputkea ja putkihalkaisijat ovat verrattain pieniä, korkeintaan 200 mm. Halkaisija ja materiaali rajaavat verkoston tutkimisen vaihtoehtoja, mutta edelleen sekä ulkoisista että sisäisistä tutkimusmenetelmistä (taulukot 2 ja 3) löytyy useita eri vaihtoehtoja. Osan soveltuvuutta voivat rajoittaa myös muut tekijät, esimerkiksi kuuntelussa ja korreloinnissa venttiilien ja palopostien ym. sijainti.



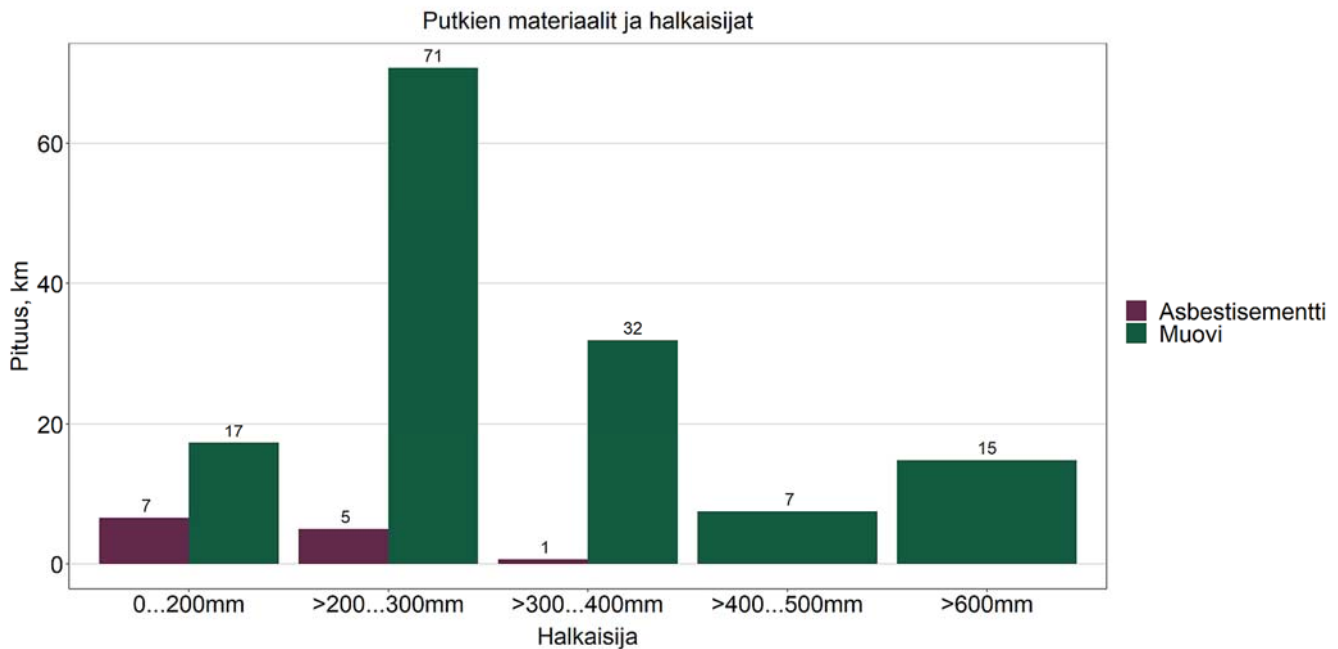
Kuva 6. Esimerkki maaseutumaista aluetta palvelevan vesihuoltolaitoksen vesijohtoverkoston materiaali- ja halkaisijajakaumasta.

Kuvassa 7 on vastaavasti keskisuuren suomalaisen kaupungin verkosto. Tälläkin vesihuoltolaitoksella valtaosa verkostopituudesta on muovia ja suurin osa putkista on halkaisijaltaan korkeintaan 200 mm. Verkostossa on kuitenkin myös halkaisijaltaan suurempia putkia 400 mm:iin saakka ja materiaaleissa myös metalleja. Näiden putkien kuntotutkimuksiin on laajempi valikoima menetelmävaihtoehtoja.



Kuva 7. Esimerkki keskisuuren vesihuoltolaitoksen verkoston materiaali- ja halkaisijajakaumasta.

Tukkuvesiyhtiöiden verkostot poikkeavat edellä kuvattujen vesihuoltolaitosten verkostoista, mikä käy ilmi myös kuvasta 8.



Kuva 8. Esimerkki tukkuvesiyhtiön vesijohtoverkoston materiaali- ja halkaisijakaumasta.

Tukkuvesiyhtiön suurikokoisten putkien kunnan tutkimiseen on enemmän vaihtoehtoja kuin pienten. Putken sisäpuolisten kuntotutkimusmenetelmien käytössä haasteeksi tulee kuitenkin helposti tutkimuksenaikaisen vedenjakelun järjestäminen ja tutkimusinstrumenttien syöttämiseen soveltuvien kohtien löytäminen verkostosta. Myös ulkopuolisissa menetelmissä rajaavana tekijänä on venttiilien, palopostien ym. sijainti.

3 KUNTOTIEDON HYÖDYNTÄMINEN

3.1 TULOSTEN DOKUMENTOINTI

Suomen vesihuoltolaitoksilla on käytössä erilaisia järjestelmiä vesihuoltoverkostoja koskevan tiedon eli verkkotiedon hallintaan. Kuntotieto täytyy liittää osaksi verkkotietoa, jotta sen pohjalta saadaan mahdollisimman kattava ja ajantasainen kuva verkoston tilasta ja jotta tiedoista voidaan myöhemmin tehdä koosteita ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi kunnonmallinnukseen.

Kun kuntotutkimuksia aletaan valmistella, kannattaa jo tässä vaiheessa suunnitella tiedon dokumentointitapa ja siirto vesihuoltolaitoksen tietotekniisiin järjestelmiin eri toimijoiden, kuten vesihuoltolaitoksen edustajien, kuntotutkimuksen tekijän, tutkimustiedon käsitteijän (esimerkiksi konsultti) ja järjestelmätoimittajan kesken. Kun kuntotiedon dokumentoinnin periaatteet on määritetty tarkasti etukäteen, varmistetaan tiedon siirron sujuminen.

Kuntotutkimuksista saatava kuntotieto on vaihtelevaa. Kuten kappaleessa 5 on kuvattu, kuntotieto voi koskea esimerkiksi vuotavuutta, vuotokohtien sijaintia tai seinämäpak-suutta. Tärkeää on, että kuntotieto sekä luokitellaan että viedään osaksi verkkotietoa. Tällöin sitä voidaan hyödyntää analyyseissä ja päätöksenteossa. Jo ennen kuntotutkimusten aloittamista täytyy selvittää, kuinka kuntotieto kytketään osaksi vesihuoltolaitoksen tietomallia ja kuinka tieto siirretään laitoksen järjestelmiin. Käytännössä kuntotiedot on saatava sellaisessa formaatissa, että niitä voidaan myöhemmin kysellä järjestelmissä ja niistä voidaan tehdä koosteita. Tähän esimerkiksi pdf-liitteet eivät sovellu. Sekä verkosto että kuntohavainnot ovat paikkatietoa, jolloin myös kuntotutkimusten tulokset ovat tarkoituksenmukaisia esittää paikkatietomuodossa. Tutkimuksen tyypistä riippuen kuntohavainnot voidaan esittää pisteinä, viivoina tai polygoneina (alueina) tai ne voidaan kytkeä suoraan tutkittavan kohteen tunnisteeseen. Esimerkiksi vuotojen kuuntelusta saatava tieto kannattaa kytkeä tutkittavaan kohteeseen, sen sijaan korrelaattorilla saatu vuotokohtahavainto on luonteeltaan pistemäistä tietoa. Satelliittitutkimuksista saatava tieto voidaan esittää pisteinä tai alueina.

Kunnon tutkimisessa ja havaintojen dokumentoinnissa tulee noudattaa voimassa olevaa Vesilaitosyhdistyksen (VVY) ohjetta. Käytännössä tarkkaa ohjeistusta vesijohtojen osalta ei ole toistaiseksi ollut olemassa. Viemärikuvauksissa kukin havaittu vika nimeetään ja vian vakavuus arvioidaan asteikolla 1–4, jossa 1 ilmaisee lievää vikaa ja 4 vakavaa vikaa. Jos putkessa ei ole vikoja, se saa arvon 0. Vesijohdoissa ei tutkimusten moninaisuuden vuoksi ole mahdollista tehdä samanlaista yleispätevää ohjeistusta. Kuitenkin vikatyypin nimeäminen ja vakavuuden luokittelu on välttämätöntä myös vesijohdoissa. Vian tyyppi voi olla esimerkiksi ”saumavuoto”, ”korroosio” tai ”heikentynyt seinämävahvuus”. Suositeltavaa on, että vikoja dokumentoidaan samalla periaatteella kuin viemäreissä. Niin ikään rutiinitarkastusten tulokset ovat tärkeitä dokumentoida, esimerkiksi kuuntelu, jossa ei löydetä vuotoja – tällaiset havainnot kertovat, että kunto oli tutkimushetkellä hyvä.

Havaitun vian sijaintitieto on tärkeää dokumentoida sillä tarkkuudella kuin se on mahdollista. Tällöin vika on yhdistettävissä tehokkaasti muuhun paikkatietoon. Sijaintitieto yksinään ei kuitenkaan riitä, vaan kaikki tieto tulee kytkeä tutkitun kohteen tunnisteeseen (id). Tunnisteen esittäminen on suositeltavaa myös esimerkiksi karttatulosteissa. Tutkimuksen toteutusajankohta ja tekijä tulee dokumentoida, jotta tiedetään minkä ajanhetken tilannetta kuntotieto edustaa ja voidaan tarkastella tuloksia myös suhteessa toteuttajaan. Tutkimuksessa havaittavat olosuhdetekijät ovat myös tärkeitä dokumentoida.

Jos tutkimuksista on mahdollista tuottaa suoraan tietoa putken kestävydestä, näin kannattaa tehdä. Korrodoituneiden metalliputkien kestävyden arviointiin on olemassa standardeja (*ASME B31G (2012) ja API 579-1/ASME FFS-1 (2007)*).

Verkostosta saatava, muusta kuin kuntotutkimuksista peräisin oleva mittaustieto voi kertoa myös verkoston kunnosta. Jotta tällaisia tietoja voidaan hyödyntää päätöksenteossa yhtä lailla kuin kuntotutkimuksista saatavaa tietoa, täytyy nekin tuoda osaksi verkotietoa. Tällöin on usein tarkoituksenmukaista analysoida tiedot, tehdä niistä kuntoa kuvaava kooste ja liittää tämä kuntotieto verkkotietoon. Esimerkiksi alueellinen vuotavuus ja alueellinen putkirikkotiheys (esim. kpl/vuodessa/km) kertovat kunnosta. Vuotavuuden ja putkirikkojen dokumentointi on olennaista paitsi oikean tilannekuvan saamiseksi, myös siksi, että aineistoa voidaan myöhemmin analysoida, esimerkiksi mallintaa kuntoa.

Kuntotutkimusten pohjalta pitää pystyä päättämään, mitä toimenpiteitä tutkitut kohteet edellyttävät. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tutkimuksista tulee saada luokiteltua tietoa, jossa tulokset on tulkittu. Tulosten pohjalta määritetään, mitkä kohteet vaativat välitöntä tai lyhyen aikavälin korjausta tai saneerausta tai milloin seuraava kuntotutkimus on tarpeen. Ihannetilanteessa kuntotutkimus tuottaa arvion kohteen jäljellä olevasta teknisestä käyttöiästä. Osa kuntotutkimusmenetelmistä tuottaa karkean tiedon ongelmakohtien sijainnista. Tällöin kuntotutkimuksen tuloksena syntyy tietoa siitä, onko tarvetta tarkemmille jatkotutkimuksille, esimerkiksi korreloinnille tai maatutkalle. Kuntotutkimusten pohjalta tehtävät toimenpiteet antavat tietoa myös tutkimuksen onnistumisesta – sijaitseeko esimerkiksi vuotokohta arvioidussa paikassa. Samalla saadaan arvokasta tietoa menetelmien ja työskentelytapojen kehittämiseen ja toivottavasti myös motivaatiota tutkimusten toteuttamiseen.

3.2 TIEDONSIIRTO

Kuntotutkimusmenetelmiä on hyvin monenlaisia. Erilaisia kuntotutkimusmenetelmiä esitellään kappaleessa 5. Tässä kappaleessa käsitellään kuntotietoa tallentavien laitteiden tiedonkäsittelyä ja tiedonsiirtoa. Tietojen siirtämisessä ja hyödyntämisessä perusajatuksena on, että manuaalista tiedonkäsittelyä on mahdollisimman vähän.

Kuntotutkimusmenetelmiin on olemassa tietyt kuntotutkimuslaitteet, laitteita valmistaa useampi laitevalmistaja ja laitteita on sekä vanhempaa että uudempaa sukupolvea. Jokainen laite tallentaa tiedot siten kuin laitevalmistaja on sen määritellyt. On myös mahdollista, että vuosien saatossa uudistetut, samaan käyttöön tarkoitetut ja saman valmistajan laitteet voivat tallentaa uusimmissa laitteissa enemmän tietoja kuin vanhoilla laitteilla on kerätty, mikä on luonnollista kehittymistä.

Mikäli mittaustietoja käytettäisiin vain yhden menetelmän, yhden laitevalmistajan ja yhden laitteen osalta, olisi tietojen analysointi, katselu ja siirtäminen yksinkertaista. Vesi- ja ilmajärjestelmien on kuitenkin käytettävä useamman laitetoimittajan laitteita useaan erilliseen kuntotutkimukseen.

Mittalaitteet tallentavat tiedot useimmassa tapauksessa ensin laitteen sisään. Jokaiseen mittalaitteeseen on määritely ns. tietomalli siitä, miten tiedot laitteeseen tallennetaan ja miten mitattu tieto jäsennetään, jotta se on myöhemmin käytettävissä. Mitattaville suureille annetaan jokin nimi, esimerkiksi aika tai dB (desibeli), johon liitetään mitattu numeerinen arvo. Kun tieto siirretään laitteesta sellaiseen tietokantaan ja tietovarastoon, josta mitattua tietoa on mahdollista tarkastella, kulkee numeerisen tiedon mu-

kana mm. nimitieto, joka ilmaisee, mistä mittaussuureesta on kysymys. Useimmissa tapauksissa tämä nimitieto vaihtelee laitteittain ja laitevalmistajittain, vaikka kyse olisi saman tiedon mittaamisesta.

Kun nimitieto vaihtelee riippuen laitteesta ja laitevalmistajasta, päästään tiedonsiirron ja tiedon hyödyntämisen haasteellisuuteen. Kun nämä yksilöivät nimitiedot vaihtelevat saman mittausmenetelmän osalta laitevalmistajittain, on vesihuoltolaitoksella edessään haaste, miten saman mittausmenetelmän tiedot ovat yhdistettävissä toisiinsa ja sen myötä hyödynnettävissä. Tämä tarkoittaisi, että vesihuoltolaitoksen pitäisi käyttää aina samoja mittalaitteita samalta toimittajalta eikä laitteiden tietojen tallentamisen tietomalli saisi muuttua. Tämä siinä tapauksessa, että tiedot kuntotutkimuksiin käytettävistä laitteista haluttaisiin saada vesihuoltolaitoksen käyttöön mahdollisimman automaattisesti, mahdollisimman vähällä manuaalisella tietojenkäsittelyllä.

Vesihuoltolaitos voi käyttää kuntotietojen käsittelyyn useita erilaisia tietojärjestelmiä, mm. paikkatieto-ohjelmia, verkkotietojärjestelmiä, kuntotietoihin erikoistuneita tietojärjestelmiä tai numeerisen tiedon käsittelyyn tarkoitettuja analysointisovelluksia. Kun tieto täytyy siirtää mittalaitteelta tai mittalaitteen järjestelmätoimittajan tietojärjestelmästä vesihuoltolaitoksen käytössä olevaan järjestelmään tai sovellukseen, kohdataan jälleen nimitiedon aiheuttamat haasteet. Tiedon välityksessä tiedon lähettäjän ja vastaanottajan täytyy kommunikoida ns. samalla kielellä. Vastaanottavassa sovelluksessa on oltava vastinpari tietoa lähettävän järjestelmän kanssa, jolloin kummassakin järjestelmässä on oltava samat nimitiedot, jotta tieto saadaan tallennettua oikeaan paikkaan. Jos lähettävässä järjestelmässä lukee Time ja vastaanottavassa järjestelmässä lukee Aika, niin tieto ei tallennu oikeaan paikkaan ilman lisämäärittelyitä, mikä puolestaan tarkoittaa manuaalista työtä tiedonsiirtojen suunnittelussa. Ja mikäli lähettävä tahoo muuttaa termin "Time" esimerkiksi muotoon "Time_h", joka voisi olla tarkenne tuntitiedon tallentamiseksi, täytyy vastaanottavassa järjestelmässä tehdä sama muutos, muutoin tieto ei taaskaan kohdennu oikein eikä tallennu.

Tietojärjestelmien välille on kehitetty mm. erilaisia standardoituja tai muutoin yhteisesti alalla sovittuja tiedonsiirtoformaatteja. Tiedonsiirtoformaatti tarkoittaa vakioitua, määräämuotoista tapaa jäsentää tieto tiedoston sisällä. Tiedonsiirtoformaateissa on määriteltä myös mm. nimittiedot, nimikkeistöt, sanastot ja termistöt, jotta tiedot tallentuvat oikeille termeille. Tällaisia tiedonsiirtoformaatteja ovat infra-alalla esimerkiksi tietomallinnuksessa käytetyt IFC ja InfraModel.

Kuntotietojen osalta ja etenkin vesihuollon kuntotietojen osalta tällaisia yhteisesti standardoituja tiedonsiirtoformaatteja ei ole tällä hetkellä vielä määriteltä. Yhteiset tiedonsiirtoformaattit edellyttävät yhteisten nimikkeistöjen ja sanastojen määrittelyä ja sopimista. Määrittelytyö vaatii sekä kansallista että kansainvälistä yhteistyötä. Tätä työtä Suomessa ja kansainvälisesti pyrkii edistämään mm. BuildingSmart International ja Building Smart Finland (<https://buildingsmart.fi/>) sekä Ympäristöministeriön rakennetun ympäristön tiedon yhteentoimivuuden työryhmä (<https://ym.fi/yhteentoimivuus>).

FiSTT:llä on käynnissä hanke, jossa pyritään edistämään tiedonsiirtoa kuntotutkimussovellusten ja verkkotietojärjestelmien välillä. Hankkeen on tarkoitus valmistua syksyllä 2022 ja siinä syntyy määrittely ja suositus yhdenmukaiselle tiedonsiirtotavalle verkkotietojärjestelmien ja verkostojen kuntotutkimussovellusten välille. Hankkeeseen liittyen laaditaan myös opinnäytetyö, jossa selvitetään tiedonsiirron tarpeet, vertaillaan olemassa olevia vaihtoehtoja ja laaditaan tarpeita vastaava esitys toteutusratkaisusta ja toimintatavoista.

Tiedonsiirtoformaateista sopiminen on yksi askel sujuvan tiedonsiirron toteuttamiseksi, mutta pelkkä formaatti ei riitä. Tiedon tuottajien (laitteet ja laitetoimittajien tietojärjestelmät) ja tiedon vastaanottajien (paikkatietojärjestelmät, verkkotietojärjestelmät, kunnosapitojärjestelmät ja tiedon analysointisovellukset) on vielä muokattava tietojärjestelmät ja laitteet siten, että ne tukevat näitä tiedonsiirtoformaatteja eli pystyvät lähettämään ja vastaanottamaan niitä.

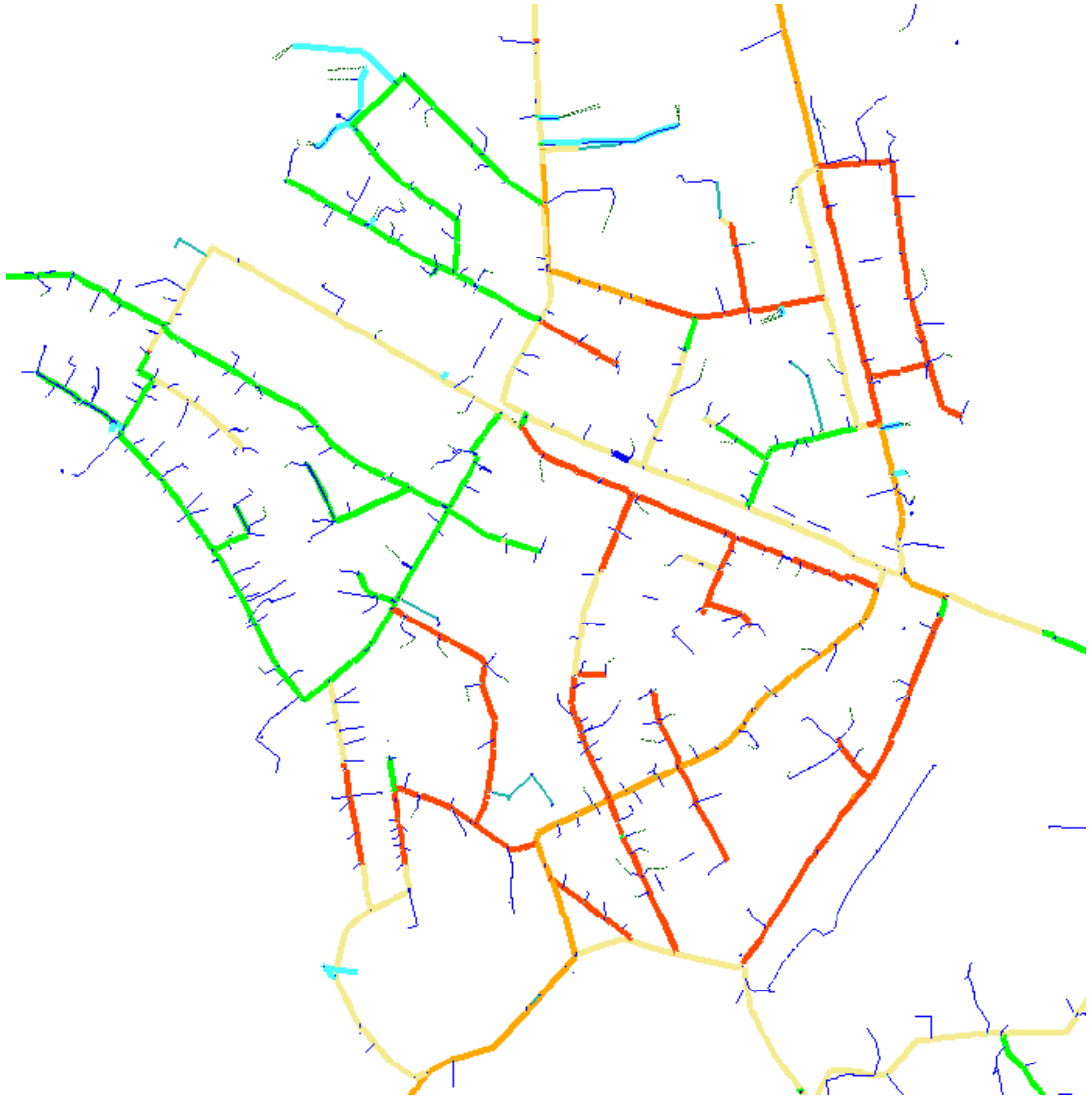
Yhteisesti sovitut tiedonsiirtoformaattit eivät tule kattamaan kaikkia tiedonsiirron tarpeita, koska aina on jotakin mitä tarvitaan standardien ulkopuolelta. Yhteisesti sovitut tiedonsiirtomenetelmät kuitenkin mahdollistavat ja selkeyttävät kaikkien osapuolten sujuvampaa tiedonkäsittelyä.

Vesilaitoksen kuntotutkimusten kannalta oleellista olisi, että tiedonsiirtoprosessi toimisi taustalla sujuvasti ja tietoturvallisesti, jolloin kuntotutkimuksia voitaisiin tehdä ilman rajoitteita. Jo tällä hetkellä vesilaitokset tekevät esimerkiksi venttiilinkoestuksia ja kohteiden tiedot siirtyvät työsuunnitelmasta maastoon ja kuntohavainnot dokumentoituvat suoraan verkkotietojärjestelmään.

3.3 KUNNONMALLINNUS

Kuntotietoa voidaan käyttää paitsi tukemaan lyhyen aikavälin saneerauspäätöksiä, myös kunnan ja sen kehittymisen ennustamiseen. Kunnanmallinnuksessa analysoidaan olemassa olevia kuntotietoja ja ennustetaan kuntoa ja sen tulevaa kehitystä esimerkiksi koko verkoston tasolla tai putkiryhmittäin. Ennustetta voidaan hyödyntää, kun arvioidaan tulevaa resurssitarvetta ja priorisoidaan putkia kuntotutkimuksiin ja saneerauksiin. Kuntoa voidaan mallintaa fysikaalisten, tilastollisten tai tekoälyyn perustuvien menetelmien avulla (*Winkler ym. 2018*). Käytännössä tilastolliset ja tekoälyyn pohjautuvat menetelmät tulevat kyseeseen, sillä fysikaalisten mallien käyttö edellyttää tarkkoja tietoja putkista ja niiden kuntoon vaikuttavista olosuhteista, eikä tällaisia ole juuri milloinkaan saatavilla.

Kuntoa ennustettaessa mallinnettava tekijä voi olla esimerkiksi putkirikko, putken tekninen käyttöikä tai putken kuntoluokitus. Näitä pyritään mallintamaan erilaisten selittäjien avulla. Vesijohtojen kunnan kehittymiseen vaikuttaa suuri joukko tekijöitä, mistä johtuen kunnan ennustaminen on vaativa tehtävä (*Ana ja Bauwens 2010*). Yksinkertaisimmillaan selittäjäksi riittää putken ikä vikaantumishetkellä. Muita tyypillisiä selittäjiä ovat putken ominaisuudet kuten asennusvuosi, materiaali ja halkaisija, putken asennusympäristö kuten maaperä, perustustapa, ulkoiset tekijät kuten liikennekuorma ja sääolosuhteet sekä putken hydraulinen toiminta. Lähtökohtaisesti mitä tahansa kuntotietoa voidaan hyödyntää kunnanmallinnuksessa, edellytyksenä on ainoastaan, että tieto on dokumentoitu oikein. Vesijohdoissa tyypillisesti ollaan kiinnostuneita putkirikon mahdollisuudesta. HSY:llä on jaettu vesijohtoverkosto putkityyppeihin ikäryhmän, materiaalin, koon ja vuototiheyden mukaan. Vuosittain kussakin putkiryhmissä kilometriä kohden toteutuneita vuotoja on ollut eri määrä (kuva 9).



Kuva 9. Esimerkki verkoston jakamisesta putkiryhmiin vuototiheyden mukaan: vihreissä linjoissa ryhmän vuototiheys on 0, keltaisissa alle 2, oransseissa 2–3 ja punaisissa yli 3 vuotoa/kilometri. (Kuva: HSY)

Mallien avulla voidaan määrittää esimerkiksi putken vikaantumisen todennäköisyys seuraavan viiden vuoden aikana ja selvittää selittäjien vaikutusta vikaantumisalttiuteen. Kuntotieto voi olla mallissa selitettävänä tai selittäjänä, esimerkiksi aiemmat kuntotutkimustulokset voivat toimia selittäjänä putkirikon todennäköisyyttä ennustavassa mallissa.

Mallinnuksen tavoitteena on mahdollistaa tulevien vikaantumisten ennakointi. Tällöin kuntotiedosta saatava hyöty ei rajoitu yksittäisten putkien korjaus- tai saneerauspäätöksiin, vaan tietoja voidaan käyttää ennustamaan tulevia vikaantumisia ja ennaltaehkäisemään yllättäviä putkirikkoja. Korkean todennäköisyyden omaaviin putkiin voidaan kohdistaa ennakoivaa kunnossapitoa ja tarkempia kuntotutkimuksia tai saneerausta. Tarkoitus on, että mallinnuksesta saadaan konkreettista hyötyä - Australialaisessa tutkimuksessa todettiin, että hyödyntämällä kunnonmallinnusta saatiin kaksinkertainen määrä vikaantumisia ennakoitua (CSIRO 2018).

Mallinnuksessa keskeistä on tulosten validointi eli mallin toimivuuden selvittäminen. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi ristiinvalidoimalla eli jakamalla käytössä oleva aineisto

kahteen joukkoon, josta ensimmäisen avulla luodaan malli ja toisen avulla testataan, kuinka hyvin malli toimii ennestään tuntemattomalla datalla. Lisäksi on yleensä tarpeen tarkastella muita mallin hyvyttä koskevia mittareita.

Kunnonmallinnusta varten saatavilla olevat tiedot ovat usein puutteellisia. Moni puutteista on kuitenkin hallittavissa siten, että kunnonmallinnuksesta pystytään hyötymään. Olennaista on kuntotiedon keruun aloittaminen ja dokumentointi osaksi verkkotietoa – sitä mukaa kun uutta tietoa kertyy, paranevat mahdollisuudet hyödyntää tietoa kunnonmallinnuksessa.

4 JATKUVATOIMISTEN MITTAUSTEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNONHALLINNASSA

4.1 VUOTAVUUDENSEURANTA, VUODONTUNNISTUS JA VUODONPAIKANNUS

Jatkuvatoimisella kunnonseurannalla tarkoitetaan tässä ohjeessa ratkaisuja, joissa verkostossa tapahtuvilla mittauksilla saadaan jatkuvasti tietoa verkoston tilasta ja mahdollisista häiriöistä. Jatkuvatoiminen mittausta mahdollistaa vuotavuuden seurannan tai vuotojen havainnoinnin eri puolilla verkostoa ja on siten merkittävä apu kunnonhallinnassa verrattuna pelkkään kunnon paikalliseen selvittämiseen.

Jatkuvatoimiseen mittaukseen perustuvien vuodonhallintamenetelmien tarkkuustaso vaihtelee. Tasoja ovat

- vuotavuudenseuranta
- vuodontunnistus
- vuodonpaikannus.

Vuotavuudenseuranta mahdollistaa alueen vuotavuuden määrittämisen ja seuraamisen. Tyypillisesti tämä tulee kyseeseen ns. aluemittauksen yhteydessä. Vuodontunnistuksella tarkoitetaan järjestelyä, jonka avulla tunnistetaan vuototapahtuma esimerkiksi mittausalueen sisällä. Vuodonpaikannuksessa puolestaan määritetään vuodon sijainti vähintään kohtalaisella tarkkuudella. Joillain konfiguraatioilla on mahdollista tunnistaa useampi samanaikainen vuoto ja saada tietoa vuodon intensiteetistä (*Mäntyselkä 2022*).

Vuotavuudenhallinnassa saavutettava tarkkuustaso riippuu useista eri tekijöistä. Näitä ovat mitattava suure (esimerkiksi paine, virtaama tai akustinen mittausta), mittauksen tarkkuus, mittareiden määrä ja sijoittelu, mittaustiheys ja mitatun tiedon analysointiin käytetty menetelmä. Mittareiden määrä, mittaustiheys ja pattereiden kesto vaikuttavat ratkaisusta koituviin kustannuksiin ja kokonaisuus onkin tasapainoilua kustannusten ja järjestelmästä saatavien hyötyjen välillä.

4.2 MITTAUSTIEDON HYÖDYNTÄMISEN EDELLYTYKSET

Kun vesijohtoverkoston toimintaa halutaan alkaa seurata online-mittausten avulla, täytyy ratkaista seuraavat tekijät:

1. mittausten käyttötarkoituksen päättäminen
2. mittalaitteiden ominaisuuksien kartoitus ja vertailu
3. tiedonsiirron järjestäminen ja tietoturvallisen kokonaisuuden suunnittelu
4. mittaustiedon varastoinnin ja käsittelyn järjestäminen sekä tietoturvallisen kokonaisuuden suunnittelu
5. mittalaitteiden hankinta, asennus ja kunnossapito
6. tiedon analysointi ja raportointi.

Aluksi on pohdittava, millaiselle tiedolle olisi tarve ja sen jälkeen, millaista mittausta kyseisen tiedon saaminen edellyttäisi. Yksittäisestä mittarista voi olla hyötyä eri tarkoituksiin, esimerkiksi etäluettavia vesimittareita voidaan käyttää paitsi laskutukseen, myös vuodonpaikannukseen, etenkin jos mittarissa (tai osassa verkoston mittareita) on mukana painemittaus, tai alueellisen vedenkulutuksen tarkempaan mittaukseen. Jos mittaustietoa on tarkoitus hyödyntää vuodonpaikannuksessa, on etenkin paineantureilla varustettujen mittareiden sijainti suunniteltava ennakolta. Olemassa olevia rakenteita

kannattaa hyödyntää mittausten toteuttamiseen mahdollisuuksien mukaan, esimerkiksi veden laadunvalvonnassa.

Aluemittaus on yksi apukeino vuotavuudenseurantaan ja vuodontunnistukseen. Aluemittauksella tarkoitetaan järjestelyä, jossa vesijohtoverkosto on rajattu alueisiin, joille tuleva ja joilta lähtevä vesimäärä tunnetaan. Näiden perusteella tunnetaan alueen vedenkulutus, vesitase ja vuototaso. Aluemittauksen avulla on mahdollista sekä seurata alueellista vuotavuutta että tunnistaa yksittäisiä vuotoja. Tavallisesti vuotavuudenseuranta perustuu yölliseen minimikulutukseen. Vuotavuudenhallinnan lisäksi mittausalueista on hyötyä paineenhallinnassa. (AWWA 2009) Mittausalueen perustaminen edellyttää, että verkostosta on eristettävissä alueita.

Mittaustiedon käyttötarkoituksen ohella täytyy jo alkuvaiheessa huomioida tietoturvakonaisuutta. Kokonaisuuden rakentamisen kaikkiin vaiheisiin sisältyy tietoturvariskejä, jotka ovat tarpeen selvittää etukäteen. Suomessakin on kokemusta esimerkiksi siitä, kuinka tietojen tallentamiseen voi liittyä tietoturvaongelmia. Kun yksi vesihuoltolaitos hankki tallennustilaa samasta paikasta muiden laitosten kanssa, ei ollut mahdollista, että ulkoinen järjestelmä hakisi tallennettuja tietoja ilman, että samalla vaarantuisi myös muiden laitosten tallennettujen tietojen turvallisuus (Huttunen 2021).

Ennen mittalaitteiden hankintaa on suositeltavaa ratkaista tiedonsiirtoon liittyvät menetelmät sekä syntyvän mittaustiedon käsittelyyn ja varastointiin liittyvät kysymykset. Tiedonsiirtotekniikoita on useampia kuten radiomodeemitekniikat ja LPWAN (LowPowerWideArea) -tekniikat kuten LoraWAN, NB-IoT ja LTE-M.

Radiomodeemiverkkotekniikoita käytetään mm. vesihuollon kaukovalvonnassa. Tällöin vesihuoltolaitoksella on oma radiomodeemiverkko, joka vaatii radiotaajuuden käyttöluvan sekä operointikykyä. Tiedonsiirtokapasiteetti näiden verkkojen kautta on melko pieni, mutta riittävä yksinkertaisten ja pienten sanomien lähettämiseksi. Radiomodeemiverkko ei ole yhteydessä internetiin.

LPWAN teknologioista LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) tekniikka on Suomessa eniten käytetty ja laajimmalle levinnyt vähävirtainen ja kaksisuuntainen tiedonsiirtotekniikka, joka toimii 868MHz taajuusalueella eikä tämän käyttämiseen tarvita erillisiä lupia. Alhainen radiotaajuus mahdollistaa signaalin melko hyvän läpäisevyyden eri materiaaleille, kuten betonille ja maaperälle. Alhainen taajuus tarkoittaa kuitenkin myös pienekköä tiedonsiirtokapasiteettia, mutta kuitenkin riittävää tekstimuotoisten sanomien lähettämiseksi. Tämän teknologian etu on vähävirtaisuus, jolloin signaalia lähetäviin laitteisiin ei välttämättä tarvita jatkuvaa sähkövirran syöttöä. Akkujen lopulliseen keston vaikuttaa mm. lähetysignaalin voimakkuus, viestin lähettämisen tiheys sekä ympäröivien esteiden kuten betonin, teräksen, maaperän jne. paksuudet.

NB-IoT (Narrowband-Internet of Things) teknologia kuuluu LPWAN-teknologioihin. NB-IoT-teknologia käyttää matkapuhelinverkkojen taajuusalueita, joita on käytössä useampia (450 MHz:sta (harvinainen), 800 Mhz, 900 Mhz, 1800 Mhz (yleisin matkapuhelin-taajuus) ja useita yli 2 GHz (5G)). NB-IoT-teknologiat toimivat ns. lisensoituilla matkapuhelinverkkotaajuuksilla, joita hallinnoi ja operoi Suomessa isoimmat teleoperaattorit. Näiden teknologioiden käyttäminen edellyttää, että mittalaitteeseen asennetaan SIM-kortti. Etäluettavissa mittareissa SIM-kortit on asennettava laitteisiin sisään jo tehtaalla, mutta muissa laitteissa SIM-kortin voi useimmiten asentaa laitteeseen itse. Näiden tekniikoiden ominaisuuksia ovat suurempi tiedonsiirtokapasiteetti, mutta sitä huonompi materiaalien läpäisevyys, mitä korkeampien taajuuksien käyttöön siirrytään. Korkeimpien 26 GHz taajuuksien käyttö edellyttää tukiasemien välille ns. näköyhteyden ilman minkäänlaisia esteitä.

LTE-M on LPWAN teknologia, jonka tiedonsiirtokapasiteetti on mm. suurempi kuin NB-IoT:lla. Muutoin periaatteet ovat hyvin samankaltaiset kuin NB-IoT:ssa.

Tiedonsiirtotekniikoiden valinnassa on huomioitava, minkälaista tiedonsiirtotekniikkaa itse laite tukee sekä mikä tiedonsiirtoteknologia soveltuu laitoksen käyttöön parhaiten nyt ja tulevaisuudessa. Tämän valinta liittyy useimmiten tiedonhallinnan arkkitehtuuriin, joka on hyvä olla olemassa. On varauduttava myös siihen, että jos lähetettävä signaali on esimerkiksi kuvaa tai ääntä, tarvitaan paljon tiedonsiirtokapasiteettia ja signaalin on oltava vahva, mikä kuluttaa myös akkua merkittävästi. Tällöin on mietittävä, onko kohteeseen saatavissa sähkönsyöttö tai kuinka usein akku on laitteelle vaihdettava.

Tiedonsiirtoon liittyy aina myös tietoturva, joka on ratkaistava palveluntarjoajan kanssa yhdessä. Tietoliikenneyhteydet voidaan salata ja laitteelta lähtevä signaali voidaan myös salata, riippuen laitteesta. Silloin on muistettava, että signaali on myös purettava, mikäli siinä on salaus. Signaalin purkumenetelmä ja taho, jonka sen tekee, on myös sovittava. Sen voi useimmissa tapauksissa tehdä tiedonsiirtopalvelua tarjoava yritys, mutta laitos voi tehdä signaalin purkamisen myös itse, mutta se edellyttää aiheeseen erikoistunutta henkilöresurssia.

Mikäli viesti puretaan operaattorin toimesta, on sovittava mitä purkamisen jälkeen tehdään. Lähetetäänkö purettu viesti sellaisenaan vesihuoltolaitokselle, siivotaanko viestin sisältöä ennen lähettämistä operaattorin toimesta vai tarkastellaanko viestin sisältöä vain ja ainoastaan operaattorin tarjoamien työkalujen avulla. Tällöin on päätettävä, kenelle data kuuluu, kuka sen omistaa, miten dataa säilytetään, kuinka pitkään ja kenen toimesta.

Mikäli vesihuoltolaitos haluaa datan itselleen, on sen valittava menetelmät, miten ja missä data tullaan säilyttämään, käsittelemään ja hyödyntämään. IoT-datan hallinnointiin; keräämiseen, tallentamiseen, käsittelyyn, visualisointiin, hyödyntämiseen ja käsittelyn datan siirtämiseen on olemassa suuria kaupallisia toimijoita, joilla on tällaisen datan käsittelyyn periaatteelliset valmiudet. Tiedon keskitetty kerääminen tulee eteen etenkin silloin, jos käytetään eri toimijoiden mittalaitteita ja erilaisia tiedonsiirtotekniikoita. Jotta eri laitteiden tuottamista tiedoista saadaan suurin hyöty, on tietoja useimmiten tarpeellista tarkastella samanaikaisesti. Tämä on mahdollista vain keskistetyn tiedonhallinnan kautta.

Mittareista ja antureista saatavan tiedon käyttämiseen ja hyödyntämiseen liittyy oleellisenä osana aineiston laatu. On tärkeää arvioida jatkuvasti mittausten oikeellisuutta, tarkastella esimerkiksi mediaaniarvoja, prosentiosuuksia ja verrata aiempiin lukemiin. Esimerkiksi paineiskut voivat aiheuttaa virhettä painemittausten tuloksiin ja lukemia voi vääristää salamanisku tai keskijännitelinjan tai muuntajan asentaminen mittauksen läheisyyteen. Mittari voi olla joskus alun perinkin viallinen. Mittaustietojen käyttö edellyttää jatkuvaa tietohuoltoa ja tiedon laaduntarkkailua, joka voidaan pidemmällä aikajänteellä automatisoida melko pitkälle, mutta alkuvaiheessa tiedon oikeellisuuden varmistaminen edellyttää jatkuvaa työtä, etenkin jos tiedon perusteella on tarkoitus tehdä valintoja ja päätöksiä. Virheellisen tiedon perusteella päätöksiä ei kannata tehdä. Luemat voivat vääristyä joko vähitellen tai äkkinäisen ulkoisen tekijän vaikutuksesta.

Kun tiedonsiirtoon, tiedonhallintaan ja hyödyntämiseen on löydetty vastaukset, on laitehankintojen tekeminen yksinkertaisempaa ja selvempää. Mittalaitteiden hankintamalleja on useampia, joista esimerkkinä on laitteiden ostaminen itselle tai vuokraaminen. Jos laitteet ostetaan itselle, on päätettävä, minkälaisella mallilla niiden kunnossapito toteutetaan – omana työnä vai ostettuna palveluna. Mikäli tiedonsiirtoon liittyvät kysymykset on käsitelty ennen laitehankintaa, on laitteiden käyttöönotto ja niiden tuottamien viestien käsittely, hallinnointi ja hyödyntäminen melko suoraviivaista.

Online -mittauksiin sisältyy useita asioita pelkkien laitehankintojen lisäksi, joista merkittävin on tiedon laadun tarkkailu ja ylläpito jatkuvasti. Tähän osioon on tärkeää varata riittävät henkilöresurssit.

4.3 HAASTATTELUT VUODONPAIKANNUKSESTA

4.3.1 Taustatietoa

Tätä ohjetta varten haastateltiin neljää suomalaista ja kolmea yhdysvaltalaisista vesihuoltolaitosta vuotavuodenseurannasta, vuodontunnistuksesta ja vuodonpaikannuksesta. Haastatellut yhdysvaltalaiset vesihuoltolaitokset sijaitsevat kaikki maan itärannikolla Suomea lämpimämissä olosuhteissa. Haastatteluissa käsiteltiin omaisuudenhallintaa, vuotovesien määrän vähentämistä ja putkirikkojen paikannusta.

4.3.2 Alva-yhtiöt

Jyväskylän vesihuoltopalveluista vastaavan Alva-yhtiöt Oy:n (*Alva*) vesijohtoverkosto on noin 880 km pitkä. Verkostossa on yhteensä noin 50 paineenkorotusasemaa. Näistä lähes kaikissa on painemittarit ja magneettiset virtaamamittarit, joista lähetetään tieto automaatiojärjestelmän kautta valvomoon. Verkostossa on lisäksi muutama virtaamamittauskaivo. Uusille laiteasemille ja paineenkorotusasemille asennetaan aina virtaamamittaus, vanhoille paineenkorotusasemille virtaamamittaus lisätään saneerauksen yhteydessä. Kaikki paineenkorotuspiirit ovat sulkuventtiileillä suljettuja isompia tai pienempiä painepiirejä. Alvalla ei ole käytössä varsinaista aluemittausjärjestelmää.

Alvalla kaukovalvontaan (SCADA) on toteutettu omana työnä kahdenlaisia hälytyksiä: vuorokausivirtaamaa ja yövirtaamaa koskeva hälytykset, jotka saadaan, jos normaalille virtaamille asetetut raja-arvot ylittyvät ja vastaava yöpainetta koskeva hälytys. Mikäli kyseessä ei ole merkittävä ylitys, hälytys tulee aamulla ja sitä aletaan selvittää asiaan nimetyn henkilön kanssa. Viestiketjun sujuvuuteen on kiinnitetty Alvalla huomiota. Maastossa tehtävät tutkimukset toteuttaa Alvalla sopimusurakoitsija, joka etsii vuodon. Ensin saatetaan tutkia maastossa, onko vuoto havaittavissa. Tämän jälkeen tutkitaan loggereilla ja korrelaattorilla tai maamikrofonilla. Loggereita on kymmeniä ja verkostosta löytyy esimerkiksi paloposteja varsin hyvin. Sijaintia voidaan haarukoida myös suurimmille jätevedenpumppaamoille asennettujen painemittausten avulla. Näiltäkin tulee hälytys suuresta painemuutoksesta. Teollisuutta on pyydetty ilmoittamaan, jos se ottaa paljon vettä, jotta voitaisiin reagoida vain todellisiin vuotoihin.

Alvalla on aloitettu etäluettavien vesimittareiden asennus. Kaikki mittarit on tarkoitus muuttaa etäluettaviksi seuraavien viiden vuoden aikana lähtien liikkeelle suurimmista vedenkuluttajista. Tällä hetkellä etäluettavia mittareita on noin 400 eri puolilla kaupunkia. Toistaiseksi lukemia hyödynnetään vain laskutuksessa. Tulevaisuudessa tavoitteena on järjestelmä, joka lähettää tärkeimmistä mittareista kulutustiedon 15 min välein, muista mittauksista tunnin välein. Tietoja hyödynnetään myös online-mallinnuksessa. Alvalla on käytössä yhteinen alusta, johon kootaan mittaustiedot eri lähteistä.

Vuodonpaikannukseen liittyy haasteita. Vuotojen paikantaminen muovista on ollut ongelmallista, koska vuotoääni ei kuulu muoviputkista hyvin. Näitä kohteita voidaan tutkia hydrofoneilla, mutta kentälle toivottaisiin parempia vuodonpaikannuslaitteita etenkin muoviputkien tutkimiseen. Kaikkein suurimman painepiirin alueella ei painelukemista ole ollut mahdollista tunnistaa kuin kaikkein suurimmat vuodot. Ongelmalliseksi on havaittu myös se, että kaikki verkoston vuodonpaikannustyöt asennuksesta työnjohtoon

on ulkoistettu. Vuodonpaikannuksesta on havaittu, että se vaatii vahvaa perehtymistä, osaamista ja erityisammattitaitoa, jolloin sen ulkoistaminen oikeasti toimivasti on vaikeaa. Määräaikainen sopimus ei kannusta kehittämään toimintaa ja panostamaan hyvien mittauslaitteiden oikeaan käyttöön.

Mittaustiedot lähetetään eri väyliä, pääsääntöisesti radiomodeemin avulla, mutta kuuluvuuden ollessa huono, mobiiliverkon tai valokuidun avulla. Radiomodeemilla tieto siirtyy kerran minuutissa, GSM-modeemilla vähän harvemmin. Alvalla on huomattu, että tiedonsiirto kannattaa suunnitella hyvin ja tehdä pieteetillä tarvittavat alkututkimukset maastossa (mm. esteiden tutkiminen lähetinaseman ja vastaanottimen välillä), muuten joudutaan usein jälkikäteen parantelemaan heikkoa tiedonsiirtoa.

Tiedon oikeellisuuden tarkastelu on tärkeää. Lukemissa on toisinaan havaittu esimerkiksi skaalausvirheitä; vastaavankokoisista alueista toisella on paljon suurempi virtaama. Virheellisiä lukemia voi aiheuttaa esimerkiksi vuotava takaiskuventtiili paineenkorotusasemalla. (*Ponkkala, Kettunen, Kuitunen, Pahkamäki, Sillanpää, Pietilä, Hirvelä, 28.4.2022*)

4.3.3 Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

Pääkaupunkiseudulla toimivalla HSY:llä on noin 3 000 km vesijohtoverkosta. HSY:llä vuodonpaikannuksessa hyödynnetään aluemittausjärjestelmää, verkosto- ja kuntotietoja ja paikallisia tutkimuksia. Aluemittausjärjestelmän rakentaminen aloitettiin 2016 ja sen rakentaminen on yhä käynnissä. Valmiissa järjestelmässä aluemittausalueita tulee olemaan yhteensä noin 140. Koska suurelle osalle alueista veden syöttösuuntia on useita, tulee virtaamamittauksia olemaan noin 450. Aluemittauksia käytetään sekä alueellisen vuotavuuden seurantaan että vuodontunnistukseen.

Akuuteissa vuototilanteissa, joista ei saada erikseen ilmoitusta kentältä, aletaan vuotoa paikantamaan aluemittausalueen virtaamamittausten avulla. Vuotavan aluemittausalueen virtaamamittauksista havaittujen poikkeamien avulla vuodon sijainti saadaan usein haarukoitua pienemmälle alueelle. Tarvittaessa aluemittausalue voidaan sulkujärjestelyin pilkkoa yhä pienempiin osa-alueisiin, jolloin vuodon paikantaminen helpottuu merkittävästi. Rajattu alue käydään läpi asentajien toimesta kuuntelupiikin ja korrelaattorin avulla. Vuotoa etsitään ja aluetta pilkotaan yhä pienempiin osiin niin kauan, kunnes vuoto saadaan paikannettua.

Aluemittauksella tunnistetaan alueet, joilla vuotavuus on korkea tai lisääntymässä ja kohdennetaan näille tarkempia tutkimuksia. Vuodonpaikannus alueen sisällä etenee useassa vaiheessa. Ensin tunnistetaan alueelle syöttävät linjat ja niiden virtaussuunnat sekä selvitetään, onko alueella mahdollisesti vuodolta näyttävää muuta vedenkulutusta kuten juoksutuksia tai huuhteluita. Tämän jälkeen tarkastellaan alueen verkostotietoja ja hyödynnetään verkkotietojärjestelmään tallennettua putkien kuntotietoa ja putkiryhmien vikaantumistiheyksiä. Vuotoherkkyysanalyysillä tunnistetaan herkimmin vuotavat vesijohtot niiden iän, koon ja materiaalin perusteella. (*Yrjölä 7.4.2022*)

Analyysin perusteella valitut alueet tutkitaan ääniloggereiden avulla, jonka jälkeen tarkempaan vuodon paikallistamiseen käytetään kuuntelupiikkiä ja korrelaattoria. Kun vuodot on paikannettu, ne korjataan, dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään ja seurataan tehtyjen korjaustoimenpiteiden vaikuttavuutta alueelliseen vuotavuuteen ja aloitetaan tarvittaessa kierros alusta. (*Yrjölä, Kyrönseppä, 17.5.2022*)

4.3.4 Lahti Aqua

Lahden kaupungin omistaman vesihuolto-yhtiö Lahti Aquan toiminta-alueella on noin 1200 km vesijohtoverkostoa. Verkostossa on noin 50 aluemittausasemaa ja näiden lisäksi erillisiä mittausasemia ja laitekaivoja, joissa esimerkiksi kloorataan ja tehdään jatkuvat toimista veden laaduntarkkailua. Paineenkorotus- ja alennusasemilla mitataan tuleva ja lähtevä paine sekä virtaama. Mittausasemilla ja paineenkorotusasemilla mitataan virtaamaa ja painetta. Virtaamamittausten laatua tarkastellaan säännöllisesti ultraäänimittarilla. Jos kulutus äkillisesti selvästi kasvaa tai alueelle syötetty vesimäärä ja kulutus eivät vastaa toisiaan, voidaan epäillä paitsi vuotoa myös mittausvirhettä. Myös laitetoimittajat käyvät kalibroimassa laitteita. Verkoston kuntotutkimustarvetta on huomioitu suunnitteluvaiheessa esimerkiksi siten, että vesijohtolinjoihin on suunniteltu kaivoja, joista vesijohtoputki kulkee läpi, jolloin siihen tarvittaessa saa ultraäänimittarin kiinni.

Rutiinitoimenpiteenä käydään joka aamu läpi mahdolliset kiireettömät hälytykset normaalin öisen virtaamataso ylituksesta. Aluemittauksia käytetään siten vuotavuuden seurantaan ja vuotojen havainnointiin. Verkoston ohjausjärjestelmästä tulee hälytyksiä, jos kulutus kasvaa. Vääriäkin hälytyksiä tulee, esimerkiksi katujen kunnossapidon turhan äkillisestä runsaasta vedenotosta.

Jos virtaama- ja painetietojen pohjalta näyttää, että alueella on vuoto, siirrytään tekemään tutkimuksia maastoon. Hyvässä tapauksessa vuoto löytyy silmämääräisellä havainnoinnilla. Jos näin ei ole, mittapiiri puolitetaan sulkemalla venttiilejä ja seurataan seuraavan yön ajan kummalle puolelle vuoto jää. Tätä jatketaan, kunnes alue on saatu rajattua niin pieneksi, että vuoto on paikannettavissa akustokorrelaattorilla tai kuuntelemalla venttiileistä kuuntelupiikillä sekä maamikrofoneilla.

Lahden vesijohtoverkostossa on noin 70 vuotoääniloggeria, jotka on kytketty automaatiojärjestelmään ja joilta saadaan hälytyksiä mahdollisista vuodoista. Loggereita on sijoitettu riskien hallinnan periaatteiden mukaisesti etenkin kaupungin tiiviisti rakennetulle alueelle ja keskeisiin linjoihin. Loggerit ovat akkukäyttöisiä ja niiden akku kestää noin viisi vuotta. Mittarit kuuntelevat vain yhden tunnin yössä ja lähettävät tiedot puhelinverkon kautta. Asennukset on tehty joko venttiiliin varteen, palopostiin tai vesiasemaan tai isoissa linjoissa läppäventtiiliin hartioihin kiinni magneetilla.

Lahti Aqualla on vuodonpaikannukseen oma vuodonpaikannusryhmä, jolla on käytössä monenlaista laitteistoa kuten korrelaattoreita, hydrofoneja ja ultraäänimittareita. Laitoksella koetaan, että laitteisiin ja mittaustarkkuuteen panostamisen lisäksi olennaista on motivoitunut ja osaava henkilöstö. Myös kommunikointi laajasti esimerkiksi siitä, mihin asentoon venttiilejä on tutkimusten jäljiltä jätetty, on keskeistä. Paikkansa pitävä verkotieto katsotaan myös tärkeäksi, sillä vuodonpaikannuksessa täytyy löytää halutut venttiilit ja putket ja näiden tietojen, esimerkiksi putkikoko, venttiilin edellinen tarkistuskerta ja toimivuus, täytyy olla oikein. Venttiilien toimivuutta tarkistetaan määrävälein. Vuotavuutta tutkitaan yksinkertaisimmillaan koepaineistuksella. Paineellinen vesisäiliö kytketään osaksi verkostoa ja tarkistetaan verkoston käyttöpaine. Sen jälkeen suljetaan suunnitelman mukainen alue ja seurataan mittareista paineen ja vedenmittauksen muutosta. Jos alueella on vuotoa, syötetään painesäiliöstä vettä alueelle. Sen jälkeen voidaan aluetta rajata venttiileitä sulkemalla. Tämänkin tutkimuksen edellytys on, että verkostotiedot ovat kohdillaan. Virtaussuuntien päättelemiseksi vesijohtoverkostosta on olemassa hydraulinen malli.

Kommentti: ”Kaikenlaisia hienoja härveleitä on, mutta perusasioiden kannattaisi olla alkuun kunnossa.”

Muoviputkien kunnan tutkiminen on Lahti Aqualla koettu ongelmalliseksi. Muoviputkien vuotokohtia on maastossa selvitetty esimerkiksi ultraäänellä, jolla mitataan avoimesta kaivannosta putken päältä virtaamaa, katsotaan mihin suuntaan vesi virtaa ja kaivetaan uusi kaivanto. Sähköhitsausmuhvien ja ylipäättään liitoskohtien kartoittamista on pidetty tärkeänä. Kaikki vuototapahtumat viedään verkkotietojärjestelmään ja ne kartoitetaan samalla. Putkista ja liitoksista otetaan vuotojen yhteydessä tarvittaessa näytepaloja ja lähetetään tutkittavaksi.

Etäluettavien vedenkulutusmittarien odotetaan tuovan helpotusta nimenomaan muoviputkien vuodonpaikannukseen, kun tieto häiriöstä saadaan jo varsin läheltä vuotokohtaa. Jotta myös kunnossapito pystyy hyötymään etäluettavista mittareista, täytyy jo hankintavaiheessa huomioida tarvittava tiedonsiirto. Lahti Aqualla etäluettavien mittarien projekti on alkuvaiheessa. Verkostoon on asennettu koeluonteisesti joitakin satoja mittareita. Ongelmia on ollut sekä tiedonsiirrossa että mittalaitteissa. Vuodonpaikannuksen parantamiseksi on tavoitteena saada osaan mittareista myös painemittaus, jolloin saadaan esimerkiksi eri katusuuksettain havainto myös paineesta. Tiedonsiirron suhteen toivotaan, että saataisiin järjestelmä, jossa on vain yksi tiedonsiirtotapa käytössä. (Mustonen, Laihia, Bragge, 28.4.2022)

4.3.5 Seinäjoen Vesi

Seinäjoen Energia Oy:n liiketoimintayksikkönä toimivalla Seinäjoen Vedellä on noin 1250 km vesijohtoja. Seinäjoen Vedellä on panostettu vesijohtoverkoston mittauksiin, verkostossa on noin 30 paineenkorotusasemaa ja erillisiä mittausasemia noin 140. Näillä kaikilla mitataan virtaamaa ja painetta, osassa mittarit mittaavat kumpaankin suuntaan. Mittausten määrää on systemaattisesti lisätty viimeisen kahden vuosikymmenen aikana ja esimerkiksi uusiin siirtolinjoihin asennetaan lähes poikkeuksetta ainakin yksi virtaamamittari. Jokainen mittausasema vaatii investointeja ja jokaisen kohdalla punnitaan mittauksen tarve sekä investoinnin mielekkyys ja järkevyys. Mittausasemia rakennetaan myös esimerkiksi uudisalueiden verkostorakentamisen ja verkostosanerausprojektien yhteydessä.

Mittaustulokset kootaan kaukovalvontajärjestelmään. Poikkeamista tulee suoraan hälytys, esimerkiksi jos virtaama on poikkeuksellisen suuri tai paine tippuu. Kaukovalvonnan tiedot käydään joka arkiamu läpi ja tarkistetaan, onko vuotoihin liittyviä pienempiä poikkeavuuksia. Jos näitä löytyy, aletaan vuotoa paikantaa, joskus myös yöaikaan. Maastossa rajataan venttiilejä sulkemalla verkoston alueita ja näin haarukoidaan vuodon sijaintia. Kaukovalvonnasta seurataan, kuinka venttiilien sulkeminen vaikuttaa virtaamiin – tippuuko vuodon osuus vedenkulutuskäyrästä pois. Yksittäisiä linjoja saataan myös korreloida, mutta usein tämä kuitenkin vaatii metallisen runkovesijohdon. Vesijohtoverkosto on mallinnettu, jotta tunnetaan esimerkiksi virtaussuunnat. Seinäjoella koetaan tärkeänä, että maastotutkimuksia tekevät henkilöt tuntevat verkoston hyvin. Ylipäättään vuodonpaikannuksen koetaan olevan pitkäjänteistä työtä, joka vaatii erityisosaamista ja jota ei opi lyhyessä ajassa.

Nykyisten mittausasemien piirissä on suurimmillaan jopa 200–300 km verkostoa. Vaikka matkat ovat erityisesti haja-asutusalueella pitkiä, pystytään kuitenkin löytämään jopa virtaamaltaan 1–2 m³/h vuotoja. Vedenkulutukseltaan suurimmilla alueilla tämän kokoinen vuoto ei erotu virtaamalukemista. Joskus vuodon löytäminen kestää pitkäänkin, esimerkiksi kuukauden. Syynä voi olla, että verkkotiedoissa on virhe, verkosto ei ole sellainen kuin oletettiin, verkostossa on esimerkiksi haja-asutusalueella joku osuus, jota ei löydy kartoista.

Vuodonpaikannuksessa verkoston karttatiedon koetaan olevan kaiken a ja o; vuodonpaikannuksessa on olennaista, että verkkotietoihin on merkitty runkoventtiilit, joiden avulla aluerajaus pystytään tekemään. Vanhaa verkostoa kartoitetaan koko ajan järjestelmällisesti, myös esimerkiksi liittymissopimusten päivitysten yhteydessä. Uutta verkostoa suunniteltaessa venttiilien sijainteja mietitään myös vuodonpaikannuksen näkökulmasta. Lisäksi osalle verkoston venttiileistä tehdään säännöllinen testaus.

Seinäjoen vuotovesiprosentti on pitkäjänteisellä työllä saatu laskemaan vuoden 2013 noin 14 %:stä nykyiseen 6,8 %:iin. Syynä on sekä mittausasemien lisääntyminen ja parantunut vuodonpaikannus että verkostosaneeraus. (Ahokas 3.5.2022)

4.3.6 Virginia Beachin kaupungin vesihuoltolaitos

Virginia Beachin kaupunki (City of Virginia Beach) sijaitsee Virginian osavaltion kaakkoisosassa. Kaupungissa on noin 450 000 asukasta ja kaupungin vesihuoltolaitoksella on 12 vesisäiliötä, kahdeksan paineenkorotusasemaa ja yhteensä 2 400 km vesijohtoja. Vesihuoltolaitos ostaa käyttöveden Norfalkin kaupungilta ja jakelee sen noin 134 000 vedenkäyttöpisteeseen. Valtaosa verkoston putkista on halkaisijaltaan 152–203 mm, mutta vaihteluväli on 102–1 219 mm. Verkoston vanhimmat putket ovat vuodelta 1924, mutta valtaosa verkostosta on 1970-luvun lopulla rakennettua pallografiittivalurautaa. Verkostossa on lisäksi valurautaisia putkia ja vaakaporauksella toteutettuja PEH-putkia. Laskuttamattoman veden osuus verkostossa on alhainen, 7–8 %.

Verkostoon on asennettu noin 134 000 vesimittaria. Näistä osa on manuaalisesti luettavia, osa lähietäisyydeltä automaattisesti luettavia ja osa etäluettavia mittareita. Manuaalisia mittareita on noin 75 % kaikista kaupungin vesimittareista ja ulkopuolinen sopimusurakoitsija käy lukemassa ne kuukausittain. Lopuista 25 %:sta mittareita noin puolet on paikan päällä luettavia ja puolet etäluettavia. Paikan päällä luettavat mittarit luetaan koskettamalla mittaria lukukynällä, jolloin kuukauden aikainen vedenkulutustieto siirtyy digitaalisesti laitteeseen. Etäluettavat mittarit toimivat siten, että 5–8 km etäisyydellä kulkeva huoltoauto lukee vedenkulutustiedon, joka siirtyy vesihuoltolaitokselle. Tavoitteena on siirtyä kokonaan etäluettaviin mittareihin, tällä hetkellä kuitenkin mittareiden vaihtoväli on 14–15 vuotta.

Vesihuoltolaitoksella ei ole käytössä aluemittausta, mutta verkostoon on asennettu mittareita ja sensoreita mahdollisten ongelmien havaitsemiseksi. Tasaisista pinnanmuodoista johtuen kaupungin verkostossa on paineenkorotusasemia. Asemilla on virtaamamittaus ja ne muodostavat eräänlaisia mittausalueita. Vesihuoltolaitos pystyy tarkkailemaan lukemia kaukovalvontajärjestelmästä ja tunnistamaan mahdollisista vuodoista kertovat poikkeavat virtaamat. Lisäksi verkostossa on 34 painemittaria, jotka lähettävät tiedon kaukovalvontaan kahden minuutin välein. Painemittareita voidaan käyttää poikkeavuuksien tunnistamiseen ja mahdollisten tarkempien tutkimusalueiden osoittamiseen. Kun järjestelmässä havaitaan vuoto, joko kaukovalvonnan tai tavallisemmin maan pinnalle tulevan veden havaitsemisen perusteella, vuoto paikannetaan ja korjataan. Usein vuoto on liitoskohdassa. Laitoksella on käytetty akustista kuuntelua tilanteissa, jossa vuotoa ei pystytä paikantamaan. Akustisen tutkimuksen toteuttaa ulkopuolinen urakoitsija ja vuotokohdan löydyttyä vesihuoltolaitos korjaa vuodon.

Vesihuoltolaitoksella on käytössä hydraulinen malli, joka on kalibroitu kaukovalvonnasta ja vesimittareista saatavilla vedenkulutustiedoilla. Mallia käytetään tällä hetkellä tulevan kasvun ja kapasiteettitarpeen ennustamiseen. Maankäytön suunnittelun yhteydessä mallia käytetään määrittämään suunnittelualueelle saatavilla oleva virtaama ja paine. Kaupungin ennustetaan kasvavan täyteen mittaansa vuoteen 2030 mennessä.

Hydraulista mallia käytetään myös veden viipymän arvioimiseen verkoston eri osissa ja veden laadun varmistamiseksi tarvittavien toimien määrittämiseen. (Cherry, 20.4.2022)

4.3.7 DC Water

Washington D.C. (virallisesti District of Columbia) on Yhdysvaltain pääkaupunki ja se sijaitsee maan itärannikolla Keski-Atlantin rannalla. Kaupungissa on noin 700 000 asukasta ja sen vesihuoltolaitos DC Water on kaupungin itsenäinen yksikkö, joka omistaa ja ylläpitää alueen vesijohtoverkoston. Kaupungissa on noin 2 100 km vesijohtoja, joista 1 730 km on halkaisijaltaan alle 305 mm ja noin 360 km on siirtolinjoja, joiden halkaisija on 406–1 830 mm. Verkosto on suurimmaksi osaksi valurautaa, jonkin verran uudempia linjoja on rakennettu pallografiittivaluraudasta. Verkoston vanhimmat putket ovat vuodelta 1858, mutta verkoston keski-ikä on 80 vuotta. Laskuttamattoman veden osuus kaikesta verkostoon syötetystä vedestä on 30 %.

DC Waterilla on kehittynyt omaisuudenhallintajärjestelmä, joka käynnistyi etäluettavien vesimittareiden asennuksella vuonna 2001. Vesilaitoksella on verkostossa toiminnassa noin 130 000 vesimittaria, joiden avulla seurataan asuinkiinteistöjen ja teollisten vedenkuluttajien tonttijohtoja. Tiedonkeruu vesimittareilta on järjestetty eri puolilla kaupunkia sijaitsevien 80 tiedonkeruuaseman avulla. Mittarit toimittanut yritys hoitaa tiedon keruun ja tallennuksen ja DC Water lataa vedenkulutustiedot. Vesimittareilta ja kaukovalvonnan kautta paineenkorotusasemilta ja vesisäiliöiltä saatavaa dataa on käytetty paikkatietoon pohjautuvan hydraulisen malliin luomiseen. Kaukovalvonnasta saatavaa dataa hyödynnetään mallissa, jolloin vesilaitos voi seurata järjestelmän toimintaa. Verkostossa on myös klooria ja muita laatuparametreja mittaavia vedenlaatumittareita. Myös nämä mittaustiedot tuodaan hydrauliseen malliin ja tämä mahdollistaa veden laadun seuraamisen.

Kaukovalvonnan tietoja hyödyntävän hydraulisen mallin avulla vesilaitos pystyy tunnistamaan järjestelmässä tapahtuvia poikkeamia ja puuttumaan niihin tarpeen mukaan. Jos paineessa tai laadussa havaitaan poikkeavuuksia, vesilaitos pystyy vastaamaan niihin ja tunnistamaan rakenteelliset vauriot ja toiminnalliset häiriöt. Vesihuoltolaitos voi käyttää verkostossa olevia painesensoreita poikkeaman syyn selvittämiseen ja tutkittavan alueen määrittelemiseen. Jokaisen painepiirin sisällä on kaksi painesensoria, joita operoi ulkopuolinen toimittaja. Kun painemittarit havaitsevat verkostossa paineiskun, vesilaitos pääsee käsiksi kaikkiin painesensoreihin ja pystyy yksilöimään, missä poikkeama tapahtuu. Vesilaitos käyttää myös akustista tutkimusta mahdollisten vuotokohtien paikantamiseen. Tutkimukset toteuttaa urakoitsija ja tulosten pohjalta päätetään korjaustoimista.

Vesihuoltolaitoksella on käytössä Asset Planner -niminen omaisuudenhallintatyökalu, joka pohjautuu verkostoa koskevaan paikkatietoon ja laitoksen ylläpitämään hydrauliseen malliin. Työkalussa hyödynnetään putkien ikä- ja muita ominaisuustietoja ja sijaintia pitkän aikavälin suunnitelmien laatimiseen. Työkalu sisältää tunnetut putkien rakenteellista kuntoa koskevat tiedot ja työkalun avulla voidaan laskea mahdollinen vikaantumistiheys. Sen jälkeen, kun työkalun avulla on tunnistettu huomiota vaativat linjat, laitoksella järjestetään työpajoja eri osastojen kesken ja päätetään, mitkä putkiosuudet saneerataan. Saneerauspäätöksiin vaikuttavat etenkin toteutuneet putkirikot. (Melsew, 26.4.2022)

4.3.8 Baltimoren vesihuoltolaitos

Baltimoren kaupunki sijaitsee Marylandissä Yhdysvaltain itärannikolla Keski-Atlantin rannalla. Kaupungissa on noin 600 000 asukasta. Kaupunki omistaa ja ylläpitää kolmea

vedenkäsittelylaitosta, joista toimitetaan vettä Baltimoren kaupungin ja piirikunnan noin 800 000 asukkaalle. Kaupungin ja piirikunnan välillä on raakavesijohdot mukaan lukien noin 6 800 km vesijohtoja, joiden halkaisijat vaihtelevat välillä 153–1 830 mm. Verkoston vanhimmat putket ovat 1850-luvulta. Putkimateriaaleista käytössä on valurauta, pallografiittivalurauta ja esijännitetty betoni (PCCP). Laskuttamattoman veden osuus kaikesta verkostoon syötetystä vedestä on 25 %.

Kaupunki ja piirikunta harjoittavat sekä proaktiivista että reaktiivista omaisuudenhallintaa ja kuntotutkimuksia. Proaktiivisessa lähestymistavassa valikoidaan kriittiset linjat kuntotutkimuksiin ennen vuotojen tapahtumista, kun taas reaktiivisessa lähestymistavassa vastataan havaittuun vuotoon korjauksella tai saneerauksella. Metallista ja esijännitetystä betonista (PCCP) valmistetut, halkaisijaltaan suuret linjat kuuluvat proaktiivisen lähestymistavan piiriin ja ulkopuolinen urakoitsija on palkattu toteuttamaan näiden kriittisyyskartoitus. Urakoitsija käyttää tähän olemassa olevaa verkkotietoa kuten halkaisija-, asennusvuosi- ja materiaalitietoja ja maantieteellistä sijaintia ja luokittelee kohteet näiden perusteella häiriön todennäköisyyden ja seurausten pohjalta. Arvioinnissa yhdistetään todennäköisyyksien ja seurausten lisäksi kustannukset. Kaupunki ja piirikunta päättävät sen jälkeen, mitkä ovat korkeimman prioriteetin putkia, joihin kuntotutkimukset kohdistetaan.

Reaktiivinen lähestymistapa perustuu tyypillisesti asiakaskokemukseen ja asiakkailta saatuun palautteeseen. Jos asiakas huomaa mahdollisen vuodon tai veden laatuhäiriön, näiden pohjalta kohdennetaan kuntotutkimuksia vuodon tai vian paikantamiseksi. Tiedot tästä tallennetaan City Works -nimiseen järjestelmään, josta niitä voidaan tarkastella kootusti.

Käytössä olevat kuntotutkimusmenetelmät kattavat sekä rikkomattomia että paikallisesti toteutettavia menetelmiä. Suurten metallisten ja PCCP-putkien kuntoa tutkitaan paikallisesti. Näihin menetelmiin kuuluvat PureTechnologiesin SmartBall -tekniikalla toteutettavat tutkimukset vuotojen ja kaasutaskujen paikantamiseen. PureTechnologiesin PipeDiver -tutkimuksia käytetään PCCP-putkien rauditusvaurioiden löytämiseen. Reaktiiviseen vuodonpaikannukseen käytetään akustisia menetelmiä.

Kaupungilla ja piirikunnalla on tarkat paikkatiedot verkostosta, ja tiedot mahdollistavat myös esimerkiksi häiriöhistorian tarkastelun. Kaupunki käyttää CityWorks -nimistä kaupallista ohjelmistoa, joka mahdollistaa työmääräysten laatimisen. Järjestelmään tallennetaan kaikki vuodot, jolloin kaupunki voi tunnistaa kohteet, joissa vuotoja tapahtuu paljon. Tällaiset kohteet voidaan sitten nostaa tuleviin saneerauksiin, jotta välttyään vastaavilta häiriöiltä jatkossa. (*Khorsha, 19.5.2022*)

4.4 KOOSTE VUODONPAIKANNUKSESTA HAASTATELLUILLA LAITOKSILLA

Haastatellut kahdeksan vesihuoltolaitosta poikkeavat toisistaan monin tavoin, esimerkiksi liittijämäärien, verkostopituuksien, tyypillisten putkihalkaisijoiden ja ilmaston suhteen. Vuotavuuden hallinnassa ja vuotojenpaikannuksessa on siitä huolimatta paljon yhtäläisyyksiä.

Kaikilla haastatelluista laitoksista hyödynnetään verkostosta saatavaa paine- ja virtaamietoa vuotojen havaitsemisessa. Tyypillisesti näiden pohjalta tulee hälytyksiä, joihin reagoidaan tekemällä tarkempia tutkimuksia maastossa. Osalla laitoksista on käytössä aluemittaus, joka mahdollistaa alueen tarkan rajaamisen. Verkostossa olevia muita mittauksia kuten virtaama-, paine- ja vuotoäänitietoja sekä laatumittauksia hyödynnetään

vuodon tarkemman sijainnin määrittämisessä. Maastotutkimuksia voidaan kohdentaa alueen sisällä myös riskiperusteisen tarkastelun pohjalta ja hyödyntää siinä laajasti esimerkiksi kohteiden kriittisyys- ja kuntotietoja. Tunnistetun alueen sisällä vuodon sijaintia tyypillisesti haarukoidaan sulkemalla venttiilejä ja seuraamalla tämän vaikutusta esimerkiksi virtaamiin. Vuodonpaikannus tehdään maastossa käyttäen esimerkiksi kuuntelupiikkiä, akustokorrelaattoria, maamikrofonia, hydrofonia tai ultraäänimittaria. Hanka-
luuksia aiheuttavat esimerkiksi poikkeava vedenkulutus, joka mittauksissa voi näyttää vuodolta, suuret painepiirit, joissa vuoto ei välttämättä erotu datasta ja vuotojen paikannus muoviputkista.

Vuodonpaikannuksen kannalta keskeiseksi koetaan paikkansa pitävä verkkotieto sisältäen esimerkiksi tiedon venttiilien sijainnista ja tarkistuksista ja siitä, mitkä venttiilit ovat auki ja mitkä kiinni sekä hydraulisesta mallista selvitetty virtaussuunnat. Myös vuotojen dokumentointia pidetään tärkeänä. Etäluettavien vedenkulutusmittarien käyttöönotto on valtaosalla laitoksista joko suunnitteilla tai alkuvaiheessa ja niitä halutaan tulevaisuudessa hyödyntää myös vuodonpaikannuksessa. Yksi haastatelluista laitoksista hyödyntää etäluettavien mittareiden vedenkulutustietoa jo nyt hydraulisessa mallinnuksessa. Vuodonpaikannuksessa olennaiseksi katsotaan hyvät laitteet ja mittaustarkkuus sekä jatkuvatoimiseen mittauksiin liittyen tiedonsiirron hyvä suunnittelu. Teknisten tekijöiden lisäksi tärkeänä pidettiin osaavaa ja motivoitunutta henkilökuntaa, joka tuntee verkoston.

5 PAIKALLISET KUNTOTUTKIMUKSET

5.1 KUNTOTUTKIMUSMENETELMIEN JAOTTELU

Paikallisilla kuntotutkimusmenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joilla voidaan maastossa selvittää vesijohtoverkoston tietyn alueen tai linjan kuntoa. Menetelmiä on lukuisia erityyppisiä, ne perustuvat eri ilmiöihin ja niiden avulla voidaan selvittää putken kuntoa eri näkökulmista.

Kuntotutkimusmenetelmät voidaan luokitella niiden toimintaperiaatteen perusteella esimerkiksi akustisiin, visuaalisiin tai sähkömagneettisiin. Akustiset menetelmät ovat kuntotutkimusmenetelmistä käytetyimpiä. Akustisissa menetelmissä mitataan värähtelyn ja/tai ääniaallon etenemistä putkimateriaalissa tai vedessä putken sisällä. Akustisiin ilmiöihin perustuvia tutkimusmenetelmiä on markkinoilla muihin tekniikoihin verrattuna eniten, joskin niissä on rajoitteita esimerkiksi tutkittavan materiaalin osalta. Ääni kantautuu metallisissa materiaaleissa paremmin kuin esimerkiksi muoveissa, joten akustiset menetelmät soveltuvat paremmin metallisille putkille. Myös putken halkaisija vaikuttaa; ääni kantautuu yleisesti sitä paremmin mitä pienempi putken koko on. Akustinen tutkimus voidaan tehdä putken ulko- tai sisäpuolelta. Sisäpuolisessa tutkimuksessa analysoidaan useimmiten äänen etenemistä vedessä ja myös ulkopuolisista tutkimusmenetelmistä kaikuluotaus perustuu värähtelyn etenemiseen aineessa.

Osa kuntotutkimusmenetelmistä perustuu putken sisäpuolelta tehtävään, puhtaasti visuaaliseen tutkimukseen. Tutkimuksessa hyödynnettävät tekniikat voivat perustua myös radioaaltoihin (satelliittitutkimus), sähkömagnetismiin (maaperätutka), kaasun kulkeutumiseen putkessa (merkkikaasututkimus) tai lämpötilamittaukseen (infrapuna kuvaus). Lisäksi kunnosta voidaan tehdä päätelmiä veden laatua tutkimalla tai putkesta otettavien näytepalojen mekaanisilla ja kemiallisilla tutkimuksilla.

Tässä oppaassa kuntotutkimusmenetelmät on jaoteltu niiden toteutustavan perusteella putken ulkoisiin ja putken sisäisiin menetelmiin. Jaotteluun on päädytty, koska tutkimuksen toteutustapa on kuntotutkimuksen tilaajan kannalta keskeinen tieto ja vaikuttaa paljon siihen, kuinka paljon ja millaisia käytännön valmisteluja tutkimus edellyttää. Kuntotutkimusmenetelmistä on esitelty niiden toimintaperiaate ja kerrottu, mihin ilmiöön tutkimus perustuu.

5.2 KUNTOTUTKIMUKSILLA SELVITETTÄVÄT TEKIJÄT

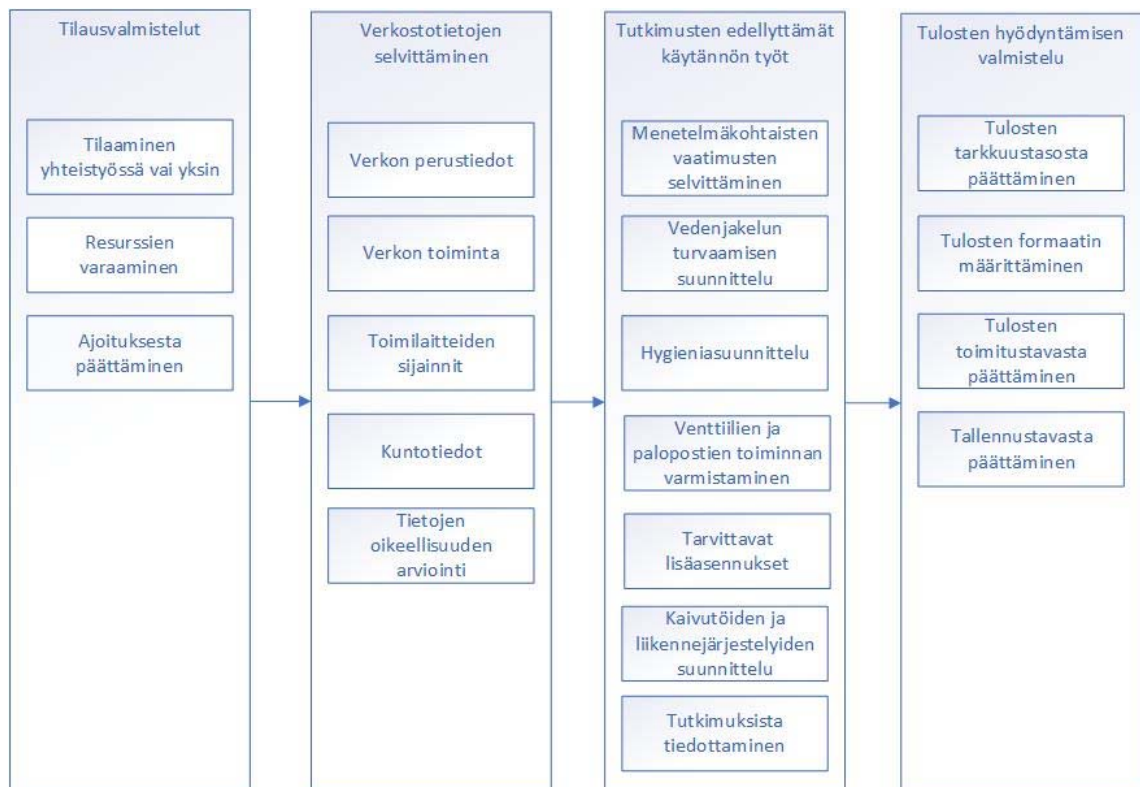
Kuntotutkimuksilla voidaan haluta selvittää esimerkiksi vuotavuutta, putken seinämäpaksuutta, rakenteellista lujuutta, korroosion muodostumista, umpeenkasvua ja linjan tai ilmataskujen sijaintia. Osalla menetelmistä voidaan selvittää myös esimerkiksi venttiilien asentoa ja liitosten sijaintia. Yksittäisellä menetelmällä saadaan yleensä kuntotietoa vain yhdestä näkökulmasta eikä siten täydellisestä käsitystä putken tilasta.

Verkostovuodot ovat tavallinen kuntotutkimuksen kohde. Vuotoja syntyy tyypillisesti putkien syöpyessä ja erilaisten asennusvirheiden seurauksena. Vuodot jaetaan tyyppin mukaan ilmi- ja piilovuotoihin. Lähinnä putkirikoista syntyvät ilmivuodot ovat usein havaittavissa lähes heti vuotoveden noustessa maanpintaan. Suuret vuodot voivat näkyä esimerkiksi ylävesisäiliön pinnan ja verkostopaineen äkillisenä alenemisena ja vedenkulutuksen sekä pumppaustarpeen nopeana kasvuna. Ilmivuotojen täsmällinen paikantaminen ei yleensä ole vaikeaa, mutta aina vuoto ei ole siinä kohdassa, missä vesi purkautuu maanpintaan. Tähän vaikuttavat esimerkiksi maaperä ja vuodenaika. Sujuteussa putkessa vuotovesi voi ulkoputken ja sujutusputken välitilassa kulkeutuessaan siirtyä kauas vuotokohdasta.

Putkien syöpymisen ja liitosvikojen seurauksena syntyvien, pienempien ja heikommin havaittavissa olevien piilovuotojen havaitseminen voi olla hyvinkin hankalaa. Vesijohtojen vuodonpaikannuksella pystytään löytämään piilovuotoja, minkä lisäksi sillä voidaan varmistaa ilmivuotojen tarkka sijainti. Pienet vuodot eivät yleensä tule näkyviin maanpinnalle, vaan vesi imeytyy ympäröivään maaperään tai valuu viemäreihin. Piilovuotojen olemassaolo voidaan havaita esimerkiksi käyttötilastoista verkostoon pumpatun veden ja laskutetun vedenkäytön erotuksena. Tällöin vuodot voidaan rajata kulutusalueille, mutta vuodon tarkempaan paikallistamiseen tarvitaan aina soveltuva menetelmä. (RIL 237-1-2010, Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, perusteet ja toiminnallisuus)

5.3 VALMISTELEVAT TYÖT

Kuntotutkimukset edellyttävät erinäisiä valmistelevia töitä, joilla varmistetaan tutkimusten sujuminen. Valmisteluja aletaan tehdä siinä vaiheessa, kun päätös tutkittavista kohteista on tehty ja kuntotutkimusmenetelmä valittu. Valmistelevat työt voidaan jakaa mahdollisiin tilausvalmisteluihin, verkostotietojen selvittämiseen, tutkimusten edellyttämiin käytännön töihin ja tulosten hyödyntämisen valmisteluun. Kuva 10 esittää kuntotutkimusten edellyttämiä valmistelevia töitä.



Kuva 10. Kuntotutkimusten valmistelevat työt.

Tilausvalmisteluissa yhtenä osana on harkita työn suorittamisen tilaamista yhteistyössä esimerkiksi naapurilaitoksen tai -laitosten kanssa. Joidenkin menetelmien kohdalla voidaan yhteistilauksella saada mobilisaatiokustannuksia alhaisemmiksi. Tilausvalmisteluihin kuuluu myös tutkimusten suorittamisajankohdan valinta: varmistetaan, että kuntotutkimuksiin on riittävästi resursseja käytettävissä ja suunnitellaan kuntotutkimukset niille sopivaan vuodenaikaan. Esimerkiksi maan jäätyminen voi hankaloittaa joitain kuntotutkimuksia. Tutkimuksia voi toteuttaa myös verkoston liitos- tai korjaustöiden yhteydessä, jolloin tutkimustyö voidaan suorittaa samoilla kaivantotöillä ja vesikatkoilla.

Valmistelevien töiden seuraavana vaiheena on verkostotietojen selvittäminen. Verkostosta tarvitaan monenlaisia tietoja, jotka vaihtelevat kuntotutkimusmenetelmästä riippuen. Perustiedoiksi voidaan katsoa verkoston sijainti-, halkaisija- ja materiaalitiedot. Verkoston toiminnan tarkastelu on tarpeen osassa menetelmiä. Tarvitaan tieto siitä, missä sijaitsevat tutkimuksen kannalta keskeiset venttiilit ja palopostit ja missä on haarautuvia linjoja, jotta edelleen tiedetään, voiko tutkimusinstrumentti tai kaasu karata tutkittavalta linjalta. Lisäksi selvitetään, voidaanko ja tarvitseeko linjaa sulkea tutkimuksen ajaksi ja varmistetaan toimilaitteiden toimivuus. Asennussyvyys, virtaussuunnat, virtausnopeudet, painetasot ja tarkka tieto putkimateriaalista tarvitaan osaan menetelmästä, samoin kuin arvio putken alkuperäisestä seinämävahvuudesta ja kimmokertomesta (joka käytännössä pyritään päättämään asennusvuodesta). Lisäksi voi olla tarpeen kartoittaa aikaisempi kunnossapitohistoria, selvittää esimerkiksi laatuvalitukset ja korjatut vuodot ja tieto vuotokorjauksen materiaalista. Lähtötietojen kokoamisen jälkeen täytyy arvioida niiden oikeellisuutta, esimerkiksi linjan sijaintitiedon luotettavuutta. Verkoston perustietojen laatu vaikuttaa tutkimusten onnistumiseen. Virheelliset tai puutteelliset perustiedot voivat hankaloittaa tutkimusta tai aiheuttaa virheitä tulosten tulkinassa. Myös vesijohtojen sakkautuminen tai umpeen kasvaminen heikentää putken sisäpuolisten kuntotutkimusmenetelmien käyttöä tai voi jopa tehdä niiden käytön mahdottomaksi.

Tutkimusta edeltävissä käytännön töissä selvitetään menetelmäkohtaiset vaatimukset kuten tarve linjan sulkemiselle. Vedenjakelun järjestäminen tutkimuksen aikana suunnitellaan. Putken sisäisen tutkimuksen yhteydessä suunnitellaan myös, kuinka hygienia varmistetaan ja kuinka mahdollisesti tarvittavat tutkimuksen jälkeiset huuhtelut toteutetaan. Mikäli tutkimuksissa tarvitaan venttiilejä tai paloposteja, tarvittaessa varmistetaan maastossa niiden toiminta. Osaan tutkimuksista saatetaan tarvita lisäasennuksia kuten pysty-yhteitä tai seurantasensoreita. Tulee siis määrittää, mitä lisäasennuksia tutkimus edellyttää ja suunnitella ja toteuttaa ne.

Lisäksi selvitetään muun tutkimuksen kannalta oleellisen infran sijainti ja suunnitellaan mahdollisesti tarvittavat kaivannot, riittävät työskentelytilat ja liikennejärjestelyt.

Kuntotutkimuksista tiedotetaan asiakkaita aina, jos ne näkyvät vedenkäyttäjille katkoksenä vedenjakelussa tai mikäli niistä aiheutuu hetkellisesti merkittäviä muutoksia veden laatuun. Muissa tapauksissa tiedottaminen jää vesilaitoksen harkinnan varaan.

Tulosten hyödyntämisen valmistelun osalta päätetään tulosten vaadittu tarkkuustaso, formaatti, toimitustapa ja tallennuskohde. Tarkkuustaso viittaa siihen, halutaanko esimerkiksi tieto yksittäisistä vioista ja niiden vakavuudesta. Tulosten formaatti ja tallennuskohde ratkaisevat jatkohyödyntämisen helppouden.

Verkostotiedon laatu on todennäköisin kompastuskivi kuntotutkimusten valmistelussa. Usein verkoston kuntoa halutaan selvittää, vaikka osa perustiedoistakin olisi puutteellisia. Tällöin joudutaan varautumaan yllätyksiin, jos esimerkiksi tutkittava putkimateriaali ei olekaan sitä mitä on oletettu. Ongelmia syntyy esimerkiksi silloin, jos verkostotiedoista puuttuu haaroja tai venttiilejä ja tutkimusmenetelmä edellyttää niiden tuntemista.

5.4 ULKOISET KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

5.4.1 Menetelmätyypit

Ulkoisiin tutkimusmenetelmiin lukeutuvat kaikki menetelmät, joissa putken sisään ei syötetä tutkimusvälineitä tai -aineita. Tällaisia ovat esimerkiksi kuuntelupiikki, akustokorrelaattori, maamikrofoni ja loggerit sekä vedenjakelujärjestelmän simulointi vuototutkimustarkoituksessa. Näiden toiminta perustuu äänen kantautumiseen ja kuuntelemiseen, ja ne ovat helposti liikuteltavissa maan pinnalla. Ulkoisia tutkimusmenetelmiä on myös erilaiset ääniaallon etenemisen analysointiin, veden laatuparametrien ja virtausominaisuuksien mittauksiin perustuvat tutkimukset, jotka eivät edellytä pääsyä tutkittavan linjan sisälle eivätkä näin ollen vaikuta vedenjakeluun. Myös satelliittihavaintoihin pohjautuva vuotokohtien paikannus on ulkoinen kuntotutkimusmenetelmä.

Tutkimusmenetelmästä riippuen voidaan saada selville arvio putken kunnosta, vuodon suhteellisen tarkka sijainti tai aluerajaus, jonka sisällä vuoto sijaitsee. Vuotoäänien kuuntelemisen ja äänen havainnointiin putkimateriaalissa perustuvien tekniikoiden on havaittu soveltuvan parhaiten metallisille materiaaleille, jossa ääni kantautuu hyvin. Vuotoäänikuuntelu vaatii menetelmän käyttäjältä kykyä tunnistaa vuotoäänit.

5.4.2 Elektroninen kuuntelupistin

Elektronisen kuuntelupistimen eli kuuntelupiikin avulla voidaan suorittaa akustista vuototutkimusta kuuntelemalla vuotoääniä esimerkiksi venttiilin karasta. Kuuntelupiikki soveltuu parhaiten metallisille ja pienihalkaisijaisille putkille, koska ääni kulkeutuu niissä parhaiten. Kuuntelupiikkiä käytetään muillekin putkimateriaaleille, mutta menetelmän toimivuus on silloin epävarmempaa. Kuuntelupiikki asetetaan venttiilin tai palopostin karaan ja ääni kantautuu vahvistimen kautta kuulokkeisiin. Vuotoäänien erottamiseen muusta taustakohinasta ja veden virtausäänistä vaatii menetelmään harjaantuneen käyttäjän, joka pystyy tunnistamaan vuotoäänien. Kuuntelupiikkejä on myös langattomina sekä näytöllä varustettuina, jolloin ääni on esitetty myös grafiikkana ja/tai lukuarvona. Kuuntelupiikillä saadaan havainto vuotoäänestä ja vuodon tarkempaan sijainnin paikallistamiseen tulee käyttää lisäksi muuta menetelmää, kuten esimerkiksi akustokorrelaattoria tai maamikrofonia. (*Sykli ja Eco-One 2012*)

Erilaiset verkoston kunnossapitotoimet ja tarkastukset ovat yksi mahdollisuus toteuttaa vuototutkimus kuuntelupiikillä. Sopivia tilanteita ovat esimerkiksi venttiilitarkastukset ja mittarinvaihdot.

5.4.3 Akustokorrelaattori ja hydrofoni

Akustokorrelaattori mahdollistaa vuodon tarkemman sijainnin paikallistamisen esimerkiksi kuuntelupiikillä saadusta vuotoäänihavainnosta. Tämä ns. runkoäänikorrelointi perustuu äänen kantautumiseen putkimateriaalissa. Korrelaattorilaitteisto koostuu keskusyksiköstä, lähettimistä ja antureista (kuva 11). Lähettimissä kiinni olevat anturit asetaan vuotoepäilyllin linjan venttiileihin niin, että vuotoepäilykohde jää venttiilien väliin. Korrelaattorilaitteiston keskusyksikköön syötetään tutkittavan linjan materiaali, putken halkaisija ja tutkittavan linjaosuuden pituus. Keskusyksikkö laskee vuodon sijainnin antureiden kautta lähettimille saapuvien vuotoäänien aikaerosta ja laitteistolle syötettyjen, tutkittavaa linjaa kuvaavien tietojen avulla. Keskusyksikkö esittää vuotokohdan grafiikassa korkeimpana piikkinä. Olosuhteiden ollessa optimaaliset vuodon sijainnin voi saada selville noin kymmenen senttimetrin tarkkuudella. (Westerholm 2012; Sykli ja Eco-One 2012)



Kuva 11. Korrelaattorin käyttö. (Kuva: Perel Oy)

Korrelaattorilaitteistoon yhdistettävän hydrofonin avulla vuotoääni paikallistetaan äänen kantautuessa vedessä putken sisällä. Hydrofonit asennetaan paloposteihin niin, että epäilty vuotokohde jää palopostien väliin. Muuten korrelointi tapahtuu runkoäänikorreloinnin tapaan. Hydrofonien käyttö korrelaattorin antureina ei ole riippuvainen putkimateriaalin ominaisuuksista, jolloin sen soveltuvuus on hyvä myös erityisesti ei-metallisille putkille. (Sykli ja Eco-One 2012) Hydrofonin soveltuvuudesta on huomioitava, että verkostossa saattaa olla vähänlaisesti valmiita paikkoja, joihin hydrofonin voi kytkeä.

5.4.4 Maamikrofoni

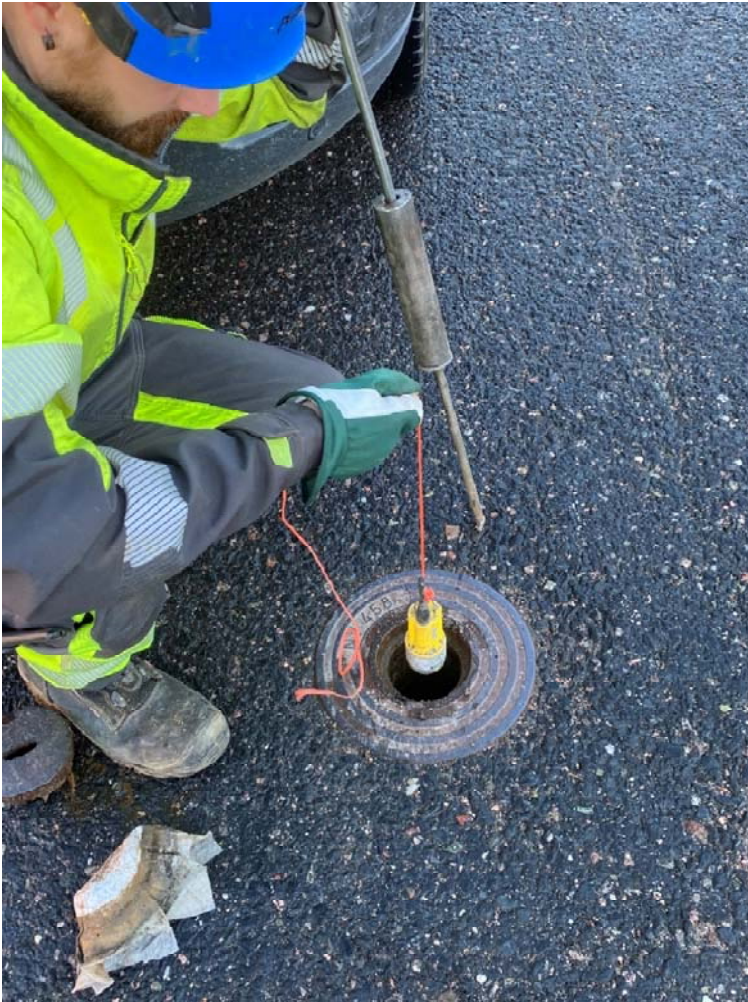
Maamikrofonia (kuva 12) käytetään vuodon sijainnin paikantamiseen maanpinnalta käsin. Maamikrofonin käyttö ei vaadi venttiiliä, palopostia tai muuta pääsyä tutkittavaan linjaan. Maamikrofonia liikutetaan maanpinnalla tutkittavan linjan yläpuolella ja vuotoääniä kuunnellaan kuulokkeista. Lisäksi on laitteita, joihin on yhdistetty myös näyttö, joka näyttää vuodon grafiikkana ja/tai lukuarvona. Maamikrofonia on mahdollista käyttää myös kuuntelupiikin tavoin asettamalla laite esimerkiksi venttiin karaan. Menetelmä soveltuu kaikille putkimateriaaleille (Perel 2020). Menetelmä vaatii käyttäjältä harjaantunutta kykyä tunnistaa vuotoäänet. Maamikrofonia käytetään usein vuodon sijainnin tarkkaan paikantamiseen, kun havainto vuodosta on saatu muulla menetelmällä, kuten korrelaattorilla. (VVY 2012) Vuodon sijainnin varmistaminen helpottaa vuotokorjauksen kaivuutöiden oikeaa kohdentamista. Mikäli tutkittavan linjan päällä maan pinnalla on betonista tai muuta värähtelyä vaimentavaa materiaalia voidaan tähän materiaaliin porata reikiä kuuntelua varten (AWWA 2019).



Kuva 12. Maamikrofonin käyttö. (Kuva: Lappeenrannan Energia Oy)

5.4.5 Ääni- ja paineloggerit

Loggereiden avulla voidaan etsiä piilovuotoja ja tutkia alueita, joilla on havaittu vuotoon tai vuotoihin viittavia merkkejä. Loggerit asennetaan tutkittavalle alueelle sulkuventtiileihin, paloposteihin tai tonttisulkuventtiileihin loggereissa olevan magneetin avulla (kuvat 13 ja 14). Ääniloggerit ohjelmoidaan kuuntelemaan vuotoääniä haluttuun aikaan, jolloin läsnäoloa tutkimusten aikana ei tarvita. Loggereiden käyttö ei vaikuta vedenjakeluun. Metallisten putkien tapauksessa ääniloggerit asennetaan maksimissaan noin 200 metrin välein ja muoviputkien kohdalla maksimissaan noin 50 metrin välein. Tyypillisesti yhdelle tutkittavalle alueelle riittävä määrä ääniloggereita on 15–20 kappaletta. Tavallisesti ääniloggerit ohjelmoidaan kuuntelemaan yöaikaan kello 02–04 välillä, jolloin esimerkiksi liikenne tai muu taustamelu häiritsee kuuntelua vähiten. Ääniloggeri voi lähettää tiedot automaattisesti tai tiedot voidaan käydä lukemassa loggerista lukulaitteella. Saatujen tulosten perusteella loggerit voidaan sijoittaa uudelleen rajaamalla ne alueelle, jossa vuotoäänet on havaittu. Näin vuotoepäiltyä aluetta pystytään rajaamaan pienemmäksi sitä mukaan, kun ohjelmoituja kuunteluja toistetaan ja uutta tietoa saadaan. Kun alue on saatu rajattua riittävän pieneksi, noin kahden tai kolmen linjasulkuventtiin välille, vuodon tarkempaa sijaintia voi alkaa paikantaa esimerkiksi kuuntelupii-kin ja/tai akustokorrelaattorin avulla.



Kuva 13. Ääniloggerin asentaminen venttiin karaan. (Kuva: Lappeenrannan Energia Oy)



Kuva 14. Ääniloggerit. (Kuva: Lappeenrannan Energia Oy)

Läheiset paineenkorotusasemat saattavat vaikuttaa ääniloggereihin häiritsevästi. (Westerholm 2012) Käyttöä hankaloittaa myös esimerkiksi se, jos verkostossa on kohtia, jossa putkimateriaali vaihtuu keskellä linjaa. Äänen kantautuminen on heikompaa esimerkiksi silloin, jos valurautalinjassa on muovinen osuus välissä. Lisäksi menetelmän käyttöä rajoittaa, jos verkossa on vähänlaisesti kohtia, joihin loggerit saadaan kiinni, esimerkiksi venttiilejä. Ääniloggerit soveltuvat kaikille putkimateriaaleille, mutta helppien vuodot löytyvät metallisista putkista. Jos samasta kohteesta on pitkiä aikasarjoja, loggereilla voidaan havaita myös jatkuvaa taustavuotoa.

Ääniloggereiden lisäksi on olemassa paineloggereita, joita käytetään paineen mittaamiseen paloposteista. Menetelmää voidaan käyttää myös vuodonpaikannuksessa, sillä paine alenee vuodon yhteydessä. Paineloggereita käytetään kuitenkin usein painetasojen selvittämiseen muusta syystä kuin vuotoepäilystä, mutta niiden käyttö saattaa paljastaa myös esimerkiksi vuodon tai umpeenkasvun.

5.4.6 Maaperätutka

Maaperätutkaa (GPR, Ground Penetrating Radar) voidaan käyttää vuodon paikallistamiseen maan pinnalta. Laite lähettää maaperään lyhytkestoisen sähkömagneettisen pulssin, joka palautuu osittain takaisin kohdatessaan maaperässä materiaaleja, onkaloita tms. Vesijohtovuoto voidaan havaita maaperätutkan avulla esimerkiksi putken vie-

reen muodostuneena onkalona. Menetelmän käyttö on kohtalaisen vaativaa, sillä vuotokohtien erottaminen esimerkiksi muusta maaperän kosteudesta ja maassa olevista muista rakenteista voi olla hyvinkin vaikeaa. Se on kuitenkin hyödyllinen tilanteissa, joissa esimerkiksi äänen kuunteluun perustuvia menetelmiä ei voida käyttää ympäristön tai tutkittavan linjan häiriöäänistä johtuen. Menetelmä vaatii tekniikan käyttöön perehtynyttä ammattilaista. (AWWA 2019; Sykli ja Eco-One 2012)

5.4.7 Ultraäänimittaus

Teräs- ja valurautaputkien seinämävahvuutta voidaan mitata ultraäänimittarilla. Mittaus suoritetaan putken ulkopinnalta, jolloin tutkimusten suorittamista varten mitattava alue putken ympäriltä on kaivettava esiin. Mittauspisteitä tulisi ottaa useampia riittävän tiedon saamiseksi ja ne olisi hyvä ottaa putken ympäriltä koko kehältä. Mittauksilla ei ole vaikutusta putken toimintaan tai vedenjakeluun eikä putkikoolla ole tutkimusten kannalta merkitystä. Seinämävahvuuden muutos voidaan laskea vertaamalla tutkimuksesta saatua seinämävahvuutta putken alkuperäiseen seinämävahvuuteen. Tämä edellyttää putken alkuperäisen seinämävahvuuden tietämistä. (Kuparinen 9.11.2021)

5.4.8 Drooni

Vesijohtovuotojen havaitsemiseen maanpinnalta voidaan käyttää lämpökamerakuvausta, jota käytetään useimmiten droonin avulla (kuva 15). Droonin avulla tutkimukset voidaan suorittaa vaikeakulkuisessakin maastossa ja paikoissa, joihin muuten on hankala päästä. Droonien avulla on mahdollista tutkia myös tunneleita ja tunneleihin sijoitettuja vesijohtoja. Drooneja on olemassa myös itsenäisesti liikkuvia ja tarvittaessa vedessä kelluvia yksiköitä. (Aerolion Technologies 2021)

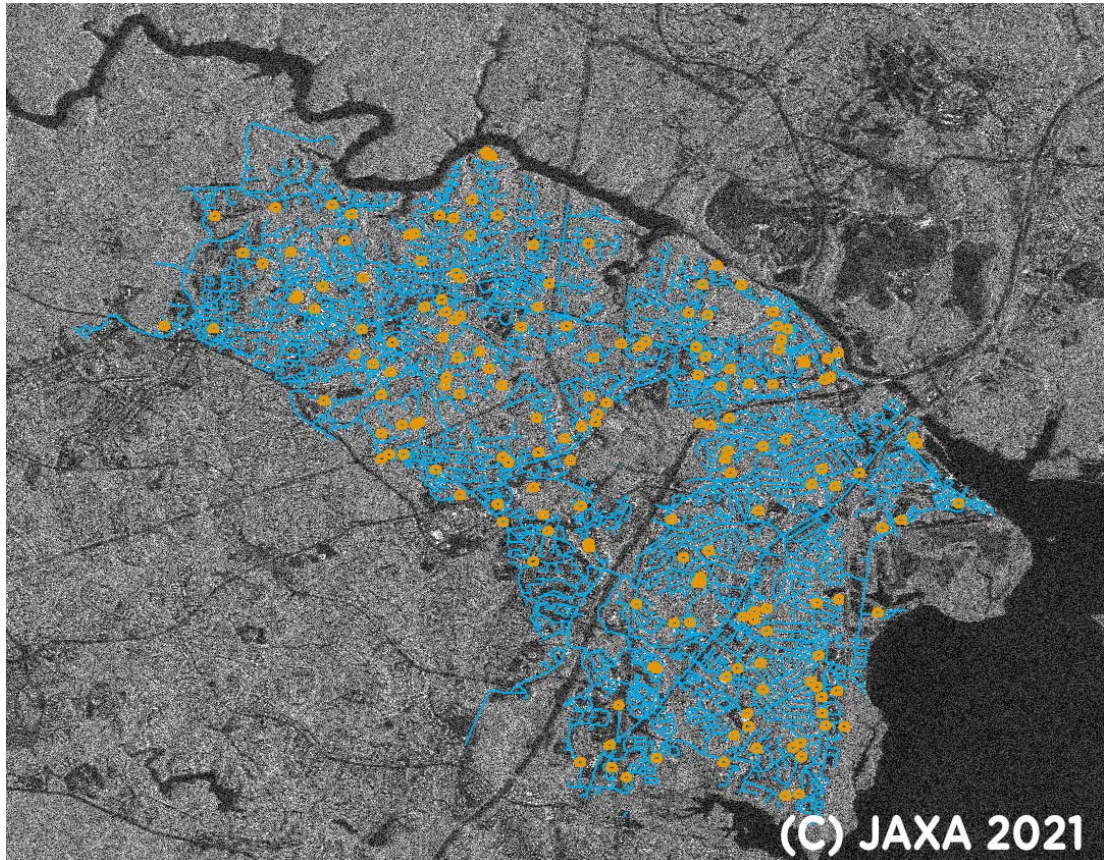
Lämpökamerakuvaus perustuu infrapunasäteilyn käyttöön lämpötilaeron havaitsemiseksi vuotokohdan ja sitä ympäröivän maaperän välillä. Menetelmää on käytetty myös Suomessa, joskin lämpötilaero on merkittävä vain osan aikaa vuodesta. Lämpökamerakuvaus tehdään maan pinnalta ja tulokseksi saadaan kuva-aineisto, josta nähdään lämpötilaerot. Lämpötilaerot eivät suoraan kerro vuotokohtia, sillä eroja voivat aiheuttaa muutkin tekijät kuin vuotava vesijohtovesi. Lisäksi vuotokohtaa ympäröivä maaperä voi kyllästyä vuotovedestä laajalta alueelta, jolloin vuotokohdan tarkkaan sijaintiin ei voi luottaa. (AWWA 2019) Lämpökamera mittaa lämpötilan maanpinnalta, jolloin vuodon havaitseminen edellyttää, että vuotovesi on purkautunut maanpinnalle.



Kuva 15. Drooni. (Kuva: Niko Forsell / Ramboll Finland Oy)

5.4.9 Satelliittitutkimus

Satelliittitutkimuksessa (kuva 16) verkostoalueesta otetaan satelliittikuva, josta tulkitaan vuotokohtia. Satelliitissa oleva SAR-tutka lähettää noin 1 GHz aallon, joka tunkeutuu maaperään aina 2 metrin syvyyteen ja tunnistaa vesijohtoveden maaperästä sen ominaissähköjohtavuuden perusteella. Satelliitin ottama kuva analysoidaan eri algoritmein ja tuloksena saadaan tunnistetut mahdolliset vuotokohteet 100 metrin säteen tarkkuudella.



Kuva 16. Havaitut vuotokohteet merkitty oransseina ympyröinä verkostossa. (Kuva: Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA)

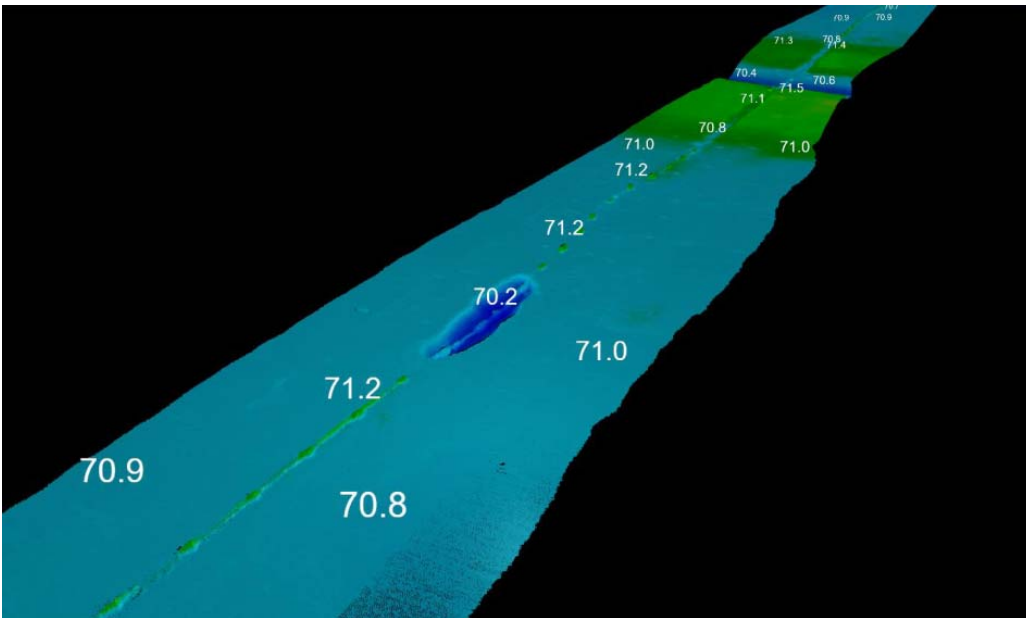
Satelliittitutkimuksen etuja ovat riippumattomuus sääolosuhteista, vuorokaudenajasta ja verkoston rakenteesta tai materiaaleista. Vuotokohteiden rajaaminen tiettyihin kohteisiin helpottaa myös säännöllistä vuodonetsintää kentällä. Verkostoa pystytään kartoittamaan satoja kilometrejä yhdellä kertaa ja kohdistamaan vuodonetsintä pienemmille rajatuille alueille. Huomioitavaa kuitenkin on, että tutkimuksissa havaittavat mahdolliset vuotokohteet tulee paikantaa tarkemmin maastossa alueen verkostolle soveltuvin menetelmin. (AWWA 2019, ASTERRA 2021, Magi 2020) Lisäksi on hyvä huomioda, että vuoto saattaa sijaita esimerkiksi tonttijohdoissa, kiinteistöjen välisissä johdoissa tai muissa yksityisissä johdoissa, joista ei välttämättä verkkotietojärjestelmässä ole tietoa.

Menetelmä voi tulkita vuotokohteiksi muitakin kohteita, kuin vain vuotokohtia verkostossa. Esimerkiksi erilaiset uima-altaat tai muut vesijohtovettä sisältävät ulkoiset rakenteet tulkitaan helposti vuodoiksi. Myös esimerkiksi linjasta ulostuleva vesi jatkuvalla juoksuksella olevasta huuhteluhaarasta tulkitaan vuotokohteeksi sekä maaperään

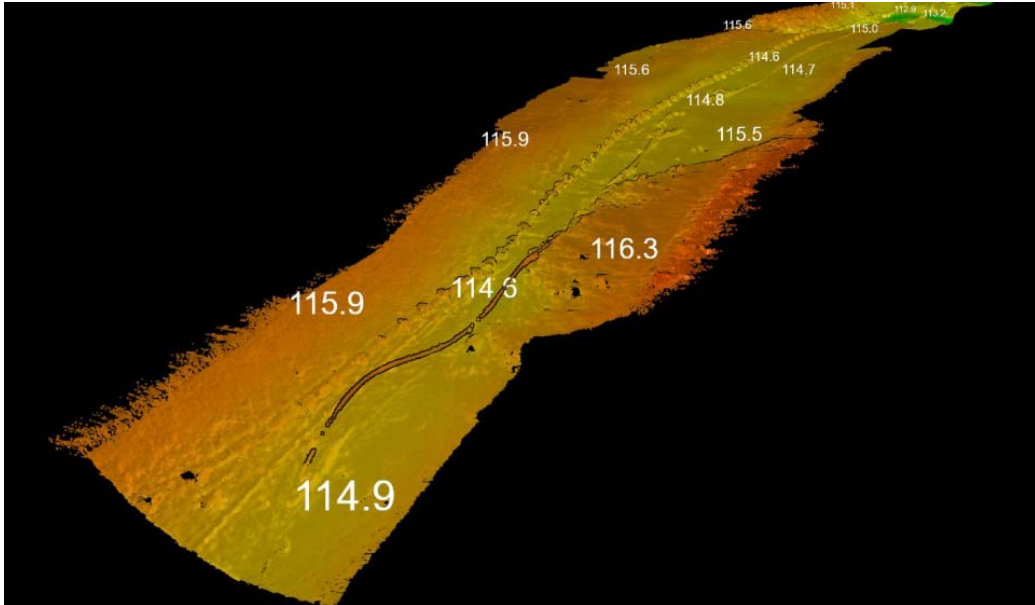
muuta kautta kuin vuodon seurauksena johtunut vesijohtovesi. Mikäli satelliittikuvan ottamisen hetkellä vuotokohdan päällä on esimerkiksi ajoneuvo, voi vuoto jäädä siitä kohtaa havaitsematta. (Ojala 10.3.2022)

5.4.10 Kaikuluotaus

Kaikuluotaus perustuu tekniikkaan, jossa kaikuluotain lähettää monikeilaluotaintekniikalla ääntä, joka heijastuu kohteesta takaisin ja jonka perusteella muodostuu 3D-pisteilviaineisto tutkittavasta kohteesta. Vesihuollossa menetelmä soveltuu vedenalaisten linjojen tutkimiseen. Tutkimusta varten tarvittava vedensyvyys on vähintään 1,5 m ja kaikuluotaus soveltuu jopa 100 m syvyyteen. Kaikuluotauksen avulla voidaan selvittää vuotokohtia, muodonmuutoksia ja linjan sijaintia ja mahdollisia siirtymiä. Putken alapuoliset vuodot näkyvät kaikuluotauksessa kuoppana vedenpohjassa (kuva 17), putken laella sijaitsevat vuodot häiriönä aineistossa. Lisäksi kaikuluotauksen avulla voidaan havaita linjan alla olevia esineitä tai tyhjää tilaa ja selvittää, onko linjalla rikkoutuneita tai epätasaisesti asettuneita painoja (kuva 18). Kaikuluotaus soveltuu kaikille materiaaleille. Muovin kaiku on kuitenkin heikompi kuin metallin ja pienihalkaisijaiset putket ovat menetelmälle haaste.



Kuva 17. Merkittävä vuoto putkessa, maa-aines liikkunut vuotokohdan ympäriltä. (Kuva: VRT Finland / Sitowise)

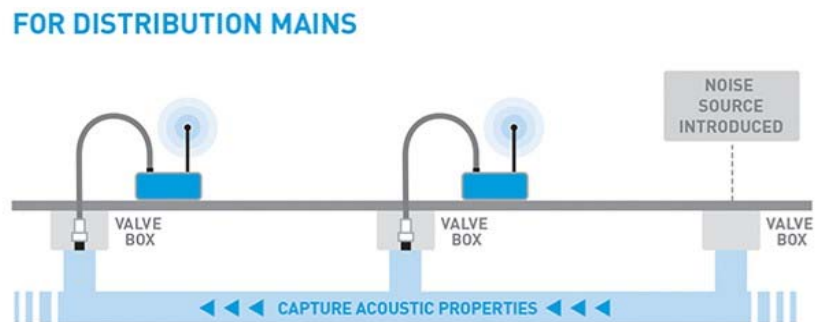


Kuva 18. Putkilinjan painot puuttuvat, jonka johdosta putkilinja noussut pohjatasosta (Kuva: VRT Finland / Sitowise).

Verkostoa voidaan kaikuluotauksella tutkia jopa 5–10 km päivässä. Varsinainen tutkimusaineisto on 3D-pistepilvi, jonka lisäksi tuloksia on mahdollista tarkastella paikkatietomuodossa. Lisäksi kaikuluotauksesta saadaan kirjallinen raportti, jossa havainnot on luokiteltu neljään kategoriaan – ”huomio”, ”lievä havainto”, ”merkittävä havainto” tai ”vakava havainto”. (Mäkeläinen 30.6.2021)

5.4.11 Seinämäpaksuuden akustinen mittaus

Putken jäljellä olevaa seinämäpaksuutta voidaan tutkia akustisesti mittaamalla ääniaallon etenemistä putkimateriaalissa. Ääniaallon etenemisen analysointiin perustuva ePulse on Echologsin kehittämä menetelmä, jossa ääniaalto luodaan koputtamalla kevyesti venttiilin karaa tai suoraan putken pintaan. Tutkittavalle linjaosuudelle asennetaan tutkimusten ajaksi akustiset sensorit, jotka mittaavat ääniaallon kulkeman matkan sensoreiden välillä (kuva 19). Akustiset sensorit voidaan kiinnittää joko suoraan putken pintaan tai venttiilin karaan tai palopostiin. Sensoreita tulisi asentaa noin 100–200 metrin välein, mistä johtuen menetelmä vaatii aukikaivuun, jos venttiileitä tai muita valmiita kiinnityspaikkoja ei ole riittävän tiheästi mittaussensoreita varten.



Kuva 19. ePulse-menetelmän toimintaperiaate. (Kuva: Echologics LLC)

Tulosten analysoimista varten tulee olla tiedossa putkimateriaalin kimmokerroin. Tutkimuksissa saatavaa jäljellä olevaa seinämäpaksuutta verrataan tiedossa olevaan alkuperäiseen seinämäpaksuuteen ja saadaan tieto siitä, kuinka paljon seinämä on ohentunut alkuperäisestä seinämäpaksuudesta. Lisäksi saadaan tieto vuodoista ja niiden sijainnista.

Menetelmä soveltuu metalli- ja asbestisementtiputkille halkaisijasta riippumatta. Tutkimusten toteutuksella ei ole vaikutusta vedenjakeluun, mutta akustisten sensoreiden riittävän tiheä kiinnitysetäisyys on hyvä huomioida jo tutkimusten suunnitteluvaiheessa. Valmiita sensoreiden kiinnityspaikkoja, kuten venttiileitä ei välttämättä ole riittävän tiheästi esimerkiksi päävesijohdoissa, jolloin menetelmän käyttö edellyttää kaivantaja, joiden kautta sensorit kiinnitetään putken ulkopintaan. (Echologics LLC 2021)

5.4.12 Veden laatuparametrien ja virtausominaisuuksien mittaaminen

Metallisten putkien kuntoa voidaan tutkia mittaamalla veden eri laatuparametrejä, kuten pH, sähkönjohtavuus, lämpötila, sameus ja ORP (Oxidation Reduction Potential) sekä veden virtausomaisuuksia, kuten virtaamaa ja painetta. Patentoidulle AquaTrioscope-menetelmälle kehitetty mittalaitte toimii palopostiin, palovesiasemaan tai huuhtelupostiin kiinnitettynä. Mittauksien suorittaminen ei vaikuta vedenjakeluun. Mittalaitteen kautta lasketaan vettä ulos verkostosta, jolloin saadaan selville tutkitun linjaosuuden virtausominaisuudet ja saadusta vesinäytteestä mitataan laatuparametrit. Mittaukset aloitetaan vesitornilta tai vesilaitokselta tulevasta linjasta, josta otettu laatumittaus toimii tutkimusten lähtötietona. Tutkittavaksi valitulla alueella mittaukset suoritetaan jokaisella pisteellä samalla tavalla, jolloin mittaustuloksia voidaan vertailla keskenään sekä lähtötietona toimivaan näytteeseen.

Kuvassa 20 on esimerkki mittalaitteesta, jonka läpi juoksetetaan vettä veden laatututkimuksen yhteydessä.



Kuva 20. AquaTrioscope-menetelmän mittalaitte. (Kuva: Aquapriori Oy)

Mitattujen laatuparametrien sekä virtaaman ja paineen perusteella tutkimuksista saadaan putkilinjalle (palopostiväli) kuntoluokka välillä 0–4. Tutkimuksista saatavien kuntoluokkien avulla voidaan arvioida putkien saneeraustarvetta. Tutkimuksia varten on hyvä tietää verkoston virtaussuunnat, mutta se ei ole kuitenkaan toteutuksen kannalta välttämätöntä, sillä virtaussuunnat voidaan päätellä myös tutkimuksista. Ennen tutkimusten suorittamista tulee siihen käytettävien palopostien/palovesiasemien/huuhTELUpOstien toimivuus käydä varmistamassa. (Aquapriori Oy 2021)

5.4.13 Koostetaulukko vesijohtojen ulkoisista kuntotutkimusmenetelmistä

Taulukko 2 sisältää koosteen ulkoisten kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuudesta, tutkimuksen toteutuksesta ja tutkimuksella saatavista tiedoista. Taulukossa 2 jakelujohdot viittaavat niihin verkoston osiin, jotka ovat kaupunkimaisella alueella ja joissa on paljon haaroja.

Taulukko 2. Vesijohtojen ulkoisten kuntotutkimusmenetelmien ominaisuudet.

Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjakeluun	Tutkimuksista saatava tieto	Soveltuvuus	
Ulkoiset tutkimusmenetelmät	Kuuntelupistin Maamikrofoni Korrelaattori (+ hydrofoni) Loggerit	Kaikki putkikoot, luotettavin tulos pienemmillä (alle 300 mm) putkilla	Kaikki materiaalit. Paras tulos metallisilla putkilla	Palopostien ja/tai venttiilien riittävä määrä	Ei vaikutusta	Vuodot, tarkkuus vaihtelee menetelmäkohtaisesti	Lähinnä jakelujohdot
	Maaperätutka	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Harjaantunut käyttäjä, joka osaa tulkitä menetelmästä saatavaa tietoa. Linjan sijainti tunnettava	Ei vaikutusta	Vuodot	Kaikki
	Lämpökamerakuvaus	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Riittävä lämpötilaero maaperän ja vesijohtoveden välillä. Vuodon oltava riittävän suuri ja oltava maanpinnalla erottuakseen.	Ei vaikutusta	Vuodot	Kaikki
	Satelliittitutkimus (AS-TERRA)	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Vuotokohtat paikannettava tarkemmin maastossa muilla, täydentävillä menetelmillä. Menetelmän soveltuvuus arvioitava tapauskohtaisesti verkoston ominaisuuksien pohjalta	Ei vaikutusta	Vuotohavainnot 100 metrin säteen tarkkuudella	Kaikki

	Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjake-luun	Tutkimuksista saatava tieto	Soveltuvuus
Ulkoiset tutkimusmenetelmät	Kaikuluotaus (VRT/Sitewise)	Kaikki putkikoot, hyvin pienihalkaisijaiset putket saattavat löytyä huonosti	Kaikki materiaalit, metalli antaa voimakkaamman vasteen kuin muovi	Vähintään 1,5 metrin syvyys, maksimissaan voidaan tutkia 100 metrin syvyyteen	Ei vaikutusta	Vuodot, muodonmuutokset, linjan sijainti ja siirtymät, painojen rikkoutuminen ja epätasainen asettuminen, esineet ja tyhjä tila putken alla	Vedenalaiset putkilinjat
	Ultraäänimittaus	Kaikki putkikoot	Metalli	Vaatii aukikaisuun, mittaukset suoritetaan putken ulkopinnalta	Ei vaikutusta	Putken seinämävahvuus	Kaikki
	Veden laatu-parametrien mittaaminen (AquaTrioscope)	Kaikki putkikoot	Metalli	Riittävät palopositivälit. Virtaus suunnan tuntemisesta etua, mutta tämä voidaan päätellä myös tutkimuksissa	Ei vaikutusta	Kuntoluokat putkilinjakohtaisesti	Päävesijohdot, jakelujohdot
	Droonit	Kaikki putkikoot	Kaikki putkimateriaalit	Drooniin yhdistetty lämpökamerakuvaus: putkilinjan sijainti tunnettava	Ei vaikutusta	Vuodot, visuaalinen kuntoarvio tunneleista	Lämpökamerakuvaus: kaikki putket Droonikuvaus: tunnelit
	Seinämäpaksuuden akustinen mittaaminen (ePulse)	Jakelujohdot 100–300 mm Päävesijohdot 400 mm ylöspäin, jopa yli 2000 mm	Metalli ja asbesti	Akustiset sensorit riittävän etäisyyden välein (100–200 m) kosketuksessa suoraan putken pintaan, venttiiliin karaan tai palopostiin. Putkimateriaalin kimmokerroin tiedettävä	Ei vaikutusta	Putken seinämävahvuus (verrataan alkuperäiseen seinämävahvuuteen ja saadaan tieto, kuinka monta prosenttia seinämä on ohentunut alkuperäisestä), vuodot	Päävesijohdot, jakelujohdot

5.5 SISÄISET KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

5.5.1 Menetelmätyypit

Putken sisäisiin tutkimusmenetelmiin luetaan menetelmät, joissa putken sisään työnnetään tai syötetään tutkimusinstrumentti tai tutkimuksessa käytettävää ainetta kuten merkkikaasua. Sisäisiä tutkimusmenetelmiä ovat vapaasti putkessa virtauksen avulla liikkuvat, robotti- tai kauko-ohjaustekniikalla toimivat sekä kaapelilla työnnettävät, ohjailtavat ja hallittavat instrumentit sekä merkkikaasu. Putkessa vapaasti virtauksen mukana etenevien tutkimusmenetelmien etuna on varsin pitkienkin putkiosuuksien tutkiminen kerralla, jolloin niiden soveltuvuus on hyvä esimerkiksi siirtolinjoille. Vaijerilla tai kaapelilla ohjailtavien tekniikoiden etuna on tutkimuselementin jatkuva hallitseminen tutkimisen aikana, mutta kaapelien pituus rajoittaa kerralla tutkittavan osuuden pituutta. Tällaisten tekniikoiden soveltuvuus on hyvä esimerkiksi kaupunkiympäristössä, jossa verkostossa on paljon haaroja.

Putken sisäpuolisilla tutkimuksilla selville saatavat asiat riippuvat tutkimusmenetelmästä. Selvitettäviä tekijöitä voivat olla tieto putken sisä- ja ulkopuolisesta korroosiosta, seinämäpaksuudesta, vuotokohtien ja ilmataskujen sijainti, vuodon suuruus tai visuaalinen arvio kunnosta.

5.5.2 Hygienia

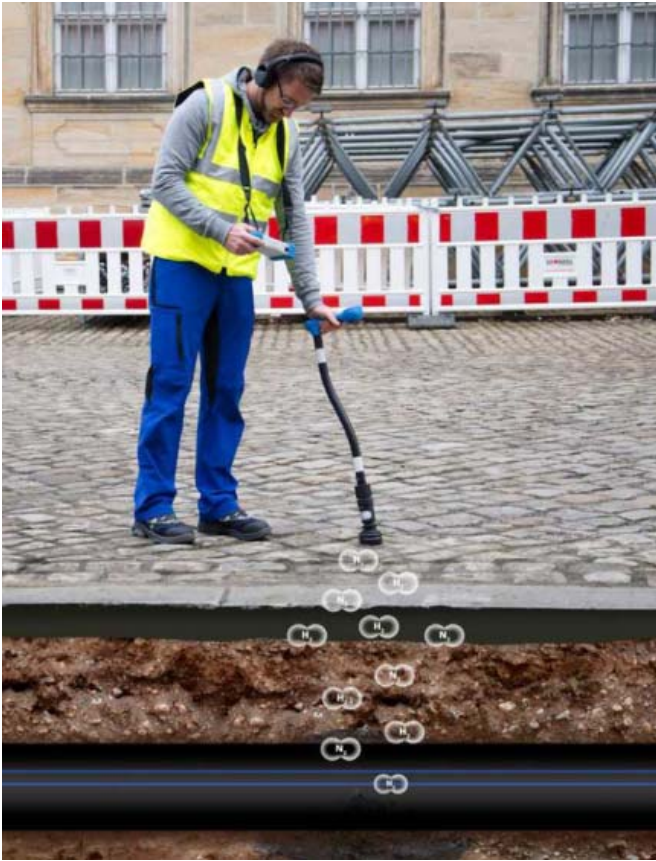
Vesijohtojen sisäpuolelta tehtävissä kuntotutkimuksissa täytyy huomioida seuraavat hygieniaan liittyvät asiat:

- Työvaatteiden, kenkien ja henkilökohtaisen suojarustuksen puhtaus. Vesijohtoverkoston liittyvissä työtehtävissä käytetään eri työvaatteita ja suojarusteita kuin jäteveden liittyvissä työtehtävissä (esimerkiksi jätevedenpuhdistamo, jätevesipumppaamot, jätevesiverkoston asennus- ja huoltotyöt).
- Työvälineet puhdistetaan ennen ja jälkeen asennustyön desinfiointineusteella, esimerkiksi riittävän väkevällä natriumhypokloriitti-liuoksella. Liitososat puhdistetaan ennen asennustyötä.
- Tutkittavan vesijohdon johto-osan desinfiointi, juokutus ja vesinäytteenotto kuntotutkimuksen jälkeen. Vesihuoltolaitos määrittää, milloin nämä ovat tarpeen.
- Vesijohtoverkoston parissa työskentelevältä henkilöltä vaaditaan voimassa oleva Vesityö-kortti.

5.5.3 Merkkikaasu

Vuotoja voidaan paikantaa merkkikaasun avulla eritoten ei-metallisista putkista sekä tonttijohdoista. Vuodonpaikantamiseen käytetään tyyppillisesti vetykaasuseosta, sillä vedyn kyky tunkeutua hyvin ja nopeasti eri materiaalien ja jopa roudan läpi tekee siitä ominaisuuksiltaan hyvän vuodonpaikannukseen.

Kaasutekniikan käyttö edellyttää tutkittavan linjan sulkemista ja tyhjentämistä ennen tutkimuksia. Tutkittavaan linjaan syötetään vetykaasuseosta esimerkiksi palopostin kautta, jolloin linjaan jäänyt vesi työntyy kaasun avulla vuotokohdasta ulos. Kun ylimääräinen vesi on tullut ulos, kaasu purkautuu vuotokohdasta maapinnalle, josta se havaitaan kaasuntunnistimella (kuva 21).



Kuva 21. Kaasuanturin käyttö vuodonpaikannuksessa. (Kuva: Perel Oy)

Vuodonpaikannusmenetelmänä kaasua pidetään melko työläänä, sillä se vaatii tutkittavan linjan tyhjentämisen ja poistamisen käytöstä tutkimuksen ajaksi. Erityisen tarkka tulee myös olla siitä, ettei kaasu pääse leviämään tutkittavalta osuudelta muualle verkostoon. Menetelmänä kaasua käytetäänkin vuodonpaikannukseen nykyisin suhteellisen harvoin, yleensä vain silloin, kun vuotoa ei ole onnistuttu paikantamaan muilla menetelmillä. (Westerholm 2012; Sykli ja Eco-One 2012)

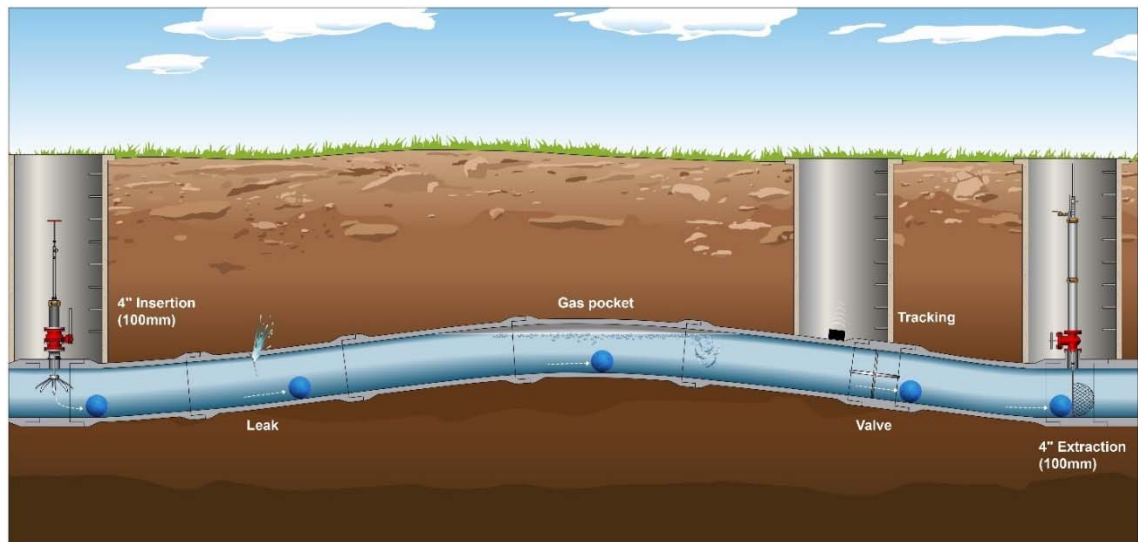
5.5.4 Vapaasti uivat työkalut

Erityisesti pidemmille siirtolinjoille ja päävesijohtojen suorille osuuksille soveltuvia menetelmiä vuodonpaikannukseen ovat putkessa vapaasti virtauksen mukana liikkuvat työkalut. Vapaasti uiva työkalu soveltuu kohteisiin, joissa ei ole juurikaan haaroja tai haarat voidaan sulkea tutkimusten ajaksi. Virtauksen mukana uivalla työkalulla voidaan tutkia kerralla useita kilometrejä ilman, että tutkimuksilla on merkittävää vaikutusta vedenjakeluun.

Vapaasti uiva työkalu syötetään tutkittavaan linjaan esimerkiksi palopostin tai muun, mahdollisesti erikseen asennettavan yhteen kautta, riippuen verkoston laitteiden rakenteesta ja tutkimuslaitteen koosta. Työkalu kulkee linjassa virtauksen mukana, jolloin virtaussuunta tulee tietää tutkittavalta osuudelta ja virtausnopeuden on oltava riittävä. Työkalun kulkua seurataan sensorein, joita tulee asentaa riittävin etäisyyksin esimerkiksi venttiileihin tai paloposteihin. Tutkitun linjaosuuden pituus riippuu työkalun toiminta-ajasta (akun/paristojen kesto) ja virtausnopeudesta. Usein tutkimuksissa saadaan selville vuodot sekä ilmataskut ja linjan sijaintitiedot karkealla tarkkuudella.

SmartBall on vapaasti putkessa uiva työkalu, jossa oleva akustinen anturi havaitsee ilmataskut sekä hyvinkin pienet vuodot jopa 2 metrin tarkkuudella. Lisäksi tutkimuksesta saadaan linjan sijaintitiedot. Työkalua varten sisään- ja ulosottoaukkojen minimihalkaisija on 100 mm, jolloin tutkimukset voi olla mahdollista suorittaa hyödyntäen palopostejä. Menetelmä soveltuu kaikille putkimateriaaleille, metallisilla putkilla halkaisijasta 250 mm ja muovisilla putkilla halkaisijasta 150 mm ylöspäin. Smartball on halkaisijaltaan 66 mm ja sen ympärille laitetaan tutkimusten ajaksi vaahtomuovi, joka vaimentaa iskuja ja edesauttaa työkalun liikkumista putkessa virtauksen mukana. Tutkittavassa linjassa virtausnopeuden tulisi olla noin 0,5 m/s. Kaikki halkaisijaltaan vähintään 100 mm haarat tulee sulkea tutkimuksen ajaksi, jotta työkalu ei pääse karkaamaan muualle verkostoon. Työkalun etenemistä seurataan sensoreilla/antureilla, joita tulee asentaa maksimissaan 1 kilometrin välein tutkittavalle linjalle. Työkalun toiminta-aika voi olla kerralla jopa 20 tuntia, jolloin yhdellä kerralla on mahdollista tutkia useita kilometrejä verkostoa. (Rantala ja Ramberg 8.11.2021)

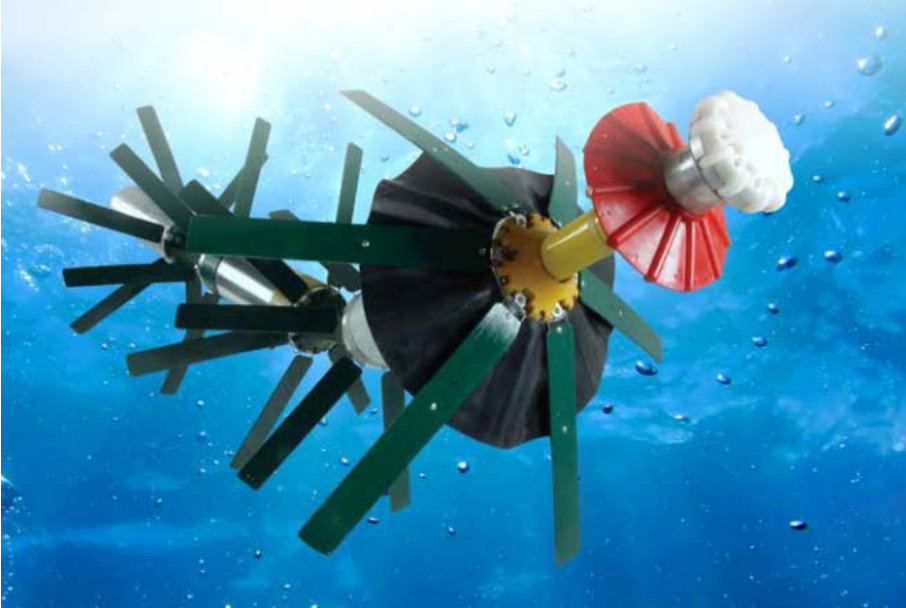
Kuva 22 havainnollistaa SmartBall-työkalun tutkimusten suorittamisen ja toimintaperiaatteen.



Kuva 22. SmartBall-työkalun toimintaperiaate. (Kuva: Xylem Water Solutions)

Kuvassa 22 näkyy vasemmalla työkalun syöttäminen linjaan ja oikealla kohta, josta työkalu poistetaan linjasta haavin avulla.

PipeDiver (kuva 23) on sähkömagneettiseen tutkimukseen perustuva halkaisijaltaan 400 mm ja sitä suuremmille metalliputkille soveltuva vapaasti putkessa virtauksen mukana uiva työkalu. Menetelmällä havaitaan vuodot ja ilmataskut sekä korrosio ja putken seinämän ohentuminen. Työkaluun on mahdollista yhdistää myös kameratekniikka, jolloin putken sisäpuolelta voidaan tehdä myös visuaalinen arvio putken kunnosta. Työkalu syötetään käytössä olevaan linjaan, eikä tutkimusten suorittaminen vaikuta vedenjakeluun. (Rantala ja Ramberg 8.11.2021)

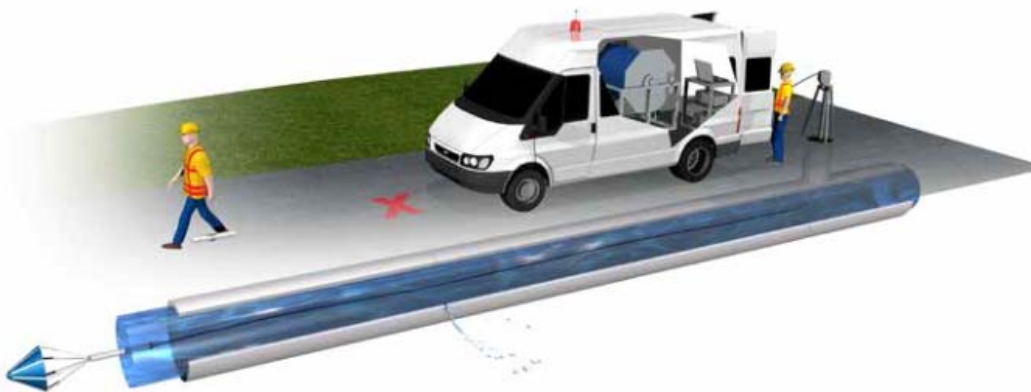


Kuva 23. PipeDiver-työkalu. (Kuva: Xylem Water Solutions)

5.5.5 Vesijohtokamera

Putken sisäpuolista kuntoa voidaan tutkia visuaalisesti vesijohtokameralla. Markkinoilla oleviin vesijohtokameroihin on usein yhdistettynä myös hydrofoniteknikkaa, jolloin myös vuotoäänien kuunteleminen kuvauksen yhteydessä on mahdollista. Lisäksi tutkimuksessa voidaan havaita ilmataskut, venttiilien virheelliset asennot ja liitokset. Tutkimuslaitteesta riippuen on mahdollista saada myös linjan sijaintitiedot, esim. Sahara-työkalun kartoitustarkkuus on alle 1 m. Sen sijaan esimerkiksi rakenteen heikkenemisen aste on huonosti arvioitavissa kuvauksen perusteella. Kameraa saa tutkittavaan linjaan sisään usein palopostin kautta. Kameraa työnnetään paineelliseen linjaan kaapelin avulla. Kameraa hallitaan ja liikutellaan kaapelin avulla ja tutkimuksen edistymistä voi seurata reaaliaikaisesti. Pienempää vesijohtokameraa työnnetään tutkittavassa linjassa kaapelin avulla eteenpäin ja isoimmista vesijohtokameroissa on usein kiinni myös ns. laskuvarjo, joka hyödyntää virtausta kameran etenemiseen putkessa. Riittävä virtausnopeus laskuvarjon toimivuuden kannalta on noin 0,3 m/s. (Rantala ja Ramberg 8.11.2021)

Kuvassa 24 on havainnollistettuna Sahara-työkalun avulla suoritettu tutkimus.



Kuva 24. Sahara-työkalun käyttö ja toimintaperiaate. (Kuva: Xylem Water Solutions)

Pienemmille vesijohtokameroille tyypillisesti soveltuva putkikoko on maksimissaan 150 mm (kuva 25) ja isommille vesijohtokameroille tätä suurempi, alkaen 200–300 mm kamerasta riippuen ja putkimateriaalista riippuen. Esimerkiksi Sahara-työkalulla voidaan tutkia muoviputkia 200 mm:n halkaisijasta ylöspäin ja metalliputkia 250 mm:n halkaisijasta ylöspäin. Yhteen suuntaan tutkittavan linjan kuvauspituus vaihtelee, pienemmillä vesijohtokameroilla kaapelipituus on kymmenistä metreistä sataan metriin ja isoimmilla vesijohtokameroilla jopa yli tuhat metriä.

Vesijohtokameran etuna on, ettei sen käyttö edellytä keskeytystä vedenjakeluun ja sen avulla voidaan parhaimmillaan tutkia satoja metrejä linjaa kerralla yhdestä sisäänlaittopisteestä. Menetelmä sopii parhaiten jakelujohdoille, koska suurihalkaisijaisissa putkissa kuvatarkeus kärsii. Putkimateriaalilla ei kuitenkaan ole merkitystä ja soveltuvuus on hyvä kaikilla materiaaleilla. Vesijohtokameralla voidaan kuvata myös uusia linjoja ennen linjan käyttöönottoa ja painekoetta. Mikäli liitostöissä on tapahtunut asennusvirheitä, ne havaitaan jo ennen painekokeita.

Vanhojen palopostien rakenne ei aina mahdollista vesijohtokameran asettamista putkeen, jos venttiili on asennettu siten, että kulma on syöttämiseen liian ahdas. Vesijohtokameran liikuttamiseen käytettävän kaapelin pituus yhdessä palopostien etäisyyden kanssa rajaa menetelmän käyttöä. Jos palopostit ovat kaukana toisistaan, kaapeli ei välttämättä riitä koko linjan tutkimiseen. Kaapeli on sitä lyhyempi, mitä pienempi kamera on kyseessä. Tutkimuksesta saatavan kuvamateriaalin laatu on sitä parempi, mitä pienempi putken halkaisija on. Kuvamateriaalin laatuun vaikuttaa putken seinämästä irtoavan kiintoaineksen määrä ja siitä seuraava veden sameus. Lisäksi kameras käyttö vaatii esimerkiksi kykyä tunnistaa erilaiset muutokset putkimateriaalissa. *(Kuikka ja Kuikka 13.10.2021; Rantala ja Ramberg 8.11.2021)*



Kuva 25. Pienempi vesijohtokamera. *(Kuva: Oy DigiSewer Productions Ltd)*

5.5.6 Yhdistetty akustinen ja sähkönjohtavuustutkimus

Putken sisällä vaijerilla liikuteltavaan tutkimusinstrumenttiin on mahdollista kytkeä erilaisia sensoreita paikantamaan vuotokohtia ja määrittämään vuodon virtaaman suuruutta (l/s). Tutkimuksessa on yhdistetty kamera, akustinen sensori ja alhaisella jännitteellä luodun sähkönjohtavuuden (low voltage conductivity) mittausta. Tutkimuksessa vaijerin päässä oleva elektrodi syötetään vesijohtoon esimerkiksi palopostin kautta. Vuotokohtien paikantaminen perustuu siihen, että veden vuotaessa ulos putkesta myös sähköä vuotaa ulos. Johtavuusmittaus soveltuu vuotojen paikantamiseen muista kuin metallisista putkista, muovin lisäksi myös esimerkiksi hartsipohjaisista sukutuksista. Normaalioloissa esimerkiksi muovi johtaa huonosti sähköä, mutta putken vuotaessa sähkönjohtavuus on sitä suurempi, mitä suurempi vuoto putkessa on. Vuotokohdat pystytään menetelmällä paikantamaan 1 cm tarkkuudella. Menetelmä sopii kaikenkokoisille putkille (76–1500 mm). (AWWA 2019; ElectroScan Inc. 2021)

5.5.7 Puhdistuselementtiin yhdistetty vuotoäänitutkimus

Vuotoja voidaan joissakin tapauksissa etsiä puhdistuselementin ja siihen yhdistetyn radiolähettimen avulla. Puhdistuselementti syötetään tutkittavaan linjaan esimerkiksi palopostin kautta ja elementin kulkua seurataan seuranlaitteella maanpinnalta. Tutkittava linja tulee sulkea sulkuventtiileillä, jolloin vesi pääsee poistumaan ainoastaan vuotokohdasta. Puhdistuselementin eteneminen putkessa perustuu vuotoveden aiheuttamaan virtaukseen ja elementti pysähtyy vuodon kohdalle. Puhdistuselementti vaatii edetäkseen noin 0,2 m/s virtausnopeuden, joka puolestaan edellyttää vuodon olevan riittävän suuri. (Westerholm 2012)

MFL (Magnetic Flux Leakage) tekniikalle kehitettyjen puhdistuselementtien avulla voidaan tutkia metallisten putkien kuntoa sisäpuolelta. Menetelmällä saadaan selville korroosio ja syöpymät. MFL-tekniikka perustuu ferromagneettisen materiaalin magnetisointiin magneetin avulla. Viat havaitaan tarkkailemalla muutoksia magneettivuossa. (Mäkikangas 2017)

5.5.8 Akustinen putken skannaus

Putken sisäpuolisella akustisella skannauksella voidaan tutkia suurihalkaisijaisia metalliputkia (kuva 26). Breivollin akustisella skannaustyökalulla PipeScannerilla saadaan selville putken sisä- ja ulkopuolinen korroosio, seinämäpaksuus, liitokset ja ruostepaakut. Työkalussa on myös kamera, jolloin tutkimuksista saadaan lisäksi visuaalinen kuva putken sisästä.

Akustinen skannaustyökalu syötetään erikseen asennettavan syöttölaitteiston avulla linjaan, joka ei ole käytössä, mutta sen tulee olla täynnä vettä. Tyypillisesti kerralla tutkitaan yhdestä syöttöpisteestä noin 200–800 metriä yhteen suuntaan. Tutkimukset suoritetaan yhdestä syöttöpisteestä molempiin suuntiin. Työkalu on kaapelin päässä ja työkalu kuvaa liikkuen putkessa eteenpäin ja kerää tietoa vedettäessä takaisin syöttöpisteeseen. PipeScanner soveltuu metallisille putkille, joiden halkaisija on 300–1 200 mm. Tutkimusten suorittamista ennen on tärkeää arvioida ruostepaakkujen ja laajemman tukkeutumisen mahdollisuus tutkittavassa linjassa, sillä ne voivat haitata tai estää työkalun etenemisen. (Breivoll Inspection Technologies 2021)



Kuva 26. Putken skannaustyökalun syöttäminen tutkittavaan linjaan. (Kuvat: Lahti Aqua)

5.5.9 Läpiajettava videokuvauus ja digitaalinen kuvaus

Läpiajettavilla videokuvauksilla ja digitaalisilla kuvauksilla on perinteisesti tutkittu viettoviemäreitä, mutta niillä voidaan tutkia myös vesijohtoja. Tällöin kuvauslaitteistoja tulee käyttää vain vesijohdoille sekä noudattaa vesilaitoksen vesijohtoja koskevia hygieniavaatimuksia. Uudisrakennus- ja saneerauskohteissa kuvaus tehdään ennen putken liittämistä muuhun verkostoon. Käytössä olevan putken kuvaaminen edellyttää sen kaivamista esille, tyhjentämistä ja tarvittaessa esipesua. Esipesu tulee myös suorittaa välineillä, joita ei ole käytetty viemäreissä vaan ainoastaan vesijohdoissa.

Läpiajettavia kuvauksia voidaan suorittaa kaikille putkimateriaaleille ja putkille, joiden halkaisija on yli 100 mm. Kuvauksella saadaan visuaalinen arvio putken sisäpuolisesta kunnosta. Kuvauksen yhteydessä on mahdollista suorittaa myös laserskannaus, joka tuottaa verkosta 3D-mallin. 3D-mallin avulla voidaan arvioida esimerkiksi putken seinämän muodonmuutoksia ja seinämävahvuutta.

Digitaalinen kuvaus tuottaa nopeammin ja tarkempaa kuvaa kuin läpiajettava kuvaus. Tulosten tulkitsemiseen tutkimuksen jälkeen voidaan tarpeen mukaan käyttää eri asiantuntijoita. Kuva saadaan koko putkiosuudelta ja tutkimus soveltuu kaikille putkimateriaaleille putken halkaisijan ollessa 150–800 mm. Digitaalista kuvausta voidaan soveltaa esimerkiksi rakentamisen aikaiseen laadunvarmistukseen. Kuvauksessa tuotetusta kuvamateriaalista voidaan esimerkiksi mitata suoraan muhviilitoksilla toteutettujen putkielementtien saumojen rako. (Lampola ja Kuikka 2018)

5.5.10 Robotit

Kauko-ohjattavalla, valokuitukaapelin päässä olevalla robotilla pystytään tutkimaan halkaisijaltaan 600 mm ja sitä suurempia putkia. Tutkittavan osuuden pituus voi olla yhdellä kertaa jopa 3 km. Esimerkiksi PureRoboticsiin (kuva 27) on lisättävissä erityyppisiä antureita ja muita työkaluja/analysointilaitteita asiakkaan tarpeiden mukaan, jolloin tutkimuksista on mahdollista saada hyvinkin monipuolista tietoa putken kunnosta. Robotissa on teräväpiirtokamera, jolla saa visuaalisen kuvan putken sisältä sekä putkiston profilointikaikuluotain mittaa putken halkaisijaa, muotoa ja korroosiota. Lisäksi robotissa on laser-profilointi ja elektromagneettiset anturit. PureRobotics toimii paineettomassa putkessa, jolloin tutkimuksia ei voi suorittaa putken ollessa käytössä. (Rantala ja Ramberg 8.11.2021)



Kuva 27. PureRobotics. (Kuva: Xylem Water Solutions)

5.5.11 Näytepalat

Näytepalat esitetään tässä oppaassa osana sisäisiä kuntotutkimusmenetelmiä, koska ne edellyttävät putken rakenteen rikkomista ja vaikuttavat siten merkittävästi linjan käyttöön tutkimuksen aikana. Metalliputkien, esimerkiksi valurautaputkien, kuntoa voidaan selvittää näytepaloista tehtävien laboriotutkimusten avulla. Laboratoriokokeissa tutkitaan esimerkiksi suojapinnoitteiden eheyttä, putken seinämäpaksuutta, mahdollisia syöpymiä ja kulumajälkiä sekä mikrorakennetta ja kovuusarvoja. Valurautaputkien vaurioitumismekanismit ja ikääntyminen tunnetaan kohtuullisen hyvin, mikä mahdollistaa niiden jäljellä olevan käyttöiän ennustamisen. Myös muoviputkien kuntoa voidaan tutkia näytepaloista. Tällöin esimerkiksi seinämäpaksuus-, lujuus- ja kovuusmittaukset, pintatutkimukset sekä terminen analyysi antavat viitteitä putken kunnosta. Muovin vaurioitumismekanismit eivät kuitenkaan ole aivan yhtä hyvin tunnettuja kuin valuraudan, joten muoviputkien osalta jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen ei ole aivan yhtä suoraviivaista.

Putkista otettavan näytepalan tulisi olla noin 0,5 m pitkä, jotta se on hyödynnettävissä kattavasti laboriotutkimuksissa. Näytepala kertoo putken rakenteellisesta kunnosta näytteenottokohdassa. Se ei siten koskaan anna varmuutta koko linjan kunnosta eikä sen avulla voida päätellä esimerkiksi asennusvirheiden olemassaoloa muualla kuin näytteenottokohdassa. Näytepalojen avulla on kuitenkin mahdollista arvioida verkoston

ja sen eri putkiryhmien kuntojakaumaa, jos näytepaloja on riittävästi ja otos on edustava.

Joillakin vesihuoltolaitoksilla on käytäntönä, että vuotokorjausten ja liitostöiden yhteydessä putkesta otetaan näytepala, joka lähetetään laboratoriotutkimuksiin. Tällä tavalla kartutetaan tietoa erilaisten putkien kunnosta verkostossa sen elinkaaren eri vaiheissa. Näytepalojen ottaminen on järkevää silloin, kun linja on muutenkin poissa käytöstä tai juuri poistettu käytöstä. Käytöstä poistettavienkin putkien kunnan selvittäminen kannattaa, sillä se antaa tietoa samanikäisten putkien kunnosta muualla verkostossa ja mahdollistaa käyttöiän matemaattisen ennustamisen. (Huttunen-Saarivirta ja Pohjanne 14.8.2021)

Suomessa putkinäytteitä tutkivat ainakin VTT, Dekra Oy, Eurofins, Kiwa inspecta, Muovipoli Oy ja Vahanen Rakennusfysiikka Oy. (Piirainen 2019)

5.5.12 Koostetaulukko vesijohtojen sisäisistä kuntotutkimusmenetelmistä

Taulukko 3 sisältää koosteen sisäisten kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuudesta, tutkimuksen toteutuksesta ja tutkimuksella saatavista tiedoista. Taulukossa 3 jakelujohdot viittaavat niihin verkoston osiin, jotka ovat kaupunkimaisella alueella ja joissa on paljon haaroja.

Taulukko 3. Vesijohtojen sisäisten kuntotutkimusmenetelmien ominaisuudet.

Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjakeluun	Tutkimuksista saatava tieto	Soveltuvuus	
Sisäiset tutkimusmenetelmät	Merkkikaasu	Kaikki putkikoot	Ei-metallisille putkille erityisesti	Linjan sulkeminen, tutkittavan osuuden molemmissa päissä oltava palopostit	Linjan sulkeminen	Vuodot	Verkoston kohtiin, joissa tutkittava osuus on mahdollista sulkea ja tyhjentää, tonttiliittymät
	Vesijohtokamera hydrofonilla	≤ 150 Pienemmät kamerat ≥ 200–300 Isommat kamerat	Kaikki materiaalit	Sisäänlaittoaukko esimerkiksi paloposti, varmistettava rakenne: kamera mahtuu kulumista putken sisään	Ei vaikutusta	Vuodot, visuaalinen kuntoarvio putken sisäpuolelta	Jakelujohdot, päävesijohdot
	Puhdistuselementti (radio-lähetin, MFL)	Vaihtelee elementin koon mukaan	Kaikki materiaalit, MFL-tekniikka metallille	Linja tulee sulkea sulkuventtiilein, vuodon oltava riittävän suuri, jotta puhdistuselementti etenee linjassa	Linjan sulkeminen	Vuodot, MFL-tekniikalla korrosio, syöpyvät	Jakelujohdot, päävesijohdot
	Akustinen putken skannaus (PipeScanner)	300–1200	Metalli	Putki ei ole käytössä tutkimuksen aikana, mutta sen tulee olla täynnä vettä. Erikseen asennettava syöttölaitteisto, vaatii putken katkaisemisen	Linjan sulkeminen	Sisä- ja ulkopuolinen korrosio, seinämäpaksuus, ruostepaakut, videokuvaa putken sisältä	Jakelujohdot, päävesijohdot

	Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjalkeluun	Tutkimuksista saatava tieto	Soveltuvuus
Sisäiset tutkimusmenetelmät	Läpiajettava videokuvaus, digitaalinen kuvaus	Läpiajettava videokuvaus: yli 100 mm, digitaalinen kuvaus: 150–800 mm	Kaikki materiaalit	Käytössä olevan putken kuvaaminen edellyttää sen kaivamista esille, tyhjentämistä ja tarvittaessa esipehua	Linjan sulkeminen	Visuaalinen kuntoarvio putken sisäpuolelta. Digitaalisen kuvauksen materiaalista mahdollista mitata muhviitoksilla tehtyjen putkielementtien rakojen koko	Verkoston kohtiin, joissa tutkittava osuus on mahdollista sulkea ja tyhjentää, rakentamisen aikainen laadunvarmistus
	Robotit (esim. PureRobotics)	≥ 600 mm, pienempien halkaisijoiden (min. 450 mm) kohdalla tarkasteltava ta-pauskohtaisesti	Kaikki materiaalit	Putken oltava paineistamaton tutkimusten aikana	Linjan sulkeminen	Visuaalinen kuva putken sisäpuolelta, korrosio, muoto	Päävesijohdot, siirtolinjat
	Vapaasti putkessa liikkuva tutkimuslaite (PipeDiver)	≥ 400 mm	Metalli	Syöttö- ja ulosottoyhteyden asentamisen yhteydessä vaatii linjan sulke-misen	Ei vaikutusta	Vuodot, ilma-taskut, korrosio, seinämän ohentuminen, voidaan varus-taa myös kameranalla	Päävesijohdot, siirtolinjat
	Vapaasti putkessa liikkuva tutkimuslaite (SmartBall)	≥ 150 muoviputket ≥ 200 muut	Kaikki materiaalit	Seurantasensoreiden riittävä asennus-ettäisyys (maks. 1 km väli), ≥100 mm haarojen sulke-minen, sisään - ja ulosottoaukkojen mahdollinen asennus (saattaa vaatia linjan sulke-misen), riittävä virtausnopeus	Ei vaikutusta	Vuodot, ilma-taskut, linjan sijaintitiedot karkella tarkkuudella	Päävesijohdot, siirtolinjat
	Yhdistetty akustinen ja sähkönjohtavuustutkimus	Kaikki putkikoot	Ei-metallisille putkille	Sisäänlaittoaukko esimerkiksi palo-posti	Ei vaikutusta	Vuodot, vuodon virtaaman suuruus	Kaikki
	Näytepala	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Putken tulee olla pois käytöstä näytepalan ottamisen aikana, järkevä toteuttaa saneerauk-sien tai vuotokorjauksien yhteydessä	Linjan sulkeminen	Esimerkiksi putken seinämän-paksuus, suoja-pinnoitteen eheys, syöpy-mät, kulumajäl-jet, mikrorakenne, lujuus- ja kovuusarvot, terminen analyyysi	Kaikki

5.5.13 Muut

Toisinaan viemäreiden kuntotutkimuksissa havaitaan myös vesijohtojen vuotoja ja välillisesti viemäreiden kuntotutkimuksia käytetään näin myös vesijohtovuotojen paikannuksessa. Vesijohtovuoto voi ilmetä viemärikuvauksessa joko näkyvänä vesivirtana tai kameran mikrofoniin kuuluvana vuotoääninä, mikäli kamera on erikseen varusteltu myös kuuntelemaan vuotoääniä. Viemäreistä otettavien vesinäytteiden avulla voidaan etsiä merkkejä vesijohtovedestä ja tätä kautta havaita vuotava vesijohto.

Ennen uusien linjojen käyttöönottoa tulee suorittaa painekoe, jonka avulla selvitetään liitosten kestävyys ja linjan tiiveys. Painekokeen suorittamiseen tarvitaan painekoehyde ja -pumppu sekä painemittari. Painemittarin mitta-alue tulisi valita niin, että koe-paine on enintään 60 % mittarin näyttöalueesta. Näin varmistetaan mittarin näyttötarkuus ja kestävyys. (Keränen 28.3.2022)

5.6 VERKOSTON LAITTEIDEN KUNTOTUTKIMUKSET

Vesijohtoverkoston laitteiden, kuten venttiilien, palopostien, ilmaventtiilien, säätöventtiili- ja paineenkorotusasemien toiminnan varmistaminen ja kunnon selvittäminen on olennainen osa koko verkoston toimintavarmuuden ylläpitoa. Etenkin poikkeustilanteissa, kuten tulipalon tai putkirikon sattuessa, laitteiden toiminta on välttämätöntä. Verkoston laitteiden säännöllinen koekäyttö on hyvä sisällyttää jokaisen vesihuoltolaitoksen työohjelmaan.

Laittevalmistajien ja jälleenmyyjien suosituksen mukaan kaikkien verkostossa olevien toiminnallisten laitteiden tarkastus olisi hyvä suorittaa vuoden välein (Silventoinen 2.5.2022). Käytännössä tarkastusväli on kuitenkin lähes aina pidempi, jolloin laitteiden riittävä koekäyttö ja tarkastusväli on arvioitava laitteen kriittisyyden mukaan. Kriittisissä kohteissa, kuten maanalaisissa riskikohteissa ja kriittisissä päävesijohdoissa venttiilitarkastuksia olisi hyvä suorittaa 1–2 vuoden välein. (Yrjölä 7.4.2022)

Laittevalmistajien ja jälleenmyyjien suositus luistiventtiilien aktivointiin on vähintään kerran vuodessa, vaikka venttiilit on suunniteltu niin että huoltotarve on olematon. EN1074 normin mukaan luistin tulee kestää 250 operaatiota käsipyöräkäyttöisesti ja 2500 operaatiota moottorikäyttöisesti. Sammutusvesiaseman tapauksessa tarkastus tehdään virtaamamittarin avulla, jotta varmistetaan palopostin määritelty tuotto. Ilma- ja säätöventtiilien kohdalla huoltoväli riippuu paljolti veden laadusta; rautapitoisemmissa vesissä toimenpiteitä saatetaan tarvita enemmän. Suositus ilmaventtiileiden osalta on, että tarkastus tehdään kuitenkin vähintään kerran vuodessa. Säätöventtiileissä suositellaan pienhuoltoa kerran vuodessa ja suurempaa huoltoa vähintään viiden vuoden välein. Ulkomaisista normeista suositellaan yleisessä käytössä olevien palopostien huoltoväliksi kahta vuotta (ÖNORM B 2539) ja sammutusvesikäytössä olevien palopostien huoltoväliksi yhtä vuotta (ÖBFV-RL VB-01). (Silventoinen 2.5.2022)

Ennen verkoston laitteiden koekäyttöä tulee varmistaa kohteen sijainti ja luokse pääseminen. Venttiilien ja palopostien kilvistä tarkastetaan mittatietojen oikeellisuus. Tarkempi ohjeistus mittauksien suorittamiseen ja dokumentointiin on VVY:n julkaisussa Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi (Laakso ym. 2021). Seuraavaksi tarkastetaan kansiston kunto ja koekäytetään laite. Venttiilin boxivuoto, jossa venttiilin karanteiviste vuotaa, voidaan havaita näkyvänä vuotona tai kuuntelemalla karanjatkoa kuuntelupiikillä. Vuotoääni voi olla merkki venttiilin boxivuodosta, mutta myös vuodosta putkessa venttiilin lähellä. Jotta voidaan varmistaa, onko vuotohavainto venttiilissä vai putkessa, tulee käyttää lisäksi muuta menetelmää, kuten korrelointia. Venttiilin toiminta

tarkastetaan sulkemalla ja avaamalla venttiili karanjatkoa kiertämällä. Tarkastuksen jälkeen venttiiliin hatun ja kansiston väliin laitetaan muovinen tiiviste, joka estää hiekan ja muun roskan pääsyn karanjatkon ja suojaputken väliin. (Ojala 10.3.2022). Palopostin tarkastuksen jälkeen pystyputki tulee tyhjentää, jotta vältetään pystyputken jäätymiseltä talvella.

Ilmaventtiilit voidaan tarkastaa silmämääräisesti. Mikäli ilmaventtiilikaivossa on vettä, kaivoon kertyneen veden alkuperä tulee selvittää. Vesi voi olla esimerkiksi peräisin vuotavasta venttiilistä tai kaivon kannesta. Kaivon viemäröinti ja sen toimivuus on hyvä tarkastaa. On myös mahdollista, että ilmaventtiiliin sisään kertyy roskaa tai muuta sen toimintaan vaikuttavaa aineista. Ilmaventtiili on mahdollista avata ja poistaa kertyneet roskat.

Säätöventtiiliasemilla (paineenalennus- ja virtaamasäätöventtiilit) tarkastetaan painemittareiden lukemat. Venttiilien toiminta voidaan tarkastaa sulkemalla ja avaamalla venttiilit. Paineenkorotusasemilla pumppujen käyntiääntä kuuntelemalla sekä mahdollisten antureiden tarkastuksella voi havainnoida pumppujen toimintaa ja kuntoa. Ennen ja jälkeen paineenkorotusasemaa suoritettavia painemittauksia voidaan verrata tunnetuihin paineen raja-arvoihin. (Keränen 28.3.2022)

Kaikista verkoston laitteiden tarkastuksista tulee kirjata tehdyt työt sekä tehdyt havainnot kohteen tietoihin esimerkiksi verkkotietojärjestelmässä.

5.7 PAINEVIEMÄREIDEN TUTKIMUKSET

Paineviemäriin on käytettävissä jonkin verran samoja tutkimusmenetelmiä kuin vesijohtoihin, lisäksi viettoviemäreillä käytössä olevia tutkimusmenetelmiä voidaan myös soveltaa paineviemäreiden tutkimiseen. Paineviemäreiden tutkimisen haasteita on, että linjat ovat pitkiä eikä putkiin ole helppo päästä käsiksi, sillä venttiilejä tai possutusyhteyksiä on linjoissa tyypillisesti harvakseltaan. Lisäksi paineviemäreiden toiminta poikkeaa vesijohdoista – pumppaustavasta riippuen vesi joko etenee käynnistysten ja pysäytysten välissä ja on sen jälkeen paikoillaan tai virtaus on jatkuvaa, mutta virtaamat ja nopeudet vaihtelevat. Mikäli tutkittavan putkiosuuden on oltava pois käytöstä tutkimusten aikana, se voi tehdä tutkimusjärjestelyistä hyvin työläitä ja rajoittaa työskentelyaikaa.

Koska paineviemäreiden tutkimiseen voidaan käyttää samoja tutkimusmenetelmiä kuin vesijohtoihin on huomioitava, että paineviemäriin käytettyjä laitteita käytetään ainoastaan viemäreissä eikä niitä tule koskaan käyttää vesijohdoissa.

5.7.1 Ulkopuoliset kuntotutkimusmenetelmät

Paineviemäriin voidaan suorittaa kuuntelupiikillä akustista vuotoäänikuuntelua ja maanpäältä käsin vuotoäänikuunteluun voidaan käyttää maamikrofonia. Putken tarkempaan rakenteelliseen kunnon selvittämiseen voidaan käyttää ultraäänimittaria, joka vaatii putken esille kaivamisen. Vedenalaisia paineviemäriinjoja voidaan tutkia vesijohtojen tapaan kaikuluotaamalla, sukeltajatyönä tai sukeltavalla droonilla. Lisäksi vesistön alittavia paineviemäreiden vuotavuutta voidaan selvittää vertailemalla virtaamamittaustietoja vesistön alittavan putken molemmista päistä tai painekokeella.

5.7.2 Sisäiset kuntotutkimusmenetelmät

Viettoviemäreissä käytettäviä menetelmiä, kuten läpiajettavaa videokuvausta ja digitaalista kuvausta, voidaan käyttää myös paineviemäreiden tutkimiseen. Kuvausta varten

linja ei voi olla käytössä ja se on mahdollisesti kaivettava esiin ja katkaistava, jotta kamera saadaan putkeen. Läpiajettavan videokuvauksen ja digitaalisen kuvauksen toimintaperiaatteet on esitetty luvussa 5.5.9.

Paineviemärilinjän pesun yhteydessä voidaan suorittaa kuvaus suutinkameralla ja puhdistuselementillä tapahtuvassa linjan puhdistuksessa voidaan elementtiin yhdistää tutkimuslaite. Puhdistuselementti saadaan tutkittavaan linjaan esimerkiksi possutusyhteen kautta. Suutinkamerakuvauksessa kuvaustieto tallentuu kuvausyksikköön, josta se puretaan kuvauksen päätyttyä. Läpiajettavassa kuvauksessa saadaan live-kuvaa kuvauksen edetessä ja kamerapäätä on mahdollista käännellä.

Putkessa vapaasti virtauksen mukana uivien työkalujen avulla voidaan vesijohtojen tapaan tutkia myös paineviemäriverkostoja. Myös kaapelin päässä olevia hydrofoniteknikalla varustettuja kameroita sekä yhdistettyä akustista ja sähkönjohtavuustutkimusta voidaan käyttää paineviemäreissä. Näiden menetelmien kuvaukset ja toimintaperiaatteet on esitetty luvuissa 5.5.4–5.5.6.

5.7.3 Koostetaulukko paineviemäreiden kuntotutkimusmenetelmistä

Taulukko 4 sisältää koosteen sisäisten ja ulkoisten kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuudesta, tutkimuksen toteutuksesta ja tutkimuksella saatavista tiedoista.

Taulukko 4. Paineviemäreiden kuntotutkimusmenetelmien ominaisuudet.

Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjakeluun	Tutkimuksista saatava tieto	
Ulkoiset tutkimusmenetelmät	Kuuntelu-piikki, maa-mikrofoni	Kaikki putkikoot, luotettavin tulos pienemmillä (alle 300 mm) putkilla	Kaikki materiaalit. Paras tulos metallisilla putkilla	Venttiilit, linjan sijainti tiedettävä tarkasti	Ei vaikutusta	Vuodot
	Maaperätutka	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Harjaantunut käyttäjä, joka osaa tulkita menetelmästä saatavaa tietoa. Linjan sijainti tunnettava.	Ei vaikutusta	Vuodot
	Ultraäänimitaus	Kaikki putkikoot	Metalli	Vaatii aukikaivuun, mittaukset suoritetaan putken ulkopinnalta	Ei vaikutusta	Putken seinämävahvuus
	Lämpökamerakuvaus	Kaikki putkikoot	Kaikki materiaalit	Riittävä lämpötilaero maaperän ja jäteveden välillä. Vuodon oltava riittävän suuri ja oltava maanpinnalla erottuakseen	Ei vaikutusta	Vuodot
	Kaikuluotaus	Kaikki putkikoot, hyvin pienihalkaisijaiset putket saattavat löytyä huonosti	Kaikki materiaalit, metalli antaa voimakkaamman vasteen kuin muovi	Vähintään 1,5 metrin syvyys, maksimissaan voidaan tutkia 100 metrin syvyyteen. Vedenalaiset putkilinjat	Ei vaikutusta	Vuodot, muodonmuutokset, linjan sijainti ja siirtymät, painojen rikkoutuminen ja epätasainen asettuminen, esineet ja tyhjä tila putken alla

	Menetelmä	Putkikoot mm	Putkimateriaalit	Edellytykset tutkimusten toteutukselle	Vaikutus vedenjakeluun	Tutkimuksista saatava tieto
Sisäiset tutkimusmenetelmät	Läpiajettava videokuvauksen, suutinkamera (puhdistuksen yhteydessä)	Läpiajettava videokuvauksen: yli 100 mm, suutinkamera: yli 150 mm	Kaikki materiaalit	Esille kaivettu ja tyhjennetty putki vaatii esipesun ennen tutkimuksia	Putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä. Sisäänlaitto esimerkiksi: purkupää, pumppaamo tai muu erikseen asennettava yhteys	Visuaalinen kuntoarvio putken sisäpuolelta
	Vapaasti uiva työkalu (SmartBall)	≤ 150 muoviputket ≥ 200 muut	Kaikki materiaalit	Seurantasensoreiden riittävä asennusväli (maks. 1 km väli), ≥100 mm haarojen sulkeminen, sisään- ja ulosottoaukkojen mahdollinen asennus (saattaa vaatia linjan sulkeamisen), riittävä virtausnopeus	Ei vaikutusta	Vuodot, ilmataskut, linjan sijaintitiedot karkealla tarkkuudella
	Vapaasti uiva työkalu (Pipe-Diver)	≥ 400 mm	Metalli	Syöttö- ja ulosottoyhteyden asentamisen yhteydessä vaatii linjan sulkeamisen	Ei vaikutusta	Vuodot, ilmataskut, korrosio, seinämän ohentuminen, voidaan varustaa myös kameralla
	Kaapelissa oleva kamera (Sahara)	≥ 250 mm	Kaikki materiaalit	(Erikseen asennettava) sisäänlaittoyhteys	Ei vaikutusta	Vuodot
	Puhdistuselementti	Vaihtelee elementin koon mukaan	Kaikki materiaalit	Possutusyhteen tai pumppaamon kautta linjaan esimerkiksi. Linja tulee sulkea sulkuventtiilein	Tutkittava putki on pois käytöstä	Vuodot
	Yhdistetty akustinen ja sähköjohtavuus	Kaikki putkikoot	Ei-metallisille putkille	Sisäänlaittoaukko, esimerkiksi paloposti	Ei vaikutusta	Vuodot, vuodon virtaaman suuruus

6 LÄHTEET

Ahokas, J.-M. 3.5.2022. Verkostomestari. Seinäjoen Vesi, Seinäjoen Energia Oy. Haastattelu.

Ana, E.V., & Bauwens, W. 2010. Modeling the structural deterioration of urban drainage pipes: The state-of-the-art in statistical methods. Urban Water Journal, 7(1), 47–59. doi:10.1080/15730620903447597

Aerolion Technologies 2021. Tunnel inspection. <https://www.aerolion.com/tunnel-inspection>. Viitattu 1.12.2021.

Aquapriori Oy. 8.11.2021. Sähköposti.

API 579-1/ASME FFS-1, 2007. Fitness-For-Service. Standard, American Petroleum Institute.

ASME B31G, 2012. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. AN AMERICAN NATIONAL STANDARD, The American Society of Mechanical Engineers.

AWWA 2009. Water Audits And Loss Control Programs. AWWA Manual M36. American Water Works Association.

AWWA 2019. Condition Assessment of Water Mains. AWWA Manual M77. American Water Works Association.

Berg, P. 7.6.2022. Tuotepäällikkö. Egeplast international GmbH. Sähköposti.

Breivoll Inspection Technologies 2021. Pipeline inspection. <https://breivoll.eu/diagnostics/pipeline-inspection/>. Viitattu 1.12.2021.

Cherry, J., 20.4.2022 Operations Administrator. City of Virginia Beach Department of Public Utilities. Haastattelu.

CSIRO 2018. Data61. Data-Driven Failure Prediction on Water Main. <https://singapore.embassy.gov.au/files/sing/20181411%20-%202011.%20CSIRO-Data61%20Water%20Main%20Failure%20Prediction.pdf>. Viitattu 5.5.2022

Echologics LLC 2021. ePulse® Pipeline Condition Assessment. <https://www.echologics.com/services/condition-assessment/epulse>. Viitattu 1.12.2021.

ElectroScan Inc. 2021. Water Services. <https://www.electroscan.com/water-services/>. Viitattu 23.4.2022.

Huttunen, M. 2021. Tietotarpeet ja tiedonhallintajärjestelmät vesihuoltoverkostojen omaisuudenhallinnassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 62 s.

Huttunen-Saarivirta, E. ja Pohjanne, P. 14.8.2021. Research professor, Lead. VTT. Haastattelu.

Huusko, H. 3.8.2021. Haastattelu.

Rantala, T. ja Ramberg, R. 8.11.2021. Team Leader ja Account Manager. Xylem Water Solutions. Sähköposti.

RIL 237-1-2010, Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, perusteet ja toiminnallisuus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010.

Silventoinen, A. 2.5.2022. Aluemyyntipäällikkö. Oy Lining Ab. Sähköposti.

SFS 2011. SFS-opas 73. Riskienhallinta. Sanasto.

Suomen LVI-liitto 2013. LVV-KUNTOTUTKIMUSOPAS 2013. Opas lämmitys-, vesi- ja viemäriverkostojen kuntotutkimuksiin.

Sykli ja Eco-One 2012. Vuotovesien hallinta. Vesijohtovuotojen vähentäminen. Suomen Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 30. Helsinki 2012.

Vesihuoltolaki 119/2001. Viitattu 4.5.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>

Westerholm, K. 2012. Vesijohtoverkostojen kunnossapidon suunnittelu ja toteutus Hämeenlinnan kantakaupungin alueella. Hämeen ammattikorkeakoulu. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41299/Opinnaytetyo+YAMK+Kim+Westerholm+lopullinen+versio.pdf;jsessionid=D9F1A4C935D00155339801435B1693DB?sequence=1>

Winkler, D., Haltmeier, M., Kleidorfer, M., Rauch, W. & Tscheikner-Gratl, F. 2018. Pipe failure modelling for water distribution networks using boosted decision trees. Structure and Infrastructure Engineering 14, 1402-1411. <https://doi.org/10.1080/15732479.2018.1443145>

Yrjölä, A. 7.4.2022. Vastaava piirimestari. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Haastattelu.

Yrjölä, A. ja Kyrönseppä, R. 17.5.2022. Vastaava piirimestari ja kehittämissinööri. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Sähköposti.