

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Risto Erkkilä

Jätevesiverkoston vuotovesitutkimus Naantalin vesihuoltolaitoksen toiminta- alueella

– case Rymättylä

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 63 sivua

Risto Erkkilä

Jätevesiverkoston vuotovesitutkimus Naantalin vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella

- case Rymättylä

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin arvioimaan virtaamatarkastelun avulla tutkimusalueen vuotovesien kannalta ongelmallisin pumppaamopiiri, josta etsittiin vuotovesien lähteitä alueella suoritetuin jatkotutkimuksin. Vuotovesi on viemäriin päätyvää sinne kuulumatonta vettä, joka toimii viemärin kunnosta kertovana indikaattorina. Viemäriin vuotovesi kulkeutuu muun muassa rikkoutuneiden rakenteiden, vuotavien liitosten ja virheellisesti kytkettyjen hulevesijärjestelmien kautta.

Ongelmallisimman pumppaamopiirin määrittelyssä käytettiin apuna pumppaamojen virtaamatietoja ja alueen säähavaintotietoja. Vuotovesien lähteitä etsittiin aistinvaraisen tarkastuksen sekä savukokeiden avulla. Tutkimuksen aikana löydettiin useita yksittäisiä vuotolähteitä, jotka yhdessä muodostavat suuremman kokonaisuuden. Saatujen tulosten avulla voidaan suorittaa tarvittavia korjaustoimenpiteitä ja siten vähentää alueen vuotovesimäärää. Virtaamatarkastelun perusteella jatkotutkimuksia voidaan kohdistaa myös tutkimusalueen muihin pumppaamopiireihin.

Asiasanat:

vuotovesi, vuotovesitutkimus, jätevesiverkosto, viemärin kuntotutkimus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Technology

2023 | 63 pages

Risto Erkkilä

Sewage network infiltration/inflow study in Naantali Waterworks' operational area

- case Rymättylä

The aim of this thesis was to estimate the most problematic pumping station catchment in the research area with flow analysis, from which sources of infiltration/inflow (I/I) were searched with further investigations. I/I waters are waters which end up in the sewer unintentionally, therefore serving as an indicator of the condition of the sewer. I/I waters enter in the sewer through broken structures, leaky joints and incorrectly connected storm water systems.

Pumping station flow data and weather observation data were used in defining the most problematic pumping station catchment. The sources of the I/I waters were searched using sensory inspection and smoke tests. During the study, several individual leakage sources were found, which together formed a larger entity. With the help of the obtained results, the necessary corrective measures can be done and thus the amount of I/I water in the area can be reduced. Based on the flow analysis, further investigations can also be aimed at other pumping station catchments in the research area.

Keywords:

infiltration/inflow (I/I), I/I study, sewage network, sewer condition assessment methods

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Kunnallinen jätevesijärjestelmä	9
2.1 Viemäröintimenetelmät	10
2.1.1 Erillisviemäröinti	11
2.1.2 Sekaviemäröinti	11
2.1.3 Viettoviemäröinti	12
2.1.4 Paineviemäröinti	12
2.1.5 Viemärin sijainti	13
2.2 Viemäriverkoston osat ja varusteet	13
2.2.1 Putket	13
2.2.2 Tarkastuskaivot	15
2.2.3 Tarkastusputket	16
2.2.4 Tonttiliitynnät	16
2.2.5 Ilmanvaihtojärjestelmät	16
2.2.6 Jätevedenpumppaamot	17
2.3 Verkoston hallinta sekä valvonta- ja ohjausjärjestelmät	19
2.3.1 Verkkotietojärjestelmät	19
2.3.2 Pumppaamojen valvonta- ja ohjausjärjestelmät	20
2.4 Säädökset ja lainsäädäntö	21
3 Vuotovedet	22
3.1 Vuotovesien lähteet	23
3.1.1 Suotautuvat vuotovedet	24
3.1.2 Hulevuotovedet	26
3.2 Vuotovesien vaikutukset	26
3.2.1 Vaikutukset verkostossa	27
3.2.2 Vaikutukset jätevedenpuhdistamoilla	28
3.3 Vuotovesien määrä	28
4 Viemärin kuntotutkimukset	32

4.1 Kuntotutkimusmenetelmät	33
4.1.1 Virtaaman mittaus	33
4.1.2 Aistinvarainen tarkastus	35
4.1.3 Savukoe	36
4.1.4 Viemärikuvaus	37
4.1.5 Vuove-menetelmä	37
4.1.6 Tutkimusmenetelmien yhteenveto	38
5 Tutkimusalue ja tutkimusmenetelmät	40
5.1 Naantalın vesihuoltolaitos	40
5.2 Tutkimusalue ja lähtötiedot	40
5.3 Virtaamatarkastelu	42
5.4 Aistinvarainen tarkastus ja savukokeet	42
6 Tulokset	44
6.1 Virtaamatarkastelun tulokset	44
6.1.1 Käräysniemen pumppaamo	45
6.1.2 Kirkkolahden pumppaamo	46
6.1.3 Kirkkojärven pumppaamo	47
6.1.4 Taipaleentien pumppaamo	47
6.2 Vuotovesitutkimuksen tulokset	49
6.3 Tulosten yhteenveto	55
7 Lopuksi	57
Lähteet	59

Kuvat

Kuva 1 Kunnallisen jätevesijärjestelmän kaaviopiirros (Karttunen 2010a, 27).	9
Kuva 2 Betonisen sekä muovisen tarkastuskaivon rakenne (Karttunen 2010b, 106).	15
Kuva 3 Kunnallistekniikassa käytetty esimerkkipumppaamo (Grundfos 2014).	18
Kuva 4 Tyypillisiä vuotovesien lähteitä (muokattu lähteestä, Needham Department of Public Works 2023).	23
Kuva 5 Vuotovesiprosentit vuosina 2015–2021.	30
Kuva 6 Vuotovesiprosentit laitosten kokoluokittain vuosina 2015–2021.	30
Kuva 7 Rymättylän pumppaamopiirit (KeyAqva 2022).	41
Kuva 8 Kärysniemen pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.	45
Kuva 9 Kirkkolahden pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.	46
Kuva 10 Kirkkojärven pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.	47
Kuva 11 Taipaleentien pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.	48
Kuva 12 Vettä saneeratun kaivon rakenteiden välissä.	50
Kuva 13 Tarkastuskaivon kannen väleistä nousee savua.	51
Kuva 14 Maan alta nouseva savu paljasti vioittuneen tonttviemäriin.	52
Kuva 15 Tarkastusputki ilman kantta.	53
Kuva 16 Paikaltaan siirtynyt kaivon kehys.	54

Taulukot

Taulukko 1 Yhteenveto tutkimusmenetelmistä.	38
Taulukko 2 Vuotovesitutkimuksen havainnot.	49

1 Johdanto

Toimiva jätevesiverkosto on yksi vesihuollon peruspilareista, ja sillä on keskeinen rooli yhteiskuntien toimintavarmuudessa. Asianmukainen viemäröinti takaa jätevesien turvallisen ja tehokkaan kuljettamisen jätevedenpuhdistamoille, suojellen sekä ihmisiä että ympäristöä. Vaikka Suomessa vesihuolto on kaiken kaikkiaan hyvällä tasolla, huoli sen toimintavarmuudesta ja laadusta on tulevaisuudessa kasvamassa (ROTI 2019, 21).

Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040 -raportin (Kuulas ym. 2020, 66, 76) mukaan tulevana vuosina vesihuollon vuosittaiset kokonaisinvestointitarpeet ovat kaksinkertaiset vuoden 2016–2018 välisen ajan keskiarvoon nähden, ja niistä noin 60 % kohdistuu verkostojen saneeraukseen. Nykyinen saneeraustaso ei ole enää riittävä, kun suurelta osin 1970- ja 1980-luvuilla rakennettu verkosto saavuttaa tai on osittain jo saavuttanut saneerausiän (Koskikala ym. 2021, 26). Arvioiden mukaan jätevesiverkostosta hyvää huonommassa kunnossa on noin 40 prosenttia (Lampola & Kuikka 2018, 11) ja erittäin huonossa kunnossa 12 prosenttia (ROTI 2019, 21).

Yksi jätevesiverkostojen kunnosta kertova indikaattori on vuotovesi. Vuotovesi on viemäriin kuulumatonta vettä, joka kulkeutuu sinne muun muassa virheellisten kytkentöjen tai rikkoutuneiden osien kautta. Näiden alkujaan puhtaiden, pääosin sade- ja sulamisvesien päätyminen viemäriverkostoon lisää turhaan sekä pumppaus- että puhdistuskuluja. (Karttunen 2004, 464; Torsten 2007, 6–7.) Vuotovedet myös laimentavat puhdistettavaa jätevettä, mikä aiheuttaa ongelmia puhdistusprosessin toiminnassa ja kemikaalien annostelussa (Lampola & Kuikka 2018, 23). Vuosien 2010–2014 aikana vuotovesien osuus puhdistamoille johdetusta jätevedestä vaihteli 37–47 prosentin välillä (ROTI 2017, 33), eikä määrä ole viimevuosien aikana juurikaan vähentynyt (Koskikala ym. 2021, 46–47).

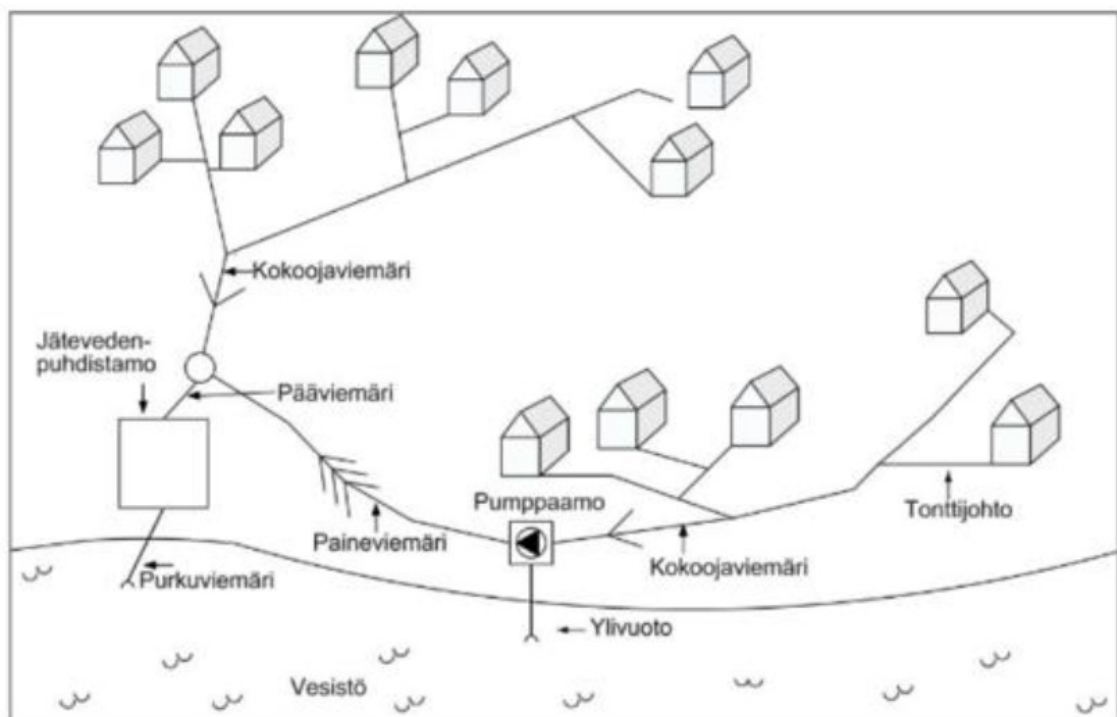
Tämän opinnäytetyön tarkoitus on arvioida virtaamatarkastelun avulla tutkimusalueen vuotovesien kannalta ongelmallisin pumppaamopiiri ja siellä suoritettavin jatkotutkimuksin etsiä vuotovesien lähteitä. Tutkimusalueena toimii

Rymättylän taajama, joka kuuluu Naantalin vesihuoltolaitoksen toiminta-alueeseen. Ongelmallisimman pumppaamopiirin määrittelyssä hyödynnetään pumppaamojen virtaamadataa sekä alueen säähavaintotietoja. Vuotovesien lähteitä etsitään alueella suoritettavin aistinvaraisin tarkastuksin ja savukokein. Työn tuloksena esitetään vuotovesitutkimuksen aikana paikallistetut vuotoveden lähteet ja muut verkostossa havaitut virheet tai puutteet.

Työ koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen (luvut 2–4) sisältää kirjallisuuskatsauksen, joka käsittelee kunnallista jätevesijärjestelmää, vuotovesiä sekä viemärin kuntotutkimusta. Toinen osa (luvut 5–7) koostuu vuotovesitutkimuksesta, jossa kuvataan tutkimusalue ja käytetyt tutkimusmenetelmät sekä esitetään tutkimuksen tulokset. Työ on toteutettu noin vuoden mittaisena ajanjaksona vuosina 2022–2023 ja sen toimeksiantajana toimi Naantalin vesihuoltolaitos.

2 Kunnallinen jätevesijärjestelmä

Kunnallisen jätevesijärjestelmän perustarkoituksena on kerätä yhdyskunnassa syntynyt jätevesi ja palauttaa se puhdistettuna takaisin luonnon kiertoon (Harju 2016, 148). Rakenteeltaan viemäriverkosto muistuttaa haaroittuvaa oksistoa, kun jätevedet kulkeutuvat sen latvoilta viemäriinjoja pitkin kohti jätevedenpuhdistamoa. Ensin käyttökohteissa syntyneet jätevedet johdetaan tonttijohtojen kautta kunkin alueen jätevedet kerääviin kokoojaviemäriin. Kokoojaviemärit puolestaan liittyvät pääviemäriin, jota pitkin jätevedet johdetaan puhdistamolle. Lopuksi puhdistettu jätevesi puretaan purkupuutken kautta vastaanottavaan vesistöön. (Karttunen 2010a, 25–26.) Tätä järjestelmää kuvaava kaaviopiirros on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 Kunnallisen jätevesijärjestelmän kaaviopiirros (Karttunen 2010a, 27).

Pitkillä etäisyyksillä viemäriverkoston sisältyvät myös siirtoviemärit, joiden pääasiallinen tarkoitus on siirtää jätevesi verkosta tai sen osasta kauempana sijaitsevaan puhdistamoon. Mikäli siirtoviemäriin varrelle sijoittuu asutusta, se

voi palvella myös kyseisen alueen viemäröintitarpeita. (Karttunen 2010b, 60.) Putkilinjojen lisäksi järjestelmään kuuluviksi luetaan pumppaamot, tunnelit, tarkastuskaivot sekä muut vastaavat rakenteet ja laitteet (Harju 2016, 148).

Vastuu vesihuollon järjestämisestä kuuluu kunnalle, jonka se tavallisesti täyttää hyväksymällä toiminta-alueen vesihuoltolaitokselle. Tällöin vesihuoltolaitos vastaa vesihuollosta toiminta-alueellaan. (Belinskij 2015, 7–8.) Viemäröinnin osalta raja veden käyttäjän ja vesihuollosta vastaavan tahon välillä on tavallisesti tontin rajalla tai tonttivilmäärin liittymiskohdassa. Toisena rakenteellisena rajana toimii jätevedenpuhdistamolta vesistöön johtavan purkuputken uloin pää. Ympäristönsuojelutarkastelun yhteydessä raja laajenee kattamaan myös sen alueen vesistöä, johon puhdistettu jätevesi vaikuttaa. (Karttunen 2003, 49.) Järjestelmä voi sisältää myös useamman kuin yhden palveluntuottajan. Kaikilla kunnilla ei esimerkiksi ole omaa jätevedenpuhdistamoa, vaan jätevedet johdetaan puhdistettavaksi toisen kunnan alueella sijaitsevaan puhdistamoon. Toisaalta osa verkostosta voi olla kunnan hyväksynnällä vesiosuuskunnan hallinnassa, jolloin se vastaa toiminta-alueensa verkostosta (Vesiosuuskunnat 2023).

2.1 Viemäröintimenetelmät

Yhdyskuntien alueelta poisjohdettavat vedet sisältävät kotitalouksien ja teollisuuden jätevesien lisäksi, myös hulevedet sekä viemäriin tarkoituksella johdetut salaojavedet ja tahattomasti kertyvät vuotovedet (Karttunen 2003, 50). Näiden vesien poisjohtamiseen käytettävät viemäröinnin pääjärjestelmät ovat erillisviemäröinti sekä aiemmin laajalti käytetty sekaviemäröinti. Viemäröinti pyritään toteuttamaan aina viettoviemäreillä, mutta esimerkiksi korkeuserojen vuoksi se ei ole kaikkialla mahdollista. Tällöin käytetään paineviemäriä, jonka pituus pyritään kuitenkin minimoimaan. (Karttunen 2010a, 26, 115–116, 118.)

2.1.1 Erillisviemäröinti

Erillisviemäröinti on menetelmä, jossa jäte- ja hulevesi johdetaan toisistaan erillään omissa järjestelmissään. Sen etuna sekaviemäröintiin nähden on jäteveden tasaisempi määrä ja laatu sekä pienempi viemäritulvan riski. Muun muassa näistä syistä erillisviemäröinti on parempi vaihtoehto niin verkoston ja puhdistamon toiminnan kuin vesiensuojelunkin kannalta. (Karttunen 2010a, 116, 119.)

Erillisviemäröinnissä hulevedet johdetaan niitä varten rakennetuissa putkistoissa tai avoviemäreissä. Etenkin haja-asutusalueilla hyödynnetään avo-ojia, ja putkiviemärit rakennetaan vain jätevesiä varten. Tiheämmin rakennetuilla alueilla järjestelmään kuuluvat myös hulevesiviemärit, joihin pyritään johtamaan hulevesien lisäksi perustusten kuivatusvedet. Hulevesiviemärit johdetaan suoraan purkuvesistöön tai päätetään tonttialueen ulkopuolella sopivaan avo-ojaan. (Karttunen 2010a, 116–117.) Tavallisesti hulevesiä ei puhdisteta, mutta niitä voidaan johtaa purkuvesistöön hulevesijärjestelmään kuuluvien viivytys- tai muiden rakenteiden kautta (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2023).

2.1.2 Sekaviemäröinti

Sekaviemäröinti on menetelmä, jossa jäte-, hule- ja kuivatusvedet johdetaan sekoittuneena samassa järjestelmässä. Se on aiemmin ollut pääasiallinen viemäröintimenetelmä kaupunkien ja taajamien tiheään rakennetuilla alueilla. (Karttunen 2010a, 118.) Nykyään uusia sekaviemäreitä ei enää rakenneta, mutta järjestelmä on edelleen käytössä joillakin vanhoilla asuinalueilla (Vesi 2023). Käytössä olevat sekaviemäröidyt alueet tulisi muuttaa mahdollisuuksien mukaan erillisviemäröidyiksi, sillä etenkin hulevesien aiheuttamat virtaamapiikit tuottavat ongelmia sekä verkostoissa että puhdistamoilla (Harju 2016, 149). Sekaviemäröinnille tunnusomaisia ovat tulvakynnysrakenteet, joiden kautta osa viemäriverdestä johdetaan tulvien aikaan suoraan vesistöön. Näin verkoston

putkikoot on saatu pidettyä kohtuullisina, eikä viemäreitä ole tarvinnut mitoittaa suurimpien virtaamien mukaan. (Karttunen 2010a, 118.)

2.1.3 Viettoviemäröinti

Viettoviemärin toimintatapa perustuu painovoiman vaikutukseen, joten veden virtauksen aikaansaamiseksi viemärin tulee olla riittävän kalteva. Kunnossa pysymisen edellytyksenä on, että viemäri on itsepuhdistuva eli virtausnopeus on aika ajoin riittävä huuhtomaan viemärin pohjalle laskeutuvan kiintoaineksen. (Karttunen 2003, 50.) Kaltevuutta ei kuitenkaan saa olla niin paljon, että vesi virtaa edellä karkuun jättäen kiintoaineen putken pohjalle. Jos viemäri on puolestaan liian vaakasuorassa, vesi ei virtaa riittävästä eikä kuljeta jätettä. (Harju 2016, 148.) Viemärin kaltevuuden vähimmäis- ja enimmäisarvot riippuvat alueen asukasluvusta, virtaamasta, johtokoosta ja putken materiaalista. (Karttunen 2003, 51–52.) Kaltevuuden alarajana pidetään yhtä prosenttia ja maksimiarvona noin 20 prosenttia. Viettoviemärissä ei myöskään tulisi olla notkokohtia, joihin kiintoaine kerääntyy aiheuttaen tukoksia. Normaali asennussyvyys viemärille on noin kaksi metriä, jolloin se on jäätymättömissä routarajan alapuolella. (Harju 2016, 148.)

2.1.4 Paineviemäröinti

Paineviemäröinti on pumppaukseen ja pienikokoisiin putkiin perustuva menetelmä, jota käytetään haja-asutusalueiden pitkillä etäisyyksillä sekä tasaisilla tai vaihtelevilla maastoilla (Kokemäen vesihuolto 2023). Pitkillä siirtolinjoilla yksittäisten paineviemäriosuuksien pituus on tavallisesti 2–6 km (Karttunen 2010b, 60). Paineviemäriä käytetään myös vesistöjen alituksiin ja osana viettoviemäröityä järjestelmää (Karttunen 1999, 165). Esimerkiksi notkossa sijaitsevalta asutusalueelta jätevedet voidaan siirtää paineviemärissä harjanteelle, josta viemäröinti jatkuu taas painovoimaisena (Harju 2016, 149).

Paineellisen järjestelmän etuna on, että paineputki voi myötäillä maaston muotoja ja kulkea pitkiäkin matkoja samassa syvyydessä. Etenkin haja-asutusalueilla se on myös kustannustehokas tapa toteuttaa viemärointi. Paineviemäriin pituus pyritään kuitenkin minimoimaan, koska siitä aiheutuu vaikeita työmaajärjestelyitä ja se lisää huoltotoimia pumppaamoilla. Lisäksi paineellisessa viemäriässä jäteveden viipymä on tyypillisesti pitkä, mikä aiheuttaa hajuhaittoja paineviemäriin purkupisteen lähistöllä. (Karttunen 2010a, 26–27, 115, 118.)

2.1.5 Viemäriin sijainti

Yleinen viemäri pyritään rakentamaan katualueelle tai muulle yleiselle alueelle, ottaen huomioon tietyt ohjeelliset normaalipoikkileikkaukset liittyen viemäriin sijaintiin sekä korkeusasemaan. Näin pystytään rakentamaan myös alueen muu kunnallistekniikka asianmukaisesti. Viemäriin tulee olla mahdollisuuksien mukaan niin syvällä, että kiinteistöt voivat liittyä siihen ilman pumppausta. Sivukaltevassa maastossa viemäri tulee sijoittaa tien tai kadun alareunan puolelle. Viemäriä ei pidä sijoittaa ojan pohjan kohdalle, sillä tällöin tarkastuskaivot estävät ojaveden vapaan virtauksen. Viemäriin kanssa samaan kaivantoon rakennetaan tavallisesti myös hulevesiviemäri ja vesijohto, jolloin säästetään maatyökustannuksissa. Kaivannossa viemäri tulisi sijoittaa muita johtoja syvemmälle niin, ettei vesijohdon korjaustöiden yhteydessä synny saastumisriskiä. (Karttunen 2010b, 99–102.)

2.2 Viemäriverkoston osat ja varusteet

2.2.1 Putket

Yleisimmät viemäriin putkimateriaalit ovat muovi ja betoni. Ominaisuuksiltaan putken tulee olla kestävä ja mekaanisesti lujaa, sillä siihen kohdistuu sekä sisäistä että ulkoista rasitusta. Sisäistä rasitusta putkelle aiheuttavat veden ja sen mukana liikkuvan kiintoaineen synnyttämä mekaaninen kulutus sekä

viemäriveden sisältämistä aineista johtuva kemiallinen korroosio. Ulkopuolelta tuleva rasitus syntyy puolestaan putkeen kohdistuvasta maanpaineesta ja liikennekuormasta. (Karttunen 2010b, 102.)

Rakennusvaiheessa putken tulee olla helposti käsiteltävää ja asennettavaa, mutta kestää suhteellisen kovakouraistakin käsittelyä. Hydraulisilta ominaisuuksilta putken sisäpinnan tulee olla sileä, tiivis ja virtausvastukseltaan pieni. Mahdollisimman yksinkertaiset putkiliitokset ovat toiminnaltaan varmissa, kunhan otetaan huomioon liitoksen tiiveys suunnitelman mukaisessa paineessa ja putkien liikkeessä toisiinsa nähden esimerkiksi täyttötöön yhteydessä tai maapohjan painumisen seurauksena. Käytettävän putken putkiluokka valitaan täyttömateriaalin ja sen tiiveyden sekä täytesyvyyden ja liikennekuormituksen mukaan. (Karttunen 2010b, 102–103, 105.)

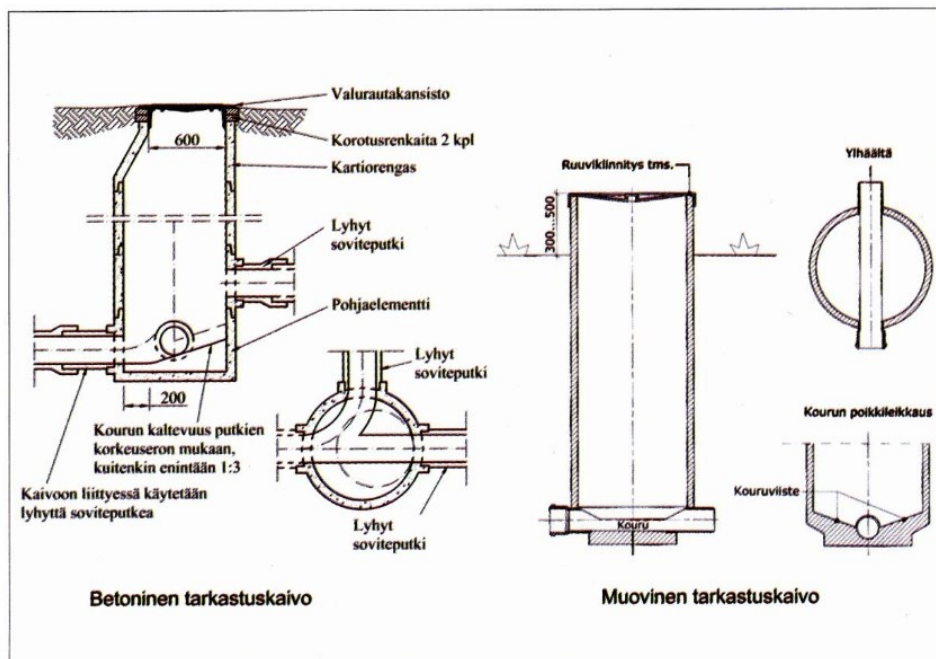
Viemäreinä käytettävät muoviputket valmistetaan PE-, PVC- tai PP-muovista (Karttunen 2010b, 103). Muoviputken etuna on hydraulinen edullisuus, sileä sisäpinta sekä rakennustyötä helpottavat keveys, helppo liitettävyyys ja suuri pituus (Karttunen 1999, 148). Muoviputkien käsittelyssä, kuljetuksessa ja varastoinnissa tulee kuitenkin olla huolellinen ja noudattaa varovaisuutta. Huolimaton toiminta voi aiheuttaa esimerkiksi putken naarmuuntumisen, litistymisen tai lohkeamisen. (Harju 2016, 151.)

Betoniputkina käytetään Betoniputkinormien 2001 tai EK-järjestelmän mukaisesti valmistettuja, muodoltaan pyöreitä, jalallisia tai munanmuotoisia putkia. Putkissa käytetään muhviilitosta ja niiden hyötypituus vaihtelee 1,5–2,25 metrin välillä. Saatavilla on lisäksi soviteputkia, haaraputkia ja käyriä. EK-putkissa on tehtaalla valmistuksen yhteydessä asennetut tiivisteet, ja järjestelmän liitososat pysyvät tiiviinä sauman kulmamuuutoksista huolimatta. (Karttunen 2010b, 103–105.) Betoniputkien etuna on suuri kuormituskestävyys, minkä vuoksi ne soveltuvat kohteisiin, joissa täytesyvyys on pieni. Betoniputket ovat kuitenkin lyhyitä ja painavia mikä hidastaa sekä vaikeuttaa niiden asennustyötä. (Pirkola 2023.) Muita betoniputkiin liittyviä ongelmia ovat

korrosio, vuotavat liitokset, halkeamat sekä kasvien tai puiden juurien aiheuttamat tukokset (Harju 2016, 235).

2.2.2 Tarkastuskaivot

Tarkastuskaivot ovat betonista tai muovista valmistettuja kaivoja, joita rakennetaan viemäriinlinjalle tarkastusta ja kunnossapitoa varten. Kaivoja sijoitetaan vähintään 100 m välein viemäriinlinjan suorille osuuksille, viemäriin haarautumiskohtiin, vaaka- tai pystytason taitekohtiin ja tonttijohtojen liitoskohtiin. Betoni- ja muovikaivon tyypillinen rakenne on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2 Betonisen sekä muovisen tarkastuskaivon rakenne (Karttunen 2010b, 106).

Kaivot ovat tavallisesti tehdasvalmisteisia, joko täyskorkeita tai teleskoopillisia valmiskaivoja. Kelluvalla kansistolla varustettuja teleskooppirakenteisia kaivoja käytetään erityisesti liikennealueilla, jolloin kansisto voidaan säätää kadun pinnan kaltevuuden mukaan ja sen reuna tukeutuu päällysteeseen. Betonisten kaivojen yleisimmät halkaisijakoot ovat 800 mm ja 1000 mm. Muovikaivot ovat halkaisijaltaan tyypillisesti 500–1000 mm. (Karttunen 2010b, 108, 110.)

2.2.3 Tarkastusputket

Tarkastuskaivojen sijasta tai niiden rinnalla käytetään tapauskohtaisesti pienempiä, halkaisijaltaan 150–400 mm:n levyisiä tarkastusputkia. Näin voidaan toimia esimerkiksi kustannussyistä, jos viemäriin kaltevuuden tai virtaamaolosuhteiden takia on olemassa tukkeutumisvaara, mutta tarkastuskaivoja ei haluta rakentaa kovin lähelle toisiaan. Mikäli etäisyys tarkastuskaivoon on pieni, niin tarkastusputkia voidaan hyödyntää johtolinjojen pienissä taitekulmissa. Lisäksi tarkastusputkea voidaan käyttää tarkastuskaivon sijasta tonttiliittymän liitoskohdassa. (Karttunen 2010b, 109.)

2.2.4 Tonttiliitynnät

Tonttivilmäri on mahdollista liittää yleiseen viemäriin joko tarkastuskaivoon tai suoraan viemäriin. Etenkään suoraan betoniputkeen liittäminen ei kuitenkaan ole yleisesti hyvänä pidetty liitostapa, sillä se vaikeuttaa tonttivilmäriin kunnossapitoa sekä lisää vuodon ja tukkeutumisen riskiä. Muoviputkeen liittyessä on hyvä käyttää valmista liitoskappaletta, mikä vähentää vuodon mahdollisuutta. Suoran liitoksen etuna on joustavat liittymismahdollisuudet ja vähäisempi tarve tarkastuskaivoille yleisessä viemäriin. (Karttunen 2010b, 111.)

2.2.5 Ilmanvaihtojärjestelmät

Tehokas ilmanvaihto on tärkeä osa viemäriverkostoa, sillä sen avulla jätevedessä kehittyvät, korroosiota aiheuttavat kaasut saadaan johdettua ulos viemäristä. Luonnollinen ilmanvaihtoreitti on tonttijohdon kautta kiinteistön sisäisen viemäriin nousujohtoon, joka jatkuu tuuletusputkena rakennuksen katolle. (Karttunen 2004, 484.) Ilmaa imeytyy viemäriin vedon seurauksena myös kulkuaukkojen ja kansiin kautta sekä WC-huuhteluiden yhteydessä (Karttunen 2010a, 131). Varsinaisen ilmanvaihtoputken rakentaminen voi tulla kysymykseen, jos viemäriin on pitkä ja suhteellisen vähän käytetty. Tällöin

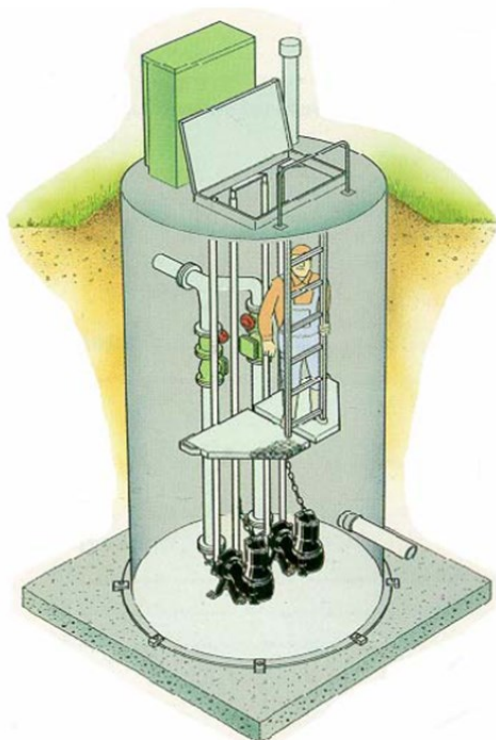
yksinkertainen ratkaisu on rakentaa korkean rakennuksen seinää pitkin kattotason yläpuolelle nouseva halkaisijaltaan vähintään 100 mm ilmanvaihtoputki. (Karttunen 2004, 484.)

2.2.6 Jätevedenpumppaamot

Jätevedenpumppaamoja käytetään pitkissä viemäriinjoissa, kun kaltevuuden vuoksi putki joutuu liian syvälle maahan. Sopivin välimatkoin rakennettujen pumppaamojen avulla jätevesi nostetaan lähemmäksi maanpintaa, jolloin viemäri voi jatkaa taas viettoviemärinä seuraavalle pumppaamolle. (Harju 2016, 153.) Paineviemäroidyillä osuuksilla pumppaamojen sijoitteluun vaikuttavat korkeussuhteet, liittymistarpeet sekä toiminnalliset tekijät. Pumppaamoja käytetään keventämään pumpuilta vaadittavaa nostokorkeutta sekä vähentämään paineiskujen voimakkuutta ja hajuhaittoja. (Karttunen 2010b, 60.)

Pumppaamoita valmistetaan erimallisina, ja ne eroavat toisistaan sekä rakenteeltaan että ominaisuuksiltaan (Siintoharju 2016, 19). Perinteisesti pumppaamot on valmistettu betonista, mutta nykyisin on saatavilla myös lasikuituvahvisteisesta muovista valmistettuja asennusvalmiita pumppaamoja (Grundfos 2023a). Pumppaamotyypin ja sen ominaisuuksien valintaan vaikuttavat muun muassa tarvittava säiliökapasiteetti, kustannusvaikutukset, käyttö- ja huoltotoimenpiteet sekä asennusmahdollisuudet maastossa (Grundfos 2014).

Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen kunnallisessa jätevesiverkostossa käytettävä kahdella uppopumpulla varustettu pumppaamo. Pumppaamon imukaivon läpi kulkee pystysuunnassa kaksi johdinputkea, joiden varassa pumpput lasketaan kaivon pohjalle oman painonsa varaan. Johdinputkia pitkin pumpput voidaan myös tarvittaessa nostaa ylös märkätilasta huoltotoimenpiteiden ajaksi. Kuvan pumppaamo on asennettu valetun betonilaatan päälle ja sen ohjauskeskus sijaitsee maan pinnalla imukaivon päällä.



Kuva 3 Kunnallistekniikassa käytetty esimerkipumppaamo (Grundfos 2014).

Kahden pumpun järjestelmässä pumppaus voidaan suorittaa joko sekaviemäroityyn järjestelmään sopivalla rinnakkaiskäytöllä tai erillisviiemäroityyn järjestelmään sopivalla vuorottelukäytöllä. Pumppujen toimintaa ohjataan veden pinnankorkeutta seuraavilla pinta-antureilla, jotka määrittävät pysäytys- ja käynnistystasot. Tavallisesti kaivossa on neljä anturia: pysäytystaso, kaksi eri korkeudella olevaa käynnistystasoa ja hälytystaso. Toimintaperiaatteena on, että vedenpinnan noustessa käynnistystasolle alkaa vuorossa oleva pumppu pumpata, kunnes pinta laskeutuu pysäytystasolle. Kahden käynnistystason avulla voidaan tarvittaessa käynnistää toinen pumppu, jos ensimmäinen pumppu ei käynnisty ja veden pinta jatkaa nousuaan. Vedenpinta voi nousta toiselle käynnistystasolle myös, mikäli suuren virtaaman aikana yksi pumppu ei pysty käsittelemään koko tulevaa vesimäärää. Tällöin molemmat pumput pumppaavat rinnakkain, kunnes vedenpinta saavuttaa pysäytystason. (Grundfos 2023b.) Hälytysanturin avulla saadaan puolestaan tieto kaukovalvontaan, jos veden pinta nousee jostain syystä liian korkealle.

Pumppaamot varustetaan ylivuotoputkella tai -kynnyksellä, jonka tarkoitus on estää viemärin tulviminen. Häiriötilanteessa tai poikkeuksellisen suurien virtaamien aikaan osa viemäriverdestä johdetaan ylivuodon kautta, joko järjestelmän toiseen osaan tai suoraan purkuvesistöön. (Karttunen 2010b, 114.) Mikäli ylivuoto aiheutuu häiriötilanteesta, niin on tilanne ympäristön kannalta vakavampi, sillä tällöin vesi on pääosin jätevettä. Poikkeuksellisen suuret virtaamat sisältävät puolestaan runsaasti viemäriin pääseviä vuotovesiä, mikä tekee jätevedestä laimeampaa.

Pumppaamojen monitorointi on tärkeä osa viemäriverkon hallintaa, sillä sen avulla saadaan ajantasaista tietoa, mitä verkostossa tapahtuu. Verkkopohjaisten valvonta- ja hallintajärjestelmien avulla pystytään muun muassa optimoimaan pumppaamojen toimintaa ja reagoida yllättävien käyttökatkosten aiheuttamiin ongelmiin. (Grundfos 2023a.) Pumppaamon logiikkaa käytetään myös virtaamamittaukseen, joka yksi tyypillisimmistä vesihuoltolaitoksilla tehtävistä mittauksista. Pumppaamot toimivat hyvinä mittauspisteinä, sillä niitä sijaitsee eripuolilla verkostoa, ja ne sisältävät valmiiksi mittaamiseen tarvittavaa tekniikkaa. Yleisimmin käytössä oleva mittaamenetelmä on astiamittaus, jossa pumppaamon logiikka laskee virtaaman imukaivon pinta-alan sekä käynnistys- ja pysäytystasojen avulla. (Laakso 2015, 7, 34, 82.)

2.3 Verkoston hallinta sekä valvonta- ja ohjausjärjestelmät

2.3.1 Verkkotietojärjestelmät

Vesihuoltolaitoksen toiminnan ja verkosto-omaisuuden hallinnan kannalta on tärkeää ylläpitää kattavat perustiedot sisältävää verkkotietokantaa (Välisalo ym. 2008, 44). Verkkotietokannan avulla voidaan analysoida verkon tilaa ja suunnitella huoltokierroksia sekä investointeja. Järjestelmät tarjoavat työkaluja myös asiakkaiden tiedottamiseen ja verkoston mallintamiseen. (Keypro 2023.) Verkkotietokannan keskeinen osa on johtokartta. Verkkopohjainen johtokartta mahdollistaa verkoston laitteiden ja putkien tarkan sijainnin määrittämisen,

aineiston helpon ylläpidon ja päivittämisen sekä mahdollisuuksia esimerkiksi eri johtolajien suodattamiseen. Verkkopohjaisessa järjestelmässä voidaan hyödyntää myös paikannusta, mistä on apua erityisesti asennus- ja kunnossapitotöiden yhteydessä. Johtokartasta tulisi löytyä perustietoina ainakin verkoston ja putkien määrä, asennusvuosi, materiaalit ja putkikoot (Välisalo ym. 2008, 44). Tavallisesti johtokartasta löytyy myös sijainnit, korkeusasemat, tarkastuskaivot ja muut laitteet sekä niiden tiedot.

Käyttöiän ja erilaisten vikaantumistekijöiden välisien suhteiden arvioinnin kannalta on tärkeää, että tietokantaan kerätään myös verkoston toiminnallisia tietoja. Keskeisiä toiminnallisia tietoja ovat muun muassa kuntotutkimusten yhteydessä saadut raportit, kunnossapitotöiden aikana tehdyt kuntoarviot, komponenttien vaihdot, tukosten aukaisut, vuotojen korjaukset ja huuhtelut. Keräämällä verkoston ns. alkuperäiset tiedot ja tallentamalla vuosittaiset tilanteet voidaan koota hyvinkin tarkkoja uusimisprofiileja sekä rakentaa vikaantumismalleja uusille putkimateriaaleille. (Välisalo ym. 2008, 44.)

2.3.2 Pumppaamojen valvonta- ja ohjausjärjestelmät

Muutokset vesihuoltolaitosten toimintaympäristössä ja käyttöorganisaatioissa ovat johtaneet entistä automaattisempien järjestelmien käyttöönottoon. Nykyaikaisella tekniikalla voidaan hallita laajojakin kokonaisuuksia ja hyödyntää tietoa eri käyttötarkoituksiin. Viemäriverkostossa automaatiojärjestelmiä käytetään sekä verkon ohjaukseen että valvontaan. (Karttunen 2010a, 159–160, 168.)

Viemäriverkon ohjaus toteutetaan tavallisesti pumppaamokohtaisesti. Automaattisen ohjauksen perustehtävä on tasata virtaamaa verkostossa niin, että verkosto toimii optimaalisesti, eikä esimerkiksi jätevedenpuhdistamo kuormitu tarpeettomasti. Ohjauksen avulla voidaan vähentää paineviemäriin paineiskuja ja hajuhaittoja sekä selvittää laitevikoja- ja häiriötilanteita. Ohjausjärjestelmät mahdollistavat myös kaukokäytön manuaalisen ohjauksen häiriötilanteissa sekä paikallisen manuaalisen ohjauksen huoltotilanteissa.

(Karttunen 2010a, 168–169.) Verkoston valvonta tapahtuu pitkälti valvontajärjestelmien avulla, joita käytetään esimerkiksi pumppaamoiden toiminnan ja virtaaman valvontaan sekä ylivuotojen ja energiankulutuksen seurantaan (Karttunen 2010a, 168).

2.4 Säädökset ja lainsäädäntö

Vesihuolto on luonteeltaan monitahoinen järjestelmä, mistä kertoo myös sitä koskevat säädökset, jotka ovat hajallaan lainsäädännössä. Valtaosa säännöksistä sijoittuu johonkin seuraavista pääryhmistä: yleinen terveydenhuolto, yhdyskunnan rakentaminen, vesivarojen hyväksikäyttö ja suojele. (Karttunen 2010a, 28.) Vesihuollon kannalta tärkeimpiä lakeja ovat vesihuoltolaki, vesilaki, maankäyttö- ja rakennuslaki, terveydensuojelulaki ja ympäristönsuojelulaki. Vesihuoltolaissa säädetään vesihuollon kehittämisestä, järjestämisestä ja hoitamisesta sekä asiakkaan ja vesihuoltolaitoksen välisistä suhteista. Johtojen sijoittamisesta säädetään vesilaissa sekä maakäyttö ja rakennuslaissa. Terveydensuojelulaissa säädetään jäteveden osalta sen johtamisesta ja puhdistamisesta sekä viemäröinnistä ihmisten terveyden näkökulmasta. Ympäristönsuojelulakia puolestaan sovelletaan ympäristön pilaantumisen tai sen vaaran ehkäisemiseen. Vesihuollon valvontaviranomaisina toimivat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus sekä kunnan ympäristö- ja terveydensuojeluviranomainen. (Belinskij 2015, 7, 9.)

3 Vuotovedet

Laveasti määriteltynä vuotovedellä tarkoitetaan jätevesiviemäriin päätyvää, sinne kuulumatonta vettä (Franz 2007, 5; Sola ym. 2018, 1). Tällä vedellä on epätoivottuja vaikutuksia jätevesien johtamiseen sekä käsittelyyn määrällisenä lisäkuormituksena ja jäteveden laatua muuttavana tekijänä (Franz 2017, 5). Verkostoon vuotovedet kulkeutuvat muun muassa rikkoutuneiden tai huonosti tiivistetyiden rakenteiden sekä virheellisesti kytkettyjen hulevesijärjestelmien kautta (Karttunen 2004, 464; Franz 2007, 5; Sola ym. 2018, 1).

Englanninkielisessä kirjallisuudessa vuotovedet on tavallisesti jaettu termein ”infiltration” ja ”inflow”, jotka Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston (EPA 2014, 1) määritelmän mukaan käsittävät viemäriin päätyvät pohjavedet (infiltration) sekä sadevedet (inflow). Suomenkielisessä kirjallisuudessa vastaavaa lajittelua pohja- ja sadevesien osalta ei käytetä yhtä vahvasti, eikä termeille löydy laajalti yhtenäisesti käytettyjä käännöksiä.

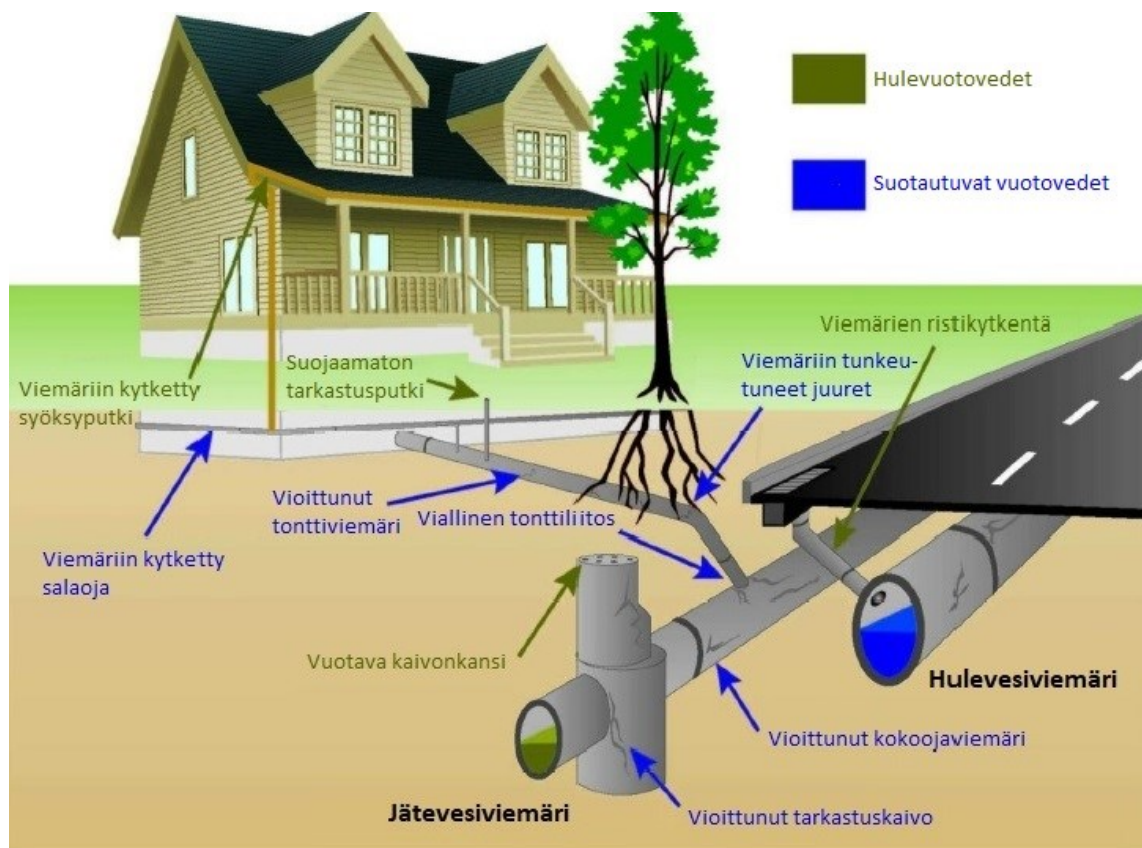
Karttusen (2004, 464) mukaan vuotovedet sisältävät ympäröivästä maaperästä tai kaivannon täytteestä tahattomasti viemäriin tulevat vedet ja niiden määrää arvioidessa luetaan mukaan kuuluvaksi myös viemäriin salaojitusten kautta johdetut kuivatusvedet. Suomen Vesilaitosyhdistyksen (2021, 33) vuosittain julkaisemassa Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportissa vuotovedeksi katsotaan kuuluvan kaikki se viemäriverkoston vesi, joka ei ole vesihuoltolaitoksen laskuttamaa jätevettä. Vienonen ym. (2017, 10, 13) puolestaan määrittävät Suomen ympäristökeskuksen julkaisemassa raportissa vuotovedeksi epätoivotun virtauksen viemärijärjestelmässä ja mainitsevat sen olevan pääosin sade- ja kuivatusvettä.

Suomalaisissa yliopistoissa tehdyissä diplomitöissä vuotovesien tarkemmassa jaottelussa on käytetty muutamia erilaisia termejä. Ranta (2016, 3) käyttää työssään nimityksiä varsinainen vuotovesi sekä hulevesi, kun Salmen (2017, 9) vastaavat taasen ovat suotautuva vuotovesi (pohja- ja vajovedet) sekä pintavaluntana vuotava vuotovesi (hulevedet). Viemäriin päätyvistä hulevesistä Hämeen ammattikorkeakoulun luentomateriaaleissa (Ojala 2005) käytetään

Forssin (2005, 25) mukaan nimitystä hulevuotovesi. Vaikka viemäriin päätyvien vuotovesien osalta ei ole syntynyt täysin vakiintuneita termejä, on edellä esitetyn kaltainen jaottelu niiden lähemmässä tarkastelussa hyödyllistä. Tässä opinnäytetyössä vuotovedet jaetaan maa- ja pohjavesistä koostuviin suotautuviin vuotovesiin sekä sade- ja sulamisvedet sisältäviin hulevuotovesiin.

3.1 Vuotovesien lähteet

Tyypillisesti viemärissä virtaava vuotovesi koostuu useista eri lähteistä peräisin olevasta kokonaisuudesta. Yksittäiset vuodot saattavat olla pieniä, mutta verkostojen laajuuden ja vuotolähteiden määrän vuoksi vuotoveden osuus voi kasvaa hyvinkin suureksi. Kuvassa 4 on esitetty tyypillisiä vuotoveden lähteitä käyttämällä hulevuotovesien ja suotautuvien vuotovesien mukaista jaottelua.



Kuva 4 Tyypillisiä vuotovesien lähteitä (muokattu lähteestä, Needham Department of Public Works 2023).

Juuri vuotojen hajanaisuus tekee vuotovesien torjumisesta hankalaa. Koko verkoston kattavia kuntotutkimuksia ei ole järkevää tai mahdollista toteuttaa, mikä korostaa saneeraustoimenpiteiden kohdistamisen tärkeyttä. Toisaalta asentajien ammattitaito ja huolellinen työ verkoston rakennusvaiheessa on avainasemassa, jotta liitoksista saadaan tiiviitä ja kestäviä.

3.1.1 Suotautuvat vuotovedet

Ympäröivästä maaperästä vesi pääsee suotautumaan verkostoon vuotavista putkiliitoksista, särkyneistä putkista, huokoisista putkenseinämistä ja tarkastuskaivojen vioittuneista rakenteista. Lisäksi suotautuvia vuotovesiä kulkeutuu viemäriin siihen kytkettyjen rakennusperustusten tai vastaavien rakenteiden salaojituksen kautta. Pääosa vuodoista tapahtuu liitosten kautta ja huomiota tulisikin kiinnittää asennus- sekä liitostapoihin. (Karttunen 2004, 464.) Erityisen herkkien putki- ja tonttiliitosten yhteydessä esiintyvistä ongelmista Franz (2007, 25) mainitsee muun muassa seuraavat:

- puuttuva, paikaltaan siirtynyt tai vioittunut tiiviste
- tiivistemateriaalien väärä käyttö
- yhteensopimattomat putkikoot
- tulppaamaton putkenpää
- liitoskohdan virheellinen tukeminen (esim. terävät kivet tai kallio)

Tarkastuskaivojen osalta ongelmat ovat samankaltaisia. Materon (2017, 52) osana diplomityötään toteuttaman kyselytutkimuksen mukaan kunnossapidon asiantuntijat pitivät kaivojen selvästi yleisimpänä vuotoreittinä betonirenkaiden saumakohtaa tai muovikaivon teleskoopin ja rungon välistä saumakohtaa. Muita esiin tulleita suotautuvien vuotovesien reittejä olivat muun muassa putkiliitokset sekä rungon ja pohjan vauriot. Suomen Vesilaitosyhdistyksen (2013, 11, 15, 19–24) julkaisemassa Viemärikaivojen kuntotutkimusohjeessa esitetyiden

tarkastuskaivoissa ilmenevien vikojen osalta suotautuvien vuotovesien määrää lisäävinä voidaan puolestaan pitää ainakin seuraavia:

- halkeamat rakenteessa, irronnut pala tai sortuma
- huokoinen betonirengas tai muovikaivon hitsausliitoksessa oleva vika
- vuotava putkiliitos
- rakenneosien välissä oleva tiiviste on osittain tai kokonaan irronnut
- rakenneosat eivät ole oikeilla paikoillaan toisiinsa nähden

Viemäriverkoston rakentamisessa käytettyjen materiaalien korroosiolla on merkittävä vaikutus järjestelmän kestoikään ja siten myös vuotovesiin. Erityisesti metallit ovat herkkiä korroosiolle, mutta korroosiota esiintyy myös betonissa ja muovissa. (Karttunen 2003, 279.) Harjun (2016, 225) mukaan korrosio on ajan kuluessa vääjäämätöntä ja eri muodoissaan se on vuotojen yleisin syy. Korroosion tai murtumien seurauksena myös puiden juuret voivat lisätä vuotoveden määrää, kun ne tunkeutuvat verkoston sisään ja kasvaessaan laajentavat murtumakohtaa edelleen (WEF 2016, 25).

Maalajien vedenläpäisevyys vaikuttaa suotautuvien vuotovesien määrään, sillä mitä paremmin hulevesi imeytyy maahan, niin sitä enemmän viemäriin suotautuvaa vettä on tarjolla. Yleensä vesi imeytyykin putkikaivannon karkearakenteiseen täytemaahan helpommin kuin luonnolliseen koskemattomaan maaperään. (Karttunen 2004, 465.) Kaivannolla on myös varastoiva vaikutus, ja se voi vetää suuriakin vesimääriä, mikä pitkittää vuotoaika sadetapahtuman tai lumen sulamisen päätyttyä (Karttunen 2010b, 154). Virheellisesti suoritettun putkikaivannon täytön tai perustusten kaivamisen vuoksi voi kaivantoon syntyä vettä johtava reitti, mikä lisää virtausta kaivannossa ja kasvattaa mahdollisen vuotokohdan vaikutusaluetta. Lisäksi kaivannossa virtaava vesi voi huuhtoa maata mukanaan, mikä heikentää putken

tuentaa ja altistaa sen rasitukselle, edesauttaen liitosten tai putken vaurioitumista. (Karttunen 2004, 613.)

3.1.2 Hulevuotovedet

Hulevuotovedet koostuvat sade- ja sulamisvesistä, jotka pääsevät Lampolan ym. (2015, 2) mukaan virtaamaan viemäriin suoraan maanpinnalta vioittuneiden tai puutteellisten verkoston rakenteiden sekä laittomasti kytkettyjen hulevesijärjestelmien kautta. Rakennusten katoilta ja pihamailta laittomasti viemäriin johdettavat hulevedet ovat yksi suurimmista vuotovesien lisääjistä. Esimerkiksi suurehkolta 1000 m²:n kokoiselta kattopinta-alalta voi voimakkaiden sateiden aikana kertyä vesiä 10 l/s. (Karttunen 2004, 465–466.) Toinen tyypillinen viemäriin päätyvän huleveden lähde on ympäröivän maapinnan alapuolelle sijoitettu tarkastuskaivon kansi (Matero 2017, 52). Vesi voi virrata kaivonrenkaan ja kannen välistä (Karttunen 2010b, 153) tai kannen avaamista varten siinä olevien nostokoukun reikien läpi (Karttunen 2004, 465).

Yliveden aikaan verkostoon voi johtua purkuvesistön vettä väärin asennettujen tulvaviemärien kautta (Karttunen 2010b, 153). Purkuvettä voi johtua verkoston sisään myös pumppaamon ylivuotoputken kautta purkuvesistön aiheuttaessa padotusta, mikäli putkea ei ole varustettu asianmukaisesti takaisinvirtauksen estoventtiilillä. Virheellisten asennusten seurauksena jäte- ja hulevesiviemäriin välillä voi puolestaan olla ristikytkentä (Skanska 2022). Koska jätevesiviemäri sijoitetaan tavallisesti kaivantoon alimmaksi (Karttunen 2010b, 102), pääsee hulevesi ristikytkentätapauksissa virtaamaan useimmin jätevesiviemäriin.

3.2 Vuotovesien vaikutukset

Vuotovesistä aiheutuvat haitat ovat moninaisia ja niillä on sekä toiminnallisia että taloudellisia vaikutuksia, jotka ovat nähtävissä verkoston eri osissa (Franz 2007, 38). Verkoston ylimääräiset vedet kuluttavat turhaan sähköä, energiaa ja kemikaaleja sekä aiheuttavat painetta tehdä kapasiteetin vajeesta johtuvia

investointeja niin jätevedenpumppaamoilla kuin -puhdistamoilla (Lampola ym. 2015, 1).

3.2.1 Vaikutukset verkostossa

Viemärin välittömässä läheisyydessä vuotovedet aiheuttavat pohjaveden pinnan alenemista, kun normaalisti pohjavedeksi suotautuva hulevesi kulkeutuu viemärin kautta pois alueelta. Pohjaveden pinnan ollessa korkealla voi myös sitä johtua viemäriin rikkoutuneiden rakenteiden kautta. Mikäli alueen maalajit ovat kokoonpuristuvia, saattaa seurauksena olla lisäksi maanpinnan painumista. (Karttunen 2004, 465.)

Verkostossa ylimääräinen vesi vähentää viemärin kuljetus- ja varastointikapasiteettia, mikä voi johtaa pahimmillaan tulvimiseen. Tämä on riski erityisesti, jos jätevedelle mitoitettuun viemäriin johdetaan hulevesiä katoilta ja pihamailta laittomien liitäntöjen kautta, jolloin hetkelliset virtaamat voivat olla huomattavan suuria. (Karttunen 2004, 465.) Vuotoveden mukana viemäriin voi kulkeutua myös maa-ainesta, mikä yhdessä suuren virtausnopeuden kanssa lisää putken mekaanista kulutusta. Pienemmillä virtausnopeuksilla kiintoaines puolestaan aiheuttaa saostumia ja kerrostumista, mikä kasvattaa viemärin tukkeutumisvaaraa. (Karttunen 2004, 467–468; Franz 2007, 39.)

Jätevedenpumppaamolla vuotovesien aiheuttama ylikuormitus lisää energiankulutusta ja vähentää muun muassa pumppujen käyttöikää lisääntyneiden käynnistyskertojen sekä pidentyneiden käyntiaikojen seurauksena (Franz 2007, 38). Ongelma on kertautuva, sillä verkoston rakenteen vuoksi samat vedet täytyy yleensä pumpata useamman pumppaamon kautta (Lampola & Kuikka 2018, 23). Suurien virtaamapiikkien aikana pumppaamon kapasiteetti voi myös ylittyä, jolloin jätevesi ohjataan ylivuodon kautta vastaanottavaan vesistöön (Franz 2007, 38).

3.2.2 Vaikutukset jätevedenpuhdistamoilla

Jätevedenpuhdistamoilla vuotovesien aiheuttamia ongelmia esiintyy erityisesti lumiensulamisen ja voimakkaiden sateiden aikaan, kun vuotovesimäärät ovat suurimmillaan (Laitinen ym. 2014, 29). Viemäreiden kuntotutkimusoppaan (Lampola & Kuikka 2018, 23) mukaan vuotovesien osuus puhdistamolle saapuvasta jätevedestä voi olla jopa 80 prosenttia. Suuret virtaamapiikit saattavat johtaa puhdistusprosessin ohitukseen, sillä vuorokausikohtaista virtaamavaihtelua varten rakennettuja tasausaltaita ei ole järkevää mitoittaa vuosittaisten huippuvirtaamien mukaan. Kun tasausaltaiden kapasiteetti ylittyy, on ainoana vaihtoehtona biologisen prosessin ohittaminen, jotta puhdistusprosessin kannalta tärkeä aktiiviliete saadaan pidettyä selkeytsaltaissa. (Laitinen ym. 2014, 29.) Alkujaan puhtaat vuotovedet myös laimentavat jätevettä, mikä häiritsee puhdistusprosessia ja vaikeuttaa kemikaalien annostelua (Lampola & Kuikka 2018, 23). Lisäksi vuotovedet ovat yleensä talousjätevesiä kylmempiä, jonka seurauksena jäteveden lämpötila laskee. Tämä hidastaa biologisen prosessin toimintaa ja heikentää muun muassa typenpoiston tehokkuutta. (Laitinen ym. 2014, 29.)

3.3 Vuotovesien määrä

Vuotovesien määrään vaikuttavat sadeolot, maaperän ominaisuudet, pohjaveden pinnankorkeus, verkoston ikä ja rakennusmateriaalit, asennustavat sekä laittomien liitännöiden määrä (Karttunen 2004, 465–466). Tyypillinen tapa ilmoittaa vuotovesien määrä on laskea niiden prosentuaalinen osuus viemäriverkostossa kulkevasta tai puhdistamolle päätyvästä kokonaisjätevesimäärästä. Suomessa tämä osuus on viimevuosien aikana ollut keskimäärin 40 prosentin luokkaa, (ROTI 2017, 33; Sola ym. 2018, 1; Vesilaitosyhdistys 2022, 33) kun vuosittaiseksi tavoitearjaksi vuotovesimäärälle on Koksikalan ym. (2021, 47) mukaan määritetty alle 30 prosenttia.

Laitoskohtaista tietoa vesihuollon tunnusluvuista on kerätty 1990-luvulta asti erilaisiin tietojärjestelmiin, joista kattavin on vuodesta 2016 lähtien käytössä

ollut ympäristöhallinnon VEETI-tietojärjestelmä. VEETI on vesihuoltolakiin perustuva järjestelmä, ja kaikki vesihuoltolaitokset, joilla on kunnan vahvistama toiminta-alue ovat velvoitettuja toimittamaan tietonsa siihen. Vesihuoltolaitosten toimintaa kuvaavat tunnusluvut päivitetään vuosittain raportteihin, jotka ovat nähtävissä Ympäristöhallinnon yhteisessä verkkopalvelussa. (Ympäristöhallinto 2021.)

VEETI-järjestelmässä vuotovesiä kuvaava tunnusluku eli laskuttamattoman jäteveden osuus lasketaan kaavalla (Ympäristöhallinto 2023):

$$\left(\frac{K + L1 + L2 - L3 - M}{K + L1 + L2} \right) \times 100 \%$$

jossa,

K, puhdistamoille tuleva jätevesi (m³/a)

L1, ohitusjätevesimäärä verkostossa (m³/a)

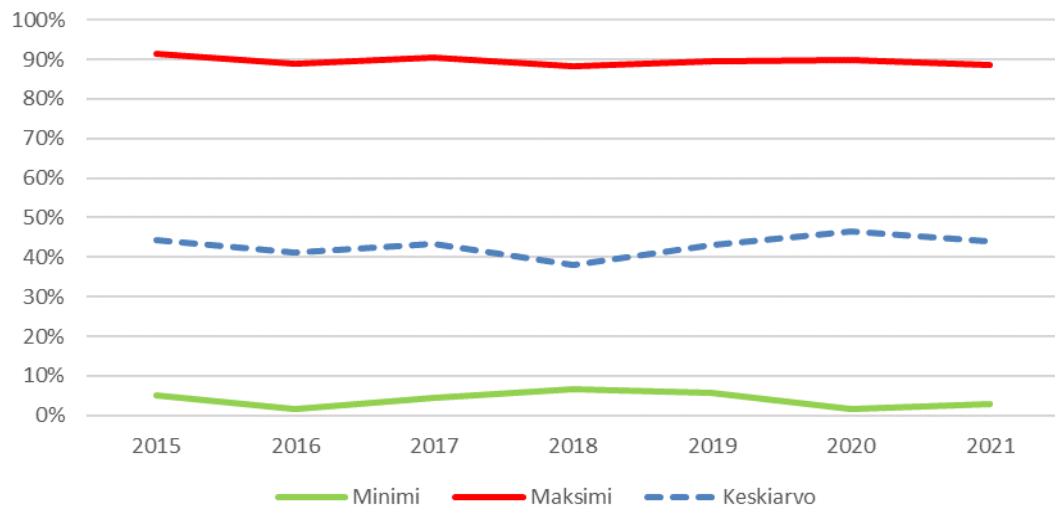
L2, muualla johdettu jätevesimäärä (m³/a)

L3, vastaanotettu jätevesi (m³/a)

M, laskutettu jätevesi (m³/a)

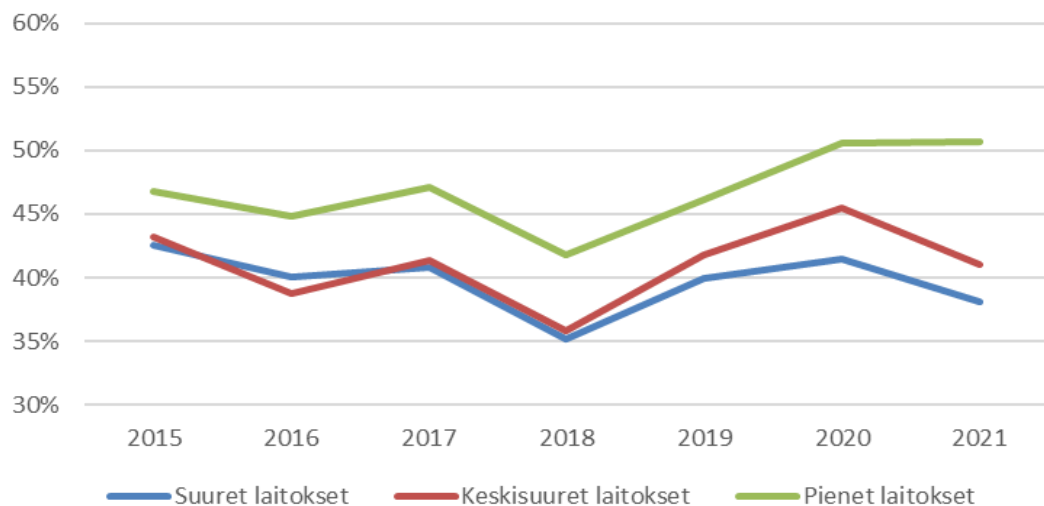
Alla on esitetty VEETI-järjestelmän aineistosta kootuin kuvaajin vuotovesiprosentit vuosina 2015–2021. Tarkasteluun valittiin yhteensä 248 vesihuoltolaitosta, jotka olivat raportoineet tiedot vähintään yhtenä vuotena tarkastelujakson aikana. Kuvaajissa ei otettu huomioon nolla-arvoja tai laitoksen muista raportoiduista vuosista selvästi poikkeavia arvoja niiden mahdollisen virheellisyyden vuoksi.

Kuvasta 5 nähdään, että yksittäisten laitosten välillä vuotovesiprosenteissa on huomattavia eroja, sillä osuudet vaihtelevat noin 2–90 prosentin välillä. Vuotovesiprosentin keskiarvo on tarkastelujakson aikana 44 prosenttia ja alle 30 prosentin tavoiterajan saavutti vuosittain vain 13 prosenttia laitoksista.



Kuva 5 Vuotovesiprosentit vuosina 2015–2021.

Kuvassa 6 on esitetty keskimääräiset vuotovesiprosentit jakamalla laitokset kokoluokittain lasketun veden mukaan pieniin laitoksiin (<250 000 m³/a), keskisuuriin laitoksiin (250 000–1 000 000 m³/a) ja suuriin laitoksiin (>1 000 000 m³/a).



Kuva 6 Vuotovesiprosentit laitosten kokoluokittain vuosina 2015–2021.

Tarkastelemalla laitoksia niiden kokoluokittain huomataan, että pienillä laitoksilla vuotoveden osuudet ovat selkeästi suurimmat. Suurten ja keskisuurten laitosten välillä ero on pienempi, mutta vuotta 2016 lukuun ottamatta suuret laitokset ovat menestyneet vertailussa parhaiten. Tämä kertoo myös yleisesti vesihuoltolaitosten tilanteesta, sillä Koskikalan ym. (2021, 23) mukaan suuremmilla laitoksilla on usein käytössä paremmat taloudelliset resurssit. Pienillä laitoksilla resurssipula näkyy esimerkiksi vesihuollon suunnittelussa ja hankkeiden toteuttamisessa, kun kunnossapitoa ei pystytä hoitamaan järjestelmällisesti (Koskikala ym. 2021, 24). Vesilaitosyhdistyksen (2022, 33) mukaa suuria eroja laitosten välisissä vuotovesiprosenteissa voi osittain selittää myös osassa kaupungeista käytössä oleva sekaviemäröinti, vesimittareiden mittavirheet sekä organisaatioiden väliset erot laskutuksen rytmityksessä. Kaiken kaikkiaan vuotovesimäärä on kuitenkin merkittävä verkoston tilasta ja saneeraustarpeesta kertova indikaattori (Vienonen ym. 2017, 12).

4 Viemärin kuntotutkimukset

Viemärit ovat huolellisesti rakennettuina ja hyvissä olosuhteissa toimiessaan varsin pitkäikäisiä (Karttunen 2010a, 152). Harjun (2016, 225) mukaan viemärin kunto olisi hyvä tutkia 35–40 käyttövuoden jälkeen, jolloin se alkaa olla lähellä 40–50 vuoden keskimääräistä käyttöikää. Toimintavarmuuden turvaamiseksi tulee verkon tarkkailusta ja kunnossapidosta kuitenkin huolehtia aktiivisesti. Säännöllisen tarkkailun tärkeyttä korostaa se, että vedenkäyttäjät eivät havaitse eivätkä myöskään ilmoita viemäriverkoston toimintahäiriöistä yhtä herkästi kuin vedenjakelussa esiintyvistä ongelmista. Mikäli ongelmat viemäriverkossa jäävät piileviksi, voivat ne ajan kuluessa aiheuttaa vahinkoja, jotka ovat vaikeasti korjattavissa. (Karttunen 2010a, 147.)

Viemäriverkoston kunnon säännölliseen tarkkailuun kuuluvat mm. virtaamamittaukset ja pumppujen käyntiaikojen rekisteröinti. Tarkkailun yhteydessä todetut havainnot suurista vuotovesimääristä kertovat verkon tarkemman kuntotutkimuksen tarpeesta. (Karttunen 2010a, 152–153.) Pumpaamalla havaittujen virtaamapiikkien tai kapasiteetin ylitysten lisäksi vuotovesitutkimukselle voidaan katsoa olevan aiheutta, jos verkostossa on toistuvia viemäritulvia, verkosto sijaitsee pohjavesialueella tai sen kuntoa on muutoin syytä epäillä (Karttunen 2004, 654). Mikäli tarkkailun yhteydessä tehdään havaintoja suurista vuotovesimääristä, on syytä selvittää vuotopaikkojen sijainti, vuotojen syyt ja niiden merkitys (Karttunen 2010a, 153).

Vuotovesien vähentämiseen tähtäävän tutkimuksen tärkeitä lähtötietoja ovat tarkat johtokartat, pumppaamoiden virtaamatiedot, ylivuototiedot ja -kohdat sekä mahdollisimman tarkka sadetieto (Lampola & Kuikka 2018, 80). Tutkimus aloitetaan vertaamalla koko verkoston vesimääriä vastaaviin vedenkulutuksiin. Tämän jälkeen tarkastellaan eri päähaarojen vesimääriä pumppaamopiireittäin ja lopuksi käsitellään yksittäisiä verkoston osia. (Karttunen 2004, 652.) Mikäli virtaamatietoja ei ole saatavilla, niin kohdistetaan tutkimukset viemärin iän tai esiintyneiden ongelmien perusteella oletettavasti ongelmallisimmalle alueelle (Karttunen 2010a, 154–155).

4.1 Kuntotutkimusmenetelmät

Viemärien kuntotutkimuksessa yleisimmin käytetty menetelmä Suomessa on ollut viemärikuvas. Sen lisäksi erityisesti vuotovesitutkimukseen soveltuvia menetelmiä ovat virtaamamittaukset, savukokeet sekä veden laadun muutoksiin perustuva Vuove-menetelmä. (Lampola & Kuikka 2018, 11, ,74, 79.) Myös aistinvarainen tarkastus toimii tärkeänä osana viemärien kuntotutkimusta.

4.1.1 Virtaaman mittaus

Virtaaman mittaaminen on yksi tyypillisistä vesihuoltolaitosten tekemistä mittauksista (Karttunen 2004, 661; Välisalo ym. 2008, 18). Jätevesiverkoston virtaama antaa oleellista tietoa verkoston tilasta, ja sen avulla voidaan suunnitella, ohjata sekä ymmärtää verkoston toimintaa (Laakso 2015, 7). Vuotovesitutkimuksessa virtaamatietoja voidaan hyödyntää, kun kartoitetaan alueita, joilla vuotovesimäärät ovat suurimpia (Laakso 2015, 7; Salmi 2017, 23). Virtaaman mittaus ei kuitenkaan kerro tarkemmin vuotojen sijaintia, joten sitä voidaan pitää eräänlaisena esitutkimusmenetelmänä. Karttunen (2004, 660, 662) mukaan sadejakson tai lumien sulamisen aikainen virtaaman kasvu kertoo viemäriin pääsevistä hulevesistä, kun puolestaan virtaaman ollessa korkea vielä pitkään sateiden jälkeen on kyseessä putkien ja liitosten kautta tapahtuva vuoto.

Virtaaman mittaukseen on käytössä monia erilaisia menetelmiä, joista yleisin on pumppaamoilla suoritettava astiamittaus. Muita käytettyjä menetelmiä ovat esimerkiksi magneettimittaus ja ultraäänimittaus. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat virtausolosuhteet, käytettävä mittaustapa, automaatiojärjestelmän logiikan toimivuus, tiedonsiirto sekä mittareiden sijainti ja asennuksen oikeellisuus. (Laakso 2015, 82.)

Astiamittaus

Astiamittaus on menetelmä, jossa virtaama lasketaan tilavuudeltaan tunnetun astian ja sen täyttymiseen kuluvan ajan perusteella. Menetelmää hyödynnetään jätevedenpumppaamoilla, sillä niissä mittaukseen tarvittava tekniikka on jo valmiina. Astiana toimii pumppaamokaivo ja pumppaamon logiikka laskee virtaaman kaivon tilavuuden ja pinnakorkeustietojen avulla.

Laakson (2015, 82) mukaan astiamittaus on yleisin käytetty virtaaman mittausmenetelmä, mutta samalla se on diplomityössään vertaamistaan menetelmistä kaikkein epätarkin. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttaa erityisesti laskentaan tarvittavien parametriarvojen oikeellisuus, joiden määrittäminen voi olla hankalaa. Tiedonsiirtokatkosten aikana mittauksessa syntyy myös mahdottomia huippuarvoja, kun logiikka kumuloi kerätyn datan yhdeksi suureksi arvoksi. (Laakso 2015, 34, 82–83.) Mikäli pumppauksen aikana tuloputkesta virtaa pumppaamokaivoon vettä, niin hidastaa se pinnankorkeuden laskua, mikä puolestaan vääristää mittauks tulosta. Tämä ilmiö tekee myös yksittäisten pumppaamoiden virtaamatarkastelusta epävarmaa, sillä perättäisten pumppaamojen virtaamat eivät välttämättä ole toisistaan erotuskelpoisia. (Salmi 2017, 27–28.)

Magneettimittaus

Magneettimittarit ovat yleistyneet ja niitä on käytössä monissa uusissa tai vastikään saneeratuissa pumppaamoissa. Niiden etuna on toimintavarmuus sekä mittauksen tarkkuus ja luotettavuus. Magneettimittari koostuu mittaputkesta, sähkömagneeteista ja mittariosasta. Pumppaamoon se asennetaan suoraan paineputkeen mittaputkessa olevien laippojen avulla. (Laakso 2015, 30–31.) Vaikka magneettimittaus on yksi luotettavimmista mittausmenetelmistä, mittausvirhettä voi syntyä teknisten ongelmien tai väärän asennuspaikan vuoksi. Mikäli magneettimittarin asennus tehdään jälkiasennuksena, se vaatii suuria investointeja, sillä mittarin asentaminen vanhaan pumppaamoon edellyttää pumppaamon saneerausta tai erillisen mittakaivon rakentamista. (Laakso 2015, 31, 83.)

Ultraäänimittaus

Ultraäänimittarit ovat häiriövapaita ja tarkkoja. Putken koko ei vaikuta juurikaan mittarin hintaan, joten ne ovat myös edullisia etenkin suurille putkille. Mittarin toiminta perustuu tietoon, että äänen nopeus nesteessä on vakio. Siten ääniaallon nopeuden muutoksilla voidaan määrittää veden suhteellinen nopeus, joka muutetaan virtaaman arvon osoittavaksi sähkösignaaliksi.

Ultraäänimittareiden haittapuolina on niiden herkkyys vedessä oleville epäpuhtauksille ja virtausominaisuuksien muutoksille. Mittari tulee sijoittaa riittävän pitkälle suoralle putkiosuudelle, jolloin virtaustilan muutosten vaikutus saadaan minimoitua. (Karttunen 2004, 47.) Suoraa putkiosuutta ennen mittaria tulee olla noin kuusi kertaa putken halkaisijan verran. Mittarin jälkeen suoraa putkiosuutta tulee olla jopa kymmenkertaisesti putken halkaisijan verran. (Laakso 2015, 33.)

4.1.2 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvarainen tarkastus on Karttusen (2004, 662) mukaan hyvä tehdä tarvittaessa sekä säätilaltaan kuivana että sateisena aikana. Tarkastuksessa todetaan järjestelmän kunto silmämääräisesti sekä määritetään mm. tarvittavat tutkimuskohdat, mittalaitteet ja tutkimusmenetelmät mahdollisia jatkotutkimuksia varten. Tarkastuksen aika on hyvä ottaa runsaasti valokuvia, jotka toimivat myöhemmin tutkimuksen tukena. (Harju 2016, 225.) Aistinvaraisessa tarkastuksessa on syytä kiinnittää huomiota erityisesti tarkastuskaivojen kannen tiiveyteen, sillä yksikin suuri kansivuoto voi vaikuttaa merkittävästi vuotovesimäärään. Kaivojen osalta tarkistetaan myös putkiliitosten ja kaivon välinen tiiveys sekä muut mahdolliset vauriot kaivon rakenteissa. (Karttunen 2004, 662.)

4.1.3 Savukoe

Savukoe on suhteellisen yksinkertainen ja kustannustehokas tapa tutkia viemäriin tiiveyttä ja etsiä vuotovesien lähteitä. Menetelmää käytetään johtamalla savukoneen muodostamaa savua viemäriverkostoon, jolloin savu kulkeutuu verkostoa pitkin ja purkautuu sen avoimista päistä kuten kiinteistöjen tuuletusputkista, kaivojen kansista ja mahdollisista vauriokohdista (Kivelä 2013, 11). Savun avulla voidaan paikallistaa myös hulevesiverkoston tai kiinteistöjen hulevesijärjestelmien ja viemäriin välisiä liitoksia (Lampola & Kuikka 2018, 75). Koska virheettömän ja oikein rakennetun viemäriin tulisi olla täysin tiivis (Karttunen 2004, 648), ideaalilanteessa savun tulisi purkautua ainoastaan kiinteistöjen tuuletusputkista. Ennen savukokeiden suorittamista on tärkeää tiedottaa alueen kiinteistöjä sekä pelastuslaitosta, sillä kiinteistöjen käyttämättömien lavuaarien ja lattiakaivojen hajulukoissa tulisi olla vettä, ettei savu pääse kulkeutumaan niiden kautta sisätiloihin (Kivelä 2013, 12).

Savukoneen laitteisto sisältää savukoneen ja siihen integroidun puhaltimen sekä savunestesäiliön. Väriltään savu on tyypillisesti harmaata, sillä se on helposti havaittavaa ja pintoja värjäämätöntä. (Kivelä 2013, 10.) Savun kulkeutumisen säännöstelyn kannalta on suositeltavaa, että savu ajetaan viemäriin vastavirtaan niin, että savu kulkeutuu kokoojaviemäriä pitkin pienempiin talohaaroihin ja edelleen kohti purkupisteitä (Kivelä 2013, 11). Salmen (2017, 20) mukaan savu kulkeutuu vastavirtaan paremmin, ja toisaalta päätekaivosta tehtynä savukoe voi aiheuttaa verkostoon suuren paineen, mikä johtaa kiinteistöjen vesilukkojen tyhjentymiseen.

Savukokeeseen liittyvänä ongelmana on mahdollinen savun kulkeutumisen estyminen, joka voi johtua esimerkiksi viemäriin olevasta tukoksesta tai vettä täynnä olevasta notkokohdasta (Kivelä 2013, 14). Oikein rakennettuina myös sadevesikaivojen hajulukot estävät savun kulkeutumisen, mikä tarkoittaa sitä, että sade- ja kuivatusvesiä viemäriin johtavat kiinteistöt eivät yleensä paljastu savutuksen avulla (Kivelä 2013, 14; Salmi 2017, 20).

4.1.4 Viemärikuvaus

Viemärikuvaus eli ns. TV-kuvaus on menetelmä, jota käytetään putken sisäpuolisen toiminnallisen kunnan sekä sen korjaus- ja huoltotarpeiden tutkimiseen. Kuvauksen avulla havaitaan tukokset, kerrostumat, roskat ja puun juuret, heikot liitokset, painaumat ja siirtymät. (Harju 2016, 227). Menetelmä ei ole täysin ongelmaton, mutta valtaosa Suomessa tehdyistä viemäriin kuntotutkimuksista on tehty juuri viemärikuvausta hyödyntäen (Välisalo ym. 2008, 30–31; Lampola & Kuikka 2018, 11).

Kuvaukseen käytettävä laitteisto sisältää kaapelin, videokameran, valon ja ohjauskeskuksen. Kunnallisteknisten viemärien kuvauksessa käytettävät kamerat ovat itsekulkevia sähkömoottorilla varustettuja laitteita. (Harju 2016, 227.) Mahdollinen vauriokohta paikannetaan kamerasäädin etäisyyden mittaavan kaapelin (Karttunen 2004, 663) tai kamerassa olevan paikannuslaitteen avulla (Harju 2016, 227). Ennen kuvausta viemäriin tulee huuhdella ja puhdistaa huolellisesti, jolloin vuotojen kannalta oleelliset halkeamat ja auenneet saumat saadaan näkyviin (Karttunen 2004, 663). TV-kuvauksen ongelmiksi on osoittautunut viemäriin riittämätön puhdistus, epäedullinen kustannus-hyötynäkökulma ja se, että saatu tieto on vain visuaalista, eikä putkien rakenteellisesta kunnosta saada riittävän luotettavaa tietoa (Lampola & Kuikka 2018, 11). Kuvauksen kustannuksia lisää se, että laitoksilla ei ole tyypillisesti omaa kameraa vaan kuvaus hankitaan ostopalveluna (Välisalo ym. 2008, 30).

4.1.5 Vuove-menetelmä

Vesilaitosyhdistyksen julkaiseman Viemäreiden kuntotutkimusoppaan (Lampola & Kuikka 2018, 74) mukaan yksi vuotovesitutkimukseen soveltuvista menetelmistä on Vuove-insinöörit Oy:n kehittämä Vuove-menetelmä. Menetelmän avulla mitataan sekä veden laatuparametreja että virtaamaa, ja tuloksena saadaan virtaaman lisäksi vuotoveden suhteellinen osuus sekä absoluuttinen määrä. Mittaus suoritetaan tarkastuskaivon kautta ja tulokset ovat nähtävissä reaaliajassa. Mittaamalla erikseen jokainen kaivon tuleva putki

saadaan tiedot jokaisen linjan osalta, mikä auttaa kohdistamaan toimet verkoston ongelmallisimpiin osiin. Mittauksia voidaan tehdä tarvittaessa kaivo kaivolta ja siten vertailla vuotoveden lisääntymistä mittapisteiden välillä. (Vuove-Insinöörit Oy 2023.)

4.1.6 Tutkimusmenetelmien yhteenveto

Vuotovesimäärän vähentämiseen tähtäävään tutkimukseen on käytössä monia eri menetelmiä. Edellä esitettyiden tutkimusmenetelmien keskeiset edut ja haitat on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1 Yhteenveto tutkimusmenetelmistä.

Menetelmä	Edut	Haitat
Virtaaman mittaus	Auttaa kohdistamaan tutkimukset oikeaan paikkaan	Vuotojen paikallistamiseen tarvitaan muita menetelmiä
	Laitoksilla mitataan virtaamaa jo valmiiksi	Mittaustapojen välillä on eroja tarkkuudessa ja kustannuksissa
Aistinvarainen tarkastus	Edullinen toteuttaa ja voidaan löytää helposti suuriakin vuotoja	Silmämääräisen havainnoinnin rajoitteet
	Auttaa jatkotutkimus menetelmien valinnassa	
Savukoe	Suhteellisen edullinen ja helppo toteuttaa	Savun kulkeutuminen voi estyä, jolloin mahdollinen vuotopaikka jää havaitsematta
	Löydetään myös maan alaiset vuotokohdat	Ei paljasta kaikissa tapauksissa viemäriin kytkettyjä hulevesijärjestelmiä
Viemärikuvaus	Antaa visuaalista tietoa putken sisäpuolisesta kunnosta	Huono kustannus-hyötysuhde
	Vuotokohdat saadaan paikallistettua tarkasti	Vaatii verkoston esipesun
Vuove- menetelmä	Antaa yksityiskohtaista tietoa vuotovesien määrästä ja vuotojen sijainnista	Menetelmä rajoittuu yhden yrityksen käyttöön

Erityisesti virtaaman mittausta voidaan pitää eräänlaisena esitutkimusmenetelmänä. Esimerkiksi pumppaamoilla suoritettavan virtaamamittauksen avulla, ei pystytä paikallistamaan tarkkoja vuotoaikoja, mutta mittausta voidaan hyödyntää tutkimusten kohdistamisessa verkoston kriittisimpään osaan. Vuotolähteiden tarkempaan paikallistamiseen soveltuvat muun muassa aistinvarainen tarkastus, savukokeet ja viemärikuvaus. Paras tulos saadaan hyödyntämällä tutkimuksessa eri menetelmiä. Aistinvarainen tarkastus kannattaa tehdä aina, sillä se ei vaadi ylimääräistä välineistöä ja sen aikana voidaan havaita suuriakin vuotoja tarkastuskaivoissa. Silmämääräiseen havainnointiin liittyy kuitenkin rajoitteita, joten aistinvaraista tarkistusta ei pidä käyttää tutkimuksen ainoana menetelmänä. Savukokeita voidaan suorittaa suhteellisen helposti ja edullisesti isommillakin osuuksilla ja niiden avulla voidaan löytää myös maansisäisiä vuotoja. TV-kuvaus on menetelmänä kalliimpi, joten sitä kannattaa käyttää kohdistetusti alueilla, joilla siihen ilmenee tarvetta.

5 Tutkimusalue ja tutkimusmenetelmät

5.1 Naantalin vesihuoltolaitos

Työn toimeksiantajana toimiva Naantalin vesihuoltolaitos vastaa toiminta-alueensa käyttöveden jakelusta, vesijohto- ja viemäriverkostojen kunnossapidosta sekä jäte- ja hulevesien poisjohtamisesta. Kanta-Naantalin lisäksi toiminta-alueeseen kuuluvat Merimasku, Livonsaari, Rymättylä ja Velkua, jotka ovat liittyneet Naantaliin kuntaliitoksilla vuosien 2009–2011 aikana. Kaupungin käyttövesi hankitaan tekopohjavetenä Turun Seudun Vesi Oy:ltä ja jätevedet johdetaan käsiteltäväksi Turun seudun puhdistamo Oy:n Kakolanmäen puhdistamoon. Poikkeuksena Velkua, jossa vesi ostetaan Masku-Nousiainen vesilaitos kuntayhtymältä ja jätevedet käsitellään paikallisesti Velkuan puhdistamossa. (Naantalin kaupunki 2022.) Naantalin vesihuoltoverkosto on suhteellisen laaja ja hajanainen, johtuen suurehkosta pinta-alasta sekä Kanta-Naantalia lukuun ottamatta harvasta asutuksesta.

Verkosto on kokonaispituudeltaan 539 km, ja siitä jätevesiverkostoa on yhteensä 228 km, sisältäen 80 jätevedenpumppaamaa. Viettoviemäriin osuus viemäriin kokonaispituudesta on 140 km ja paineviemäriin osuus 88 km. Uutta jätevesiverkostoa on rakennettu viimeisen kymmenen vuoden aikana vuosittain keskimäärin 3,6 km, sisältäen kaivamalla saneeratut osuudet. (KeyAqva 2022.)

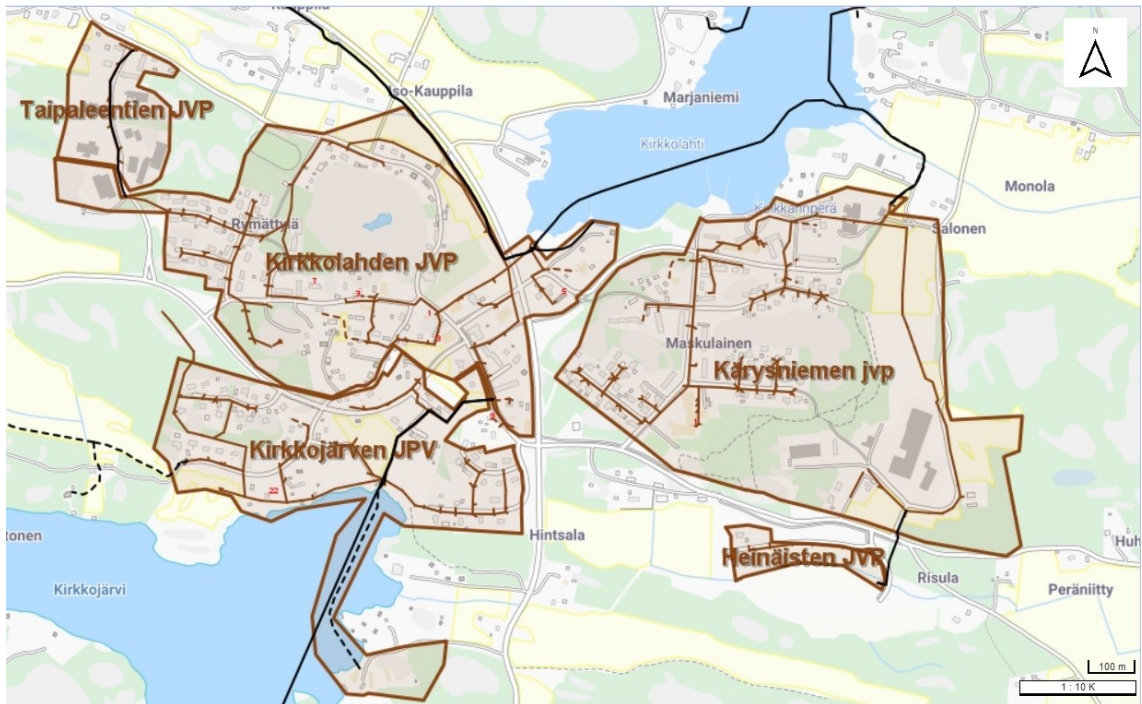
5.2 Tutkimusalue ja lähtötiedot

Työn tutkimusalueena toimii Rymättylän kirkonkylän taajama, joka sijaitsee Saaristomeren sisäosassa Naantalin edustalla. Rymättylä valittiin tutkimusalueeksi, sillä vesihuoltolaitoksella on huomattu, että erityisesti kovien sateiden sekä lumien sulamisen aikaan alueen pumpattava jätevesimäärä kasvaa huomattavasti (Pirkola 2023). Sijaintinsa puolesta Rymättylä on vuotovesien kannalta ongelmallinen, sillä se sijoittuu verkoston loppupäähän, kauas Luolalan pumppaamosta mihin Naantalin jätevedet kootaan ennen kuin

ne johdetaan edelleen kohti Kakolanmäen jätevedenpuhdistamoa. Tämä tarkoittaa, että Rymättylässä verkostoon päätyvä vuotovesi pumpataan matkalla usean pumppaamon läpi, mikä lisää turhaan kustannuksia ja verkoston kuormitusta.

Tutkimusalue voidaan jakaa pumppaamopiireittäin viiteen osaan seuraavasti: Heinäinen, Kirkkojärvi, Kirkkolahti, Käräysniemi ja Taipaleentie (kuva 7).

Arvioiden mukaan käytössä olevista viemäreistä vanhimmat on rakennettu 1970-luvun alkupuolella. Vanhojen verkoston osien osalta tiedot on kuitenkin tuotu sähköiseen järjestelmään vanhojen suunnitelmien pohjalta kuntaliitoksen jälkeen, joten johtokarttoja ei voida pitää kaikilta osin täysin luotettavina (Pirkola 2023).



Kuva 7 Rymättylän pumppaamopiirit (KeyAqva 2022).

Tutkimusalueella on aiemmin suoritettu vuotovesitutkimuksia Kirkkojärven läntisellä puolella sekä Käräysniemessä Metsätien, Kuusikujan ja Mäntykujan alueella. Tutkimuksissa hyödynnettiin savukokeita ja niiden aikana Käräysniemestä löydettiin kiinteistön tonttivilmäriin liitetty pieni hulevesikaivo, joka on sijoitettu maatasen alapuolella sijaitsevan autotallin oven eteen. Lisäksi

alueella sijaitsevasta betonisesta tarkastuskaivosta löydettiin vuotava putkiliitos. Kirkkojärven läntiseltä puolelta ei löydetty savukokeiden aikana huomautettavaa, mutta muun tarkastelun yhteydessä alueelta on löytynyt tulppaamaton tonttiliittymän varaus. (Pirkola 2023.)

5.3 Virtaamatarkastelu

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa pyrittiin selvittämään virtaamatarkastelun avulla tutkimusalueen vuotovesien kannalta ongelmallisin pumppaamopiiri. Kunkin pumppaamon osalta piirrettiin virtaamatrendit, jotka yhdistettiin alueen sadanta- ja lumensyvyystietoihin. Virtaamadatan tarkasteluväliksi valittiin yksi vuosi, joka sijoittuu ajalle 1.10.2021–1.10.2022. Pumppaamokohtaiset virtaamatiedot ladattiin valvontaohjelmistosta, joka kerää astiamittaukseen perustuvat virtaamat tuntitasolla. Vuorokausikohtainen sadanta ja lumensyvyys haettiin Ilmatieteen laitoksen avoimen datan palvelusta. Havainnot ladattiin Turun Artukaisen havaintoasemalta, joka sijaitsee noin 15 km päässä tutkimusalueesta. Virtaamakaavioon lisättiin myös minimivirtaamasuora, joka kuvaa pumppaamon kuivan ajan virtaamaa. Suora määritettiin tarkastelujakson kymmenen pienimmän virtaaman keskiarvona. Heinäisten pumppaamo jätettiin tarkastelun ulkopuolelle sillä se sisältää vain kaksi kiinteistöä vuonna 2008 rakennetussa viemäriinjassa ja jo alustavan datan analysoinnin avulla voitiin todeta, ettei virtaamatiedoissa ole merkittävää vaihtelua.

5.4 Aistinvarainen tarkastus ja savukokeet

Tutkimuksen toisessa vaiheessa pyrittiin paikallistamaan virtaamatarkastelun avulla valitussa pumppaamopiirissä esiintyvien vuotovesien lähteitä. Tutkimusmenetelminä käytettiin aistinvaraista tarkastusta ja savukokeita. Savukoe valittiin menetelmäksi, sillä se on suhteellisen edullinen sekä yksinkertainen menetelmä, ja siihen tarvittava laitteisto löytyi vesihuoltolaitokselta valmiina. Lisäksi savukokeita on aiemmin hyödynnetty

laitoksen vuotovesitutkimuksissa hyvin tuloksin. Jatkotutkimuksissa käytetty keskeinen laitteisto sisälsi kaivonkannen nostimen, metallinilmäsimen, savukoneen ja aggregaatin sekä puhelimella käytettävän verkkohallintajärjestelmän johtokarttoineen. Käytössä oli lisäksi varusteltu huoltoauto, josta löytyi muut tarvittavat työkalut ja -välineet. Tutkimusten aikana kirjattiin muistiinpanoja ja otettiin valokuvia löytyneistä vuotokohdista ja muista huomioista.

Aistinvarainen tarkastus suoritettiin sateisena ajankohtana, jolloin voitiin havainnoida silmämääräisesti mahdollisia vuotoja sekä viemärissä virtaavaa vesimäärää. Tarkastus aloitettiin pumppaamolta, josta edettiin ensimmäiselle tarkastuskaivolle. Sen jälkeen linjan loput kaivot tarkastettiin järjestyksessä edeten virtaussuuntaan nähden vastavirtaan. Ensin tarkastettiin kaivon sijainnin ja korkeusaseman mahdollinen vaikutus vuotovesien määrään. Tämän jälkeen kaivon kansi avattiin kaivonkannen nostimella, jolloin voitiin arvioida kaivon kunto. Arvio tehtiin silmämääräisesti havainnoimalla kaivon sisäpuolista rakennetta, liitosten tiiveyttä ja valumajälkiä kaivon seinämissä.

Savutus suoritettiin pumppaamokaivosta sekä linjan tarkastuskaivoista virtaussuuntaan nähden vastavirtaan. Savutus aloitettiin viemäriinjan alkupäästä, josta edettiin järjestyksessä alaspäin kohti linjan päässä olevaa pumppaamo. Näin viemäriin aiemmin puhallettu savu ei ollut näköesteenä siirryttäessä seuraavalle kaivolle. Savukoneen letku ohjattiin kaivon tuloputken sisään siten, että savu saatiin suunnattua suoraan putkeen, eikä se suurissa määrin purkautunut kaivosta haitaten työskentelyä. Ensin savua puhallettiin kokoojaviemäriin ja sen jälkeen mahdollisiin kaivoon liitettyihin tonttiviemäreihin. Savukoneen virtalähteenä käytettiin aggregaattia ja pumppaamon sähkökeskuksen sähköpistoketta.

Ennen savukokeiden toteuttamista asiasta tiedotettiin tutkimuksen kohteena olevaan kokoojaviemäriin liittyneitä kiinteistöjä. Kiinteistöjen postilaatikoihin jaettiin tiedotteet, jossa kerrottiin savukokeen ajankohdasta ja mahdollisesta alueella näkyvästä savusta. Tiedote lähetettiin myös tekstiviestillä kiinteistöjen omistajille verkkohallintajärjestelmän kautta.

6 Tulokset

6.1 Virtaamatarkastelun tulokset

Pumppaamojen virtaamatietojen sekä alueen sadanta- ja lumensyvyystietojen perusteella tehdyistä virtaamatrendeistä on nähtävissä selvää korrelaatiota virtaaman ja säähavaintojen välillä. Kaikilla pumppaamoilla suurimmat virtaamat ajoittuvat tammi-helmikuulle, jolloin esiintyi lumensulamista ja runsaasti sateita. Toinen merkittävä virtaamapiikki on nähtävissä huhtikuun alkupuolella lumensulamisen ja yhtäaikaisen sateen aikaan. Virtaamat pysyvät pitkään korkeina myös tarkastelujakson alussa runsaiden sateiden vuoksi. Virtaamatrendeissä on havaittavissa sekä hulevuotovesien että suotautuvien vuotovesien vaikutuksia.

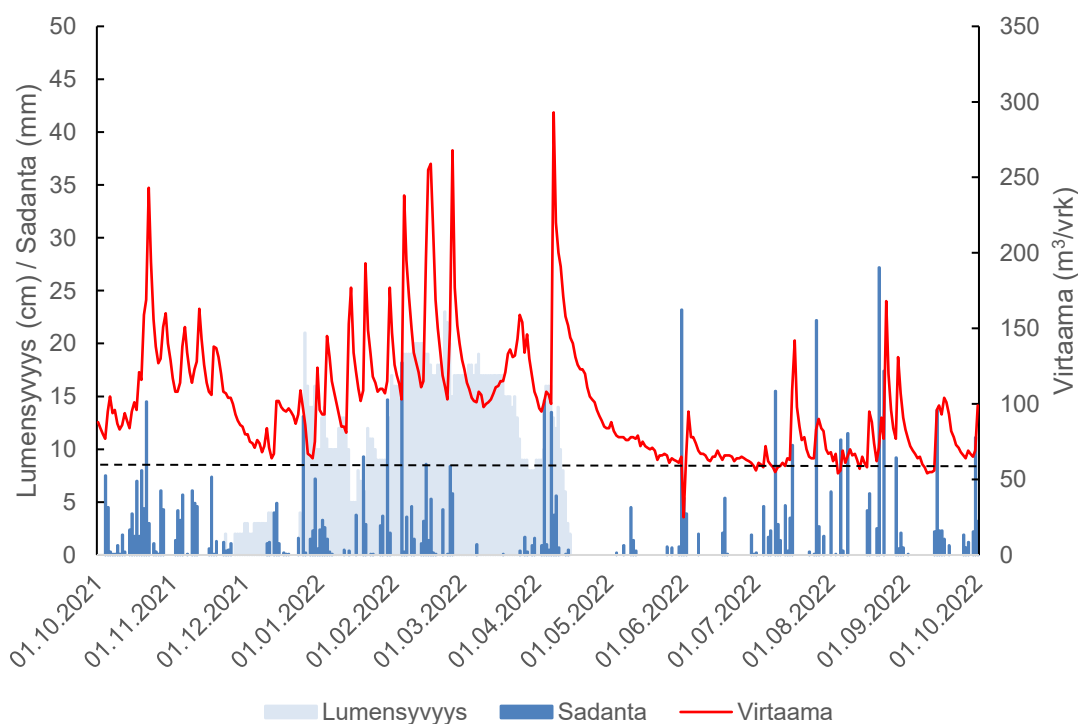
Virtaamatiedot perustuvat astiamittaukseen, eikä niitä voida pitää luvussa 4.1.1 esitettyjen mittaukseen liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi täysin luotettavina. Virtaamatrendit sisältävät monia huomattavan suuria huippuarvoja, jotka ovat aiheutuneet todennäköisesti tiedonsiirtokatkosten seurauksena pumppaamon logiikan kumuloidessa tuloksia. Toisena ongelmana on pumppauksen aikainen tulovirtaama, mikä hidastaa pinnankorkeuden laskua ja siten vääristää mittaustulosta. Tämä on ongelma erityisesti Kirkkolahden pumppaamolla, sillä sen kautta johdetaan myös kaikkien muiden tutkimusalueella sijaitsevien pumppaamojen jätevedet. Datan epävarmuuden vuoksi tarkkojen vuotovesimäärien laskeminen ei ole mielekäästä, mutta virtaaman vaihtelut kertovat kuitenkin verkostoon päätyvistä vuotovesistä ja niiden perusteella jatkotutkimusten toteuttaminen oli perusteltua.

Virtaamatarkastelun perusteella jatkotutkimukset päätettiin kohdistaa Taipaleentien pumppaamopiiriin, jossa virtaaman kasvu oli kuvaajien mukaan suhteessa suurinta. Taipaleentien valintaa puolsi myös se, että alueella ei ollut

aiemmin suoritettu vuotovesitutkimusta ja se oli pienen kokonsa vuoksi mahdollista tutkia kokonaisuudessaan tämän opinnäytetyön puitteissa.

6.1.1 Käräysniemen pumppaamo

Käräysniemen pumppaamopiiri sisältää 3,7 km viemäriä ja 127 tarkastuskaivoa. Verkosto on rakennettu suurimmalta osin 1970-luvulla ja 1990-luvun alkupuolella, mutta se sisältää myös joitain uudempia osuuksia. Noin neljännes viemäristä on betonia ja loput muovia. (KeyAqva 2023.) Käräysniemen virtaamatrendi on esitetty kuvassa 8.

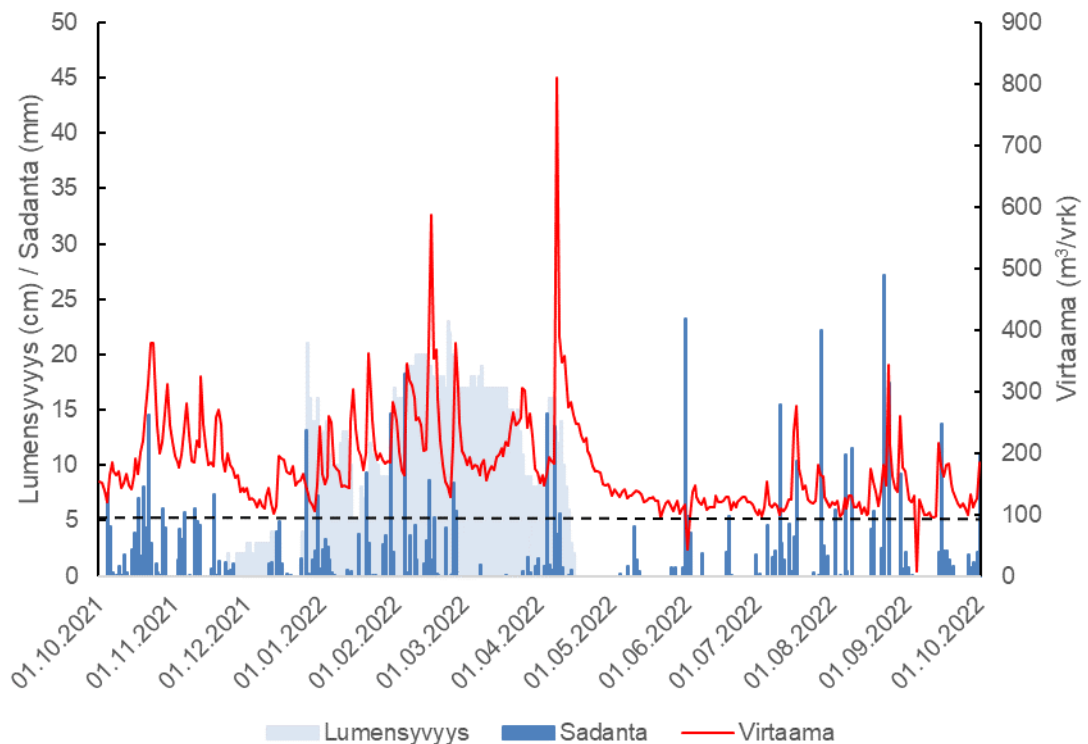


Kuva 8 Käräysniemen pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.

Käräysniemen pumppaamolla virtaama kasvoi koko tammi-helmikuun ajan, mutta suurin virtaamapiikki ajoittui huhtikuun alkuun. Erityisesti Käräysniemen pumppaamolla on havaittavissa, että huhtikuun alun jälkeisen kuivan jakson aikana virtaama tasoittuu hitaasti minimivirtaamatasolle, mikä kertoo verkostoon pääsevistä suotautuvista vuotovesistä.

6.1.2 Kirkkolahden pumppaamo

Kirkkolahden pumppaamopiiri sisältää 3,8 km viemäriä ja 112 tarkastuskaivoa. Verkoston vanhimmat osat on rakennettu 1970-luvun alussa, mutta pääosin verkosto on rakennettu 1980-luvulla. Viemärit ovat suurimmalta osin muovia, mutta verkosto sisältää myös joitain betoniviemäreitä. (KeyAqva 2023.) Kirkkolahden virtaamatrendi on esitetty kuvassa 9.

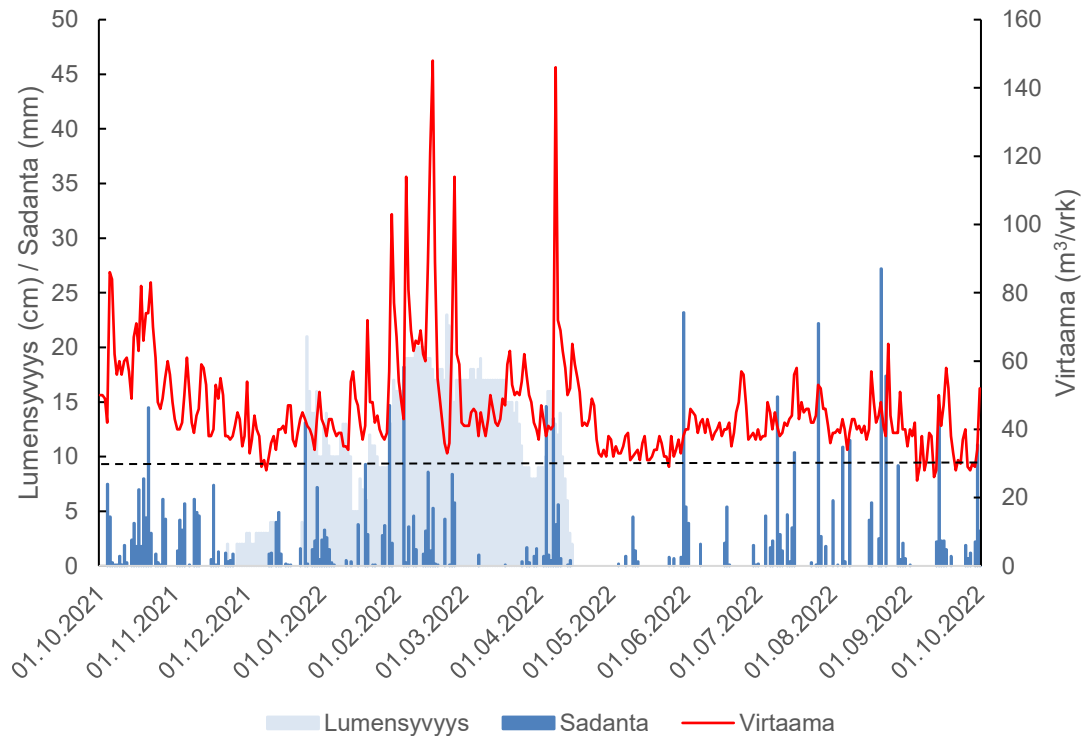


Kuva 9 Kirkkolahden pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.

Kirkkolahden virtaamatrendissä on havaittavissa Kärysniemen pumppaamon tapaan merkkejä suotautuvista vuotovesistä, kun virtaama laskee verrattain hitaasti minimivirtaamatasolle. Kärysniemen tapaan myös suurin virtaamapiikki sijoittuu Kirkkolahden pumppaamolla huhtikuun alkuun. Erityisesti Kirkkolahden virtaamatarkastelusta ongelmallista tekee se, että pumppaamon kautta johdetaan myös muiden tutkimusalueen pumppaamojen jätevedet, jolloin pumppauksen aikainen tulovirtaama vääristää mittaustulosta.

6.1.3 Kirkkojärven pumppaamo

Kirkkojärven pumppaamopiiri sisältää 2,7 km viemäriä ja 96 tarkastuskaivoa. Verkosto on rakennettu 1990- ja 2000-lukujen alussa, mutta se sisältää myös joitain uudempia osuuksia. Alueen viemärit ovat kokonaisuudessaan muovivia. (KeyAqva 2023.) Kirkkojärven virtaamatrendi on esitetty kuvassa 10.



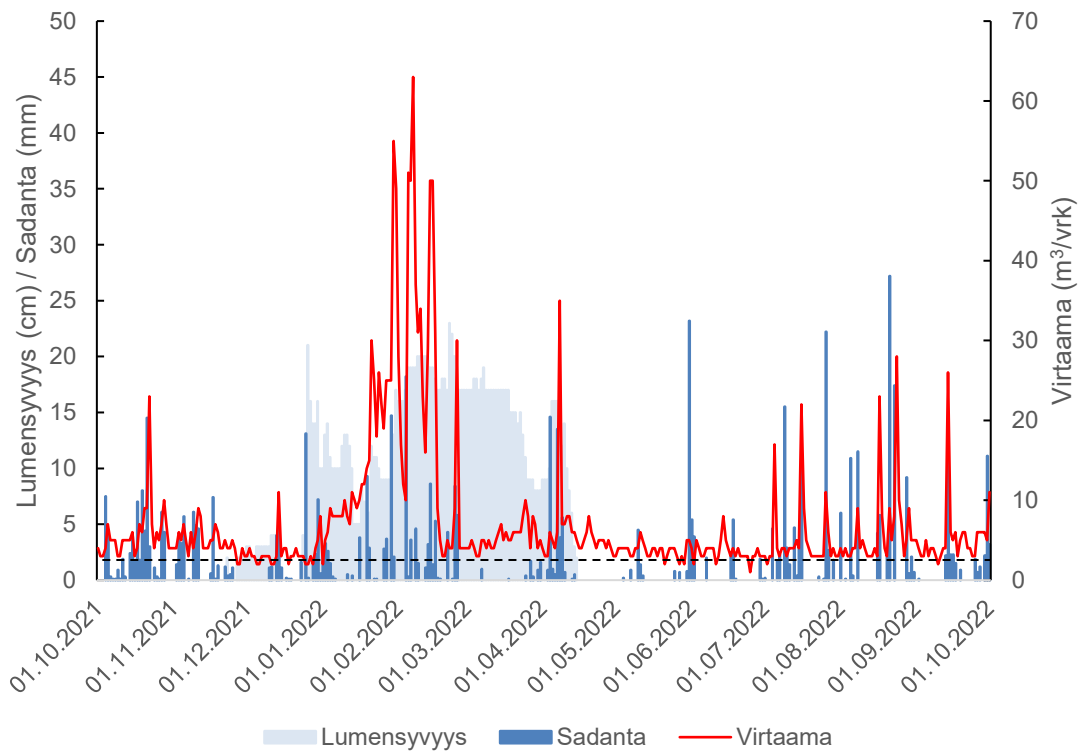
Kuva 10 Kirkkojärven pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.

Kirkkojärven virtaamassa on nähtävissä eniten hetkellisiä virtaamapiikkejä, mikä kertoo verkostoon päätyvistä hulevuotovesistä. Virtaama näyttäisi palautuvan minimivirtaamatasolle Kärysniemen ja Kirkkolahden virtaamiin nähden nopeammin, joka osaltaan kertoo suuremmasta hulevuotoveden osuudesta.

6.1.4 Taipaleentien pumppaamo

Taipaleentien pumppaamopiiri on tarkasteltavista pumppaamopiireistä pienin, se sisältää 290 m viemäriä ja seitsemän tarkastuskaivoa. Viemäri on rakennettu

1980-luvun alussa ja se on kokonaisuudessaan muovia. Taipaleentie pumppaamopiiri koostuu yhdestä kokoojaviemäristä, joka kulkee Koivistontien katualueella ja päättyy Koivistontien ja Taipaleentien risteyksessä sijaitsevaan pumppaamoon. Viemäriin on liittynyt yhteensä kahdeksan kiinteistöä, joista kaksi on liittynyt pumppaamoon ja loput tarkastuskaivoihin. (KeyAqva 2023.) Taipaleentien virtaamatrendi on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Taipaleentien pumppaamo. Virtaama, lumensyvyys ja sadanta.

Taipaleentien virtaamassa on havaittavissa erityisesti hulevuotovesien aiheuttamia virtaamapiikkejä, mutta myös suotautuvista vuotovesistä johtuvaa hidasta virtaaman tasoittumista. Muista pumppaamoista poiketen Taipaleentiellä huomattava virtaamahuippu sijoittuu helmikuulle.

6.2 Vuotovesitutkimuksen tulokset

Aistinvaraisen tarkastuksen ja savukokeiden aikana kirjattiin yhteensä 17 havaintoa. Näistä 13 voidaan laskea vuotovesien lähteiksi ja loput neljä muiksi vioiksi tai puutteiksi. Kaikki havainnot on koottu taulukkoon 2, josta ilmenee lisäksi kyseisen verkoston osan verkkotietojärjestelmän mukainen tunnus ja tyyppi.

Taulukko 2 Vuotovesitutkimuksen havainnot.

Havainto	Tunnus	Tyyppi
1. Virhe johtokartassa	120338	tonttijohto
2. Kansi ei täysin tiivis	146467	kaivo
3. Vettä saneeratun kaivon rakenteiden välissä	146467	kaivo
4. Kaivo ei paikallistettavissa	146466	kaivo
5. Kaivon kehys siirtynyt paikaltaan	146465	kaivo
6. Tonttijohdon tarkastusputki ilman kantta	146465	tarkastusputki
7. Kaivo ei näy johtokartassa	146464	kaivo
8. Kansi ei täysin tiivis	146464	kaivo
9. Puuttuva välikansi	146464	kaivo
10. Kansi ei täysin tiivis	146463	kaivo
11. Puuttuva välikansi	146463	kaivo
12. Kaivo ei paikallistettavissa	146462	kaivo
13. Kansi ei täysin tiivis	146461	kaivo
14. Vettä saneeratun kaivon rakenteiden välissä	146461	kaivo
15. Vuoto kiinteistön tonttiviemärissä	144541	tonttijohto
16. Ylivuotoputken takaisinvirtauksen estoventtiili puuttuu	120346	ylivuotoputki
17. Sateen aikainen virtaus kokoojaviemärissä	-	kokoojaviemäri

Aistinvaraisen tarkastuksen yhteydessä alueelta löydettiin kaksi kaivoa, jotka on saneerattu asentamalla uusi muovikaivo vanhan betonikaivon sisälle.

Molemmissa kaivoissa vesi oli kerääntynyt kaivojen rakenteiden väliin (kuva

12). Muovikaivot on varustettu erillisellä kannella, mutta savukokeiden aikana havaittiin, etteivät kannet ole täysin tiiviitä. Tällöin vedenpinnan noustessa muovikaivon kannen tasolle pääsee vesi kulkeutumaan sen kautta viemäriin. Kaivolla 146461 oli havaittavissa merkkejä vuodosta myös valumajälkinä muovikaivon seinämässä.



Kuva 12 Vettä saneeratun kaivon rakenteiden välissä.

Aistinvaraisen tarkastuksen yhteydessä havaittiin myös pieni tasainen virtaama viemärissä, jonka syyksi epäiltiin viemäriin kytkettyä sadevesikaivoa. Savukokeiden aikana selvisi, ettei sadevesikaivolla ollut yhteyttä viemäriin, mutta aiemmin havaitulle virtaamalle ei löydetty syytä. Muilta osin kaivot olivat hyvässä kunnossa, eikä liitoksissa tai rakenteissa ollut havaittavissa vuotoja.

Kaivonkansien tiiveydessä havaittiin savukokeiden aikana puutteita neljässä kaivossa (kuva 13). Näistä kahdesta puuttui kaivon kannen alle tuleva välikansi, joka estää edelleen hulevuotoveden kulkeutumisen viemäriin. Kaivot olivat sijoitettu optimaalisesti siten, ettei vesi pääse patoutumaan kannen päälle, joten kansien läpi kulkevan vuotoveden määrää voidaan pitää melko vähäisenä. Patoutumista voi kuitenkin aiheutua lumen ja jään seurauksena sulamiskautena, mikä voi lisätä vuodon määrää.



Kuva 13 Tarkastuskaivon kannen väleistä nousee savua.

Savukokeiden aikana havaittiin lisäksi vaurio pumppaamoon liittyneen kiinteistön tonttijohdossa. Vuotokohtaa ei paikallistettu tarkasti, mutta savua

purkautui selvästi kallion alta kiinteistön tarkastusputken ja rakennuksen väliseltä osuudelta (kuva 14). Vuotokohta sijaitsi rinnetontin alaosassa, joten se on mahdollisesti merkittävä suotautuvien vuotovesien lähde, kun rinnettä pitkin valuvat vedet kerääntyvät alueelle.



Kuva 14 Maan alta nouseva savu paljasti vioittuneen tonttviemärin.

Toisena huomiona pumppaamokaivolla tehtiin ylivuotoputken puuttuva takaisinvirtauksen estoventtiili. Tämä voi olla merkittävä hulevuotoveden lähde, mikäli purkuoja aiheuttaa padotusta ja vesi pääsee kulkeutumaan ylivuotoputken kautta takaisin pumppaamoon.

Kuvassa 15 on savukokeiden aikana löydetty tonttviemärin tarkastusputki, josta puuttuu kansi. Koska tarkastusputki nousee selvästi maanpinnan yläpuolelle, sen kautta kulkeutuu viemäriin vain suoraan taivaalta satava vesi. Näin ollen puutteen vaikutusta vuotovesimäärään voidaan pitää vähäisenä.



Kuva 15 Tarkastusputki ilman kantta.

Savukokeiden aikana havaittiin myös kaivo, jonka kehys oli siirtynyt paikoiltaan mahdollisesti lumiauran töytäisemänä (kuva 16). Kaivo sijaitsee rinneosuudella, joten kehysten irtoamisella on suuri vaikutus viemäriin kulkeutuvan hulevuotoveden määrään. Koska aistinvaraisen tarkastuksen aikana kehys oli

paikoillaan, niin voidaan todeta, että se on irronnut tarkastuksen ja savukokeiden välisenä aikana. Tämä tarkoittaa, että irronneen kehyksen vaikutukset eivät ole nähtävissä virtaamatrendeissä, joiden tarkasteluväli päättyi ennen aistinvaraisen tarkastuksen ajankohtaa.



Kuva 16 Paikaltaan siirtynyt kaivon kehys.

Vuotovesimäärään vaikuttamattomia muita havaintoja olivat kaksi maan alla sijaitsevaa kaivoa sekä kaksi virhettä johtokartassa. Ensimmäinen kaivoista (146462) sijaitsee katualueen ulkopuolella, mutta sitä ei pystytty aistinvaraisen tarkastuksen aikana paikallistamaan. Savukokeiden aikana kaivo löydettiin maan alta metallinilmaisimen avulla. Kaivo (146466) sijaitsee puolestaan

johtokartan mukaan katualueella asfaltin alla, eikä sen sijaintia pystytty siten tutkimuksen aikana varmistamaan. Johtokartassa havaitut virheet olivat kaivon puuttuva piirrosmerkki sekä virheellisesti piirretty yhteys kaivon ja kiinteistöllä sijaitsevan sadevesikaivon välillä.

6.3 Tulosten yhteenveto

Työn ensimmäisessä vaiheessa suoritettu virtaamatarkastelu osoittautui haasteelliseksi erityisesti virtaaman mittaukseen liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi. Paikoin virtaamat olivat niin suuria, ettei niitä voida pitää todenmukaisina. Tästä syystä jatkotutkimusalueen valinnassa otettiin huomioon myös muita seikkoja. Jokaisen pumppaamon kohdalla vuotovesien vaikutukset olivat kuitenkin selvästi nähtävissä sateiden ja lumiensulamisen aikaisena virtaaman kasvuna. Havaintojen perusteella vuotovesitutkimuksia on perusteltua suorittaa myös muissa tutkimusalueen pumppaamopiireissä.

Kokonaisuudessaan Taipaleentien pumppaamopiirissä suoritettu vuotovesitutkimus onnistui hyvin. Tutkimusten aikana löydettiin useita vuotoveden lähteitä, joista pääosa mahdollisesti hulevuotoveden pääsyn verkostoon. Viat ja puutteet korjaamalla vuotoveden määrää voidaan vähentää, muuta korjausten vaikutusten merkittävyyttä on vaikea arvioida. Mahdollisesti kriittisimmät vuotoveden lähteet ovat paikaltaan siirtynyt kaivon kehys, vaurioitunut tonttiviemäri sekä kaksi saneerattua kaivoa. Mikäli ylivuotoputken kautta on mahdollista padotuksen seurauksena virrata vettä sisään verkostoon, niin myös sillä voi olla suuri vaikutus.

Siirtynyt kaivon kehys pystyttiin korjaamaan jo tutkimuksen aikana ja muilta osin korjaustoimet, kuten kaivojen välikansien ja tarkastusputken kannen sekä ylivuotoputken takaisinvirtauksen estoventtiilin asennus ovat suhteellisen helppoja toteuttaa. Saneerattujen kaivojen osalta tulisi miettiä voidaanko vanhat betonikaivot purkaa, niin ettei vesi pääse kertymään rakenteiden väliin. Suurimmat korjaustoimenpiteet kohdistuvat vaurioituneeseen tonttiviemäriin, josta vastuu kuuluu kiinteistön omistajalle. Aistinvaraisen tarkastuksen aikana

havaitulle virtaamalle viemärissä ei löydetty selitystä, joten päätekaivoon liittyvän tonttviemärin kuvausta tulisi harkita.

Tutkimuksen aikana löytyneiden vuotolähteiden korjausten jälkeen voidaan Taipaleentien pumppaamon virtaamatietoja tarkastella uudelleen ja havainnoida mahdollisia muutoksia. Näin voidaan arvioida tarkemmin myös virtaamatrendien soveltuvuutta vuotovesitutkimusten kohdistamisessa.

7 Lopuksi

Kunnallinen jätevesijärjestelmä on rakennettu palvelemaan asutusten viemärintarpeita, ja se voi koostua huomattavankin pitkistä erityyppisistä viemäriosuuksista, joihin sisältyy tarkastuskaivoja, pumppaamoja sekä muita rakenteita ja osia. Verkostot ovat tyypillisesti pitkäikäisiä, mutta vanhat viemärit ovat monin paikoin saneerauksen tarpeessa. Yksi saneeraustarpeen indikaattoreista on viemäriin kulkeutuva vuotovesi, joka kuormittaa verkostoa ja aiheuttaa vesihuoltolaitoksille kustannuksia eri muodoissa. Valtakunnallisesti vuotoveden osuus jätevesimäärästä on viimevuosina ollut noin 44 prosenttia, mutta eri laitosten välillä osuuksissa on suuriakin eroja.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin virtaamatietoja Rymättylän neljässä pumppaamopiirissä, joista yhdestä etsittiin vuotovesien lähteitä alueella suoritetuin aistinvaraisin tarkastuksin ja savukokein. Virtaaman mittauksen epätarkkuus teki ongelmallisimman alueen määrittämisestä hankalaa ja jatkotutkimukset kohdistettiin Taipaleentien pumppaamopiiriin osin myös muin perustein. Tutkimusten aikana löydettiin useampia yksittäisiä vuotovesien lähteitä, jotka korjaamalla vuotoveden määrää alueella pystytään vähentämään.

Vuotolähteiden hajanaisuus kuvastaa osaltaan myös vuotovesiin liittyvää problematiikkaa. Koska vuotovesi kerääntyy useista eri lähteistä, niin on niiden torjuminen hankalaa. Koko verkoston kattavia kuntotutkimuksia ei ole järkevää tai mahdollista toteuttaa, mikä korostaa tutkimusten kohdistamisen tärkeyttä. Astiamittauksessa yksi tarkkuuteen vaikuttava tekijä on laskentaan tarvittavien parametriarvojen oikeellisuus, joka olisi hyvä tarkistaa pumppaamoilla suoritettavien huoltotöiden yhteydessä. Tarkempi mittaustulos saataisiin magneettimittareilla, mutta niiden jälkiasennus vaatii suuria investointeja eikä ole siksi järkevää. Magneettimittareiden käyttöönottoa voidaan harkita tulevaisuudessa uusien pumppaamojen rakentamisen tai vanhojen pumppaamojen saneerauksen yhteydessä.

Vaikka työssä tehtyjä virtaamatrendejä ei voida pitää täysin luotettavina, niin on niistä nähtävissä selvää korrelaatiota säätietojen sekä virtaamien välillä.

Virtaamat kasvoivat erityisesti talven sadejaksojen ja kevään lumiensulamisen aikaan. Virtaamatrendien perusteella viemärin kuntotutkimuksia on perusteltua suorittaa myös muissa Rymättylän pumppaamopiireissä. Iältään verkosto on vanhin Kärysniemen pumppaamopiirissä, joten mahdolliset jatkotutkimukset olisi hyvä aloittaa sieltä. Vuotolähteiden paikallistamiseen savukokeet ovat toimiva tapa, joita on suositeltavaa hyödyntää myös tulevaisuudessa. Mikäli aihetta ilmenee, niin savukokeiden ohella voidaan käyttää kohdistetusti myös TV-kuvausta. Jatkotutkimusten toteuttamisessa on hyvä käyttää vesihuoltolaitoksen omaa harkintaa, jotta resurssit saadaan hyödynnettyä tehokkaasti ja tutkimukset saadaan sisällytetyksi osaksi laitoksen muuta toimintaa.

Lähteet

- Belinskij, A. 2015. Vesihuoltolakiopas 2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 5/2015. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 14.9.2023. https://mmm.fi/documents/1410837/1720364/MMM_5_2015.pdf/383bfb97-d522-49de-9602-46fbb958cb4a.
- EPA, 2014. Guide for estimating infiltration and inflow. United States Environmental Protection Agency. Viitattu 9.1.2023. <https://www3.epa.gov/region1/sso/pdfs/Guide4EstimatingInfiltrationInflow.pdf>.
- Forss, A. 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteita. Tutkintotyö (AMK). Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 12.1.2023. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9487/TMP.objres.17.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Franz, T. 2007. Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results. Kaupunkien ja teollisuuden vesihuollon instituutti. Dresdenin teknillinen yliopisto. Viitattu 13.12.2022. <https://d-nb.info/100730863X/34>.
- Grundfos 2014. Pumppuakatemia - Pumppaamosuunnittelun perusteet.
- Grundfos 2023a. Grundfos Ecademy. 19 - Asennusvalmiit pumppaamot. Viitattu 20.4.2023. <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/prefabricated-pumping-stations>.
- Grundfos 2023b. Grundfos Ecademy. 18 - Jäteveden siirto. Viitattu 20.4.2023. <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/wastewater-transport>.
- Harju, P. 2016. Vesi- ja viemärintekniikka. Kouvola: Tieto-Opus Ky.
- Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut 2023. Hulevesiviemärit. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Viitattu 5.4.2023. <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/hulevesiviemarit/>.
- Karttunen E. 2010a. RIL 237-1-2010, Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Perusteet ja toiminnallisuus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry
- Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Karttunen, E. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Karttunen, E. 2010b. RIL 237-2-2010 Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

KeyAqua 2022. KeyAqua Naantali. Vaatii käyttäjätunnuksen. Viitattu 10.4.2022. <https://naantali.keyaqua.keypro.fi/login/>.

KeyAqua 2023. KeyAqua Naantali. Vaatii käyttäjätunnuksen. Viitattu 6.9.2023. <https://naantali.keyaqua.keypro.fi/login/>.

Keypro 2023. KeyAqua verkkotietojärjestelmä vesilaitosammattilaisille. Viitattu 20.3.2023. <https://www.keypro.fi/fi-fi/keyaqua>.

Kivelä, E. 2013. Vuotovesien vähentäminen Nakkilassa. Vesihuollon projektityö - ELY-keskus. Viitattu 25.5.2023. https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/58722/Vuotovesien+v%C3%A4hent%C3%A4minen+Nakkilassa_Kivel%C3%A4.pdf/26704129-be3d-4251-8646-282915c42c0d.

Kokemäen vesihuolto 2023. Paineviemäröinti. Viitattu 26.5.2023. <https://www.kokemaenvesihuolto.fi/viemari/paineviemarointi/>.

Koskikala, J.; Lammila, J. & Nummelin, M. 2021. Lounais-Suomen vesihuollon nykytilanne 2019. Varsinais-Suomen ELY-keskus. Viitattu 27.10.2022. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/181786/Raportteja_38_2021_Lounais-Suomen%20vesihuollon%20nykytilanne%202019%20%281%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Kuulas, A.; Renko, T. & Kuivamäki, R. 2020. Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 9.10.2022. https://www.vvy.fi/site/assets/files/5239/vesihuollon_investointitarpeet_vvy_10092020_final.pdf.

Laakso, V. 2015. Viemärivertaaman mittaaminen ja luotettavuuden arviointi. Diplomityö. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Espoo: Aalto-yliopisto. Viitattu 15.6.2023.

https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/19215/master_Laaksonen_Vesa_2015.pdf?sequence=1.

Laitinen, J.; Nieminen, J.; Saarinen, R. & Toivikko, S. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) - Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 1.12.2022.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43199/SY_3_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Lampola, T. & Kuikka, S. 2018. Viemäreiden kuntotutkimusopas. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 27.10.2022.

https://www.vvy.fi/site/assets/files/2519/viemareiden_kuntotutkimusopas_final.pdf.

Lampola, T.; Yrjölä, A. & Laakso, T. 2015. Viemäriverkoston vuotovesien hallinnan työkalut, case HSY. Viitattu 4.1.2023. https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/SKTY2015_Vuotovesien-hallinnan-keinot_Lampola.pdf.

Matero, M. 2017. Kaivomateriaalin valinta vuotovesien hallinnan näkökulmasta Oulun veden jätevesiverkostossa. Diplomityö. Teknillinen tiedekunta. Oulu: Oulun yliopisto. Viitattu 4.1.2023. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201705031649.pdf>.

Naantalin kaupunki 2022. Käyttövesi, jätevesi ja hulevesi. Viitattu 8.11.2022. <https://www.naantali.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/asuminen/vesihuolto/kayttovesi-jatevesi-ja-hulevesi>.

Naantalin kaupunki 2022. Saaristo. Viitattu 8.11.2022. <https://www.naantali.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/asuminen/saaristo>.

Naantalin kaupunki 2022. Tilastot. Viitattu 8.11.2022. <https://www.naantali.fi/fi/naantali-tieto/tilastot>.

Needham 2023. Department of Public Works. Infiltration & Inflow. Viitattu 5.1.2023. <https://www.needhamma.gov/320/Infiltration-Inflow>.

Pirkola, R. 2023. Haastattelu. Naantalin vesihuoltolaitoksen vesihuoltoinsinööri Rami Pirkolaa haastatteli 16.3.2023 Risto Erkkilä.

Ranta, H. 2016. Viemäriverkoston vuotovesilähteiden tutkiminen ja verkostotiedon hyödyntäminen viemärlaitoksilla. Diplomityö. Ympäristö- ja

energiatekniikka. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 12.1.2023.
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24325/Ranta.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

ROTI 2017. Rakennetun omaisuuden tila 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Viitattu 28.10.2022.
https://www.ril.fi/media/2017/2017-vaikuttaminen/roti-2017/taustat/roti-2017_painettu-raportti.pdf.

ROTI 2019. Rakennetun omaisuuden tila 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Viitattu 27.10.2022.
https://www.ril.fi/media/2019/roti/roti_2019_raportti.pdf.

Salmi, J. 2017. Kanta-Kauhavan jätevesiverkoston vuotovesien kartoitus virtaamien ja sadanta-aineiston tilastollisen analyysin avulla. Diplomityö. Teknillinen tiedekunta. Oulu: Oulun yliopisto. Viitattu 12.1.2023.
<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201711083074.pdf>.

Siintoharju, P. 2016. Jätevedenpumppaamoiden ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamoiden ohitusten ympäristöriskit ja hallinta Pirkanmaalla. Tampere: Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Skanska 2023. Viemäreiden ristikytkennän merkkiainetestin suoritusohje. Viitattu 26.1.2023. <https://www.skanska.fi/491f07/siteassets/tietoa-skanskasta/yhteistyokumppaneille/sopimusasiakirjat-ja-ohjeistukset/ohjeita-2022/merkkiainetestin-ohje-aliurakoitsijoille.pdf>.

Sola, K.; Bjerkholt, J.; Lindholm, O. & Ratnaweera, H. 2018. Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland. Viitattu 31.11.2022.
https://www.researchgate.net/publication/329148000_Infiltration_and_Inflow_II_to_Wastewater_Systems_in_Norway_Sweden_Denmark_and_Finland.

Suomen Vesilaitosyhdistys 2013. Viemärikaivojen kuntotutkimusohje. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Suomen Vesilaitosyhdistys 2022. Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2021. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 75. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Viitattu 13.3.2023.
https://www.vvy.fi/site/assets/files/7187/vesihuoltolaitosten_tunnuslukuja_rjestelma_n_raportti_2021_final_-_ii.pdf.

Vesi 2023. Sekaviemäri. Vesi.fi - Suomen tarkinta ja ajantasaisinta vesitietoa. Viitattu 22.5.2023. <https://www.vesi.fi/sanasto/sekaviemari/>.

Vesiosuuskunnat 2023. Mikä on vesiosuuskunta? Viitattu 28.5.2023. https://www.vesiosuuskunnat.fi/mika_on_vesiosuuskunta.

Vienonen, S.; Laitinen, J. & Vilpas, R. Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) viemäriverkostojen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Viitattu 7.12.2022. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/188598/SYKEra_17_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Vuove-Insinöörit Oy 2023. Vuove-menetelmä. Viitattu 29.5.2023. <http://www.vuove.fi/menetelma.html>.

Välisalo, T.; Riihimäki, M.; Lehtinen E. & Kupi, E. 2008. Vesihuoltolaitosten verkosto-omaisuuden hallinta. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

WEF 2016. Private Property Infiltration and Inflow Control. E-kirja Ebookcentral-kirjapalvelussa. Alexandria, Virginia: Water Environment Federation. Viitattu 11.1.2023. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/reader.action?docID=6187879>.

Ympäristöhallinto 2021. Vesihuollontietojärjestelmä (VEETI) – ohjeita tiedontuottajille. Viitattu 27.1.2023. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Tietojarjestelmat/Vesihuollon_tietojarjestelma_VEETI__ohje\(35455\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Tietojarjestelmat/Vesihuollon_tietojarjestelma_VEETI__ohje(35455)).

Ympäristöhallinto 2021. Vesihuoltolaitosten raportteja. Viitattu 27.1.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesihuoltoraportit/Vesihuoltolaitosten_raportit.

Ympäristöhallinto 2023. VEETI-raportti, julkiset tiedot. Viitattu 3.9.2023. <https://raportit.ymparisto.fi/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2fJulkiraportti-Tunnusluvut>.