

Pekka Moilanen

VUOTOVESIEN VAIKUTUKSET ERILLISVIEMÄRIVERKOSTON TOIMINNASSA JA SANEERAUKSESSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteen tiedekunta
Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Hannele Auvinen
1/2020

TIIVISTELMÄ

Pekka Moilanen: Vuotovesien vaikutukset erillisviemäriverkoston toiminnassa ja saneerauksessa
The effects of extraneous water on the operation and renovation of separate sewage systems
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikka
1/2020

Vuotovedet ovat jätevesiviemäriverkoston kuulumattomia ylimääräisiä pinta- ja pohjavesiä. Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena on tutkia vuotovesien vaikutuksia erillisviemäröidyn jätevesiverkoston ja jätevedenpuhdistuksen toiminnassa sekä avata vuotovesistä johtuvan saneerausprosessin kulkua. Lisäksi tavoitteena on tarkastella keinoja saada tontinomistajat mukaan saneerausprosessiin.

Vuotovedet voidaan jakaa pohjavesivuotoihin ja pinta- sekä kuivatusvesivuotoihin. Pohjavesivuodot ovat pohjavettä, jotka pääsevät verkostoon esimerkiksi rikkinäisten putki- ja kaivorakenteiden kautta, kun taas pinta- ja kuivatusvesivuodot ovat hulevettä, jotka pääsevät verkostoon sen pintarakenteiden kautta tai kiinteistöjen kuivatusvesinä. Vuotovesiä voidaan tutkia ja paikantaa eri menetelmillä, kuten virtaamamittauksilla, TV-kuvauksilla ja savukokeilla.

Vuotovedet lisäävät veden määrää viemärissä ja muuttavat sen ominaisuuksia, mikä vaikuttaa verkoston ja jätevedenpuhdistamon toimintaan, tehokkuuteen ja mitoitukseen. Vuotovedet voivat aiheuttaa verkostossa kapasiteettiongelmia sekä ylivuotoja ja jätevedenpuhdistamolla osaprosessit voivat häiriintyä. Tämän takia vuotovesillä on merkittäviä toiminnallisia ja taloudellisia vaikutuksia vesilaitokselle, sekä negatiivisia vaikutuksia kestävään vesihuoltoon ja ympäristöön.

Vuotovesiä voidaan ehkäistä verkostosaneerauksella. Saneerausprosessi koostuu usein suunnitteluvaiheesta, itse saneerauksesta ja saneerauksen arviointivaiheesta. Vesilaitos on vastuussa verkoston saneerauksesta paitsi silloin, kun kyseessä on verkoston tonttihaara. Tällöin saneerausvastuu on tontinomistajalla, jota voi olla vaikea saada saneeraamaan tonttijohtoaan. Vesilaitosten on tällöin pyrittävä tiedottamaan saneerauksen hyödyistä ja käyttämään erilaisia houkuttelukeinoja, jotta tontinomistajat lähtisivät mukaan saneerausprosessiin. Kannustuskeinoja voivat olla esimerkiksi alennukset, kiinteät hinnat ja ilmaiset viemäritutkimukset.

Vuotovedet hankaloittavat erillisviemäriverkoston toimintaa, joten tutkimus aiheesta on tärkeää. Vuotovesiä ja niiden vaikutuksia onkin tutkittu paljon. Tulevaisuudessa tutkimusta voisikin johtaa enemmän tonttihaarojen vuotojen suuntaan ja kehittyneempien vuotovesien tutkimusmentelmien kehittämiseen.

Avainsanat: vuotovedet, viemäriverkosto, verkostosaneeraus, tonttihaara

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. VUOTOVESIEN TEORIAA.....	3
2.1 Vuotovesien luokittelu	3
2.2 Vuotovesien lainsäädäntö	5
2.3 Vuotovesien määrä ja tutkimusmenetelmät.....	5
2.3.1 Virtaamamittaus	6
2.3.2 TV-kuvaus.....	7
2.3.3 Savukoe.....	8
2.3.4 Muita paikannusmenetelmiä	9
3. VUOTOVESIEN VAIKUTUKSET	10
3.1 Vaikutukset verkostossa	10
3.2 Vaikutukset jätevedenpuhdistamolla	11
4. VUOTOVESISTÄ JOHTUVA SANEERAUS.....	12
4.1 Saneeraustarpeen arviointi ja saneerauksen kohdentaminen	12
4.2 Saneerausmenetelmät ja niiden valinta.....	13
4.3 Vaikuttavuuden arviointi ja seuranta.....	15
5. TONTINOMISTAJIEN ROOLI SANEERAUKSESSA.....	16
5.1 Tontinomistajien vastuut	16
5.2 Tontinomistajien kannustaminen saneeraukseen.....	18
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	19
LÄHTEET.....	21

1. JOHDANTO

Vuotovedet viemäriverkostossa ovat verkostoon kuulumattomia ylimääräisiä vesiä, jotka pääsevät viemäriin esimerkiksi putkirikkojen kautta. Aikaisemmin vuotovesien merkitystä on pidetty pienenä. Nykyään kuitenkin kun vedenpuhdistusteho kasvaa, on alettu kiinnittämään huomiota käsiteltävän veden määrän pienentämiseen. (Karttunen et al. 2004) Vuotovesien määrä on ollut myös nousussa. Vuonna 2009 Suomessa vuotovesien osuus jätevedestä oli 29 %, kun taas vuonna 2016 vastaava luku oli 40,9 %. (Sola et al. 2018) Vuotovesien haitat näkyvät verkostossa ja jätevedenpuhdistamolla. Ylimääräiset vedet muun muassa aiheuttavat verkostossa kapasiteetin ylitystä ja jätevedenpuhdistamolla ne vaikeuttavat osaprosesseja ja täten heikentävät puhdistustehoa. (Ojala 1983)

Vuotovesiä voidaan ehkäistä verkoston saneerauksella. Suomen vesihuoltoverkostoissa verkostojen saneeraamisen tarve on suuri: noin 2-3 % verkostopituudesta tulisi saneerata (Vienonen et al. 2017) mutta keskimääräinen vuosittainen saneeraus määrä on vain 1 % (Seppälä 2014) ja vain harva vesilaitos on kasvattanut saneeraus määrärahojaan (Kortelainen 2011). Vaikka verkostosta saneerattaisiinkin suuri osa, saatetaan kuitenkin huomata, että vuotovesien määrä on pienentynyt vain murto-osan odotetusta määrästä. Syy tähän on todennäköisesti tonttihaarojen vuotovedet, sillä merkittävä määrä vuotovesistä tulee viemärien tonttiosuuksilta. Tonttihaarojen merkitys vuotovesiin kuitenkin tiedostetaan vesilaitoksilla ja laitokset usein kannustavatkin tontinomistajia tonttiputkien saneeraamiseen (Luukkonen et al. 2018).

Tämän kandidaatintyön tavoite on selvittää vuotovesien vaikutuksia viemäriverkoston ja jätevedenpuhdistamon kannalta, avata saneerausprosessin kulkua sekä tuoda esiin keinoja, miten tontinomistajat saataisiin mukaan verkoston saneeraukseen. Edellä mainitut näkökohdat toimivat samalla työn tutkimuskysymyksinä. Tarkastelun kohteena on myös vuotovesien synty ja määrä sekä Suomessa käytetyimmät vuotovesien paikannusmenetelmät.

Työn toisessa luvussa perehdytään vuotovesien luokitteluun, lainsäädäntöön sekä vuotovesien paikannustapoihin. Kolmannessa luvussa tarkastellaan minkälaisia vaikutuksia vuotovesillä on prosessien ja energiankäytön kannalta. Neljännessä luvussa tutkitaan viemäriverkoston saneerausprosessia kohdentamisesta vaikutusten arviointiin sekä käydään läpi eri saneeraustekniikoita. Viidennessä luvussa käsitellään tontinomistajien roolia verkoston vastuussa ja saneerauksessa sekä tarkastellaan eri keinoja, miten tontinomistajia saadaan kannustettua tonttihaaran saneeraukseen. Viidennessä luvussa kootaan yhteen työn merkittävimmät havainnot ja tehdään johtopäätökset.

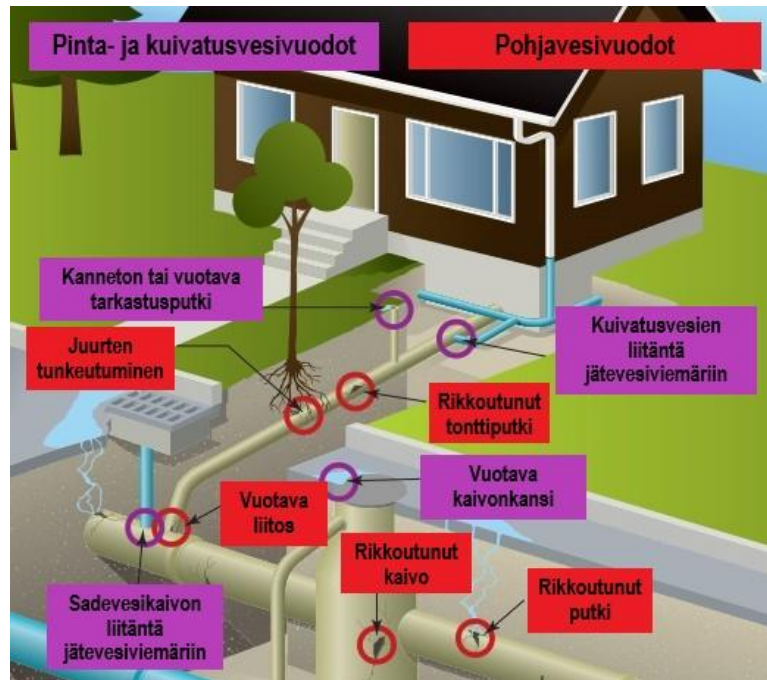
2. VUOTOVESIEN TEORIAA

Jätevesiverkosto voi olla sekaviemäröity tai erillisviiemäröity. Sekaviiemäröidyssä jätevesiverkostossa vesi koostuu sekä yhdyskuntajätevesistä, että hulevesistä. Erillisviiemäröidyssä jätevesiverkostossa yhdyskuntajätevedet ja hulevedet ovat omilla verkostoissaan. Tällöin yleensä pelkästään yhdyskuntajätevedet puhdistetaan ja hulevedet puretaan puhdistamattomana vesistöön. Tässä työssä keskitytään erillisviiemäröityyn verkostoon.

Erillisviiemäröidyssä jätevesiverkostossa kuuluisi olla pelkästään kiinteistöistä lähtöisin olevaa yhdyskuntajätevettä. Verkostoon pääsee kuitenkin ylimääräisiä vesiä. Näitä vesiä, jotka pääsevät viemäriverkostoon ympäröivästä maaperästä, kutsutaan vuotovesiksi. (Karttunen et al. 2004) Vuotovesien määritelmään voidaan lisätä myös vuodot, jotka ovat peräisin suoraan pintavesistä (Ojala 1983). Vuotovedeksi voidaan luokitella myös viemäri- tai vesijohtoverkostosta pois virtaava vesi (DeSilva et al. 2005) mutta tässä työssä keskitytään pelkästään viemäriverkostoon virtaaviin vesiin.

2.1 Vuotovesien luokittelu

Edellytys vuotovesien synnylle on, että viemärintason yläpuolella olevalla vedellä on vapaa pääsy viemäriverkkoon (Ojala 1983). Kirjallisuudessa (Huttunen 1977, Ojala 1983 mukaan) vuotovedet on jaettu kolmeen kategoriaan: pohjavesivuotoihin, pintavesivuotoihin ja kuivatusvesivuotoihin. Tapoja ilmoittaa vuotoveden määrä ovat esimerkiksi l/s·johto-km, l/s·ha ja l/s·johto-km·cm, jossa cm on putken halkaisija. Vuotoveden määrä verkostossa voidaan osoittaa myös suhteellisena suuruutena. Nykyään suhteeksi arvioidaan yleensä 1,0, eli vuotoveden ja varsinaisen jäteveden osuudet ovat yhtä suuret. (Karttunen et al. 2004)



Kuva 1: Vuotovesien syntytyypit (muokattu lähteestä York Region 2019)

Pohjavesivuodot ovat pohjavesiä, jotka vuotavat viemäriin kuvan 1 esittämistä verkoston pohjaosista eli putkirikoista, liitoskohdista tai rikkiäisistä kaivorakenteista (Karttunen et al. 2004). Pohjavesivuotojen määrään vaikuttavat sijaintipaikan hydrogeologiset ominaisuudet, kuten pohjavedenpinnan taso, maaperän vedenläpäisevyys ja valuma-alueen laajuus (Tiainen et al. 1980). Pohjavesivuodot ovat runsaita kevät sulamisen aikaan, sillä pohjaveden pinta on tällöin korkeimmillaan (Karttunen et al. 2004).

Viemäriin pääsevän pohjaveden voi osittain selittää myös putkiasennuksen heikolla laadulla. Asennuksen laatuun vaikuttavat putkiasentajien ammattitaito ja liitostavat. Myös viemärikaivannon huono täyttötapa voi nopeuttaa pohjaveden virtausta ja täten vuotoveden määrää putkistossa. Suurin osa vuotovesistä johtuu nimenomaan huonoista putki- ja kaivoliitoksista. (Karttunen et al. 2004)

Pintavesivuodot ovat puolestaan hulevettä, jotka pääsevät viemäriin verkoston pintaosista, eli kaivojen ja tarkastuskaivojen rikkiäisistä kansistoista ja ylimmistä saumoista tai ylivuotoputkista. Kuivatusvesivuodoilla tarkoitetaan kiinteistöjen hulevesiä, jotka on johdettu erillisviemäroityyn jätevesiverkostoon. (Ojala 1983) Pinta- ja kuivatusvesivuodot ovat korkeimmillaan korkean sadannon, esimerkiksi myrskyn, aikana (King County 2016).

Sadevedet ovat kaikkien vuotovesien pohjimmainen syy. Pintavesivuodoissa sade vaikuttaa suoraan vuotovesien määrään. Pohja- ja kuivatusvesivuotojen tapauksessa puolestaan sade vaikuttaa vuotoihin pohja- ja hulevesien välityksellä. Putkea ympäröivä täytemaa on lisäksi yleensä häiriintymätöntä maata vettä läpäisevämpää. (Karttunen et al. 2004)

2.2 Vuotovesien lainsäädäntö

Valtioneuvoston yhdyskuntajätevesiasetuksessa (888/2006) määritetään, että jätevesiviemärien suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa on kiinnitettävä erityistä huomiota vuotojen ehkäisemiseen. Lisäksi vesihuoltolain (119/2001) mukaan vesilaitos on vastuussa vuotovesien määrän tarkkailusta viemäriverkostossa.

Kuivatusvesivuodot ovat olennaisessa osassa vuotovesiin liittyvässä lainsäädännössä. Vesihuoltolain muutoksen (681/2014) mukaan kiinteistön hulevesiä, eli kuivatusvesiä, ei saa liittää viemäriverkkoon. Sen sijaan kuivatusvedet on johdettava kunnan vastuulla olevaan hulevesiverkostoon mikäli imeyttäinen ei ole mahdollista (Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 2014). Kuivatusvedet saa kuitenkin johtaa jätevesiviemäriin, mikäli jätevesiviemäri, johon kiinteistö on liittynyt, on rakennettu ennen vuotta 2015 ja se on mitoitettu hulevedelle, alueelle ei ole rakennettu hulevesiverkostoa tai jos vesilaitos on kykenevä johtamaan huleveden jätevesiviemäriin taloudellisuuden ja asianmukaisuuden rajoissa (Vesihuoltolain muutos 681/2014).

2.3 Vuotovesien määrä ja tutkimusmenetelmät

Vuotojen paikantaminen liittyy merkittävästi vuotojen suuruuteen. Esimerkiksi jos vuotokohta on löydetty, halutaan yleensä tietää sen merkittävyys – vaatiiko alue saneerausta vai ei. Toisaalta jos viemäröntialueella on havaittu vesimäärän kasvua, halutaan yleensä tietää vuotokohta. (Ojala 1983)

Suunniteltaessa vuotovesien vähentämistä ensimmäiseksi selvitetään vähentämisen yleiset tavoitteet: halutaanko esimerkiksi lisätä verkoston tai puhdistamon kapasiteettia vai vähentää toimintahäiriöitä. Seuraavaksi asetetaan vähentämiselle määrällinen tavoite, esimerkiksi vuotovesimäärän vähentäminen 40 %:iin. Sitten selvitetään virtaamamittauksella ja vedenkäyttötietojen perusteella vuotovesien nykyinen määrä. Lopuksi jaetaan tarkasteltava alue osa-alueisiin, esimerkiksi pumppaamoalueiden mukaisesti, minkä perusteella havaitaan suurimmat vuotoalueet. (Karttunen 2010a)

Vuotovesien määrän ja paikan määrittämisen yleinen periaate on edetä tutkimuksissa asteittain suuremmista viemäröintialueista pienempiä kohti, minkä aikana karsitaan vähemmän vuotavia alueita tarkastelusta pois (Tiainen et al. 1980). Paikantamismenetelmät voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin menetelmiin. Suorissa menetelmissä paikantaminen tapahtuu paikan päällä siirrettävillä mittauslaitteilla. Epäsuorissa menetelmissä puolestaan hyödynnetään hydraulisia mittaus tietoja laskennallisesti. (Aksela 2010) Suomessa yleisin vuotovesien paikantamiseen tarkoitettu tutkimusmenetelmä on TV-kuvaus. Muita käytössä olevia menetelmiä ovat muun muassa virtaamamittaus ja savukoe. (Luomanen et al. 2013)

2.3.1 Virtaamamittaus

Virtaamamittauksen periaate perustuu kahden tai useamman peräkkäisen mittauspisteen virtaamatietojen vertailuun, jossa lasketaan vuodosta aiheutunut virtaaman lisääntyminen (Ojala 1983). Virtaamamittaukset voidaan suorittaa kiinteissä, tai liikuteltavissa mittauspisteissä (Karttunen et al. 2004).

Kiinteät mittauspisteet asennetaan yleensä verkoston tärkeimpiin kohtiin mittauksen kannalta, kuten jätevedenpumppaamoille tai tärkeisiin risteämiskohtiin (US EPA 2005). Erityisesti puhdistamoilla suoritettu virtaamamittaus toimii hyvin vuotovesien kokonaiskuvan analysoimisessa, verraten tulevia vesimääriä vedenkulutukseen ja säätilaan (Karttunen et al. 2004). Pumppaamoilla suoritettavassa mittauksessa viemäriverivirtaamasta vähennetään arvioitu yläpuolisen verkostoalueen vedenkulutus, jolloin saadaan arvio kyseisen alueen vuotovesimäärästä. Virtaamamittareiden sijaan pumppaamoilla on käytetty myös pumppujen käyttötuntien havainnointia, minkä kautta saadaan laskettua viemäriverivirtaama tietyllä ajanjaksolla. (Tiainen et al. 1980)

Liikuteltavilla mittauspisteillä voidaan edetä pienempien viemäröintialueiden tarkasteluun. Virtaamamittauspaikka on oltava helposti muutettavissa ja mittaus yksinkertaista suorittaa. (Tiainen et al. 1980) Liikuteltavat mittauspisteet asennetaan verkoston johto-osiin, kuten putkeen, tarkastuskaivoon tai paineputkeen. Käytettäviä mittaus tekniikoita on esimerkiksi siivikkomittaus, venturimittaus ja siirrettävä magneettinen mittari. (Karttunen et al. 2004)

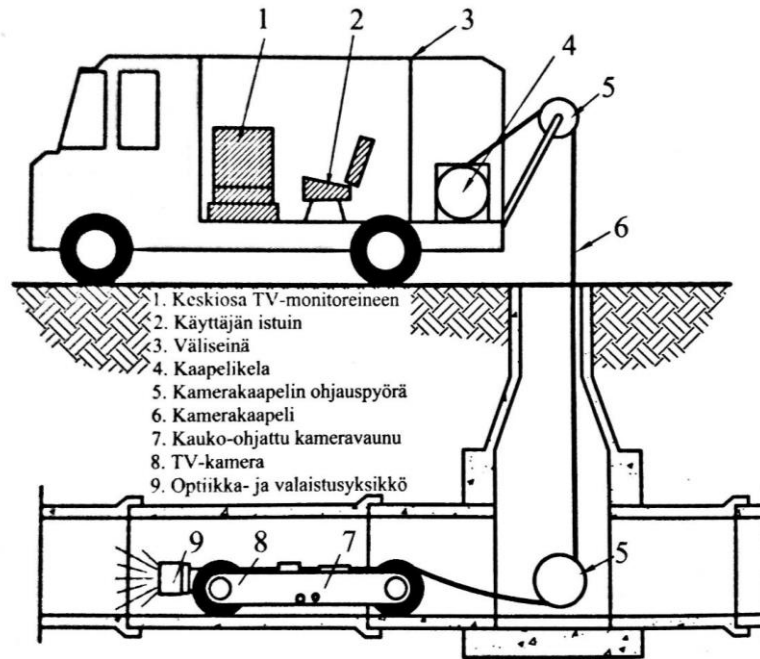
Virtaamamittauksella on myös mahdollista arvioida pohjavesivuotoja ja pinta- sekä kuivatusvesivuotoja erikseen. Pohjavesivuotoja arvioitaessa pohjaveden korkeus on oltava suuri, jolloin mitattavaa virtaamaa verrataan vuotovedettömään

jätevesivirtaamaan. Mittaus täytyy suorittaa vähintään kolmen päivän päästä sateesta, jotta mitatussa virtaamassa ei olisi ollenkaan pinta- tai kuivatusvesiä. Pinta- ja kuivatusvesiä arvioitaessa sateen jälkeisestä mittauksesta vähennetään jäteveden ja pohjavesivuotojen määrä. Tällöin molemmissa mittauksissa pohjavesiolot on oltava samat. (US EPA 2014)

Viemäriverkoston ylläpidossa on hyvä olla käytössä vuotovesien paikantamiseen suunnitelma, jonka on tarkoitus tarkastella mittausdataa niin kiinteistä kuin tilapäisistä mittauspisteistä. Kiinteiden mittauspisteiden data antaa kokonaiskuvan verkoston vuotovesistä kun taas liikuteltavat mittauspisteet auttavat vuotokohtien paikan arvioimisessa. (US EPA 2005) Virtaamamittauksella saadaan siis selville vuotovesien määrä mutta ei tarkkoja vuotokohtia.

2.3.2 TV-kuvaus

Viemäriverkoston kunnan mittaamiseen ja arvioimiseen on käytettävissä siihen erikoistuneita TV-kameroita (Luomanen et al. 2013). Kameranat ovat yhteydessä kaapelilla virtalähteeseen ja TV-monitoriin, jonka kautta käyttäjä ajaa kameraa. Kaapeli toimii samalla etäisyyden mittarina. (Karttunen et al. 2004) Kameranat voivat olla itsekulkevia (kuva 2) tai lihasvoimin työnnettäviä tai vedettäviä. Liikkuessaan ne kuvaavat viemäriin sisäpintaa ja nauhoittavat videokuvaa. (US EPA 2005) Viemäriin on huudeltava ennen kuvausta, jolloin vuotokohdat saadaan paremmin näkyviin (Karttunen et al. 2004). TV-kamera on hyvä vuotovesien paikallistamistapa mutta sillä ei voida tutkia vuotojen määrää (DeSilva et al. 2005). TV-kuvausta voi käyttää myös yleisessä viemäriin kuntotutkimuksessa (Lampola & Kuikka 2018).



Kuva 2: Itsekulkevan TV-kameran käyttö (Karttunen et al. 2004)

Operoidessaan kameraa käyttäjän on tarkoitus havaita ja luokitella vika putkessa kameran kuvan perusteella. Kun käyttäjä havaitsee vian putkessa, pysäyttää hän kameran arvioidakseen ja dokumentoidakseen tilanteen. Vika arvioidaan sen tyyppin, koon ja orientaation mukaan (DeSilva et al. 2005). Keskeytyksien takia TV-kameran käyttö hidastuu sitä enemmän, mitä enemmän putkessa on vikoja. Tutkimus on myös subjektiivista, sillä käyttäjän arviointiin voi vaikuttaa esimerkiksi kokemus, valppaus, häiriötekijät ja keskeytykset (Wirahadikusumah et al. 1998, Costello et al. 2007 mukaan). TV-kameran arvioimista onkin pyritty tekemään automaattiseksi. (Costello et al. 2007)

Ensimmäiset TV-kamerat tulivat Suomessa käyttöön 1970-luvulla, josta asti TV-kuvauksen perusperiaate on pysynyt lähes samana. Nykyään kamerat pystyvät kuitenkin ottamaan 360 asteen kuvamateriaalia esimerkiksi pyörivän kameran tai kahden erillisen laajakuvalinssikameran avulla. On myös olemassa kameroita, jotka eivät vaadi kameran liikuttamista putkessa, vaan käyttävät tehokasta zoomausta putken kuvaamiseen. (Lampola & Kuikka 2018)

2.3.3 Savukoe

Savukoe on suhteellisen edullinen ja nopea pinta- ja kuivatusvesivuotojen paikannusmenetelmä. Savukokeessa viemäriin lisätään savua, joka kulkeutuu vuotokohtiin ja niistä ulos, jolloin vuotokohtat paljastuvat. Savun paljastamia vuotokohtia

ovat esimerkiksi rännit sekä tarkastusputkien ja kaivojen kannet. Savukoe voikin olla ainoa tapa, jolla kiinteistöjen hulevesien johtamista voidaan tutkia. Mikäli verkosto-osuus on virheetön, savun tulisi poistua kiinteistöjen viemäreiden ilmastointiputkista. (US EPA 2005)

Käytävissä oleva savu on lähtöisin savupommeista ja sen tulee olla myrkytöntä, hajuonta ja tahraamatona. Savukokeesta tulisi silti informoida pelastuslaitosta väärin palohälylysten varalta, mikäli savua jostain syystä pääsee sisätiloihin. Savukoe ei pysty havaitsemaan putkissa olevia vuotokohtia, mikäli putkien ympäröivä maa on tiivistä, jäässä tai lumen peittämä. Menetelmää ei voi käyttää ollenkaan, jos putkessa on vedellä täyttynyt notkahdus estämässä savun kulkua. (US EPA 1991)

2.3.4 Muita paikannusmenetelmiä

Monet vuotovesien paikannusmenetelmät pohjautuvat kaikuluotaukseen. Yksi menetelmä on laserkeilaus, jossa TV-kameran kaltaisesti putkessa kulkeva laite tuottaa putken pintaan pistepilven, jota käytetään esimerkiksi painaumien ja seinämän paksuuden muutoksien analysoimiseen. Laserkeilausteknikalla saadaan putken 3D-geometriasta erittäin tarkkoja mittaustuloksia. Toinen kaikuluotausmenetelmä on maaperätutka, joka käyttää magneettisia aaltoja maan-alaisten materiaalien ja rakenteiden tunnistamiseen. (Lampola & Kuikka 2018)

Yksi kehitteillä oleva menetelmätyyppi on ultraäänitekniikka, jota voidaan käyttää vuotojen etsimisessä halkeamien ja mikrohalkeamien muodossa. Lisäksi sitä voidaan käyttää myös esimerkiksi putken pinnoitteen kunnan tutkimiseen sekä putkea ympäröivän maa-aineksen puutteiden tutkimiseen. (Lampola & Kuikka 2018)

3. VUOTOVESIEN VAIKUTUKSET

Vuotovedet lisäävät veden määrää viemärissä ja muuttavat sen ominaisuuksia, mikä vaikuttaa verkoston ja jätevedenpuhdistamon toimintaan, tehokkuuteen ja mitoitukseen (Franz 2007). Tämän takia vuotovesillä on merkittäviä toiminnallisia ja taloudellisia vaikutuksia vesilaitokselle, sekä negatiivisia vaikutuksia kestävään vesihuoltoon ja ympäristöön (Beheshti & Sægrov 2018).

3.1 Vaikutukset verkostossa

Vuotoveden merkittävimmät vaikutukset jätevesiviemäriverkostossa ovat viemäriin pienentyneet siirto- ja säilytyskapasiteetit sekä lisääntynyt huuhtelu. Siirto- ja säilytyskapasiteettien nousu aiheuttaa viemärissä esimerkiksi vastapaineongelmia ja ylivuotoja. (Franz 2007)

Viemäriin paineellistuminen voi aiheuttaa jäteveden kiintoaineksen kerääntymistä tukoksiksi (Franz 2007). Tukoksia voi pahentaa myös vuotovesien mukana tuleva maa-aines (Ojala 1983), joka voi myös aiheuttaa korroosiota putkistoissa, jos alueen maaperä on aggressiivinen (Ellis & Revitt 2002). Vuotovesien aggressiivisuus sekä korkeammat happi- ja nitraattipitoisuudet voivat myös nopeuttaa putkien korroosiota (Franz 2007). Pelkkä vesikin voi kuluttaa putkia. Muoviputket on kuitenkin havaittu kestävämmän vedestä aiheutuvaa korroosiota kuin betoniputket (Fairfield 2014).

Mitä enemmän verkostossa on vettä, sitä enemmän jätevedenpumppaamot joutuvat pumppaamaan. Tämän takia pumppaamojen energiankulutus kasvaa vuotovesimäärän suhteessa ja niiden huoltotarve lisääntyy (Ojala 1983). Tämä johtaa pumppujen käyttöiän pienenemiseen käyttötuntien kasvaessa (Franz 2007). Pahimmassa tapauksessa ylimääräinen pumpattava vesi voi johtaa pumppaamon kapasiteettiongelmiin (Ojala 1983).

Vuotovedet vaikuttavat myös verkoston mitoitukseen. Erillisjärjestelmässä mitoitusvirtaama koostuu jätevedestä ja maksimitilanteen vuotovesimäärästä (Karttunen 2010b), mikä tarkoittaa, että vuotovesien takia verkosto täytyy mitoittaa suuremmaksi kuin vuotovedettömässä ideaalitalanteessa (Franz 2007). Vuotovesien takia verkostoa voi myös joutua suurentamaan ennakkoisesti (Sunela 2019).

3.2 Vaikutukset jätevedenpuhdistamolla

Sen lisäksi, että vuotovedet nostavat jätevedeluhdistamolle tulevan veden määrää, vuotovedet pienentävät jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden lämpötilaa, pienentävät sen kiintoainepitoisuutta ja lisäävät happipitoisuutta. Suurimmat vaikutukset jätevedenpuhdistamoilla johtuvat hydraulisesta ylikuormituksesta, eli ylimääräisestä vedestä, ja jäteveden laimentumisesta. Hydraulinen ylikuormitus pienentää mekaanisten puhdistusprosessien, esimerkiksi laskeutuksen, tehoa. (Franz 2007) Ylimääräinen vesi aiheuttaa myös viipymien pienenemistä ja voi pahimmillaan johtaa ohijuoksutuksiin (Ojala 1983). Esimerkiksi Akaan jätevedenpuhdistamolla on välillä jouduttu ohittamaan biologinen vaihe virtaamapiikkien takia, minkä takia puhdistamo ei ole päässyt puhdistustavoitteisiinsa (HS-vesi 2018). Lisäksi jätevedenpuhdistamon ohjaus ja säätö vaikeutuu veden laadun vaihdellessa, jolloin esimerkiksi saostuskemikaalien syöttö hankaloituu. (Ojala 1983)

Lämpötilan ja pitoisuuksien pieneneminen puolestaan hidastaa aktiivilieteprosessia (Franz 2007; Ojala 1983). Erään tutkimuksen jätevedenpuhdistamoilla havaittiin sisäänvirtauksessa lämpötilan laskua sekä vähentyneitä fosforin, typen ja COD:n pitoisuuksia vuotovesien määrän noustessa (Rödel et al. 2017). Tutkimuksessa ei kuitenkaan pystytty havaitsemaan korrelaatiota veden lämpötilan laskun ja mikro-organismien hajoitusreaktioiden heikkenemisen välillä. On toisaalta huomattu, että pitoisuuksien vähenemisellä on merkittävin vaikutus puhdistustuloksiin (Hennerkes 2006, Rödel et al. 2017 mukaan). Myös vuotovesistä aiheutunut pH:n pieneneminen voi pienentää aktiivilieteprosessin tehokkuutta (Kroiss & Brendl 1996, Franz 2007 mukaan).

On myös huomattu, että lisääntynyt vuotovesiosuus nostaa jätevedenpuhdistamon energiankulutusta. Ylimääräinen kulutus aiheutuu lähinnä puhdistamon komponenttien, kuten pumppujen, lisääntyneestä käytöstä. Energiankulutuksen kasvu on kuitenkin erittäin puhdistamokohtaista, eikä tarkkoja arvioita lisääntyneen kulutuksen suhteen voida tehdä yleisellä tasolla. (Rödel et al. 2017)

4. VUOTOVESISTÄ JOHTUVA SANEERAUS

Saneerauksella pyritään huolehtimaan, että viemäriverkko pysyisi mahdollisimman ideaalisessa tilassa, eli tiiviinä. Tämä tarkoittaa sitä, että viemäriverkkoon tulisi enimmäkseen vain käytettyä vesijohtovettä ja mahdollisimman vähän vuotovesiä. Verkostojen saneerausprosessi koostuu saneerauksen suunnittelusta, jolloin saneeraustarve arvioidaan ja saneerausmenetelmä valitaan, sekä itse saneerauksesta. (Karttunen et al. 2004) Saneerauksen jälkeen on hyvä myös arvioida saneerauksen vaikuttavuutta (Luukkonen & Kyrönseppä 2014).

On huomioitavaa, että viemäriverkoston saneeraustarve voi muodostua muistakin syistä, kuin vuotovesistä. Näitä ovat esimerkiksi putkien raaka-aineiden ja rakenteiden heikkeneminen, verkoston kapasiteetin lasku tai muutos maankäytössä (Karttunen et al. 2004). Tässä työssä keskitytään kuitenkin saneeraukseen vuotovesien kannalta.

4.1 Saneeraustarpeen arviointi ja saneerauksen kohdentaminen

Itse saneerausta edeltää yleensä laajamittainen verkoston toimivuuden ja kunnon selvittäminen. Jotta edellä mainittuja verkoston saneeraustarpeen indikaattoreita saataisiin selville, on organisoitava verkostodatan arkistointi ja hallinta niin, että datan löytäminen ja hyväksikäyttö on tehokasta. (Karttunen et al. 2004) Jos verkostodata on saatavilla reaaliaikaisesti, verkoston tilanteeseen pystytään reagoimaan nopeasti (Franssila 2010). Saneeraus selvitys auttaa viemäriverkoston toiminnallisten häiriöiden ennaltaehkäisyssä ja saneeraustoimenpiteiden tarkemmassa suunnittelussa ja ajoittamisessa. Vesilaitos voi tehdä selvitystyön omana työnä tai teettää sen konsultilla. (Karttunen et al. 2004)

Kyseinen selvitys etenee suurista kokonaisuuksista yksityiskohtia päin. Vuotovesiselvityksen tapauksessa edetään luvussa 3 esitetyllä tavalla: aloitetaan vuotovesien mittaaminen koko verkoston tasolta ja edetään siitä kohti pienempiä verkosto-osuuksia hyödyntäen eri paikannusmenetelmiä tutkimuksen eri vaiheissa. Erityisen tärkeitä vuotovesien selvityskohtia ovat verkosto-osuudet, joiden kapasiteetti ylittyy putkiston tai pumppaamoiden osalta, verkosto-osuudella on toistuvia viemäritulvia, verkosto-osuus on yli 15 vuotta vanha tai viemäri alittaa vesistön. Tonttihaarojen

tapauksessa selvitys on tärkeä, jos putket ovat yli 15 vuotta vanhoja tai niiden kuntoa on syytä epäillä. (Karttunen et al. 2004)

Pistemäinen saneeraus ei kuitenkaan välttämättä poista vuotoja, joten vuotojen vähentämiseksi saneeraustoimenpiteet tulee olla laajamittaista ja systemaattista. Saneeraus ei myöskään ole aina ainoa ratkaisu vuotojen vähentämiseen. Vuotavan alueen maaperän kuivatus, esimerkiksi ojituksella, voi pienentää vuotovesimääriä merkittävästi. (Heino & Eklöf 2010)

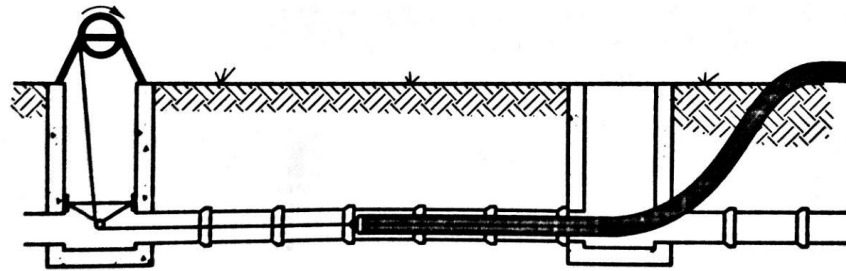
4.2 Saneerausmenetelmät ja niiden valinta

Kun viemäriverkoston saneerausta suunnitellaan, on tutkittava eri saneerausmenetelmien soveltamiseen ja toteuttamiseen liittyviä ongelmia, millaisia tuloksia eri menetelmillä on saavutettavissa ja mitkä menetelmät ovat taloudellisesti kannattavimpia (Tiainen et al. 1980). Saneerausmenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät voidaan jakaa neljään päätekijään: teknisiin tekijöihin, taloudellisiin tekijöihin, ulkopuolisille kohdistuvien haittojen tarkasteluun sekä työllistämisenäkökohtiin (Karttunen et al. 2004).

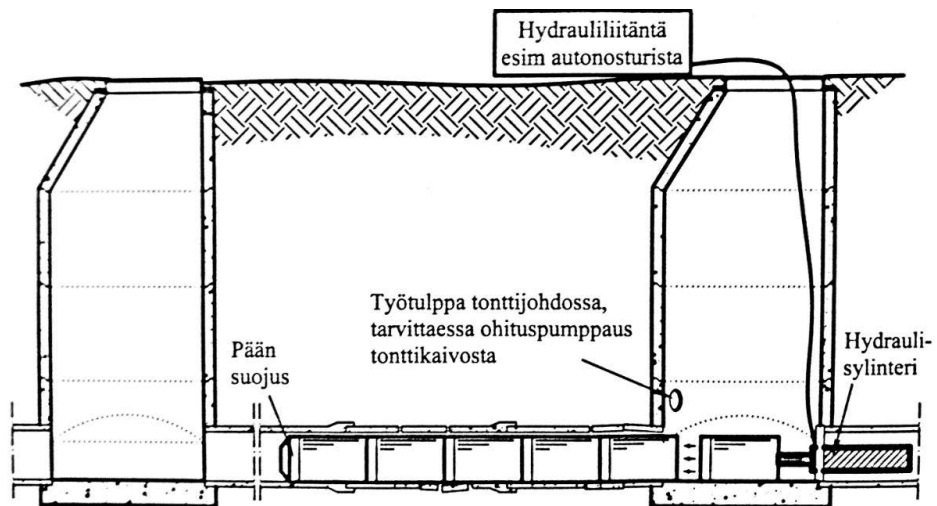
Teknisiä tekijöitä analysoitaessa tarkastellaan esimerkiksi verkosto-osuuden painumisolosuhteita, sortumia ja tutkitaan, tarvitseeko sekaviemäri muuttua erillisviemäriksi. Taloudelliset tekijät tarkastelevat, ollaanko alueella tekemässä muita maanrakennustöitä, jolloin auki kaivaminen on perusteltua. Taloudelliseen tarkasteluun liittyy myös esimerkiksi saneerausolosuhteet ja saneerauksen kesto. Ulkopuolisille kohdistuvat haitat ovat usein suunnittelussa merkittävässä asemassa. Tällaisia haittoja voivat olla esimerkiksi liikennejärjestelyt, katujen uudelleenpäällystäminen ja maassa oleviin putkiin ja kaapeleihin kohdistuvat mahdolliset vahingot. Lopuksi työllisyysnäkökulmat tarkastelevat muun muassa alueen työllisyystilannetta. Nämä tekijät määrittävät käytettävän saneerausmenetelmän auki kaivamisen ja muiden saneerausmenetelmien väliltä. (Karttunen et al. 2004)

Putken auki kaivaminen on nykyään vaihtoehtona, mikäli edellä mainituiden tekijöiden perusteella muut saneerausmenetelmät eivät ole kannattavia tai mahdollisia, esimerkiksi merkittävien sortumien takia tai jos putki on liikkunut paikaltaan. Uuden putken asentaminen on usein muita saneerausmenetelmiä kalliimpaa ja kohdistaa suurempia vahinkoja ulkopuolisille kuin muut menetelmät. (US EPA 1991) Putken auki kaivaminen ja uusiminen on suosituin saneeraustapa Suomessa (Seppälä 2013).

Muihin saneerausmenetelmiin kuuluu suurimmalta osaltaan eri tyyppiset sujutukset, joista yleisimmät ovat pitkä-, pakko-, pätkä-, puristus- ja sukkasujutus (Seppälä 2013). Kaikissa sujutustyypeissä pääperiaate on, että saneerattavan putken sisälle asennetaan uusi putki niin, että vanha putki pysyy paikoillaan.



Kuva 3: Pitkäsujutus (Karttunen et al. 2004)



Kuva 4: Pätkäsujutus (Karttunen et al. 2004)

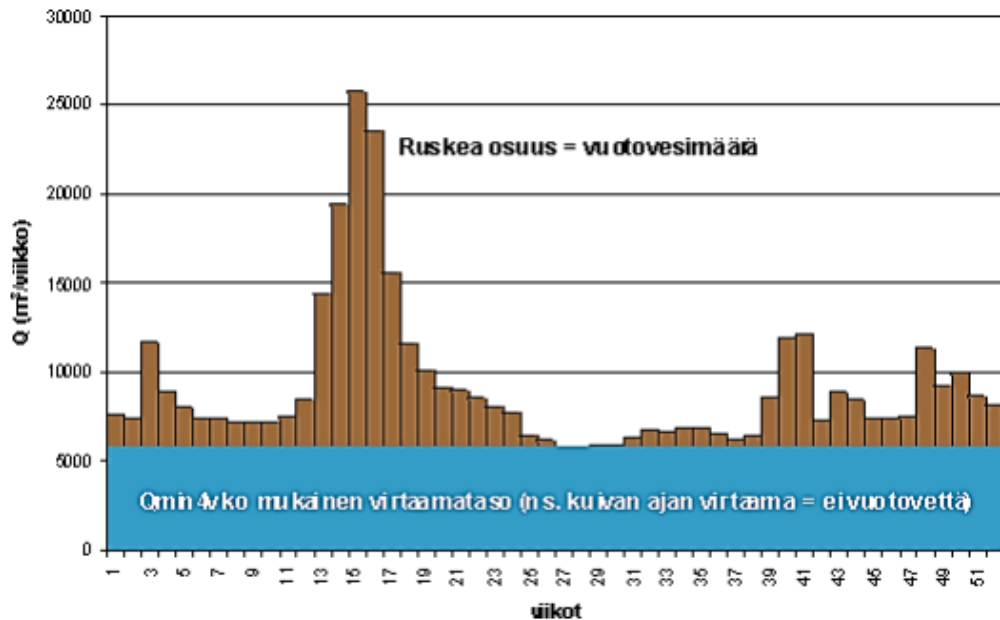
Pitkäsujutuksessa saneerattavan osuuden sisään vedetään kuvan 3 tapaisesti yhtenäinen putki, jonka läpimitta on pienempi kuin saneerattavan putken. Pakkosujutus on pitkäsujutuksen tapainen menetelmä, jossa putken kärjessä kulkee putkimurskain, joka rikkoo putken tieltään. Pätkäsujutuksessa uusi putki puolestaan työnnetään lyhyissä osissa vanhan putken sisälle kuvan 4 osoittamalla tavalla. Puristus- ja sukkasujutuksessa putken sisään viedään litistetty putki tai hartsilla kyllästetty sukka, joka muotoutuu tiiviisti putken sisäseinämiä vasten. (Karttunen et al. 2004)

Kaivoja saneerattaessa on käytettävissä eri menetelmiä eri kaivon vauriotyyppien mukaan. Kaivon sisälle voi esimerkiksi asentaa muovikaivon tai tarkastusputken ja

betonikaivojen renkaita voi vaihtaa tai niiden saumoja tai vuotokohtia injektoida täyeaineella. (Karttunen et al 2004)

4.3 Vaikuttavuuden arviointi ja seuranta

Saneerauksen vaikuttavuutta voidaan tutkia esimerkiksi eri tunnuslukujen avulla. HSYn laatimassa tutkimuksessa käytettiin viittä tunnuslukua, joista yksi on jätevesiviemärien vuotovesimäärä. (Luukkonen & Kyrönseppä 2014) Vuotovesimäärä saadaan laskettua vähentämällä vuoden kokonaisvirtaamasta neljän viikon minimitason virtaama (Suomen Ympäristökeskus 2011). Vuotovesimäärän suhteen normaaliin virtaamaan voi nähdä kuvan 5 taulukosta.



Kuva 5: Vuotovesimäärän suhde normaaliin virtaamatasoon esimerkivesilaitoksella (x-akseli: viikot, y-akseli: Q ($m^3/viikko$)) (Ympäristökeskus 2011)

Saneerauksen vaikuttavuuden arviointi on hankalaa vesihuoltoverkoston laajuuden ja saneerausmäärien vähäisyyden takia. Varsinkin yksittäisten verkosto-osuuksien saneerauksen hyöty on vaikeasti havaittavissa, jos saneeraustulosta halutaan arvioida koko verkoston kannalta. Joskus vaikuttavuutta on mahdotonta arvioida suoraan, jolloin on tarkasteltava tunnuslukuja pitkällä aikavälillä, minkä perusteella voi tehdä johtopäätöksiä saneerauksen onnistumisesta. Saneerauksen jälkeen tulisi myös arvioida, mitä saneerauksella on saavutettu, jotta saneeraustoiminta kehittyisi. (Luukkonen & Kyrönseppä 2014)

5. TONTINOMISTAJIEN ROOLI SANEERAUKSESSA

Tontinomistajat ovat usein tietämättömiä siitä, että he omistavat osan vesihuoltoverkostoa. Tonttihaaran omistaminen tarkoittaa myös, että tontinomistaja on vastuussa verkosto-osuuden saneerauksesta (Seppälä & Tiainen 2010). Tontinomistajia on hankala saada saneeramaan tonttijohtojaan, joten osa vesilaitoksista pyrkii kannustamaan tontinomistajia saneeraustoimintaan. Osalla vesilaitoksista ei kuitenkaan ole käytössä vakiintunutta toimintatapaa tontinomistajien kannustamiseen. (Luukkonen et al. 2018)

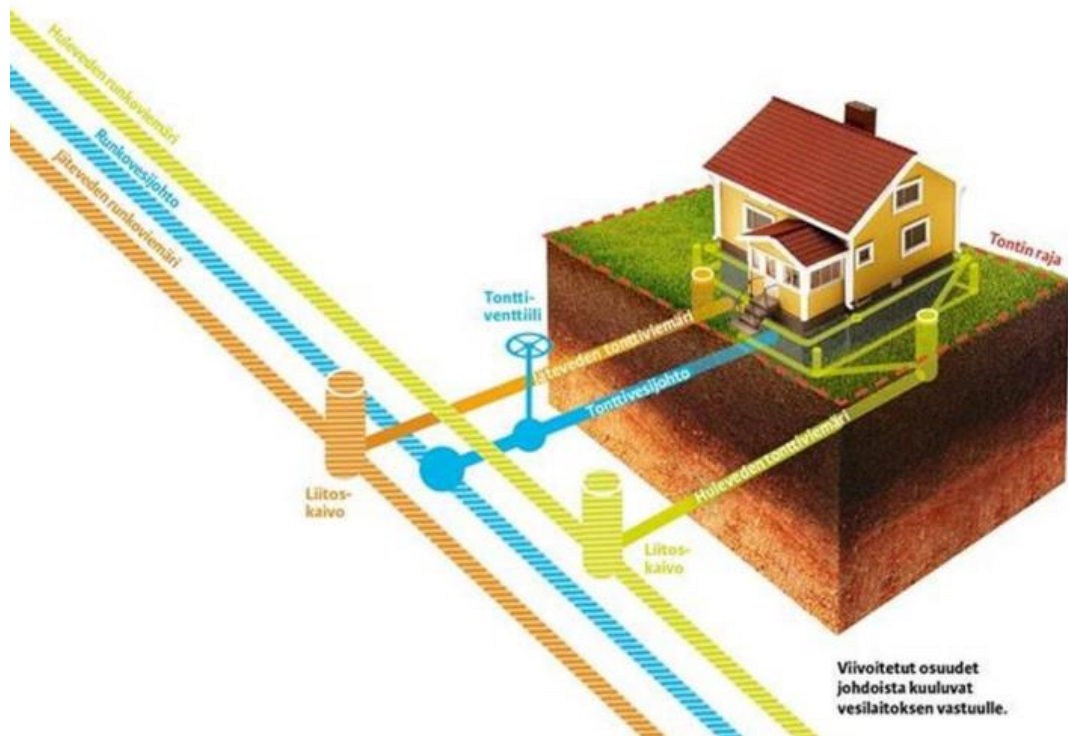
5.1 Tontinomistajien vastuut

Suomessa lainsäädäntö ei määritä vesijohto- ja viemäriverkostojen omistus- ja kunnossapitovastuun rajoja, vaan jokainen vesilaitos voi sopia ne itse sopimusehdoissaan. Yleisin toimintatapa Suomessa on kuvan 7 kuvaama toimintatapa, jossa tontinomistajan vastuu loppuu liitoskaivoon, josta eteenpäin vastuu on vesilaitoksella. Muita Suomessa käytettyjä vastuurajoja, eli liittämiskohtia, ovat tontin raja, tonttviemäriin tarkastuskaivo tai tonttviemäriin liitoskohta runkoviemärisä ilman kaivoa (kuva 6). (Luukkonen et al. 2018)



Kuva 6: 76:n tontinomistajien saneeraustoimintaakyselyyn vastanneen vesilaitoksen jätevesiviemäriin liittämiskohta (Luukkonen et al. 2018)

Vastuualueeseen kuuluu myös tonttihaaran kunnossapito ja saneeraus (Seppälä & Tiainen 2010). Merkittävä osa vuotovesistä syntyy kiinteistöjen alueella olevista verkosto-osuuksista (Lampola & Kuikka 2018). Näin ollen vesilaitos ei voi teoriassakaan päästä verkostossaan ideaaliin vuodottomaan tilanteeseen ilman, että tontinomistajat saneeraisivat tontillansa olevat verkosto-osuudet. Siispä tontti-osuuksien saneerauksen edistäminen on vesilaitoksille kannattavaa toimintaa (Seppälä & Tiainen 2010).



Kuva 7: Kiinteistön ja vesilaitoksen vastuurajat (Luukkonen et al. 2018)

Tonttihaarat sijaitsevat usein osittain yleisellä alueella, kuten kuvassa 7 on esitetty. Yleinen alue on esimerkiksi kunnan tai valtion toteutettavaksi tarkoitettu alue, esimerkiksi katualue tai tori. Vuonna 2007 Vesilaitosyhdistyksen talous- ja hallintoryhmä laati suosituksen, jonka mukaan yleisillä alueilla olevat tonttihaarat siirtyisivät vesilaitosten omistukseen ja/tai kunnossapitovastuulle. Ryhmän mukaan tämä helpottaisi saneerausta ja yleisen alueen korjaustöitä. (Luukkonen et al. 2018)

Tällaista menettelytapaa on kokeiltu. Norjan Stavangerissa vesilaitoksen omistukseen siirrettiin 33 000 yksityistä vesijohto-osuutta saneeraustahdin kasvattamiseksi ja vuotovesien vähentämiseksi. Neljän vuoden aikana kokonaisvedenkäyttö laski 6 %, minkä on oletettu johtuvan vuotovesien määrän vähenemisestä. (Luukkonen et al. 2018) Vaikkakin tämä tapaus koskee vesijohtoverkostoa, voidaan silti olettaa, että kyseinen menetelmä saattaisi toimia myös jätevesiverkostossa.

5.2 Tontinomistajien kannustaminen saneeraukseen

Tontinomistajien kannustaminen tonttihaaran saneeraukseen on syytä aloittaa aktiivisella viestinnällä, jonka tarkoituksena on lisätä ymmärrystä saneerauksesta, saneerausvastuusta, verkoston toiminnasta ja sen käyttöiästä. Tontinomistajaa lähestyminen voi olla kuitenkin hankalaa, mikäli tontinomistaja ei ole tietoinen vastuistaan ja omaisuuksistaan tai mikäli putkien kunto ei lähestymishetkellä ole huono. Tällöin on hyvä kaupata asiaa asiakaslähtöisesti, selkokielellä ja keskittyä saneerauksen hyötyihin. (Luukkonen et al. 2018) Näitä hyötyjä ovat esimerkiksi viemäritukokosten väheneminen, vanhojen saostuskaivojen poiston mahdollisuus ja kiinteistön turvallisuuden sekä arvon nousu (Porvoo vesi 2018; Luukkonen et al. 2018).

Vesilaitokset voivat tarjota tontinomistajille tonttihaaran saneerauspalveluita niin, että saneeraustyö tehdään erillistyönä tai runkoverkon saneerauksen yhteydessä (Seppälä & Tiainen 2010). Synergian kannalta on perusteltua yhdistää tonttihaaran ja runkoverkon saneeraukset (Seppälä & Tiainen 2010), joten tontinomistajia kannattaa houkuttaa tähän esimerkiksi reiluilla alennuksilla tai tarjoamalla putkimateriaalit ilmaiseksi. Myös ennen saneerausta sovittu kiinteä hinta on hyvä tapa houkuttelussa. Tällöin vesilaitos ja urakoitsija sopisivat saneerausurakan todellisen hinnan keskenään. Vesilaitokselle on taloudellisesti kannattavaa erotella hulevedet jätevedestä, joten vanhoja sekaviemäriä kiinteistöjä kannattaa tukea myös hule- ja jäteveden erottelutöissä. Mikäli saneerauksen tukeminen ei auta, voi vesilaitos myös periä kiinteistöltä korotettua jätevesimaksua, jonka tarkoitus on kannustaa kiinteistöä viemärien erotteluun eikä niinkään kompensoida hulevesistä tulevia kuluja. (Luukkonen et al. 2018)

Myös kuntotutkimusten tarjoaminen ilmaiseksi on koettu olevan hyvä tontinomistajien kannustustapa (Luukkonen et al. 2018). Tonttiviläimärien kuntotutkimuksia tehdään satunnaisesti. Kuntotutkimusmenetelminä voidaan käyttää samoja tutkimusmenetelmiä, kuin yleisestikin vuotovesien tutkimuksessa. Esimerkiksi savukokeella saadaan selville kaikki liittymiskohdat ja rikkoutuneet tonttiviläimärit. Tonttihaaroja voi myös tutkia yksinkertaisimmilla menetelmillä, kuten työnnettävillä putkistokameroilla tai silmämääräisillä kaivojen arvioimisella. (Lampola & Kuikka 2018)

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia vuotovesien vaikutuksia, jotka voidaan jakaa verkostoissa ja jätevedenpuhdistamoilla näkyviin vaikutuksiin. Tavoitteena oli myös perehtyä viemäriverkoston saneerausprosessin vaiheisiin: saneerauksen suunnitteluun, saneerausmenetelmiin ja saneeraustoiminnan vaikuttavuuden arviointiin. Lopuksi myös pohdittiin tontinomistajien roolia verkostosaneerauksessa.

Vuotovesien aiheuttamat kapasiteettiongelmat verkostossa aiheuttavat tukoksia ja ylivuotoja. Pitkällä aikavälillä ongelmat johtavat ennenaikaiseen verkoston laajentamiseen ja saneeraukseen. Jätevedenpuhdistuksessa vuotovesistä aiheutuneet häiriöt puolestaan vaikeuttavat puhdistustavoitteiden saavuttamista ja puhdistamon toimintaa. Puhdistamon ongelmat johtuvat pääasiassa lämpötilan ja kiintoainepitoisuuden pienentymisestä. Lisäksi vuotovedet kuormittavat infrastruktuuria ja ympäristöä, kun puhdistettu jätevesi ei vastaa puhdistusvaatimuksia ja -tavoitteita ja energiankulutus kasvaa. Nämä taloudelliset ja toiminnalliset ongelmat kulminoituvat vesilaitoksen yleisen toiminnan hankaloitumisena.

Vuotovesistä aiheutuvia haittoja voidaan estää verkoston saneerauksella mutta saneerauksessa täytyy muistaa sen asianmukaiset vaiheet. Saneerausprosessi tulee aloittaa hyvästä suunnittelusta ja päättyä tuloksien yksityiskohtaiseen tarkasteluun, mikä on tärkeää saneerausprosessin kehittymisen kannalta. Saneerausvelan kannalta on kuitenkin ongelmallista, että Suomessa viemäriverkostojen saneeraustahti ei ole nousussa ja että nykyinen 1 %:n saneeraustahti ei riitä 2–3 %:n saneerausmäärän tarpeen kattamiseen. Saneerausmäärän tarve näkyy myös vuotovesien määrässä, joka on noussut noin 30 %:sta 40 %:iin 2010-luvun aikana.

Vaikka saneeraustahti kasvaisikin, niin ongelmaksi jäävät silti tonttihaarojen vuotovedet. Joissakin verkostoissa suurin osa vuotovesistä ovat suurimalta osaltaan tonttihaarojen vuotovesiä, minkä takia pelkkä runkoverkon saneeraus voi tuottaa toivottua pienempiä tuloksia vuotovesien suhteen. Näin ollen nimen omaan tonttihaarojen vuotovedet ovat verkostosaneerauksessa entistä suuremmissa roolissa tulevaisuudessa.

Jotta tontinomistajat saadaan mukaan saneeraukseen, kannattaa saneeraustoiminnassa panostaa tontinomistajien kannustamiseen. Tehokkaiksi

keinoiksi kannustamisessa on havaittu erityisesti tontinomistajien asiakaslähtöinen tiedottaminen ja erilaiset houkuttelukeinot, kuten alennukset ja ilmaiset verkoston kuntotutkimukset. Tiedottamisessa kannattaa keskittyä saneerauksen etuihin. Informaatiota saneerauksesta olisi hyvä myös jakaa eteenpäin päättäjille sekä panostaa selviin toimintamalleihin, jotta tontinomistajien saneeraustoiminta selkeytyisi ja vakiintuisi.

Vuodot erillisviemäriverkostossa hankaloittavat verkoston toimintaa, joten verkoston toiminnan tehokkuus riippuu verkoston tiiveydestä. Tämän takia on tärkeää pyrkiä mahdollisimman ideaaliin vuodottomaan tilanteeseen. Aiheen tutkimus on siis tärkeää, ja vuotovesiä ja sen vaikutuksia onkin tutkittu paljon. Tonttihaarojen vuotojen merkitystä olisi kuitenkin hyvä tutkia enemmän, jotta saataisiin tarkempi ja kokonaisvaltaisempi kuva tonttihaarojen vuotojen suhteesta runkoverkon vuotoihin. Tutkimusta voisi suunnata enemmän myös kehittyneimpien vuotovesien tutkimusmenetelmien kehittämiseen.

LÄHTEET

Aksela, K. (2010). Kaikki irti vuodoista. *Vesitalous*, No. 6, 2010, s. 11–17.

Beheshti, M., & Sægrov, S. (2018). Quantification assessment of extraneous water infiltration and inflow by analysis of the thermal behavior of the sewer network. *Water*, vol. 10, iss. 8.

Costello, S.B., Chapman, D.N., Rogers, C.D.F. & Metje, N. (2007). Underground Asset Location and Condition Assessment Technologies. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 22.

DeSilva, D., Burn, S., Tjandraatmadja, G., Moglia, M., Davis, P., Wolf, L., Held, I., Voltersten, J., Williams, W. & Hafskjold, L. (2005). Sustainable management of leakage from wastewater pipelines. *Water Science & Technology*, vol. 52.

Ellis, J.B. & Revitt, D.M. (2002). Sewer losses and interactions with groundwater quality. *Water Science & Technology*, vol. 45.

Fairfield, C.A. (2014). Cavitation damage to potential sewer and drain pipe materials. School of Engineering and Information Technology, Charles Darwin University.

Franssila, H. (2010). Hyöty irti verkostodatasta. *Vesitalous*, No. 6, 2010, s. 8–10.

Franz, T. (2007). Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results. Technische Universität Dresden; Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft

Heino, O. & Eklöf, T. (2010). Viemäreiden vuotovesitutkimukset Kalvolassa ja Sahalahdella. *Vesitalous*, No. 1, 2010, s. 29–32.

HS-Vesi. (2018). Vuosikertomus 2017.

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. (2004). RIL 124-2 Vesihuolto II. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Karttunen, E. (2010). RIL 237-1-2010 Vesihuoltoverkkojen suunnittelu : 1, Perusteet ja toiminnallisuus. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Karttunen, E. (2010). RIL 237-2-2010 Vesihuoltoverkkojen suunnittelu : 2, Mitoitus ja suunnittelu. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

King County. (2016). What is infiltration and inflow? Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.kingcounty.gov/services/environment/wastewater/ii/what.aspx> (viitattu 26.10.2019).

Kortelainen, H. (2011). Vesi- ja viemäriverkostojen kunnostamisella on kiire. VTT. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vesi-ja-viem%C3%A4riverkostojen-kunnostamisella-on-kiire> (viitattu 23.12.2019).

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta, L 682/2014. (2014). Maa- ja metsätalousministeriö.

Laki vesihuoltolain muuttamisesta, L 681/2014. (2014). Maa- ja metsätalousministeriö.

Lampola, T. & Kuikka, S. (2018). Viemäreiden kuntotutkimusopas. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Luomanen, T., Hanski, J. & Oulasvirta, L. (2013). Vesihuoltoverkoston kunnan ja arvon määrittäminen. VTT.

Luukkonen, H. & Kyrönseppä, R. (2014). Mihin verkostosaneeraus vaikuttaa?. Vesitalous, No. 2, 2014, s. 9-12.

Luukkonen, H., Niini, S. & Riihinen, H. (2018). Kiinteistöjen tonttivesijohtojen ja viemäreiden saneeraus. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Ojala, M. (1983). Jätevesiviemärien vuotovesitutkimus. Rakennushallitus.

Porvooon vesi. (2018). Pappilanmäen ja Myllymäen alueiden verkostosaneeraus, 2-alue, Tiedotustilaisuus 25.10.2018. Saatavissa:

https://www.borga.fi/library/files/5be53f3fed6b978cc2000529/Pappilanm_ki_vesilaitoksen_esitys_25.10.2018.pdf (viitattu 11.12.2019).

Rödel, S., Günthert, F.W. & Brüggermann, T. (2017). Investigating the impacts of extraneous water on wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, vol. 75, iss. 4.

Seppälä, O. & Tiainen, A. (2010). Vesihuoltolaitosten rooli tonttijohtojen saneerauksessa. *Vesitalous*, No. 6, 2010, s. 20–21.

Seppälä, O. (2013). Vesihuolto- ja viemäriverkoston tilanne Suomessa -seminaariesitys. Vesilaitosyhdistys. Saatavilla: https://fistt.net/wp-content/uploads/2016/04/D_Seppala_Vesi_viemariverkoston_tilanne.pdf. (viitattu 11.12.2019).

Seppälä, O. (2014). Saneeraustarve ja saneerauksen rahoitus -seminaariesitys. Vesilaitosyhdistys. Saatavilla: <http://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Seppala.pdf> (viitattu 13.1.2020).

Sola, K.J., Bjerkholt, J.T., Lindholm, O.G & Ratnaweera, H. (2018). Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark and Finland. *Water*, vol. 10, iss. 11.

Sunela, M. Suullinen tiedonanto, 29.10.2019.

Suomen Ympäristökeskus. 2011. Viemärit 2020-prosessi.

Tiainen, V.M., Asumalahti, K., Jurmu, A., Lundgrén, S., Markkanen, T., Yletyinen, P., Yrjänä M. & Viikari, P. (1980). Vesijohtojen ja viemäreiden korjaus ja saneeraus. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. s. 2 (luku VI)

US EPA (United States Environmental Protection Agency). (1991). Handbook: Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2005). Guide for Evaluating Capacity, Management, Operation, and Maintenance (CMOM) Programs at Wastewater Collection Systems.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2014). Guide for Estimating Infiltration and Inflow.

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä, Vna 888/2006. (2006).
Ympäristöministeriö

Vesihuoltolaki, L 119/2001. (2001). Ympäristöministeriö.

Vienonen, S., Laitinen, J. & Vilpas, R. (2017). Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) viemäriverkostojen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Suomen ympäristökeskus.

York Region, (2019). Inflow and Infiltration. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.york.ca/wps/portal/yorkhome/environment/yr/waterandwastewater/inflowandinfiltration/> (viitattu 26.10.2019).