# Viemäreiden kuntotutkimusopas

Tiia Lampola ja Sakari Kuikka

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50

Helsinki 2018

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 978-952-6697-44-4

Helsinki 2018

Ehdot Vesilaitosyhdistyksen julkaisu- ja monistesarjan pdf -tiedostoina myytävien julkaisuiden käyttöön:

- Julkaisun jakaminen pdf -tiedostona ja koko julkaisun tulostaminen on sallittu enintään 10 henkilölle samassa organisaatiossa.
- Julkaisua kopioitaessa tulee noudattaa voimassa olevaa lainsäädäntöä.
- Julkaisun tai sen osan levittäminen kaupallisessa tarkoituksessa on kielletty.
- Julkaisua lainattaessa tulee tehdä lähdeviittaus alkuperäiseen julkaisuun.
- Vesilaitosyhdistyksen kanssa voidaan sopia erikseen julkaisun hyödyntämisen ehdoista opetuskäytössä.

| **KUVAILULEHTI** | | | |
|---|---|---|---|
| *Julkaisija* | Suomen Vesilaitosyhdistys ry | | |
| *Tekijät* | Tiia Lampola, WSP Finland Oy<br>Sakari Kuikka, SewCon Kuikka Oy | | |
| *Julkaisun nimi* | Viemäreiden kuntotutkimusopas | | |
| *Julkaisusarjan nimi ja numero* | Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50 | | |
| *Julkaisun teema* | Viemäriverkkojen kuntotutkimukset omaisuudenhallinnan apuna. | | |
| *Saatavuus* | Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta. | | |
| *Tiivistelmä* | Viemäriverkon kuntotutkimuksia tehdään Suomessa pääasiassa läpiajettavilla kameroilla, ns. CCTV-menetelmällä. Vuotuiset kuntotutkimusmäärät suomalaisilla vesilaitoksilla ovat tyypillisesti alle 4 % verkkojen kokonaismäärästä. Tämä johtaa siihen, että koko verkon tutkiminen kertaalleen vie yli 20 vuotta. Siinä ajassa verkkojen ominaisuudet ehtivät muuttua hallitsemattomasti, eikä esimerkiksi rikkoutumien ehkäisyyn ja vuotovesien hallintaan saada riittävästi tietoa. Verkkojen saneeraukseen kohdentuu vuosittain selvästi alle 0,5 % verkoista, mikä merkitsee sitä, verkon uusiutumisikä on tyypillisesti 200-300 vuotta.<br><br>Tässä oppaassa tuodaan esille maailmalla käytettyjä kuntotutkimusmenetelmiä, joiden oikealla valinnalla saadaan lisättyä verkkojen kuntotutkimusmääriä nykyisestä, saadaan kohdennettua saneeraus- ja kunnossapitotoimenpiteet oikein ja tehokkaammin sekä saadaan arvokasta ja luotettavaa tietoa vesilaitosten omaisuudenhallinnan avuksi.<br><br>Oppaassa on taulukoissa esitetty tärkeimmät ja keskeisimmät kuntotutkimusmenetelmiin liittyvät asiat, sisältäen mm. kunkin kuntotutkimustyypin käytön reunaehdot ja sovellettavuus verkkojen kuntotutkimuksissa. Lisäksi oppaassa on esitetty erilaisiin tarpeisiin soveltuvia menetelmiä. | | |
| *Avainsanat* | viemäriverkot, kuntotutkimukset, omaisuudenhallinta | | |
| *Rahoittaja/ toimeksiantaja* | Suomen Vesilaitosyhdistys ry | | |
| | *ISBN*<br>978-952-6697-44-4 | *ISSN*<br>2242-7279 | |
| | *Sivuja*<br>95 | *Kieli*<br>suomi | *Luottamuksellisuus*<br>Julkinen |
| *Julkaisun jakelu* | Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi | | |
| *Painopaikka ja -aika* | Helsinki 2018 | | |

| **BESKRIVNINGSBLAD** | | | |
|---|---|---|---|
| *Publicerat av* | Finlands Vattenverksförening r.f. | | |
| *Författare* | Tiia Lampola, WSP Finland Oy<br>Sakari Kuikka, SewCon Kuikka Oy | | |
| *Publikationens titel* | Guidebok om inspektion metoder för avlopp nätet | | |
| *Publikationsseriens titel och nummer* | Vattenverksföreningens duplikatserie nr 50 | | |
| *Publikationens tema* | Inspektion metoder av avlopp för förvaltning av vattenförsörjning | | |
| *Tillgänglighet* | Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida. | | |
| *Sammanfattning* | Avloppsnätet i Finland inspekteras oftast med en CCTV utrustning. Årliga inspektioner av rörledningar i det allmänna nätet är idag mindre än 4 %. Det innebär att rör inspekteras ca. var 25:e år. Under denna tid försämras avloppsnätet avsevärt och sprickor i rören leder till vattenläckage. Förvaltning av avlopps- och vattenledningar är klart mindre än 0,5 %, och betyder att det tar 200 till 300 år för att rör ska bli renoverade.<br><br>Den här manualen presenterar flera olika rörinspektionsmetoder som används världen över. Med tillräcklig och högklassig information kan man välja den metoden som passar för ett specifikt rör. Med rätt taktik förbättras metoderna för att inspektera avlopps- och vattenledningar. Samtidigt får man mer information och förståelse för förvaltning av vattenförsörjningen.<br><br>I de tabeller som man kan finna i den här manualen finns de mest viktiga och huvudsakliga metoderna för inspektion av avlopps- och vattenledningar. | | |
| *Nyckelord* | avlopp nätet, kondition inspektion, förvaltning av vattenförsörjning | | |
| *Finansiär/ uppdragsgivare* | Finlands Vattenverksförening r.f. | | |
| | *ISBN*<br>978-952-6697-44-4 | *ISSN*<br>2242-7279 | |
| | *Sidantal*<br>95 | *Språk*<br>finska | *Konfidentialitet*<br>offentlig |
| *Distribution av publikationen* | Vattenverksföreningen, www.vvy.fi | | |
| *Tryckort och år* | Helsingfors 2018 | | |

| DESCRIPTION SHEET | | | |
|---|---|---|---|
| *Publisher* | Finnish Water Utilities Association | | |
| *Author* | Tiia Lampola, WSP Finland Oy<br>Sakari Kuikka, SewCon Kuikka Oy | | |
| *Name and number of publication series* | Publication series of Finnish Water Utilities Association n:o 50 (Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50) | | |
| *Subject of publication* | Inspection methods for sewer pipes | | |
| *Availability* | www.vvy.fi | | |
| *Abstract* | Sewer inspections are made in Finland mostly with a CCTV method. Annually less than 4 % of the total network length is inspected, yielding approximately 25-year lifespan for a certain pipeline to be inspected. During that period of time, the condition of sewers (and other pipelines) is changing uncontrollably, and no repairing methods for breakages or inflow and infiltration can be made. Renovation of pipelines is less than 0,5 % of the total length of water and sewer networks, meaning that the service life of a certain pipe section is as high as 200 to 300 years.<br><br>This manual presents the condition assessment and inspection methods widely used globally. This information will increase both the amount and variability of inspection methods for water utilities, thus, improving the means for asset management. Also the right methods for inspection at a right time will help to focus better on the accurate and best ways for renovation, rehabilitation, and management actions.<br><br>The tables of this manual present the most important and crucial aspects of the inspection methods. This will help water utilities, contractors, and consultancies in better asset management actions. | | |
| *Key words* | Water supply, sewer inspection methods, asset management | | |
| *Financing* | Finnish Water Utilities Association | | |
| | *ISBN*<br>978-952-6697-44-4 | *ISSN*<br>2242-7279 | |
| | *Pages*<br>95 | *Language*<br>*Finnish* | *Confidentiality*<br>*Public* |
| *Distribution* | Finnish Water Utilities Association, www.vvy.fi | | |
| *Print and year* | Helsinki 2018 | | |

| **KURZBESCHREIBUNG** | | | |
|---|---|---|---|
| *Herausgeber* | Vereinigung der Finnischen Wasserversorgungsbetriebe | | |
| *Autoren* | Tiia Lampola, WSP Finland Oy<br>Sakari Kuikka, SewCon Kuikka Oy | | |
| *Name und Nummer der Serie von Veröffentlichungen* | *Serie von Veröffentlichungen* der Vereinigung der Finnischen Wasserversorgungsbetriebe Nummer 50 (Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 50) | | |
| *Gegenstand der Veröffentlichung* | Methoden der Inspektion von Abwasser-Kanälen | | |
| *Vertrieb* | www.vvy.fi | | |
| *Abstrakt* | Die Inspektion von Abwasser-Kanälen erfolgt in Finnland meist in Form einer „CCTV Inspektion“. Pro Jahr werden weniger als 4 % des gesamten Kanal-Netzes inspiziert. Dies bedeutet, dass es bis zu 25 Jahren dauern kann, bis eine bestimmte Haltung untersucht wird. Während dieser Zeitspanne kann sich der Zustand einer bestimmten Leitung unkontrolliert verändern. Auch werden keinerlei Reparaturen für Beschädigungen oder Wasser-Ein- oder -Austritt während dieser Zeit vorgenommen. Weniger als 0,5 % der Gesamtlänge der Wasser- und Abwasser-Leitungen werden pro Jahr saniert, dies bedeutet, dass die Lebensdauer einer bestimmten Leitung ca. 200 bis 300 Jahre beträgt.<br><br>Dieses Handbuch beschreibt die Zustandsprüfungen und Inspektionsmethoden, welche weltweit überwiegend eingesetzt werden. Damit wird für die Wasserversorger sowohl die Zahl also auch die Vielfalt der Inspektions-Methoden erweitert und somit die Möglichkeiten zur Netzwerk-Verwaltung verbessert. Auch das Wissen, welche Inspektions-Methode die richtige zum richtigen Zeitpunkt ist, verbessert den Fokus für die bestmögliche Reparatur oder Sanierung und weitere Planungs-Maßnahmen.<br><br>Die Kapitel dieses Handbuch beschreiben die wichtigsten und entscheidenden Aspekte der Inspektions-Methoden. Hiermit können Wasserversorger, Kanal-Sanierungsfirmen und Ingenieur-Büros ihre Planungs-Maßnahmen effizienter und wirksamer durchführen. | | |
| *Schlüssel-Begriffe* | Wasserversorgung, Inspektion von Abwasser-Kanälen, Anlagenverwaltung | | |
| *Finanzierung* | Vereinigung der Finnischen Wasserversorgungsbetriebe | | |
| | *ISBN*<br>978-952-6697-44-4 | *ISSN*<br>2242-7279 | |
| | *Seiten*<br>95 | *Sprache*<br>*Finnisch* | *Vertraulichkeit*<br>*Öffentlich* |
| *Vertrieb* | Vereinigung der Finnischen Wasserversorgungsbetriebe, www.vvy.fi | | |
| *Druck* | Helsinki 2018 | | |

# Sisällysluettelo

Esipuhe ..... 11
1 Johdanto ..... 13
1.1 Viemäreiden kuntotutkimuksen nykytila ..... 13
1.2 Vesihuoltoverkkojen käyttöomaisuuden hallinta meillä ja muualla ..... 17
Kuntotutkimustulosten hyödyntäminen vuotovesitutkimuksissa ja ylivuotojen hallinnassa ..... 23
1.3 Verkkojen vikaantumisen syyt ..... 24
1.4 Oppaan päivittämisen tarpeet ..... 26
1.5 Projektin menetelmät ja toteutus ..... 28
2 Yleiset edellytykset kuntotutkimuksille ..... 30
2.1 Vaadittavat lähtötiedot verkosta ..... 30
2.2 Kuntotutkimusten kohdentaminen sekä menetelmävaihtoehtoja ..... 31
2.3 Koulutus ja kouluttautuminen kuntotutkimusprosessin onnistumisessa ..... 33
2.4 Kuntotutkimusprosessin kokonaisuuden hallinta ..... 34
2.4.1 Kuntotutkimusprosessin tarve ..... 34
2.4.2 Kuntotutkimustoimeksiannon rajaus ..... 34
2.4.3 Tiedonsiirto ja sen vaatimukset kuntotutkimustoimeksiannon aikana ..... 35
2.4.4 Esiselvitykset ja niiden merkitys kuntotutkimustoimeksiannon onnistumiseksi ..... 35
2.4.5 Kuntotutkimustoimeksianto ja sen toteutus ..... 35
2.4.6 Tulosten analysointi ..... 36
2.4.7 Tiedon tallennus (ja tiedon siirto) ..... 36
2.4.8 Tulosten raportointi ja visualisointi ..... 36
2.4.9 Tulosten hyödyntäminen ..... 36
2.5 Tiedonsiirto ja -hallinta kuntotutkimusprosessin osana ..... 36
2.6 Verkon puhdistaminen ennen kuntotutkimuksia ..... 37
3 Putkiverkon kuntotutkimusmenetelmät ..... 42
Automaattinen tulosten tulkinta kuntotutkimusprosessissa ..... 50
3.1 Verkkojen kuntotutkimusten esiselvitysmenetelmät ..... 51
3.1.1 Data-analyysit ja muut matemaattiset menetelmät ..... 51
3.1.2 Zoom-kameralla suoritettavat kuntotutkimukset ..... 54
3.3 Viemäreiden TV-kuvaus verkkojen kuntotutkimuksessa ..... 55
Digitaalinen viemäreiden kuvaus ..... 57
3.6 Laserskannaus ja muut kaikuluotaukseen pohjautuvat tutkimusmenetelmät ..... 60
3.6.1 Laserskannaus ..... 60
3.6.2 Maaperätutkat ..... 62
3.6.3 Muut menetelmät ..... 64
3.7 Akustiset kuntotutkimusmenetelmät ..... 65
3.8 Sähköiset kuntotutkimusmenetelmät ..... 67
3.12 Tonttijohtojen tutkiminen osana kuntotutkimusprosessia ..... 69
4 Muut verkkoihin liittyvät kuntotutkimusmenetelmät ..... 71
4.1 Kaivojen kuntotutkimusmenetelmät ..... 71
4.2 Tunneleiden kuntotutkimusmenetelmät ..... 72
4.3 Pumppaamoihin liittyvät kuntotutkimusmenetelmät ..... 73
4.4 Virtaamamittaukset ..... 73
4.5 Veden laadun muutosten mittaus ..... 74
4.6 Koepalojen otto putkesta ..... 74
4.7 Painekokeet, savukokeet, väriainekokeet ..... 74
5 Erilaisten kuntotutkimusten käyttökohteita ..... 76
5.1 Viettoviemärit ..... 78
5.2 Painelinjat ..... 80

5.3 Verkon yleinen kartoitus ..... 80
5.4 Vuotovesien vähentämiseen tähtäävä tutkimus ..... 80
5.5 Hydraulisen mallinnuksen lähtötietojen keräämiseen soveltuvat tutkimusmenetelmät ..... 80
5.6 Viemäriverkon jäljellä olevan käyttöiän arvioimiseksi soveltuvat tutkimusmenetelmät ..... 81
5.7 Omaisuudenhallinnan avuksi tarvittavat tutkimusmenetelmät ..... 81
5.8 Uusien ja saneerattujen/korjattujen linjojen vastaanottotarkastukset sekä takuuaikaiset kuntotutkimukset ..... 81
5.9 Eri menetelmissä käytettävien laitteistojen minimivaatimukset, tilanne lokakuussa 2018 ..... 82
Lähdeluettelo ..... 84
LIITE 1 ..... 95
LIITE 2 ..... 95

LIITE 1 PAINEETTOMIEN LINJOJEN KUNTOTUTKIMUSMENETELMIÄ
LIITE 2 PAINEELLISTEN LINJOJEN KUNTOTUTKIMUSMENETELMIÄ

# ESIPUHE

Tämän ”Viemäreiden kuntotutkimusoppaan” tarkoituksena on esitellä nykyisin yleisesti käytössä olevan läpiajettavan kuvauksen lisäksi uusia tapoja ja menetelmiä, joiden avulla viemäri- ja hulevesiverkon kuntotutkimusta voidaan tehostaa ja samalla nostaa tutkimusmääriä huomattavasti nykyisestä. Oppaassa kuvatut menetelmät ovat jo käytössä muualla. Tällöin myös verkko saadaan toimintavarmemmaksi sekä löydetään nopeammin verkoista mm. vuotavat osuudet ja mahdolliset korjausta vaativat kohdat. Esitettyjen esiselvitysmenetelmien tarkoituksena ei ole korvata vanhaa, vaan ainoastaan auttaa kohdentamaan esim. läpiajettavilla kameroilla tehtävät tutkimukset kohteisiin, joissa kyseisen tutkimuksen tarve on suurin ja tunnistetaan samalla tehokkaasti korjattavat putkiosuudet. Samalla saadaan toiminnallista tietoa verkostosta, joka esipesun jälkeen usein menetetään tai jää arvailujen varaan.

Viemäreiden kuntotutkimukset Suomessa ovat painottuneet enimmäkseen ns. viemäreiden läpiajettavaan TV-kuvaukseen, joka edellyttää myös viemäreiden puhdistamista ennen kuvaamista. Tällä tavoin viemäreitä on tutkittu Suomessa alle 4% vuosittain jätevesiviemäriverkkojen kokonaispituudesta. Verkkojen kunnon tutkiminen nykymenetelmillä ei kustannus-hyöty-näkökulmasta ole laitosten kannalta ollut edullista etenkin, kun tutkituissa osuuksissa on usein jopa 60 % hyvässä kunnossa olevaa verkkoa. Putkien rakenteellisen kunnon arviointiin läpiajettava TV-kuvaus ei ole paras mahdollinen menetelmä, sillä se tuottaa vain visuaalista tietoa putkista. Läpiajettavilla kameroilla (TV-kuvauskamerat ja digitaaliset kamerat) ei saada putkien rakenteellisesta kunnosta riittävän luotettavaa tietoa suunnittelun ja saneerausten kohdentamiseksi.

Tässä oppaassa otetaan kantaa myös siihen, että viemärin (jätevesi tai hulevesi) puhdistaminen tulee tehdä tarpeeksi tehokkaasti kerralla, jolloin saadaan varmistettua riittävä puhdistuksen laatutaso viemäreiden kuntotutkimuksille. Liian usein kuvaajat joutuvat kutsumaan puhdistajan takaisin, kun ennakkopuhdistaminen ei ole ollut riittävän hyvälaatuista.

Tässä oppaassa tuodaan esille meillä yleisesti käytetyn menetelmän lisäksi uusia tapoja ja erilaisia lisäarvoa tuottavia menetelmiä, joiden avulla voidaan tehostaa viemärien kuntotutkimusprosesseja. Kansainvälisesti alalla on tehty paljon erilaista tutkimusta, kehitystyötä, kokeiluja ja testausta tuottaen uusia tutkimusmalleja ja -tapoja, joita jo käytetään useassa eri maassa.

Tiedonsiirron menetelmien ja vaihtoehtojen, samoin kuin tulosten analysoinnin ja tulkinnan osalta on viimeisen vuosikymmenen aikana tapahtunut paljon kehitystä, joita ajatuksia, menetelmiä ja mahdollisuuksia tuodaan tässä oppaassa esille osana verkkojen kuntotutkimusprosessia. Avoimet rajapinnat on syytä rakentaa ja ottaa käyttöön reaaliaikaisen, helpon ja virheettömän tiedonsiirron onnistumiseksi verkkotietojärjestelmistä urakoitsijoille sekä takaisin. Onnistuneet vesihuoltoverkon kuntotutkimukset tiedonsiirron ja -hallinnan ohella ovat tärkeitä myös vesihuoltolaitosten omaisuudenhallinnassa mm. vesihuoltolakiin (119/2001) vuonna 2014 lisätyn vesihuoltolaitoksen selvilläolo- ja tarkkailuvelvoitteen (§15) vaatimusten vuoksi. Tarvitaan tiimityötä hyvään ja kustannustehokkaaseen lopputulokseen pääsemiseksi.

Keskitetyn koulutuksen suunnittelu ja toteutus olisi suotavaa viemäriverkkojen kunnossapidon ja vesihuoltolaitosten omaisuudenhallinnan parantamiseksi ja tehostamiseksi, jotta viemäreiden puhdistaminen ja putkistojen kuntotutkimuksen tekemisen koulutus saadaan nostettua riittävälle tasolle. Tästä aiheesta on syytä aloittaa keskustelut tilaaja- ja urakoitsijapuolen sekä viranomaistahon (VVY, Ympäristöministeriö jne.) kanssa pikaisesti.

Tämä opas ei ota kantaa viemäristä tehtävien havaintojen tulkintaan, jossa käytetään CEN-standardin ja siitä tehdyn suomalaisen kansallisen version (”Viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohje”) mukaisia termejä ja tulkintaohjeita.

Tämän oppaan päivityksestä vastaa VVY ja kutsuu asiantuntijaryhmän koolle määräajoin, koska tässä oppaassa esitellyt kuntotutkimukset ja niissä käytettävät menetelmät kehittyvät kaiken aikaa. Myös eri menetelmien toimittajien yhteystietojen päivittäminen on tärkeää. Silloin voidaan tarjota ajantasainen tieto kaikille vesihuoltoverkkojen kuntotutkimuksia suorittavalle/tilaavalle taholle.

Oppaan kirjoitustyön aikana on selkiytynyt selvä tarve aiheen ympärillä oleville jatkoprojekteille. Tällaisia ovat ainakin:

- viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohjeen teknisten tietojen päivittäminen (osittain jo käsitelty tässä oppaassa)
- koulutusmateriaalin koostaminen (ja ylläpitäminen), koulutuksesta vastaavan tahon ratkaiseminen, koulutuksen organisointi
- kuntotutkimusprosessin kokonaisuuden tarkentaminen siitä, mitä tässä oppaassa on esitetty
- tarjouspyyntöasiakirjamallien laatiminen
- uusien kuntotutkimusmenetelmien testaaminen Suomen olosuhteissa
- tarkempien toimintaohjeiden laatiminen uusille menetelmille
- automaattisen tulosten tulkinnan kehittäminen
- uusien toimintamallien kehittäminen (esimerkiksi liittyen kuntotutkimusten tulosten analysointiin)
- verkkojen kuntoluokitusperiaatteiden määrittäminen
- koepalojen ottaminen viemäriverkosta ja niiden systemaattinen analysointi

# 1 JOHDANTO

## 1.1 VIEMÄREIDEN KUNTOTUTKIMUKSEN NYKYTILA

Suomessa on noin 50 000 km jätevesiviemäreitä. Viemäriverkon keski-ikä vaihtelee suuresti eri alueilla, ja esim. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) alueella se on noin 36 vuotta. Vesihuoltoverkoista suurin osa on rakennettu sotien jälkeen 1950-1970 -luvuilla. Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen mukaan vesihuoltolaitosten pääomakustannuksista noin 80-90 % on verkoissa (VVY, 2001; Välisalo et al. 2008).

Verkkoja tutkitaan nykyisillä menetelmillä alle 4 % vuodessa (tilanne HSY:n alueella; muualla maassa yleensä vähemmän muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta), ja saneeraustoimenpiteitä kohdistetaan selvästi alle prosenttiin koko viemäriverkkojen massasta. Pääasiassa talkoovoimin toimivissa osuuskunnissa verkon tutkimisen määrä ja laatu ovat todennäköisesti selvästi alhaisemmat kuin vesilaitosten alueilla. Saneerausvolyymit viemäriverkoissa ovat laskeneet vuodesta 2014 vuoteen 2016 yli 50%:lla (Mika Rontu, VVY, suullinen tieto), mikä on erittäin huolestuttava kehitys. Myös vesihuoltoverkkojen kuntotieto ja sen hallinta on puutteellista (Välisalo et al. 2008).

Viemäriverkon kuntotutkimukset tulee suorittaa verkon kuntoa vastaavilla intervalleilla. Tämän oppaan teon yhteydessä haastattelemamme asiantuntijat olivat hyvin eri mieltä siitä, miten usein verkko tulisi tutkia. Saksalainen tutkimus (Müller, 2007) suosittelee ensimmäistä tutkimusta vastaanottotutkimuksen jälkeen 10-20 vuoden kuluessa putkiosuuden käyttöönotosta. Tämän lisäksi tulee huomioida mahdolliset takuuaikana suoritettavat kuntotutkimukset. Vastaanotto- ja takuuaikaisten kuntotutkimusten suorittaminen tulisi ottaa osaksi viemäriverkon omaisuudenhallintatoimenpiteitä, ja tutkimusten tulokset tulisi tallentaa esim. verkkotietojärjestelmään, josta ne on helppo katsoa, tarkistaa ja myös verrata myöhemmin tehtyjen tutkimusten tuloksiin. Tämä on havaittu myös kansainvälisissä tutkimuksissa (esim. Ahmadi et al. 2014; Ahmadi et al. 2015). Taulukossa 1.1 on hahmoteltu kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella ajanhetkiä, joiden pohjalta uusien putkiverkkojen (vesijohto-, jätevesiviemäri- ja hulevesiverkot) kuntoa voidaan vesilaitoksilla tutkia koko putken eliniän ajan. Vanhojen (esimerkiksi 1960- tai 1970-luvuilla rakennettujen) putkien – ja toistaiseksi kuntotutkimattomien – putkien tutkimusajankohtia on haarukoitu taulukossa 1.2.

Taulukoiden 1.1 ja 1.2 mukaisesti tehdään arviot putken kuntotutkimusten tarpeesta sekä suoritusajankohdista. Alla muutama esimerkki, miten erilaisissa tapauksissa samanlainen putki toimii ja miten se vioittuu maaperässä. Putkien käyttöikään ja samalla tarvittavaan kuntotutkimusten suorittamisen taajuuteen (frekvenssiin) vaikuttavat paitsi putken ominaisuudet, myös maaperä, liikennekuorma, kasvillisuus, jäteveden laatu ja määrä sekä äkilliset muutokset putkilinjojen läheisyydessä (räjäytystyöt, kaivutyöt, rakennustyöt jne.). Putkien kuntotutkimuksia ja niistä saatavia tietoja tulee tarkastella jatkuvana prosessina ja päivittää ”nykyiset” tiedot vastaamaan todellisuutta riittävän usein, esimerkiksi kerran vuodessa.

Taulukko 1.1 Putkiverkkojen kuntotutkimusten toteutusajat alkaen putken asentamisesta maahan (eli uusille putkille).

| Ajanhetki, vuotta | Selitys | Tutkimuksen merkitys |
|---|---|---|
| 0 | Vastaanottotarkastus | Putkiosuuden kuntotiedon lähtöhetki, johon verrataan jäljempänä tehtäviä kuntotutkimuksia ja niiden tuloksia. Havainnot tallennetaan ja analysoidaan tulokset. |
| + 2 | Takuuajan loppuessa tehtävä tarkastus | Varmistutaan, että putkiosuuden kunto on pysynyt takuuajan hyvänä; jos ei ole, tehdään korjaavat toimenpiteet |
| + 10 | Ensimmäinen säännöllinen kuntotutkimus | Kirjataan ja tallennetaan havainnot, analysoidaan tulokset, verrataan tuloksia aikaisempiin. |
| joko:<br>+ 2<br>+ 5<br>+ 10 | 10-vuotistutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella määritellään jatkotutkimuksen ajankohta | Kirjataan ja tallennetaan havainnot, analysoidaan tulokset, verrataan tuloksia aikaisempiin. |
| Em. vaiheen mukaisia ajankohta-arvioita tehdään putken koko käyttöikä | Jatkotutkimuksissa huomioidaan tietojen päivittyminen, lisääntyminen, kuntohavainnot ja -ongelmat jne. | Kirjataan ja tallennetaan havainnot, analysoidaan tulokset, verrataan tuloksia aikaisempiin. |
| Putki poistetaan käytöstä | | Kaikkien putken iän aikana tehtyjä kuntotutkimustietoja käytetään arvioitaessa kyseisenlaisten putkiosuuksien käyttöikää, kestävyyttä, ominaisuuksia jne. |

Taulukko 1.2 Vanhojen putkiosuuksien kuntotutkimukset. Olettaen, että putkia ei ole tutkittu tähän mennessä.

| Ajanhetki, vuotta | Selitys | Tutkimuksen merkitys |
|---|---|---|
| HETI | Ensimmäinen kuntotutkimus | Putkiosuuden kuntotiedon lähtöhetki, johon verrataan jäljempänä tehtäviä kuntotutkimuksia ja niiden tuloksia. Havainnot tallennetaan ja analysoidaan tulokset. |
| joko:<br>+ 2<br>+ 5<br>+ 10 | Ensimmäisessä kuntotutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella määritellään jatkotutkimuksen ajankohta | Kirjataan ja tallennetaan havainnot, analysoidaan tulokset, verrataan tuloksia aikaisempiin. |
| Em. vaiheen mukaisia ajankohta-arvioita tehdään putken koko käyttöikä | Jatkotutkimuksissa huomioidaan tietojen päivittyminen, lisääntyminen, kuntohavainnot ja -ongelmat jne. | Kirjataan ja tallennetaan havainnot, analysoidaan tulokset, verrataan tuloksia aikaisempiin. |
| Putki poistetaan käytöstä | | Kaikkien putken iän aikana tehtyjä kuntotutkimustietoja käytetään arvioitaessa kyseisenlaisten putkiosuuksien käyttöikää, kestävyyttä, ominaisuuksia jne. |

Esimerkki 1. Betoniputki, DN 300 mm, maaperä routimaton, ei suurta liikennekuormitusta. Putken kuntotutkimukset suoritetaan

- 0 vuotta – vastaanottokuvaus/-tutkimus
- 2 vuotta – takuuajan päättymiskuvaus/-tutkimus
- 12 vuotta – säännöllinen kuntotutkimus – tulokset analysoidaan ja määritellään jatkotarkastelut (tässä tapauksessa ei havaittu suuria poikkeamia tai vikoja ympäröivistä olosuhteista johtuen)
- 22 vuotta, 32 vuotta, 42 vuotta jne., kunnes linja poistetaan käytöstä/korvataan uudella; ei havaita tutkimuksissa vikoja tai poikkeamia, joiden vuoksi olisi tarvinnut tihentää kuntotutkimusten suorittamista
- putken käyttö päättyy 79 vuoden iässä, jolloin se saneerataan sopivalla menetelmällä

Esimerkki 2. Betoniputki, DN 300 mm, maaperä savikko, kohtuullinen liikennekuormitus. Putken kuntotutkimukset suoritetaan

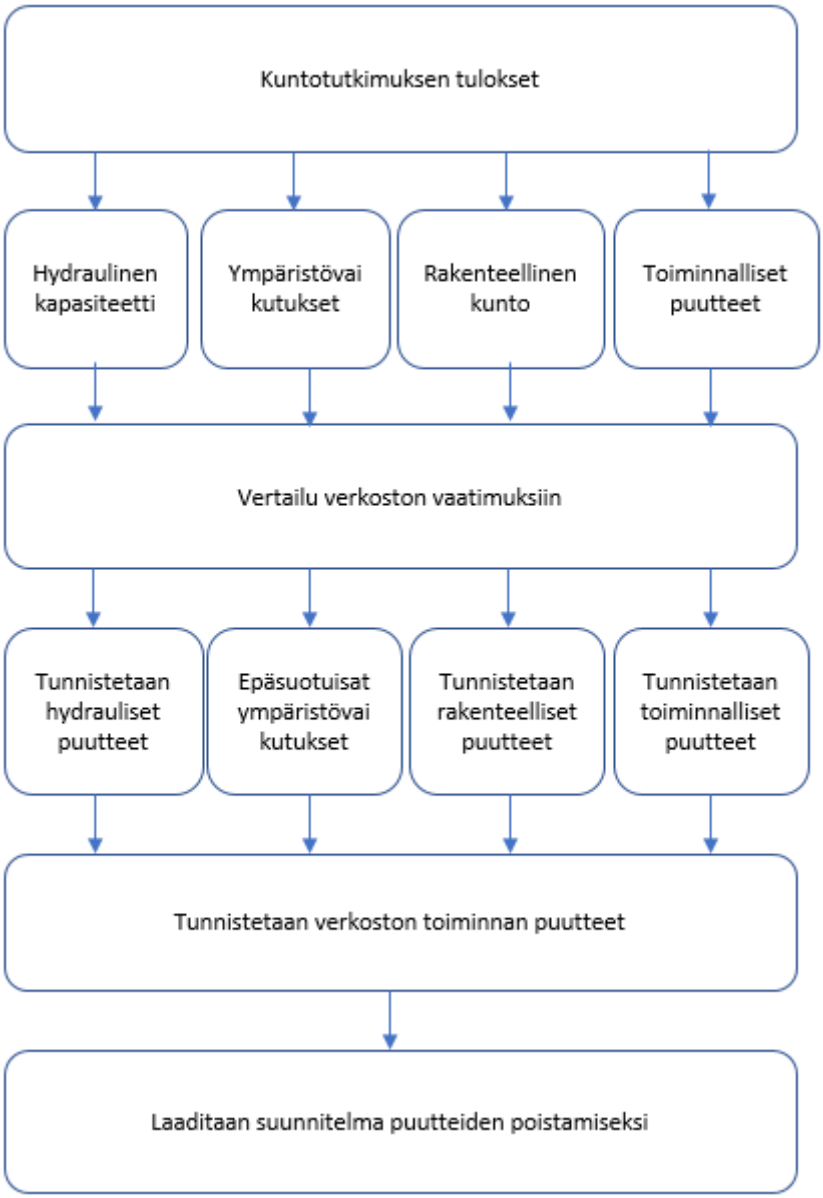
- 0 vuotta – vastaanottokuvaus/-tutkimus
- 2 vuotta – takuuajan päättymiskuvaus/-tutkimus
- 12 vuotta – säännöllinen kuntotutkimus – tulokset analysoidaan ja määritellään jatkotarkastelut (tässä tapauksessa havaitaan poikkeamia tai vikoja maaperän ominaisuuksista johtuen, esimerkiksi hiushalkeamia)
- 17 vuotta (tilanne ennallaan)
- 22 vuotta (hiushalkeamista muodostunut suurempia halkeamia, saumavuotoja)
    - saneerataan/korjataan viat, varmistutaan vastaanottokuvauksilla
- 27 vuotta, 32 vuotta jne., kunnes linja poistetaan käytöstä/korvataan uudella
- linjan käyttö päättyy esimerkiksi 50 vuoden iässä, jolloin se poistetaan käytöstä esim. saneeraamalla

Esimerkki 3. Pitkään käytössä ollut betoniputki, DN 300 mm, maaperä routimaton, ei suurta liikennekuormitusta. Ei aikaisempia kuntotutkimuksia tehtynä.

- HETI – putken kuntotietojen lähtöhetki, jonka perusteella päätetään seuraava kuntotutkimuksen ajankohta
- 5-10 vuotta – säännöllinen kuntotutkimus – tulokset analysoidaan ja määritellään jatkotarkastelut
- 15 vuotta, 20 vuotta jne., kunnes linja poistetaan käytöstä/korvataan uudella
- linjan käyttö päättyy esimerkiksi 22 vuotta ensimmäisen kuntotutkimuksen tekemisen jälkeen, jolloin se poistetaan käytöstä esim. saneeraamalla

Verkkojen kuntotiedot ja niiden hankkimiseen tähtäävät toimenpiteet vaihtelevat suuresti kaupungista ja taajamasta toiseen. Sen vuoksi esimerkiksi terminologia, käytettävät tutkimusmenetelmät, raportointi, kunnon määrittäminen sekä saneerausmenetelmien vaihtelu on suurta. Mikäli verkosta kerättävät tiedot ja kirjattavat havainnot ovat helposti saatavilla, ne on sidottu paikkatietoon sekä sitä on suuria määriä, vaikuttaa puutteellisen tiedon esiintyminen vain hieman verkon kuntotiedon hallintaan ja siitä saatavaan hyötyyn (Ahmadi et al. 2014; Ahmadi et al. 2015).

Euroopan standardoimisjärjestö, CEN, on esittänyt kuvan 1.1 mukaisen kaavion verkkojen kuntotutkimuksista.




Kuva 1.1. Euroopan standardoimisjärjestön mukainen kaavio verkkojen kuntotutkimusten etenemisestä (CEN, 2008).

Verkkojen omaisuudenhallinnan ja kunnossapidon kannalta minimitietoja ovat kuntotieto sekä perustiedot, jotka käsittävät vähintään putkien määrät, tiedon asennusvuodesta, materiaalitiedot sekä halkaisijatiedot. Putkien elinkaarta arvioidessa perustamisolosuhteet ovat ensi arvoisen tärkeitä mm. kriittisyysluokituksia tehtäessä. (Välisalo et al. 2008; Park & Kim, 2013; Laakso et al. 2015)

Vesihuoltolaitoksissa kuntoarviointia ja -hallintaa tehdään mm. (i) budjetointiin ja muuhun rahoituksen kohdentamiseen; (ii) lainsäädännön vaatimuksiin vastaamiseksi; (iii) asiakasvalitusten selvittämiseksi; (iv) verkon kriittisyys- ja kuntoluokittelun avuksi; (v) vuotovesien ja vuotovesikohtien hallitsemiseksi; (vi) suunnittelutoimeksiantojen lähtötiedoiksi; sekä (vii) matemaattisten mallien ja ennusteiden perusteella.

Yksi tärkeä verkkojen kuntotutkimusten tarvetta korostava tekijä on erilaisen irtomateriaalin kertyminen ajan saatossa verkkoihin. Kuvassa 1.2 on havainnollistettu verkon virtauskapasiteetin ja muiden olosuhteiden muutoksia (Rowe et al. 2004).

Kuva 1.2. Verkon suunniteltu kapasiteetti (design capacity) vs. toiminnallinen kapasiteetti (effective capacity). Havainnekuva. (Rowe et al. 2004)

Tässä oppaassa tuodaan esille hankkeen aikana ja siitä riippumattomasti kerättyjä tietoja ja keskustelujen tuloksia ja havaintoja, joiden perusteella esitetään toimenpide-ehdotuksia ja jatkoprojektien tarpeita, jotta verkkojen kuntotutkimusprosessi saadaan kokonaisuudessa tehokkaasti käyttöön joka puolella Suomea.

## 1.2 VESIHUOLTOVERKKOJEN KÄYTTÖOMAISUUDEN HALLINTA MEILLÄ JA MUUALLA

Vaikka vesihuoltoverkot muodostavat tärkeän osan kaupunkimaisten yhteiskuntien infrastruktuuria (Välisalo et al. 2006; Välisalo et al. 2013), niiden omaisuudenhallintaan liittyvät toimenpiteet ovat olleet melko riittämättömiä ja/tai puutteellisia (Välisalo et al. 2006). Lisäksi vesihuoltoverkkojen riskinarviointi (Stone et al. 2002; Ana & Bauwens 2007; Halfawy et al. 2008; Stanić et al. 2012; Välisalo et al. 2013), kriittisyysluokitukset (Laakso et al. 2015) ja muut omaisuudenhallintaan (Vaattovaara & Sipilä, 2005), kunnossapidon ja saneerausten kohdentamiseen ja suunnitteluun sekä jäljellä olevaan käyttöikään liittyvät näkökulmat ovat vesihuoltolaitoksilla vielä melko vähän käytettyjä työkaluja verkon kokonaisuuden hallinnassa ja arvioinnissa. Taulukossa 1.3 on koottu yhteen omaisuudenhallinnan kannalta keskeisiä tekijöitä suomalaiselta vesihuoltotoimialalta (Vaattovaara & Sipilä, 2005). Verkon ikä sekä läpiajettavalla robotilla tehtävä videokuvaus ovat riittämätön tieto omaisuudenhallinnassa, mutta kokonaisuuden hallinnan kannalta parhaiden menetelmien (mm. kuvauksen laatu, olosuhteiden ns. vakiointi jne.) määrittäminen on silti hankalaa (Fenner, 2000; Stone et al. 2002; Ana & Bauwens 2007).

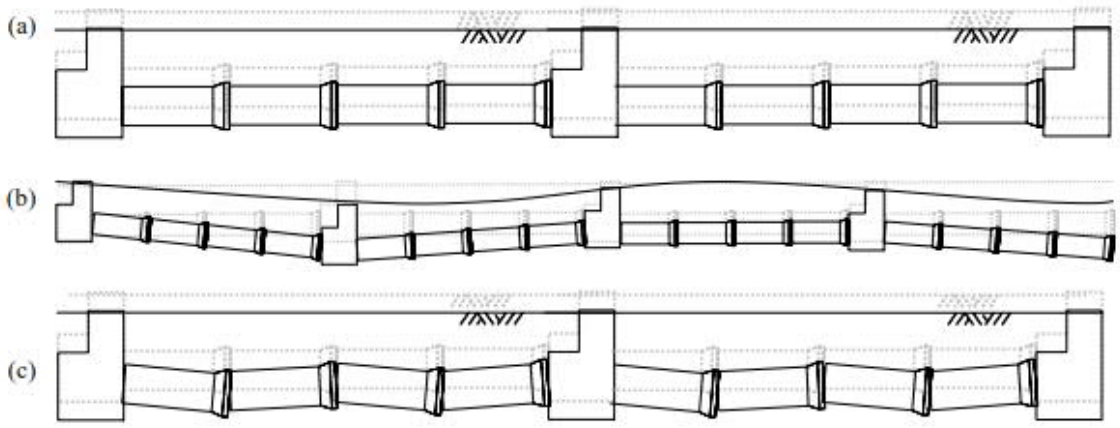
Verkon iän on havaittu olevan riittämätön tieto sen omaisuudenhallinnassa (Ana & Bauwens 2007; Ana et al. 2009; Stone et al. 2002; McKim & Sinha, 1999). Suurimpia vaikuttavia tekijöitä verkon laadun huononemisessa on havaittu olevan ikä, materiaali, putkiosuuden pituus, virtaama, irtokertymät ja tukkeumahistoria, koko, maaperän korrodoivuus, jäteveden laatu sekä pohjaveden korkeus (Ana et al. 2009).

Ns. perinteinen viemärikuvaus ei pysty tuottamaan havaintoja ja tietoa ei-visuaalisista verkon ominaisuuksista (Nederlands Normalisatie-instituut 2003; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaf 2006), kuten putkien seinämien rakenteellisesta kestävyydestä ja jäljellä olevasta käyttöiästä. Viemäriverkon hallintaan liittyvät päätökset tehdään siis hyvin usein vain osittaisen tai vajavaisen tiedon perusteella, koska toiminnallisesta ja rakenteellisesta kunnosta ei verkoissa saada riittävästi kuntotietoja ja havaintoja (Elachachi et al. 2006). Verkko-omaisuuden fyysinen kunto ja sen kirjaaminen sekä seuraaminen on kaikista tärkein tietojoukko verkko-omaisuuden omaisuudenhallinnassa (McKim & Sinha, 1999). Riittävällä ja oikein kohdennetulla kuntotutkimusprosessilla pystytään ennaltaehkäisemään suurin osa verkon äkillisistä vaurioista (Kienow & Kienow, 2009).

Taulukko 1.3. Omaisuudenhallinnan yhteenveto vesihuoltotoimialalta (Vaattovaara & Sipilä, 2005).

| | |
|---|---|
| Toimialan piirteiden yhteenveto omaisuudenhallinnan kannalta | • Fyysiseen käyttöomaisuuteen on sitoutunut erittäin suuri määrä pääomaa, jonka nykykunnosta ei ole kokonaiskuvaa<br>• Toiminta on kunnallisen päätöksenteon piirissä poikkeuksia lukuun ottamatta<br>• Korvausinvestoinnit ovat olleet alhaisia<br>• Vesihuoltoinfrastruktuuri on ylimitoitettua<br>• Huomattava osa vesihuolto-osaajista siirtyy eläkkeelle |
| Toimialan kehityshaasteiden ja muutosvoimien kuvaus | • Vesihuoltolaitosten lukumäärä vähenee ja yksikkökoko kasvaa<br>• Vesihuollon palvelutuotanto seudullistuu<br>• Energia- ja vesihuoltotoimintoja yhdistetään<br>• Vesihuollon yhtiöittäminen lisää kustannustietoisuutta ja vesihuoltomaksujen kustannusvastaavuutta<br>• Omaisuuden saneeraustarve kasvaa<br>• Vesihuollon sääntely lisääntyy<br>• Veden laatu- ja puhdistusvaatimukset kasvavat<br>• Uusia toiminta- ja rahoitusmalleja omaksutaan |
| Kansainvälistymisen mahdollisuudet ja esteet | • Kotimarkkinat ovat kehittymättömät<br>• Liiketoimintasuuntautunut t&k on toimialalla vähäistä<br>• Infrastruktuurin uusimiselle on tulevaisuudessa suuri tarve, kehitysmaihin on saatavissa rahoitusta<br>• Toimialan teknologinen taso on matala kansainvälisestikin, mikä luo mahdollisuuksia innovaatioille korkean teknologian hyödyntämisessä |
| Liiketoiminnan ja teknologian kehityshaasteet | • Liiketoiminta-ajattelun ja -osaamisen lisääminen toimialalla yleisesti omistajat mukaan lukien<br>• Uusien yhteistyömallien kehittäminen<br>• Infrastruktuurin kuntokartoitukseen ja saneerausmenetelmiin liittyvät teknologiat<br>• Tiedonhallinnan toimintamallit ja järjestelmät |

Viemäriverkon toiminnassa etenkin paikallisesti vaikuttaa suuresti verkon viettokaltevuus sekä mahdollinen negatiivinen viettokaltevuus (eli negatiivinen kaato tai takakaato). Nykyisin yleisimmin käytössä olevat visuaaliset viemärikuvaustekniikat eivät välttämättä tuota riittävää tietoa verkon virtausolosuhteisiin merkittävästi vaikuttavista takakaato-osuuksista. Näihin osuuksiin saattaa myös kertyä hiekkaa ja muuta irtoainesta, mikä aiheuttaa mahdollisia tukoksia ja muita ongelmia verkon toiminnalle. Kuvassa 1.3 on kuvattu erilaisia tapauksia (vietto-osuuksilla) viemäriverkossa. (Dirksen et al. 2014) Kuvan 1.3 mukainen vaihtelu verkossa aiheuttaa myös virhettä kuntotutkimuksen tuloksiin, mikäli laitteistoja ei ole kalibroitu riittävän usein huomioiden mm. robottikulkuneuvojen renkaiden kulumisen, eri verkkomateriaalien ominaisuudet ja muut havainnot.




Kuva 1.3. Erilaisia asetuksia, jotka pitää huomioida kuntotutkimustoimeksiantoja toteutettaessa: a) ei huomioitu/kalibroitu, b) kaivosta kaivoon muutokset huomioitu, c) putkisegmenttikohtaisesti muutokset huomioitu. (Dirksen et al. 2014)

Viemäriverkon viettokaltevuuden mittaamiseen on mahdollista käyttää useita menetelmiä, joita on listattu taulukossa 1.4 (Dirksen et al. 2014). Lisäksi yleisesti on käytössä viettokaltevuusantura, joka on mukana viemäreiden läpiajettavan kuvauksen laitteistossa.

Taulukko 1.4. Viemäriverkon viettokaltevuuden mittaamiseen käytettävien menetelmien vertailua. (Dirksen et al. 2014)

| Menetelmä | Kustannus | Erottelukyky | Mittaus ajan suhteen | Tarkkuus | Missä voidaan käyttää |
|---|---|---|---|---|---|
| Esim. vatupassi | korkea | pistemäinen havainto | heikko | Korkea | Rajoittamaton |
| GPS | keskimääräinen | pistemäinen havainto | tarkka | keskimääräinen | rajoittamaton |
| LIDAR | alhainen | puolijatkuva | tarkka | alhainen | rajoitettu |
| RADAR | alhainen | pistemäinen havainto | keskimääräinen | korkea | rajoitettu |

Viemäriverkon hajoamismallit voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan (Yang 2004): (i) fyysiset mallit; (ii) tekoälyä hyödyntävät mallit; sekä (iii) tilastolliset mallit. Näistä malleista kerrotaan enemmän luvussa 3.1. Yhä useammassa vesilaitoksessa niin Suomessa kuin kansainvälisesti nousee esille riskiperustainen omaisuudenhallinta. Yksi käytännönläheinen menetelmä riskiperustaisen työn pohjaksi on ns. kriittisyysluokitus, jossa verkon eri osat määritellään mm. sijainnin, verkon rakenteen, iän, koon jne. avulla erilaisiin riskiluokkiin, ja verkko pystytään täten kokonaisuutena tarkastelemaan esimerkiksi kuntotutkimus- ja saneeraustoimenpiteitä kohdistettaessa (Miles et al. 2007; Worthington & Homer, 2007; Kley & Caradot, 2013; Kley et al. 2013; Baah et al. 2015; Laakso et al. 2015).

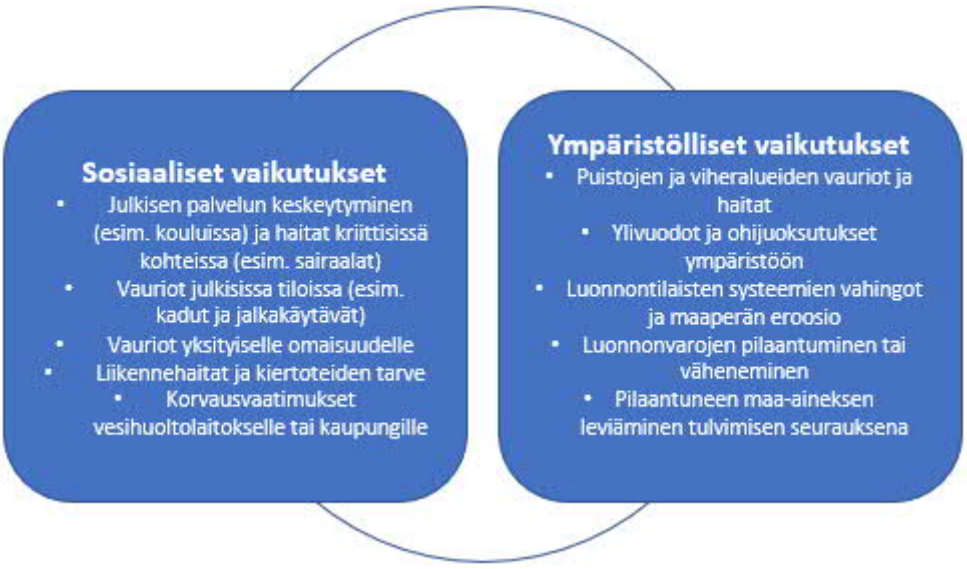
Yleisesti käytössä olevat verkon hajoamisen mallinnukseen kehitetyt mallit pohjautuvat olemassa olevaan verkkodataan sekä siihen kohdistettuihin kuntotutkimus- ja vikaantumis- sekä huoltoraportteihin ja merkintöihin. Uusimmat menetelmät hyödyntävät tuota tietoa älykkäiden ja itseoppivien menetelmien, kuten päätöspuumenetelmään perustuvan hajoamismallin, rakentamisessa. Tutkimuksessa itseoppiva päätöspuumenetelmä osoittautui hyväksi keskikokoisen vesihuoltoverkon hallinnan apuvälineeksi, ennustaen verkon hajoamisen 5-10 vuoden päähän. (Winkler et al. 2018)

Kansainvälisesti vesihuoltoverkkojen omaisuudenhallintaan ja kunnon ylläpitoon on kiinnitetty enemmän huomiota jo pidemmän aikaa (AWWA, 2001; Hafskjold et al.

2003). Myös Suomessa on asia nostettu esille jo useita vuosia sitten (Välisalo et al. 2008). Kuvassa 1.4 on kuvattuna sosiaalisten ja ympäristövaikutusten osalta vesihuoltoverkkojen vikaantumisten ja onnettomuuksien seurauksia.

Varsinaisten kuntotutkimusten lisäksi verkko-omaisuuden kokonaisuuden arvioinnissa voidaan käyttää seuraavan listan mukaisia tarkasteluja (Loera, 2007):

1) ulkopuolinen tutkimus
    a. visuaalinen
        i. risteävät vesistöt
        ii. maan vajoaminen
        iii. alueen kasvillisuuden rehevyys
        iv. yksityisten/julkisten kiinteistöjen sijainti
    b. maaperäominaisuudet
        i. korroosio-ominaisuudet
        ii. maavesien reitit, ml. pohjavesi
    c. erityiset, verkkoa rasittavat rakenteet ja massat
        i. topografia
            1. maan paino
            2. luiskat
        ii. kadut ja tiet
        iii. rataliikenne
        iv. rakennukset ja sillat
    d. sähkölinjojen sijainti
        i. välittömästi vesihuoltoverkon läheisyydessä
        ii. todennäköisesti vaikuttavat linjat
        iii. magneettikenttien muodostuminen
2) sisäinen tutkimus
    a. visuaalinen
        i. liitosten halkeamat
        ii. putken halkeamat
    b. mekaaninen kuuntelu
        i. henkilötyönä
        ii. akustiset menetelmät
    c. sähkömagneettiset tutkimukset
        i. RFE-tekniikat
    d. hydrostaattiset ja hydrodynaamiset tarkastelut
        i. operatiivisten olosuhteiden seuraaminen, paineistuminen
        ii. operatiivisessa työssä aiheutuvat muutokset
            1. venttiilien sulkeminen
            2. paineistetun järjestelmän vaatimukset
        iii. vedenjakelun tarve, laajuus, ja järjestelmän ominaisuudet
    e. historiallinen tieto
        i. tilastollinen analyysi
            1. todennäköisyyksien määrittäminen




Kuva 1.4. Verkkovaurioiden aiheuttamia seurauksia (Ortega & Ross, 2012).

Yhdysvalloissa (Lewis et al. 2016) on äskettäin valmistunut One-Voice -projekti, jonka avulla pyritään nostamaan tietoisuus viemäriverkosta riittävälle tasolle, jotta mm. omaisuudenhallinta, viemäriverkkojen kuntotieto, verkkojen omistajien tietoisuus niiden kunnosta, sekä viemäriverkkoa heikentävien ja huonontavien prosessien merkitys saadaan riittävälle tasolle helpottamaan kuntapäättäjiä, vesihuoltolaitoksia ja asiakkaita erilaisissa tapauksissa. One-Voicen avulla pyritään helpottamaan tiedonkeruun, data managementin, eri toimijoiden yhteistyön lisäämisen (esim. yliopistot ja vesihuoltolaitokset), sekä erilaisten kuntotiedon ja -tutkimuksen keinoin vesihuoltolaitosten budjetointitarpeiden, kunnossapidon ja saneeraustoimenpiteiden perustelua ja eteenpäin viemistä omaisuuden hallinnasta vastaaville tahoille (kunnat, viranomaiset jne.). (Lewis et al. 2016)

Eurooppalainen Hydroplan-EU -hanke (de Gueldre et al. 2007) tähtäsi viemäriverkon omaisuudenhallinnan parempaan toteutumiseen Euroopassa. Siinä omaisuudenhallinnan järjestelmää testattiin viidella vesilaitoksella. Projektissa korostettiin paremman ja tehokkaamman omaisuudenhallinnan keinojen tarpeellisuutta vesi- ja viemäriverkoissa. (de Gueldre et al. 2007)

Viemäriverkkojen kuntotutkimuksen, saneerauksen ja uusimisen tavoitetasoista tehty tarkastelu (Anderson et al. 2015) Washington D.C.:n alueella osoitti, että viemäriverkkojen saneeraustasoa tulee riskikartoituksen perusteella lisätä tulevina vuosikymmeninä noin kaksinkertainen määrä nykytasoon verrattuna. Tarkasteltu verkko oli laajuudeltaan ja ikäjakaumaltaan hyvin samankaltainen kuin esimerkiksi HSY:n alueen viemäriverkko. Tarkastelussa lähtötietoina käytettiin putken halkaisijaa, putkipituuksia, putken poikkileikkauksen muotoa, virtaamatyyppiä, materiaalia ja ikää. Mitä vähemmän tiedetään omaisuudesta, sitä huonommin ja epätarkemmin sen kuntoa voidaan seurata ja ennustaa. Lähtötiedoista putken halkaisija oli tiedossa 99 % tapauksista, asennusvuosi 60 % ja materiaali vain murto-osalta oli tiedossa -> jouduttiin tekemään oletuksia. Vesilaitosten operatiivisen henkilökunnan kanssa käytiin keskusteluja datan eheytyksen yhteydessä. NR (näin rakennettu) -kuvia käytettiin, mikäli niitä oli saatavilla. Tilastollisesti merkittävää korrelaatiota putken iän ja kunnon välillä ei pystytty löytämään. Putken asennuksen aikana syntyneet/aiheutuneet viat ja virheet vaikuttavat suuresti. (Anderson et al. 2015)

Omaisuudenhallinnassa tärkeimpiä komponentteja ovat tunnistaminen (identifikaatio), paikallistaminen (esim. GIS-tietona) sekä omaisuuden kuntotieto. Verkko-omaisuuden omaisuudenhallinnassa oleellisia seikkoja ja tekijöitä ovat putken vikaantumiseen vaikuttavat tiedot, kuten verkon sijainti, putken tyyppi ja vikaantumisen vaikuttavuus. Vikaantuminen voi johtua äkillisestä, esim. putken romahtamisesta, tapahtumasta, hydrauliseen kapasiteettiin vaikuttavasta tapahtumasta tai monenlaisista muista tapahtumista, joiden seurauksena putki ei toimi enää riittävällä tavalla teknis-taloudellisesti. (Feeney et al. 2009).

Waicelanus jne. (2007) listasivat viisi tärkeintä tekijää, jotka on huomioitava vesihuoltoverkoista saatavan tiedon hallinnassa: (i) putkiomaisuuden seuranta ja hallinta tulee tehdä tehokkaasti ja järjestelmällisesti; (ii) riittävä joustavuus tiedon käytettävyydessä eri päätösprosesseissa; (iii) tiedon yhdistäminen ja tiedonhallinnan tuki eri tietojoukoille; (iv) tiedon skaalautuvuus ja yhdistettävyys muihin (toiminnanohjaus)järjestelmiin; (v) tietojen analysointimahdollisuudet. (Waicelanus et al. 2007)

Viemäriverkon kuntotutkimuksesta suurin osa kohdistuu viettoviemäreihin. Vuonna 2004 tehdyssä tutkimuksessa (Thomson et al. 2004 viittauksena artikkelissa Feeney et al. 2009) kuntotutkimusten kriittiset kohdat olivat: (i) viemärikuvauskaluston parantamisen tarve – korkeampi resoluutio, parempi valaistus, robotiikan parannukset, vikojen/esteiden havainnointi sekä niiden ohi liikkuminen, tonttiliitosten tutkimukset; (ii) painumien ja tulvimisen havaitseminen; (iii) putken rakenteellisen kunnon ja seinämäpaksuuden havainnointi; (iv) viettokaltevuuden määrittämisen vaikeudet; (v) kaivojen paikantamisen ongelmat; (vi) maaperän tilan määrittäminen putken ympärillä; (vii) korroosion havaitseminen ja luokittelu. (Feeney et al. 2009)

Verkkojen kuntotutkimuksen kustannukset muodostuvat (i) työväline- ja henkilötyökustannuksista sisältäen kaivutyöt, liikenteenohjauksen, katujen jälkikunnossapitotyöt, mittausvälineistö ja datan kerääminen; (ii) henkilötyökustannuksista ennen ja jälkeen kenttätyöskentelyvaiheen, datan analysoinnista ja raportoinnista; (iii) kunnossapitotyön aiheuttamat palvelun keskeyttämisen kustannuksista. (Feeney et al. 2009)

Kuntotutkimusohjelman avulla voidaan välttää ja/tai vähentää (i) hätäkorjausten kustannuksia; (ii) hallitsemattomien/laaja-alaisten palvelukatkosten aiheuttamia kustannuksia; (iii) korjaus-, korvaus- ja muiden kustannusten muodostuminen (rakennukset, muu omaisuus, ympäristö); (iv) terveydellisten uhkien ja epidemioiden kustannuksia; (v) suunnittelukustannusten ylittymistä; (vi) verkon saneeraus- ja korjausinvestointien liian aikaisen toteutumisen. (Feeney et al. 2009)

Viemäriverkon kuntotutkimusten on osoitettu (i) olevan selvästi alhaisempia kuin uudistamisen ja/tai korjaamisen kustannukset (yleisimmin käytössä olevilla putkikoilla alle 1% saneerauskustannuksista); (ii) olevan tehokas tapa kustannus-hyöty-suhteessa; (iii) paineviemäreillä olevan kalliimmat johtuen mm. linjan tyhjentämisen, ohituspumppausten ja putkeen mahdollisesti asennettavien erillisten liittymien vuoksi. (Thomson et al. 2008 viitteenä artikkelissa Feeney et al. 2009).

Suurin vaikeus kuntotutkimusten kohdentamisen, kuntoarvioiden ja omaisuudenhallinnan osalta suurimman hyödyn saavuttamisessa tutkijoiden Feeney et al. (2009) mukaan ovat vaikeudet verkkoinfran kriittisimpien osuuksien (kuten paineviemärit, suuret kokoojaviemärit) tutkiminen johtuen mm. jatkuvasta ja runsaasta virtaamasta tai ohituspumppausten hankaluudesta. Tällaisissa verkonosissa saattaa olla suuret määrät irtokertymää, ja ne saattavat olla maaperässä vuosikymmeniä ilman riittävää kuntotutkimustietoa. Nämä ongelmat koskevat sekä vietto- että paineviemäriosuuksia. (Feeney et al. 2009)

Verkkojen (niin kuin muunkin omaisuuden) omaisuudenhallinnan tärkeitä kysymyksiä ovat (Marlow et al. 2007): (i) mitä seurauksia omaisuuden vaurioitumisesta tulee?; (ii) kuinka paljon maksaa osuuden kunnostaminen/saneeraus tai uudelleen rakentaminen?; (iii) mitä vaihtoehtoja on huomioiden teknis-taloudellisen käyttöiän ja ominaisuudet? (Marlow et al. 2007 viitteenä artikkelissa Feeney et al. 2009)

Viemäriverkon toiminnan arvioimisessa kriittisimmät tiedot ovat (i) palvelutaso; (ii) lainsäädännön vaatimukset; (iii) ihmisten ja ympäristön terveyteen vaikuttavat seikat; (iv) ympäristönsuojelu. (Fleury and Warner 2007 viittauksena artikkelissa Feeney et al. 2009)

Taulukossa 1.5 on esitetty eri materiaalista valmistettujen vesihuoltoverkon putkien laskennallisia kestoikiä.

Taulukko 1.5. Eri materiaalista valmistettujen vesihuoltoverkkojen putkien laskennalliset kestoiät vuosina (Anderson et al. 2015; Kaukonen, 2018)

| Putkimateriaali | USA | Suomi |
|---|---|---|
| Asbestisementti (AC) | 125 | 40-100 |
| Tiili (BR) | 125 | 100 |
| Valurauta (CI) | 75-100 | jopa 150 |
| Betoni (raudoitettu) | 75-100 | 75-100 |
| Betoni (raudoittamaton) | 100 | 75-100 |
| Poimutettu teräs | 50 | jopa 120 |
| Pallografiittivalurauta | 75-100 | jopa 150 |
| HDPE | 50 | 50-100 |
| PVC | 50 | 50-100 |
| Teräs | 75-100 | 100 |

Tiedon kerääminen, hallinta ja käytettävyys vaatii suunnitelmallisia toimenpiteitä myös vesihuoltolaitoksilta (Møller Rokstad et al. 2016). Taulukossa 1.6 on listattuna verkosta kerättävän ja saatavan tiedon tarve putken elinkaaren eri vaiheissa (Stanić et al. 2012).

Taulukko 1.6. Tiedon tarve eri vaiheissa putken asentamisesta sen käyttöiän loppuun (Stanić et al. 2012).

| | Näin rakennettu -kuvat | Maaperän ominaisuudet | Kuntotutkimukset | Kenttähavainnot ja mittaukset |
|---|---|---|---|---|
| Putken sijainti | x | x | x | x |
| Putken ympärystäyttö | x | x | | |
| Putken perustukset | x | x | | |
| Liitokset ja liittymät | x | | x | |
| Materiaalitieto | x | | | |
| Rakenteelliset heikentymät | | | x | |
| Pohjaveden pinnan taso | | | | x |
| Juurien tunkeutuminen verkkoon | | x | x | x |
| Liikennekuorma | | | x | x |

**Kuntotutkimustulosten hyödyntäminen vuotovesitutkimuksissa ja ylivuotojen hallinnassa**

Vuotovesien hallinta on tärkeää paitsi vesijohtoverkoissa, joissa vuotavuus aiheuttaa veden hävikkiä verkosta, myös viemäriverkossa, jossa sisään vuotavat vesimassat voivat olla 15 – 80 % jätevedenpuhdistamolle tulevista vesistä. Viemäriverkkoon tulevat vuotovedet laimentavat puhdistamoilla käsiteltävää jätevettä, mikä aiheuttaa ongelmia puhdistusprosessin toiminnassa ja kemikaalien annostelussa. Sen lisäksi verkon ylimääräiset vedet täytyy pumpata yleensä moneen kertaan, ja ne aiheuttavat paineita li-

sätä verkon kapasiteettia sadetapahtumia vastaaviin lukemiin. Viemäriverkon vuotovesitutkimusta voidaan tehdä määrällisten ja laadullisten mallien avulla (Karpf & Krebs, 2003).

Vuotovesien päätyminen viemäriverkkoon voi johtua putken iästä, tyypistä, pohjaveden pinnankorkeudesta tai putken sijainnista (maatäyttö, katu jne.). Myös putken rakentamisen ja tutkimuksen menetelmät saattavat vaikuttaa siihen, havaitaanko/löydetäänkö vuotokohdat verkosta riittävällä tarkkuudella. (Dent et al. 2003)

Viemäriverkon vuotovedet aiheuttavat: (i) hydraulista ylikuormittumista ja tulvimista viemäriverkossa ja jätevedenpuhdistamoilla; (ii) lisääntyneitä sekaviemäriverkon ylivuotoja; (iii) alentunutta puhdistustulosta laimentumisen vuoksi; sekä (iv) lisääntyneitä energiakustannuksia pumppaamoilla. (Kretschmer et al. 2008)

Gokhale ja Graham (2004) tutkivat ECT-menetelmää FELL-41, jonka avulla pystytään tutkimaan ja analysoimaan viemäreiden vuotovesikohtia ja -lähteitä. Tutkimuksessa hyödynnettiin myös hydraulista mallinnusta, jonka avulla saatiin arvioitua alueet, joilla vuotovesiä muodostuu eniten, ja alueet, joilla verkon vuotovedet aiheuttavat eniten ongelmia ja haittoja. (Gokhale & Graham, 2004) Menetelmästä on lisää tässä oppaassa luvussa 3.8.

Viemäriverkon vuotovesien vähentämisen osalta saneerausten ja kunnossapitotoimenpiteiden tehokas ohjelmointi ja priorisointi on tärkeää. Tehokkailla ja toimivilla järjestelmillä pystytään vähentämään tulvimista, lisäämään vapaata kapasiteettia verkossa sekä vähentää ylivuotoja. (Dutt, 2003)

## 1.3 VERKKOJEN VIKAANTUMISEN SYYT

Viemäriverkkoihin liittyvissä vikatilanteissa aiheutuu monenlaisia vaikutuksia moniin tahoihin (taulukko 1.7, Hahn et al. 2002).

Taulukko 1.7. Verkkojen kuntotiedon ja tiedonhallinnan tietopohjan sisältöä (Hahn et al. 2002).

| | | Vikaantumisen todennäköisyys | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Rakenteelliset viat | | | | | |
| Vikaantumisen seuraukset | | | Materiaalin hajoaminen/huononeminen | | | Operationaaliset viat | |
| sosio-ekonomiset vaikutukset | uudelleen rakentamisen vaikutukset | Rakenteelliset viat | Sisäpuolinen korroosio | Ulkopuolinen korroosio | Eroosio | Vuotovedet | operationaaliset viat |
| Terveydelliset vaikutukset<br>Ympäristö<br>Yritykset<br>Liikenne | Tunnelointi<br>Maapinnan korjaaminen<br>Pääsyn/kulun estyminen | Asennushistoria<br>Materiaali<br>Ikä<br>Maaperä<br>Pohjavedenpinta<br>Pintakuormat<br>Ulosvirtaus<br>Aikaisemmat tutkimustiedot | Materiaali<br>Jäteveden lämpötila, BOD ja korrosiiviset kemikaalit<br>Putken rakenne<br>Virtausnopeus<br>Aikaisemmat tutkimustiedot | Materiaali<br>Maaperän happamuus/aggressiivisuus<br>Maavesien virtaukset<br>Ulkopuolinen pinnoitusmateriaali<br>Katodisuojaus<br>Aikaisemmat tutkimustiedot | Materiaali<br>Irtonainen maakerros/irtokertymä<br>Luonnonvesien johtuminen verkkoon<br>Aikaisemmat tutkimustiedot | Rakenteelliset viat<br>Maaperätyyppi<br>Pohjavedenpinta<br>Aikaisemmat tutkimustiedot | Tunnetut juuristoongelmat<br>Puita linjojen yläpuolella<br>Tunnetut irtokertymäongelmat/tukkeumat<br>Tunnetut ylivuodot<br>Tunnettu paineistuminen<br>Aikaisemmat tutkimustiedot |

Stanić jne. (2012) artikkelissa on hyvin kattavasti listattu verkkoa ympäröivään maaperään liittyviä, putken kuntoa heikentäviä ja huonontavia ominaisuuksia (Taulukko 1.8). Samojen tekijöiden (Stanić et al. 2012) artikkelissa on taulukoitu putkien asentamisen

ja kuntotutkimuksen eri vaiheissa tarvittavia tietoja, joita on syytä kerätä ja seurata koko putken elinkaaren ajan.

Taulukko 1.8. Vesihuoltoverkkojen putkien asennukseen sekä ympärystäyttöön liittyviä, verkon kuntoon vaikuttavia tekijöitä (Stanić et al. 2012).

| Putken asennuksen vaihe | Ongelman tai haitan aiheuttaja |
|---|---|
| Virheellinen putken sijainti | • huono/väärä kaivannon täyttömaa<br>• valvonnan puute<br>• putkien liitokset puutteelliset |
| Putken vaurioituminen asennettaessa | • huono/väärä kaivannon täyttömaa<br>• valvonnan puute |
| Väärin toteutetut liitokset ja/tai liittymät | • ammattitaidon puute asennustyössä<br>• valvonnan puute<br>• liiallinen improvisaatio toteutuksessa (= ohjeistuksen puutteet?) |
| Väärä materiaali- ja/tai tyyppivalinta putkilla ja liitoksilla | • kokemattomat suunnittelijat<br>• laadunvarmistuksen puutteet<br>• riittävän tiedon puutteet |
| Materiaalien rakenne heikentynyt | • alhainen rakennekestävyys muoviputkilla<br>• viemäriverkon putkimateriaalien heikentyminen |
| Pohjaveden pinnan taso | • korkea pohjaveden pinnan taso<br>• aggressiivinen pohjavesi |
| Puiden sijainti putkiverkkoon nähden | • puut, joilla on syvät juuret<br>• puut sijaitsevat putkilinjojen päällä/läheisyydessä<br>• puille suotuisa maaperä |
| Puutteet kuljetuksessa ja varastoinnissa | • väärä lastaustapa<br>• väärä säilytystapa |

Taulukossa 1.9 on listattu tyypillisimmät viat eri materiaalia olevissa viemäriverkoissa (Thomson et al. 2004).

Taulukko 1.9. Tyypillisimmät viat eri materiaalia olevissa viemäriverkoissa. (Thomson et al. 2004)

| Vika | B | AC | PCCP | V | T | R | Ti | PVC | HDPE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Juuret | x | x | x | x | x | x | x | | x |
| Rasva | x | x | x | x | | x | x | x | x |
| Halkeamat | x | x | | | | x | | | |
| Sisäpuolinen korroosio | x | x | x | x | x | | | | |
| Ulkopuolinen korroosio | | | x | x | x | | | | |
| Vuotavuus | x | x | | x | | x | | x | |
| Liitosten vuotavuus | x | | x | | x | | | | |
| Vuotavat tonttijohdot | | | | x | | | | | x |
| Virheellinen asennus | | | | x | | | | x | x |
| Liittymien virheelliset asennukset | | x | | x | | x | | | |
| Muodonmuutos | | | | | x | | | x | x |
| Muut | 1 | | | | | | 2 | 3 | 4 |

B = betoni, AC = asbestisementti, PCCP = esijännitetty betoni, V = valurauta, T = teräs, R = ruukkuputki, Ti = tiilivuoraus, PVC = PVC-muovi, HDPE = high-density polyethene, 1 = tiivistevaurio, 2 = puuttuvat tiilet jne., 3 = tonttijohdot, 4 = painekestävyys (vain pääviemärit)

Muutokset viemäriveden laadussa, määrässä ja koostumuksessa vaikuttavat viemäriverkkojen tukkiutumisalttiuteen (Mattsson et al. 2014). Näitä tekijöitä ovat mm. (i) muutokset ravintotottumuksissa, esimerkiksi lisääntynyt rasvojen (fat, oil and grease, FOG) määrä viemärivedessä (Marvin and Medd, 2006 viitteenä artikkelissa Mattsson et al. 2014), (ii) ruokajäämien laskeminen viemäriverkkoon (Mattsson ja Hedström, 2012 viitteenä artikkelissa Mattsson et al. 2014), sekä (iii) verkkojen rakenteellisen eheyden rapautuminen ja vuotovesien lisääntyminen (Malm et al. 2011 viitteenä artikkelissa Mattsson et al. 2014). Ruotsalaisessa tutkimuksessa havaittiin, että tukosten kirjaaminen ja sijainnin hyödyntäminen verkon hallinnassa oli suurimmassa osassa kuntia puutteellinen ja tieto niistä oli vain joidenkin työntekijöiden muistin varassa. (Mattsson et al. 2014)

## 1.4 OPPAAN PÄIVITTÄMISEN TARPEET

Suomessa aiheesta on julkaistu aiemmin kolme opasta: ”Viemäreiden ja vesijohtojen TV-kuvauksen teettämisohjeet” (VVY, 1998), ”Viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohje” (VVY, 2005) sekä ”Viemärikaivojen kuntotutkimusohje” (VVY, 2013). Näiden oppaiden kirjoittamisen jälkeen teknologia, menetelmät ja yleinen kehitys on mennyt huimasti eteenpäin niin verkkojen kuin kaivojen kuntotutkimuksissa sekä analysoinnin apuvälineinä. Kaikkien näiden oppaiden sisältö tulee tarkistaa, tarkentaa ja päivittää nykyvaatimuksia ja -mahdollisuuksia vastaavaksi, jotta verkkojen ja viemärikaivojen kuntotutkimuksista saadaan tehokkaimmilla välineillä paras tieto vesihuoltolaitosten ja verkkojen omistajien käytettäväksi.

Suomessa on perinteisellä viemärikuvausmenetelmällä tutkittu verkkoja 1970-luvulta. Tämän vuoksi alan toiminta on muotoutunut nykyisenkaltaiseksi, mutta muutoksen tarpeellisuudesta ollaan vesilaitoskentällä hyvin yhtä mieltä. Oppaan tarve on vesilaitoksista ja Vesilaitosyhdistyksestä käsin osoitettu.

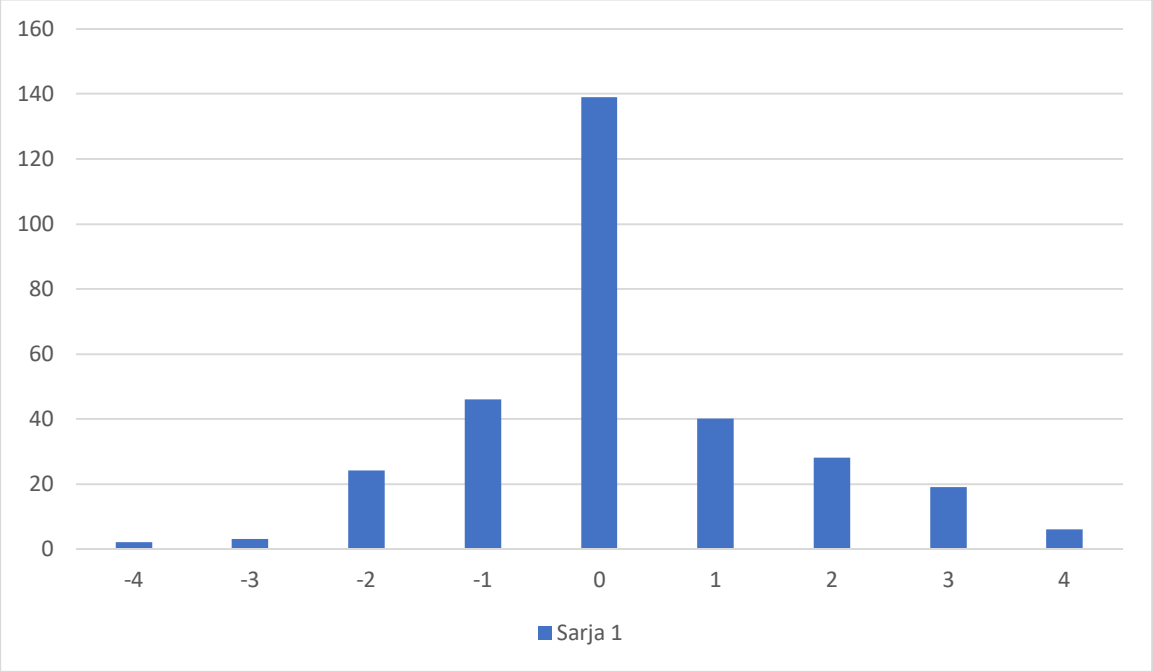
Tässä oppaassa tuodaan esille kuntotutkimusten tekemisen kehitystä, uusia menetelmiä sekä tapoja, joiden avulla verkko ja siitä saatava tieto saadaan tehokkaasti hyödynnettyä. Standardissa SFS-EN 13508-2 kuvattu tulkintaohje pysyy ennallaan, tässä oppaassa keskitytään tekniikoiden kuvaukseen ja vertailuun.

Kansainvälisesti päivitettyjä tai uusia verkkojen kuntotutkimusoppaita (pääasiassa keskittyen viemäriverkojen kuntotutkimukseen) on viime vuosina julkaistu esimerkiksi Itävallassa (Gangl et al. 2007), Norjassa (Norske Vann, 2017), Yhdysvalloissa (Feeney et al. 2009) ja Australiassa (Queensland Government A ja B). Lisäksi esimerkiksi Saksassa on julkaistu raportteja, joissa on käsitelty matemaattisia verkkojen hajoamismalleja sekä vikojen koodausta (Kley & Caradot, 2013; Kley et al. 2013). Kaikki em. oppaat ja raportit ovat huomioineet alalla tapahtuneen teknisen kehityksen, vaikkakaan missään näistä oppaista ei ole huomioitu esimerkiksi tiedonsiirron merkitystä tai tutkimusten automaattista tulkintaa sillä laajuudella kuin tässä oppaassa tullaan asiat esittämään ja käsittelemään. Näistä oppaista löytyy kuitenkin runsaasti materiaalia, jota hyödynnetään myös tässä oppaassa.

Kirjallisuudesta löytyy runsaasti tutkimuksia, joissa käsitellään ns. perinteisen viemäreiden kuntotutkimusmenetelmän, eli viemärikuvauksen (CCTV-kuvaus), ja siihen kiinteästi tällä hetkellä liittyvän henkilötyönä tehtävän tulosten ja havaintojen tulkinnan ja raportoinnin rajoitteita, virheitä ja puutteita.

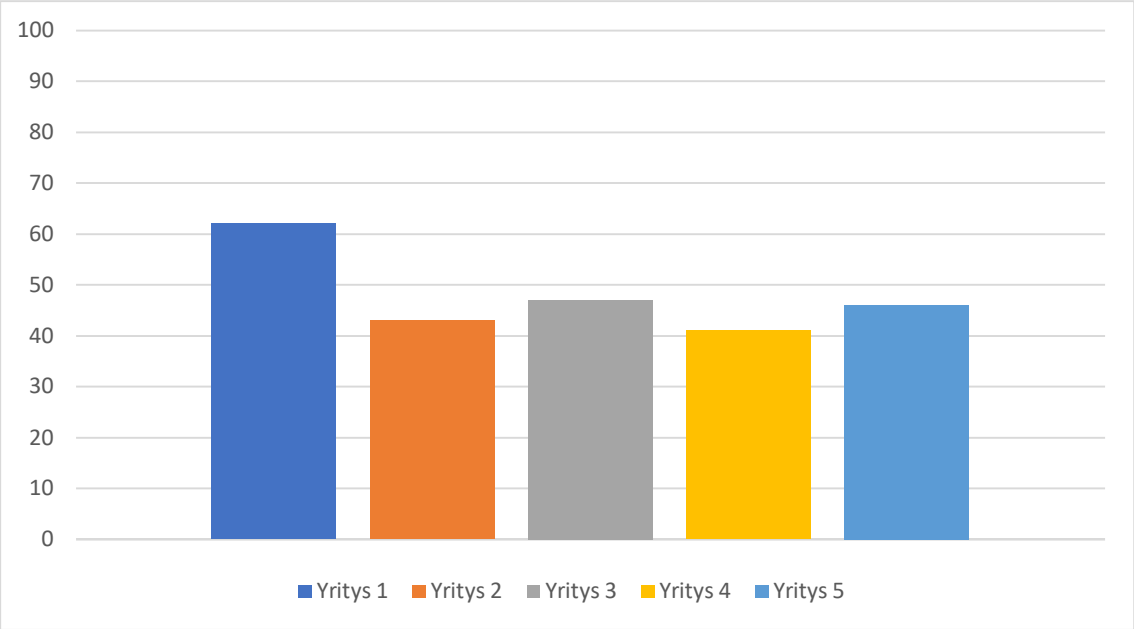
Saksalaisissa tutkimuksissa (Hüben, 2002; Müller, 2006) havaittiin, että viemäreiden kuntotutkimusten tulokset vaihtelevat erittäin suuresti eri toimijoiden tulkinnoissa. Esimerkiksi kuvassa 1.5 on esitetty tulosten ja havaintojen hajonta tutkimuksessa, jossa

307 ammattilaista tulkitsi saman verkko-osuuden kuvauksen (Müller, 2006). Ko. tutkimuksessa yli puolet tulkinnoista erosi keskimääräisestä tulkinnasta.




Kuva 1.5. Eroavaisuudet verkko-osuuden kuntoarvioissa, kun saman putkiosuuden analysoi 307 kuntotutkimuksen tulkinnan ammattilaista (Müller, 2006).

Itävaltalaiset tutkivat viiden kuntotutkimuksia suorittavan yrityksen toimintaa, ja havaitsivat suurta hajontaa tuloksissa, vaikka koulutus on toteutettu kaikille yrityksille vakioituna (Kuva 1.6, Gangl et al. 2007). Tutkimuksessa havaittiin, että eri yritykset/eri henkilöt tulkitsivat havainnot eri tavalla, ja osa tuloksista ja havainnoista oli esitetty puutteellisesti tai jopa aivan väärin (Gangl et al. 2007), eikä putkiosuuden kuntoarvioissa mikään yrityksistä yltänyt riittävälle tasolle (jota tässä tutkimuksessa käytettiin 80 % tulkintatasoa).




Kuva 1.6. Eri yritysten suorittamat tulkinnat tutkimuksessa käytetystä aineistosta, prosentuaalinen osuvuus putkiosuuden todelliseen tilanteeseen (Gangl et al. 2007).

Verkkojen kuntotutkimuksen avuksi on kehitetty runsaasti eri menetelmiä, joiden avulla saadaan eri tarkoituksiin riittävän tarkkaa ja riittävää tietoa omaisuuden hallinnan pohjaksi (esim. Makar, 1999; Allouche & Freure, 2002; Costello et al. 2007). Kaikki ne osoittavat, että ei ole olemassa vain yhtä menetelmää tai menetelmäpakettia, jonka avulla verkkojen fysikaalista ja kemiallista kuntoa voidaan tutkia ja seurata. Tärkeää on havaita, että erilaisiin tarkoituksiin saatetaan tarvita erilaisten kuntotutkimusmenetelmien kombinaatioita. Kuvassa 1.7 on esitetty eräs jaotelma erilaisten kuntotutkimusmenetelmien suhteen. Tässä oppaassa esitetään erilaisiin tarpeisiin soveltuvia menetelmäkombinaatioita, jolloin saadaan hyödynnettyä eri menetelmien ja tekniikoiden soveltuvuuksia tietyntyyppisiin tarkasteluihin.

Vesihuoltolaitosten insinöörit, tekninen henkilökunta, hallinnollinen henkilöstö sekä poliitikot hyötyvät verkkoon liittyvistä päätöksistä, jotka perustuvat luotettavaan tietoon (dataan), yhtenäisiin suunnitteluperiaatteisiin sekä yleisesti hyväksyttyihin taloudellisiin arvoihin (Vanier, 2001).

Kuva 1.7. Viemäriverkon äkilliseen hajoamiseen johtaneet syyt, tilastotietoa Yhdysvalloista vuosilta 1989-2008. (Purtell, 2010).

Viemäriverkon uusiutumisikä suomalaisilla vesilaitoksilla vaihtelee sadoista jopa tuhansiin vuosiin, riippuen mm. laskenta- ja raportointitavasta (suullinen tieto, Mika Rontu, VVY). Tuo on kestämätön tilanne verkkojen osalta, sillä vaikka verkkojen oletettava kestoikä on optimaalisissa olosuhteissa jopa kaksisataa vuotta (viittaus VTT:n raporttiin), käytännön havainnot ovat osoittaneet verkon ”todelliseksi” kestoiäksi vain kymmeniä vuosia. Vesijohtoverkoissa tilanne on vastaava.

## 1.5 PROJEKTIN MENETELMÄT JA TOTEUTUS

Tämä opas toteutettiin VVY:n kehittämisrahaston sekä vesilaitosten, urakoitsijoiden ja muiden alan toimijoiden rahoituksen turvin. Projektin aikataulu oli 1.1.-30.9.2018. Projektin aikana järjestettiin kolme ohjausryhmän kokousta, kaksi rahoittajaryhmän kokousta sekä kick-off -tilaisuus, jonne kutsuttuun laajempi osallistujamäärä.

Ohjausryhmään kuuluivat projektiryhmä (Tiia Lampola ja Sakari Kuikka), Mika Rontu (VVY), Pentti Janhunen (HSY), Timo Kyntäjä (Kouvolan Vesi), Arto Peltola (Turun Vesihuolto), Hannu Mustonen (Lahti Aqua), Samuli Hautanen (Lassila & Tikanoja), Dan-Olof Palm (Delete Finland Oy), Teemu Pohjanoksa (Delete Finland Oy), Pentti Keränen (Ramboll Finland Oy), Tuulia Innala (Kuntaliitto).

Rahoittajaryhmään kuuluivat projektiryhmä (Tiia Lampola ja Sakari Kuikka), Mika Rontu (VVY), Pentti Janhunen (HSY), Timo Kyntäjä (Kouvolan Vesi), Arto Peltola (Turun Vesihuolto), Hannu Mustonen (Lahti Aqua), Samuli Hautanen (Lassila & Tikanoja), Dan-Olof Palm/Teemu Pohjanoksa (Delete Finland Oy), Jukka Huusko/Matti Ojala/Jari Kaukonen (FiSTT), Niina Mäkinen/Matti Huttunen (Sipoon Vesi), Leo Aspholm (HS-Vesi), Peter Ekstam (Porvoon Vesi), Tommi Virtanen (Riihimäen Vesi), Irma Hyry/Jari Jantunen (Vaasan Vesi).

Projektin aikana hanketta esitettiin lukuisissa tilaisuuksissa niin kotimaassa kuin kansainvälisestikin.

Oppaan laatimista avusti vesihuoltotoimijoille suunnatut haastattelut, joissa haastateltiin kahdeksan (8) vesilaitosta, kaksi (2) kuntotutkimusurakoitsijaa, kaksi (2) suunnittelutoimistoa ja neljä (4) muuta asiantuntijaa.

Projektin alussa oltiin yhteydessä pohjoismaisiin vesilaitosyhdistyksiin, joiden kanssa sovittiin tiedonvaihdosta ja kommentoinnista.

# 2 YLEISET EDELLYTYKSET KUNTOTUTKIMUKSILLE

Verkkojen kuntotutkimuksia tehtäessä ja teetettäessä tulee huomioida perus- eli lähtötiedon laadun ja laajuuden osalta siitä, että päästään riittävän luotettavasti mm. suunnittelemaan ja ohjaamaan kuntotutkimusprosessia. Monet lähtötiedoista ovat kuitenkin sellaisia, että ne voidaan tarkistaa ja tarkastaa myös kuntotutkimusprosessin aikana kenttäolosuhteissa. Siitä huolimatta riittävät lähtötiedot ovat olennaisen tärkeitä, jotta kuntotutkimusprosessia voidaan ensinkään suorittaa.

Mikäli vesihuoltolaitoksella on useita tietokantoja ja/tai lähtötiedon säilytykseen käytettyjä tiedostoja, niiden tiedot voidaan yhdistää esimerkiksi FME-ohjelmistolla (Safe Software Inc.). Myös paikkatieto-ohjelmien sekä verkkotietojärjestelmien avulla pystytään osa näistä tehtävistä tekemään. Sen avulla saadaan yhdistettyä, muokattua ja tarkasteltua lähtötietoja paikkatietojen kannalta. Lisäksi sen avulla voidaan verkon eri osille laskennallisesti antaa arvoja, kuten rakennusvuosia, putkien halkaisijoita jne., erilaisten oletusten avulla. Tällaisia oletuksia ovat mm. ympärillä olevan verkon rakennusvuosi-, koko- ja materiaalitiedot. FME-ohjelmiston avulla saadaan myös esim. maanpintaan nähden asetettua verkon kaivoille korkotiedot. Näin saadaan verkosta ja verkkotiedosta yhtenäisempi kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää paremmin esimerkiksi hydraulisen mallinnuksen ja muiden matemaattisten analysointimenetelmien hyödyntämisessä verkon kuntotutkimusten kohdentamisessa. (Sänkiaho & Lampola, 2018)

## 2.1 VAADITTAVAT LÄHTÖTIEDOT VERKOSTA

Verkoista tulee olla riittävästi lähtötietoja, jotta tehtävistä kuntotutkimustarkasteluista saadaan toivottuja tuloksia tehokkaasti ja riittävän nopeasti. Tällaisia lähtötietovaatimuksia on esitetty taulukossa 2.1. Taulukossa on myös mainittu keinoja, joiden avulla voidaan kyseistä lähtötietoa tarkentaa sekä varmistua laitoksella olevien lähtötietojen oikeellisuudesta myös kuntotutkimusprosessin osana.

Taulukko 2.1. Kuntotutkimustoimeksiantojen lähtötiedot, niiden merkitys sekä keinoja parantaa ko. tietoa.

| Lähtötieto, jolla on merkittävä vaikutus kuntotutkimusprosessin onnistumiselle | Tietojen merkitys kuntotutkimusprosessille | Keinoja ja menetelmiä, joiden avulla ko. lähtötietovaatimuksen osalta saadaan tilannetta parannettua |
|---|---|---|
| Sijaintitieto (paikkatieto) verkosta | Pystytään kohdentamaan kuntotutkimustoimet oikeaan verkon osaan.<br><br>Pystytään rajaamaan verkosta pois osat, joita ei tarvitse tarkastella.<br><br>Tunnistetaan mm. kaivot ja muut rakenteet kyseisestä verkonosasta. | Sähköinen verkkokartta.<br><br>Verkkokartassa olevien tietojen luotettavuuden ja kattavuuden parantamista tehdään esim. FME-ohjelmiston avulla.<br><br>Verkon tarkemittausohjelman avulla saadaan tarkennettua Verkon paikkatietoa.<br><br>Kuntotutkimusprosessin yhteydessä käytetään esim. GPS-paikanninta, jonka avulla saadaan verkkokartan tietoja tarkennettua ja parannettua. |
| Verkon ja kaivojen koko- ja materiaalitieto | Vaikuttaa suoraan mm. käytettävän laitteiston vaatimuksiin.<br><br>Pystytään tarkentamaan kuntotutkimustoimeksiantoja esim. vain tietyn materiaalin verkkoon.<br><br>Myös esim. kaivojen kokotieto on tärkeä lähtötieto, jotta voidaan suunnitella kuntotutkimusprosessi oikein. | Verkkokartassa olevaa tietoa tarkennetaan ns. muiden töiden ohella, eli huomioidaan esim. kunnossapitoprosesseissa riittävällä tarkkuudella, jolloin saadaan tätä tietoa tarkennettua vähitellen.<br><br>Verkkokartassa olevien tietojen luotettavuuden ja kattavuuden parantamista voidaan tehdä esim. FME-ohjelmiston avulla. |

Verkosta saatavan paikkatiedon laatu ja oikeellisuus tulee varmistaa. Nämä voidaan tehdä tarvittaessa kuntotutkimustoimeksiannon aikana, tai erillisenä toimeksiantona.

## 2.2 KUNTOTUTKIMUSTEN KOHDENTAMINEN SEKÄ MENETELMÄVAIHTOEHTOJA

Verkkojen kuntotutkimuksia teetätetään ja tehdään monenlaisista lähtökohdista ja tarpeista. Näihin tarpeisiin vaikuttavat vesilaitos, vesilaitoksen asiakkaat, kunnat ja kuntapäättäjät, valtion (lainsäädännön) asettamat vaatimukset ja edellytykset, ympäristöasiat jne. Seuraavassa on esitetty erilaisia kuntotutkimuksen menetelmä- ja tarkasteluvaihtoehtoja. Lisäksi jokaisen tarpeen kohdalla on kerrottu kyseisen tiedon merkitys vesilaitoksen koko verkon kuntotutkimusten toteuttamistarpeisiin sekä mm. saneerauksen apuna. Jokaisessa kohdassa on myös luettelomaisesti esitetty mahdollisia kuntotutkimusmenetelmiä, joiden avulla kyseiseen tarpeeseen pystytään vastaamaan.

- Verkon yleinen luokittelu, ns. esiselvitystasoiset menetelmät
    - Lähtökohtaisesti tässä tarkastelussa tutkitaan koko verkkoa, joka voidaan jakaa helpommin toteutettaviin kokonaisuuksiin, esim. kaupunginosittain tai taajamittain.
    - Menetelminä voidaan käyttää esim. kriittisyysluokitusta, zoom-tutkimusta, data-analyysejä ja muita tilastollisia menetelmiä. Näiden lähtötietoina käytetään verkosta olemassa olevaa sähköistä tietokantaa, henkilöiden tiedossa olevia tietoja jne.
    - Tämän vaiheen lähtötietojen hankkiminen ja kokoaminen voi olla suuri ponnistus, mikäli vesilaitoksella ei ole verkkotietoja ja havaintoja koottu järjestelmällisesti yhteen paikkaan. Verkosta saatavaa lähtötietoa voidaan myös tarkentaa esim. FME-ohjelmiston avulla.
    - Yleiseen verkon luokitteluun soveltuvilla menetelmillä saadaan myös hyvälaatuisesta verkosta riittävä tieto jatkotyöskentelyn pohjaksi.
    - Näiden menetelmien avulla saadaan kohdistettua työläämmät kuntotutkimustoimenpiteet verkon osuuksiin, joissa ko. tietoa tarvitaan. Saadaan luokiteltua verkko eri kuntoisiin verkonosiin. Menetelmien avulla voidaan osoittaa (menetelmästä riippuen konkreettisesti tai tilastollisesti) saneeraus- ja huoltotarpeessa olevat verkonosat.
- Verkon virtaamamittaus
    - Virtaamatarkasteluissa huomio kiinnitetään valuma-aluemaiseen tarkasteluun. Virtaamamittarit sijoitetaan verkon kohtiin, joihin tutkittavan alueen viemärivedet johdetaan. Tällaisia kohtia voivat olla esim. kokoojapumppaamoiden tuloaltaat, verkon risteyskaivot jne.
    - Virtaamamittaukseen on käytettävissä monenlaisia menetelmiä. Viemäriverkon ominaispiirteiden vuoksi puhtaalle vedelle soveltuvat menetelmät eivät välttämättä sovellu sellaisenaan.
    - Pinnankorkeusmittausten avulla voidaan analysoida virtaamaolosuhteiden muutoksia verkostossa, ja saadaan näkyviin esimerkiksi sadetapahtumien aiheuttamat muutokset.
    - Menetelmiä voivat olla magneettinen virtaamamittaus, ultraäänimittaus, erilaiset mittapadot jne. Jäteveden ominaisuudet (runsaasti kiintoainesta, tukkeutuvuusalttius jne.) tulee huomioida menetelmää valittaessa.

    - Virtaamamittauksista saadaan tietoa, jonka avulla voidaan kohdentaa viemäriverkon kuntotutkimustoimeksiannot tarkemmin mittauspisteestä ylävirtaan.
    - Virtaamamittausten avulla saadaan käsitys verkon sisään kulkeutuvista vuotovesistä, jotka voivat olla sateen tai vesistöjen (myös maanalaisten) aiheuttamia. Myös vesijohtoverkon vuotavuudesta saadaan tällä menetelmällä epäsuorasti tietoa, mikäli vesijohtovesi joutuu viemäriin.
- Viemäreiden kuvaaminen läpiajettavalla laitteistolla
    - Vaatii verkon esipesun. Pesumenetelmistä on lisää kappaleessa 2.6. Verkon pesumenetelmän valinta ja pesutuloksen laadunvarmistaminen ovat tärkeitä seikkoja, jotta viemäreiden kuntotutkimus läpiajettavalla kameralla onnistuu hyvin.
    - Viemäriverkon kuntotutkiminen läpiajettavalla laitteistolla on melko hidas ja monivaiheinen prosessi, jonka vuoksi esitutkimiseen kannattaa hyödyntää esimerkiksi yllämainittuja menetelmiä. Tällöin saadaan tämä verkon kuntotutkimusten työläin vaihe kohdennettua niihin verkonosiin, joissa on sille tarvetta.
    - Menetelmävaihtoehtoja on kaksi: videokuvaus sekä yksittäisten kuvien yhdistämisenä toteutettava kuntotutkimus. Digitaalisesti toteutettavasta materiaalista saadaan suoraan tietokoneella mittauskelpoista sekä vertailukelpoista aineistoa.
    - Läpiajettavilla laitteistoilla verkosta saadaan runsaasti yksityiskohtaista tietoa, jonka perusteella verkon kunto saadaan luokiteltua ja ohjattua esim. saneeraussuunnittelun lähtötiedoiksi.
    - Läpiajettavilla laitteistoilla saadaan putkista vain visuaaliset havainnot, eikä rakenteellista kuntoa voida arvioida ilman muita menetelmiä.
- Laserskannaus
    - Vaatii verkon esipesun. Pesumenetelmistä on lisää kappaleessa 2.6. Verkon pesumenetelmän valinta ja pesutuloksen laadunvarmistaminen ovat tärkeitä seikkoja, jotta viemäreiden kuntotutkimus läpiajettavalla kameralla onnistuu hyvin.
    - Tämä menetelmä liitetään yleensä esim. läpiajettavalla kameralla tehtävän tutkimuksen laitteistoon. Erilaisia teknisiä ratkaisuita on useita.
    - Verkon laserskannauksen avulla saadaan verkosta 3D-malli, jonka avulla voidaan esim. arvioida putken seinämän vahvuus, painumat, muodonmuutokset jne. silmämääräistä arviota tarkemmin.
- Kaikuluotaukseen perustuvat verkkojen kuntotutkimukseen soveltuvat tekniikat
    - Erilaisia menetelmiä, joissa kauempaa lähetetyn signaalin paluukaikua tutkitaan ja analysoidaan.
    - Esimerkiksi maaperätutkat.
    - Näillä menetelmillä saadaan paikannettua ja tarkasteltua verkon osia maan pinnalta käsin.
    - Osassa menetelmiä pystytään jopa tarkastelemaan maaperässä olevien putkiosuuksien seinämävahvuutta.
- Akustiset kuntotutkimusmenetelmät
    - Perustuu ääniaaltojen etenemiseen ja rekisteröitymiseen kohdeanturiin.
    - Menetelmiä ovat esimerkiksi vuotoanalysaattorit sekä sonar- ja ultraääniteknologiat.

    - Menetelmissä on rajoitteita esimerkiksi verkon koko- ja materiaaliominaisuuksien osalta. Osa menetelmistä ei vielä ole täysin valmiita vesihuoltoverkkojen kuntotutkimuksiin.
    - Näillä menetelmillä saadaan tutkittua materiaalin lujuutta, seinämävahvuutta jne. verkoissa.
- Sähköiset kuntotutkimusmenetelmät
    - Perustuu sähkövirran ja sähkömagneettisten ominaisuuksien havaitsemiseen.
    - Menetelmiä ovat esim. sähköinen vuotojenetsintämenetelmä, ElectroScan-menetelmä, ECT- ja RFEC-menetelmät.
    - Menetelmissä on rajoitteita esimerkiksi verkon koko- ja materiaaliominaisuuksien osalta. Osa menetelmistä ei vielä ole täysin valmiita vesihuoltoverkkojen kuntotutkimuksiin.
    - Menetelmien avulla saadaan havaittua esimerkiksi vuotokohdat sekä materiaalin ainevähenemät.

Kaikista em. menetelmistä ja muista verkkojen kuntotutkimuksiin soveltuvista tekniikoista on tarkempia kuvauksia luvussa 3.

## 2.3 KOULUTUS JA KOULUTTAUTUMINEN KUNTOTUTKIMUSPROSESSIN ONNISTUMISESSA

Uusien menetelmien sekä vanhojen menetelmien päivitetyt koulutukset tulee suunnata ensisijaisesti tilaajille, jotta heidän osaamisensa, ymmärryksensä sekä toimintatapansa mahdollistavat uusien menetelmien käyttöönoton viemäreiden kuntotutkimuksissa. Koulutusta tulee suunnata myös kuntotutkimuksia suorittaville urakoitsijoille, verkkojen omistajille/haltijoille (kunnat, vesiosuuskunnat jne.) sekä suunnittelutoimistoille. Verkon pesun suorittavat urakoitsijat tai vesilaitoksen henkilökunta tulee kouluttaa siten, että puhdistustulokset vastaavat kuntotutkimusten tarpeisiin ja vaatimuksiin. Koulutusta tulee tarjota eri menetelmistä ja niiden käytettävyydestä: esimerkiksi putkien rakenteellisen kunnon arviointiin yleisesti käytössä olevat läpiajettavat menetelmät eivät anna riittävästi tietoa.

Koulutuksen hallitsemiseksi ehdotamme tarkempaa pätevyysvaatimuksia seuraavaa ja osaajien rekisteriä ylläpitävää puolueetonta tahoa, kuten VVY tai Ympäristöministeriö. Tällöin saadaan viemäreiden (ja muun verkko-omaisuuden) kuntotutkimusten tekijöiden osaaminen järjestelmällisesti ja yksiselitteisesti jalkautettua, hallinnoitua sekä seurattua valtakunnallisesti. Keskitetyllä valvonnalla parannetaan vesihuollon verkko-omaisuuden hallintaa koko maassa, niin pienissä kuin suurissakin yksiköissä.

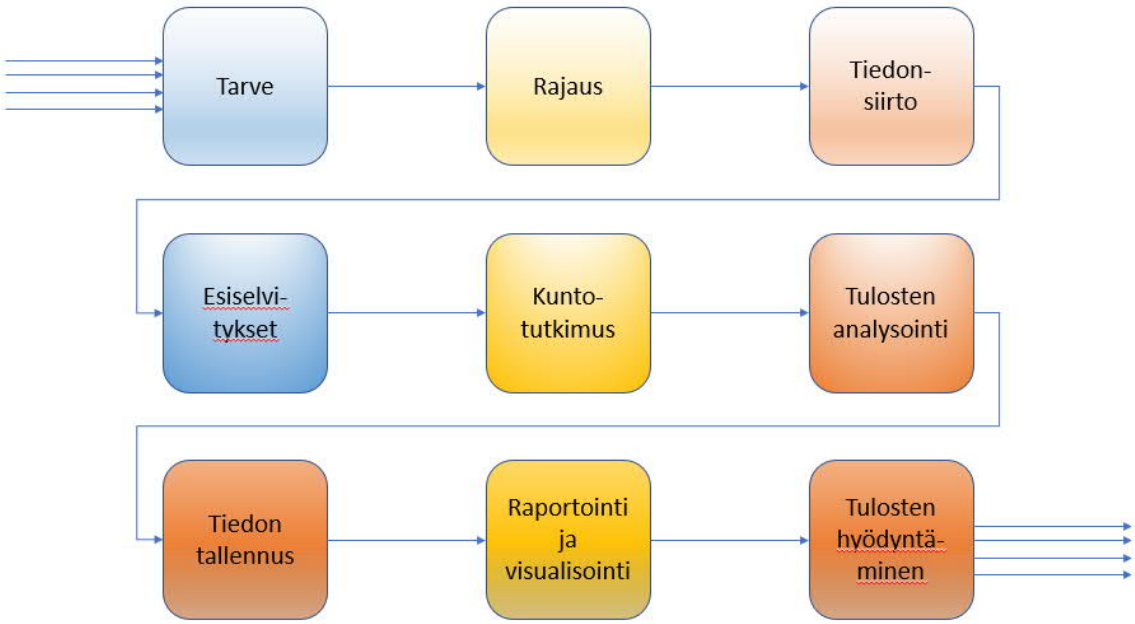
Koulutusmateriaali tulee laatia erillisenä prosessina hyödyntäen tätä ja aikaisemmin julkaistuja oppaita viemäriverkoston kuntotutkimuksiin liittyen. Lisäksi tulee kaikista käytettävistä menetelmistä tehdä erikseen osiot, joissa ohjeistetaan menetelmien käyttö ja muut tarvittavat tiedot kuntotutkimusprosessin tarkoituksenmukaiseen läpivientiin.

Eri menetelmien käytännön ohjeistus muotoutuu laite- ja menetelmätoimittajien ohjeistuksen, käytännön kokemusten sekä menetelmien tiedonsiirron ja -hallinnan tarpeiden mukaisesti. Tässä oppaassa ei esitetä menetelmäohjeita eri tutkimusmenetelmille.

Kaikkien jatkossa laadittavien ohjeiden, (opetus)materiaalin ja muun aineiston laatiminen tulee tehdä jatkuvana prosessina, ja niitä tulee päivittää säännöllisesti, jotta voidaan varmistua siitä, että käytettävissä on ajantasaisin ja paras tieto viemäriverkostojen kuntotutkimusten toteutukseen niin tilaajilla kuin kuntotutkimuksia toteuttavilla urakoitsijoillakin.

## 2.4 KUNTOTUTKIMUSPROSESSIN KOKONAISUUDEN HALLINTA

Vesihuoltoverkkojen kuntotutkimusprosessi käsittää useita vaiheita, ei pelkästään varsinaisen kuntotutkimustoimeksiannon. Oheisessa kuvassa (Kuva 2.1) on hahmoteltu prosessin päävaiheita.




Kuva 2.1. Vesihuoltoverkkojen kuntotutkimusprosessin päävaiheet.

Kussakin kuvassa 2.1 esitetyissä vaiheissa on runsaasti tekijöitä, joiden onnistumisesta riippuu kokonaisprosessin onnistuminen sekä se, tuottaako kuntotutkimusprosessi sitä tietoa, jota siltä halutaan saada. Tässä oppaassa tuodaan esille menetelmiä ja mahdollisuuksia, joiden avulla verkkojen kuntotutkimusprosessia voidaan parantaa ja tehostaa, jotta siitä saatava tieto olisi parhaiten esimerkiksi omaisuudenhallinnan ja päivittäisen verkonhallinnan käytettävissä visuaalisesti ja selkeästi.

### 2.4.1 Kuntotutkimusprosessin tarve

Kuntotutkimusprosessin tarve voi tulla vesihuoltolaitokselta, kunnilta, yrityksiltä, urakoitsijoilta tai vaikkapa asukkailta lähtöisin olevista aloitteista. Kuntotutkimuksen tarve voi olla suunniteltu (esimerkiksi katualueen perusparannukseen tai vesihuoltolaitoksen laajentumiseen liittyvä) tai äkillinen (verkossa havaittu tukostilanne tai viemärin hajoaminen ja niiden syiden selvittäminen).

### 2.4.2 Kuntotutkimustoimeksiannon rajaus

Perinteisesti vesihuoltolaitoksilla tehdään kuntotutkimustoimeksiannon rajaus karttoihin manuaalisesti (henkilötyönä), mikä aiheuttaa ajoittain runsaasti kuormitusta verkon kuntotutkimuksista vastaavien henkilöiden työssä. Lisäksi aluerajauksen tulostaminen ja/tai jakaminen urakoitsijan kanssa on hyvin häiriöherkkää esim. kirjoitusvirheiden vuoksi. Kuntotutkimustoimeksiantojen rajauksessa voi myös olla puutteita ja ongelmia sen vuoksi, ettei osata katsoa verkkoa riittävän suurelta alueelta, vaan tarkennetaan vain hyvin rajattuun kohteeseen.

### 2.4.3 Tiedonsiirto ja sen vaatimukset kuntotutkimustoimeksiannon aikana

Kun kuntotutkimuksen tarve ja rajaus ovat valmiina, tieto tulee saattaa kuvaus-/tutkimusurakoitsijalle riittävän nopeasti. Nykyisin hyvin yleisesti käytettävä manuaalinen tai esim. muistitikuilla tapahtuva tiedon siirto ovat kankeita ja hidastavat prosessin etenemistä etenkin kiireellisissä tilanteissa. Nykyisin tietojärjestelmät mahdollistavat nopean ja ajantasaisen tiedonsiirron järjestelmästä toiseen. Iso kysymys, joka tulee ratkaista, on avointen rajapintojen rakentaminen sekä järjestelmästä toiseen tapahtuva tiedon siirto ja tallennus.

### 2.4.4 Esiselvitykset ja niiden merkitys kuntotutkimustoimeksiannon onnistumiseksi

Kuntotutkimusten kohdentamiseksi on tarjolla monenlaisia verkon kunnonarvioinnin ja rajausten osalta esiselvitykseen soveltuvia menetelmiä. Tällaisia ovat mm. matemaattiset tarkastelut, hydrauliset mallit verkosta sekä esim. zoom-tutkimus, jossa kaivosta nähdään verkko nopeasti ja pystytään luokittelemaan osuudet, joihin tulee tarkemmat kuntotutkimusmenetelmät kohdistaa.

### 2.4.5 Kuntotutkimustoimeksianto ja sen toteutus

Verkkojen kuntotutkimusmenetelmiä on lukuisia, joista parhaan valitseminen voi olla kovan ja aikaa vievän työn takana. Tässä oppaassa tuodaan esille erilaisia verkkojen kuntotutkimusmenetelmiä, joita voidaan hyödyntää viemäri- ja vesijohtoverkoissa. Oppaassa keskitytään viemäriverkossa hyödynnettäviin menetelmiin, mutta osa etenkin paineellisten linjojen tutkimusmenetelmistä soveltuu sekä viemäri- että vesijohtoverkkojen kuntotutkimukseen.

Viemäreiden perinteisen tv-kuvausprosessin aikana kuvausurakoitsija tekee havaintoja sekä merkintöjä ajon aikana pysäyttäen ja tarkentaen havaitsemiinsa kohteisiin riittävän monta kertaa. Perinteinen viemärikuvaustapahtuma on melko hidas verrattuna nykyisin markkinoilla oleviin järjestelmiin, joissa kamera (tai muu kuntotutkimusta suorittava yksikkö) ajetaan pysäyttämättä kaivosta kaivoon.

Osa viemäriverkkoihin soveltuvista kuntotutkimusmenetelmistä edellyttää verkon valmistelevia toimenpiteitä, kuten esipesua, virtauksen tulppausta ja/tai virtaaman säätelyä esimerkiksi ohipumppausten avulla. Onnistunut kuntotutkimus edellyttää onnistunutta esivaihetta pesuineen.

*Verkkojen esipesu*
Yleisimmin käytössä olevat verkkojen kuntotutkimusmenetelmät vaativat linjaston esipesua. Pesuvaihe on usein kallein ja aikaa vievin osuus. Lisäksi pesutuloksen varmistaminen ja laadun tarkkailu ovat usein puutteellisia. Nykyisin on käytössä esimerkiksi suutinkameroita, joiden avulla pesutulos saadaan varmistettua ja toteutettua tarkoituksenmukaisella tavalla ns. heti, eli kalliita odottelu- ja uudelleenpesuaikoja pystytään välttämään tällaisen menetelmän käytön avulla. Mikäli viemäreiden pesuun erikoistuneet toimijat investoivat uuteen suutinkamerateknologiaan, tuottaa se melko nopeasti tulosta parempana läpimenoaikana, lisääntyneinä tutkimusmäärinä sekä vähentyneenä resurssiensitojana kuntotutkimusprosessin aikana.

### 2.4.6 Tulosten analysointi

Nykyisen viemäreiden tv-kuvausprosessin on havaittu olevan epäluotettavaa ja virhealtista, koska analysointityön (tai esianalysoinnin) tekee henkilötyönä urakoitsijan työntekijä.

Kuntotutkimuksen parempi vakiointi, sekä tehostettu ja parannetulla kuvanlaadulla varustettu järjestelmä mahdollistaa automaattinen tulosten analysointi. Automaattinen tulosten analysointi parantaa läpimenoaikoja, lisää tietoa verkosta (esimerkiksi saadaan vertailukelpoista kuvamateriaalia verkon kunnon kehittymisen seuraamiseen) ja vähennettyä tai jopa poistettua henkilötyöstä johtuvat virheet ja puutteet tutkimuksissa ja niiden tuloksissa.

Tällä hetkellä on ympäri maailmaa menossa useita tutkimusprojekteja, joiden avulla pyritään automatisoimaan tietokoneiden (algoritmien) avulla viemärien kuntotutkimusten havaintojen analysointia. Tällaisia projekteja on ainakin Saksassa (Panoramo®-kuvista), Englannissa (viemärikuvausvideoista), USAssa (digitaalisesta viemäreiden kuvausmateriaalista) sekä Suomessa (digitaalisesta DigiSewer®-kuvamateriaalista). Suomi on tässä selkeästi edelläkävijänä, sillä HSY:n ÄlykäsVesi-hankkeen aikana käynnistetty digitaalisesta kuvamateriaalista tapahtuva automaattinen analysointi on saanut kansainvälistä kiinnostusta eikä se vaadi kuvamateriaalin esikäsittelyä, kuten muut kehitteillä olevat menetelmät.

### 2.4.7 Tiedon tallennus (ja tiedon siirto)

Nopea, ajantasainen ja helposti toteutettava tiedonsiirto on mahdollista toteuttaa nykyisillä tietojärjestelmillä helposti. Se edellyttää avointen rajapintojen rakentamista, jotta tieto saadaan kulkemaan tilaajalta urakoitsijalle ja suunnittelijalle sekä muille tietoa tarvitseville tahoille ilman henkilötyönä tehtävää hidasta prosessia. Tällä hetkellä tyypillinen viemäreiden kuntotutkimuksen tulos saapuu tilaajalle 1 viikon – 6 kk:n kuluessa. Etenkin useiden viikkojen ja kuukausien viipymät tiedon välittymisessä haittaavat vesihuoltolaitosten muiden verkkoihin liittyvien prosessien sujumista.

### 2.4.8 Tulosten raportointi ja visualisointi

Tässä oppaassa tuodaan esille tarve luoda yhtenäiset raportointipohjat, helpottaa tulkintaohjeiden käyttöä, lisätä toimenpide- ja ratkaisuehdotusten merkitystä sekä visualisoida nopeasti ja helposti verkkojen kuntotieto. Nämä tarpeet ovat kuitenkin omien projektien aiheita, eikä niihin sen vuoksi tässä oppaassa keskitytä tai ehdoteta ratkaisuja.

### 2.4.9 Tulosten hyödyntäminen

Kuntotutkimusten havaintojen, analysoinnin ja hyödyntämisen tulisi olla keskiössä, kun mietitään erilaisia ja -tasoisia menetelmiä tuottaa tietoa (viemäri)verkosta. Tutkimusta ei nykyresursseilla ole edes järkevää tehdä tutkimuksen vuoksi, vaan kaikkien tulosten tulisi pyrkiä auttamaan tehokkaammassa verkkojen omaisuuden- ja operatiivisessa hallinnassa niin lyhyen kuin pitkän tähtäimen suunnitelmien apuna ja lisätietona.

## 2.5 TIEDONSIIRTO JA -HALLINTA KUNTOTUTKIMUSPROSESSIN OSANA

Vesihuoltolaitoksilla on Suomessa käytössä pääasiassa kahta eri verkkotietojärjestelmää, Trimble NIS © sekä KeyAqua ©. Näiden lisäksi kansainvälisesti on käytössä useita eri järjestelmiä, kuten DHI © ja Esri ©.

Viemäreiden kuntotutkimukseen, kuten muuhunkin kentällä tehtävään verkkoihin liittyvään työhön, olennaisena osana liittyy tiedon siirto tutkimuslaitteelta vesihuoltolaitoksen verkkotietojärjestelmään. Nykyisin käytössä oleviin järjestelmiin tarvitaan avoimet rajapinnat, jotta kuntotutkimushavainnot ja -tulokset saadaan reaaliaikaisesti ja luotettavasti siirrettyä urakoitsijalta laitoksille sekä tarvittaessa kolmansille osapuolille, kuten suunnittelutoimistoille. Tietoturva-asiat tulee ratkaista, jotta voidaan estää tietojen joutuminen vääriin käsiin. Rajapintojen rakentamisen yhteydessä tulee niinikään tietoturva käsitellä huolella.

Tällä hetkellä yleisesti on käytössä manuaalinen tiedonsiirto, josta aiheutuu hukkatyötunteja ja inhimillisiä virheitä jo lähtötietojen toimittamiseksi urakoitsijoille ja/tai suunnittelijoille. Verkkotietojärjestelmiin tulee kehittää alustoja, joiden avulla niistä on helppo

- rajata tutkimusalueet
- valita tutkittavat verkkolajit
- toimittaa rajatun alueen tiedot urakoitsijalle (kuntotutkimusten suorittajalle)

Lisäksi tulosten ja havaintojen tallentaminen takaisin verkkotietojärjestelmiin on työlästä ja virhealtista.

Tiedonsiirtoon on mahdollista kehittää nopeita ja notkeita järjestelmiä, joita verkkojen kuntotutkimuskentällä on jo laadittu ja esitelty niin Suomessa kuin kansainvälisestikin. Järjestelmien tulee olla helposti käytettäviä kaikilla päätelaitteilla, niihin tulee voida kommentoida (suullisesti, kirjallisesti, kuvin, videoin jne.) havainnot sekä niiden avulla tulee pystyä visualisoimaan kuntotutkimusten havainnot ja niiden analysoinnit helposti ja nopeasti. Tällöin saadaan kuntotutkimusprosessia tehostettua ja kohdennettua jatkotoimenpiteet nykyistä nopeammin oikeisiin kohteisiin. Koodausosaaminen lisääntyy huimaa vauhtia, ja mikäli verkkotieto saatetaan hallitusti esim. opiskelijoiden ulottuville, saadaan helposti ja edullisesti kehitettyä järjestelmiä, joiden avulla tietojen hallinta sekä siirto laitoksen tarpeisiin tehostuu huomattavasti. Esim. HSY:llä on hyviä kokemuksia ns. Hackathon-menetelmästä, jossa ohjelmoinnin ja vesihuollon opiskelijaosaajat kohtasivat tilaisuudessa, jossa heille esitettiin ajankohtaisia haasteita ja ongelmia verkkotiedon ja vuotovesien hallinnan osalta. Sen seurauksena HSY on saanut runsaasti työkaluja nopeaan ja helppoon verkoston hallintaan, esimerkiksi tukosten ja vuotojen tunnistamiseen.

## 2.6 VERKON PUHDISTAMINEN ENNEN KUNTOTUTKIMUKSIA

Ennen viemäreiden läpiajettavaa kuntotutkimusta ja havaintojen tekemistä tulee tutkittava viemäriosuus puhdistaa mahdollisimman hyvin luotettavien havaintojen tekemiseksi. Tutkittavan putken toiminnallinen ja rakenteellinen kunto on syytä arvioida niin hyvin kuin se on mahdollista, jotta voidaan varmistua, että putken rakenne kestää suoritettavan pesutoimenpiteen (yleensä painesuuttimilla). Tällainen arviointi onnistuu kokeneelta viemärin puhdistusta tekevältä henkilöltä. Tilanne putkessa on ennen puhdistamisen aloittamista mahdollista selvittää esim. zoom-kameralla. Myös tilaaja voi tehdä tai teettää tämän selvityksen viemäritutkimuksen esiselvitysvaiheessa.

Normaalissa viemäreiden puhdistamisessa vedenpaine huuhteluauton korkeapainepumpulla on 80-150 bar vesimäärän ollessa 200-350 l/min. Riittävän suuri vesimäärä on olennaisen tärkeää tehokasta puhdistustyötä ajatellen, jonka lisäksi oikeanlainen puhdistussuutin on valittava huolella. Purkautuvan veden paine huuhtelusuuttimella on alhaisempi kuin korkeapainepumpulla, koska painehäviö alentaa painetta letkun sisähalkaisijasta ja pituudesta sekä suuttimen muodosta johtuen.

Mikäli tutkittava putki todetaan tai sen oletetaan olevan pahasti syöpynyttä tai muuten rakenteellisesti hauraassa kunnossa, on huuhtelu tehtävä erityistä varovaisuutta noudattaen, tai tulisi käyttää jotain muuta menetelmää putken puhdistamiseksi esim. jääpossutusta (ice pigging).

Tutkittavaa viemäriä puhdistettaessa tulee valita sopiva suutin mm. siitä riippuen, tuleeko kohteesta puhdistaa pohjalta kiintoaines vaiko koko viemärin seinämä, poistaa rasva tai leikata juuret. Suuttimen valinta tulee tehdä puhdistettavan kohteen mukaisesti. Puhdistusyksikössä tulee olla riittävä valikoima erilaisia suuttimia erilaisia puhdistustilanteita ajatellen.

Tehokas puhdistusjätteen imeminen viemäristä puhdistuksen yhteydessä on tärkeää, jotta putken puhdistaminen onnistuu. Tarvittava määrä puhdistusajoa puhdistettavalle osuudelle tulee osata arvioida, ellei puhdistajalla ole käytettävissä kameralla varustettua huuhtelusuutinta, minkä avulla voidaan todeta puhdistamisen onnistuminen puhdistustyön yhteydessä. Tällöin voidaan olla täysin varmoja tehdyn puhdistuksen onnistumisesta.

Puhdistustyön tekemisen suunnittelu on tärkeää ennen työn aloittamista. Ennakkoon on hyvä selvittää puhdistamiseen soveltuva virtaussuunta putkessa. Mikäli viemärissä ei ole paljoa puhdistettavaa kiintoainesta, voi puhdistamisen aloittaa ylävirralta virtaussuuntaan. Mikäli viemäri padottaa, puhdistaminen kannattaa aloittaa alavirran puolelta, jotta putkeen saadaan virtausta aikaisesti ja vedenpinta laskemaan putkessa kuvaamista ajatellen. Puhdistustyön etenemisjärjestys voidaan suunnitella viemäritutkimuksen esiselvitysvaiheessa.

Puhdistamista tulee tehdä ennen läpiajettavaa kuvaamista etukäteen niin paljon valmiiksi, että putken läpiajettavaa kuvausta voidaan tehdä keskeytyksettä. Valmiiksi puhdistettua viemäriä tulee olla vähintään noin 500 m pois lukien sellaiset kohdat, joissa kuvausta tehdään esim. huuhtelusuuttimen takana putkessa olevan vedenpinnan alentamiseksi.

Viemäreitä puhdistettaessa on hyvä ottaa huomioon ne riskit mitä puhdistamisen aikana mahdollisesti kolmansille osapuolille saattaa tapahtua. Puhdistuspaine voi määrätyissä olosuhteissa purskahtaa kiinteistöön sisälle, kun suuttimesta tuleva paine purkautuu esim. kahden painuman väliin ja putkessa on kiinteistöliittymä. Kiinteistön hajulukot voivat myös tyhjentyä, mikäli viemärin tuulettumisessa on ongelmia, jolloin puhdistettaessa putkeen syntyvästä alipaineesta johtuen korvausilma imeytyy kiinteistön hajulukkojen kautta ja tyhjentää hajulukot. Tutkimusalueen kiinteistöjä tulee informoida etukäteen alueella tehtävistä viemäreiden tutkimustöistä sekä tuoda ilmi mahdollisia haittoja tehtävästä puhdistustyöstä johtuen, esimerkiksi mahdollisista hajuhaitoista.

Työturvallisuusasiat tulee ottaa huomioon puhdistustyötä tehtäessä. Puhdistajan henkilökohtaiset suojavarusteet tulee olla asianmukaisia. Ulkopuolisten henkilöiden suojaaminen avoimilta kaivojen kansilta ja kadulla mahdollisesti lojuvilta letkuilta puhdistustyön aikana sekä liikenteellisesti hankalissa paikoissa tulee varmistaa. Liikenteen varoittaminen ja tarvittaessa ohjaaminen on otettava myös huomioon ajo- ja tai kevyenliikenteenväylillä. Jotkut paikkakunnat vaativat ilmoituksen tekemisen viranomaisille lyhytaikaisestakin työskentelystä katualueella.

Viemärin tarkastuskaivoon ei saa laskeutua ilman ennakkoon kaivossa tehtävää kaasujen ja/tai happipitoisuuden mittaamista, ei ilman kolmijalkaa ja turvavaljaita sekä toista paikalla olevaa henkilöä. Myös hengityssuojaimet ja henkilökohtaiset varoituslaitteet tulee olla saatavilla ja niitä on käytettävä tarvittaessa.

Viemäreissä olevien painumakohtien vedenpinnan alentaminen/alhaalla pitäminen puhdistussuuttimen avulla läpiajettavan kuvauksen aikana on mahdollista. Tarvittaessa läpiajettavaa tutkimista varten kaivojenväli voidaan tulpata, jolloin vedenpinta putkessa on laskettavissa hyväksyttävälle tasolla ajatellen läpiajettavaa tutkimista ja havaintojen tekemistä.

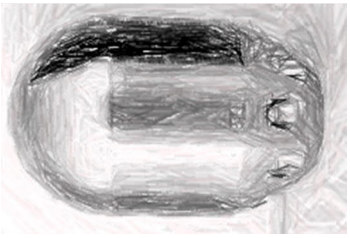
Puhdistajalta on hyvä saada tietoon ja muistiin, mitä epäpuhtauksia putkista puhdistustyön yhteydessä poistettiin (kiintoainesmäärinä, kiviä, juuria, rasvaa jne. eriteltyinä, samoin puhdistuksessa käytetty vesimäärä). Tällainen tieto on kerättävissä nykyaikaisen viemäreidenhuuhteluauton tiedonkeräysjärjestelmistä tai puhdistuksen tekijä voi muuten kirjata tämän tiedon muistiin. Tieto on arvokasta ajatellen verkoston toiminnallisuuden historiaa sekä suunniteltaessa kunnossapito- tai saneeraustoimenpiteitä kyseiselle putkiosuudelle.

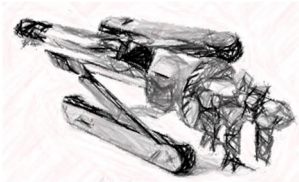
Tutkittavissa paineviemäreissä voidaan ennen putken kunnon tutkimista suorittaa puhdistaminen esim. possuttamalla. Paineviemäreiden ongelma läpiajettavaa kuvaamista ajatellen on sen rasvainen liukas pinta, jolloin robottikameran liikuttaminen putkessa on hankalaa ja kameran eteneminen voi tästä johtuen olla rajallista. Paineviemäreissä voi lisäksi olla mutkia, mitkä hankaloittavat niiden puhdistamista ja sisäpuolista tutkimista. Viemärihuuhteluautolla voidaan puhdistaa paineviemäriä jolloin etenemä voi olla olosuhteista ja käytettävästä kalustosta riippuen jopa 200 m. Rasvan poistamista voidaan tehostaa paineviemärin pesemisessä käyttämällä lämmintä vettä. Taulukossa 2.2 on listattu eri kokoisille putkiosuuksille tyypillisiä pesulaitteiston vaatimuksia. Paineviemäriä voidaan tutkia ja kuvata huuhtelun yhteydessä suutinkameran avulla.

Taulukko 2.2. Puhdistuskaluston vaatimukset tehokkaaseen putken puhdistamiseen ennen läpiajettavaa viemärin kunnon tutkimista.

| Vesipainepuoli | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Puhdistettavan putken koko, mm | paine/bar | vesimäärä ltr/min | puhdistus-letkun koko | vesisäiliö m3 |
| 100 - 300 | 80 - 120 | 120 - 250 | 5/8” | 3 > |
| 350 - 600 | 100 - 150 | 280 - 380 | 1” - 1¼” | 6 > |
| 700 - 1000 > | 120 - 180 | 400 - 500 > | 1¼” - 1½” (2x1”) | 8 > |
| Imupuoli | | | | |
| Puhdistettavan putken koko, mm | imuteho m3/h | imuletkun koko | imusäiliö min m3 | |
| 100 - 500 | 1800 - 3000 | 3” | 3 > | |
| 500 > | 3200 > | 4” - 5” | 6 > | |
| Viemärihuuhteluauto voi olla varustettu poisimettävän jäteveden puhdistuslaitteistolla, jolloin viemärin puhdistamiseen osittain käytetään viemärissä virtaavaa vettä. | | | | |
| Viemäristä huuhtelun aikana imetty jätevesi lasketaan hallitusti takaisin viemäriin. Kiinteä jäte ja liete toimitetaan asianmukaiselle jätteenvastaanottopaikalle. | | | | |
| Viemärinhuuhtelusuuttimen yhteydessä voidaan käyttää kameraa, minkä avulla voidaan todeta puhdistamisen onnistuminen jo puhdistustyön aikana. | | | | |

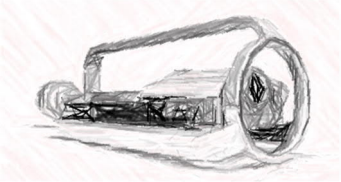
Esimerkkejä pesusuuttimista on kuvassa 2.2.





Ympäripesevä Putken pohjan peseminen Juurten leikkuu
Kuva 2.2. Erilaisia pesusuuttimia.

Suutinkameroita ja kamerat puhdistustuloksen toteamiseen on esitetty kuvassa 2.3.



JetCam Xpection QuickView
Kuva 2.3. Erilaisia suutinkameroita ja puhdistustuloksen toteamiseen soveltuvia kameroita.

Viemäriverkon pesu eri tarkoituksiin on ollut käytössä jo vuosikymmeniä (Dinkelacker, 1992; Lorenzen et al. 1996). Menetelmiä ja laitteistoja on paljon erilaisia ja erityyppisiin tapauksiin soveltuvia. Tyypillisesti käytetään painevesisuihkua, jonka avulla saadaan (Lorenzen et al. 1996):

- irtokertymä poistettua
- muutettua verkoissa olevan irtoaineksen ominaisuuksia (tällä voi olla myös esimerkiksi korroosiota kiihdyttävä vaikutus)
- vähennettyä kiintoaineen kulkeutumista ympäröivään luontoon ja vesistöihin
- verkon toimintaa parantavia vaikutuksia jopa pitkien matkojen päähän huuhtelu-/pesukohdasta.

Viemäreiden (samoin kuin vesijohtojen) pesu voidaan toteuttaa myös esimerkiksi jäävesiseoksella tai hiekka-vesi-seoksella. Tällöin saadaan hellävaraisemmin puhdistettua putkiosuudet, jotka eivät välttämättä kestäisi painevesipesua.

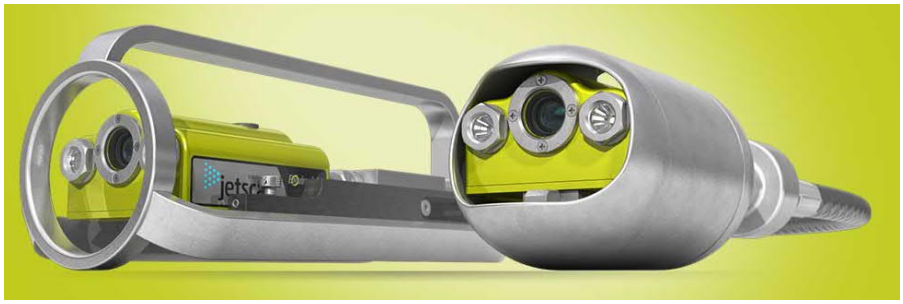
Viemäreiden pesun ja puhdistuksen tarkoituksenmukainen ja tehokas kohdistaminen vaatii tietoa viemäriverkossa olevan irtomateriaalin määristä ja jakaumista sekä kohteen muista ominaisuuksista. Tähän käyttötarkoitukseen soveltuu esimerkiksi zoom-kamera, joka lasketaan kaivosta alas. INNO-KANIS-projektissa tutkittiin tällaisia zoom-kameroita ja niiden tuottamaa tietoa viemäriverkosta. Tutkimuksen perusteella havaittiin, että tyypillinen kiintoaineksen määrä 2/3 putkistosta oli ≤2,5%, eli verkko on itsepuhdistuva suurelta osalta. Ainoastaan 1% sekaviemäreistä ja 11% erillisviemäreistä olivat melko täynnä (poikkipinta-ala selkeästi rajoittunut, >15%). Tutkimuksen havainnoista huolimatta tutkijat korostavat ennakoivan huollon ja puhdistuksen tarpeellisuutta ja merkitystä verkon kokonaisuuden hallinnassa. (Plihal et al. 2014)

Viemäriverkon pesua ja/tai eritasoisia huuhteluita vaativat verkonosat on usein määritelty vain käytännön havaintojen perusteella. Mikäli vesihuoltolaitoksella on käytössään jokin luokittelusysteemi, on se usein kohdistettu vain osaan verkkoa (esimerkiksi vain tietyn materiaalin tai alueen putkiin), jolloin kokonaiskuvan muodostaminen tulee han-

kalaksi ja kokonaisuuden hallinta voi olla tehotonta ja vääriin kohteisiin tehtävää toimintaa (Campbell & Fairfield, 2008). Verkkotietojärjestelmiä ja muita vastaavia ohjelmistoja kannattaa hyödyntää mahdollisimman paljon myös pesua ja/tai huoltohuuhteluita kohdennettaessa.

Kun pesu tehdään paineellisella vedellä ja/tai mekaanisella raapimella, saatetaan samalla saada aikaan myös negatiivisia vaikutuksia putkien sisäpinnoille. Tämä saattaa esim. lisätä korroosiota (Lorenzen et al. 1996), aiheuttaa tulvimista pesukohdan alavirtaan (Dettmar & Staufer, 2005), ja heikentää putkien virtausominaisuuksia (Cant & Trewq, 1998). Lisäksi pesuprosessissa käytettävät suuttimet, veden paine ja muut valitut parametrit (Medan et al. 2014; Medan & Ravai Nagy, 2015) voivat aiheuttaa haittaa putkistolle sekä jopa huonontaa puhdistustulosta.

Kuvissa 2.4, 2.5 ja 2.6 on esitetty erilaisia suutinkameroita.



Kuva 2.4 Envirosightin JetScan-kamera. https://www.envirosight.com/jetscan.php

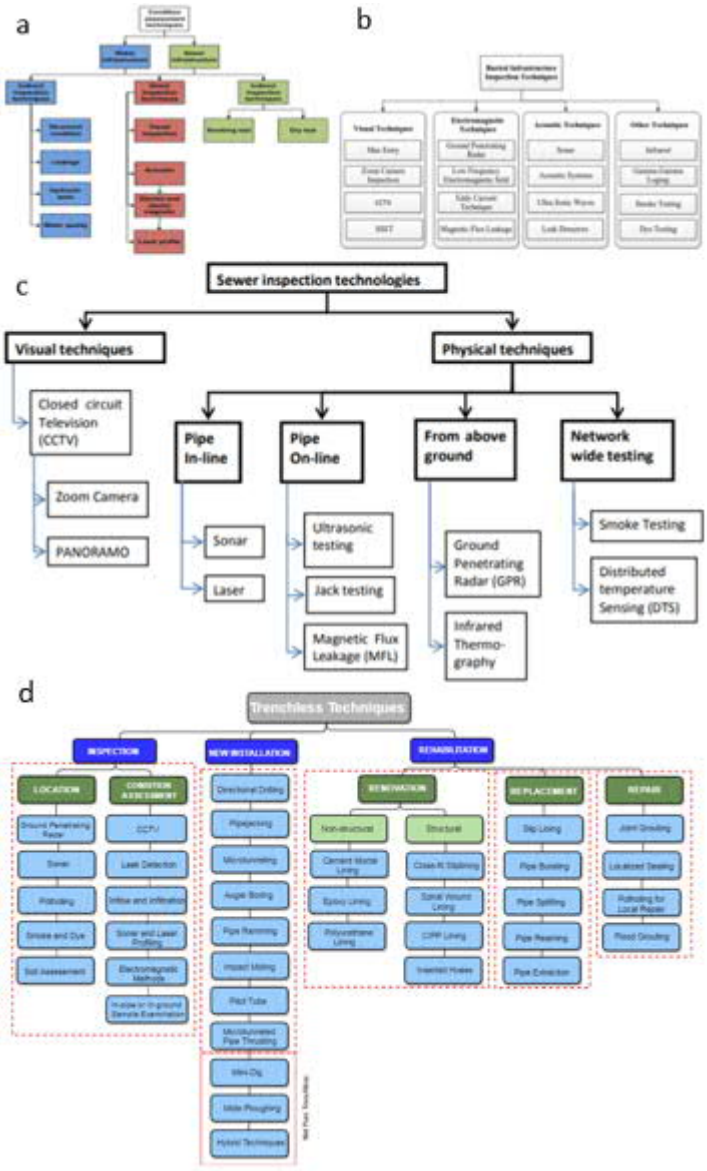
Kuva 2.5. iPEKin valikoimista löytyvä suutinkamera. https://www.ipek.at/index.php?id=1001&L=ugsytsvmb

Kuva 2.6. KEG-tuoteperheeseen kuuluva suutinkamera. https://keg-pipe.com/en/sighted-nozzle.html

# 3 PUTKIVERKON KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Verkkojen vikojen tutkimiseen käytetään eri puolilla maailmaa eri menetelmiä ja standardeja. Suomessa käytössä on standardi SFS-EN 13508-2. Tämän projektin aikana tehtyjen haastatteluiden ja muiden keskustelujen perusteella on selkeästi tarve helpottaa tutkimustoimeksiantoja tekevien tahojen käytännön työtä mm. yksinkertaistamalla sekä helpottamalla tulkintaa eri vikaluokkien esimerkkikuvien ja sanallisten kuvausten tarkentamisen avulla. Myös tulkinnan käytännön työtä tulee ohjeistaa ja opastaa tarvittaessa erillisillä koulutushetkillä ja -tilaisuuksilla. Koulutus on usein tehokkainta, kun sen tehdään vertaistyönä, eli kokeneempi asiantuntija opastaa nuorempaa asiantuntijaa. Koulutuksen järjestämistä ja sen tarvetta on avattu tarkemmin luvussa 2.3.

Viemäriverkkojen kuntotutkimusmenetelmät jaotellaan kirjallisuudessa usealla eri tavalla. Tyypillisimmin ne on jaoteltu epäsuoriin ja suoriin menetelmiin. Samoin on voitu käyttää tekniikoittain luokiteltuja ominaisuuksia ryhmittelyssä. Alla on esitetty neljä erilaista luokittelua kuvassa 3.1. Kirjallisuudesta löytyy runsaasti erilaisia luokitteluja verkkojen kuntotutkimusten tekemiseen, ja tässä on esitetty vain neljä.




Kuva 3.1. Neljä erilaista viemäriverkkojen kuntotutkimusten luokittelua. (a: Atef, 2010; b: Daher, 2015; c: Kley et al. 2013; d: istt.com)

Taulukossa 1 (Liite 1) on listattu eri menetelmien soveltuvuuksia paineettomien verkkojen kuntotutkimuksiin, ja Taulukossa 2 (Liite 2) on listattu paineellisten verkkojen kuntotutkimuksiin soveltuvia menetelmiä.

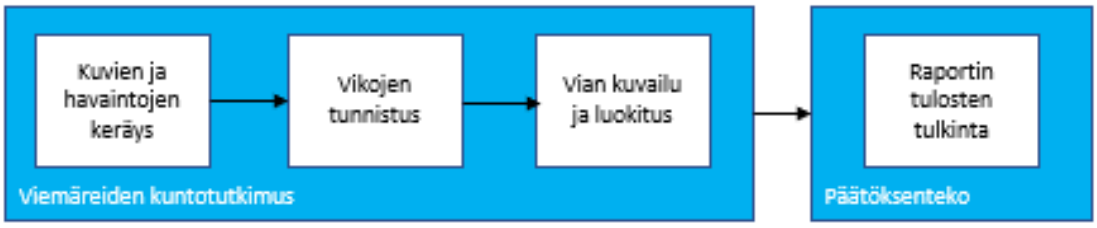
Taulukossa 3.1 on esitetty eri menetelmien kustannuksia (metrihintoja). Referenssit ovat artikkelin Zhao ja Rajani, 2002, viitteitä.

Taulukko 3.1. Kuntotutkimusmenetelmien yksikköhintoja. Referenssit ovat artikkelin Zhao ja Rajani, 2002 viitteitä ja kustannukset on laskettu vuoden 2002 tasolla.

| tutkimusmenetelmä | hinta $ (vuoden 2001 hintatasossa) | referenssi |
|---|---|---|
| Viemäreiden TV-kuvaus | $2 - $10 / m | Zhao et al. 2001 |
| Viemäreiden TV-kuvaus ja sonar | $7 - $10 / m | Zhao et al. 2001 |
| Viemärisukellus tms. | $2 - $20 / m | Zhao et al. 2001 |
| Kaivosta tehtävä kuvaus | $100 / kaivo | Zhao et al. 2001 |
| Savukokeet | $1,9 - $3,8 / m | EPA 1975 |
| Väriainekokeet | $3,1 - $6,3 / m | EPA 1975 |
| Tulvakokeet/-havainnot | $3,1 - $6,3 / m | EPA 1975 |

Suurten verkko-osuuksien kuntotutkimusmenetelmiä on huomattavasti vähemmän saatavilla kuin ns. normaalikokoisten (alle 600 mm) verkko-osuuksien. Kansainvälisesti alkaa kuitenkin jo olemaan käytössä menetelmiä, joissa erilaisilla robotiikan ratkaisuilla sekä monianalyysimenetelmien avulla on saatu kehitettyä menetelmiä suurimpienkin osuuksien kuntotutkimisen toteutusvaihtoehdoiksi. (Mirats Tur & Garthwaite, 2010)

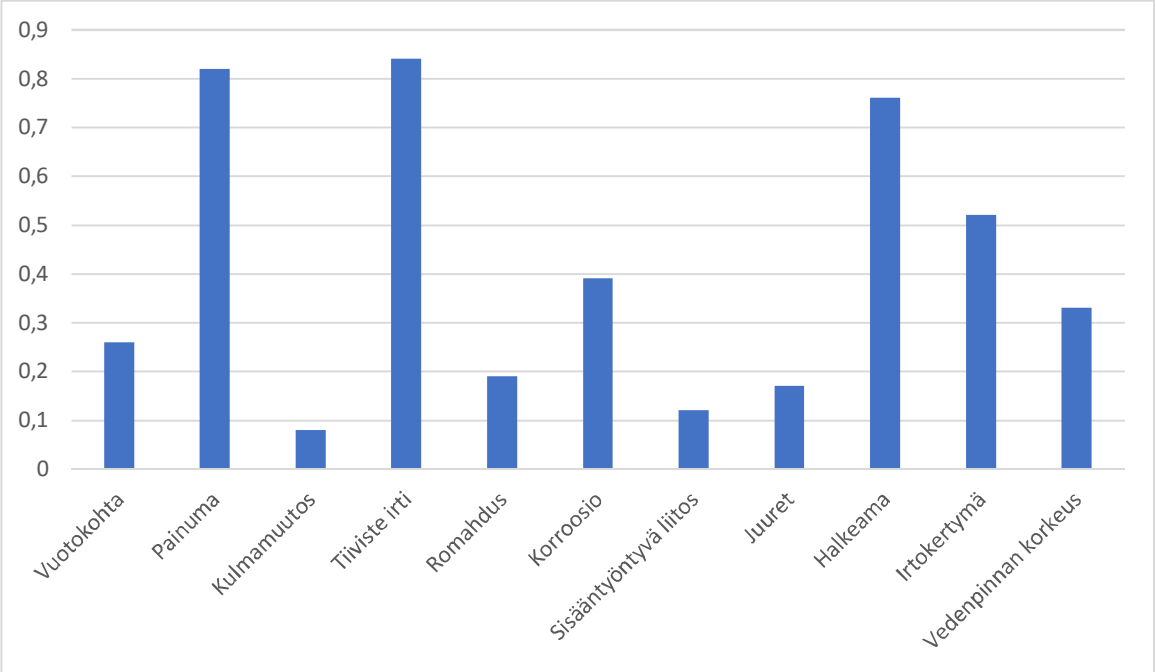
Kuntotutkimusohjelmalla saadaan seuraavia hyötyjä: (i) vuotovesien vähentäminen; (ii) hätäkorjausten kustannusten vähentäminen; (iii) palvelukatkosten vähentäminen äkillisten tilanteiden vähentymisen avulla; (iv) korjaus- ja kunnossapitokustannusten väheneminen omaisuusvahingoissa; (v) vähentyneet terveydenhuollon kustannukset (mm. loukkaantumiset, kuolemat, epidemioiden välttäminen); (vi) parempi saneeraus- ja korvauskohteiden suunnittelu ja priorisointi sekä parantunut jäljellä olevan käyttöiän arviointi; (vii) ennenaikaisten saneeraus- ja korvaustoimenpiteiden vähentyminen; (vii) parantunut asiakastyytyväisyys ja alentunut asiakasvalitusten määrä; (viii) parantunut palvelun luotettavuus. (Martel et al. 2010) Tyypillisesti visuaalinen verkkojen kuntotutkimus toteutetaan kuvassa 3.2 kuvatulla tavalla (Dirksen et al. 2013).



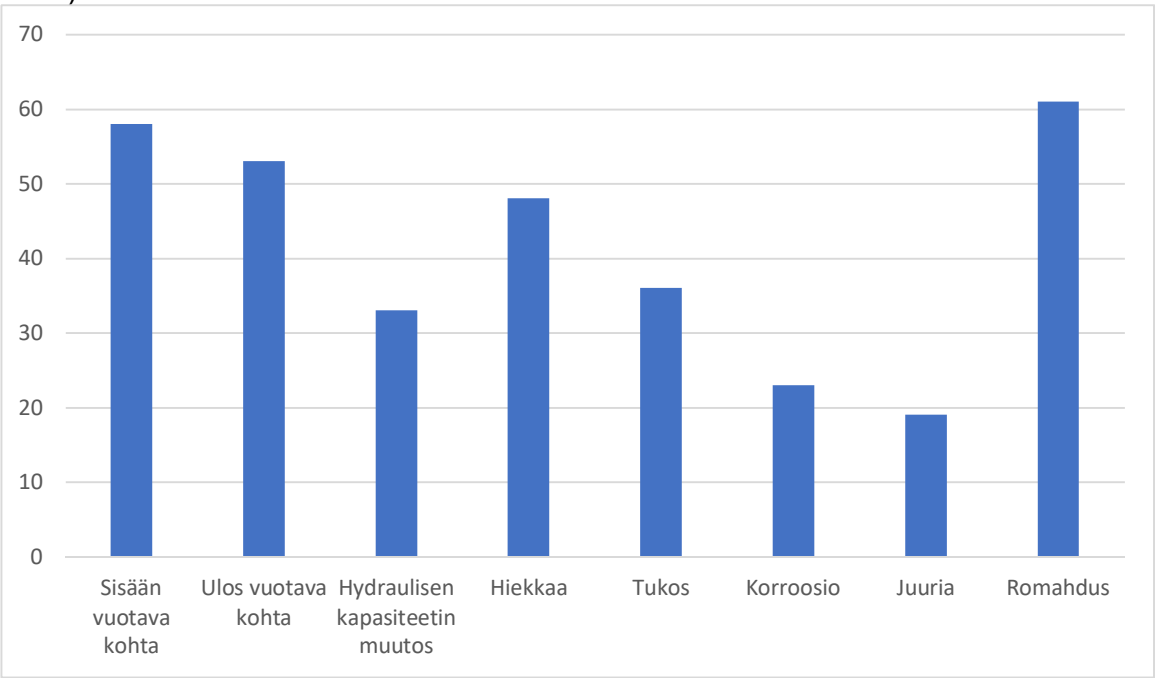

Kuva 3.2. Verkkojen kuntotutkimuksen tyypillinen eteneminen. (Dirksen et al. 2013)

Vaikka kuntotutkimustoimeksiannoissa käytettävä kamerateknologia on parantunut, viemäreiden TV-kuvausta – sekä siihen oleellisesti liittyvää henkilötyönä tehtävää havaintojen ja tulosten tulkintaa – käytettäessä perusprosessi sekä tulokset ovat pysyneet perustaltaan ja toteutustavaltaan melko muuttumattomina. Se tarkoittaa edelleen sitä, että henkilötyönä tehtäessä kuvaaja/tutkija tekee havainnot TV-monitoroinnin kautta tutkimuspaikalla, sekä että kuvaaja/tutkija pyrkii luokittelemaan havaintonsa manuaalisesti. (Sinha, 2014)

Kansainvälisissä tutkimuksissa on havaittu, että jopa 30 % vioista ensimmäisessä tutkimuksessa “katosi” toisessa tutkimuksessa (Dirksen et al. 2010). Inhimilliset virheet riippuvat suuresti kuvaajan/tutkimuksen suorittajan kyvyistä, kokemuksesta ja keskittymiskyvystä. Tekniset virheet puolestaan johtuvat kamerateknologian puutteista ja valaistuksen ongelmista. (Chae et al. 2003; Müller & Fischer, 2007) Inhimillisiä virheitä tutkittiin hollantilaisessa tutkimuksessa (Dirksen et al. 2013), jossa havaittiin kuvan 3.3 mukaiset virheet eri virheluokkien osalta henkilötyönä tehtävässä tulkinnassa. Kuvassa 3.4 on puolestaan kuvattu usean ammattilaisen tekemien havaintojen eroavaisuuksia ja virheen esiintyvyyttä tyypillisessä, visuaalisessa, kuvantulkinnassa. (Dirksen et al. 2013)




Kuva 3.3. Virheen todennäköisyys eri tyypin vioissa ja havainnoissa. (Dirksen et al. 2013)




Kuva 3.4. Kuva-aineiston tulkinnassa erilaisia tulkintoja saaneiden viemäreiden %-osuudet tutkimusaineistossa. (Dirksen et al. 2013)

Vaikka viemärikuvaus (ja visuaalinen havaintojen raportointi, tulkinta ja analysointi) on ollut käytössä hyvin laajasti jo useita kymmeniä vuosia, ei siitä saatavan tiedon laatuun ja epävarmuuteen olla kiinnitetty riittävästi huomiota. Huonokuntoiseksi tulkittu putki on 80% todennäköisyydellä huonokuntoinen. Vääriä negatiivisia (siis liian huono tulos raportissa) on noin 20%, ja vääriä positiivisia (liian hyvä tulos raportissa) on 15%. Näiden perusteella on arvioitu, että huonokuntoiseksi merkitty putki on 68% todennäköisyydellä todellakin huonokuntoinen. (Cararot et al. 2018)

Havaintojen perusteella tutkijat esittävät seuraavia suosituksia, joiden avulla saadaan visuaalisesta kuntotutkimuksesta toistettavia, objektiivisempia ja todellisuutta paremmin vastaavia tuloksia (Dirksen et al. 2013):

1) viemärien kuntotutkimuksen luokitusta tulee yksinkertaistaa, ja siirtyä käyttämään vain esim. numerokoodausta,
2) inhimillisiä virheitä pystytään vähentämään huomattavasti, jos raportoinnissa keskitytään käyttämään kuvia tekstin sijaan,
3) tilaajan ja kuntotutkimusurakoitsijan välistä palautetta ja palautetapoja tulee kehittää, ja
4) visuaalisen tiedon lisäksi on syytä pyrkiä tutkimaan verkkoa myös muilla tavoilla, jolloin eri tietolähteitä ja -tyyppejä voidaan yhdistää ja analysoida yhdessä.

Kuntotutkimusten tulosten hyödynnettävyyteen, oikeellisuuteen ja luotettavuuteen vaikuttaa suuresti henkilöstön kokeneisuus sekä ammattilaisuus. Tämän vuoksi voidaan yleisesti sanoa, että viemäreiden kuntotutkimukset eivät anna objektiivista tietoa verkoista riittävän luotettavasti. Koska menetelmät tuottavat usein melko epäluotettavia ja virheellisiä tuloksia, on virheinvestointien ja -päätösten syntyminen todennäköistä. (Müller & Fischer, 2007)

Automaattisen tulosten tulkinnan (esimerkiksi konenäön hyödyntäminen analogisten ja/tai digitaalisten tutkimushavaintojen kohdalla) tulee tuottaa luotettavasti: (i) kameran/analysaattorin sijaintitieto – alku, loppu, liitokset, risteämät, liittymät; (ii) virheet – esim. halkeamat, siirtymät, muut havainnot; sekä (iii) virheiden luokittelutieto – esim. halkeamien leveys. (Müller & Fischer, 2007) Automaattista tulkintaa viemäreiden kuntotutkimuksessa on kehitelty ja testattu monissa maissa (esim. Yang et al. 2010).

Viemäreiden TV-kuvauksessa käytettävä videointimenetelmä viemärikameralla sisältää useita virhelähteitä, kuten: (i) liian vähäinen painoarvo verkon kuntoon liittyvien havaintojen ja vikojen huomioimisessa; (ii) putkiosuus ei ole täydellisesti skannattu/tutkittu; sekä (iii) havaintojen kirjaamisessa ei käytetä ohjeiden ja standardien mukaisia tapoja. (Müller & Fischer, 2007)

Tällä hetkellä kanadalaisten vesihuoltoverkkojen osalta arvioidaan jopa 30 % olevan huonossa tai erittäin huonossa kunnossa. (Felio et al. 2012 viitteenä opinnäytetyössä Daher, 2015) Yhdysvaltalaisessa selvityksessä päädyttiin vuosittaiseen $15 miljardin saneeraus- ja korjausmäärärahaan, joka vaadittaisiin verkkojen saattamiseen teknistaloudellisesti järkevälle tasolle (ASCE 2013 viitteenä opinnäytetyössä Daher, 2015). Euroopassa kunto- ja saneerausrakentamiseen käytetään vuosittain noin 5 miljardia euroa (Hafskjold et al. 2003). Tutkimusten ja selvitysten perusteella 20 % saksalaisista viemäreistä on sellaisia, jotka vaativat lyhyen tai keskipitkän ajan saneerausta (Berger et al., 2004 viite artikkelissa Müller & Fischer, 2007).

Nykyisin käytössä olevissa kunnonarviointimenetelmissä (viemäreiden TV-kuvaus) rajoitteena ovat mm. heikko tarkkuus ja toistettavuus, joka johtuu inhimillisistä virheistä, väsymyksestä, tulkintojen subjektiivisuudesta sekä siitä, että prosessi on aikaa vievä ja

monivaiheinen (Yang et al. 2010; Daher, 2015). Kanadalaisessa tutkimuksessa (Rahman & Vanier, 2004 viitteenä julkaisussa Feeney et al. 2009) havaittiin, että kuntotutkimuksissa kriittisin ongelma on yhtenäisen, standardoidun tulkintamenetelmän käyttäminen. Sama asia nousi esille tässä projektissa tekemiemme haastatteluiden yhteydessä.

Putkien rakenteellisen kunnon ja hydraulisen kapasiteetin määrittäminen ovat kenties tärkeimpiä haluttavia tietoja mm. saneeraussuunnittelun avuksi. Erityisesti betoniputket kärsivät putken seinämän paksuuden muutoksista (vähenemästä) biokemiallisesta korroosiosta (rikkiyhdisteistä) johtuen, mikä vähentää seinämän rakenteellista kestoa ja lisää sen hydraulista karkeutta ja sitä kautta virtausvastusta. Visuaalisilla kuntotutkimusmenetelmillä ei pystytä arvioimaan putken sisäpinnan geometriaa riittävällä tarkkuudella, minkä avulla saataisiin arvioitua biokemiallisen korroosion tilanne seinämällä. Visuaalinen kuntotutkimus antaa vastauksia vain silmin nähtäviin muutoksiin. (Clemens et al. 2014)

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa (Martel et al. 2010) listattiin siellä yleisesti käytetyn NASSCO PACP -vikojen koodausjärjestelmän etuja ja haittoja. Samoin vertailtiin uuden, kehitetyn SCREAM™ virheidenkoodausjärjestelmän ominaisuuksia. Menetelmiä käytetään analysoitaessa viemäreiden TV-kuvauksen tuottamaa materiaalia. Nämä vertailut on esitetty taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2. NASSCO PACP -vikojen koodaussysteemin ja SCREAM™-vikojen koodaussysteemin etuja ja haittoja. (Martel et al. 2010)

| | Edut | Haitat |
|---|---|---|
| NASSCO PACP | • laaja ja hyvin laadittu koodaus- ja koulutusjärjestelmä, käytössä joka puolella Pohjois-Amerikkaa<br>• helposti saatavissa oleva standardoitu koodausjärjestelmä, sis. myös datan tallentamiseen soveltuvan ohjelman<br>• hyvä vikojen luokittelusysteemi<br>• yksinkertainen ja intuitiivinen vikojen luokituksen asteikko | • standardoidut koodit rajoittavat käytettävien koodien tapauskohtaista muovattavuutta ja muokattavuutta<br>• kolme erillistä luokitteluprosessia, jotka tuottavat osittain erilaiset tulokset<br>• suurille laitoksille liian yksinkertaistettuja määritelmiä ja luokitteluasteikkoja<br>• pisteytysprosessia ei ole käytettävissä muiden tutkimustulosten kanssa<br>• ei ole sisään rakennettuja eikä automaattisia havaintojen verifiointityökaluja – vaatii erillisen laaduntarkastuskierroksen |
| SCREAM™ | • joustava koodausjärjestelmä, jossa huomioidaan historiallinen tai yksiköllinen nimikkeistö<br>• vikakoodien perusteella laaditaan vertailuarvot, jonka perusteella havainnot pisteytetään<br>• koodien asteikot ovat tyypillisimmille putkimateriaaleille olemassa<br>• havaintojen arvottaminen tuottaa yhden kuntoarvon<br>• koodisysteemi on sovellettavissa muihinkin tutkimusmenetelmiin | • käyttö on rajoitettu tiettyihin ohjelmistoihin – käyttöoikeudet, lisenssimaksut<br>• ohjelmiston/menetelmän käyttäjät tulee kouluttaa, jotta luokitteluasteikot tulevat tutuiksi<br>• harjoittelu- ja sertifiointiprosesseissa käytettävät materiaalit tarvitsevat enemmän kuvahavaintoja vioista<br>• ei ole sisään rakennettuja eikä automaattisia havaintojen verifiointityökaluja – vaatii erillisen laaduntarkastuskierroksen<br>• menetelmä ei ole vielä laajasti käytössä |

Kuten edellä olevasta taulukostakin voi päätellä, eri koodausjärjestelmien mukaiset tulkinnat eroavat joiltain osiltaan toisistaan jopa merkittävästi (van der Steen et al. 2014).

Verkon TV-kuvauksista saatava tieto voidaan jakaa seuraaviin luokkiin: (i) laadunhallinta uusille putkiosuuksille; (ii) tärkeimpien/kriittisimpien viemäreiden seuranta ja dokumentaatio; (iii) viallisten putkiosuuksien löytäminen; sekä (iv) putkilinjojen tutkiminen ennen saneerausta. (Hafskjold et al. 2003)

Tukos voi olla: (i) krooninen, jolloin putken osittainen tukkeutuminen pienentää hydraulista kapasiteettia, ja se saattaa lisääntyä ajan kanssa, esimerkiksi painumat; (ii) akuutti, jolloin putki tukkeutuu yleensä täysin (esim. rakenteellinen murtuma tai ylimääräisen esineen ilmaantuminen viemäriin); tai (iii) kahden edellisen yhdistelmä. (Hafskjold et al. 2003)

Perinteiset kuntotutkimusmenetelmät (viemäreiden TV-kuvaus) tuottavat rajoittuneempaa/puutteellista dataa putkien rakenteellisen kunnon arvioimiseksi. Tutkimuksessa havaittiin, että maaperätutkalla (Ground Penetrating Radar, GPR) saatiin havaintoja putkiverkon seinämän rakenteellisesta kunnosta. (Koo & Ariaratnam, 2006)

Viemäri- ja hulevesiviemärijärjestelmät ympäri maailmaa kärsivät kapasiteettivajeista, rakentamisen aikaisista virheistä sekä putkien seinämän rakenteellisesta hajoamisesta. Näiden syiden vuoksi putkiverkot saattavat hajota paikallisesti, aiheuttaa tulvia ja tulvimista kellareihin, liikennehäiriöitä, katujen ja maanpinnan eroosiota sekä pohjaveden ja muiden vesilähteiden saastumista (Hafskjold et al. 2003). Taulukossa 3.3 (Clothier et al. 2011) on listattu fysikaalisia, toiminnallisia ja ympäristötekijöitä, jotka vaikuttavat verkkojen ominaisuuksiin maaperässä ollessaan.

Taulu 3.3. Fysikaaliset, toiminnalliset ja ympäristötekijät, jotka vaikuttavat verkkojen ominaisuuksiin (Clothier et al. 2011).

| Fysikaaliset | Toiminnalliset | Ympäristötekijät |
|---|---|---|
| Ikä | Virtausnopeus | Putken sijainti suhteessa pohjaveden pinnan tasoon |
| Seinämän paksuus/paineluokitus | Rikkoutumishistoria | Sähkövirrat ympäristöstä |
| Halkaisija | Viipymäaika | Katodisuojaus |
| Liittymätyypit | Verkossa vallitseva paine | Maaperän ominaisuudet<br>• resistiivisyys<br>• sähköpotentiaali pisteiden välillä<br>• pH<br>• kloridipitoisuus<br>• ReDox-potentiaali<br>• sulfidit ja sulfaatit |
| Pinnoitustapa | | |
| Valmistustapa | | |
| Verkon virtaus- ja fyysinen profiili | | |

Pumppaamoilta lähtevät painelinjat ovat erittäin tärkeä osa toimivaa viemäriverkkoa. Painelinjat on usein sijoitettu kriittisille alueille (esimerkiksi vesistöjen alitukset, laajojen alueiden läpiviennit jne.), jonka vuoksi niiden kuntotieto on erittäin tärkeää niin vesilaitoksen, asukkaiden, kuntien kuin ympäristönkin kannalta. Toistaiseksi painelinjojen kuntotutkimukseen ei ole ainakaan Suomessa ollut järjestelmällisesti käytössä mitään erityistä menetelmää. Taulukkoon 3.4 on koottu painelinjoihin soveltuvia menetelmiä sekä niiden ominaisuuksia.

Taulukko 3.4. Paineellisten johtojen kuntotutkimusmenetelmien yhteenvetoa (Bhaskar Dasari, 2016 jne.)

| Menetelmä | Soveltuvat putkimateriaalit | Putkien koot | Kustannusten jakautuminen | Menetelmän käytön edellytykset | Menetelmän tulokset ja havainnot |
|---|---|---|---|---|---|
| Yhdistetty CCTV ja laserkeilaus | Valurauta<br>Teräs<br>Muovi<br>PCCP | Yli 150 mm | Edullinen laitteiston liikuttelu.<br>Alhaiset tutkimuskustannukset.<br>Keskisuuret raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset.<br>Keskisuuret kustannukset tutkimuksen valmisteluun.<br>Keskisuuret kustannukset ohituspumppauksiin jne. | Erikoistuneita asiantuntijapalveluita on saatavilla.<br>Saattaa vaatia kaivantoja.<br>Vaatii putken esipesun.<br>Putki ei voi olla käytössä samanaikaisesti.<br>Mutkien/kulmien ohitus rajoitetusti.<br>Putkessa olevat esteet tai sisäpinnan liukkaus estävät tutkimuksen.<br>Voidaan tutkia satoja metrejä päivässä.<br>Pinnoitteet, saumat jne. vaikeuttavat menetelmän käyttöä. | Voidaan arvioida metallin häviämistä.<br>Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| Suutinkamera | Valurauta<br>Teräs<br>Muovi | Yli 150 mm | Edullinen laitteiston liikuttelu<br>Viemäreiden huuhteluauton kanssa käytettävä<br>Alhaiset tutkimuskustannukset<br>Keskisuuret raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset | Palvelua on saatavilla<br>Saattaa vaatia kaivantoja.<br>Toteutetaan putken pesun yhteydessä<br>Putki ei voi olla käytössä samanaikaisesti.<br>Mutkien/kulmien ohitus rajoitetusti.<br>Putkessa olevat esteet estävät tutkimuksen.<br>Voidaan tutkia satoja metrejä päivässä.<br>Pinnoitteet, saumat jne. vaikeuttavat menetelmän käyttöä. | Eteenpäin kuvattua videokuvaa.<br>Rajallinen etenemä kohteessa |
| Ultraäänitutkimus, seinän paksuuden mittaus | Valurauta<br>Teräs | | Korkeat laitteiston mobilisaatiokustannukset.<br>Korkeat tutkimuskustannukset.<br>Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset.<br>Keskisuuret kustannukset putken läheisyyteen pääsystä. | Kiinnitetään possutuslaitteeseen.<br>Putkiosuus voi olla käytössä tutkimuksen ajan.<br>Kulmien/mutkien ohittaminen on mahdollista.<br>Putkessa olevat esteet rajoittavat menetelmän käyttöä.<br>Voidaan tutkia jopa 180m/h. | Voidaan tutkia metallin häviämistä, halkeamia ja haurastumista.<br>Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| RFEC | Teräs<br>PCCP | Alle 380 mm | Keskisuuret mobilisaatiokustannukset.<br>Korkeat tutkimuskustannukset.<br>Keskisuuret raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset. | Kiinnitetään possutuslaitteeseen.<br>Erikoistuneita asiantuntijapalveluita on saatavilla.<br>Putkiosuus voi olla käytössä, rajoitetusti. | Voidaan tutkia metallin häviämistä, halkeamia ja haurastumista. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Keskisuuret kustannukset putken läheisyyteen pääsystä. | Saattaa vaatia erillisiä kaivantoja putken läheisyyteen.<br>Vaatii esipesun.<br>Mutkien/kulmien ohittaminen on mahdollista.<br>Putkessa olevat esteet rajoittavat menetelmän käyttöä.<br>Voidaan tutkia jopa 1500 m/vrk. | Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| Putken sisäpuolinen, laajakaistainen sähkömagneettinen menetelmä. | Valurauta<br>Teräs | Yli 150 mm | Alhaiset mobilisaatiokustannukset.<br>Alhaiset tutkimuskustannukset.<br>Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset.<br>Keskisuuret kustannukset putken läheisyyteen pääsystä.<br>Korkeat ohituspumppauskustannukset. | Putki ei voi olla käytössä samanaikaisesti.<br>Pinnoitteet, saumat jne. eivät vaikeuta menetelmän käyttöä.<br>Erikoistuneita asiantuntijapalveluita on saatavilla.<br>Vaatia erillisiä kaivantoja putken läheisyyteen.<br>Vaatii esipesun.<br>Kulmien/mutkien ohittaminen rajoitetusti mahdollista.<br>Putkessa olevat esteet rajoittavat menetelmän käyttöä.<br>Voidaan tutkia jopa satoja metrejä/h. | Voidaan tutkia metallin häviämistä, halkeamia ja haurastumista.<br>Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| Putken ulkopuolinen, laajakaistainen sähkömagneettinen menetelmä | Valurauta<br>Teräs | Yli 50 mm | Alhaiset mobilisaatiokustannukset.<br>Alhaiset tutkimuskustannukset.<br>Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset.<br>Merkittävät kustannukset putkiosuuksien läheisyyteen pääsystä (kaivannoista). | Putkiosuus voi olla toiminnassa.<br>Erikoistuneita asiantuntijapalveluita on saatavilla.<br>Ulkopuolisia pinnoitteita ei tarvitse poistaa.<br>Vaatii erillisiä kaivantoja putken läheisyyteen. | Voidaan tutkia metallin häviämistä, halkeamia ja haurastumista.<br>Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| Putken ulkopuolinen magneettivuomenetelmä | Valurauta<br>Teräs | yli 150 mm | Korkeat mobilisaatiokustannukset.<br>Keskisuuret tutkimuskustannukset.<br>Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset.<br>Merkittävät kustannukset putkiosuuksien läheisyyteen pääsystä (kaivannoista). | Putkiosuus voi olla toiminnassa.<br>Tutkimusmenetelmä ei ole vuokrattavissa tai ostettavissa, vaan ainoastaan Erikoistuneiden asiantuntijapalveluiden kautta.<br>Ulkopuolisia pinnoitteita ei tarvitse poistaa.<br>Vaatii erillisiä kaivantoja putken läheisyyteen.<br>Pinnoitteet, saumat jne. eivät vaikeuta menetelmän käyttöä. | Voidaan tutkia metallin häviämistä, halkeamia ja haurastumista.<br>Jatkuva data putkiosuudelta.<br>Hyvälaatuinen data putkiosuudelta.* |
| Vuotojen havainnointi | Valurauta<br>Teräs<br>Asbestisementti | *Sahara*-työkalu yli 100 mm; *Smart-* | *Sahara*:<br>Korkeat mobilisointikustannukset. | Korrelaattoreilla voidaan tutkia 150 m | Havaitsee liitoskohtien ja halkeamien |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | (himaniitti) PCCP PVC | *Ball*-menetelmä yli 250 mm | Keskisuuret tutkimuskustannukset. Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset. SmartBall: Keskisuuret mobilisointikustannukset. Keskisuuret tutkimuskustannukset. Korkeat raportoinnin ja tiedonkäsittelyn kustannukset. | kerralla. Sahara-työkalulla voidaan tutkia jopa 1200 m kerralla. Putkiosuus voi olla toiminnassa. Kumpaankin menetelmään on olemassa Erikoistuneita asiantuntijapalveluita. | kautta tapahtuvat vuodot. |

*Edellyttää, että kuntotutkimusprosessi sekä käytettävä menetelmä on toteutettu laadukkaasti ja soveltuvilla menetelmillä ja laitteistoilla.
RFEC = Remote Field Eddy Current

Pumppaamoilta lähtevien painelinjojen tutkimiseksi on kehitetty viimeisen kymmenen vuoden aikana useita menetelmiä. Taulukossa 2 (Liite 2) on yhteenveto eri menetelmistä (Derr, 2010).

**Automaattinen tulosten tulkinta kuntotutkimusprosessissa**

van der Steen et al. (2014) havaitsi tutkimuksessaan, että nykymuotoinen visuaalinen tulkinta voidaan saada paremmaksi ja prosessi tehokkaammaksi, jos kaikki tutkittavat ja analysoitavat viat ovat riittävän yksiselitteisiä, ja yhdentyyppistä vikaa varten on määritetty vain yksi vikaluokka. Luokittelun sujuvuutta helpottaa myös pelkkä vikojen luokittelu valmiista listasta ilman erillisiä, lisättäviä, havaintotekstejä. Valokuvien lisääminen raportointiin ja raportteihin tekee siitä myös helpompaa ja selkeämpää niin tilaajan kuin tekijänkin kannalta. Automaattinen tulosten analysointi tuottaa lisäarvoa raportoinnin kehittämiseen. (van der Steen et al. 2014)

Digitaalisesti tehtyjen kuvausten automaattisen tulkinnan prosesseja on kehitetty viime vuosina useissa paikoissa. Esimerkiksi Kiinassa (Wu et al. 2015) on kehitetty automaattisen kuvantulkintaan prosessia, jossa värikuvat muutetaan ensin mustavalkokuviksi, jonka jälkeen niissä olevat havainnot tunnistetaan analysointiohjelmalla ja saadaan näin tunnistettua verkon viat ja häiriötekijät.

Suomessa tyypillinen kuntotutkittava verkko sisältää suuruusluokaltaan noin 60 % hyvässä tai välttävässä kunnossa olevaa verkkoa, ja noin 40 % havainnoista on putkiosuuksista, jotka tarvitsevat lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä korjaus-, huolto- tai saneeraustoimia. Henkilötyönä tehtävä havaintojen ja vikojen tulkinta on hidasta ja virhealtista. Viemäreiden TV-kuvauksen – tehtiin se videomuotoisena tai digitaalisena – tulosten ja havaintojen automaattisen tulkinnan tarve on ollut esillä jo useamman vuosikymmenen ajan (McKim & Sinha, 1999). Aikaisemmin tietokoneiden suorituskyky, muistikapasiteetti, tiedonsiirto ja muut tekniset valmiudet eivät ole mahdollistaneet (reaaliaikaista) automaattista kuvantulkintaa kuntotutkimusmateriaalista. Tällä hetkellä (syyskuu 2018) on käynnissä useita tutkimusprojekteja Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, joissa pyritään löytämään ja kehittämään algoritmit koneoppimiselle, ja havaintojen automaattiselle tulkinnalle.

HSY:ssä vuosina 2015-2017 olleessa ÄlykäsVesi-hankkeessa aloitettiin digitaalisen kuvausmateriaalin automaattisen tulkinnan kehittäminen yhdessä ohjelmisto-osaajien kanssa. Projektissa toteutettiin kaksi proof of concept (poc)-tyyppistä tarkastelua, jossa kaksi eri yritystä osoitti automaattisen kuvantulkinnan olevan mahdollista DigiSewer®-kameralla tehdystä putkistojen kuntotutkimuksesta hyödyntäen putkesta otettuja digitaalisia 360° still-kuvia. Projekti on edennyt itsenäisesti tuon hankkeen jälkeen, ja nyt on menossa lähtöaineiston keruu pohjoisamerikkalaisilta ja eurooppalaisilta toimijoilta.

Algoritmi vaatii runsaasti materiaalia ns. kirjastoon, jonka perusteella se saadaan opetettua tunnistamaan tyypillisimmät viat verkkojen kuntotutkimusten materiaalista.

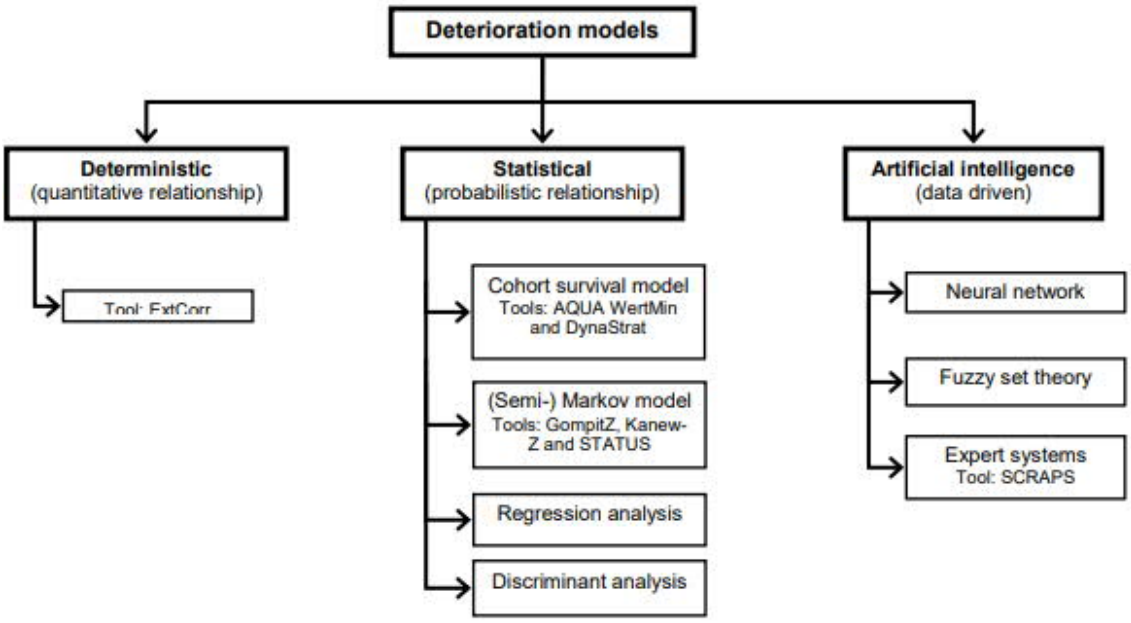
Suomalaiset (Kannala et al. 2008 ja viitteet siinä) ovat kehittäneet algoritmejä viemäreiden TV-kuvauksen automaattisen tulkinnan avuksi. Exeterin yliopistossa on meneillään tutkimushanke, jossa viemäreiden TV-kuvauksen aineistoa (videomateriaalia) pyritään tulkitsemaan automaattisesti (http://emps.exeter.ac.uk/engineering/research/cws/news-events/news/title_590136_en.html). Saksassa on jo useamman vuoden ajan kehitetty e.Sigma-menetelmää, jossa automaattista kuntotietojen analysointia tehdään Panoramo®-kameran kuvista (www.esic.cloud). Yhdysvalloissa on käynnistymässä projekti, jossa automaattista tulosten tulkintaa kehitetään DigiSewer®-kameran tuottamalle videokuvalle (Kumar, 2017).

## 3.1 VERKKOJEN KUNTOTUTKIMUSTEN ESISELVITYSMENETELMÄT

### 3.1.1 Data-analyysit ja muut matemaattiset menetelmät

Viemäriverkon rakenteellisen kunnon määrittäminen on yksi keskeisimpiä vaatimuksia luotettavalle viemäreiden kuntotutkimukselle. Putkille laaditut hajoamismallit auttavat saneeraus- ja korjaustoimenpiteiden suunnittelua, koska niiden avulla pystytään priorisoimaan verkon osat ja laatimaan ennustemallit rakenteellisen kunnon osalta. Tällaisten mallien käyttö tuottaa hyötyjä, mikäli on saatavilla riittävästi tietoa mallin kalibrointiin, hajoamismalli on kohdetietoihin soveltuva ja muuttujien avulla voidaan selittää kuntohavaintoja riittävällä tasolla. Kuitenkin on havaittu, että monia hajoamismalleja on vaikea hyödyntää, koska kuntotutkimuksissa saadut havainnot kertovat vain epäsuorasti putkiverkon todellisesta kunnosta, vaikka malleja voidaankin käyttää apuna kohdennettaessa kuntotutkimuksia verkossa. Mallien selitysastetta rajoittaa selittävien muuttujien saatavuus sekä se, että eri vikaantumismallit on muodostettu kokoojamuuttujista. Esim. GompitZ viemärien hajoamismalli. (Rokstad ja Ugarelli, 2015)

Viemäriverkon hajoamisen mallinnus omaisuudenhallinnan osana on havaittu hyväksi työkaluksi verkon arvottamisessa ja hallinnassa. Yksinkertaisten mallien avulla saadaan arvioitua nykytilanne verkossa. Tarkempaa tietoa ja tarkempia tuloksia tuottaa pidemmälle kehitetyt mallit, kuten GompitZ. Pidemmälle kehitetyt mallit vaativat myös tarkempaa ja kokonaisvaltaisempaa lähtötietojen hallintaa, keräystä ja analysointia. Toisaalta viemäriverkon hajoamisen mallinnuksessa kannattaa käyttää näitä pidemmälle kehitettyjä malleja, kuten GompitZ, koska ne tuottavat tarkempia tuloksia ja niiden tuottama tulosten hajonta on pienempää. (Caradot et al. 2017) Kley:n ja Caradot'n (2013) laatimassa raportissa on kerrottu erilaisista verkon hajoamismalleista, sekä kerätty tietoa niiden hyödyistä ja rajoituksista viemäriverkostojen kuntotutkimuksen apuna (Kuva 3.5).




Kuva 3.5. Viemäreiden hajoamismalleja (Kley & Caradot, 2013).

Viemäriverkon tiedonhallinnassa on huomioitava taulukossa 3.5 lueteltuja tekijöitä. Niiden lisäksi on syytä kerätä tietoa (i) putken muodosta; (ii) viemäriverkon ja pumppaamon olosuhteista; (iii) verkon virtaamatilanteesta ja sen vaihtelusta alueella; (iv) pohjavesialueista ja muista maavesistä; (v) liikenteen ja muun toiminnan aiheuttamista kuormituksista; (vi) verkon iästä sekä rakennusmenetelmistä; (vii) verkon ylivuototapahtumista; (viii) toteutetuista huolto- ja kunnossapitotoimenpiteistä. (Fenner, 2000)

Taulu 3.5. Viemäriverkon tiedonhallinnassa vaadittavat ja huomioitavat tiedot. (Fenner, 2000)

| Vaatimus | Kuvaus |
|---|---|
| Tiedon tarkkuus | Kaikki putki- ja tunnelikoot sekä muut fyysiset attribuutit ovat tiedossa, tiedonsiirto eri järjestelmien välillä toimii |
| Tiedon kokonaisuus hallussa | Kaikki rakennetut ja rakennettavat tiedot putki- ja tunneliverkosta tunnistetaan, kerätään ja tiedetään |
| Paikkatieto | Verkon sijainti tulee olla määritetty tunnettuihin kiintopisteisiin, tieto on verkkotietojärjestelmässä (GIS), hydrauliset mallit ovat kehitteillä |
| Verkon operatiivinen tieto ja ominaisuudet | Olennaista omaisuudenhallinnassa |
| Tiedonsiirto | Tieto ja havainnot tulee pystyä helposti siirtämään mm. GIS-järjestelmään ja mallinnusta varten |
| Omaisuudenhallinta | Investointi- ja muut päätökset pohjautuvat omaisuuden kuntotietoon ja verkon kriittisyysarviointiin, jotta pystytään suunnittelemaan, tutkimaan ja toteuttamaan toimenpiteet ennakoivasti |
| Kunnossapidon hallinta | Verkosta saatava tieto on pohjana kunnossapidon hallinnan järjestelmälle mm. havaintojen, vikatilanteiden ja asiakasvalitusten kirjaamisen kautta |
| Laadunhallinta | Perusteellinen laadunvarmistus ja -hallinta ovat tärkeitä tekijöitä kokonaisuuden hallinnassa |

CARE-S järjestelmä kehitettiin auttamaan verkkojen kaikkien muuttujien huomioimisen avuksi, jotta saadaan ylläpito- ja saneeraustoimenpiteet kohdennettua oikeisiin kohteisiin ja pidettyä riittävällä tasolla. CARE-S:n työkalut ovat: (i) Performance Indicator (PI, suorituskykyindikaattori) tunnistaminen saneerausprosessin avuksi; (ii) sosio-ekonomisten ja ympäristöriskien tunnistaminen; (iii) tietopankki saneerausmenetelmien ja

operatiivisten ratkaisujen avuksi; (iv) parhaiden pitkäaikaisten suunnitelmien hallinnassa; (v) hydraulisten, ympäristöllisten sekä rakenteellisen kunnon hallintaan ja muutosten hallintaan; (vi) multi-criterion decision (MCD), monitavoiteoptimointityökalu korkean prioriteetin saneerausprojektien valinnan avuksi; (vii) ohjelmistoydin, nimeltään ”Rehabilitation Manager”, joka mahdollistaa suunnittelijoiden ja viemäröinnin tarjoajien käyttöön em. tuotteet. (Hafskjold et al. 2003)

Verkkojen yleisestä kunnosta sekä vuotovesien määrästä saadaan tietoa mm. (i) keskimääräisestä kuivan kauden virtaamamittauksesta; (ii) jätevesivirtaaman perustason vaihteluista huomioiden kuluttajien määrän alueella; (iii) pohjaveden sisäänvirtauksen määrä saadaan vähennettyä jätevesivirtaaman perustaso keskimääräisestä kuivan kauden virtaamamittauksesta; (iii) alueelle kohdistetusta sademäärästä; (iv) sademäärän ja huippuvirtaamien suhteen avulla. (Feeney et al. 2009)

Kriittisyysluokitus on yksi käyttökelpoinen menetelmä verkkotiedon luokitteluun ja luokittamiseen kriittisiin ja ei-kriittisiin verkko-osuuksiin, jonka perusteella pystytään kohdentamaan fyysiset kuntotutkimusmenetelmät oikeammin ja tehokkaammin sekä objektiivisen tarkastelun perusteella. Esimerkiksi HSY:ssä on vesi- ja jätevesiverkot analysoitu kriittisyysluokitusmenetelmällä, jonka avulla testattiin verkoista olevaa paikkatietoa ympäröivään kaupunkirakenteeseen. Analyysi tehtiin erikseen vesijohto- ja viemäriverkostoille, ja siinä käytettiin erikseen sovittuja buffereita (suoja-alueita), jonka sisällä sekä verkon osan että kriittisyyttä osoittavan muun ominaisuuden paikkatiedon tuli kohdata. Verkot luokiteltiin kolmeen luokkaan, joista 1 on erittäin kriittinen, 2 kriittinen ja 3 ei-kriittinen (”tavallinen”) verkon osa. Testattavien ehtojen lisäksi tuli päättää, missä järjestyksessä kukin ehto vaikuttaa kriittisyysluokitukseen. Taulukossa 3.6 on kerrottu ehdot, joiden täyttymistä testattiin. (Laakso et al. 2015)

Taulukko 3.6. Vesijohto- ja viemäriverkkojen kriittisyysluokitukseen huomioidut tekijät HSY:n verkkoaineiston analysoinnissa. (Laakso et al. 2015)

| Verkkolaji ja kriittisyysluokka | Testattu ehto |
|---|---|
| Vedenjakeluverkko, kriittisyysluokka 1 | Päävesijohdot laitoksilta vesitorneille ja merkittäville paineenkorottamoille |
| | Kriittisille kuluttajille vievät vesijohdot, joille ei ole vaihtoehtoista reittiä |
| | Sulkemistarkastelujen perusteella kriittiset putket |
| | Rautatien alitukset, jos putki suoraan rautatien alla ilman suojaputkea |
| | Ainoa yhteys merkittävän suuruiselle alueelle |
| Vedenjakeluverkko, kriittisyysluokka 2 | Päävesijohdot, jotka eivät kuulu luokkaan 1 |
| | Putki rakennuksen alla |
| | Suuri putki merkittävän tien alla |
| | Maakaasun siirtolinjan lähellä oleva putki |
| | Putki kriittisen maanalaisen kohteen vieressä |
| Viemäriverkko, kriittisyysluokka 1 | Pääverkon tunnelit |
| | Suuret pääviemärit |
| | Pääviemärit ja paineviemärit, jotka ovat luokkaan 1 tai 2 kuuluvalla pohjavesialueella |
| | Vedenoton tai varavedenoton kannalta keskeisten kohteiden läheisyydessä olevat viemärit |
| | Rautatien alitukset, jos putki suoraan rautatien alla (suojaputkella ja ilman) |
| | Tuplaamattomat paineviemärit kriittisiltä pumppaamoilta |
| Viemäriverkko, kriittisyysluokka 2 | Luokkaan 1 kuulumattomat pääviemärit |
| | Luonnonsuojelualueilla sijaitsevat viemärit |
| | Vesialueiden alitukset |
| | Rakennusten alla olevat viemärit |
| | Suojeltavien purojen läheisyydessä olevat viemärit |
| | Uimarantojen läheisyydessä olevat putket |
| | Luokkaan 1 ja 2 kuuluvilla pohjavesialueilla olevat muut kuin pääviemärit |
| | Luokkaan 3 kuuluvilla pohjavesialueilla olevat pääviemärit |
| | Maanalaisten kriittisten kohteiden läheisyydessä olevat viemärit |

### 3.1.2 Zoom-kameralla suoritettavat kuntotutkimukset

Zoom-kameralla tehtävät tutkimukset tuottavat still-kuvia ja/tai videokuvaa tutkittavasta putkiosuudesta. Tärkein ero zoom-tutkimuksella ja läpiajettavalla tutkimuksella on, että zoom-kamerat ovat paikallaan kaivoissa, kiinnitettynä joko pakettiautoon, nosturiin, sauvaan tai kolmijalkaan. Kamera lasketaan kaivoon, jossa se lukitaan tutkittavan putken kohdalle, jonka jälkeen putkiosuus tutkitaan zoomaamalla (digitaalisesti ja analogisesti) riittävissä valaistusolosuhteissa. Tällä menetelmällä saadaan tutkittua suoraa putkiosuutta tyypillisesti 80-100 m. Tämä menetelmä soveltuu vain veden pinnan yläpuolisen verkon tarkasteluun ja tutkimiseen. (Feeney et al. 2009)

Zoom-kameramenetelmällä saadaan tutkittua tyypillisesti kaivoväli kerrallaan verkossa. Putkisto kuvataan kummankin päätekaivon suunnasta. Tällä menetelmällä ei korvata perinteistä viemärikuvaustutkimusta, mutta se on erittäin käyttökelpoinen esimerkiksi verkkojen kuntotutkimusten esisuunnitteluvaiheessa, jonka perusteella pystytään priorisoimaan ja kohdentamaan viemärikuvaustutkimukset niihin putkisto-osuuksiin, joissa havaitaan vikoja ja/tai ongelmia. Samalla saadaan arvokasta tietoa verkon toiminnallisesta kunnosta. (Feeney et al. 2009)

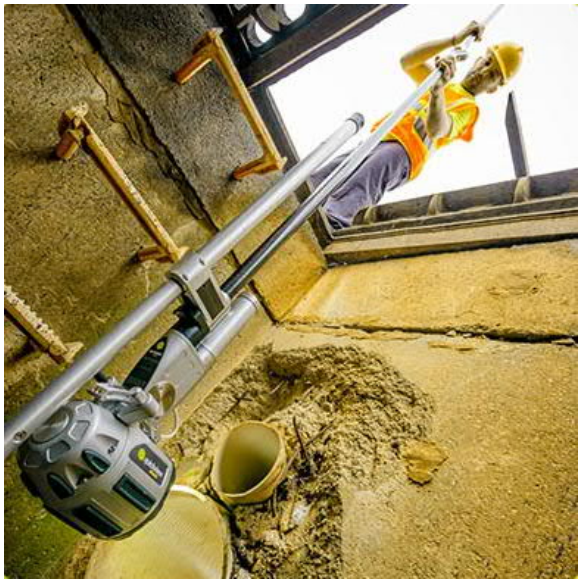
Zoom-kameralla suoritettava verkon tutkimus on nopeampaa ja tuottaa vuositasolla jopa 10-kertaa enemmän tutkimustietoa verkosta kuin perinteinen läpiajettava CCTV-kuvaus (Feeney et al. 2009).

Zoom-kameraa voidaan hyödyntää myös kaivojen tutkimisessa (Feeney et al. 2009).

Taulukko 3.7. Zoom-kameralla suoritettavat kuntotutkimukset (Feeney et al. 2009)

| | |
|---|---|
| Viemärityyppi | Vain viettoviemärit |
| Materiaali | Kaikki |
| Putken koko | 150 mm -> |
| Havaittavat viat | Halkeamat, vuodot, juuret, putkien ja kaivojen pinnan yleisarvio, liittymät |
| Toteutus | Tutkimus kaivoista kaikkiin suuntiin |
| Tämän hetken kehitys | Markkinoilla saatavilla Suomessa |
| Edut | Nopea verkon kuntotutkimus.<br>Tehokas työkalu priorisoitaessa verkkoa tarkempia kuntotutkimuksia varten. |
| Haitat | Aina ei näe koko osuutta esim. painumien tai irtokertymän vuoksi.<br>Ei pysty tuottamaan rakenteellisesta kunnosta riittävästi tietoa ilman laserkeilausta tai muita soveltuvia menetelmiä. |
| Yksikkökustannus | noin 1-2 €/m sisältäen tulosten tulkinnan (ja tallentamisen pilvipalveluun) |
| Suoritusaika per yksikkö | Kaivosta skannaten ja zoomaten putkiosuus saadaan tutkittua jopa alle minuutissa. |

Kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitetty erilaisia zoom-kameroita.



Kuva 3.6. QuickView-kamera. https://www.envirosight.com/quickview.php

Kuva 3.7. Kaivoon laskettava kamera. https://www.messen-nord.de/products/drain-testing-and-inspection/drain-testing-and-inspection-manhole-camera-systems.html?L=1

## 3.3 VIEMÄREIDEN TV-KUVAUS VERKKOJEN KUNTOTUTKIMUKSESSA

Viemäreiden TV-kuvauskaluston kehitys alkoi Saksasta 1960-luvulla. Suomeen viemäreiden TV-kuvaus rantautui 1970-luvun lopulla. Nykyisin yleisesti käytössä olevat kuntotutkimusmenetelmät ovat usein tämän kehityksen tuloksena syntyneitä teknologioita ja menetelmiä.

Viemäreiden TV-kuvausta varten kamerat lasketaan ja ohjataan putkistoon usealla eri tavalla. Yleisimmin käytössä ovat robottiohjatut ryömijät, joita on saatavilla useassa eri koossa ja erilaisilla laitteistoilla varustettuna. Kamera on mahdollista myös asentaa kelluviin lauttoihin, joilla saadaan tutkittua suurikokoisia linjoja. Kamera voidaan myös työntää tutkittavaan putkeen, esimerkiksi talohaaran tutkimuksessa. (Feeney et al. 2009) Menetelmässä kameraa ohjataan manuaalisesti ja kuvaaja/tutkija pysähtyy vikojen ja havaintojen kohdalle ottaen niistä tarpeen mukaan still-kuvia ja kirjaten ne raporttiin. Raportointi tehdään samaan aikaan kuin tutkimuslaitteisto ohjataan putken läpi. Tällainen toiminta saattaa aiheuttaa sen, että osa havainnoista ja vioista jää joko kokonaan tai osittain huomioimatta. Samoin, koska kameran ohjauksen suorittaa henkilö, on tulos hyvin suuresti riippuvainen mm. hänen osaamisestaan, ammattitaidostaan, vireystilastaan sekä kuvaustilanteen häiriöttömyydestä (McKim & Sinha, 1999; Kirkham

et al. 2000). Uusi tutkimus on osoittanut, että jopa 25 % todennäköisyydellä kuvaaja/tutkija ei huomaa jotain tiettyä virhettä (Dirksen et al., 2013).

Viemäreiden TV-kuvauksen tuloksena saadaan videomateriaalia verkosta ja sen visuaalisesti tulkittavista olosuhteista. Kuvauksen avulla saadaan löydettyä, tunnistettua ja paikannettua verkon vialliset tai huoltoa vaativat osuudet, ml. vuotovesien sisääntulokohdat. Viemäreiden TV-kuvaus on selvitysten perusteella yleisin vesihuoltolaitoksilla käytössä oleva verkkojen kuntotutkimusmenetelmä (Thomson et al. 2004). (Feeney et al. 2009)

Viemäreiden TV-kuvausprosessi tuottaa visuaalista kuvaa putken sisäpinnalta, eikä siis pysty tuottamaan tietoa rakenteellisesta kunnosta tai ympäröivän maaperän tilanteesta. Viemäreiden TV-kuvauksen avulla pystytään havainnoimaan (i) saostumat, irtokertymät, juuret jne.; (ii) verkon painumakohdat; (iii) ylipitkät liittymäputket; (iv) putken halkeamat; (v) vuotokohdat; sekä (vi) jakelu- ja muiden johtojen risteämäkohdat. (Feeney et al. 2009)

Viemäreiden TV-kuvausmenetelmässä voidaan tutkia veden pinnan yläpuolisia osuuksia putkistosta. Sen lisäksi vikojen havainnointi ja kunnon arviointi on riippuvainen mm. kuvaajan kokemuksesta ja tulkinnasta, kuvan laadusta ja virtausolosuhteista. Hyötyjä puolestaan on sen pitkäaikainen käyttö ja vertailumateriaalin saatavuus erilaisten vikakoodien ja -havaintojen avuksi. (Feeney et al. 2009) Putkien rakenteellinen kunto, jäljellä oleva paksuus, sijainnin epätarkkuudet sekä hydraulisen karkeuden määrittäminen ovat vaikeita havaita ja analysoida visuaalista viemäreiden TV-kuvausmenetelmää käytettäessä (Clemens et al. 2014)

Viemäreiden TV-kuvausmenetelmien kehittämiseksi ja prosessin parantamiseksi on kehitelty runsaasti erilaisia menetelmiä. Uusia ratkaisuita on kehitelty mm. robottiohjattuihin ryömijöihin, kameroihin, valaistukseen jne. Viemäreiden TV-kuvausmenetelmä on hyvin käyttökelpoinen tarkkaan visuaaliseen tarkasteluun, eikä sitä sen vuoksi voi syrjäyttää uusilla ja kehittyneemmillä menetelmillä, jotka eivät tuota visuaalista tietoa putken sisäpinnalta. (Feeney et al. 2009) Lisäksi runsaasti uusia tekniikoita, kuten tutkamenetelmä (Olhoeft 2000), akustisia tekniikoita (Feng et al. 2012), sonariin pohjautuvia tekniikoita (Kirkham et al. 2000), laserskannausmenetelmiä (Duran et al. 2003) tai em. tekniikoiden yhdistelmiä (Duran et al. 2007; EPA 2010).

Taulukko 3.8. Perinteisen viemäreiden TV-kuvauksen ominaisuudet. (Feeney et al. 2009)

| | |
|---|---|
| Viemärityyppi | Viettoviemärit, paineviemärit, vesijohdot ja tonttihaarat |
| Materiaali | Kaikki |
| Putken koko | 150 mm -> |
| Havaittavat viat | Halkeamat, juuret, yleinen putken kunto, vuodot, korroosio |
| Toteutus | Verkkojen (putkien) tutkiminen |
| Tämän hetken saatavuus | Useita toimittajia Suomessa.<br>Sekä laitteistotoimittajia että kuntotutkimusurakoitsijoita Suomessa. |
| Edut | Visuaalinen tieto verkon kunnosta. |
| Haitat | Toimii vain veden pinnan yläpuolella.<br>Antaa putkesta vain visuaalisen kuntoarvion, ei pysty tuottamaan rakenteellisesta kunnosta riittävästi tietoa.<br>Kuvaajasta riippuvaisia tuloksia; mm. olosuhteiden vakiointi ja tulkintaohjeen yksiselitteisempi kuvaus helpottaisi prosessin läpivientiä.<br>Verkkojen esipesu vaikuttaa hyvin paljon; pesun onnistumisen varmistaminen (laadunvarmistus) on tärkeä osa prosessia.<br>Ei voida tehdä ilman kunnollista linjojen esipesua. |
| Yksikköhinta | 2 - 15 € / m, ei voida tehdä ilman kunnollista linjojen esipesua<br>Linjojen pesuvaihe kaikkein työläin ja arvokkain osuus. |
| Keskimääräinen tutkimusmäärä per työpäivä | 300 - 600 m |
| Vesijohdot | Menetelmää voidaan käyttää vesijohtojen kuvaamisessa, kun laitetta käytetään vain vesijohtojen kuvaamiseen sekä noudatetaan vesilaitoksen hygieniavaatimuksia työskenneltäessä vesijohdoissa |

**Digitaalinen viemäreiden kuvaus**

Digitaalista viemäreiden kuvausta on kehitetty, tutkittu ja käytetty viemäriverkkojen tutkimuksessa noin 2000-luvun alusta lähtien. Alun perin menetelmä kehitettiin parantamaan viemäreiden TV-kuvauksen kuvanlaatua, tuloksia ja vertailtavuutta. Digitaalinen viemäreiden kuvausmenetelmä käyttää ns. multi-sensoriteknologiaa, jonka avulla sen tuottama tutkimusmateriaali on tarkempaa kuin perinteisen viemäreiden TV-kuvauksen tuottama materiaali. Tässä menetelmässä kamera kulkee pysähtymättä kaivolta toiselle, jolloin sen läpimenoaika on nopeampi kuin perinteisellä kuvausteknologialla. Tulosten tulkinta tehdään erillisenä työvaiheena. (Allouche & Freure, 2002; Feeney et al. 2009, Daher 2015)

Panoramo®-järjestelmä yhdistää kaksi korkean resoluution digitaalista kameraa, jotka on asetettu robottiryömijän eteen ja taakse. Kumpikin linssi käyttää tyypillisesti kalansilmäoptiikkaa tuottaen puolipallon muotoisen kuvan (noin 185º). Tällä menetelmällä saadaan tuotettua viemäriverkosta useita kuvia noin 5 cm erotuksella, eikä putken seinämästä jää mikään osuus kuvaamatta. Panoramo®-kuvauksen tarkkuus on tutkimuksissa osoittautunut olevan hyvin tarkka, noin 90-99 % havainnoista oli oikeita. (Müller & Fischer, 2007)

Digitaalinen viemäreiden kuvaus tapahtuu laitteistolla, jossa on yksi tai useampia korkean resoluution kameroita ja laajakulmalinssit joko edessä tai edessä ja takana. Linssi voi olla esimerkiksi kalansilmälinssi, jolloin saadaan putkesta 360º kuvia. Data siirretään esim. tutkimusautoon reaaliaikaisesti. Yksi huomattava etu digitaalisessa viemäreiden kuvauksessa on se, että tulosten tulkinta voidaan tehdä itsenäisenä työvaiheena esim. kolmansien osapuolien (suunnittelutoimistot jne.) toimesta, eikä kuvauksen kanssa samanaikaista tulkintaa tarvitse tehdä, sillä menetelmä tuottaa digitaalisen kuvan koko putkiosuudelta. (Feeney et al. 2009) Haastattelemamme kuvausurakoitsijat

olivat sitä mieltä, että heidän ei oikeastaan tarvitsisi tai edes pitäisi tehdä kuvausten tulkintaa reaaliaikaisesti kentällä, vaan se kannattaisi siirtää sitä varten koulutetulle ja kyseisessä asiassa asiantuntijoina toimivalle henkilöstölle.

Taulukko 3.9. Digitaalisen viemärikuvauksen ominaisuudet. (Feeney et al. 2009)

| | |
|---|---|
| Viemärityyppi | Viettoviemärit, paineviemärit, vesijohdot ja tonttihaarat |
| Materiaali | Kaikki |
| Putken koko | 150 mm - 1200 mm |
| Havaittavat viat | Halkeamat, juuret, yleinen putken kunto, vuodot, korroosio |
| Toteutus | Verkkojen (putkien) tutkiminen |
| Tämän hetken saatavuus | Useita toimittajia Suomessa.<br>Sekä laitteistotoimittajia että kuntotutkimusurakoitsijoita Suomessa. |
| Edut | Datan ja kuvien laatua voi valvoa ulkopuolinen taho.<br>Voidaan suorittaa mittauksia digitaalisesti.<br>Tuloksia voidaan vertailla tutkimuksesta toiseen.<br>Tulosten automaattinen tulkinta on mahdollista digitaalisesta materiaalista.<br>Nopeampi verkon tutkiminen kuin perinteisellä viemärikuvauksella.<br>Tuottaa (kuvan laadun puitteissa) täydellisen kuvan putkiosuudesta digitaalisessa muodossa.<br>Soveltuu myös hyvin vastaanotto- ja takuuaikaisten kuntotutkimusten suoritustavaksi vertailtavuutensa ja (kuvan laadun puitteissa) täydellisen kuvansa ansiosta. |
| Haitat | Toimii vain veden pinnan yläpuolella.<br>Verkkojen esipesu vaikuttaa hyvin paljon; pesun onnistumisen varmistaminen (laadunvarmistus) on tärkeä osa prosessia.<br>Ei voida tehdä ilman kunnollista linjojen esipesua.<br>Ei pysty tuottamaan rakenteellisesta kunnosta riittävästi tietoa ilman laserkeilausta tai muita menetelmiä. |
| Yksikköhinta | 2 - 10 € / m, ei voida tehdä ilman kunnollista linjojen esipesua<br>Linjojen pesuvaihe kaikkein työläin ja arvokkain osuus. |
| Keskimääräinen tutkimusmäärä per työpäivä | 600-1000 m |
| Vesijohdot | Menetelmää voidaan käyttää vesijohtojen kuvaamisessa, etenkin uusien linjojen vastaanottokuvauksissa, kun laitetta käytetään vain vesijohtojen kuvaamiseen sekä noudatetaan vesilaitoksen hygieniavaatimuksia työskenneltäessä vesijohdoissa |

Kuvissa 3.8 – 3.14 on esitetty erilaisia läpiajettavia kameralaitteistoja.

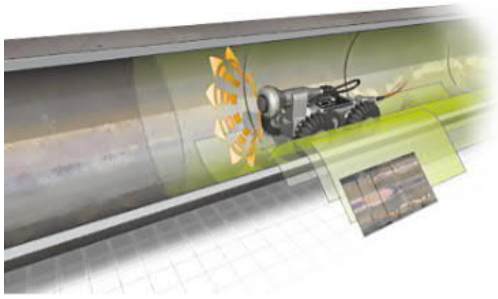
Kuva 3.8. MiniCam-viemärikamera. https://docs.wixstatic.com/ugd/673459_f36be7808398478b98c62f9fbcc67b98.pdf

Kuva 3.9. Perinteinen viemärikamera, iPEK. https://www.ipek.at/index.php?id=694

Kuva 3.10. Perinteinen viemärikamera, IBAK. https://www.ibak.de/de/produkte/ibak_show/frontenddetail/product/t-76-hd/

Kuva 3.11. DigiSewer®-kamera. https://nexxis.com.au/product/digisewer-190/

Kuva 3.12. DigiSewer®-kameran linssi ja valot. https://nexxis.com.au/product/digisewer-190/



Kuva 3.13. DigiSewer®-kameran esitekuva. https://nexxis.com.au/product/digisewer-190/

Kuva 3.13. Panoramo®-kamera. https://www.ibak.de/en/homepage/

Kuva 3.14. Cues Inc:n digitaalinen viemärikamera. https://cuesinc.com/equipment/digital-universal-camera-duc

## 3.6 LASERSKANNAUS JA MUUT KAIKULUOTAUKSEEN POHJAUTUVAT TUTKIMUSMENETELMÄT

### 3.6.1 Laserskannaus

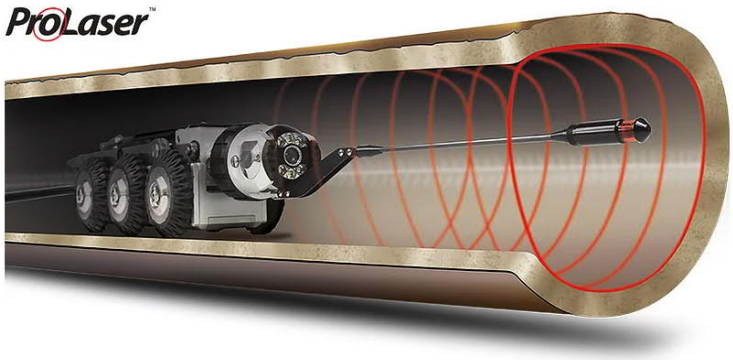
Laserkeilausmenetelmällä pystytään arvioimaan putken seinämän tilan muutoksia geometrisesti. Laserkeilaus tuottaa pistepilven, jonka perusteella esimerkiksi painumat, muodonmuutokset ja seinämän paksuuden muutokset pystytään analysoimaan ja arvioimaan hyvin tarkasti. Laserkeilaustekniikalla päästään hyvin tarkkoihin mittaustuloksiin, ja joissain tutkimuksissa onkin esiintynyt hyvin alhaisia epätarkkuuksia – vain 0,5

% Klemens et al. (2000) tutkimuksessa. Laserkeilausmenetelmällä saadaan putken 3D-geometriasta hyvä tieto. Laserkeilauslaitteisto on mahdollista yhdistää viemäreiden TV-kuvausrobottiin. (Feeney et al. 2009; Clemens et al. 2014)

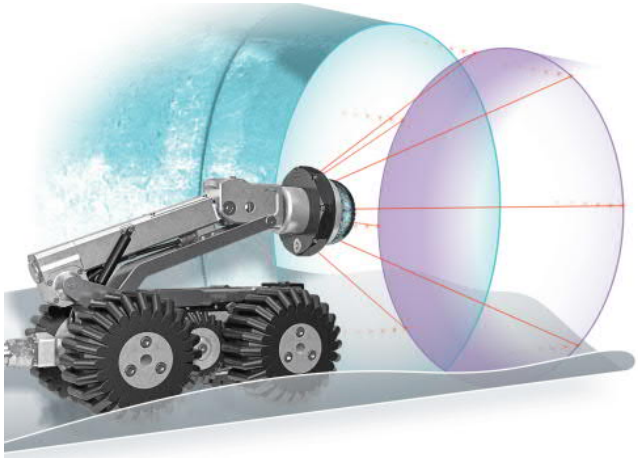
Taulu 3.10. Laserkeilauksen yhteenveto. (Feeney et al. 2009)

| | |
|---|---|
| Viemärityyppi | Viettoviemärit, paineviemärit, vesijohdot |
| Materiaali | Kaikki |
| Putken koko | Tuotteesta riippuvainen, noin 150 mm - 800 mm |
| Havaittavat viat | Muodonmuutokset, korroosio, putken tarkka sisähalkaisijamitta |
| Toteutus | Usein viemärikuvauskameran yhteydessä |
| Tämän hetken saatavuus | Useita toimittajia Suomessa.<br>Sekä laitteistotoimittajia että kuntotutkimusurakoitsijoita Suomessa. |
| Edut | Tuottaa tarkempaa tietoa kuin pelkkä viemärikuvaus.<br>Voidaan muodostaa 3D-malli putkistosta. |
| Haitat | Toimii vain veden pinnan yläpuolella. |
| Yksikköhinta | Sisältyy viemärikameralla tehtävän kuntotutkimuksen hintaan |
| Keskimääräinen tutkimusmäärä per työpäivä | n. 300 m |

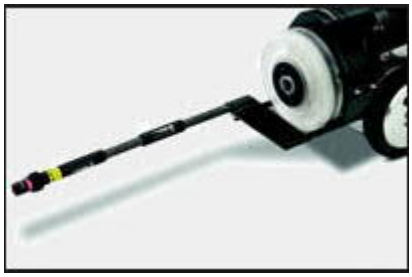
Kuvussa 3.15 – 3.17 on esitetty erilaisia lasermittaukseen soveltuvia laitteistoja.




Kuva 3.15. ProLaser-kamera. https://www.minicam.co.uk/prolaser



Kuva 3.16. DigiSewer®-kameran laserpisteet havainnollistettuna. https://www.enviro-sight.com/dwnld/rvx_digisewer.pdf

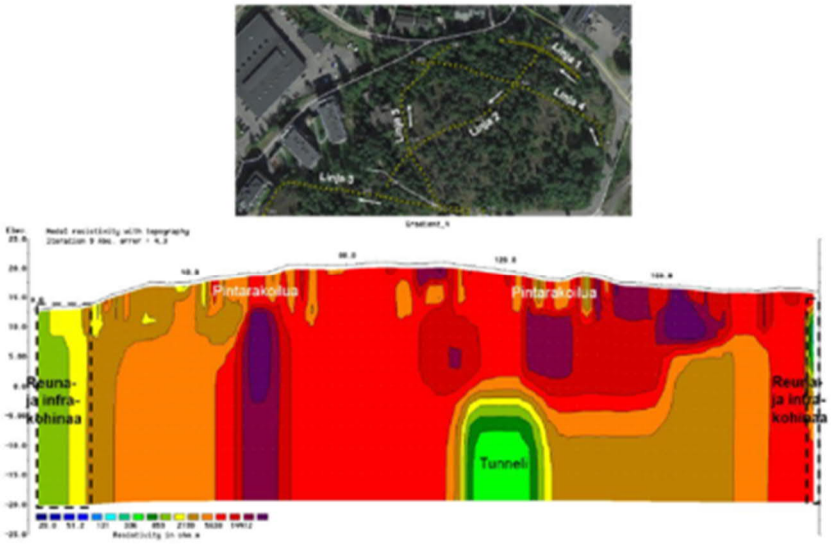


Kuva 3.17. Panoramo®-kameran lasertikku. https://www.ibak.de/en/produkte/ibak_show/frontenddetail/product/panoramo/

### 3.6.2 Maaperätutkat

Maaperätutkauksessa (GPR, Ground Penetrating Radar) käytetään hyödyksi sähkömagneettisia aaltoja, joiden avulla tunnistetaan maanalaisia materiaaleja ja rakenteita. Alun perin maaperätutkat kehitettiin Yhdysvaltain armeijan käyttöön, ja sen periaate on sama kuin tutkassa yleisestikin. Maaperätutkissa on mahdollista käyttää useita erilaisia teknologioita, kuten paikkaa, taajuutta tai aikaa mittaavia analysaattoreita/antenneja. Maaperän tyhjiöt ja putkien romahdukset sekä putkien perustamistavat saadaan näkyviin maaperätutkaa käyttämällä. Myös vuotovesien etsintään voidaan käyttää maaperätutkaa. (Feeney et al. 2009; Daniels, 2005 ja Hao et al. 2012 viitteinä opinnäytetyössä Daher, 2015) Maaperätutkaa voidaan hyödyntää myös putken seinämän rakenteen analysointiin putken sisäpuolelta (Ékes et al. 2011; Ékes % Maier, 2012).

Sähköinen tomografiakuvaus (ERT) hyödyntää tuhansia virransyöttö-potentiaalimittauksia maanpinnalta ja tekee mittauksia maaperästä tuottaen vastaavan sähkönjohtavuusrakenteen visualisoinnin. Sähkönjohtavuusrakenteen kuvauksilla pyritään osoittamaan kallion rikkonaisuusjaksojen sijainti ja ominaisuudet ja edelleen näiden jaksojen yhteydet kalliotilavuudessa. Kallioperässä sähkönjohtavuus on suurimmaksi osaksi elektrolyyttistä (huokosveden ionit sähkön kuljettajina) ja vaihtelee useita dekadeja riippuen kalliomatriisin huokoisuudesta, huokosten välisistä yhteyksistä (hydraulinen johtavuus), vesipitoisuudesta, lämpötilasta ja huokosvedessä olevien ionien konsentraatiosta. (Korkealaakso, 2018)

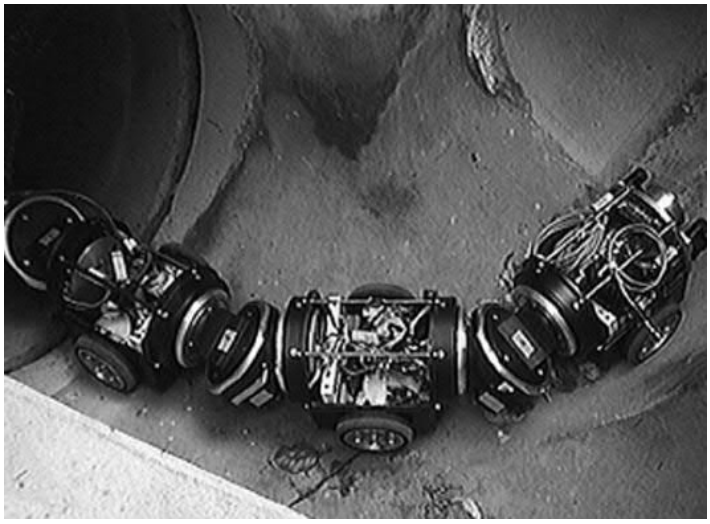



Kuva 3.18. VTT:ssä käytetyn sähköisen tomografiatutkimuksen tulosten havainnekuva. (Korkealaakso, 2018)

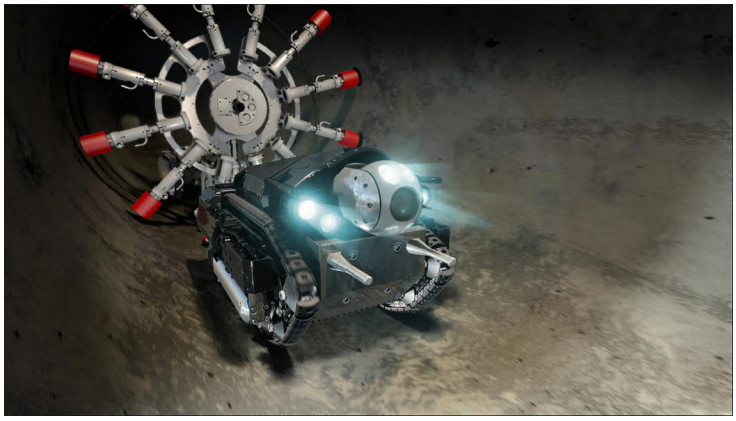
Kuvissa 3.19 – 3.24 on esitetty erilaisia kameralaitteistoja mm. autonomiseen putkien tutkimiseen.

Kuva 3.19. SewerVue-kameralaitteisto. http://sewervue.com/long-range-pipe-inspection-tracked-robot-surveyor.html

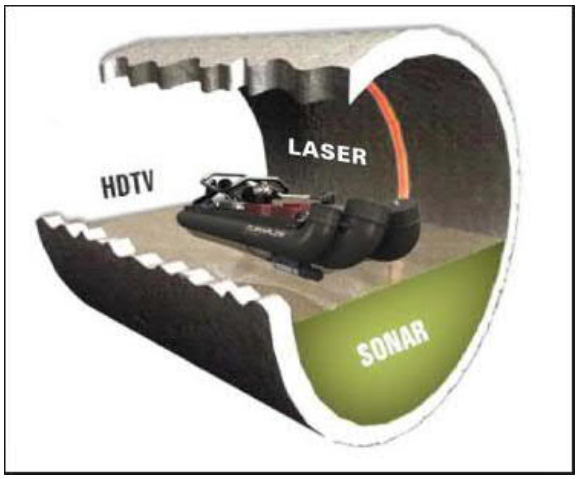
Kuva 3.20. Itsenäisesti liikkuva kuvausrobotti. https://www.redzone.com/



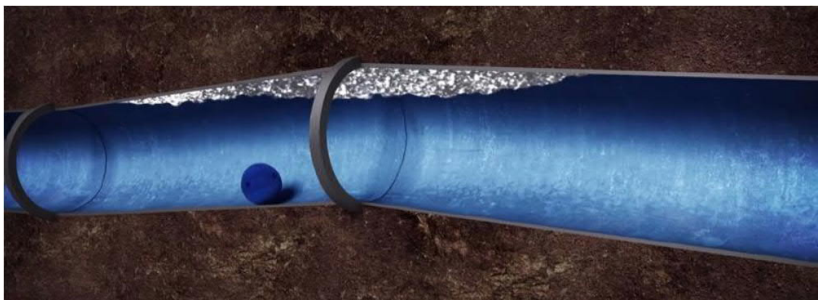
Kuva 3.21. Itsenäisesti liikkuva kuvausrobotti. https://www.researchgate.net/figure/MAKRO-robot-while-turning-in-a-T-joint-of-sewer-test-net_fig6_222443987



Kuva 3.22. Pure Robotics'in kuvausrobotti. https://puretechltd.com/technology/pure-robotics-pipeline-inspection-system/




Kuva 3.23. Monta eri tutkimuslaitetta samassa. https://caryloncorp.com/services/multi-sensor-pipeline-inspection/



Kuva 3.24. SmartBall®-tutkimuslaitteen havainnekuva. https://puretechltd.com/articles/lyon-inspects-water-main-for-leaks-with-smartball/

### 3.6.3 Muut menetelmät

Gamma-gamma-loggerit on kehitetty paikallaan valettujen betonipylväiden ja syvien porausreikien tutkimiseen esim. kaivos-, öljy- ja kaasuteollisuudessa. Menetelmässä käytetään gamma-gamma-sauvaa, jossa käytetään radioaktiivisen cesium-137:n säteilyä gammasäteilyn lähteenä. Analysaattorit suojataan suoralta säteilyltä esimerkiksi lyijyrakenteilla. Tällä menetelmällä saadaan selvitettyä ja tutkittua betonisen rakenteen

keskimääräinen tiheys. Menetelmällä saadaan näkyviin myös (betoniputken) rakenteessa olevat ainevahvuuden epäjatkuvuuskohdat sekä ympäröivän maaperän tyhjiöt. Tämä menetelmä vaatii runsaasti suorittavan henkilökunnan koulutusta ja mm. turvallisuusasioiden läpikäymistä, koska tässä käytetään radioaktiivista materiaalia. (Feeney et al. 2009)

Infrapuna-antureilla (Infrared thermography, IRT) avulla saadaan tutkittua aineen/rakenteen lämpötilaeroja. Menetelmässä hyödynnettävän ohjelmiston avulla saadaan eri lämpötilat näkymään eri väreissä, mikä mahdollistaa putken (sisä)pinnan rakenteen mahdolliset vikakohdat, kuten vuotokohdat. (Feeney et al. 2009) Infrapunatutkimuksen yksikköhinta on noin 5 € / m (Boshoff et al. 2009 viitteenä opinnäytetyössä Daher 2015).

Mikro-deflektiossa aiheutetaan putken seinämälle paikallisesti pieni ylipaine, jonka perusteella mitataan seinämän muodonmuutosta ja sitä kautta epäsuorasti seinämän lujuutta (Makar, 1999). Tätä menetelmää voidaan käyttää tutkittaessa verkoissa tiili-, betoni- ja ruukkumateriaaleja, ei siis muovimateriaaleja. Mikro-deflektio soveltuu rajoitetusti vesihuoltoverkkojen (viemäreiden) kuntotutkimukseen, sillä menetelmä tuottaa vain yleistä tietoa putken kunnosta eikä sen avulla pystytä erottelemaan yksittäisiä vikoja. (Feeney et al. 2009)

## 3.7 AKUSTISET KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Akustisia menetelmiä käytettäessä analysoidaan värähtelyiden ja/tai äänen etenemistä materiaalissa. Putkistojen tutkimisessa akustisia menetelmiä käytettäessä analysoitavat signaalit kertovat mm. vikakohdista, ja käytettäviä menetelmiä on useita. Akustisia menetelmiä käytetään paineellisten linjojen tutkimiseen (paineviemärit ja vesijohdot). Akustiset menetelmät voidaan jaotella seuraavasti: (i) vuotojen etsintään soveltuvat menetelmät; (ii) PCCP:n (esijännitetyn betonin) kunnon tutkimiseen soveltuvat menetelmät; sekä (iii) sonar- tai ultraäänijärjestelmät, jotka emittoivat korkeataajuuksisia ääniaaltoja. (Feeney et al. 2009)

**Vuotoanalysaattorit** hyödyntävät äänen tai värähtelyn havainnointia paineellisissa linjoissa, kuten paineviemärit ja vesijohdot. Näitä menetelmiä käytetään esim. kuuntelutappien, vedenalaisten mikrofonien tai geofonien avulla. Menetelmää käytetään laajasti vesijohtojen kuntotutkimuksessa. Vuotoäänien kuunteluun soveltuvia menetelmiä on ollut käytössä 1980-luvulta saakka. Vuotoanalysaattori voidaan myös asentaa kiinteästi paineelliseen linjaan, jolloin sen avulla saadaan jatkuvatoimisesti seurattua mahdollisten vuotokohtien ilmaantumista.

**PCCP:n (**esijännitetty betoniputki; prestressed concrete cylinder pipe**) kunnon seurantaan soveltuvia** akustisia menetelmiä käytetään sisä- ja ulkopuolisen korroosion havaitsemiseksi. Akustinen signaali (tässä tapauksessa ääni) muodostuu, kun PCCP:ssä olevat esijännitetyt teräsvaijerit hajoavat tai murtuvat. Menetelmä soveltuu yleiseen ja esiselvitystyyppiseen verkon kunnon arviointiin. (Feeney et al. 2009)

**Sonar**-teknologiaa (lyhennelmä sanoista Sound Navigation and Ranging) voidaan hyödyntää vedenalaisten rakenteiden tutkimuksessa. Se kehitettiin vuonna 1906 merenalaisten rakenteiden havaitsemiseksi, ja ensimmäisen kerran sitä käytettiin viemäriverkkojen kuntotutkimukseen vuonna 1987. Viemäreiden ja muiden putkistojen kuntotutkimuksissa se on usein yhdistetty viemäreiden TV-kuvausmenetelmän yhteyteen, jolloin saadaan sekä putken laki että veden alainen osuus putkesta tutkittua samalla kertaa. Tällöin rakenne on tyypillisesti kelluva lautta, jonka yläpuolista osaa tutkii viemärikuvauslaitteisto ja alapuolista osaa sonar. Tutkimus voidaan suorittaa myös täysin upoksissa olevalla laitteistolla. Tällaista menetelmää voidaan käyttää suurten putkien

(ja tunneleiden) tutkimisessa, koot 1500 mm – 3000 mm, ja veden syvyys voi vaihdella 6 – 60 m, sillä se ei vaadi linjojen esipuhdistusta eikä ohipumppauksia. Jotkin seikat vaikuttavat heikentävästi sonar-tutkimuksen tuloksiin, kuten (risteävistä) liittymistä tuleva jätevesi, joka saattaa aiheuttaa ilman kertymistä vesifaasiin ja ilmakuplat häiritsevät sonarin signaalin kulkua, sekä raskaat kiintoaineet ja irtokertymä voi myös estää ja häiritä sonarin signaalin kulkua aiheuttaen mm. kuvan vääristymistä. (Feeney et al. 2009; Andrews 1998)

Sonar-menetelmässä käytetään akustista pulssia, jolle on oma lähetin-vastaanottajapari. Pulssin viive lähetyksen ja vastaanoton välillä ilmaisee heijastavan pinnan etäisyyden lähettimestä. Analyysissä käytettävän akustisen pulssin taajuuteen vaikuttaa heikentävästi taustameteli etenkin korkeilla taajuuksilla. Taajuuden valinta vaikuttaa myös analyysin herkkyyteen ja laitteen sähköistyksen vaatimuksiin. Verkkojen kuntotutkimuksiin käytetään yleisesti korkeita taajuuksia (2 MHz), mutta rakenteellisen kunnon havaitsemiseksi ja tutkimiseksi alhaisemmat taajuudet (alle 200 kHz) antavat paremmat tulokset. Sonarilla nähdään jopa 3 mm kokoiset eroavaisuudet putken sisäpinnassa. Eri materiaalit antavat erilaisen vasteen akustiselle pulssille, joten nekin pystytään erottelemaan. (Feeney et al. 2009)

**Ultraäänitekniikoita** ollaan parhaillaan kehittämässä ja testaamassa viemäreiden kuntotutkimukseen. Esimerkiksi King's College Lontoossa on kehittänyt multisensorijärjestelmän, jossa ultraäänen avulla viemäreiden TV-kuvauksen yhteydessä saadaan selvitettyä hyvinkin pienet halkeamat putken seinämillä. (Feeney et al. 2009) Yhdysvalloissa on kehitetty ultraäänimenetelmä betoniputkien tutkimiseen digitaalisen viemärikuvauksen yhteydessä (Iyer et al. 2011).

Ääni- ja ultraäänitekniikoita käyttämällä saadaan verkoista esille (Marshall & Loera, 2009)

- mikrohalkeamat
- halkeamat
- pinnoitteen irtoamiskohdat
- putken alapinta
- putken ylikuorma
- puutteet putkea ympäröivissä täyttömaa-aineksissa
- putken epänormaali (odotettua nopeampi) vanheneminen
- paineputkien painetason epäjatkuvuuskohdat

**Impact Echo** ja **Spectral Analysis of Surface Waves (SASW**) ovat menetelmiä, joilla tutkitaan ja arvioidaan betonia ja muita rakenteita. Molemmat menetelmät perustuvat elastiseen vaikutukseen, joka aikaansaadaan pneumaattisen vasaralla putken seinämään. Vasaran aikaansaamat aallot kulkeutuvat putken läpi tuottaen tulokseksi heijastuksia, joiden perusteella putken materiaalia voidaan tutkia. Näillä menetelmillä voidaan paikantaa ja mitata halkeamia, pinnoitteen irtoamisia, maaperän tyhjiöitä sekä rakenteen muutoksia. (Feeney et al. 2009)

Taulu 3.11. Akustisten menetelmien yhteenveto. (Feeney et al. 2009; Bracken et al. 2009; Galleher Jr. et al. 2009; Paulson & Ngyen, 2010)

| | In-Line vuotoanalysaattorit | Akustiset mittausmenetelmät | Sonar/ultraääni |
|---|---|---|---|
| Viemärityyppi | Paineviemärit, viettoviemärit | Paineviemärit | Paineviemärit, viettoviemärit |
| Materiaali | Kaikki | PCCP | Kaikki |
| Putken koko | 100 mm -> | 450 mm -> | 100 mm -> |
| Havaittavat viat | Vuodot | Esijännitetyn betoniputken rikkoutumat, putken seinämän ominaisuudet | Putken seinämän vähenemä, korroosio, välitila, halkeamat, irtokertymä. |
| Toteutus | Vuotojen etsintä paineellisissa putkissa. | PCCP-linjojen monitorointiin. | Meren alitusten tutkimiseen. |
| Tämän hetken saatavuus | Markkinoilla muualla | Markkinoilla muualla | Markkinoilla muualla |
| Edut | Havaitsee hyvinkin pienet vuodot. | Soveltuu hyvin esiselvitysmenetelmäksi. | Soveltuu kaikille putkimateriaaleille ja isolle osalle eri kokoja. |
| Haitat | Vaatii minimivirtauksen putkistossa. | Mittaa vain yleistä tilannetta.<br>Osa menetelmistä vaatii erilliset ohjelmistot. Toisaalta ei ole pakko käyttää vain yhtä. | Mittaa vain veden alaisia putkia, rakenteita ja havaintoja. |
| Yksikköhinta | | | |
| Keskimääräinen tutkimusmäärä per työpäivä | | Esim. kuitukaapeli voidaan asentaa pysyvästi putken seinämään | |

PCCP = esijännitetty betoniputki

## 3.8 SÄHKÖISET KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Sähköön ja sähkömagneettisiin virtoihin perustuvia verkon kuntotutkimusmenetelmiä on saatavilla. Pyörrevirta-analysaattori (Eddy current testing, ECT) ja Remote Field Eddy Current (RFEC) menetelmät toimivat rauta-/metalliputkissa. Remote Field Transformer Coupling (RTFC) -menetelmässä data kerätään putken koko pituudelta ja analysoidaan jälkikäteen. ECT- ja RFEC-menetelmät hyödyntävät sähkövirtaa ja magneettikentän vaihteluita metallisten putkien tutkimuksessa. Magneettivuoanalysaattori (Magnetic Flux Leakage, MFL) on yleisesti käytössä öljy- ja kaasuteollisuudessa metallin vähenemän ja halkeamien havaitsemisessa rauta- ja metalliputkissa. (Feeney et al. 2009; Psutka & Kong, 2009) Esimerkki magneettiseen menetelmään perustuvasta laitteistosta on kuvassa 3.25.

Kuva 3.25. Magneettisella menetelmällä toimiva tutkimusrobotti. https://pure-techltd.com/technology/purerobotics-pipeline-inspection-system/

**Sähköinen vuotojenetsintämenetelmä** kehitettiin vuonna 1981 geomembraanien tutkimukseen, jossa se on edelleen yleisin vuotojenetsintämenetelmä. Menetelmässä asetetaan eletrodit tutkittavan kohteen eri puolille, ja jännite-eron avulla saadaan tutkittua haluttu kohde. Menetelmällä voidaan tutkia ei-metallisia paineviemäreitä, tonttihaaroja ja pienempiä viettolinjoja. Paineettomien linjojen tutkiminen tällä menetelmällä vaatii sen, että linjat täytetään täysin vedellä, rajoittaa menetelmän käytettävyyttä niiden tutkimisessa. Vaikka tätä menetelmää on saatavilla useammanlaisena, vain Focused Electrode Leak Location (FELL) on ainoa putkiverkkoihin kehitetty sovellus. FELL tunnetaan myös nimellä ElectroScan. (Feeney et al. 2009)

**ElectroScan**-teknologia kehitettiin Saksassa vuonna 1999. Siinä hyödynnetään sähkövirtaa putken vikojen tunnistamiseksi. Sitä voidaan käyttää vuotovesikohtien havaitsemiseen ei-rautaisissa putkissa (ruukku, muovi, betoni, vahvistettu betoni ja tiili). Menetelmällä ei kuitenkaan pystytä tunnistamaan vuodon syytä (esim. halkeama, juuret), eikä vian sijaintia putken sisäpinnalla. Tietokoneavusteisesti on mahdollista epäsuorasti paikantaa vuotokohdat sekä arvioida niiden syyt. Tutkimuksen yksikkökustannus on noin 3 € / m. Menetelmän havaittiiin tuottavan selkeästi lisätietoa viemäreiden TV-kuvauksen rinnalla. (Tuccillo et al. 2011) Electro-Scan -menetelmää käytetään etenkin suurien putkien kuntotutkimuksissa (Moy et al. 2006).

**ECT-menetelmässä** käytetään vaihtelevaa sähkövirtaa magneettisessa käämissä, joka saa aikaan pyörrevirtoja sähköä johtavissa putkissa. Sähkövirta aiheuttaa pieniä magneettikentän muutoksia ja pyörrevirtoja, joiden perusteella saadaan putken ominaisuudet tutkittua ja analysoitua. Menetelmällä saadaan tunnistettua vain putken pinnalla olevat viat ja epäjatkuvuuskohdat. (Feeney et al. 2009) Tämä menetelmä soveltuu hyvin pienten verkonosien (alle 100 mm) tutkimiseen (Daher, 2015).

**RFEC-menetelmä** kehitettiin alun perin ECT-menetelmän rajoitusten ratkaisemiseksi. Tällä menetelmällä voidaan analysoida ja havaita sisä- ja ulkopuoliset viat putkissa. Menetelmässä käytetään useita magneettisia käämejä, joiden välillä sähkövirta ja magneettikenttä vaihtelevat. (Feeney et al. 2009)

ECT- ja RFEC-menetelmiä voidaan käyttää metallisissa kohteissa, pienissä ja suurissa putkilinjoissa, sekä tyhjissä, täysissä ja osittain täysinäisissä putkissa.

**MFL-menetelmää** voidaan käyttää tutkittaessa metallisia putkiosuuksia. Se kehitettiin 1920- ja 1930-luvuilla öljy- ja kaasuteollisuuden materiaalitutkimusta varten. Putkiverkkojen tutkimukseen kehitettiin vuonna 1965 Tuboscope-niminen sovellus. Menetelmässä putken seinämän lähelle asetetaan yksi tai useampi magneetti, joiden aikaansaama magneettikenttä kertoo putken ominaisuuksista. Menetelmän avulla saadaan selville mahdolliset halkeamat, hitsaussaumojen puutteet ja ongelmat sekä kohdat, joissa on pistekorroosiota. MFL-menetelmää voidaan käyttää vain teräs- ja valurautaputkissa. (Feeney et al. 2009)

Taulu 3.12. Sähköiset ja sähkömagneettiset menetelmät. (Feeney et al. 2009)

| | Sähköinen vuodon paikannus | ECT/RFEC | MFL |
|---|---|---|---|
| Viemärityyppi | Paineviemärit, viettoviemärit, tonttihaarat | Paineviemärit, viettoviemärit, tonttihaarat | Paineviemärit, viettoviemärit, tonttihaarat |
| Materiaali | ei-metalliset | metalliset | metalliset |
| Putken koko | 75 mm -> | 50 mm -> | 50 mm – 1400 mm |
| Havaittavat viat | Halkeamat, vuodot | Metallin hävikki, halkeamat, vuodot, seinämän paksuus | Metallin hävikki, kaiken suuntaiset halkeamat |
| Alkuperäinen tarkoitus | Vuotopotentiaalin määrittämiseen | Kuumavesivaraajien letkujen ja putkistojen mittaus. | Petrokemiallinen teollisuus |
| Tämän hetken saatavuus | Markkinoilla muualla | Markkinoilla muualla | Markkinoilla muualla rajoitetusti |
| Edut | Voidaan käyttää tonttihaarojen tutkimiseen | Voidaan tutkia hyvin eri kokoisia putkia. Saadaan paikannettua vikoja. | Öljy- ja kaasuteollisuudessa laajasti käytetty |
| Haitat | Viettolinjat tulee täyttää ensin vedellä. | Rauta/teräsputkille vain rajoitetusti; vaatii datan jälkikäsittelyä. | Ei ole paljoa käytetty viemäriverkon kuntotutkimuksessa. |

## 3.12 TONTTIJOHTOJEN TUTKIMINEN OSANA KUNTOTUTKIMUSPROSESSIA

Tonttihaarojen/-johtojen kuntotutkimusten tekeminen on hyvin satunnaista ja paikallista toimintaa. Esimerkiksi vuotovesistä ja muusta laskuttamattomasta jätevedestä iso osa syntyy tonttien ja kiinteistöjen alueella joko tarkoituksellisesti tai vioittuneiden tonttijohtojen ja -kaivojen kautta. Tonttihaarojen kuntotutkimuksia tehdään jonkin verran niin Suomessa kuin maailmallakin. Taulukossa ISUD on esitetty menetelmiä, joiden avulla tonttijohtoja voi selvittää ja puhdistaa tehokkaasti.

Taulukko 3.13. Tonttijohtojen selvitys ja puhdistusmenetelmiä. (SImicevic & Sterling, 2006).

| Menetelmä | Kuvaus | Verkon kuntotutkimukseen sopiva menetelmä |
|---|---|---|
| Ovelta ovelle; kiinteistöselvitykset | Maan pinnalla näkyvät osuudet (kaivot, venttiilit) | Saadaan selville johto-osuudet ja muut liittymät kiinteistön sisällä. |
| Savukokeet | Pystytään löytämään vialliset putket, jotka eivät ole kovin syvällä. Käytetään usein ja runsaasti. | Saadaan selville kaikki liittymät ja haarat sekä rikkoutuneet tonttijohdot. |
| Värjäyskokeet | Pystytään tarkistamaan, onko talon hulevesiviemäröinti yhteydessä jätevesiverkkoon. | Löydetään vialliset tonttijohdot ja eri liittymät/haarat. |
| Viemäreiden TV-kuvaus | Saadaan paikallistettua tonttijohtojen liittymät keräilylinjassa. Käytetään usein. | Löydetään tonttihaarat, menetelmästä riippuen saatetaan saada tutkittua tonttijohdon alkuosa. |
| Maaperätutka (GPR, Ground Penetrating Radar) | Saadaan selvitettyä tonttijohdon suunta ja syvyys koko pituudeltaan. Tarkin menetelmä aukikaivamisen jälkeen. | |
| Tunnustelu esim. kepillä maan pinnalta | Pystytään varmistamaan, kulkeeko johto ko. kohdassa. Käytetään toisinaan. | |
| Työnnettävät putkistotutkimuskamerat | Pystytään tutkimaan tonttijohto koko pituudeltaan. Tehdään yleensä ilman esipesua. | |
| Tutkatomografia (radar tomography, RT) | Voidaan käyttää paikantamaan tonttijohtoja, jos pystytään kulkemaan ajoneuvolla maanpinnalla. | |

# 4 MUUT VERKKOIHIN LIITTYVÄT KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Viemäriverkon tärkeimmät solmukohdat ja toimilaitteet antavat runsaasti tietoa myös verkon käyttäytymisestä, sekä ulos- että sisäänvuodoista, putkirikoista, tukkeumista jne. Tässä luvussa on lyhyesti kerrottu erilaisia menetelmiä, joiden avulla verkon kuntotietoa voidaan saada ja arvioida muiden verkonosien ominaisuustiedoista. Lisäksi jokaisessa kappaleessa on taulukossa esitetty yhteenveto soveltuvista menetelmistä.

## 4.1 KAIVOJEN KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Viemäriverkon kaivojen tutkimiseen voidaan käyttää useita menetelmiä, joita käytetään itse verkonkin tutkimiseen. Usein käytössä on kaivojen silmämääräinen tutkiminen, johon liitetään valokuva (esim. kännykällä otettu) todisteeksi. Kuitenkin kaivojen tutkimiseen on olemassa myös erikseen niitä varten kehitettyjä menetelmiä, kuten CleverScan®, joiden avulla kaivojen rakenteet, muutokset ja muut ominaisuudet saadaan tutkittua ja kartoitettua mittatarkasti ja digitaalisesti.

Taulukko 4.1. Kaivojen kuntotutkimusmenetelmiä

| Menetelmä | Menetelmän tulosten laatu |
|---|---|
| CleverScan® | Hyvä, video, mittatarkka digitaalinen kuva sekä pistepilvi |
| Panoramo® kaivokamera | Mittatarkka digitaalinen kuva sekä pistepilvi |
| CCTV-tutkimusten ohessa | Heikko |
| Silmämääräinen tutkimus / valokuva esim. kännykällä | Kohtalainen |

Kaivojen kuntotutkimukseen soveltuvia laitteistoja on esitelty kuvissa 4.1 – 4.3.

Kuva 4.1. Kaivojen skannaukseen soveltuva tutkimuslaitteisto. http://cleverscan.com/

Kuva 4.2. Kaivojen tutkimiseen soveltuva laitteisto. https://www.mswmag.com/g/weftec-product-preview/2015/08/rapidview_ibak_north_america_panoramo_si

Kuva 4.3. Kaivojen tutkimiseen soveltuva laitteisto. https://trenchlesstechnology.com/cues-introduces-first-wireless-3d-color-manhole-scanning-technology/

## 4.2 TUNNELEIDEN KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Viemäri- ja vesijohtoverkon osana olevia tunneleita voidaan tutkia monilla menetelmillä, joita käytetään myös putkiverkon tutkimiseen. Tällaisia, toimivia, menetelmiä ovat esimerkiksi maanpäälliset tutkat (MPR-teknologiat), akustiset menetelmät jne., joista on kerrottu enemmän luvussa 3. Tunneleita varten on kehitetty myös omia menetelmiä, joista uusimpana markkinoille on tullut espanjalaisten kehittämä drone-kameroilla tehtävä tutkimusmenetelmä (ks. Kuva 4.4 alla). Suurten putkien ja tunneleiden tutkimiseen voidaan myös käyttää kelluvia laitteistoja, kuva 4.5.

Kuva 4.4. Dronetutkimusta viemäritunneleissa. https://www.thelocal.es/20151207/could-drones-soon-replace-workers-in-barcelonas-sewers

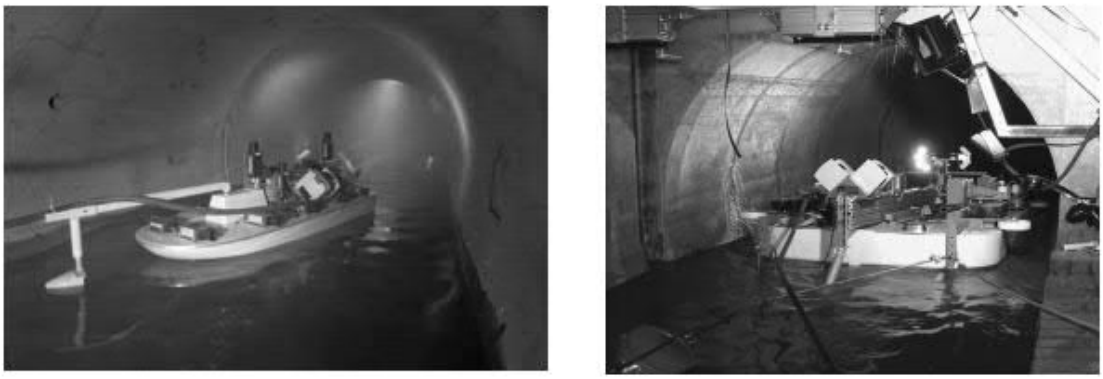


**Figure 2** SEK prototype (left) and test of the SVM (right) in a real sewer

Kuva 4.5. Suurten putkien tutkimusmenetelmäksi soveltuvia laitteistoja. (Teichgräber et al., 2006)

## 4.3 PUMPPAAMOIHIN LIITTYVÄT KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

Pumppaamoiden osalta verkon kuntotietoon vaikuttavia menetelmiä ovat esimerkiksi data-analyysimenetelmät, joiden avulla saadaan ajantasaisesti tietoa pumppaamon virtaaman muutoksista, ja tällöin epäsuorasti tietoa vuodoista, tukoksista jne., ja niiden perusteella saatavaa dataa voidaan käyttää yhtenä määrittelevänä tekijänä jätevesiverkon kunnon arvioinnissa (HSY, 2017).

Esimerkiksi HSY:ssä on ”käytössä tukostyökalu, joka perustuu jätevedenpumppaamoilta saatuun dataan ja sen analysointiin. Tukostyökalulla käyttöhenkilökunta saa automaattisesti hälytykset tukosepäilyistä, jotka käsitellään tarkemmin. Jätevedenpuhdistusosasto ylläpitää tukostyökalua ja tukosepäilyissä yhteistyössä verkko-osaston kanssa paikannetaan tukos verkosta. Työkalu mahdollistaa entistä nopeamman reagoinnin tukostilanteisiin ja minimoi tukoksista aiheutuvia ylivuotoja.” (HSY, 2017)

## 4.4 VIRTAAMAMITTAUKSET

Verkon virtaamamittaukset perustuvat tyypillisesti veden syvyyden ja nopeuden suoraan mittaamiseen. Virtaama lasketaan saatavien tietojen perusteella jatkuvuusyhtälöi-

den avulla. Eri kohteisiin soveltuvan menetelmän valintaan vaikuttaa mm. putken paineellisuus/täyttöaste. Käytettävään virtaamamittaukseen valittavilta laitteistoilta merkittäviä ominaisuuksia ovat myös akun kesto, tiedonsiirtomenetelmät ja -tiheys, virtaamamittarin kalibrointitarve, käytettävä tiedonsiirtoverkko jne. Reaaliaikainen virtaaman seuranta voi olla hankalaa mm. akkujen kestoajan lyhentymisen vuoksi. (Feeney et al. 2009) Virtaamamittauksen apuna voidaan käyttää myös pinnankorkeutta rekisteröiviä analysaattoreita, joiden avulla saadaan selville poikkeavat tilanteet verkossa esim. sadetapahtumien yhteydessä.

## 4.5 VEDEN LAADUN MUUTOSTEN MITTAUS

Verkon kunnosta saadaan epäsuorasti tietoa myös käyttämällä veden laadun mittauksia. Näillä menetelmillä saadaan verkossa kulkevasta vedestä, sen määrästä ja ominaisuuksista tietoa, jonka perusteella voidaan arvioida esimerkiksi verkkoon päätyvien vuotovesien määrä. Mittauksissa tutkitaan veden lämpötilaa, määrää sekä mahdollisesti muita kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Suomessa esimerkiksi Vuove-Insinöörit Oy suorittaa tällaisia tutkimuksia. Käytettävän menetelmän avulla saadaan tutkittua alueittaisia vuotovesimääriä, joiden perusteella voidaan kohdentaa tarkentavia kuntotutkimuksia eri menetelmillä.

## 4.6 KOEPALOJEN OTTO PUTKESTA

Verkossa tehtävien liitos- ja muiden töiden yhteydessä on mahdollista ottaa koepaloja, joiden perusteella voidaan analysoida putken ominaisuuksia ja arvioida jäljellä olevaa käyttöikää. Suomessa esimerkiksi VTT:llä on laitteistot ja osaaminen putkimateriaalien analysoimiseksi.

Putken rakenteellisen kestävyyden heikentyminen, vuotokohtien muodostuminen ja muiden haitallisten seuraamusten syntyminen on koepalojen oton yhteydessä mahdollista. Tämän vuoksi ylimääräisten koepalojen ottaminen verkosta tulee minimoida, ja kohdekohtaisesti toteuttaa huolella mm. tiivistyksen osalta.

Putkiverkkojen ikääntymisen seuraaminen on haastavaa, eikä sitä ole järjestelmällisesti toteutettu. Koepalojen avulla pystyttäisiin seuraamaan ja analysoimaan verkon ominaisuuksia, ja riittävän materiaalin muodostuttua pystytään esimerkiksi tilastollisilla menetelmillä arvioimaan verkon ominaisuuksia tuottaen kuntoluokitukseen soveltuvaa tietoa vesilaitosten ja muiden toimijoiden käyttöön. Tämän aiheen tutkimiseksi olisi syytä perustaa projekti, jossa käynnistetään systemaattinen analysointi ja tietojen kerääminen verkoista ja niissä käytettävistä materiaaleista. Koepalan identifioimiseksi tulee kirjata ylös seuraavia asioita:

- materiaali
- ikä (asennusvuosi)
- koko
- maaperä (syövyttävyys, vakaus, muutokset käytössä)
- kuormitus (virtaama, veden laatu, ulkopuolinen kuormitus)
- muut tarpeelliset tiedot, kuten raudoitettu betoni jne.

## 4.7 PAINEKOKEET, SAVUKOKEET, VÄRIAINEKOKEET

Rakennetun viemäriverkon eheys voidaan testata vastaanottotilanteessa painekokeella. Paineistukseen voidaan käyttää ilmaa tai vettä. Ilmalla tehtäessä putken vesitiiveys ei välttämättä tule osoitettua luotettavasti, sillä ilma tunkeutuu jopa 20-kertaa pienemmistä aukoista kuin vesi putkimateriaalin läpi. Viemäriverkon painekokeita on tehty Suomessa ajoittain, ja se on edelleen käytössä joillakin laitoksilla. Etenkin kriittisillä verkon osuuksilla painekokeiden avulla verkon eheydestä varmistuminen on perusteltua.

Viemäriverkkoon liittyneiden kiinteistöjen on mahdollista tehdä savukokeita ja väriainekokeita. Savukokeissa esimerkiksi teatterisavun avulla voidaan tutkia kiinteistöjen hulevesiliitosten mahdollisia liitoskohtia viemäriverkkoon, ja myös viemäriverkon liitoksia hulevesiverkkoon. Väriainekokeissa verkkoon johdetaan elintarvikevärillä värjättyä vettä ja sen kulkua seurataan kaivoista ja/tai hulevesiverkon purkuaukoista. Nämä tutkimusmenetelmät tuottavat tietoa mahdollisille verkon liitosten uudelleen järjestelyille.

# 5 ERILAISTEN KUNTOTUTKIMUSTEN KÄYTTÖKOHTEITA

Verkosta saatava lähtötieto on ensiarvoisen tärkeässä asemassa, kun ollaan suorittamassa mitä tahansa alla mainittua esiselvitys- tai kuntotutkimusmenetelmää verkossa. Mikäli verkkotiedossa on paljon puutteita tai se on hyvin epävarmaa, voidaan monen fyysisen (kentällä tehtävän) kuntotutkimusmenetelmän yhteydessä suorittaa tarkemittauksia erilaisilla paikannusjärjestelyillä. Esimerkiksi kännyköihin on mahdollista saada tarkka gps-mittaus, jolla päästään paikannuksessa jopa ns. kananmunatarkkuuteen (noin tuuman tarkkuus), ja joissain tapauksissa riittää epävarmempikin tieto tarkentamaan käytössä olevaa verkkotietoa. Lisäksi kuntotutkimusten teon yhteydessä havaitut puutteet lähtötiedoissa voidaan korjata tai niitä voidaan ainakin täsmentää.

Verkkojen paikantamiseksi maanpinnalta on kehitetty menetelmiä, joista esimerkkinä voidaan mainita maaperätutkat (GPR) sekä sähköinen tomografiatutkimus. Näiden menetelmien avulla saadaan myös tietoa maaperän ominaisuuksista ja pysytään havaitsemaan esimerkiksi maan pinnan alla olevat tyhjät aukot (putkien ja tunneleiden lisäksi).

Jokaisen alakappaleen lopussa on yksinkertaistettu taulukko, jossa on mainittu myös kyseisen menetelmän toimittajan/tekijän yhteystiedot. Mikäli menetelmällä ei ole Suomessa vielä edustajaa, on mainittu ulkomaalainen toimija. Liitteessä 3 on listattu tarkemmat yhteystiedot eri yrityksille/tahoille.

Ennen läpiajettavalla laitteistolla tehtävää putken kuvausta, tehdään se sitten käyttäen kääntyväpäistä videokameraa tai digitaalista kuvauskameraa, tulee tutkimusta tekevän henkilön tehdä seuraavia toimenpiteitä hyvän kuvaustuloksen varmistamiseksi.

- Putki tulee puhdistaa ennen läpiajettavaa tutkimusta niin hyvin, että voidaan tehdä luotettavat havainnot vuodoista, rikoista jne. Viemärin puhdistaminen painehuuhtelulla on käsitelty tarkemmin tämän oppaan luvussa 2.6.
- Putkea on pyrittävä kuvaamaan läpiajettavilla menetelmillä pääsääntöisesti myötävirran suuntaan.
- Mikäli putkessa on höyryä, tulee höyry poistaa ennen tutkimuksen toteutusta. LED-valoilla varustetut uudemmat laitteistot eivät aiheuta lisää höyryä niiden osuessa veteen. Höyryämistä voidaan estää pitämällä kaivoja niin kiinni kuin mahdollista, jolloin estetään kylmän ilman pääsy viemäriin. Höyryä voidaan myös poistaa imemällä tai puhaltamalla putkeen suurehko määrää ulkoilmaa tai lämmitettyä ilmaa kuvausautoon rakennetuilla varusteilla. Höyryn vaikutusta kuvaustulokseen voi vähentää kuvaamalla puhdistussuuttimen perässä, jolloin putkeen syntyy voimakasta virtausta, mikä sekä poistaa höyryä että alentaa kuvattavan putken veden pintaa.
- Painumakohtia kuvattaessa veden pinta saadaan alennettua puhdistussuuttimen avulla, jolloin putkea saadaan enemmän näkyville tarkempien havaintojen tekemiseksi. Pelkästään putkessa olevan vedenpinnan korkeutta tulkitsemalla ei voida riittävällä tarkkuudella havaita ja analysoida putkessa olevia painumia, sillä putkessa ilmenevä kohonnut vedenpinta voi johtua esim. jostain virtausta estävästä tekijästä tai takakaadosta.
- Putkeen sisälle ajettavat tutkimusrobotit tulee varustaa sellaisilla antureilla, että putken viettokaltevuuden mittaus voidaan toteuttaa luotettavasti. Kuvauslaitteiden viettokaltevuusanturit tulee kalibroida riittävän usein, jotta voidaan varmistua mittaustiedon oikeellisuudesta.
- Kameran tulee olla mahdollisimman keskellä tutkittavaa putkea, jotta havainnot ovat mahdollisimman oikeita ja todellisuutta vastaavia. Kameran keskittäminen

voidaan tapauksesta riippuen tehdä muuttamalla kamerarobotin pyörien kokoa, raideväliä tai kameraa nostamalla joko manuaalisesti tai kauko-ohjauksen avulla.

- Läpiajettavaa videokuvausta (CCTV) tekevissä kameralaitteistoissa tulee olla värikamera, portaattomasti kaikkiin suuntiin kääntyvä pää, riittävän tehokkaat valot ja valaistus, sekä kameran herkkyyden ja terävyyden säätömahdollisuus. Mitä isompaa putkea kuvataan, sitä tehokkaammat valaisinlaitteet kameralta vaaditaan. Videokuvauksen tulosta voidaan parantaa myös kameran zoomausominaisuuksilla. Kuvausrobotissa olisi hyvä olla myös taaksepäin kuvaava kamera, jolloin sen hallitseminen putkessa on varmempaa ja käytännöllisempää. Nykyisin kaupallisesti saatavilla olevat eri valmistajien kameralaitteistot on varustettu riittävin kamera- ja valaistustekniikoin.
- Kamerarobotin nopeus putkeen ajettaessa ei saa olla liian suuri, koska kuvaajan tulee voida havainnoida putkessa olevia vikoja luotettavasti. Suositeltava suurin etenemisnopeus on enintään 8 m/min. Kameran kääntyvän pään avulla tarkastellaan yksityiskohtia putkesta, jonka vuoksi kamerapään tulee kääntyä kohtisuoraan tarkasteltavaan havaintoon nähden. Kameran zoomausominaisuudet ovat eduksi havaintoa arvioitaessa. Havainnosta voidaan tallentaa erillinen kuva, joka tulkitaan VVY:n ohjeiden mukaisesti (VVY, 1998; VVY, 2005). Tutkitun kaivovälin video, tallennetut kuvat sekä -raportit tallennetaan kuvausohjelmaan ja edelleen työn tilaajalle toimitettavaksi.
- Digitaalista kuvausta tehtäessä kameralaitteistolta vaaditaan riittävän tehokkaat säädettävät valot, kameran säätöominaisuudet ja laajakulmalinssi, jonka avulla voidaan putken seinämää kuvata kohtisuoraan. Kameran keskittäminen viimeistellään käytettävän ohjelmiston avulla. Digitaalista kuvaa tekeviä kameralaitteistoja on saatavilla eri valmistajilta.
- Digitaalisessa tutkimuksessa kameraa ei pysäytetä havaintojen kohdalle, vaan kamera ajetaan pysäyttämättä aloituskaivolta lopetuskaivolle. Kaivovälistä tulee yhtenäinen kuvatiedosto, mistä analysoidaan joko manuaalisesti tai tietokoneavusteisesti havainnot ja niiden vakavuusaste VVY:n ohjeden mukaisesti (VVY, 1998; VVY, 2005). Analysoinnin voi tehdä kuvauksen suorittaja tai joku muu asiantunteva taho. Digitaalista kameraa ajetaan putkessa kameratyypistä riippuen yli 10 m/min tai nopeammin. Tiedon kerääminen digitaalisella menetelmällä on nopeampaa kuin läpiajettavaa videokuvausta (CCTV) tehtäessä.
- Nykyaikaiset kuvausautot on varustettu kevyillä pesureilla, joiden avulla kameralaiteet tulee pitää mahdollisimman puhtaana, mikä pidentää likaisissa viemäriolosuhteissa käytettävän laitteiston käyttöikää huomattavasti.
- Läpiajettavan kuvauksen yhteydessä voidaan tehdä putkesta lasermittaus, millä saadaan selville putken tarkka sisäpuolinen halkaisijatieto sekä mitattua putken muoto. Lasermittaustuloksen perusteella voidaan tehdä putkesta 3D-havainnekuva, ja arvioida mm. jäljellä olevan putken seinämän paksuus. Lasermittalaitteita on kahta eri versiota. Lasertikku asennetaan kääntyväpäisen kuvauskameran linssin eteen, ja kamera ajetaan erikseen lasertikun kanssa putkeen ja nauhoitetaan laserrenkaan video. Mitä suurempi halkaisija putkessa on, sitä pidempi lasertikku kuvaamiseen tarvitaan. Kääntyväpäisen videokameran avulla ei voida tehdä visuaalista kuntotutkimusta lasertikun ollessa käytössä.
- Digitaalisen Panoramo®-kuvauksen yhteydessä voidaan käyttää lasertikkua. Digitaaliseen DigiSewer®-kuvauskameraan on integroituna laserpisteet, jolloin lasermittaaminen voidaan suorittaa kameraa putkesta takaisin ajettaessa, eikä erillistä ajoa lasermittauksen tekemiseksi tarvita.
- Suurempien kameravalmistajien tuotevalikoimissa on Ex-suojattuja kamerajärjestelmiä. Ex-suojattuja kameroita tulee käyttää sellaisissa kohteissa, joissa on

ilmeinen räjähdysvaara. Joissain Euroopan maissa vaaditaan Ex-suojaus kuvattaessa kunnallisia jätevesiviemäreitä. Ex-kameralaitteiston käyttö vaatii oman erillisen huolto-ohjelman toteuttamisen.

Taulukko 5.2. Ennen läpiajettavalla kameralla tehtävää tutkimusta tarvittavat tehtävät.

| |
|---|
| Ennen kuvaamisen suorittamista |
| Tarkasta, että kameran kaikki ominaisuudet toimivat; |
| - kameran paineistus, valot, kuvan terävyys, kääntömekanismi, kameran nostomekanismi, kaapelin kunto |
| - kalibroi säännöllisesti viettokaltevuuden mittaus järjestelmä |
| Kuvauksen jälkeen |
| - pidä kameralaitteisto puhtaana |
| - tarkasta kameran kaapelin kunto (pieni vuoto kaapelissa voi aiheuttaa ison vian kamerajärjestelmään) |
| HUOM! Tilaajan ei tarvitse hyväksyä epätarkkaa kuvaustulosta |

## 5.1 VIETTOVIEMÄRIT

Liitteessä 1 on taulukoitu paineettomien viemäriverkon osien (viettoviemäreiden) kuntotutkimusmenetelmiä.

Paineettomalle verkolle voidaan suorittaa esiselvitystutkimuksina esimerkiksi kriittisyysluokitus, muita data-analyysitutkimuksia sekä esimerkiksi zoom-tutkimus. Verkon kuntoluokittelun pohjaksi ei riitä pelkästään toimistotyönä tehtävät matemaattiset tarkastelut, vaan ne tulee voida varmentaa kentällä tehtävillä tutkimuksilla, sillä verkon olosuhteet ja ominaisuudet vaihtelevat alueittain ja jopa pistemäisesti, jolloin pelkät tietokonesimulaatiot eivät ole riittäviä menetelmiä.

Kuntotutkimusmenetelmistä paineettoman verkon tutkimiseen soveltuvat läpiajettavat kuntotutkimusmenetelmät (videokuvaus ja digitaalinen kuvaus), laserskannaus, sonar- ja ultraäänitutkimukset, putken sisäpuolinen vuotojen etsintämenetelmä (in-line), sähköiset menetelmät sekä virtaamamittaukseen perustuvat menetelmät. Myös vedenlaadun muutoksiin perustuvat tutkimukset (esim. Vuove-Insinöörit Oy:n käyttämä menetelmä) ovat soveltuvia menetelmiä verkon kuntotutkimusten osana.

Taulukossa 5.2 on kerrottu esimerkkejä viettoviemäreille soveltuvista kuntotutkimusmenetelmistä sekä niiden tuottajista/toimittajista/tekijöistä.

Taulukko 5.2 Viettoviemäreiden ja painelinjojen kuntotutkimusmenetelmiä ja niiden tuottajia.

| Menetelmä | Tutkimuksen tulokset | Tuottaja/tekijä |
|---|---|---|
| Kriittisyysluokitus | Verkon luokittelu mm. kuntotutkimusten suorittamisen avuksi. Paikkatietoanalyysi. | Yliopistot, vesilaitokset, suunnittelutoimistot |
| Zoom-tutkimus | Visuaalinen kuntotutkimus, ei esipesua, tarkempien kuntotutkimusten kohdentamisen avuksi sekä toiminnallisen kunnon arviointiin | Delete Finland Oy<br>Eerola-Yhtiöt Oy<br>Lassila &Tikanoja<br>Underground City Oy |
| TV-kuvaus (CCTV) | Visuaalinen kuntoarvio putken sisäpuolelta. Vaatii esipesun. | Delete Finland Oy<br>Eerola-Yhtiöt Oy<br>Hurrikaanit Oy<br>Joen Loka<br>Kaivopumppu Kulmala<br>KM Pipe Oy<br>Lahden Putkistokuvaus Oy<br>Lassila &Tikanoja<br>Oulun viemärihuolto<br>Raision Pesuhuolto Oy<br>RTK Palvelu<br>SanMat Kunnossapito Oy<br>Salon Imuautot Oy<br>Seppo Eskelinen Oy<br>Suokon imupalvelu<br>Suurpää Oy<br>Viemäritek Oy |
| Digitaalinen kuvaus | Visuaalinen kuntoarvio putken sisäpuolelta. Mittatarkka tieto putken sisäpuolelta. Voidaan yhdistää automaattiseen tulosten tulkintaan. Vaatii esipesun. | Delete Finland Oy<br>Oy DigiSewer Productions Ltd<br>Joen Loka<br>Lassila &Tikanoja |
| Laserskannaus | Tarkka kolmiulotteinen kuva putken sisäpinnalta. | Oy DigiSewer Productions Ltd<br>Lassila &Tikanoja |
| Sonar-tutkimukset | Putken rakenteellinen kunto. Maaperän ominaisuudet putken ympärillä. | Loxus Technologies Ltd |
| Ultraäänitutkimukset | Putken rakenteellinen kunto. | ei tiedossa suomalaisia toimittajia |
| Sähköiset kuntotutkimusmenetelmät | | VTT / Korkealaakso<br>Undergound City Oy |
| Veden laadun muutoksiin perustuvat menetelmät | Vuotovesien määrä ja alueellinen esiintyvyys. | Aquapriori Oy<br>Vuove-Insinöörit Oy |
| Virtaamamittaukset | Saadaan alueellista virtaamatietoa verkosta. Voidaan arvioida esim. vuotovesien määrä alueittain. | Aquapriori Oy<br>Vuove-Insinöörit Oy<br>Paljon eri toimittajia |
| Pumppaamodatalla tehtävät kuntotutkimukset | Esim. data-analyysit, joiden avulla saadaan nopeasti tieto tukoksista ja vuodoista verkossa. | Perfektio Oy<br>Avarea Oy<br>Futurice<br>Paljon eri toimittajia |

## 5.2 PAINELINJAT

Liitteessä 2 on taulukoitu paineellisten viemäriverkon osien kuntotutkimusmenetelmiä. Tuossa taulukossa mainitut menetelmät soveltuvat monelta osin myös vesijohtoverkostojen kuntotutkimuksen menetelmiksi.

Painelinjojen kuntotutkimukset ovat usein olleet hyvin satunnaisia johtuen mm. pitkistä etäisyyksistä, hankalasta maastosta jne. Paineellisen verkon kuntotutkimuksia voidaan suorittaa putken ulkopuolisina (esim. akustiset menetelmät) ja putken sisäpuolisina (esim. veden mukana vapaasti kulkevat analysaattorit). Esiselvitysmenetelmät, kuten kriittisyysluokitus ja muut data-analyysit ovat käyttökelpoisia paineellisen verkon kuntotutkimusten kohdentamiseksi.

Taulukossa 5.2 on kerrottu esimerkkejä painelijoille soveltuvista kuntotutkimusmenetelmistä sekä niiden tuottajista/toimittajista/tekijöistä.

## 5.3 VERKON YLEINEN KARTOITUS

Viemäri- ja hulevesiverkon yleinen kartoitus tarkempia kuntotutkimuksia varten on mahdollista tehdä esimerkiksi kriittisyysluokitusten ja muiden data-analyysiin perustuvien menetelmien avulla yhdistäen ja vertaillen verkkotiedon, verkosta saadun kunto- ja huoltotiedon, maaperätiedon, yleisen infran tiedon (kadut, rautatiet, maanalaiset tilat ja rakenteet, erikoisrakenteet, muu infra kuten sähkö- ja kaukolämpöverkot jne.) ja sateisuuden ominaisuuksia alueella. Data-analyysitarkasteluilla saadaan verkosto jaettua todennäköisyyksien mukaisesti kriittisiin, huonokuntoisiin, vuotaviin tms. luokkiin, joiden perusteella voidaan kohdentaa tarkemmat kuntotutkimukset ja ohjelmoida esimerkiksi kunnossapitotoimenpiteet tärkeimmille alueille.

Verkon yleiseen kartoitukseen soveltuu myös esimerkiksi zoom-tutkimus, jonka avulla nähdään mm. toiminnalliset tiedot putkista, havaitaan vuotokohdat ja voidaan arvioida sekä mahdollisten tarkempien kuntotutkimusten tarpeet että kapasiteettikapeikkoja verkossa.

## 5.4 VUOTOVESIEN VÄHENTÄMISEEN TÄHTÄÄVÄ TUTKIMUS

Vuotovesien selvittämisen lähtötietoina verkosta tulee olla käytettävissä riittävän tarkka verkkotieto, pumppaamoiden virtaamatiedot, verkon ylivuototiedot ja -kohdat sekä mahdollisimman tarkka sadetieto. Nämä tiedot yhdistämällä esimerkiksi hydraulisen mallin avulla saadaan arvioitua alueelliset vuotomäärät, jonka perusteella osataan kohdentaa tarkemmat kuntotutkimukset alueellisesti.

Vuotovesien tutkimiseen soveltuu myös vedenlaadun muutoksiin perustuvat menetelmät, kuten Vuove-menetelmä, jonka avulla saadaan hyvin tarkasti kohdennettua jatkotutkimukset verkkoon.

## 5.5 HYDRAULISEN MALLINNUKSEN LÄHTÖTIETOJEN KERÄÄMISEEN SOVELTUVAT TUTKIMUSMENETELMÄT

Hydraulisen mallin rakentaminen vaatii mittatarkkaa tietoa viemäriverkosta. Seuraavia menetelmiä on käytetty lähtötietojen laadun ja määrän varmentamisessa ja tarkentamisessa:

- FME-menetelmän avulla saadaan verkkotieto eheytettyä, jolloin kaikille verkon osille saadaan rakennusvuosi, materiaali ja koko arvioitua ympäröivän verkon tietojen perusteella
- zoom-kuntotutkimuksen avulla voidaan varmistua verkon toiminnallisista ominaisuuksista nopeammin kuin perinteisillä esipesua vaativilla menetelmillä

- kaivojen ja esimerkiksi pumppaamoiden imusäiliöiden mittatarkkaa tietoa saadaan käyttämällä kaivojen kuntotutkimukseen soveltuvia menetelmiä (esim. CleverScan)
- erilaisten matemaattisten mallien ja analyysimenetelmien avulla saadaan lähtö- ja luokittelutietoa, jonka perusteella saadaan kohdennettua hydraulisen mallinnuksen avuksi ja esimerkiksi mahdollisten ongelmakohtien selvittämiseksi lisää tietoa
- vuotovesien analysoinnissa ja kohdentamisessa voidaan käyttää useita kaupallisia (esim. WaterZerv) ja ei-kaupallisia menetelmiä (omat paikkatietomenetelmät jne.)

## 5.6 VIEMÄRIVERKON JÄLJELLÄ OLEVAN KÄYTTÖIÄN ARVIOIMISEKSI SOVELTUVAT TUTKIMUSMENETELMÄT

Viemäriverkon jäljellä olevan käyttöiän arvioimiseksi soveltuvat kaikki tässä oppaassa esitetyt menetelmät. Rakenteellisen kunnon ja jäljellä olevan putken seinämän arvioimiseksi soveltuvat esimerkiksi sonar-tutkimukset, maaperätutkilla suoritettavat tutkimukset ja akustiset sekä sähköiset kuntotutkimusmenetelmät.

Jäljellä olevan käyttöiän arvioimiseksi sovellettavat kuntotutkimusmenetelmät ja niistä saatavat tiedot tulee kerätä huolellisesti, jotta niiden tuottamaa tietoa voidaan analysoida ja arvioida verkon luokittelun apuna.

## 5.7 OMAISUUDENHALLINNAN AVUKSI TARVITTAVAT TUTKIMUSMENETELMÄT

Omaisuudenhallinnan kannalta kaikki tässä oppaassa esitetyt menetelmät tuottavat arvokasta tietoa. Valittavat kuntotutkimusmenetelmät tulee valita sellaisista, jotka tuottavat selkeää, yksiselitteistä ja toistettavaa kuntotutkimustietoa.

Omaisuudenhallinnan apuna tarvitaan myös järjestelmiä, joiden avulla pystytään yksilöimään verkon osat ja seuraamaan niiden kuntotietoja ja muita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat mm. tehtäviin investointihankkeisiin ja –tarpeisiin.

Infra-BIM-luokitus on yksi tärkeä menetelmä, jota ollaan Suomessa myös vesihuoltoverkostoihin käynnistämässä (Building Smart Finland).

## 5.8 UUSIEN JA SANEERATTUJEN/KORJATTUJEN LINJOJEN VASTAANOTTOTARKASTUKSET SEKÄ TAKUUAIKAISET KUNTOTUTKIMUKSET

Kun verkon osat valmistuvat ja vesilaitos ottaa ne käyttöönsä, suoritetaan yleensä vastaanottokuvaukset (tai –tutkimukset) putkiosuuksilta. Noista tutkimuksista saatava tieto jää valitettavan usein vain hyväksytty/hylätty-tasoiseksi tiedoksi, eikä tiedostoja tallenneta vesilaitoksen verkkotietojärjestelmään (tai muuhun keskeiseen tietojärjestelmään). Samoin on usein tilanne myös takuuaikaisten kuvausten osalta.

Sekä vastaanotto- että takuuaikaiset kuvaukset ja niiden tulokset tulee tallentaa vesilaitoksen tietojärjestelmiin, sillä ne tuottavat arvokasta lähtötietoa verkon osista. Kun tiedot on tallennettu järjestelmään, niitä voidaan myös verrata jatkossa tehtäviin kuntotutkimuksiin ja niiden tuloksiin, jolloin saadaan myös tietoa verkon ominaisuuksien muuttumisesta ajan myötä.

## 5.9 ERI MENETELMISSÄ KÄYTETTÄVIEN LAITTEISTOJEN MINIMIVAATIMUKSET, TILANNE LOKAKUUSSA 2018

Tässä luvussa listatut speksit kuntotutkimuslaitteistoille ja –menetelmille on Suomessa ja kansainvälisesti havaittu riittävän laadukkaiksi, luotettaviksi ja kokonaisuutta parhaiten palveleviksi. Näiden tietojen tarkentuminen ja muuttuminen tulee huomioida kuntotutkimustoimeksiantoja teetätettäessä ja tehdessä, eli ajantasaisten ohjeistusten käyttäminen on jokaisen toimijan vastuulla. Kun hyödynnetään ajantasaisia parhaita menetelmiä, voidaan varmistua laadukkaasta toteutuksesta ja kuntotutkimusten tehokkaasta hyödyntämisestä.

Seuraavissa taulukoissa (taulukot 5.4-5.7 on listattu eri kuntotutkimusmenetelmien laitteistojen asetuksia ja muita vaatimuksia, jotta saadaan luotettavaa kuntotutkimustietoa tarkasteltavasta verkko-osuudesta.

Taulukko 5.4. Zoom-kameralle asetettavia vaatimuksia.

| | | |
|---|---|---|
| Käyttökelpoisuus | Putket DN 100 - 2000 mm | Kaivot, säiliöt, muut tilat |
| Kameran virta | 12 V akku | Ladattava ja vaihdettava |
| Kamera | 1280x720 (2,38 megapikseliä) | Värillinen kuva |
| Zoomausominaisuus | 30:1 optinen | Digitaalinen x 12, 360:1 suurennoksella |
| Kuvan tarkennus | Manuaalinen / automaattinen | |
| Valaistus | Riittävän tehokas / zoomaus | Säädettävä valoteho |
| Rakenne | Kosteuden sekä tärinän kesto | |
| Kameran käsittely | Jatkettava 6 m pitkä teleskooppi tanko | |
| Vakauttaminen | Tukijalka kaivon pohjalle | Tukijalka maan pinnalle |
| Tallentaminen | Manuaalinen / analoginen | |
| Videon tallentaminen | Automaattinen / manuaalinen | |
| Kuvan siirtäminen | Pilvitallennus | |
| Ohjaussovellus | Kameran ja tallennuksen valvonta | zoomaus, valoteho, tallennus, jännite |
| Ohjausohjelma | Osoite, kohteen id, päivämäärä | Kellonaika, tallenteen pituus, GPS tieto |

Taulukko 5.5. Suutinkameroiden vaatimuksia.

| | | |
|---|---|---|
| Käyttökelpoisuus | Putket DN 200 - 800 mm | Liittäminen juurileikkuriin |
| Kamera | HD värikamera | |
| Kameran virta | 12 v akku | Ladattava / vaihdettava |
| Valo | LED valot | Erillinen valon säätäminen |
| Videon tallennus | Muistitikku / 64 Gt | Kameran sisäinen tallennus / SDH max 32 Gt |
| WiFi kuvan siirto | Optio | Kuvan näkyvillä mobiililaitteella > kuvan siirtäminen |

Taulukko 5.6. Läpiajettavan videokameralaitteiston vaatimuksia.

| | | |
|---|---|---|
| Käyttökelpoinen | putket DN 90 - 2000 mm | |
| Kamera | CCD värikamera | Valoherkkyys 1 Lux |
| Kameran tarkkuus | Vaakasuora 530 TVL / PAL | Manuaalinen/automaattien tarkennus |
| Zoomaus ominaisuus | Manuaalinen | Automaattinen |
| Valo | LED valot | Portaaton valon ohjaus 0 – 100 % |
| Videon tallennus | Muistitikku | Kameran sisäinen tallennus |
| Raportointi | Materiaalin siirtäminen ohjelmistoihin | Havaintojen analysointi |
| Kameraan kääntäminen | Portaaton +/- 135 ° | Ylös/alas, sivuille |
| Paineenkesto | 1 bar | Paineen ilmoitusjärjestelmä |
| Laser mittaaminen | Optio | |
| Takakamera | | |
| Kameravaunu | Min 4 -pyöräveto | Pyörät vaihdettavissa |
| Sopivuus | DN 100 mm - 1000 mm | Mekaaninen/kauko-ohjattava keskitys |
| Kaltevuus antura | Viettokaltevuus raportti | |
| Paikannuslähetin | | |
| Kameran ohjausyksikkö | Raportointivalmius | |
| Kaapelikela | Automaattinen, kaapeli min 200 m | Etäisyyden mittaaminen |

Taulukko 5.7. Läpiajettavan digitaalisen kameralaitteiston vaatimuksia.

| | | |
|---|---|---|
| Kamera | HD värikamera | Valokuvakamerat |
| Kameran resoluutio | Min 380 000 pikseliä | |
| Kameran linssi | Kuvakulma min 180 ° | |
| Valo | LED valot | Säädettävät |
| Videon tallennus | Järjestelmään | Muistitikku |
| Sopivuus DN 150 mm – 800 mm | Keskitys mekaaninen ja | Ohjelman avulla |
| Kuvamateriaali kohteesta | Putken pinnasta tasokuva | 1 -3 kuvanäkymää |
| Etukuva | Näkyvillä kuvauksen ajan | Kuvauksen tarkkailu |
| Kameravaunu | Min 4 -pyöräveto | Pyörät vaihdettavissa |
| Kaltevuusantura | Viettokaltevuusraportti | |
| Graafinen esitys kohteesta | | |
| Mittaustarkkuus analysoinnissa | 1 mm | |
| Havaintojen analysointi | Kohteessa | Toisaalla |
| Automaattinen kaapelikela | Min 200 m | Etäisyyden mittaus |

# LÄHDELUETTELO


Ahmadi, M., Cherqui, F., De Massiac, J-C. & Le Gauffre, P. 2015. Benefits using basic, imprecise or uncertain data for elaborating sewer inspection programmes. Structure and Infrastructure Engineering, 11(3): 376-388.

Ahmadi, M., Cherqui, F., De Massiac, J-C. & Le Gauffre, P. 2014. Influence of available data on sewer inspection program efficiency. Urban Water Journal, 11(8): 641-656.

Ahrary, A., Nassiraei, A.A.F. & Ischikawa, M. 2007. A study of an autonomous mobile robot for a sewer inspection system. Artificial Life Robotics, 11: 23-27.

Al-Barqawi, H. & Zayed, T. 2006. Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains. Journal of performance of constructed facilities, May 2006. ASCE.

Al-Barqawi, H. & Zayed, T. 2006. “Condition rating model for underground infrastructure sustainable water mains.” J. Perform. Constr. Facil., 20(2), 126–135.

Allouche, E.N. & Freure. 2002. Management and maintenance practices of storm and sanitary sewers in Canadian Municipalities. April 2002 ICLR Research Paper Series – No. 18

Ana, E., and Bauwens, W. 2007. Sewer Network Asset Management Decision Support Tools: A Review. Presented at International Symposium on New Directions in Urban Water Management, UNESCO Paris, France.

Ana, E., Bauwens, W., Pessemier, M., Thoeye, C., Smolders, S., Boonen, I. & De Gueldre, G. 2009. An investigation of the factors influencing sewer structural deterioration. Urban Water Journal, 6(4): 303-312.

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 Vol. 7, No. 1, February 2010, 47–59

Anderson, S., Finnicum, S., Frechette, D., Garcia, E. & Howells, J. 2015. How Much to Spend on Sewer Inspection, Renewal and Replacement? A Risk-Based Assessment for DC Water.

Andrews, M.E. large diameter sewer condition assessment using combined sonar and CCTV equipment.

Ariaratnam, S.T. & Guercio, N. 2006. In-pipe ground penetrating radar for non-destructive evaluation of PVC lined concrete pipe. Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction, 763–772.

ASCE. 2013. "Report Card for America's Infrastructure." American Society of Civil Engineers, http://www.infrastructurereportcard.org.

Atef, A.M. 2010. Optimal condition assessment policies for water and sewer infrastructures. Opinnäytetyö. The School of Engineering, Nile University

Atef, A., Osman, H. & Moselhi, O. 2012. Multiobjective genetic algorithm to allocate budgetary resources for condition assessment of water and sewer networks. Can. J. Civ. Eng. 39: 978–992 (2012)

AWWA. 2001. Reinvesting in drinking water infrastructure: Dawn of the Replacement Era. 24 s. WWW: http://win-water.org/win_reports/infrastructure.pdf

Baah, K., Dubey, B., Harvey, R. & McBean, E. 2015. A risk-based approach to sanitary sewer pipe asset management. Science of the Total Environment, 505: 1011-1017.

Bai, H., Sadiq, R., Najjaran, H., and Rajani, B. 2008. “Condition assessment of buried pipes using hierarchical evidential reasoning model.” J. Comput. Civ. Eng., 22(2), 114–122

Behe, M., Mercado, M., Carpenetti, E. & Flinn, E. 2012. Lateral inspection and database development program. WEFTEC 2012

Berger, C., Lohaus, J., Wittner, A. & Schäfer, R. 2002: Der Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der ATV-Umfrage 2001, Korrespondenz Abwasser, 2002
Berger, C. & Lohaus, J. 2004. Der Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der ATV-Umfrage 2004. www.dwa.de
Bhaskar Dasari, V.M. 2016. Web-based platform for force main infrastructure asset management. Thesis. Virgirnia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
Boshoff, S., Childs, R. & Roberts, L. 2009. "Guidelines for Infrastructure Asset Management in Local Government 2006 – 2009." Department of Provincial and Local Government, REPUBLIC OF SOUTH AFRICA, Pretoria.
Bracken, M. & Johnston, D. 2009. Acoustic methods for determining remaining pipe wall thickness in asbestos cement, and ferrous pipes. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Breysse, D., Vasconcelos, E. & Schoefs, F. 2007. Management strategies and improvement of performance of sewer networks. Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng., 22(7), 462–477.

Cakmak, H. 2006. Optimization and controlling of operational cleaning of sewer networks. Pipeline Technology 2006 Conference.
Campbell, S.A. & Fairfield, C.A. 2008. An overview of the various techniques used in routine cleaning and maintenance of clay, concrete and plastic drains. Construction and Building Materials, 22: 50-60.
Cant, J. & Trew, J. 1998. High-pressure water jetting: avoiding damage to sewers. Journal of CIWEM, 12.
Caradot, N., Sonnenberg, H., Kropp, I., Ringe, A., Denhez, S., Hartmann, A. & Rouault, P. 2017. The relevance of sewer deterioration modelling to support asset management strategies. Urban Water Journal, 14(10): 1007-1015.
Caradot, N., Rouault, P., Clemens, F. & Cherqui, F. 2018. Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment. Structure and Infrastructure Engineering, 14(2): 264-273.
CEN, European Committee for Standardization, 2008. *EN 752 Drain and sewer systems outside buildings.* Brussels, Belgium: CEN.
Chae, M. & Abraham, D. 2001. Neuro-fuzzy approaches for sanitary sewer pipeline condition assessment. J. Comput. Civ. Eng., 15(1), 4–14.
Chae, M.J., Iseley, T. & Abraham, D.M., 2003. Computerized sewer pipe condition assessment. In: Proceedings International Conference on Pipeline Engineering and Construction, Baltimore, MD.
Cherqui, F., Werey, C., Ibrahim, M. & Le Gauffre, P. 2009. CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on experts' opinions. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
Clemens, F., Stanić, N., Van der Schoot, W., Langeveld, J. & Lepot, M. 2014. Uncertainties associated with laser profiling of concrete sewer pipes for the quantification of the interior geometry. Structure and Infrastructure Engineering, 2015 Vol. 11, No. 9, 1218–1239.
Clothier, A.S., Oram, P. & Kubek, A.M. 2011. Practical application of force main condition assessment methodologies for long term asset management needs. Pipelines 2011: A Sound Conduit for Sharing Solutions. ASCE.
Conant, J.B. & Jones, C. 2012. New approaches to inspect water pipelines running under rivers, lakes, levies and critical transport infrastructure. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Cordes, S., Berns, K., Eberl, M., Ilg, W. & Suna, R. 1997. Autonomous sewer inspection with a wheeled, multiarticulated robot. Robotics and Autonomous Systems, 21: 123-135.

Corsentino, M., Burnam, J. & Wade, M. 2012. Sewer main condition assessment in the Last Frontier. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Costello, S.B., Chapman, D.N., Rogers, C.D.F. & Metje, N. 2007. Underground asset location and condition assessment technologies. Tunnelling and Underground Space Technology, 22(2007): 524-542.

Daher, S. 2015. Defect-based Condition Assessment Model and Protocol of Sewer Pipelines. Opinnäytetyö. Concordia University Montreal, Quebec, Canada.
Daniels, D. J. 2005. Ground Penetrating Radar. Wiley Online Library.
Davidson, J.M., Salah, M. & Horton, A.M. 2006. Is sanitary sewer rehabilitation really worth it? Collection Systems 2006. Infrastructure Stewardship: Partnering for a Sustainable Future
De Gueldre, G., Van Herzeele, F., Boonen, I., Thoeye, C. & Van De Steene, B. 2007. Hydroplan-EU : An integrated approach for sewer asset management. NOVATECH'2007
Dent, S., Wright, L., Sathyanarayan, P., Matheson, R. & Ohlemutz, R. 2003. Identifying where rehabilitation is cost-effective in a sanitary sewer system to manage SSOs. Collection Systems Conference 2003: cMOM Go!
Derr, H.R. & Hubbard, P. 2009. In-service inspection of wastewater force mains. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Derr, H.R. 2010. Research and development needs for the inspection of pressure pipelines. Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability – Renew, Rehab, and Reinvest. ASCE.
D. De Silva, P. Davis, L.S. Burn, P. Ferguson, D. Massie, J. Cull, M. Eiswirth & C. Heske. 2002. Condition Assessment of Cast Iron and Asbestos Cement Pipes by In-Pipe Probes and Selective Sampling for Estimation of Remaining Life. www.researchgate.net/publication/228822657
Dettmar, J. & Staufer, P. 2005. Modelling of flushing waves for optimizing cleaning operations. Water Science & Technology, 52(5): 233-240.
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaf. 2006. DWA-M 149-2: Zustandserfassung und beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion (Condition assessment and evaluation of drainage systems outside of buildings Part 2: Coding for visual inspection). Germany.
Dezham, P., Im, J. & Gipson, D. 2007. Establishing a CCTV inspection, assessment and improvement program for a large diameter collection system. Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.
Dinkelacker, A. 1992. Cleaning of sewers. Water Science & Technology, 25(8): 37-46.
Dirksen J., Baars E., Langeveld J. & Clemens F. (2012). Analysis of fat, oil and grease deposits in sagging sanitary sewers. 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade, Serbia.
Dirksen, J., Clemens, F.H.L.R., Korving, H., Cherqui, F., Le Gauffre, P., Ertl, T., Plihal, H., Müller, K. & Snaterse, T.M. 2013. The consistency of visual sewer inspection data. Structure and Infrastructure Engineering, 9(3): 214-228.
Dirksen, J., Baars, E.J., Langeveld, J.G. & Clemens, F.H.L.R. 2014. Quality and use of sewer invert measurements. Structure and Infrastructure Engineering, 10(3): 297-304.
Duran, O., Althoefer, K. & Seneviratne, L.D. 2003. Pipe inspection using a laser-based transducer and automated analysis techniques. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 3, 401–409.
Duran, O., Althoefer, K. & Seneviratne, L.D. 2007. Automated pipe defect detection and categorization using camera/laserbased profiler and artificial neural network. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 4, 118–126.
Dutt, L. 2003. Effective pipeline rehabilitation program for reducing inflow & infiltration. WEFTEC® 2003

Ékes, C., Neducza, B. & Henrich, G.R. 2011. Competing condition assessment using in-pipe GPR as Pipe Penetrating Radar. Pipelines 2011, A Sound Conduit for Sharing Solutions. ASCE.
Ékes, C. & Maier, J. 2012. Condition assessments using Pipe Penetratig Radar: the Metro Wastewater Reclamation District – Denver, CO. Harvard Gulch Interceptor Case Study. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Elachachi, S., Breysse, D. & Vasconcelos, E. "Uncertainties, quality of information and efficiency in management of sewer assets." Presented at Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montréal, Canada.
EPA. 2010. Collection Systems. With excerpts from: Condition Assessment of Wastewater Collection Systems, EPA/600/R-09/049. U.S.EPA.
EPA. 2010. Report on condition assessment of wastewater systems (EPA/600/R-10/100). Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.

Farrelly, S.G. & Ferguson, P.H. 2012. A methodology for condition assessment of pressure water mains. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Feeney, C.S., Thayer, S., Bonomo, M. & Martel, K. 2009. Condition Assessment of Wastewater Collection Systems. 2009. Condition+Assessment+of+Wastewater+Collection+Systems+-+USEPA+White+Paper+-+May2009.pdf
Fenner, R.A. 2000. Approaches to sewer maintenance: a review. Urban Water, 2: 343-356.
Felio, G., Canadian Construction Association, and Canadian Public Works Association. 2012. Canadian Infrastructure Report Card: Volume 1: 2012 Municipal Roads and Water Systems. Canadian Construction Association.
Feng, Z., Horoshenkov, V., Tareq, M. & Tait, S. 2012. An acoustic method for condition classification in live sewer networks. In Proceedings of the 18th world conference on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa.
Fleury, M.A. & Warner, J. 2007. Arizona's Largest Condition Assessment. Proceedings of WEF Collection Systems Specialty Conference, May 13-16, Portland, OR.
Forss, A. (toim.). 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteet. Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen monistesarja Nro 17. Vesi- ja viemärilaitosyhdistys. 77 s.

Gallea A. & Vaccari A., "Hydroplan-EU: An innovative approach in asset management. The application in Imperia (Italy)", 7th International Conference on Hydroinformatics, Nice, France.
Galleher Jr., J.J., Holley, M. & Shenkiryk, M. 2009. Acoustic fiber optic monitoring, Ho it is changing the remaining service life of the water authority's pipelines. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Gangl, G., Ertl, T., Kretschmer, F., Kainz, H. & Haberl. R. 2007. Development of a Guideline for Sewer Operation and Maintenance in Austria. Water Practice & Technology Vol 2 1 No 1
Giovanelli, M. & Maglionico, M. 2008. Identification of the optimal level of service for sewer networks by means of expert procedure. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
Gokhale, S. & Graham, J.A. 2004. A new development in locating leaks in sanitary sewers. Tunnelling and Underground Space Technology, 19(2004): 85-96

Hafskjold, L.S., Kønig, A., Sægrov, S. & Schilling, W. 2003. Improved assessment of sewer pipe condition. www.researchgate.net/publication/228825185

Hahn, M.A., Palmer, R.N., Merrill, M.S. & Lukas, A.B. 2002. Expert system for prioritizing the inspection of sewers: knowledge base formulation and evaluation. Journal of Water Resources Planning and Management: 128(2): 121-129.
Hao, T., Rogers, C., Metje, N., Chapman, D., Muggleton, J., Foo, K., Wang, P., Pennock, S., Atkins, P. & Swingler, S. 2012. "Condition Assessment of the Buried Utility Service Infrastructure." Tunnelling and Underground Space Technology, 28, 331-344.
He X., de los Reyes F., Leming M., Dean L., Lappi S. & Ducoste J. 2013. Mechanisms of Fat, Oil and Grease (FOG) deposit formation in sewer lines. Wat. Res. 47 (13) 4451-4459.
Higgins, M.S. & Paulson, P.O. 2006. Fiber optic sensors for acoustic monitoring of PCCP. Pipelines 2006, Service to the Owner: Proceedings of the Pipeline Division Specialty Conference. ASCE.
Hook, D.E., Volpe, R.L. & Chamness, C. 2006. Too much excitement under Highway 87. Pipelines: 2006: Service to the Owner: Proceedings of the Pipeline Division Specialty Conference. ASCE.
Huang, J., Griffin, N., Kalaria, P., Leung, E., Verceles, R. & Bhamrah, A. Looking at Pipe Failure CCTV Data History Is Not Straightforward. Looking%20at%20pipe%20failure%20CCTV%20data%20history%20is%20not%20straightforward.pdf

Ibrahim, M., Cherqui, F., Le Gauffre, P. & Werey, C. 2007. Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. Leading edge conference on strategic asset management 2007.
Iyer, S., Sinha, S.K., Pedrick, M.K. & Tittmann, B.R. 2011. Evaluation of ultrasonic inspection and imaging systems for concrete pipes. Automation in Construction, 22(2012): 149-164

Jeyapalan, J.K. 2007. Making remaining life predictions for better asset management. Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.
Jo, B.Y., Laven, K. & Jacob, B. 2010. Advances in CCTV technology for in-service water mains. Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability – Renew, Rehab, and Reinvest. ASCE.
Jones, C., Mergelas, B., Laven, K. & Bond, A. 2006. Pinpointing exfiltration in large diameter pressurized wastewater pipelines with the Sahara Tethered System. Pipelines 2006, Service to the Owner: Proceedings of the Pipeline Division Specialty Confrence. ASCE.

Kannala, J., Brandt, S.S. & Heikkilä, J. 2008. Measuring and modelling sewer pipes from video. Machine Vision and Applications (2008) 19:73–83
Karpf C. & Krebs P. 2003. Bilanzierung von Fremdwasser. Proceedings of the ATV-DVWK Landesgruppentagung Sachsen/Thüringen, Suhl, Germany, 20 May 2003, 29-44. (in German).
Khan, Z., Moselhi, O. & Zayed. T. 2009. Level of Service Based Methodology for Municipal Infrastructure Management World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, 3(4).
Kienow, K.K. & Kienow, K.E. 2009. Most pipeline failures can be prevented by proper inspection. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Kirkham, R., Kearney, P.D., Rogers, K.J. & Mashford, J. 2000. PIRAT: A system for quantitative sewer pipe assessment. International Journal of Robotics Research, 19, 1033–1053.
Kishawy, Gabbar. 2010. Review of pipeline integrity management practices. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 87: 373-380
Kiuru, H. 2006. Vesihuoltoalan tulevaisuuden näkymät Suomessa. Tekniikka ja Kunta 4/2006, s. 3840.

Kley, G., Kropp, I., Schmidt, T. & Caradot, N. 2013. D 1.1 Review of available technologies and methodologies for sewer condition evaluation. Project acronym: SEMA. KompetenzZentrum Wasser Berlin. Veolia Water, Berlin, Germany.
Kley G. & Caradot, N. 2013. D 1.2 Review of sewer deterioration models. Project acronym: SEMA. KompetenzZentrum Wasser Berlin. Veolia Water, Berlin, Germany.
Kong, X., Nguyen, V. & Mascarenhas, R. 2012. Recent advances in pipe wall assessment technology. Pipelines 2011: A Sound Conduit for Sharing Solutions. ASCE.
Koo, Ariaratnam. 2006. Innovative method for assessment of underground sewer pipe condition. Automation in Construction, 15(2006): 479-488.
Kretschmer, F., Ertl, T. & Koch, F. 2008. Discharge Monitoring and Determination of Infiltration Water in Sewer Systems. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
Kumar, S.S. 2017. Leveraging Big-Data and Deep Neural Networks for Evaluating the Condition of Water and Wastewater Pipelines. PowerPoint-presentation.
Kwak, I., Morris, A., Silver, D., Kratzer, E., Vandapel, N. & Thayer, S. 2007. LADAR-based pipeline inspection and location. Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.

Laakso, T., Lampola, T. & Ahopelto, S. 2015. Putkikohtainen kriittisyysluokitus ja sen käyttö HSY:llä. Vesitalous. 56, 3, p. 21-23
Langeveld, J. & Clemens, F. 2016. Special issue on “Sewer asset management”. Urban Water Journal, 13(1) 1-2.
Le Gauffre, P., Joannis, C., Vasconcelos, E., Breysse, D., Gibello, C., & Desmulliez, J. J. (2007). “Performance indicators and multicriteria decision support for sewer asset management.” J. Infrastruct. Syst., 13(2), 105–114.
Lewis, P., Khaleghian, H. & Shan, Y. 2016. Development of a sustainable national sewer inventory. Procedia Engineering, 145(2016): 1410-1415.
Livingston, B., Boudjou, U. & Royer, R. 2012. Condition assessment of a ductile iron force main using guided wave technology. Case study Underwood Creek force main, Milwaukee Metropolitan Sewerage District. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Loera, R. 2007. PCCP reliability management. Pipelines 2007: Advances and Experiences with Trenchless Pipeline Projects. ASCE.
Lorenzen, A., Ristenpart, E. & Pfuhl, W. 1996. Flush cleaning of sewers. Water Science & Technology, 33(9): 221-228.

Mak, G. 2011. Internal PCCP force main deterioration – analysis and rehabilitation. Pipelines 2011: A Sound Conduit for Sharing Solutions. ASCE.
Makar. 1999. Diagnostic techniques for sewer systems. J. Infrastruct. Syst., 1999, 5(2): 69-78
Malik, O., Pumphrey, N.D. & Roberts, F.L. 1996. Sanitary Sewers: State-of-the-Practice. Infrastructure Condition Assessment: Art, Science, and Practice, 297 – 306.
Malm A., Hortsmark A., Jansson E., Larsson G., Meyer A. & Uusijärvi J. 2011. Handbok i förnyelseplanering av VA-ledningar (Guideline for renewal planning of water and wastewater networks). Report nr 2011-12. Swedish Water & Wastewater Association. Stockholm.
Marlow, D., Heart, S., Burn, S., Urquhart, A., Gould, S., Anderson, M., Cook, S., Ambrose, M., Madin, B. & Fitzgerald, A. 2007. Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Assets. Water Environment Research Foundation (WERF): Alexandria, VA and IWA Publishing: London, United Kingdom.
Marshall, J. & Loera, R. 2009. WSSC reliability management. Pipelines 2009: Infrastructure’s Hidden Assets. ASCE.
Martel, K., Tuccillo, M.E., Rowe, R., Feeney, C.S., Hogan, S., DeBlois, G., Thayer, S., Bannon, B., Ross, M. & Enfinger, K. 2010. Innovative Internal Camera Inspection and Data Management for Effective Condition Assessment of Collection Systems. USEPA

Mattsson J. & Hedström A. 2012. Matavfallskvarnar – Långtidseffekter på ledningsnät (Food waste disposers – Long term impacts on sewer systems). Report nr 2012-11. Swedish Water & Wastewater Association. Stockholm.
Mattsson J., Hedström A. & Viklander M. 2014. Fat, oil and grease accumulation in sewer systems – a comprehensive survey of experiences of Scandinavian municipalities. Journal of environmental engineering, available online.
Mattsson, J., Hedström, A. & Viklander, M. 2014. Indicators for Blockages Caused by Changing Wastewater—How Well Does a Municipality Need to Know Its Sewer? 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014
McDonald, S.E. & Zhao, J.Q. 2001. Condition Assessment and Rehabilitation of Large Sewers. Report No. NRCC-44696. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada: Ottawa, Canada
Robert A. McKim & Sunil K. Sinha. 1999. Condition assessment of underground sewer pipes using a modified digital image processing paradigm. Trenchless Technol. Res., Vol. 14, No. 2, pp. 29-37, 1999
Medan, N., Ravai Nagy, S. & Banica, M. 2014. Measuring the impact forces within the cleaning nozzles sewage system. Applied Mechanics and Materials, 657: 564-568.
Medan, N. & Ravai Nagy, S. 2015. Determining the equation of the impact forces produced by water jets used in sewer cleaning. Applied Mechanics and Materials, 809-810: 1579-1584.
Medan, N., Lobontiu, M. and Banica, M. 2017. Full factorial DOE to determine the influence of the process parameters in cleaning water jets used in sewer cleaning. MATEC Web of Conferences, 94; CoSME'16.
Miles, S.W., Styers, F.C. & Nesbit, C.M. 2007. Setting pipeline rehabilitation priorities to achieve "best" results – a case study using condition and criticality criteria. Pipelines 2007: Advances and Experiences with Trenchless Pipeline Projects. ASCE.
Mirats Tur, J.M. and Garthwaite, W. 2010. Robotic devices for water main in-pipe inspection: a survey. Journal of Field Robotics, 27(4): 491-508.
Møller Rokstad, M., Ugarelli, R.M. & Sægrov, S. 2016. Improving data collection strategies and infrastructure asset management tool utilization through cost benefit considerations. Urban Water Journal, 13(7): 710-726.
Moy, R., Coleman, G. & Wilmut, C. 2006. Field application of Sewer Electro-Scan in large pipe condition assessment. Pipelines 2006, Service to the Owner: Proceedings of the Pipeline Division Specialty Confrence. ASCE.
Müller, K. 2006. Strategien zur Zustandserfassung von Kanalisationen, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, 2006.
Müller. 2007. Strategies for Condition Assessment of Sewer Systems. Water Practice & Technology Vol 2 No 2.
Müller, K. & Fischer, B. 2007. Objective Condition Assessment of Sewer Systems. Konferenssijulkaisu. LESAM 2007 - 2nd Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, Lisbon, Portugal, 17.-19.10.2007.

Najafi, M. & Gokhale, S. 2004. "Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal" 3rd edition, McGraw-Hill
Najafi, M. & Osborn, L. 2007. (ARTIKKELIN NIMI, sivu 2) Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.
Nederlands Normalisatie-instituut. 2003. NEN-EN 13508-2: Toestand van de buitenriolering - Coderingssysteem bij visuele inspectie (Conditions of drain and sewer systems outside buildings - Part 2: Visual inspection coding system). the Netherlands
Nelson, R., Rowe, R. & Varghese, V. 2010. Process for evaluating sanitary sewer pipe and manhole condition assessment data. Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability – Renew, Rehab, and Reinvest. ASCE.

Olhoeft, G.R. 2000. Maximizing the information return from ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics, 43, 175–187.
Olthof, J., Brundage, C., Evans, J. & Mozcdlowsky, C. 2002. Improving Cleaning, CCTV, and Replacement of Sewer Collection Pipe Using Geographic Information Systems. WEFTEC 2002
Opila, M.C. & Attoh-Okine, N. 2011. Novel Approach in Pipe Condition Scoring. Journal Of Pipeline Systems Engineering And Practice. J. Pipeline Syst. Eng. Pract., 2011, 2(3): 82-90
Ortega, R. & Ross, A.D. 2012. Enhancing asset management priority ranking – a case study. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.

Park, T. & Kim, H. 2013. A data warehouse-based decision support system for sewer infrastructure management. Automation in Construction, 20: 37-49.
Paulson, P. & Nguyen, V. 2010. Pipe wall evaluation using acoustic pulses. Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability – Renew, Rehab, and Reinvest. ASCE.
Plihal, H., Kretschmer, F., Schwarz, D. & Ertl, T. 2014. Innovative sewer inspection as a basis for an optimized condition-based maintenance strategy. Water Practice & Technology, 9(1).
PPIC. 2010. Pipe Diver: Condition assessment without shutting down pipelines. Pressure Pipe Inspection Company http://www.ppic. com/services/pipe_diver.shtml. Accessed August 25, 2010.
Psutka, A. & Kong, X. 2009. Unmanned RFTC inspection of large diameter pipe. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Purtell, J. 2010. Mapping the underground infrastructure: leveraging gps technology to locate and identify problems. North American Society for Trenchless Technology (NASTT) No-Dig Show 2010, Chicago, Illinois May 2-7, 2010

Queensland Government. A. Guidelines for implementing total management planning. Asset Management – Overview. WWW: http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/pdf/guidelines/tmp/2001_guidelines/overviews/asset_management.pdf. Australia. 25 s.
Queensland Government. B. Guidelines for implementing total management planning. Asset Management – Asset evaluation and renewal. WWW: http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/pdf/guidelines/tmp/2001_guidelines/implementation/asset_05.pdf. Australia. 27 s.

Rahman, S. & Vanier, D. 2004. An evaluation of condition assessment protocols for sewer management. Municipal Infrastructure Investment Planning (MIPP) Rep., National Research Council Canada, Ottawa, B-5123.6.
Rahman, S. & Vanier, D.J. 2004. Municipal Infrastructure Investment Planning. MIIP Report: An Evaluation of Condition Assessment Protocols for Sewer Management. Report No. B-5123.6, Institute for Research in Construction: Ottawa, Canada.
Rajani, B. & Kleiner, Y. 2004. Non-destructive inspection techniques to determine structural distress indicators in water mains. NRCC-47068, Evaluation and control of water loss in urban networks, 2004, Valencia, Spain, pp. 1-20.
Rokstad, Ugarelli. 2015. Evaluating the role of deterioration models for condition assessment of sewers.
Rome, E., Hertzberg, J., Kirchner, F., Licht, U. & Christaller, T. 1999. Towards autonomous sewer robots: the MAKRO project. Urban Water, 1: 57-70.
Roode, T.J., Rector, L. & Smith, M.P. 2009. Using GPS to improve data collection on the Prairie Waters pipeline. Pipelines 2009: Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.

Rowe, R., Vani, K. & Kelly, B. 2004. Combining sewer failure consequences with condition assessment likelihood produces realistic prioritization ranking. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2004.

Sadiq, R., Kleiner, Y. & Rajani, B. 2007. Water quality failures in distribution networks—Risk analysis using fuzzy logic and evidential reasoning. Risk Anal., 27(5), 1381–1394.
Savic, D., Giustolisi, O., Berardi, L., Shepherd, W., Djordjevic, S. & Saul, A. 2006. Modelling sewer failure by evolutionary computing. Water Management 159 Issue WM.
Simicevic, J. & Sterling, R. 2006. Cost effective rehabilitation of private sewer laterals. Collection Systems 2006 Infrastructure Stewardship: Partnering for a Sustainable Future
Sinha, S. & Knight, M. 2004. “Intelligent system for condition monitoring of underground pipes.” Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng., 19(1), 42–53.
Stone, S. L., Dzuray, E. J., Meisegeier, D., Dahlborg, A. S. & Erickson, M. 2002. Decision-support tools for predicting the performance of water distribution and wastewater collection systems: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
Sinha, S.K. 2014. Development of an intelligent system for underground pipeline assessment, rehabilitation and management. www.researchgate.net/publication/228963212
Siringi, D.O., Home, P.G. & Koehn, E. 2014. Cleaning methods for pipeline renewals. International Journal of Engineering and Technical Research, 2(9): 44-47.
Stanić, N., Langeveld, J. & Clemens, F. 2012. Identification of the information needs for sewer asset management by assessing failure mechanisms. 9th International Conference on Urban Drainage Modelling Belgrade 2012
Stein, D. 1999: Instandhaltung von Kanalisationen, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, 3. Auflage, 1999
Swedish water & wastewater association. 2006. P93 - TV-inspection of sewer pipes (P93 - TV-inspektion av avloppsledningar), Swedish water & wastewater association Stockholm.

Teichgräber, B., Stemplewski, J., Althoff, H. & Elkmann, N. 2006. Remote controlled inspection device for large sewers. Water Practice & Technology, 2(4).
Thomson, J.C., Hayward, P., Hazelden, G. Morrison, R.S., Sangster, T., Williams, D.S. & Kopchynkski, R.K. 2004. An Examination of Innovative Methods used in the Inspection of Wastewater Systems. WERF: Alexandria, VA and IWA Publishing: London, United Kingdom.
Thomson, J.C. 2008. The Value of Inspection. Presented at: STREAMS Task Order 59 Condition Assessment of Collection Systems Technology Forum. Sept. 11-12, 2008. Edison, NJ
Tuccillo, M.E., Wilmut, C., Feeney, C., Martel, K., Selvakumar, A. 2011. Field Demonstration of Electro-Scan Defect Location Technology for Condition Assessment of Wastewater Collection Systems. Collection Systems 2011

U.S. Environmental Protection Agency. 1991. Handbook for Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation, EPA/625/6-91/030, Center for Environmental Research Information, Washington, D.C.
U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Handbook for Sewer System Evaluation and Rehabilitation, EPA/430/9-75-021, Office of Water Program Operations, Washington, D.C.
US EPA. 2001. EPA takes action to protect the nation's beaches from health threats posed by raw sewage overflows. US EPA Headquarters Press Release, 1/5/2001. Available at internet address: http://www.epa.gov/npdes/pubs/sso-pressrelease.htm.

Vaattovaara, M. & Sipilä, O. 2005. Fyysisen käyttöomaisuuden hallinnan taustaselvitys. Teknologiakatsaus 170/2004. Tekes. Helsinki 2005. 68 s.
Vallabhaneni, S., Chan, C. & Selvakumar, A. 2014. Focused Field Investigations for Sewer Condition Assessment with EPA SSOAP Toolbox. North American Society for Trenchless Technology (NASTT) NASTT's 2014 No-Dig Show. Orlando, Florida April 13-17, 2014.
van der Steen, A.J., Dirksen, J. & Clemens, F.H.L.R. 2014. Visual sewer inspection: detail of coding system versus data quality?, Structure and Infrastructure Engineering, 10:11, 1385-1393, DOI: 10.1080/15732479.2013.816974
Van Herzeele F., Boonen I., Van Assel J., De Gueldre G. & Thoeye C. 2006. Hydroplan-EU knowledge management framework for urban water asset management. Proceedings of 7th International Conference on Hydroinformatics HIC 2006, Nice, France.
Vanier, D.J. 2001. Why industry needs asset management tools. Journal of Computing in Civil Engineering, 15(1): 35-43.
van Riel, W., Langeveld, J.G., Herder, P.M. & Clemens, F.H.L.R. 2014. Intuition and information in decision-making for sewer asset management. Urban Water Journal, 11(6): 506-518.
van Riel, W., van Bueren, E., Langeveld, J., Herder, P. & Clemens, F. 2016. Decision-making for sewer asset management: theory and practice. Urban Water Journal, 13(1): 57-68.
Villalobos, J.L. & Perry, C. 2009. Asset management strategies for metallic municipal transmission pipelines. Pipelines 2009, Infrastructure's Hidden Assets. ASCE.
Villalobos, J. 2012. Condition assessment of 23 lift stations. Pipelines 2012: Innovations in Design, Construction, Operations, and Maintenance – Doing More with Less. ASCE.
Välisalo, T., Räikkönen, M. & Lehtinen, E. 2006. Asset Management vesihuollossa Kirjallisuustutkimus (TARKEMMAT VIITETIEDOT)
Välisalo, T., Riihimäki, M., Lehtinen, E. & Kupi, E. 2008. Vesihuoltolaitosten verkostoomaisuuden hallinta Toimintamallin kuvaus Total Management Planning -ohjeistuksen pohjalta. Tero Välisalo, Markku Riihimäki, Erkki Lehtinen & Eija Kupi. ISBN 978-951-38-7159-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp).
Välisalo, T., Hanski, J., Virolainen, K., Malm, T., Salmela, L., Pietilä, P., Heino, O., Oulasvirta, L., Luomanen, T., Riihimäki, M., Grönfors, T. & Teerimo, S. 2013. Vesihuoltoverkostojen kunnossapitopalvelujen riskienhallinta. Loppuraportti ISBN 978-951-38-7903-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu) Vesihuoltoverkostojen kunnossapitopalvelujen riskienhallinta Loppuraportti.

Wagner, T.B. 2011. It's never easy… Development and implementation of a comprehensive force main condition assessment. Pipelines 2011, A Sound Conduit for Sharing Solutions. ASCE.
Waicelunas, A., Wittas, D. & Garaci, M. 2007. Using GIS for pipeline data management at the Palo Verde Nuclear Facility. Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.
Walter, C., Saenz, J., Elkmann, N., Althoff, H., Kutzner, S. & Stuerze, T. 2011. Design considerations of robotic system for cleaning and inspection of large-diameter sewers. Journal of Field Robotics, 29(1): 186-214.
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.
Wirahadikusumah, R., Abraham, D.M., Iseley, T. & Prasanth, R. K. (1998). Assessment technologies for sewer system rehabilitation. Automation in Construction, 7, 259–270.
Worthington, W. & Homer, R. 2007. Risk management begins in the planning stage. Pipelines 2007, Advances and experiences with trenchless pipeline projects. ASCE.

Wright, L., Dent, S. & Ohlemutz, R. ESTIMATING THE CONDITION OF UNINSPECTED SEWER PIPELINES.
Wu, W., Liu, Z. & He, Y. 2015. Classification of defects with ensemble methods in the automated visual inspection of sewer pipes. Pattern Anal Applic, 18: 263-276.

Yang, J., 2004. Road crack condition performance modeling using recurrent Markov chains and artificial neural networks. Doctoral Dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, University of South Florida
Yang, M-D., Su, T-C., Wu, T-Y. & Huang, K-S. 2010. No-dig inspection technologies for underground pipelines. Journal of GeoEngineering, Vol. 5, No. 3, pp. 99-104, December 2010

Zhang, Y. & Yan, G. 2007. In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting. Mechanism and Machine Theory, 42: 1618-1631.
Zhao, J. 1998. “Trunk Sewers in Canada”, Proceedings of APWA International Public Works Congress – Innovations in Urban Infrastructure, Las Vegas, Sept., Pg 75 –89.
Zhao, J.Q. & Rajani, B. 2002. Construction and Rehabilitation Costs for Buried Pipe with a Focus on Trenchless Technologies. IRC-RR-101. http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs

# LIITTEET

**LIITE 1** Paineettomien linjojen kuntotutkimusmenetelmiä
**LIITE 2** Paineellisten linjojen kuntotutkimusmenetelmiä

Liite 1. Paineettomiin linjoihin soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä (Feeney et al. 2009; Koo ja Ariaratnam, 2006; Costello et al. 2007).

| Menetelmä | Tyyppi | Materiaali | Koko | Sedimentti, irtokertymä, juuret | Painumat | Putken ulkopuoliset tyhjät tilat | Korroosio ja metallin häviäminen | Liian pitkät liittymät | Halkeamat | Vuodot | Seinämän paksuus | Liittymät | Perustusten kunto | Perustusten puutteet | Heikentynyt eristys | Yleiskunto | Muuta huomioitavaa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perinteinen viemärikuvaus | V | kaikki | > 150 mm | kyllä | kyllä | | | kyllä | kyllä | kyllä | | kyllä | | | | | |
| Zoom-kamera | V | kaikki | > 150 mm | kyllä | kyllä | | | kyllä | kyllä | kyllä | | kyllä | | | | | |
| Digitaalinen viemärikuvaus | V | kaikki | 150 mm – 1500 mm | kyllä | osittain | | osittain | osittain | kyllä | kyllä | | | | | | | |
| Työnnettävä kamera | T | kaikki | 25 mm – 300 mm | kyllä | kyllä | | | kyllä | kyllä | kyllä | | kyllä | | | | | |
| Putken sisäpuolinen vuotojen tutkimus | V, P | kaikki | > 100 mm | | | | | | | kyllä | | | | | | | |
| Tutka, ultraäänianturit | V, P | kaikki | > 50 mm | kyllä | kyllä | kyllä | kyllä | | kyllä | | | | | | | | |
| Sähköinen vuotojen etsintä | V, P, T | NF | > 75 mm | | | | | | kyllä | kyllä | | | | | | | |
| Sähköinen linjojen paikannus | V, P, T | F | kaikki | | | | | | | | | | | | | | • vain metallisille putkille/kohteille<br>• mahdollinen häiriö muista putkista<br>• maaperä tai pohjaveden pinta ei vaikuta |
| Remote field eddy current | V, P, T | F | > 50 mm | | | | kyllä | | kyllä | kyllä | kyllä | | | | | | |
| Magneettivuomenetelmä | V, P, T | F, PCCP | 50 mm – 1400 mm | | | | kyllä | | kyllä | | | | | | | | • voidaan käyttää vain rautaisissa/teräksisissä putkissa |
| Laserkeilaus | V, P | kaikki | > 100 mm | kyllä | kyllä | | kyllä | | | | | | | | | | |
| Gamma-gamma-mittaukset | V, P, T | C | | | | kyllä | | | | | | kyllä | kyllä | kyllä | | | |
| Maaperätutkat | V, P, T | kaikki | | | | | | | | kyllä | | | kyllä | kyllä | | | • riippumaton putkimateriaalista<br>• signaalin vaimentuminen sähköä hyvin johtavassa maaperässä, kuten savessa, pienentää tutkan käyttöaluetta<br>• ei erottele putkityyppiä (kaasu, vesi, sähkö jne.) |

Liite 1. Paineettomiin linjoihin soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä (Feeney et al. 2009; Koo ja Ariaratnam, 2006; Costello et al. 2007).

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | • vaatii koulutetun ja osaavan henkilöstön tulosten tulkintaan |
| Infrapunatekniikat | V, P, T | kaikki | | | | | | | | kyllä | | | | kyllä | kyllä | | • ympäröivä maaperä vaikuttaa tuloksiin<br>• tuulen nopeus ja maaperän peitteisyys vaikuttavat tuloksiin<br>• ei pysty mittaamaan syvyyttä |
| Micro-deflection | V | B | | | | osittain | | | | | | | | osittain | | kyllä | |
| Impact echo / SASW | V | B, C | > 150 mm | | | kyllä | | | kyllä | | kyllä | | | | | | |

V = viettoviemäri, P = paineviemäri, T = tonttihaara, F = teräksinen putki, NF = ei-teräksinen putki, C = betoni, PCCP = esijännitetty betoniputki, B = tiili

Liite 1. Paineettomiin linjoihin soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä (Feeney et al. 2009; Koo ja Ariaratnam, 2006; Costello et al. 2007).

Liite 2. Paineellisiin vesihuoltolinjoihin soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä (Feeney et al. 2009; Koo ja Ariaratnam, 2006; Costello et al. 2007).

| Menetelmä | Putkimateriaali | | | | | Putken tila tutkimuksen aikana | | | Testausolosuhteet | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nimi | Rauta | Betoni/sementti | | Muovi | Muut | Käytössä<br>Ei vaadi kaivuja | Käytössä<br>Vaatii kaivuja | Pois käytöstä<br>Kaivettu esille | Testattavat ominaisuudet | Tarkkuus | Kommentit |
| | V / T | PCCP | AC | PVC/HDPE | | | | | | | |
| Akustinen emissiotestaus | | X | | | | | Analysaattoreille tarvitaan aukot | | PCCP:n teräsvaijerien rikkoumat | Korkea | Analysaattorit on saatava kiinni putken pintaan |
| Akustinen vuotomenetelmä | X | X | X | X | X | Esim. venttiileistä | | | Vuotojen havaitseminen, ilmataskut | Korkea | Venttiilit tai hanat pitää olla kiinni verkostossa |
| | X | X | X | X | X | | Analysaattoreille tarvitaan aukot | | Vain vuotojen havaitseminen | Korkea | Analysaattorit on saatava kiinni putken pintaan |
| Veden mukana vapaasti kulkevat analysaattorit | X | X | X | X | X | X | | | Vuotojen havaitseminen, ilmataskut | Keskimääräi-nen tai korkea | Erillisten yhteiden, hanojen tai venttiilien kautta verkostoon |
| Akustinen kuituoptiikka | | X | | | | X | | | Tällä hetkellä vain PCCP:lle | Korkea | Pysyvä asennus |
| | X | X | X | X | X | X | | | Vuotojen havaitseminen | Tuntematon | Oletetaan olevan tehokas |
| Akustinen seinämän paksuuden mittaus | X | | (X) | | | | Analysaattoreille tarvitaan aukot | | Jäljellä oleva seinämän paksuus | Kokeiluasteella/ pilotoitu | Echologics:illa menetelmä, jota on testattu mm. HSY:n verkostossa<br>Vaatii putken esillekaivun |
| Laajakaistainen sähkömagneettinen tutkimus | X | | | | | | | X | Jäljellä oleva seinämän paksuus | Alhainen | Sisäinen analyysi; putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Viemärikuvaus (CCTV) | X | X | X | X | X | | | X | Sisäiset olosuhteet, yksityiskohtainen tarkastelu | Alhainen | Putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Matalataajuinen ultraäänitutkimus | X | | | | | | X | | Ulkopuolinen tutkimus metalliaineksen hävikistä | Tuntematon | Putken laki pitää kaivaa esille |
| Magneettivuotestaus | X | | | | | | | X | Seinämän paksuuden ja muodonmuutosten testaus | Tuntematon | Sisäinen analyysi; putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Remote Field Eddy Current (RFEC) | X | | | | | Possutus-laitteeseen | Possutus-laitteeseen | Köydellä/ vaijerilla vetämällä | Sisäinen seinämän paksuuden tutkimus, korroosio | Korkea | Putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Ultraäänitutkimus | X | | | | | | X | | Ulkopuolinen seinämän paksuuden tutkimus | Alhainen | Paikallisesti putken seinämää seuraillen. Putken laki pitää kaivaa esille. |
| Ultraäänitutkimus robottikameralla | X | | | | | | | X | Sisäpuolinen seinämän paksuuden tutkimus | Pilotointivaihee ssa | |
| Sonar | X | X | X | X | X | | | X | Sisäpuolinen muodonmuutosten, likaantumisen ja sedimentin tutkimus | Keskimääräi-nen tai korkea | Putken laki pitää kaivaa esille, ei tarvitse tyhjentää |
| Laser-skannaus | X | X | X | X | X | | | X | Sisäpuoliset mitat, likaantumisen tutkimus | Korkea | Putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Viemäriskannerit | X | X | X | X | X | | | X | Sisäpuoliset olosuhteet, yksityiskohtaiset viat | Korkea | Putki on kaivettava esille ja tyhjennettävä |
| Maaperätutka | X | X | X | X | X | X | | | Maaperäolosuhteiden analysointi putken ympärillä | Matala | Käytetään maanpinnalta |
| Infrapuna-analysointi | X | X | X | X | X | X | | | Vuotokohtien analysointi maanpinnalta | Matala | Käytetään maanpinnalta |
| Gamma-gamma-tutkimus | X | X | X | X | X | X | | | Maaperäolosuhteiden analysointi putken ympärillä | Matala | Käytetään maanpinnalta |
| Magneettinen tomografia | X | | | | | X | | | Maaperäolosuhteiden analysointi putken ympärillä | Keskimääräinen | Käytetään maanpinnalta |