

Viemäriverkoston kriittisten vuotovesikohteiden kartoitus

Case Lahti Aqua Oy

Tiivistelmä

Tekijä(t) Volanen, Elisa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 53	Valmistumisaika 2025
Työn nimi Viemäriverkoston kriittisten vuotovesikohteiden kartoitus Case Lahti Aqua Oy		
Tutkinto Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Hannu Mustonen, Aqua Palvelu Oy:n toimitusjohtaja, Lahti Aqua Oy		
Tiivistelmä <p>Työssä kehitettiin nykyaikaisiin teknologioihin perustuva menetelmä viemäriverkoston kriittisten vuotovesi- ja vuotoriskikohteiden kartoittamiseen, arviointiin ja priorisointiin. Tarkoituksena oli selvittää, miten paikkatietoaineistoja ja reaaliaikaisia seurantalaitteita voidaan hyödyntää verkoston riskikohteiden tunnistamisessa ja omaisuudenhallinnan tehostamisessa.</p> <p>Kriittisten kohteiden arviointia varten koottiin ja analysoitiin tietoa QGIS-, Trimble NIS- ja SmartVatten Neuro -sovellusten avulla. Lisäksi kehitettiin pistemäinen priorisointimalli, joka yhdistää verkoston ympäristöolosuhteita, omaisuusriskitekijöitä, käyttövarmuutta, kunnan tilaa ja huoltomahdollisuuksia koskevaa tietoa. Tarkempia vuotovesitutkimuksia toteutettiin AquaDuoScope-menetelmällä ja Zoom-kuvauksilla valitulla tutkimusalueella.</p> <p>Työn tuloksena luotiin sovellettava prosessi ja arviointityökalu kriittisten verkostokohteiden tunnistamiseen ja priorisointiin. Menetelmän avulla voidaan parantaa verkoston omaisuuden hallintaa ja kohdentaa resursseja tehokkaammin riskialttiille alueille.</p>		
Asiasanat vuotovesi, viemäriverkosto, omaisuudenhallinta, paikkatieto, riskienhallinta, QGIS, SmartVatten Neuro		

Abstract

Author(s) Volanen, Elisa	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2025
	Number of Pages 53	
Title of Publication Mapping of Critical Infiltration Areas In a Sewer Network Case Lahti Aqua Oy		
Name of Degree Engineer (UAS), Energy and Environmental Technology		
Name, title and organization of the client Hannu Mustonen, CEO of Aqua Palvelu Oy, Lahti Aqua Group		
Abstract <p>A modern technology-based method was developed to map, assess, and prioritize critical infiltration and inflow risk areas in sewer network management. The purpose was to examine how spatial datasets and real-time monitoring devices can be utilized to identify risk areas in network and to enhance asset management.</p> <p>Information from QGIS, Trimble NIS, and SmartVatten Neuro applications was collected and analyzed to support assessment of critical sites. Additionally, a point-based prioritization model was developed to integrate data on environmental conditions, asset risks, operational reliability, structural condition, and maintenance possibilities. More detailed infiltration investigations were conducted using the AquaDuoScope method and Zoom inspections within a selected study area.</p> <p>As a result, an applicable process and evaluation tool were created to identify and prioritize critical network sites. The method can improve asset management and enable more efficient targeting of resources towards high-risk areas.</p>		
Keywords infiltration water, sewer network, asset management, spatial data, risk management, QGIS, SmartVatten Neuro		

Sisällys

1	JOHDANTO.....	1
2	VESIHUOLTO	2
2.1	Lainsäädäntö ja standardit	2
2.2	Kestävä vesihuolto	2
3	VERKOSTO-OMAIUUUDEN HALLINTA.....	6
3.1	Verkostotieto	6
3.2	Tunnusluvut.....	9
3.3	Riskienhallinta	12
3.4	Kriittisyysluokitus	14
3.5	Kohdennettu kunnon arviointi	19
4	VIEMÄRIVERKOSTOJEN RAKENNE JA TOIMINTA.....	22
4.1	Viemäriverkosto.....	22
4.2	Jätevesiverkoston kunto	25
4.2.1	Rakenteelliset vauriot	26
4.2.2	Toiminnalliset häiriöt.....	27
5	VUOTOVEDET	29
5.1	Jätevesiverkoston vuotovedet	29
5.2	Ympäristövaikutukset	31
5.3	Vuotovesiselvitys.....	32
6	TIETOLÄHTEET JA TIETOJEN YHDISTELY	36
6.1	Tutkimusalue	36
6.2	QGIS (Quantum Geographic Information System).....	36
6.3	SmartVatten Neuro.....	40
6.4	Trimble NIS (Network Information System).....	41
6.5	Pistemäinen priorisointimalli	43
7	KOHDENNETUT VUOTOVESITUTKIMUKSET	45
7.1	AquaDuoScope	45
7.2	Zoom-kuvaus.....	45
8	TULOKSET.....	49
9	YHTEENVETO	50
	Lähteet	51

KÄSITTEITÄ

Hulevesi	Sade- ja sulamisvesiä, jotka valuvat maan pinnalta pois rakennetuilla alueilla, kuten katoilta, pihoilta ja kaduilta.
Kriittinen kohde	Verkoston osa, jonka toimintahäiriö aiheuttaa merkittäviä haittoja.
Kriittisyysluokitus	Menetelmä, jolla verkoston osat luokitellaan merkityksensä ja riskitasonsa mukaan.
Omaisuuuden hallinta	Menetelmä infrastruktuurin systemaattiseen hallintaan siten, että verkoston turvallisuus, käyttövarmuus ja tehokkuus säilyvät.
Operointi	Verkoston tai laitoksen päivittäinen käyttö, valvonta ja kunnossapidon hallinta.
Paikkatieto	Tieto, joka on sidottu tiettyyn sijaintiin maantieteellisesti; vesihuollossa esim. putken sijainti, kunto tai ympäristötekijät.
Pääviemäri	Viemäriverkoston runkolinja, joka kerää ja kuljettaa suuria määriä jätevettä keräilyviemäreistä jätevedenpuhdistamolle.
Reaaliaikainen mittaus	Järjestelmä tai sensori, joka tuottaa jatkuvaa ja ajankohtaista mittaustietoa, esim. virtaamasta, sadannasta tai pinnankorkeudesta.
Varautumissuunnitelma	Suunnitelma, jossa määritellään kriittiset kohteet ja toimenpiteet poikkeustilanteisiin.
Vuotovesi	Jätevesiviemäriin päätyvä ulkopuolinen vesi, kuten sade- tai pohjavesi, joka lisää viemäriverkoston kuormitusta ja ylivuotoriskiä.

1 JOHDANTO

Jätevesiverkoston vuotovedet muodostavat merkittävän haasteen vesihuoltolaitoksille, sillä ne heikentävät verkoston toimintavarmuutta, kasvattavat jätevedenpuhdistamoiden kuormitusta ja lisäävät ympäristöriskejä. Vuotovedet voivat muodostua hule- ja pohjavesistä, jotka pääsevät viemäriverkostoon rakenteellisten vikojen tai virheellisten liitäntöjen kautta. Verkoston kunnon hallinta on keskeinen osa kestävästä vesihuollosta ja verkosto-omaisuuden hallintaa, jossa korostuvat riskien ennakointi, tiedolla johtaminen ja resurssien tarkoituksenmukainen kohdentaminen.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan Aqua Palvelu Oy:n toimeksiantona. Aqua Palvelu Oy vastaa Lahti Aqua -konsernin operatiivisesta toiminnasta, ja sen tehtävänä on huolehtia veden hankinnasta, jakelusta sekä jätevesien keräyksestä ja käsittelystä Lahden, Hollolan, Iitin ja Heinolan alueilla. Yhtiön tavoitteena on tarjota asiakkailleen laadukkaita ja ympäristön kannalta kestäviä vesihuoltopalveluita sekä kehittää toimintaansa digitalisaation ja uusien teknologioiden avulla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää nykyaikaisiin teknologioihin perustuva menetelmä kriittisten vuotovesi- ja vuotoriskikohteiden kartoittamiseen, arviointiin ja priorisointiin viemäriverkoston hallinnassa. Työssä tarkastellaan, miten eri tietolähteitä, kuten paikkatietoaineistoja ja reaaliaikaisia seurantalaitteita, voidaan hyödyntää verkoston riskikohteiden tunnistamisessa ja omaisuudenhallinnan tehostamisessa. Lisäksi selvitetään, millaisia tekijöitä kriittisten kohteiden arvioinnissa tulee huomioida ja kuinka kohteita voidaan priorisoida tarkoituksenmukaisesti verkoston kokonaishallinnan näkökulmasta.

Tutkimuskysymykset ovat

1. Miten nykyaikaisilla menetelmillä voi kartoittaa vuoto- ja vuotoriskikohteita?
2. Millaisia tekijöitä tulee huomioida kriittisten vuoto- ja vuotoriskikohteiden arvioinnissa?
3. Miten kohteita voidaan priorisoida?
4. Miten paikkatietoaineistot ja reaaliaikaiset seurantalaitteet tukevat kriittisten kohteiden hallintaa?

Työssä ei käsitellä vesijohtoverkoston vuotovesiä eikä tarkastella yksittäisten kiinteistöjen jätevesijärjestelmiä, vaan tarkastelu kohdistuu jätevesiverkostoon ja siihen liittyviin julkisen verkoston osiin.

2 VESIHUOLTO

2.1 Lainsäädäntö ja standardit

Suomessa vesihuoltolaitoksen toimintaa ohjaa vesihuoltolaki (119/2001), joka velvoittaa laitokset huolehtimaan verkostojensa turvallisesta toiminnasta ja ympäristöriskien hallinnasta. Lain mukaan laitoksilla on selvilläolovelvollisuus ja tarkkailuvelvollisuus, jotka edellyttävät säännöllistä verkoston kunnan seurantaan sekä tietoa sen tilasta ja toimintaolosuhteista (Vesihuoltolaki 119/2001, 15 §).

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) säätelee erityisesti viemäriverkoston hallintaa ja painottaa päästöjen, kuten vuotovesien ja ylivuotojen, rajoittamista ympäristöön. Laki korostaa ympäristöriskien hallintaa ja ennaltaehkäisyä, jotka ovat keskeisiä verkosto-omaisuuden hallinnan osia. Lisäksi terveydensuojelulaki (763/1994) korostaa puhtaan veden toimituksen ja viemäroinnin merkitystä ihmisten terveyden turvaamisessa. Lain 22 § edellyttää verkostojen säännöllistä kunnossapitoa ja riskienhallintaa hygienian näkökulmasta (Terveydensuojelulaki 763/1994, 22 §).

Viemäriverkoston hallinnassa huomioidaan erityisesti pohjavesien ja vesistöjen suojeleminen, jota säätelee vesilaki (587/2011). Lisäksi vesihuoltolaitosten tulee varautua poikkeustilanteisiin, kuten äkillisiin tulvatilanteisiin tai viemärivuotoihin, joita käsitellään pelastuslaissa (379/2011, 14 §).

Verkosto-omaisuuden hallintaa tukee ISO 24516-standardisarja, joka kattaa muun muassa viemäriverkoston hallinnan. Lisäksi yleisluontoinen standardisarja SFS-ISO 55000, SFS-ISO 55001 ja SFS-ISO 55002 tarjoaa viitekehyksen omaisuudenhallinnan integroimiseksi osaksi organisaation johtamisjärjestelmää. (Berninger ym. 2018.)

Vesihuoltolaitosten toiminta perustuu kattavaan verkosto-omaisuuden ja riskienhallintaan, joita ohjaavat lainsäädännölliset velvoitteet sekä infrastruktuurin ja toimintamallien jatkuva kehitys. Moderni teknologia, kuten automaatiojärjestelmät, paikkatieto-ohjelmistot ja sensorteknologiat, tukevat vesihuoltolaitosten kestäväää toimintaa ja auttavat täyttämään lainsäädännön vaatimukset. (Berninger ym. 2018; Vesilaitosyhdistys.)

2.2 Kestävä vesihuolto

Vesihuollon perustana on kestävä ja vastuullinen toiminta, joka käytännössä tarkoittaa ympäristövaikutusten minimointia ja resurssien tehokasta käyttöä. Vesi on elämän perusedellytys, ja sitä hyödynnetään monipuolisesti alkutuotannossa, teollisuudessa, palveluissa ja kotitalouksissa. Teknologiset järjestelmät ottavat vettä käyttöönsä eri ekosysteemeistä,

kuten pohjavesistä, pintavesistä ja meristä. Veden käyttötarkoitukset vaihtelevat juomavedestä, kasteluvvedestä ja prosessivedestä jäähdytys- ja saniteettiveteen, ja erityisen arvokasta on hyvälaatuinen makeavesi, joka soveltuu vaativiin käyttötarkoituksiin. (Salminen ym. 2017.)

Vesilaitosyhdistys määrittelee vesihuoltolaitokset keskeisiksi toimijoiksi yhteiskunnan infrastruktuurissa vastaten puhtaan veden hankinnasta, jakelusta sekä jätevesien keräyksestä ja käsittelystä. Laitosten toiminta on olennaista sekä ympäristön että ihmisten terveyden ja hyvinvoinnin turvaamiseksi (Kuva 1).



Kuva 1. Vesi kiertotaloudessa (Salminen ym. 2017)

Renko ym. (2021) mukaan vesihuoltolaitoksen toiminta edellyttää ammattimaista johtamista, avointa omistaja- ja asiakasohjausta sekä riittäviä henkilöstöresursseja ja osaavaa henkilökuntaa. Toiminnan rahoituksen on oltava vakaalla pohjalla, jotta verkoston ylläpito

ja kehittäminen voidaan toteuttaa ajantasaisesti sekä tarjota kohtuuhintaisia ja tasapuolisia palveluita. Keskeisiä painopisteitä ovat vesistöjen ja pohjavesialueiden kestävä käyttö sekä ympäristöystävälliset veden- ja jätevedenkäsittelymenetelmät, jotka tukevat hiilineutraaliisuuden ja kiertotalouden tavoitteita ilman ilmastopäästöjen kasvua. Kehittämisessä huomioidaan ilmastomuutos, väestö- ja aluerakenteiden muutokset sekä asiakkaiden muuttuvat tarpeet. Digitalisaatio ja tarvelähtöinen tutkimus tukevat kehitystyötä. Terveys- ja turvallisuusvaatimusten täytyminen, korkeatasoinen riskienhallinta sekä ennakoiva varautuminen erityistilanteisiin muodostavat perustan toimintavarmuudelle. Hyvän vesihuollon keskeiset tekijät on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Hyvän vesihuollon tekijät (Renko ym. 2021)

Vesihuoltolaitosten ylläpitämä laaja infrastruktuuri käsittää muun muassa vesijohto- ja viemäriverkostot sekä vedenkäsittely- ja jätevedenpuhdistuslaitokset. Hyvän vesihuollon kriteerit korostavat verkosto-omaisuuden hallinnan merkitystä vesihuoltolaitosten toiminnan kestävyden ja laadun varmistamisessa. Suunnitelmallinen omaisuudenhallinta, operointi ja kunnossapito ovat keskeisiä tekijöitä kustannustehokkaan ja järjestelmällisen vesihuollon saavuttamisessa. Tehokas verkosto-omaisuuden hallinta perustuu ajantasaiseen ja tarkkaan tietoon verkoston komponenteista, niiden kunnosta ja ympäristöolosuhteista. Tällainen tieto mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon, riskienhallinnan ja resurssien optimaalisen käytön, mikä puolestaan parantaa vesihuollon turvallisuutta, toimintavarmuutta ja

kestävyyttä. Kriteerit painottavat ympäristökuormituksen minimointia ja energiatehokkuutta, jotka voidaan saavuttaa esimerkiksi vuotovesien hallinnalla ja verkoston kunnan säännöllisellä seurannalla. (Renko ym. 2021.)

Kestävän vesihuollon kriteerien täyttäminen on pitkäjänteinen ja jatkuva prosessi. Digitalisaatio ja uudet teknologiat, kuten paikkatietojärjestelmät, reaaliaikainen data ja sensortechniikat, ovat yhä tärkeämpiä vesihuoltolaitosten toiminnassa. Ne tehostavat verkosto-omaisuuden hallintaa, mahdollistavat verkoston tilan seurannan ja riskien havaitsemisen varhaisessa vaiheessa, ja siten parantavat toiminnan tehokkuutta ja ympäristöturvallisuutta. Vesihuoltoverkoston toimivuuden varmistaminen pitkällä aikavälillä, riskienhallinta, ympäristövaikutusten minimointi, muutokseen sopeutuminen sekä uusiutumiskyky ovat keskeisiä toiminnan kehittämisen tavoitteita. Näillä toimenpiteillä vesihuoltolaitokset voivat tarjota laadukkaita, kustannustehokkaita ja kestäviä palveluja asiakkailleen. (Ikäheimo & Metsävuo 2020; Renko ym. 2021.)

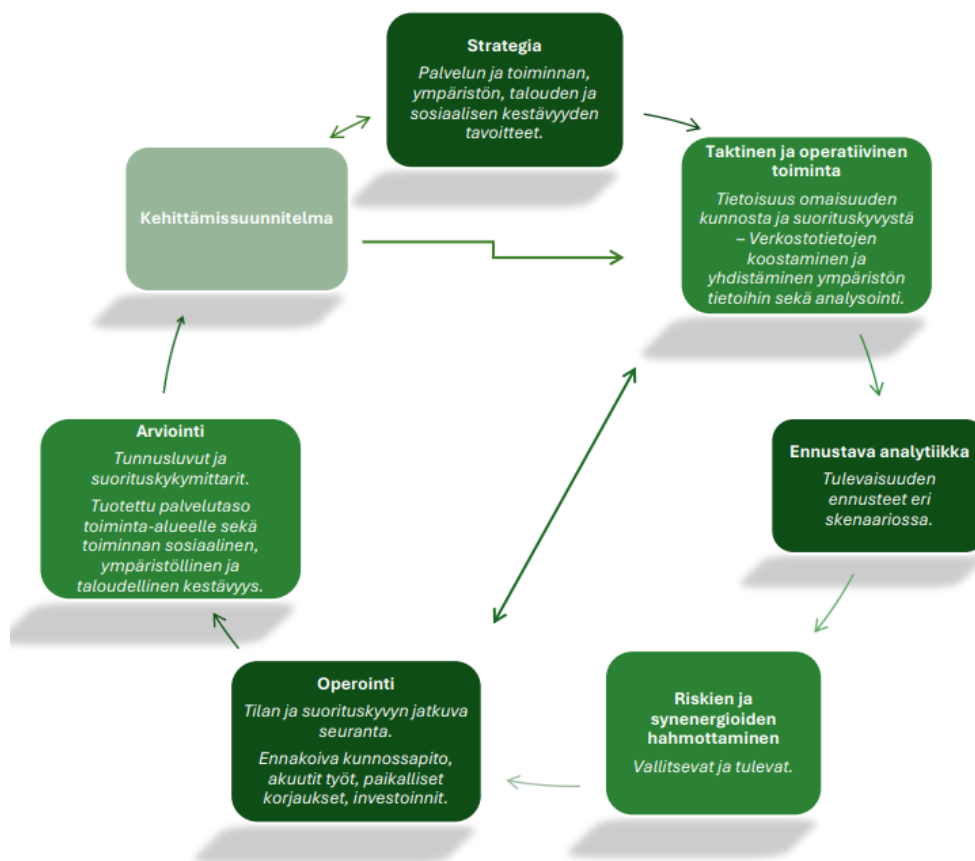
3 VERKOSTO-OMAISUUDEN HALLINTA

3.1 Verkostotieto

Vesihuollon omaisuudesta suurimman osan muodostavat verkostot, ja niiden hallinta on keskeinen osa vesihuoltolaitosten toimintaa. ISO-standardi 24516 keskittyy verkosto-omaisuuden hallintaan ja ohjeistaa hyödyntämään monipuolisesti erilaisia tietolähteitä. Omaisuudenhallinnan onnistuminen riippuu kyvystä kerätä ja tuottaa tarkkaa tietoa, analysoida sitä ja yhdistää muihin olennaisiin tietoihin, jotka toimivat päätöksenteon tukena. Tietojen tehokkaan yhdistämisen, analysoinnin ja hyödyntämisen edellytyksenä on, että tiedot ovat saatavilla digitaalisessa muodossa. (Vienonen ym. 2017; Berninger ym. 2018.)

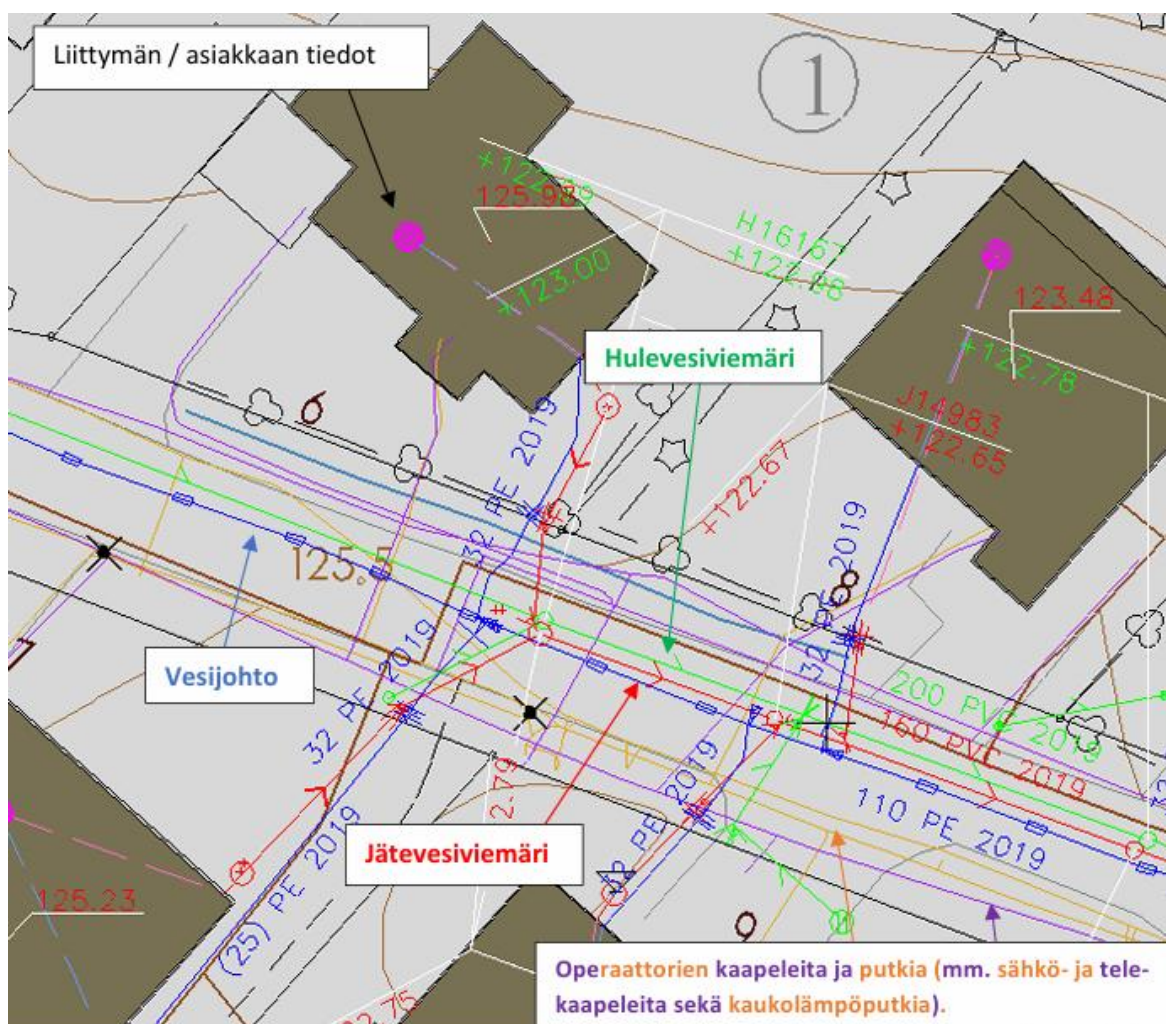
Verkosto-omaisuuden hallinnan ydin on tiedon kerääminen verkoston kunnosta, toimintakyvystä ja ympäristöolosuhteista operoinnin aikana. Tiedolla johtaminen on keskeinen edellytys omaisuudenhallinnan, operoinnin ja kunnossapidon onnistumiselle. Kestävän toiminnan sekä riskien ja synergioiden ymmärtämiseksi tarvitaan tietoa muun muassa verkoston suorituskyvystä, ympäristön muutoksista ja niiden vaikutuksista. Kun kaikki verkosto-omaisuuden hallinnan kannalta tärkeät tiedot kootaan ja yhdistetään yhdeksi selkeäksi ja ymmärrettäväksi kokonaisuudeksi, voidaan tätä tietoa hyödyntää tehokkaasti päätöksenteossa. Tietojen yhdistäminen mahdollistaa kattavan näkemyksen muodostamisen, joka tukee sekä strategista suunnittelua että operatiivisia ratkaisuja. (Ikäheimo & Metsävuo 2020; Aksela 2023.)

Akselan (2023) mukaan verkosto-omaisuuden hallinnassa korostuu jatkuva arviointi ja kehittäminen, jotta toiminta pysyy tehokkaana ja vastaa verkoston kunnan, ympäristöolosuhteiden ja suorituskyvyn vaatimuksiin. Tämä jatkuvuus korostuu myös kuviossa 1 esitettävässä hallintaprosessissa.



Kuvio 1. Verkosto-omaisuuden hallinnan prosessi (mukailtu Aksela 2023)

Verkosto-omaisuuden tunnistaminen, paikantaminen paikkatietojärjestelmien avulla sekä kunnan seuranta ovat olennaisia osa-alueita omaisuudenhallinnassa. Hallinnan kannalta olennaisia tietoja ovat muun muassa putkien, kaivojen ja pumppujen sijainti- ja omaisuustiedot sekä virtaama- ja painetiedot, häiriötilanteet, kuntotutkimustulokset ja asiakaspalautteet. Perustiedot, kuten verkoston putkimäärät, asennusvuodet, materiaalit ja halkaisijat, muodostavat kunnossapidon ja omaisuudenhallinnan vähimmäisvaatimuksen. Suurin osa tiedosta on paikkatietoa, ja niiden visualisointi karttapohjalla on usein tehokkain tapa esittää ja hyödyntää tietoa. Kuvassa 3 on esitetty Trimble NIS-verkkotietojärjestelmästä saatava karttanäkymä vesihuoltoverkostosta. Kun tarkasteluun sisältyy useita muuttujia ja pidempi aikajänne, hyödynnetään usein taulukoita ja graafeja, jotka mahdollistavat selkeän alueiden välisen vertailun erityisesti silloin, kun tietojen määrä estää karttapohjaisen esityksen. (Lampola & Kuikka 2018; Aksela 2023.)



Kuva 3. Trimble NIS-verkkotietojärjestelmän karttaote (Kaikkonen 2021)

Aksela (2023) määrittelee ympäristöolosuhdetietojen yhdistämisen verkostoaineistoon olennaiseksi osaksi omaisuudenhallintaa. Verkostojen hallinnan keskeisiä ympäristöaineistoja ovat muun muassa maaperäkartat, korkeusmallit, rakennetun ympäristön tiedot, kaavat sekä suojelu- ja pohjavesialueisiin liittyvät tiedot. Myös dynaamiset tiedot, kuten sadanta, vesistöjen ja pohjavesiputkien pinnankorkeudet, ovat merkityksellisiä. Dynaamiset tilatiedot kuvaavat nopeasti muuttuvia ilmiöitä ja perustuvat usein reaaliaikaisiin mittauksiin tai analysoituihin tietoyhdistelmiin. Näiden tietojen yhdistäminen verkostoaineistoon mahdollistaa ympäristöolosuhteiden huomioimisen ja tukee vesihuoltolaitoksen kestäväää toimintaa. Verkosto-omaisuuteen, sen kuntoon ja ympäristöolosuhteisiin liittyvät tiedot voidaan jäsentää taulukon 1 luokkiin.

Verkosto-omaisuudesta	Ympäristöolosuhteista
verkostotiedot, sijainti, koko, materiaali, rakennusvuosi	topografia
käyttöpaikat toiminta-alueella ja käyttötaroituksen luokka	luonnon ympäristö ja olosuhteet sisältäen dynaamiset tilatiedot
verkoston osat id-tunnisteella ja ominaisuuksiedoilla sisältäen asemat ja pumppaamot, laitokset ja yhteydet muihin laitoksiin	rakennettu ympäristö
häiriöhistoria sisältäen verkostojen toimintaa koskevat reklamaatiot	ympäristön kehittyminen tulevaisuudessa
kunto- ja tilatiedot, dynaamiset tilatiedot	
tiedoista johdetut tilaa kuvaavat suorituskykykymittarit	

Taulukko 1. Verkosto-omaisuuteen, sen kuntoon ja ympäristöolosuhteisiin liittyvät tiedot (mukailtu Aksela 2023)

3.2 Tunnusluvut

Verkoston tilaa ja toimivuutta voidaan arvioida hyödyntämällä erilaisia tunnuslukuja. Tunnuslukujen käytön tehokkuus perustuu määriteltyihin laskentamenetelmiin ja luotettaviin tietoihin, joiden avulla varmistetaan tunnuslukujen tarkoituksenmukaisuus. Tunnuslukujen avulla voidaan yleensä tehdä vain järjestelmätason tarkasteluja, eikä niillä saada tarkkaa tietoa yksittäisten yksiköiden, kuten putkien, kunnosta. Tunnuslukujen pitkäaikainen seuranta tarjoaa yleiskuvan verkoston tilasta ja on hyödyllistä toiminnan kehittämisessä. (Berninger ym. 2018.)

Data-analytiikka mahdollistaa suurten tietomassojen tehokkaan tarkastelun, erityisesti silloin, kun aineisto koostuu tarkasta sensoridatasta, jota ei voida luotettavasti arvioida silmä-määräisesti. Sen avulla voidaan havaita myös pieniä, pitkällä aikavälillä tapahtuvia muutoksia, kuten pitkäaikaisia trendejä. Vesihuollossa data-analytiikkaa voidaan hyödyntää lisäksi vuotovesikohteiden paikantamiseksi hyödyntämällä virtaamatietoja ja vedenpinnan korkeustietoja. (Ikäheimo & Metsävuori 2020.)

Suomessa tunnuslukujen keräämistä ja tuottamista koordinoivat Vesilaitosyhdistys (VVY) sekä Suomen ympäristökeskus (SYKE). SYKE:n ylläpitämä VEETI-järjestelmä, jota

kehitetään yhteistyössä ELY-keskuksen kanssa, on tärkeä työkalu. Taulukossa 2 esitetään verkoston kuntoon liittyviä tunnuslukuja. Suurin osa näistä tunnusluvuista pohjautuu International Water Associationin (IWA) julkaisuihin, ja niille on asetettu tavoitearvoja, joita ovat määrittäneet Portugalin paikallinen vesi- ja jätealan viranomaisena ERSAR sekä kansallinen yhdyskuntatekniikan laboratorio LNEC. Lisäksi IWA:lla ja Ruotsin Svenskt Vattenilla on omia tavoitearvojaan. Suomessa käytettäviä mitoitusarvoja voidaan hyödyntää viitteellisesti kuvaamaan maan omia mitoituskäytäntöjä. (Berninger ym. 2018.)

Tunnusluku	Tilastollisia vertailuarvoja ja lisätietoja
vuotovesimäärä, %/vuosi	RIL / SKTY: 50–200 % jätevesivirtauksesta
tukokset verkostossa, kpl/100 km/vuosi	-
tukokset pumppaamoilla, % kaikista pumppaamoista	-
sortumat, kpl/100 km/vuosi	LNEC ja ERSAR: 0 hyvä, ≤ 2 kohtalainen, > 2 riittämätön
viemäritulvien määrä, kpl/100 km/vuosi	LNEC ja ERSAR: 0-0,5 hyvä, 0,5 < kohtalainen ≤ 2, > 2 riittämätön
viemäritulvien määrä, kpl/1000 liittyjää/vuosi	LNEC ja ERSAR: 0-0,25 hyvä, 0,25 < kohtalainen ≤ 1, > 1 riittämätön
ylivuodot, kpl/vuosi	-
ylivuodot, m ³ /ylivuotorakenne/vuosi	-
sadannasta johtuvat ylivuodot, m ³ /sadannan määrä (m ³)	-
pumppujen rikkoutuminen, tuntia/pumppu/vuosi	-
pumppujen rikkoutuminen, tuntia/pumppaamo/vuosi	-
patoaminen kuivalla säällä, padottavien osuuksien pituus/koko verkon pituus	-
huuhtoutuvuus toteutuu, m/koko verkko	-
viemäritutkimustulokset, m/luokka (1–4)	putken kunnan mukaan
tukosten ja sortumien korjaamisen keskimääräinen kesto	-
verkon toimintaa koskevat reklamaatiot, kpl/vuosi	-

Taulukko 2. Viemäriverkoston kunnosta kertovat tunnusluvut (mukailtu Berninger ym. 2018)

3.3 Riskienhallinta

Riski määritellään häiriö- tai ongelmatilanteen toteutumisen todennäköisyyden ja sen seurausten vakavuuden tulona (SFS-ISO 31000, Saastamoinen 2015 mukaan). Standardi ISO 24516-3:2017 korostaa vesihuoltolaitoksen keskeisten tunnuslukujen seuraamisen ja kerätyn tiedon hyödyntämisen merkitystä riskienhallinnassa ja verkosto-omaisuuden hallinnassa. Tätä tukee myös yleisluonteinen standardisarja SFS-ISO 55000, SFS-ISO 55001 ja SFS-ISO 55002, jossa määritellään omaisuudenhallintajärjestelmä. Standardin mukaan omaisuudenhallinta on tietokeskeistä, ja sen onnistuminen edellyttää tehokkaita tietojärjestelmiä ja tarkasti määriteltyjä tietovaatimuksia. Näiden tietojen hallinta ja analysointi ovat keskeisessä asemassa verkosto-omaisuuden laadun varmistamisessa, erityisesti riskienhallinnan ja päätöksenteon tukemisessa. (Berninger ym. 2018.)

Riskiperusteisen kohdentamisen lähtökohtina ovat viemärin nykytilan tuntemus, kunnan heikentymisen aste, häiriöiden mahdollisesti aiheuttamat seuraukset sekä vesihuoltolaitoksen oma määritelmä riskien sietokyvystä (Rantanen 2017). Verkoston eri kohteiden häiriöalttius ja häiriöiden seurausten vakavuus vaihtelevat kohteesta toiseen. Häiriöiden vaikutukset riippuvat kohteen ominaisuuksista, kuten virtaaman suuruudesta, paineesta, kohteen merkityksestä verkoston toiminnalle sekä lähiympäristön haavoittuvuudesta. Näiden ominaisuuksien vaihtelevuuden vuoksi riskien arviointi yksittäisten kohteiden, kuten yksittäisten putkien tai pumppaamoiden, tasolla on hyödyllistä. Yksityiskohtainen arviointi auttaa hahmottamaan häiriöiden vaikutusten laajuuden ja vakavuuden sekä tukee riskienhallinnan suunnittelua verkoston eri osissa. Tämä arviointi korostaa myös sitä, kuinka tärkeää on tuntea yksittäisten kohteiden kunto ja määrittää niiden riittävä kuntotaso, jotta verkoston toimintavarmuus voidaan turvata. Häiriöiden seurausten arvioinnin tavoitteena on selvittää, miten kohteen vikaantuminen vaikuttaa eri tahoihin. (Rantanen 2017; Berninger ym. 2018.)

Esimerkkejä arvioitavista vaikutuksista Berningerin ym. (2018) mukaan ovat

- Vaikutuksen laajuus vedenjakeluun tai viemäröintiin
- Häiriöiden vaikutus kriittisiin vedenkäyttäjiin, kuten sairaaloihin
- Häiriön ympäristövaikutukset esimerkiksi vesistöihin, pohjavesialueisiin tai luonnon-suojelualueisiin
- Terveysriskit, esimerkiksi jäteveden päätyminen talousveteen tai uimaveteen
- Häiriön vaikutukset muuhun rakennettuun ympäristöön, kuten rakennuksiin tai muihin johtoverkkoihin.

Kuva 4 havainnollistaa, kuinka viemäriverkostossa ilmenevän häiriön todennäköisyys ja seurauksen vakavuus vaikuttavat viemärin kunnon seurantaan ja ylläpitoon. Matala todennäköisyys ja vähäiset seuraukset johtavat satunnaiseen kunnon seurantaan, kun taas suuret seuraukset edellyttävät säännöllistä tarkkailua myös silloin, kun todennäköisyys on matala. Mikäli häiriön ilmenemisen todennäköisyys on korkea ja seuraukset merkittäviä, viemäriosoudet priorisoidaan kuntotutkimuksiin ja saneerauksiin. Matriisi auttaa resurssien kohdentamisessa riskiperusteisesti ja toimii tukena viemäriverkoston hallinnassa.



Kuva 4. Häiriön todennäköisyyden ja seurauksen vaikutus viemäriverkoston kunnon seurantaan ja kunnossapitoon (Marlow ym. 2007, Rantanen 2017 mukaan)

Riskienhallinnassa pelkkä häiriöiden todennäköisyyden ja seurausten arviointi ei riitä, vaan keskeistä on myös riskien aiheuttajien tunnistaminen. Riskien käsittelyyn kuuluu toimenpiteiden määrittäminen, joilla riskejä voidaan ehkäistä tai vähentää niiden vaikutuksia. Olenaisia vaiheita ovat riskien tunnistaminen, syiden ja seurausten analysointi sekä tarkoituksen mukaisten hallintatoimien suunnittelu. (Saastamoinen 2015.)

Esimerkki:

- Tunnistettu riski:
 - Vuotovesien pääsy jätevesiviemäriin pohjavesialueella
- Mahdolliset syyt:
 - Putkistossa tai kaivossa oleva rakenteellinen vika (esim. halkeama, saumavuoto)
 - Pohjaveden korkea pinta
 - Rakennekerrosten heikko tiiviys tai painumat katualueella

- Mahdolliset seuraukset:
 - Jätevesiverkoston kapasiteetin ylittyminen
 - Pumppaamoiden ja puhdistamoiden ylikuormitus
 - Lisääntynyt energian ja käsittelykemikaalien kulutus
 - Ylivuototilanteet ja puhdistamattoman jäteveden pääsy ympäristöön
- Ehkäisevät toimenpiteet:
 - Verkoston kuntotutkimukset ja vuotokohteiden paikantaminen
 - Rakenteellisten vikojen korjaaminen
 - Riskialueiden säännöllinen seuranta (esim. virtaama-analyysi)
 - Pohjavesialueilla erityisrakenteiden tai tiivistysratkaisujen käyttö

3.4 Kriittisyysluokitus

Kriittisyysluokitus on hyödyllinen menetelmä verkoston osien luokittelemiseksi kriittisiin ja ei-kriittisiin kohteisiin, mikä mahdollistaa esimerkiksi fyysisten kuntotutkimusmenetelmien kohdentamisen tarkemmin ja tehokkaammin objektiivisen tarkastelun pohjalta (Laakso ym. 2015, Lampola & Kuikka 2018 mukaan).

Aksela (2023) ehdottaa, että verkostojen kriittisyys määritellään kahden pääulottuvuuden perusteella kuvan 5 mukaisesti:

1. Häiriöiden tai vikaantumisen vaikutus itse verkostojärjestelmään ja sen tarjoamaan palvelutasoon
2. Vaikutus yhteiskunnan toimintoihin, ympäristöön, verkostoa ympäröivään omaisuuteen sekä ympäristön turvallisuuteen.



**JÄRJESTELMÄN JA
PALVELUTASON RISKIT**



**YMPÄRISTÖ- JA
OMAISUUSRISKIT**

Kuva 5. Riskien kaksi ulottuvuutta (Aksela 2023)

Riskien moninaisuuden vuoksi kriittisyysluokituksen laatiminen edellyttää laajaa ja kattavaa tietopohjaa. Tarvittavat tiedot koskevat sekä verkosto-omaisuutta, toiminta-alueen erityispiirteitä, että ympäristöä, jossa verkosto sijaitsee. Tietojen kerääminen ja luokittelu luovat pohjan kriittisyysluokituksen laatimiselle, mahdollistaen riskienhallinnan priorisoinnin ja tukien verkosto-omaisuuden tehokasta hallintaa.

Verkosto-omaisuudesta ja alueen toiminnoista tarvittavia keskeisiä tietoja ovat seuraavat:

1. Verkostojen ja laitosten sijainti ja perusominaisuudet

- Tietoja tarvitaan verkostojen, laiteasemien ja laitosten sijainnista sekä ulkopuolisten verkostoyhteyksien sijainnista ja perusominaisuuksista. Tarvittaessa voidaan hyödyntää digitoinnin yhteydessä tehtyjä arvioita.

2. Verkoston kytkennällisyys tietomallina

- Verkoston elementit tulee kuvata tietomallina, jossa jokaisen elementin kytkennät muihin elementteihin ovat selkeästi esitettävissä ja hyödynnettävissä yleisissä tietojärjestelmissä.

3. Verkostoon liitetyt käyttöpaikat

- Verkostoon liitetyt käyttöpaikat tulee luokitella eri toimintojen mukaan. Tilastokeskuksen Rakennusluokitus tarjoaa pää- ja alaluokat, joita voidaan käyttää luokittelussa. Käyttöpaikat tulisi lisäksi luokitella kriittisyydeltään, joka on suositeltavaa tehdä yhteistyössä kunnan viranomaisten kanssa:
 - 1. luokan kriittiset käyttöpaikat
 - 2. luokan kriittiset käyttöpaikat
 - Normaalit/ ei-kriittiset käyttöpaikat.

4. Verkostohierarkiat

- Viemäriverkosto luokitellaan pääviemäri (1. luokka), pääviemäri (2. luokka), keräilyviemäri, yksityiset viemärit tai tonttijohdot. (Aksela 2023.)

Esimerkki HSY:n viemäriverkoston kriittisyysluokituksessa huomioon otetuista tekijöistä:

- Kriittisyysluokka 1 (erittäin kriittiset verkosto-osuudet)
 - Pääverkon tunnelit ja suuret pääviemärit
 - Pääviemärit ja paineviärit, jotka sijaitsevat pohjavesialueella (luokka 1 tai 2)

- Viemärit vedenoton tai raakavedenoton kannalta keskeisten kohteiden läheisyydessä
- Rautatien alitukset, joissa putki kulkee suoraan rautatien alla (suojaputkella tai ilman)
- Tuplaamattomat paineviemärit kriittisiltä pumppaamoilta
- Kriittisyysluokka 2 (kriittiset kohteet, jotka eivät kuulu luokkaan 1)
 - Luokkaan 1 kuulumattomat pääviemärit
 - Luonnonsuojelualueilla sijaitsevat viemärit
 - Vesialueiden alitukset
 - Rakennusten alla kulkevat viemärit
 - Suojeltavien purojen läheisyydessä sijaitsevat viemärit
 - Uimarantojen läheisyydessä olevat viemärit
 - Pohjavesialueilla (luokka 1 ja 2) sijaitsevat muut kuin pääviemärit
 - Luokkaan 3 kuuluvilla pohjavesialueilla sijaitsevat pääviemärit
 - Maanalaisten kriittisten kohteiden läheisyydessä kulkevat viemärit (Laakso ym. 2015, Lampola & Kuikka 2018 mukaan).

Taulukoissa 3–5 on esitetty verkoston kriittisyyden luokitteluperusteita, jotka liittyvät muun muassa jätevesien kuljetusreittien, pohjavesialueiden, tulvariskien ja muiden ympäristöriskien arviointiin. Taulukossa 3 on esitetty viemäriverkoston osien kriittisyyden luokittelu kolmeen tasoon: erittäin kriittisiin, kriittisiin ja normaaliin kunnossapitoon. Luokittelu perustuu muun muassa verkoston rakenteelliseen merkitykseen, sijaintiin ja varautumissuunnitelmissa määriteltyihin kriittisiin käyttöpaikkayhteyksiin.

Erittäin kriittinen	Kriittinen	Normaali kunnossapito
pääviemäri tai päätunneli tai pumppaamo 1 luokka (liittää viemäröintialueet, joissa > 10–15 % laitoksen toiminta-alueen jätevesistä siirtyy puhdistamolle tai puhdistamolle johtavaan siirtolinjaan)	pääviemäri tai päätunneli tai pumppaamo 2 luokka (liittää viemäröintialueet, joissa > 5 % laitoksen toiminta-alueen vedenkulutuksesta)	
vesistön läheisyydessä ja pohjavesialueella olevat pumppaamot		
poikkeavaa jätevettä teollisuusjätevesisopimuksen nojalla johtava verkosto-osuus		
tulvariskin alueella (tarkastellaan vähintään 50 vuoden toistuvuudella esiintyvää ilmiötä, ja pumppaamoja tai kaivon kansia sijaitsee 2,8 metriä ympäröivää maanpintaa alempana)		
varautumissuunnitelmassa määritellylle 1 luokan kriittiseltä käyttöpaikalta johtava yhteys	varautumissuunnitelmassa määritellylle 2 luokan kriittiseltä käyttöpaikalta johtava yhteys	varautumissuunnitelmassa määritellylle 3 luokan kriittiseltä käyttöpaikalta johtava yhteys

Taulukko 3. Viemäriin verkosto-osuuksien kriittisyyden luokittelu (mukailtu Aksela 2023)

Taulukossa 4 kuvataan, milloin viemäriverkoston kriittiset osuudet luokitellaan erittäin kriittisiksi ympäristö- ja omaisuusriskien näkökulmasta. Luokittelu perustuu muun muassa pohjavesialueiden läheisyyteen, suojeltuihin kohteisiin sekä mahdollisiin vaikutuksiin rakennusten läheisyydessä tapauskohtaisesti arvioituna.

Erittäin kriittinen ympäristö- tai omaisuusriski	<p>pääviemäri tai päätunneli tai pump- paamo 2 luokka (liittää viemäröintialu- eet, joissa > 5 % laitoksen toiminta-alu- een vedenkulutuksesta)</p> <p>tai</p> <p>varautumissuunnitelmassa määritellylle 2. tai 3. luokan kriittiseltä käyttöpaikalta johtava palveluyhteys</p>
pohjavesialue	
raakavedenottamo tai raakavedensiirtoreitti	
tarkkailualueelle johtuminen (tarkastelu tapaus- kohtaisesti)	
suojeltu kohde tai alue	
vesistön alitus tai vesistön läheisyys < 100 m	
maalaisen kohteen sisällä, alla, päällä tai va- hingon etäisyydellä	
rakennuksen alla tai välittömässä läheisyy- dessä (riippuen rakennuksesta ja verkoston vä- lityskyvystä)	
liikenteen määrittämä alue (tapauskohtainen tarkastelu, topografia)	
muun verkoston risteäminen tai läheisyys (ta- pauskohtainen tarkastelu)	
yhteiskäyttötunneli tai muu yhteiskäyttörakenne	
vaikeat maaperäolosuhteet esimerkiksi peh- meä maaperä (tapauskohtainen tarkastelu vie- märin perusteella)	

Taulukko 4. Kriittisten verkosto-osuuksien luokittelu erittäin kriittisiksi ympäristö- ja omaisuusriskien perusteella (mukailtu Aksela 2023)

Taulukossa 5 esitetään, milloin keräilyviemäröinnin osuus luokitellaan erittäin kriittiseksi tai kriittiseksi ympäristö- ja omaisuusriskien perusteella. Arvioinnissa otetaan huomioon muun muassa verkoston sijainti pohjavesialueella, suojeltujen kohteiden läheisyys sekä rakenteelliset ja maaperään liittyvät riskitekijät.

Erittäin kriittinen ympäristö- tai omaisuusriski	viemäriverkoston keräilyviemäri osuus
pohjavesialue (huomioiden verkoston kunto)	
raakavedenottamo tai raakavedensiirtoreitti	
tarkkailualueelle joutuminen (tapauskohtainen tarkastelu)	
suojeltu kohde tai alue	
vesistön alitus tai vesistön läheisyys < 100 m	
maalaisen kohteen sisällä, alla, päällä tai vahingon etäisyydellä	
yhteiskäyttötunneli tai muu yhteiskäyttörakenne	
Kriittinen ympäristö- tai omaisuusriski	
suojeltu kohde tai alue	
uimaranta tai sen läheisyys tai muu virkistysalue	
rakennuksen alla (riippuen rakennuksesta ja verkoston välityskyvystä)	
liikenteen määrittämä alue (tarkastettava tapauskohtaisesti)	
vaikeat maaperäolosuhteet esimerkiksi pehmeä maaperä, kaivannon syvyys > 3,5 m	

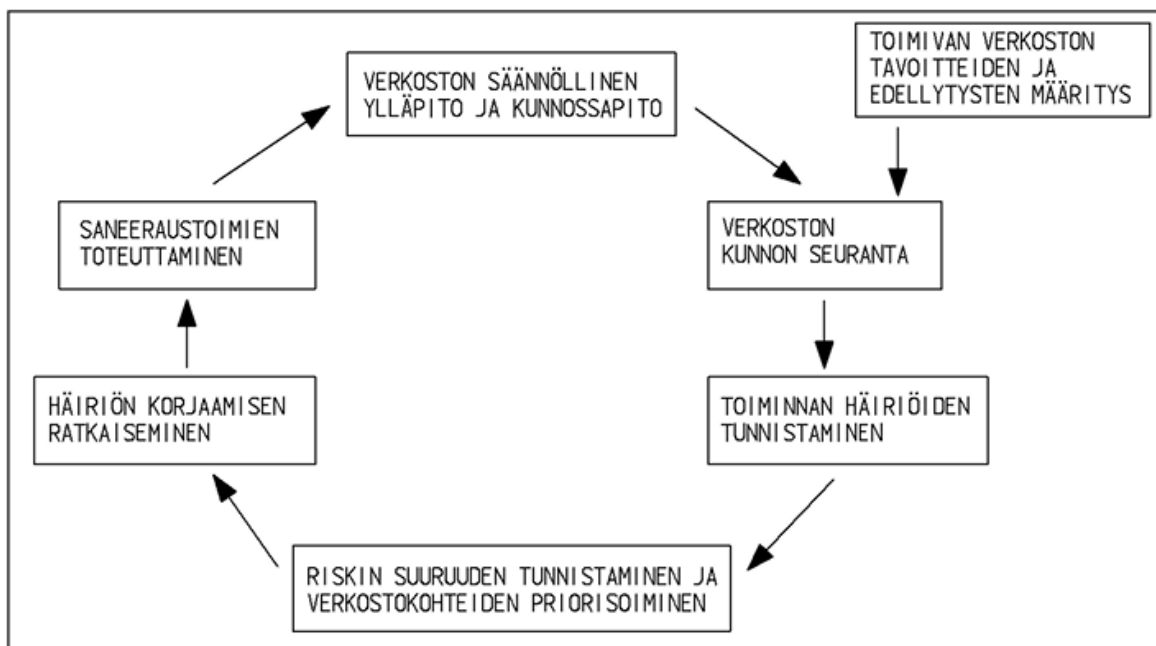
Taulukko 5. Keräilyviemäröinnin osuuskien luokittelu erittäin kriittisiksi tai kriittisiksi (muokattu Aksela 2023)

3.5 Kohdennettu kunnan arviointi

Verkosto-omaisuuden hallinta edellyttää, että verkoston kunto tunnetaan riittävällä tarkkuudella. Tämä puolestaan vaatii säännöllistä kuntotiedon keruuta kuntotutkimusten avulla sekä verkoston kunnan kehityksen jatkuvaa seuranta. Kuntotutkimusprosessin tarkoituksena on tuottaa tarkkaa ja ajankohtaista tietoa viemäriverkoston kunnosta. (Rantanen 2017.)

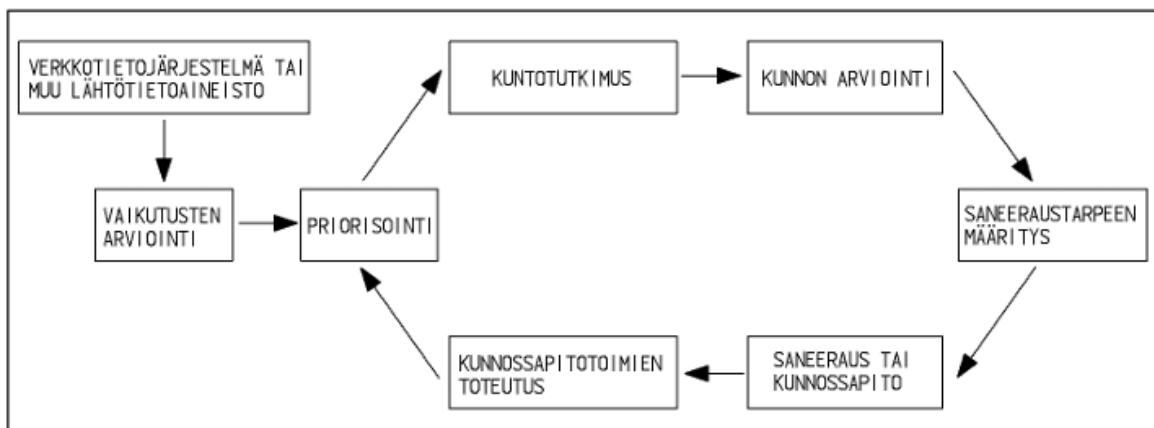
Viemäriverkoston onnistuneet kuntotutkimukset sekä tehokas tiedonsiirto ja -hallinta ovat keskeisessä roolissa vesihuoltolaitosten omaisuudenhallinnassa. Kuntotiedon analysointi

ja sen yhdistäminen muihin verkostotietoihin sekä paikkatietoaineistoihin tukee tietoon perustuvaa päätöksentekoa. Tieto mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon ja tavoitteellisen investointisuunnittelun. Prosessin avulla voidaan tunnistaa verkoston heikkoudet ja riskialueet, suunnitella korjaustoimenpiteitä sekä priorisoida resurssien käyttöä (Kuva 6). Tutkimukset auttavat parantamaan verkoston toimintavarmuutta, vähentämään ympäristövaikutuksia ja saavuttamaan kustannustehokkaampaa toimintaa. (Lampola & Kuikka 2018.)



Kuva 6. Viemäriverkoston ylläpidon prosessikaavio, joka havainnollistaa kunnossapidon keskeiset vaiheet ja niiden väliset suhteet (Marlow ym. 2007, Rantanen 2017 mukaan)

Kuntotutkimusten tulokset muodostavat keskeisen lähtökohdan verkoston saneeraussuunnittelulle. Tutkimusten avulla voidaan vaikuttaa merkittävästi siihen, mitkä johto-osuudet valitaan saneerattaviksi. Vaikka saneerausten kohdentaminen on tärkeää, on kuntotutkimusten tarkka ja tarkoituksenmukainen kohdentaminen usein vielä kriittisempi vaihe oikean saneerauspäätöksen kannalta. Verkkotietojärjestelmät tukevat viemäriverkoston kuntotutkimusten tehokasta ja tarkoituksenmukaista kohdentamista (Kuva 7). Viemäriverkoston kuntotutkimukset, kuten viemärikuvaukset, suunnitellaan paikallisesti tiettyihin alueisiin ja kohteisiin, eikä koko verkostoa tutkita kerralla. Paikallisten tutkimusten perusteella ei voida siten suoraan tehdä johtopäätöksiä koko verkoston kunnosta. Kuntotutkimukset tukevat laajempaa verkoston kunnan arviointia ja auttavat tehostamaan huoltotoimenpiteiden sekä saneerausten kohdentamista. (Rantanen 2017; Berninger ym. 2018.)



Kuva 7. Viemäriverkoston ylläpidon prosessikaavio, joka havainnollistaa kunnossapidon keskeiset vaiheet ja niiden väliset suhteet (McDonald & Zhao 2001, Rantanen 2017 mukaan)

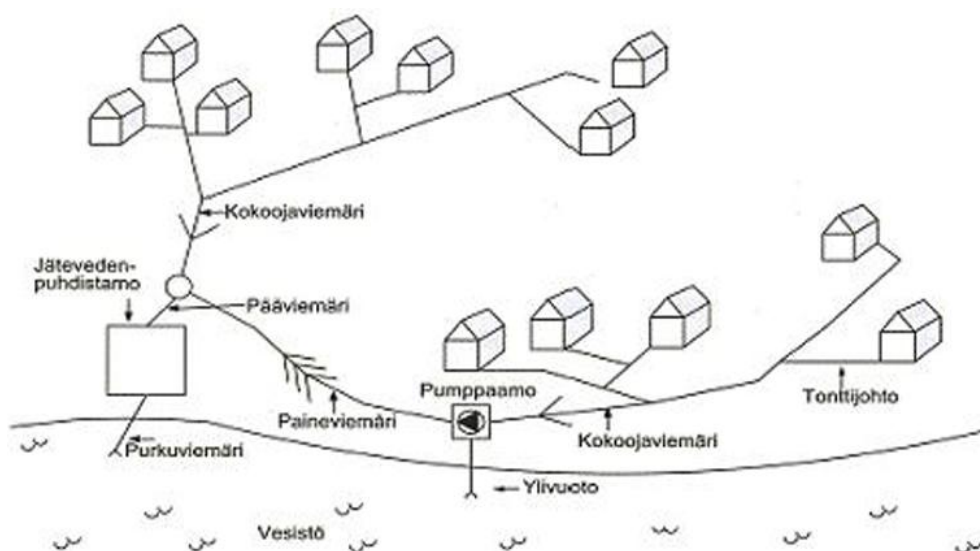
Lampolan & Kuikan (2018) oppaassa kuvataan kuntotutkimusprosessia ja sen tulosten hyödyntämistä seuraavanlaisesti:

1. Valmistelutyöt
 - Kuntotutkimusta edeltävät työt toteutetaan valittujen kohteiden osalta
2. Kuntotutkimuksen toteuttaminen tunnistettujen tarpeiden pohjalta
3. Kuntotiedon kerääminen ja analysointi
 - Tarkemmat jatkotutkimukset
 - Välittömät paikalliset korjaukset
 - Lyhyen aikavälin paikalliset korjaukset
 - Saneeraukset
 - Uuden kuntotutkimuksen ajankohdan määrittäminen
4. Kuntotiedon yhdistäminen muihin tietolähteisiin
5. Arviointi kuntotutkimusten kohteiden valinnan onnistumisesta sekä kuntoon vaikuttavista tekijöistä
6. Kohteiden valinta kuntotutkimukseen.

4 VIEMÄRIVERKOSTOJEN RAKENNE JA TOIMINTA

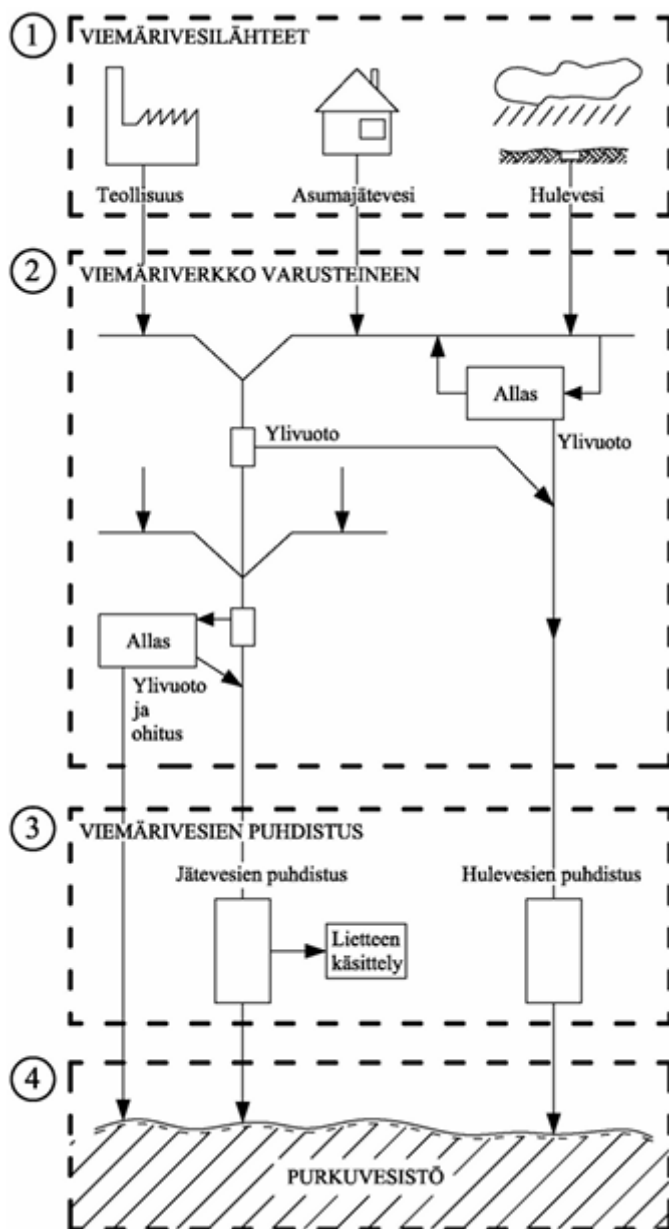
4.1 Viemäriverkosto

Jätevesiverkosto kerää jätevedet, kuljettaa ne puhdistamolle käsiteltäväksi ja lopulta purkaa puhdistetun veden vesistöön. Tämän prosessin on oltava luotettava, jotta se ei aiheuta haittaa ympäristölle tai ihmisille. Verkosto koostuu kuvassa 8 esitetyistä kolmesta pääosasta: tonttviemäreistä, kokoojaviemäreistä (keräilyviemäri) ja pääviemäreistä. Jätevesi johdetaan käyttöpaikoista ensin tonttviemäreitä pitkin kokoojaviemäreihin, jotka yhdistyvät pääviemäreihin. Pääviemäreiden kautta jätevedet kulkevat jätevedenpuhdistamolle, jossa ne käsitellään. Käsitelyn jälkeen jätevesi johdetaan purkuviemäreiden kautta vesistöön. (Mämmelä 2019.)



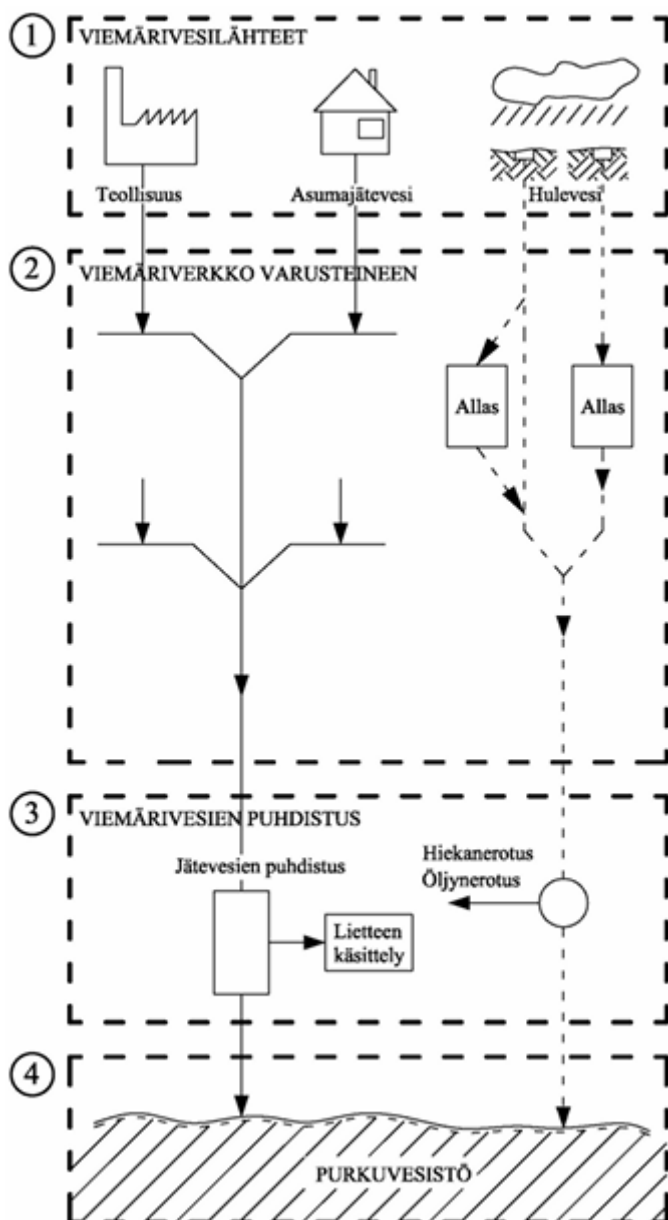
Kuva 8. Viemärilaitoksen osat (Karttunen & Tuhkanen 2003, 49)

Nykyiset viemärintijärjestelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: sekaviemäröintiin ja erillisviemäröintiin. Sekaviemäröinnissä hule-, jäte- ja kuivatusvedet johdetaan samaan putkistoon, jolloin ne sekoittuvat keskenään (Kuva 9). Erillisviemäröinnissä jätevesi johdetaan omaan viemäriputkistoonsa ja hulevesille on oma erillinen putkisto tai avoviemärit. Ympäristönsuojelullisten ja terveydellisten vaatimusten vuoksi uusilla alueilla suositellaan ensisijaisesti erillisviemärintijärjestelmää, ja vanhoja sekaviemäriinjoja pyritään muuttamaan erillisviemäreiksi mahdollisuuksien mukaan. Erillisviemäröinti parantaa esimerkiksi pohjavesien suojelua, koska tulvimisriski pienenee, kun viemäriveden määrän vaihtelu on vähäisempää. (Karttunen ym. 2004, 453–456.)



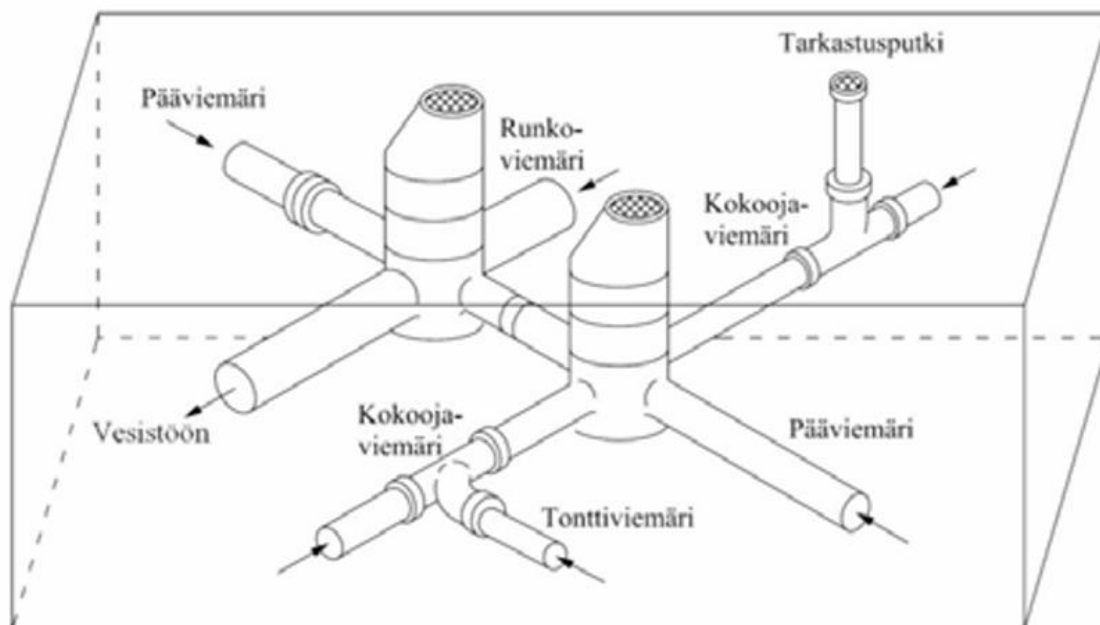
Kuva 9. Sekaviemärintijärjestelmä (Karttunen ym. 2004, 454)

Suomessa viemärointi toteutetaan yleisimmin erillisviemärointinä, jolloin jätevedet ja hule- sekä kuivatusvedet johdetaan omissa putkistoissaan (Kuva 10). Vesihuoltolain 6 §:n mukaan kiinteistöllä on velvollisuus liittyä hulevesiviemäriin, mikäli sellainen on alueella käytettävissä. Jos sekaviemärointi on muutettu erillisviemäroinniksi, kaikkia kiinteistöjen aiemmin rakennettuja hulevesiliitoksia ei välttämättä ole irrotettu jätevesiviemäristä. Tämän vuoksi joudutaan myöhemmin selvittämään kiinteistökohtaisesti, miten hulevesien johtaminen on toteutettu. (Saastamoinen 2015.)



Kuva 10. Erillisviemärintijärjestelmä (Karttunen ym. 2004, 455)

Kuntaliiton (2012) oppaan mukaan hulevesiviemäriverkoston tehtävänä on kerätä ja johtaa pois yhdyskuntien alueilla syntyvät hulevedet. Viemäroinnin tarkoituksena on kuivattaa pintoja sekä parantaa alueiden esteettisyyttä ja käytettävyyttä. Hulevesiviemärointi perustuu pääosin viemäriputkiin ja kaivoihin, joista katualueilla sijaitsevissa kaivoissa käytetään ritiläkansia hulevesien tehokkaaseen poistoon (Kuva 11). Verkoston purkupisteenä voi toimia esimerkiksi painanteet, avo-ojat, purot, joet tai meri.



Kuva 11. Hulevesiviemäriverkoston rakenne (Kuntaliitto 2012)

Erillis- ja sekaviemäriverkostot voivat koostua joko vietto- tai paineviemäreistä. Viettoviemärit toimivat painovoimaisesti, mikä edellyttää huolellista suunnittelua linjan korkeusasemille ja kaltevuuksille, jotta virtaus on riittävä. Yleisesti pyritään suosimaan viettoviemäreitä, sillä ne vähentävät pumppaamotarvetta ja paineviemäriin liittyviä hajuhaittoja. Viettäville viemäriinjoille asennetaan tarkastuskaivot pysty- ja vaakataitekohtiin, ja niiden etäisyys on tyypillisesti 50–80 metriä. Paineviemärijärjestelmissä jätevesi pumpataan kiinteistökohtaisilla pumppaamoilla paineelliseen runkoviemäriin. Paineviemärit ovat erityisen käytännöllisiä kallioisilla alueilla, ranta-alueilla ja haja-asutusalueilla, koska ne voidaan asentaa yhteisellä syvyydellä maaston muotoja seuraten. (Karttunen ym. 2004, 477–488)

4.2 Jätevesiverkoston kunto

Vesilaitosyhdistyksen (2022) mukaan viemäriverkostojen kunto heikkenee ajan myötä myös jäteveden, että maaperän laadun ja liikkeen vaikutuksesta. Tämä voi johtaa syöpy-miin ja halkeamiin, joiden kautta maaperän vettä pääsee viemäriin. Verkoston kunto ei kuitenkaan aina korreloi sen iän kanssa; vanha viemäri voi olla hyvässä kunnossa, kun taas uudempi saattaa vaatia saneerausta. Kohdistamalla toimenpiteet vuotavimpiin verkoston osiin voidaan tehokkaasti vähentää viemäriin pääsevän vuotoveden määrää, mikä puolestaan vähentää viemäreiden tulvimista ja jäteveden ylivuotojen riskiä.

Viemäriverkostossa esiintyy sekä rakenteellisia vaurioita että toiminnallisia vikoja tai häiriöitä. Toiminnalliset häiriöt johtuvat usein rakenteellisista vioista, kuten vaurioituneista putkista tai liitoksista, mutta myös toiminnalliset häiriöt voivat ajan myötä aiheuttaa

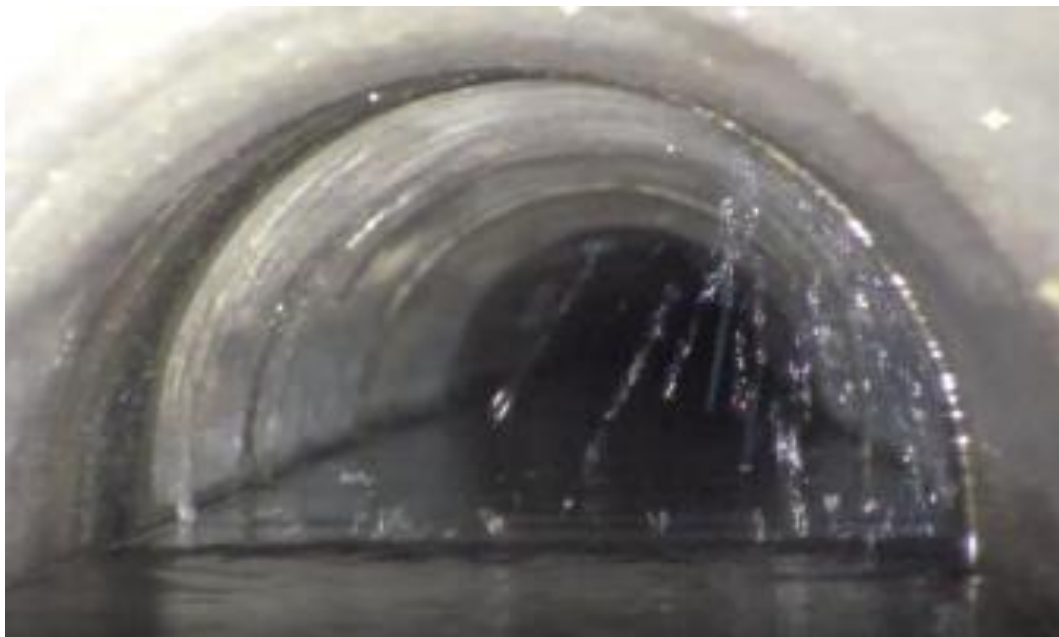
rakenteellisia vaurioita. Verkostojen vuotavuus on tyypillisesti seurausta jommastakummasta – joko rakenteellisesta viasta tai toiminnallisesta häiriöstä. (Mämmelä 2019.)

4.2.1 Rakenteelliset vauriot

Viemäriverkoston yleisimpiä rakenteellisia vikoja ovat putkien halkeamat, saumojen siirtymät, muodonmuutokset, painumat ja syöpymät (Kuva 12 ja Kuva 13). Vettä voi päästä viemärikaivoon esimerkiksi kannen kautta, seinämän läpi, liitosten kautta tai kaivossa olevan rakenteellisen vian, kuten halkeaman tai syöpymän, seurauksena erityisesti sääolosuhteiden muuttuessa. (Ojala & Kuikka 2021.)



Kuva 12. Syöpynyt betoniputki (Aqua Palvelu Oy)



Kuva 13. Vuoto putken saumasta (mukailtu Ojala & Kuikka 2021)

Mämmelän (2019) tutkimuksessa todetaan, että putkimateriaalin ominaisuudet vaikuttavat siihen, millaisia vikoja niissä tyypillisesti esiintyy. Esimerkiksi betoniputket ovat alttiita jäteveden rikkivedyn aiheuttamalle syöpymiselle (rikkivetykorroosio), kun taas muoviputket kestävät tätä paremmin. Muoviputket voivat kuitenkin kärsiä muodonmuutoksista, jos maakuormitus on suuri ja sivutäyttö on rakennusvaiheessa tehty puutteellisesti. Betoniputkien suurempi rengasjäykkyys tekee niistä mekaanisesti kestävämpiä tällaisissa kuormitustilanteissa verrattuna tavanomaisiin muoviputkiin.

Sekä maaperän että virtaavan veden ominaisuudet vaikuttavat viemäriverkoston kuntoon. Verkoston rakenteet ovat alttiimpia painumille pehmeillä maaperäalueilla – kuten savi-, siltti-, turve- ja liejualueilla – verrattuna hyvin kantaviin maapohjiin (Rantanen 2017). Jäte- ja huleveden mukana kulkeutuvat partikkelit, kuten hiekka, aiheuttavat mekaanista kulumista erityisesti putkistojen mutkissa ja kohdissa, joissa virtausnopeus on suuri. Lisäksi veden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, kuten pH, lämpötila, virtaus- ja painevaihtelut, vaikuttavat osaltaan viemäriputken kuntoon ja niiden kestävyteen. (Saastamoinen 2015.)

4.2.2 Toiminnalliset häiriöt

Rakenteelliset viat voivat aiheuttaa viemäriverkostossa toiminnallisia häiriöitä, jotka heikentävät järjestelmän toimintavarmuutta. Toiminnallisiksi häiriöiksi luetaan esimerkiksi viemäriin päätyneet puunjuuret, kovettunut rasva, saostumat, irtokertymät sekä muut esineet tai materiaalit, jotka estävät veden virtausta tai aiheuttavat tukoksia (Kuva 14). Paineviemäreissä toiminnallisia häiriöitä voivat olla myös esimerkiksi paineiskut ja kavitaatio. Paineiskut

syntyvät virtausnopeuden äkillisestä muutoksesta ja voivat vaurioittaa putkistoa. Kavitaatio-ossa neste höyrystyy matalapainealueella, ja kuplien äkillinen romahdus aiheuttaa mekaanista kulumaa putken pinnoille. Toiminnalliset häiriöt lisäävät viemäriinjojen kuormitusta, mikä voi pitkällä aikavälillä johtaa rakenteellisiin vaurioihin. (Rantanen 2017.)



Kuva 14. Saostuma putkessa (mukailtu Ojala & Kuikka 2021)

Rakenteellisten vikojen aiheuttamat toiminnalliset häiriöt voivat heikentää myös turvallisuutta. Esimerkiksi halkeamien kautta viemäriinjoon voi päästä vuotovesiä tai puun juuret voivat tunkeutua putken sisään, mikä voi johtaa tukoksiin ja edelleen jäteveden ylivuotoihin vesistöihin tai rakennettuun ympäristöön. Putkiston painumat, joiden riskiä lisäävät pehmeän maaperän lisäksi muun muassa heikkokantoinen pohjamaa, raskas liikenne, pohjaveden pinnan aleneminen sekä raskaiden täyttöaineiden käyttö, voivat johtaa viemäriverkostossa esiintyviin tukoksiin (Rantanen 2017). Vakavimpana seurauksena voidaan pitää tilannetta, joissa halkeama tai voimakas syöpyminen johtaa putken romahtamiseen, jolloin jätevesiä voi päästä suoraan kiinteistöihin tai luontoon aiheuttaen merkittäviä haittoja. (Mämmelä 2019).

5 VUOTOVEDET

5.1 Jätevesiverkoston vuotovedet

Vuotovedet viemäriverkostossa lisäävät ylivuotojen riskiä, voivat johtaa puhdistamattoman jäteveden päätymiseen vesistöihin ja ympäristöön sekä heikentävät verkoston toimintavarmuutta ja kuormittavat jäteveden käsittelyä (Kretschmer ym. 2008, Lampola & Kuikka 2018 mukaan). Vuotovedet muodostuvat hule- ja pohjavesistä, talousvedestä, merivedestä sekä muista pintavesistöistä viemäriverkoston pääsevistä vesistä (Afry 2021). Ne ovat alun perin puhdasta vettä, jonka käsittely ei olisi välttämätöntä. Täysin tiiviissä viemäriverkostossa vuotovesiä vastaava määrä pohjavettä purkautuisi luonnollisesti vesistöihin hyväksyttävällä laadulla. (Karttunen ym. 2004, 464–465.)

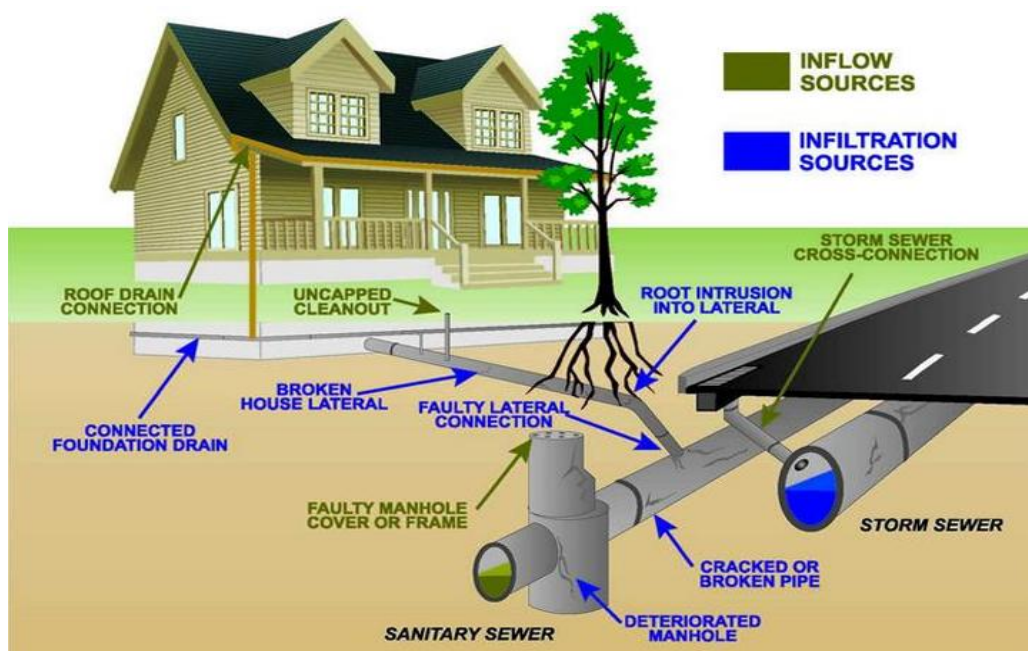
Forss (2005) luokittelee vuotovedet syntytapansa mukaan kahteen pääryhmään:

- Vuotovesi: Viemäriin johtuva virtaus viemäriin sijaitessa pohjavedenpinnan alapuolella, ja verkoston rakenteissa on vaurioita, joiden kautta pohja- ja vajovesi pääsee verkostoon
- Hulevuotovesi: Pintavaluntavesi, joka päätyy viemäristöön esimerkiksi kansiston, tarkastuskaivojen yläosien tai putkien saumojen kautta.

Vuotovesien pääsy viemäriverkoston voi johtua muun muassa rakenteellisista vaurioista, kuten rikkoutuneista putkista, huokoisista putkiseinämistä tai vioittuneista tarkastuskaivorakenteista, sekä virheellisistä tai luvattomista kiinteistöliitännöistä (Karttunen ym. 2004, 464). Hule- ja/tai pohjavesien pääsyä viemäriverkoston havainnollistavat kuvat 15 ja 16.



Kuva 15. Hule- ja/tai pohjavesien pääsy viemäriverkoston (Environsight)



Kuva 16. Vuoto- ja hulevesien pääsy viemäriverkoston erilaisten liitos- ja rakennevikojen kautta (Walworth County Metropolitan Sewerage District)

Viemäriin ikä, liitosten materiaali ja tyyppi sekä rakennustyön laatu vaikuttavat merkittävästi vuotovesien määrään. Myös viemäriputkien rakennusmateriaali voi vaikuttaa vuotavuuteen, mutta putket ovat yleensä niin tiiviitä, että seinämän läpi tapahtuva vuotoveden pääsy verkostoon on vähäistä eikä merkittävästi lisää kokonaisvirtaamaa. Vuotokohdasta viemäriputkeen tunkeutuvaa vuotovesivirtaamaa voidaan arvioida alla olevalla yhtälöllä, jossa h on painekorkeus ja c on putki- ja liitosmateriaalista johtuva vakio (Kaava 1). Yhtälöä voidaan soveltaa betoni- ja saviputkista rakennettuihin viemäreihin. (Karttunen ym. 2004, 465–466).

$$Q = c \cdot h^{3/2} \quad (1)$$

Vuotovesien pääsyyn viemäriverkoston vaikuttavat myös maaperän ominaisuudet ja ympäristöolosuhteet. Karkeat sedimentit, kuten sora ja hiekka, pidättävät vettä huonosti, mikä helpottaa veden kulkeutumista viemäriputkien mahdollisiin vuotokohtiin putkikaivantoa ympäröivästä maaperästä. Lisäksi viemärikaivannon täyttötapa vaikuttaa veden virtaukseen putkeen – jos kaivanto ja sen täyttömateriaali muodostavat vedelle kulkureitin, yksittäisenkin vuotokohdan vaikutusalue voi olla laaja. Pohjaveden pinnan korkeus on myös merkittävä tekijä vuotovesien määrässä, sillä jos jätevesiputki sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella, pohjavettä voi päästä rikkiäisen putken sisään. Pohjaveden korkeus vaihtelee vuodenaikojen mukaan: keväällä sulamisvesien aikana (maalis-toukokuu) pohjaveden

ollessa korkealla vuotovesimäärät ovat suurimmillaan, kun taas loppukesällä pohjaveden pinnan ollessa matalammalla ne vähenevät (Karttunen ym. 2004, 466). Helmikuussa, jolloin maa on jäässä, vuotovesivirtaamat ovat tyypillisesti pienimmillään. Yhtä lailla putken sijainti vesistöjen läheisyydessä ja katualueilla voi edistää vuotovesien pääsyä viemäriverkoston vaurio kohdasta. (Saastamoinen 2015; Kuorikoski 2017.)

5.2 Ympäristövaikutukset

Viemäriverkoston vuodot voivat suuntautua joko verkoston sisään tai sieltä ulos (Vahala 2010, Rantanen 2017 mukaan). Ulospäin tapahtuvat vuodot (ylivuodot) muodostavat merkittävän riskin sekä ympäristölle että ihmisten terveydelle. Erityisen kriittisiä ne ovat tiheästi asutuilla alueilla sekä pohjavesialueilla, joilla jätevesiviemäriin vuodot voivat johtaa pohjaveden pilaantumiseen. Ylivuodot voivat johtua putkirikoista, kapasiteetin ylityksestä tai viemäreiden tukkeutumisesta. (Laitinen ym. 2022.)

Mämmelä (2019) toteaa, että jätevesiviemäriin päätyvät vuotovedet lisäävät jätevesipumppaamoiden ja -puhdistamoiden vesimäärää, mikä voi ylikuormittaa viemäriverkoston ja johtaa ylivuotoihin joko kaivoista tai pumppaamoiden ylivuotorakenteista. Tällaiset tilanteet voivat aiheuttaa ympäristö- ja omaisuusvahinkoja. Lisääntynyt vesimäärä edellyttää pumppaamoilta tiheämpää pumppausta ja suurempaa tehoa, mikä kasvattaa sähkönkulutusta. Puhdistamoilla suuret virtaamat voivat pahimmillaan johtaa prosessin ohitukseen, jolloin puhdistamatonta jätevettä joudutaan johtamaan suoraan purkupisteeseen.

Suomessa jätevesihuollon keskeisiä haasteita ovat viemäriverkoston heikkenevä kunto, puhdistamattoman jäteveden satunnaispäästöt sekä jätevesien mukana ympäristöön kulkeutuvat haitalliset mikrobit ja kemikaalit. Satunnaispäästöt tarkoittavat käsittelemättömän tai osittain käsitellyn jäteveden purkautumista ympäristöön, ja ne jaetaan verkostoylivuotoihin ja puhdistamo-ohitukseen. Ylivuotoja esiintyy viemäriverkoston ja pumppaamoilla, joissa ylivuotorakenteet ohjaavat jäteveden pois häiriötilanteissa. Tämä estää jäteveden tulvimisen kiinteistöihin tai kaduille, mutta johtaa sen kulkeutumisen maastoon, vesistöön tai hulevesiviemäriin. Suomessa viivytyrakenteita, kuten jätevedensäiliöitä, käytetään harvoin, lähinnä pohjavesialueilla sijaitsevilla jätevedenpumppaamoilla. (Laitinen ym. 2022.)

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 7§:n mukaan käsittelemättömän jäteveden pääsy ympäristöön viemäriverkosta on kielletty. Puhdistamaton jätevesi sisältää ravinteita, kiintoainetta ja haitallisia mikro-organismeja, kuten bakteereja ja viruksia, jotka kuormittavat ympäristöä. Sekaviemäroityjen alueiden ylivuodot kuljettavat suuria määriä orgaanista materiaalia, ravinteita, raskasmetalleja, sedimenttejä, mikromuoveja ja lääkkeitä, mikä voi häiritä ekosysteemejä ja saastuttaa luonnonvaroja. Ravinteet, kuten typpi ja fosfori, lisäävät

vesistöjen rehevöitymistä ja johtavat hapen kulumiseen epäsuorasti, kun taas orgaaninen aines kuluttaa happea suoraan hajotessaan mikrobiologisesti. Jäteveden sisältämät kemikaalit voivat johtaa ennakoimattomiin haittavaikutuksiin ympäristössä. (Vienonen ym. 2017; Laitinen ym. 2022)

Puhdistamaton jätevesi muodostaa lisäksi merkittävän terveysriskin. Kaduille vuotanut jätevesi lisää sairastumisvaaraa, sillä bakteerit ja virukset voivat levitä suoran kontaktin kautta tai jalankulkijoiden mukana. Maaperään imeytynyt jätevesi voi saastuttaa pohjavettä ja kulkeutua vuotavien vesijohtojen mukana juomaveteen. Maaperän laatu ja pidättymiskyky vaikuttavat siihen, kuinka tehokkaasti bakteerit ja muut taudinaiheuttajat suodattuvat ennen päätymistä pohjaveteen. (Vienonen ym. 2017; Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry.)

Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry korostaa, että vaikka ulosteperäiset mikrobit eivät lisäänty kantajansa ulkopuolella ja auringon UV-säteily tuhoaa niitä, ne voivat säilyä pitkään elinkykyisinä Suomen viileissä olosuhteissa. UV-säteilyn vähyys ja vesistöjen jääpeite edistää taudinaiheuttajien säilymistä, ja hapettomissa ympäristöissä, kuten maaperässä ja pohjavedessä, ne säilyvät pidempään kuin avovesissä.

Ympäristö- ja omaisuusriskit ilmenevät julkisilla ja yksityisillä alueilla, ja ne voivat heikentää liikenneturvallisuutta, vahingoittaa rakennettua omaisuutta ja infrastruktuuria sekä aiheuttaa haittaa teknisille järjestelmille, kuten sähköjärjestelmille. Lisäksi riskit voivat aiheuttaa vahinkoja luonnonympäristössä, mikä voi heijastua suoraan henkilöturvallisuuteen. Käytännössä nämä riskit voivat näkyä esimerkiksi liikennealueilla lainehtivana jätevetenä, joka lisää onkaloiden muodostumista ja infrastruktuurin painumis- tai sortumisriskiä. Omaisuusvahinkoja syntyy erityisesti silloin, kun jätevesi tunkeutuu maanalaisiin tiloihin, kuten kellareihin, metroverkostoon, pysäköintihalleihin tai rakennusten alakerroksiin. Merkittäviä riskejä kohdistuu myös luonnonympäristöön, sen monimuotoisuuteen sekä virkistysalueisiin. Ympäristöriskien toteutuessa hallitsematon jäteveden pääsy ympäristöön voi heikentää luonnon monimuotoisuutta ja vesistöjen ekologista tilaa sekä vaikuttaa haitallisesti alueiden virkistyskäyttöön. (Aksela 2023.)

5.3 Vuotovesiselvitys

Vuotovesien hallinta on tärkeää sekä vesijohtoverkostoissa että viemäriverkostoissa. Vesijohtoverkostoissa vuotavuus johtaa veden hävikkiin, kun taas viemäriverkostoissa sisään pääsevät ylimääräiset vesimassat voivat muodostaa jopa 15–80 % jätevedenpuhdistamolle tulevasta kokonaisvesimäärästä. Vuotovesien määrä voi vuositasolla olla jopa 50 % jätevesimäärästä, ja virtaamahuiput voivat ylittää jätevesivirtaamat moninkertaisesti. Vuotovesiselvitysten tavoitteena on arvioida vuotoveden kokonaismäärää, paikantaa vuotokohdat ja

tunnistaa vuotojen taustalla olevat syyt. Vuotovesien määrän selvittäminen alkaa jätevedenpuhdistamon virtaaman jatkuvalla seurannalla ja tulosten analysoinnilla. (Forss 2005; Karpf & Krebs 2003, Lampola & Kuikka 2018 mukaan.)

Grönfors ym. (2013) mukaan vuotoveden määrä toimii yleisesti käyttökelpoisena indikaattorina viemäriverkoston kunnosta ja tiiviydestä, mutta sen tulkintaan liittyy rajoituksia. Esimerkiksi jätevesiviemäriin liitetyt sade- ja kuivatusvesiliitokset voivat lisätä verkostoon päätyvän veden määrää, jolloin viemäriin kunto voi vaikuttaa todellista heikommalta. Vaikka kaikki viemäriverkostot vuotavat jossain määrin, tärkeämpää kuin vuotojen lukumäärä on niiden vakavuus ja suuruus. Verkoston vuotavuuden arviointiin tuleekin suhtautua varauksella, sillä siihen vaikuttavat monet verkoston kunnan lisäksi liittyvät ulkoiset tekijät.

Vuotovesien määrän arviointi perustuu alueen vedenkulutukseen, joka koostuu talous-, yleisestä ja teollisuuskäytöstä (Karttunen ym. 2004, 466). Jätevesimäärää voidaan arvioida vedenkulutustietojen perusteella, ja vuotojen esiintymistä voidaan tarkastella erityisesti yöllisten vesimäärien avulla. Jos vuotovesiä havaitaan runsaasti, edetään alueittaiseen ja johtolinjakohtaiseen mittaamiseen vuotokohtien selvittämiseksi. Laajoilla viemäriverkon valuma-alueilla, joita ei ole jaettu pienempiin osiin pumppaamoilla, vuotovesien selvityksessä voidaan hyödyntää siirrettäviä virtaamamittareita. Mittaamalla viemäri-vesimääriä ja analysoimalla tuloksia voidaan tunnistaa vuotavimmat verkoston osa-alueet ja arvioida vuotovesien todennäköisiä syitä. Lisäksi toimenpiteiden vaikutusta vuotovesimääriin voidaan seurata mittausten avulla. (Forss 2005).

Valuma-alue tarkoittaa maantieteellistä aluetta, jolta sade- ja sulamisvedet valuvat kohti samaa alinta kohtaa esimerkiksi viemäriverkoston tiettyyn osaan, pumppaamoon tai puhdistamolle. Sateen aiheuttaman virtaaman arvioinnissa ei oleteta, että tulvahuippu vastaa suoraan sateen voimakkuutta. Kaikki sateena maahan tullut vesi ei päädy viemäriin, vaan osa siitä imeytyy maahan tai haihtuu ilmaan. Mitä huokoisempi maan pinta on, sitä pienempi osuus vedestä valuu suoraan eteenpäin. Valuma-alueen vedenjohtavuutta kuvataan valumiskertoimella (Kaava 2), joka ilmaisee sen osuuden sateesta, jonka arvioidaan päätyvän viemäriin. Loppuosaa haihtuu tai imeytyy maahan. Kaavassa 2 Q kuvaa viemäriin virtaamaa, q mitoitussateen rankkuutta (l/s), φ valumiskerrointa ja A valuma-alueen pinta-alaa. (Karttunen ym. 2004, 461–462.)

$$Q = q \cdot \varphi \cdot A \quad (2)$$

Taulukossa 6 esitetään erilaisia lähtötietoja, joiden avulla voidaan arvioida viemäriverkoston vuotavuutta. Vuotovesien määrän arviointi perustuu esimerkiksi virtaamatietojen vertailuun eri sääolosuhteissa, ja viemärikuvauksista saatavien kuntoluokitusten avulla voidaan ennustaa verkoston vuotavuusastetta.

Lähtötiedot	Päätelmät
jätevesivirtaamat	<ul style="list-style-type: none"> vuotovesien määrää voidaan arvioida vertaamalla virtaamia märkinä ja kuivina jaksoina olettaen, että talousveden kulutus pysyy vakiona viemäriin vuotavuuden ja viemärikuvauksen kuntoluokituksella havaitaan olevan selkeä yhteys vuotavuuden ennustaminen on mahdollista kuntoluokituksen perusteella – ja myös toisinpäin
alueelliset sademäärät	
pohjavedenpinnan korkeudet	
talousveden kulutus alueittain	
jätevedenpuhdistamon tulovirtaama	
ilman lämpötila	
pintavesien taso	
viemärikuvaukset ja niiden kuntoluokitukset	

Taulukko 6. Viemäriverkoston vuotavuuden arviointi erilaisten lähtötietojen avulla (mukailtu Hietanen 2008; Karpf & Krebs 2011, Saastamoinen 2015 mukaan)

Karttusen ym. (2004, 466–467) mukaan yleisin tapa ilmoittaa viemäriverkoston vuotoveden määrä on litraa sekunnissa johtokilometriä kohti (l/s/km). Vuotoveden merkitystä voidaan myös havainnollistaa suhteellisilla arvoilla esimerkiksi käyttämällä yksikköä l/s per hehtaari (l/s/ha). Vuotovesien määrä voidaan ilmoittaa lisäksi yksikkönä l/s-km-cm. Yhdysvalloissa mitatut keskiarvot vaihtelevat välillä 0,2–3,0 yksikössä l/s/km ja 0,058–0,23 yksikössä l/s/ha. Vuotovesien määrä arvioidaan mitoitustehtävissä joko prosenttilisänä jätevesimäärään tai viemäripituuden ja -koon perusteella. Eri maiden ohjeissa vuotovesien osuudet vaihtelevat olosuhteista, putkimateriaalista ja saumausten menetelmistä riippuen. Suomessa viemäreiden mitoituksessa käytetään Suomen Kuntatekniikan Yhdistyksen (SKTY) suosituksia, joiden mukaan erillisviemärintialueilla vuotovesimäärä lasketaan 50–200 % lisäyksenä jätevesimäärään. Alemmat arvot koskevat tiheään asuttuja alueita, joissa jätevesimäärät ovat suuria pinta- ja pituusyksikköä kohden, kun taas harvaan asutuilla alueilla vuotoveden osuus voi olla suhteellisesti suurempi, jolloin käytetään korkeampia arvoja. Ruotsissa Kunnallisteknillisen yhdistyksen suositus vastaa SKTY:n suosituksia. Havaintojen mukaan

vuotovesien todellinen määrä on noin 25–50 litraa per metri päivässä (l/m-d), mikä vastaa 0,3–0,6 l/s/km. Taulukossa 7 on esitetty betoniviemäreille sallittuja vuotovesimääriä.

Putken läpimitta (mm)	Sallittu vuotovesimäärä (l/s-johto-km)
150	0,11
200	0,14
250	0,17
300	0,20
375	0,26
450...900	0,41

Taulukko 7. Betoniviemärien sallitut vuotovesimäärät (mukailtu Karttunen ym. 2004, 467)

6 TIETOLÄHTEET JA TIETOJEN YHDISTELY

6.1 Tutkimusalue

Tämän opinnäytetyön tutkimusalueena on Lahti Aqua Oy:n jätevesiverkoston toiminta-alue Lahdessa. Alue kattaa kaupungin asemakaavoitetut ja osin haja-asutusalueet, joissa sijaitsee laaja verkosto vietto- ja paineviemäreitä, tarkastuskaivoja sekä jätevesipumppaamoja. Kartoitus keskittyy verkoston osiin, joiden toimintaan liittyy saatavilla olevaa paikkatietoa ja reaaliaikaista mittausdataa.

Yksittäisten kohteiden tarkkoja sijaintitietoja ei tietosuojasyistä esitetä, vaan analyysit ja havainnot esitetään yleisellä tasolla. Työn tarkoituksena on tuottaa tietoa kriittisten vuoto- ja vuotoriskikohteiden arviointia ja priorisointia varten.

6.2 QGIS (Quantum Geographic Information System)

QGIS (Quantum Geographic Information System) on avoimen lähdekoodin paikkatieto ohjelmisto, jota käytetään sijaintitiedon visualisointiin, hallintaan ja analysointiin. Tässä työssä QGIS-ohjelmistoa hyödynnettiin kriittisten kohteiden tunnistamiseen, jotka sijaitsevat alueilla, joilla vuotojen ja ylivuotojen vaikutukset voivat olla merkittäviä. Näiden tietojen avulla analysoitiin myös ympäristötekijöitä, jotka voivat vaikuttaa viemäriverkoston vuoto- ja ylivuotoriskeihin.

Tässä työssä paikkatietoaineisto rakennettiin kartoitusta varten kriittisyysluokituksen mukaisesti (ks. kappale 3.4). Tavoitteena oli havainnollistaa visuaalisesti, mitkä verkoston osat sijaitsevat omaisuuden ja ympäristön kannalta kriittisissä olosuhteissa. Taulukossa 8 on esitetty kartoituksessa käytetty paikkatietoaineisto ja niiden lähteet.

Maanmittauslaitos	Suomen ympäristökeskus	Trimble NIS
maastokartta: <i>hallintoalueraja, peltoalue, rautatieviiva, tieviiva, suoje- lualue, taajama-alue, vesi- alue, vesiviiva, korkeusviiva, maa-alue, sähköviiva, säh- köpiste</i> maastotietokanta: <i>liikenneverkko, korkeussuh- teet, rakennukset, suoje- kohteet, johtoyhteydet, taa- jaan rakennettu alue</i> taustakartta	havaitut tulva-alueet luonnonsuojelualueet (valtion omistamat), luonnonsuojelualueet (yksityisten mailla) luonnonsuojelulain mukaiset maisemanhoitoalueet luonnonsuojeluohjelma-alueet monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet (alueellinen) monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet (valtakunnallinen) natura 2000-alueet pohjavesialueet valtion muut suojelualueet	verkostokartta: <i>putket (pääviemärit ja keräilyviemärit), tarkastuskaivot</i>

Taulukko 8. Kartoituksessa käytetty paikkatietoaineisto

Kartoituksessa käytettiin EPSG:3067 (ETRS-TM35FIN) -koordinaattijärjestelmää, joka on Suomen virallinen tasokoordinaattijärjestelmä. Sen käyttö mahdollistaa yhteensopivuuden kansallisten paikkatietoaineistojen kanssa ja varmistaa sijaintitarkkuuden.

QGIS-ohjelmistossa käytettiin kahta erilaista paikkatietoaineistotyyppiä:

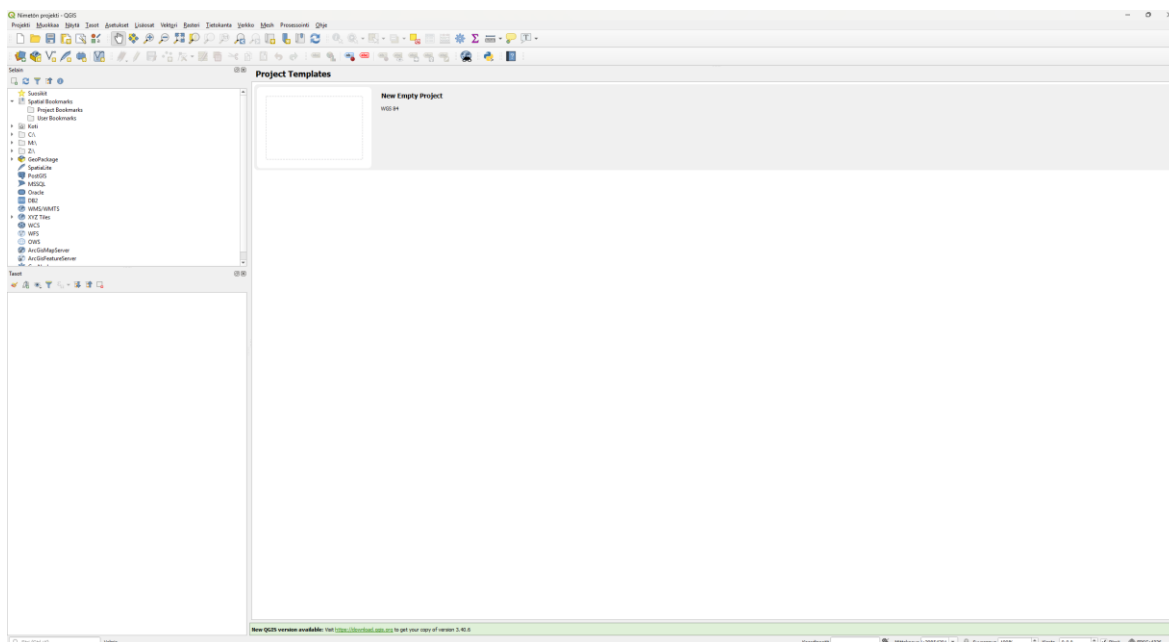
- Vektorimuotoiset aineistot (esim. shapefilet) kuvaavat kohteita, joilla on tarkka sijainti ja rajat, kuten rakennukset ja alueet (esim. pohjavesialueet, Natura 2000 -alueet, luonnonsuojelualueet)
- Rasterimuotoiset aineistot esitetään pikseleinä ja niitä käytetään taustakarttoina, kuten korkeusmallien visualisointiin ja maastonmuotojen arviointiin.

Lisäksi ohjelmistoon luotiin omia karttatasoja aineiston tarkastelua varten:

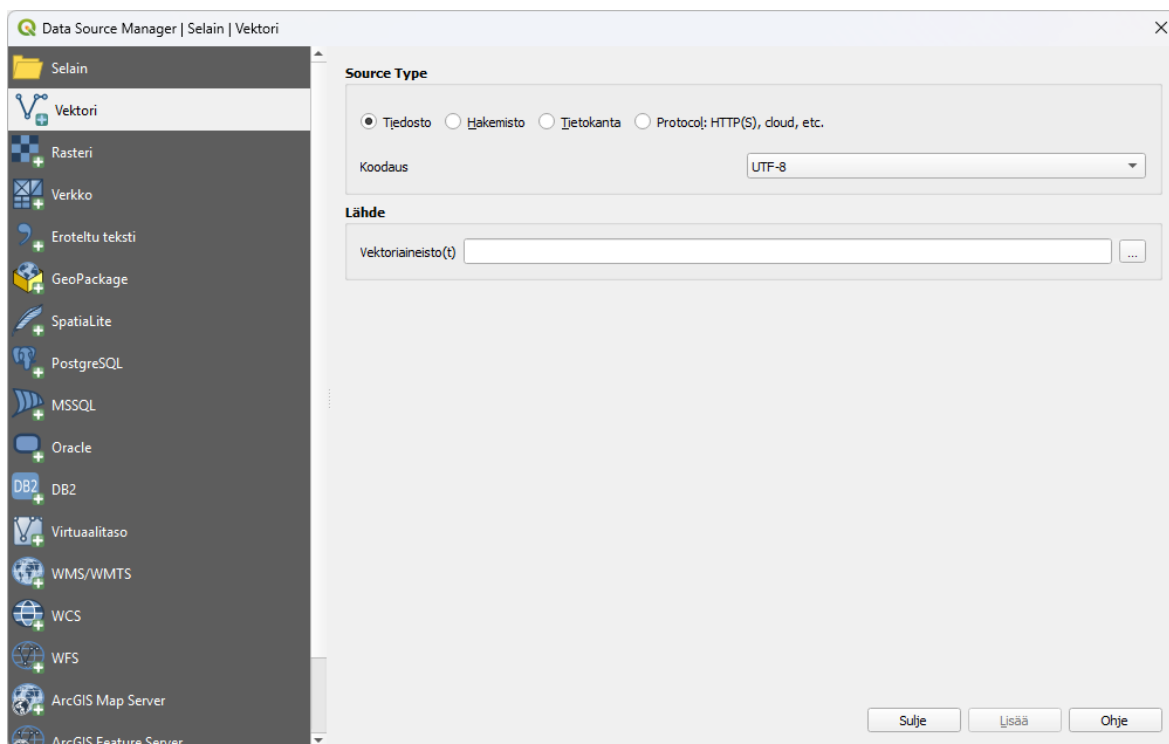
- Lahden hallintoalueen rajaus,
- Verkostoaineiston leikkaus ympäristöolosuhteiden kanssa,

- Kriittisten alueiden korostus, joissa yhdistyvät verkoston osat ja esimerkiksi vesistönläheisyys ja suojelualueet.

Kuvissa 17 ja 18 havainnollistetaan QGIS-ohjelmiston suomenkielistä käyttöliittymää sekä tasojen lisäämistä sovellukseen paikkatietoanalyysiä varten. Kuvassa 17 näkyy QGIS-ohjelmiston suomenkielinen aloitusnäky, josta käyttäjä voi luoda uuden projektin tai avata olemassa olevia aineistoja. Kuvassa 18 on esitetty tasojen lisääminen Data Source Manager -toiminnon kautta valitsemalla tietolähteen tyyppi ja sijainti.

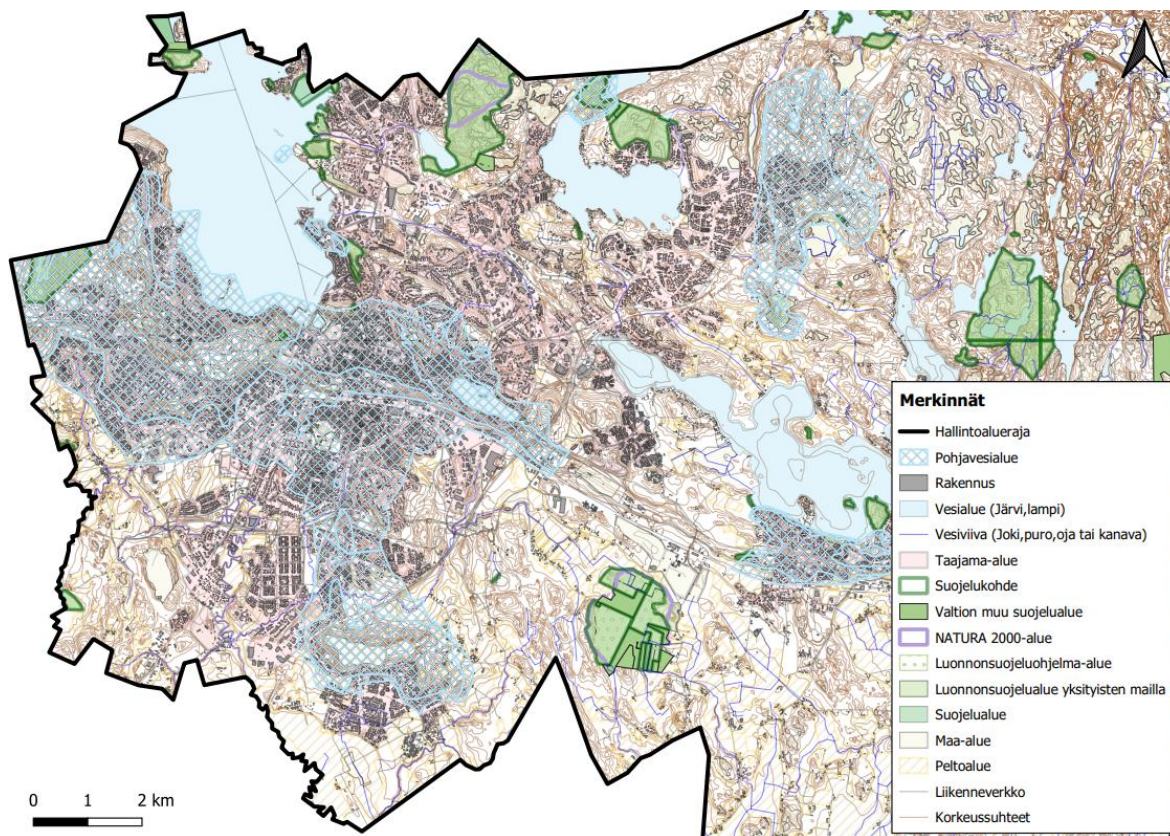


Kuva 17. QGIS-ohjelmiston suomenkielinen käyttöliittymä



Kuva 18. Tasojen lisääminen QGIS-ohjelmistoon

QGIS mahdollisti tietolähteiden yhdistämisen karttapohjaisesti ja tuki alueellista analyysiä. Visuaaliset kartat autoivat tunnistamaan alueita, joissa ympäristöolosuhteet voivat lisätä verkoston vuotoriskiä tai joissa verkosto-osuuksien seuranta olisi suositeltavaa tehostaa niiden kriittisyyden perusteella. Kuvassa 19 on esimerkki karttanäkymästä ympäristöolosuhteiden havainnollistamiseksi QGIS-ohjelmistolla.



Kuva 19. Esimerkki ympäristöolosuhteiden havainnollistamisesta QGIS-ohjelmistolla

6.3 SmartVatten Neuro

Kriittisten vuotovesikohteiden kartoituksessa hyödynnettiin SmartVatten Neuro -järjestelmää, joka analysoi jätevesipumppaamoilta saatavaa virtausdataa. Virtaustiedot kerätään ensin Aqua Vision -järjestelmään, josta SmartVatten Neuro noutaa ne jatkoanalyysia varten. SmartVatten Neuro tarjoaa numeerista ja visuaalista tietoa muun muassa jätevesivirtaamasta, sadannasta, kuivan ajan virtaamasta ja vedenkulutuksesta pumppaamopiirien tasolla.

Virtaustietoja analysoitiin kolmen vuoden seurantajaksolta, jotta havaintojen taustalla olisi riittävästi vuodenaikojen ja sademäärien vaihtelua. Kolmen vuoden aineisto antaa luotettavan pohjan vuotovesien arviointiin, koska se tasaa yksittäisten poikkeustilanteiden vaikutuksia ja auttaa tunnistamaan toistuvia ilmiöitä verkoston käyttäytymisessä.

Kartoituksessa keskityttiin kohteisiin, joiden vuotoprosentti oli yli 60 %. Vuotoprosentti kuvaa alueelle toimitetun talousveden ja viemäriin päätyvän jäteveden välistä suhdetta, huomioiden arvioitu kuivan ajan virtaama (Kaava 3). Yli 60 %:n ylitys viittaa siihen, että viemäriverkostoon päätyy huomattava määrä vuotovettä, kuten sade- tai pohjavettä, mikä tekee alueesta riskialttiin.

$$(\%) = \frac{\text{Puhdistamolle tai pumppaamolle tuleva jätevesi} - \text{myyty talousvesi}}{\text{Puhdistamolle tai pumppaamolle tuleva jätevesi}} \cdot 100 \quad (3)$$

Tarkastelun syventämiseksi kohteille tehtiin laskenta vuotoveden määrästä yksikössä litraa sekunnissa johtokilometriä kohden (l/s/km) kaavaa 4 hyödyntäen. Tämä yksikkö mahdollistaa pumppaamopiirien vertaamisen verkoston laajuuteen nähden ja auttaa löytämään ne alueet, joilla vuotoveden määrä on suhteellisesti merkittävin. Laskennan tuloksena pystyttiin tunnistamaan tarkemmin ne pumppaamopiirit, joihin olisi perusteltua kohdistaa jatkotutkimuksia.

$$Q_{vuoto} = \frac{\text{Vuotovesimäärä (l/s)}}{\text{Verkoston pituus (km)}} \quad (4)$$

Lisäksi hyödynnettiin SmartVatten Neuron tarjoamaa visuaalista analyysiä, jossa jätevesivirtaamia tarkasteltiin kaaviomuotoisina aikasarjoina. Visuaalisten virtaamakäyrien avulla voitiin havaita poikkeavia tilanteita, kuten:

- Virtaaman kasvu ilman sadetta tai muuta selittävää syytä,
- Toteutuneen virtaaman pitkäkestoinen ylittyminen ennustettuun nähden,
- Kohonnut yövirtaama ajankohtana, jolloin vedenkulutus normaalisti on vähäistä,
- Pitkäkestoinen virtaamapiikki ilman normaalien käyttökuvioiden mukaista laskua.

Nämä havainnot tukivat analyysia ja vahvistivat tulkintaa siitä, mitkä pumppaamopiirit ovat kriittisiä vuotoriskin ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Kartoituksen perusteella saatiin selkeä käsitys siitä, mihin alueisiin jatkotutkimukset ja tarkentava seuranta olisi tarkoituksenmukaista kohdentaa.

6.4 Trimble NIS (Network Information System)

Trimble NIS (Network Information System) on verkkotietojärjestelmä, joka kokoaa yhteen vesihuoltoverkoston rakenteisiin, kunnossapitoon ja tutkimushistoriaan liittyvän keskeisen tiedon. Trimble NIS toimii verkostotiedon hallinnan ytimenä, ja sen kautta voidaan tarkastella esimerkiksi putkistoja, tarkastuskaivoja, pumppaamoja ja näihin liittyviä toimenpiteitä paikkatietopohjaisesti (Kuva 20).

viemäriverkoston. Näiden kohteiden arviointi täydensi ympäristöolosuhteisiin perustuvaa kriittisyyden tarkastelua.

Trimble NIS -järjestelmän kautta kirjattiin vuotovesienhallinnan kunnossapitotyö, joka kohdistettiin valitun pumppaamopiirin alueelle osana tämän työn toimenpiteitä. Järjestelmä mahdollisti toimenpiteiden seurannan ja tiedon tallentamisen myöhempää käyttöä varten. Trimble NIS toimi työn aikana keskeisenä välineenä verkoston nykytilan ymmärtämisessä, aiempien havaintojen hyödyntämisessä ja kriittisten kohteiden jatkotoimenpiteiden suunnittelussa.

6.5 Pistemäinen priorisointimalli

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin pistemäinen priorisointimalli, jonka tavoitteena on tukea verkoston kriittisten kohteiden arviointia ja omaisuudenhallinnan tehostamista. Malli mahdollistaa kokonaisvaltaisen tarkastelun, jossa yhdistetään eri järjestelmistä ja lähteistä saatava verkostotieto yhtenäiseksi arviointikehikoksi.

Priorisointimalli perustui viiteen keskeiseen näkökulmaan, joiden kautta kohteiden kriittisyyttä voidaan arvioida:

- Ympäristövaikutukset
- Omaisuusriski
- Käyttövarmuus
- Kunnan tila
- Huoltomahdollisuudet.

Jokaiselle näkökulmalle määritettiin arviointikriteerit ja pisteasteikko, joiden perusteella voidaan muodostaa yhteispistemäärä. Mallissa huomioitiin tiedot eri järjestelmistä: SmartVatten Neurosta saatu virtausdata, Trimble NIS -järjestelmästä verkoston tutkimus- ja kunnossapitotiedot sekä QGIS-kartoituksessa tuotetut ympäristöolosuhteet. Kokonaispistemäärän perusteella kohteet voidaan priorisoida tarvittavia jatkotoimenpiteitä varten.

Mallin vahvuus on sen sovellettavuus erilaisiin tilanteisiin ja painotuksiin, sekä kyky yhdenmukaistaa ja havainnollistaa moniulotteinen tietosisältö päätöksenteon tueksi. Malli toimii siten välineenä, jonka avulla voidaan arvioida kriittisyyttä sekä toiminnallisesta, rakenteellisesta että ympäristönäkökulmasta. Priorisointimallin rakenne ja arviointiperusteet on esitetty taulukossa 9.

Ympäristövaikutukset	Pisteet
sijainti pohjavesialueella	+3
läheisyys vesistöihin < 100 m	+3
sijainti suojelu kohteessa tai alueella	+2
vaikeat maaperäolosuhteet	+2
sijainti pintaveden valumareitillä	+2
sijainti uimarannan tai muun virkistysalueen läheisyydessä	+2
Omaisuusriski	Pisteet
sijainti maanalaisen kohteen sisällä, alla, päällä tai vahingon etäisyydellä	+3
sijainti rakennuksen alla tai välittömässä läheisyydessä	+2
liikenteen määrittämä alue	+2
muun verkoston risteäminen tai läheisyys	+2
yhteiskäyttötunneli	+2
Käyttövarmuus	Pisteet
suuret virtaamat tai kuormitus	+3
pumppaamopiirin vuotoprosentti (X) %	(projektikohtainen)
sijainti raakavedenottamon tai raakavedensiirtoreitin läheisyydessä	+3
Kunnon tila	Pisteet
aiemmat havainnot vuodoista	+2
aiemmat havainnot ylivuodoista	+3
ikäntynyt tai huonokuntoinen kohde	+2
vuotavin pumppaamopiiri (projektikohtainen)	+3
Huoltomahdollisuudet	Pisteet
vaikeasti saavutettava sijainti	+1
vaatii erityiskalustoa huoltoon	+1

Taulukko 9. Pistemäinen priorisointimalli

7 KOHDENNETUT VUOTOVESITUTKIMUKSET

7.1 AquaDuoScope

Tässä työssä kohdennetut vuotovesitutkimukset suunnattiin vuotavimpaan pumppaamopii-riin, joka valikoitui aiemmassa kartoitusvaiheessa. Kohteen tarkempi tutkimus toteutettiin AquaDuoScope-menetelmällä, joka soveltuu paikallisten vuotokohtien jäljittämiseen jätevesiverkoston sisällä. Tutkimukset suunniteltiin keväälle (maalis-huhtikuu) lumien sulamisen aikaan, jotta viemärien mahdolliset vuotokohdat voitiin paikantaa mahdollisimman tehokkaasti.

AquaDuoScope on Aquapriori Oy:n kehittämä tekoälyä ja koneoppimista hyödyntävä kenttämenetelmä, jolla mitataan jätevesinäytteen sisältämän vuotoveden osuutta prosentuaalisesti. Se laskee mitatun jätevesilinjan vuotovesipitoisuuden muun muassa lämpötilan, pH:n ja sähkönjohtavuuden avulla. Mittaustulokset visualisoidaan selkeässä karttanäkymässä, jossa jokaisen mittauspisteen vuotovesipitoisuus esitetään sijaintitiedon yhteydessä.

Menetelmässä hyödynnetään risteyskaivoja, joista voidaan ottaa virtaussuuntaisesti näytteet tulevista putkista. Jokaisesta putkesta otettu näyte analysoidaan, ja sen perusteella saadaan arvio siitä, kuinka suuri osa virtaavasta jätevedestä on ulkopuolista vettä, kuten sade- tai pohjavettä. Mikäli mitattu vuotoprosentti on merkittävä suhteessa virtaamaan, aloitetaan vuotoveden lähteen paikantaminen seuraamalla virtaussuuntaa ylöspäin. Näytteenottoa jatketaan seuraavissa risteyskaivoissa, kunnes vuotoveden osuus pienenee tai lähde saadaan rajattua. Menetelmä mahdollistaa vuotoveden kulkureitin jäljittämisen.

Tutkimuksen suunnittelu toteutettiin Trimble NIS -järjestelmässä, josta tiedot siirrettiin Utility To Go (UTG) -sovellukseen. UTG on kenttätöissä käytettävä sovellus, jonka avulla voidaan tarkastella kaivokohteita, kirjata havaintoja, lisätä mittaustuloksia ja raportoida suoraan Trimblen NIS -järjestelmään. Tämä helpottaa tiedonkulkua toimiston ja kentän välillä sekä varmistaa, että havaintotieto tallentuu tarkasti osaksi verkoston tietokantaa.

Kohde käytiin läpi järjestelmällisesti risteyskaivo kerrallaan, ja jokaisesta mitattiin vuotoveden osuus prosentuaalisesti. Tämä mahdollisti kohteen sisäisen vertailun ja tarjosi tärkeää tietoa jatkotoimenpiteiden suunnittelua varten.

7.2 Zoom-kuvaus

Zoom-kuvaus on menetelmä, jossa viemäriputken kuntoa arvioidaan suoraan kaivosta käsin ilman, että kameraa tarvitsee kuljettaa putken sisällä (Kuva 21). Kamera tarjoaa korkean resoluution, optisen ja digitaalisen zoomin sekä tehokkaan LED-valaistuksen, mikä

mahdollistaa yksityiskohtaiset kuvat myös ahtaista ja vaikeapääsyisistä paikoista. Kamera asennetaan vakaaseen teleskooppivarteen ja lasketaan kaivoon, jolloin se voidaan suunnata sekä myötä- että vastavirtaan. Tarkasteltava putkiosuus tutkitaan ja kuvataan zoomaamalla. Hyvissä valaistusolosuhteissa ilman häiritsevää höyryä menetelmällä voidaan tarkastella viemäriinjaa jopa 80–100 metrin matkalta.



Kuva 21. Quickview Zoom-kamera

Zoom-kuvauksen etuja ovat sen nopeus verrattuna perinteiseen viemärikuvaukseen (TV-kuvaukset). Menetelmä ei vaadi viemäriinjan huuhtelua ennen kuvausta, mikä säästää aikaa ja resursseja. Menetelmä soveltuu erityisesti viemäriverkoston seulontatutkimuksiin, joissa pyritään nopeasti ja tehokkaasti tunnistamaan kriittiset kohteet laajasta verkosta.

Vuotovesitutkimuksessa Zoom-kameraa suunniteltiin hyödynnettäväksi tilanteissa, joissa AquaDuoScope-menetelmä osoitti mahdollisia vuotoepäilyjä. Sen avulla voitiin visuaalisesti

tarkastella viemärilinjoi, varmistaa vuotokohtien sijainti sekä arvioida putkiston kuntoa. Zoom-menetelmällä saatiin still-kuvia ja videomateriaalia, jotka tallennettiin verkkotietojärjestelmään UTG-kenttäsovelluksen kautta.

Vuotovesitutkimusten yhteydessä havaitut viat luokiteltiin kuntoluokkiin havaintojen vakavuuden ja vaikutusten perusteella, ja ne kirjattiin UTG-kenttäsovellukseen dokumentointia ja jatkokäsittelyä varten. Taulukossa 10 esitetään havaintojen raportointikriteerit, joiden avulla viat luokitellaan kuntoluokkiin 0–4 projektikohtaisten laatuvaatimusten, havaintojen sisällön ja vian vakavuuden perusteella. Kuntoluokka 0 kuvaa virheetöntä tilaa, kun taas kuntoluokat 3 ja 4 viittaavat merkittäviin ja vakaviin poikkeamiin asetetuista vaatimuksista.

Kuntoluokka	Laatuvaatimukset	Havainnot	Vian vakavuus
0	täyttää projektikohtaiset laatuvaatimukset	ei vikoja tai viat alittavat asetetut laatuvaatimukset	kunnossa
1	täyttää projektikohtaiset laatuvaatimukset pienin poikkeuksin	pieniä vikoja, jotka eivät vaikuta merkittävästi suorituskykyyn tai turvallisuuteen	lievä haitta
2	edellyttää lisäselvityksiä	tutkimustarkkuus ei riitä asettamaan havaittua vikaa kuntoluokkaan 1 eikä 3, joten tarvitaan lisäselvityksiä, havaitut viat ovat vähäisiä	vähäinen vika
3	ei täytä projektikohtaisia laatuvaatimuksia	havaitut viat ylittävät kohtalaisesti asetetut laatuvaatimukset	kohtalainen vika
4	ei täytä projektikohtaisia laatuvaatimuksia	havaitut viat ylittävät vakavasti asetetut laatuvaatimukset	vakava vika

Taulukko 10. Havaintojen raportointikriteerit

Taulukossa 11 kuvataan havaintojen kuntoluokitus vuotovesien esiintymisen perusteella. Luokitus ulottuu tasosta 0, jossa ei havaita vuotoa, tasolle 4, jossa vuoto ilmenee runsaana virtauksena kaivon tai putkeen rakenteellisen vian tai korkeuserojen seurauksena.

Kuntoluokka	Selite
0	ei vuotoa
1	vuoto ilmenee kosteutena tai vuodon jättämänä jälkenä
2	vuoto ilmenee veden tippumisena: kaivon/putken rakenne, sen korkeusasema tai rakenteellinen vika voi aiheuttaa vuotovesien tippumista kaivoon/putkeen
3	vuoto ilmenee veden vähäisenä virtauksena: kaivon/putken rakenne, sen korkeusasema tai rakenteellinen vika voi aiheuttaa vuotovesien virtausta kaivoon
4	vuoto ilmenee veden runsaana virtauksena: kaivon/putken rakenne, sen korkeusasema tai rakenteellinen vika aiheuttaa vuotovesien runsasta virtausta kaivoon/putkeen

Taulukko 11. Vuotovesien esiintymisen kuntoluokitus havainnon perusteella (mukailtu Ojala & Kuikka 2021)

8 TULOKSET

Työssä kehitettiin monivaiheinen prosessi kriittisten vuotovesikohteiden kartoittamiseen hyödyntäen QGIS-, Trimble NIS- ja SmartVatten Neuro -sovelluksia. Paikkatieto- ja virtausdatan analyysin pohjalta seulottiin pumppaamopiirejä, joissa esiintyi korkea vuotoprosentti. Tarkennettujen laskentojen perusteella priorisoitiin yksi pumppaamopiiri jatkotutkimuksiin. Tämän alueen kohdennetut vuotovesitutkimukset toteutettiin AquaDuoScope-menetelmällä sekä Zoom-kuvauksilla.

Kartoituksen avulla saatiin muodostettua kokonaiskuva siitä, millä alueilla vuotovesiongelmat olivat todennäköisimpiä. QGIS-aineistolla pystyttiin paikantamaan kaivot ja verkosto-osuudet, jotka sijaitsivat ympäristöllisesti kriittisillä alueilla, kuten pohjavesialueilla ja luonnonsuojelu alueilla. Trimble NIS-aineiston avulla yhdistettiin tieto muun muassa verkoston tutkimus- ja kunnossapitohistoriasta.

Työn aikana kehitetty priorisointimalli osoittautui soveltuvaksi menetelmäksi erilaisten kriittisyystekijöiden yhdistämiseen. Vaikka mallia ei ehditty soveltaa koko toiminta-alueelle, se tarjoaa skaalautuvan työkalun kriittisten kohteiden luokitteluun ja verkosto-omaisuuden hallinnan tehostamiseen jatkossa. Tässä työssä menetelmää sovellettiin käytännössä yhdelle pumppaamopiirille.

Tutkimustuloksissa kävi ilmi, että kenttäolosuhteet eivät olleet optimaaliset maaliskuussa toteutetuille mittauksille, eikä varsinaista yksittäistä merkittävää vuotokohtaa onnistuttu paikallistamaan tutkimusalueella. Työn edetessä syntyi kuitenkin uusi näkökulma siitä, miten kehitettyä menetelmää ja mallia voisi hyödyntää koko Lahden alueella laajamittaisessa kriittisyyskartoituksessa.

Näkökulmaa syvennettiin työn edetessä edelleen käytännön sovellusmahdollisuuksien tasolle. Mallia voisi hyödyntää kaivokohtaisesti seulomaan ne verkoston osat, joissa on aiemmissa selvityksissä havaittu vuotoja, ylivuotoja tai jotka on tunnistettu vuotoriskikaivoiksi. Näin nämä kohteet voitaisiin priorisoida tarkempiin tutkimuksiin tai jatkuvaan seurantaan. Mallia voitaisiin soveltaa myös pumppaamopiirien luokitteluun, mikä mahdollistaisi kunnossapidon ja seurannan alueellisen priorisoinnin toiminta-alueella. Tämä tukisi resurssien hallittua kohdentamista ja verkoston hallinnan ennakoitavuutta.

Työn lopputuloksena syntyi käytännöllinen prosessimalli ja priorisointityökalu, joka kokoaa yhteen eri lähteistä saatavaa tietoa tukien ennakoivaa omaisuudenhallintaa ja verkostorisien tehokkaampaa tunnistamista.

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää menetelmä, jonka avulla voidaan paikantaa ja arvioida kriittisimpiä vuoto- ja vuotoriskikohteita Lahti Aqua Oy:n jätevesiverkostossa. Työ toteutettiin toimeksiantona Aqua Palvelu Oy:lle, ja siinä yhdistettiin useista tietolähteistä saatavaa paikkatieto- ja virtaamadataa yhtenäiseksi arviointiprosessiksi.

Työn aikana opittiin käyttämään kolmea erilaista paikkatieto- ja verkostohallintasovellusta: QGIS, Trimble NIS ja SmartVatten Neuro. Näiden avulla saatiin koottua monipuolista tietoa verkoston rakenteista, ympäristöolosuhteista, virtausmääristä sekä tutkimus- ja kunnossapitohistoriasta. Prosessin aikana kehitettiin pistemäinen priorisointimalli, joka mahdollistaa eri tietolähteiden yhdistämisen ja kriittisten kohteiden vertailemisen kokonaisvaltaisesti. Malli perustuu ympäristövaikutusten, omaisuusriskien, käyttövarmuuden, kunnan tilan ja huoltomahdollisuuksien arviointiin.

Mallia testattiin käytännössä yhdellä pumppaamopiirillä, jolle kohdistettiin tarkennetut vuotovesitutkimukset AquaDuoScope-menetelmällä ja Zoom-kuvauksilla. Tutkimusolosuhteet olivat kuitenkin keväällä 2025 haasteelliset, eikä merkittäviä vuotokohtia havaittu. Työn edessä syntyi kuitenkin laajempi ymmärrys siitä, miten kehitettyä mallia voitaisiin jatkossa soveltaa koko toiminta-alueen kriittisyyskartoitukseen.

Tätä ymmärrystä syvennettiin työn aikana konkreettisesti sovellusmahdollisuuksiksi. Mallin avulla voidaan esimerkiksi kaivokohtaisesti seulomalla priorisoida ne verkoston osat, joissa esiintyy aiempien selvitysten mukaan vuotoja, ylivuotoja tai jotka on luokiteltu vuotoriskikavoiiksi. Lisäksi sitä voidaan hyödyntää pumppaamopiirien kriittisyysluokittelussa, mikä tukisi alueellista kunnossapidon ja seurannan priorisointia. Nämä sovellukset mahdollistavat mallin käytön koko toiminta-alueella ennakoivan verkostohallinnan työkaluna.

Työ on eettisesti ja tietosuojaan näkökulmasta toteutettu vastuullisesti. Käytetyt aineistot eivät sisällä yksityishenkilöihin liittyviä tietoja, ja paikkatietoanalyseissä noudatettiin toimeksiantajan ohjeistuksia tietoturvan suhteen.

Kehitetty priorisointimalli tarjoaa sovellettavan ja jatkokehitettävän työkalun, jonka avulla voidaan tehostaa verkosto-omaisuuden hallintaa, kohdentaa tutkimuksia tarkoituksenmukaisesti ja tukea päätöksentekoa kriittisten kohteiden suhteen. Jatkokehityksen kannalta olisi hyödyllistä soveltaa mallia koko toiminta-alueelle ja tarkastella sen toimivuutta pidemmällä aikavälillä sekä optimaalisissa tutkimusolosuhteissa. Työ osoittaa, kuinka monilähteyksinen tieto voidaan yhdistää käytännönläheiseksi menetelmäksi, joka tukee verkoston hallintaa, riskien ennakoitua ja resurssien tehokasta kohdentamista.

Lähteet

Aksela, K. 2023. Vesihuoltoverkostojen elinkaari – kestävä operatiivinen kunnonhallinta. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [vesihuoltoverkostojen elinkaari kestävä operatiivinen kunnonhallinta.pdf](#)

Aqua Palvelu Oy. Syöpynyt betoniputki. Viitattu 29.4.2025.

Berninger, K., Laakso, T., Paatela, H., Virta, S., Rautiainen, J., Virtanen, R., Tynkkynen, O., Piila, N., Dubovik, M. & Vahala, R. 2018. Tulevaisuuden kestävä vesihuolto – ennakointi ja järjestäminen. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Microsoft Word - Vesihuoltoraportti31082018 uusi.docx](#)

Environsight. Inflow and Infiltration. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Inflow and Infiltration \(I&I\)](#)

Forss, A. 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteet. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Vesilaitosyhdistys - Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteet, pdf](#)

Grönfors, T., Hanski, J., Heino, O., Luomanen, T., Malm, T., Pietilä, P., Riihimäki, M., Oulasvirta, L., Salmela, L., Teerimo, S., Virolainen, K. & Välisalo, T. 2013. Vesihuoltoverkostojen kunnossapitopalvelujen riskienhallinta. VTT. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Vesihuoltoverkostojen kunnossapitopalvelujen riskienhallinta. Loppuraportti](#)

Hietanen, T. 2008. Viemäriverkoston alueellinen vuotovesimäärän selvittäminen. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Hietanen Tiina 2008.pdf](#)

Ikäheimo, A., Metsävuori, J. 2020. Vesihuoltolaitosten digistrategia – portaat digitalisaation hyödyntämiseen. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Microsoft Word - VVY Digitalisaatiostrategia loppuraportti – kopio](#)

Jäteveden ympäristövaikutukset. Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Jäteveden ympäristövaikutukset - Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto ry](#)

Kaikkonen, P. 2021. Vesihuoltoverkoston saneerausinvestointien priorisointi. Case: Lahti Aqua Oy. LAB-ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Kaikkonen Pekka.pdf](#)

Karttunen, E., Tuhkanen, T. 2003. Vesihuolto 1. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

Karttunen, E., Tuhkanen, T., Kiuru H. 2004. Vesihuolto 2. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

Korkiamäki, J., Narikka, M. & Renko, T. 2021. Vuotovedet jätevesiverkostossa – vuotovesien vähentäminen ja riskienhallinta rankkasadetilanteissa. Afry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Vuotovedet jätevesiverkostossa – vuotovesien vähentäminen ja riskienhallinta rankkasadetilanteissa | AFRY](#)

Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopus. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Hulevesiopus | Kuntaliitto.fi](#)

Laitinen, J., Juntunen, J., Kotamäki, N., Laukka, V., Siimes, K., Laikari, A., Dubovik, M., Ranta-Hiiro, V., Wendling, L., Miettinen, I. & Meriläinen P. 2022. Yhdyskuntajätevesien satunnaispäästöjen merkitys ja vaikutukset vastaanottavissa vesistöissä. Valtionneuvosto. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Yhdyskuntajätevesien satunnaispäästöjen merkitys ja vaikutukset vastaanottavissa vesistöissä](#)

Lampola, T. & Kuikka, S. 2018. Viemäreiden kuntotutkimusopus. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [viemäreiden kuntotutkimusopus_final.pdf](#)

Mämmelä, J. 2019. HSY:n viemäriverkoston kuntotutkimusprosessin kehittäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Liite 3 Mallipohja](#)

Ojala, M. & Kuikka, S. 2021. Viemäreiden kunnon tutkiminen, Visuaaliset tutkimusmenetelmät. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [VVY julkaisupohja](#)

Pelastuslaki 379/2011.

Rantanen, S. Jätevesiviemäreiden kuntotutkimusten ja saneerausten kohdentaminen riskienhallinnan näkökulmasta. Aalto-yliopisto. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Otsikko "1"](#)

Renko, T., Sahlstedt, J., Aurola, A., Vilpanen, M. & Härkki, H. 2021. Hyvän vesihuollon kriteerit. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Microsoft Word - AFRY Hyvanvesihuollonkriteerit AB muotoiltu 22122020+](#)

Saastamoinen, M. 2015. Viemäriverkostoa ja sen ympäristöä koskevien tietojen hyödyntämismahdollisuudet. Aalto-yliopisto. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [content](#)

Salminen, J., Tikkanen, S. & Koskiahho, J. 2017. Kohti vesiviisasta kiertotaloutta. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [SYKEra 16 2017.pdf](#)

Terveystieteiden laitoslaki 763/1994.

Valkonen, K., Lindqvist, P. & Syväälä, R. 2021. Viemäriverkoston ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamo-ohitusten hallinnan ratkaisut Itämeren alueella. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Viemäriverkoston ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamo-ohitusten hallinnan ratkaisut Itämeren alueella](#)

Vesihuoltolaki 119/2001.

Vesilaitosyhdistys. Mitä on vesihuolto? Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Vesilaitosyhdistys - Mitä on vesihuolto](#)

Vesilaki 587/2011.

Vienonen, S., Laitinen, J. & Vilpas, R. 2017. Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) viemäriverkoston suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [content](#)

Walworth County Metropolitan Sewerage District. Inflow and Infiltration Slideshow. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa [Inflow and Infiltration Slideshow | Walworth County Metropolitan Sewerage District WI](#)

Ympäristönsuojelulaki 527/2014.