

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Arri Koskela

KOKKOLAN
VESIHUOLTOVERKOSTON
SANEERAUSTARPEEN
ARVIOIMINEN
LASKENNALLISESTI

Arri Koskela

KOKKOLAN VESIHUOLTOVERKOSTON SANEERAUSTARPEEN ARVIOIMINEN LASKENNALLISESTI

Opinnäytetyö käsittelee Varsinais-Suomen ELY-keskuksen tilaamaa ja Sweco Ympäristö Oy:n kehittämää vesihuoltoverkoston saneeraustarpeen arvioimisen työkalua ja laskentamallia. Työn toimeksiantaja Kokkolan Vesi pyysi selvittämään missä määrin Sweco Ympäristö Oy:n laatimaa työkalua ja laskentamallia voidaan hyödyntää Kokkolan Veden tarpeisiin.

Työn alkuvaiheessa selvitettiin saatavilla olevat lähtötiedot Kokkolan Veden tehtävistä, toimintamalleista ja paikallisen vesihuoltoverkoston nykytilasta. Työssä käsiteltiin vesihuoltoverkostoissa käytettävien putkimateriaalien ominaisuuksia ja putkien yleisimpiä vaurioitumismekanismia. Näiden asioiden lisäksi selvitettiin paikallisten olosuhteiden mahdollisia vaikutuksia verkostolle.

Työkalu ja laskentamalli perustuu putkien saneeraustarpeen määrittelyyn tiettyjen putken ominaisuuksien perusteella. Näitä ominaisuuksia ovat verkosto-osuuden vuotavuus, putken ikä, putken halkaisija ja putken materiaali. Lisäksi jätevesiviemäripuolella huomioidaan hule- ja pintavesien mahdollinen päätyminen jätevesiviemäriin. Työkalun käytettävyyttä Kokkolan Veden tarpeisiin selvitettiin opinnäytetyössä ensin teoreettisesti. Työkalun taustalla oleviin teoriataustoihin sekä niiden pohjalta tehtyyn laskentamalliin saatiin vahvistusta alan tutkimuksista ja selvitystöistä. Swecon laskentamalli ja siihen sisältyvä saneerausindeksin muodostuminen esiteltiin työssä yksityiskohtaisesti.

Työkalun ja laskentamallin käytännön toimivuutta selvitettiin tekemällä laskentamallin mukainen saneerausindeksilaskenta pilottialueelle. Työssä esitettiin pilottialueen saneerausindeksin laskentaan liittyvät hankaluudet ja virheet. Pilotti laskettiin ja laskennan tulokset sekä niihin liittyvät virheet esitettiin yhteenvedossa.

Työssä tehtyjen havaintojen ja pilotin tuloksien perusteella työkalu ja laskentamalli voitaisiin lähitulevaisuudessa ottaa Kokkolan Vedellä käyttöön. Puuttuvat putkietiedot pitää vielä täydentää, jotta tulokset ovat käyttökelpoisia.

ASIASANAT:

vesihuoltolaitokset, vesihuolto, putkistot, paikkatietojärjestelmät, paikkatiedot, saneeraus, putkiremontti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental engineering

2021 | 89 pages, 1 appendix

Arri Koskela

CALCULATORY ASSESSMENT OF RENOVATION DEMAND OF THE KOKKOLA WATER SUPPLY NETWORK

This thesis examined the tool and the calculation model used for assessing the renovation demand of a water supply network. The model was commissioned by the ELY Centre for Southwest Finland and developed by the Sweco Environment Ltd. The client of the thesis, Kokkola's Water asked to study to what extent the calculation model developed by Sweco Environment Ltd could be utilized by Kokkola's Water.

The initial information about tasks and operation models at Kokkola's Water and the current state of the local water supply network were studied. The properties of pipe materials in a water supply network and common damage mechanisms of pipes were also studied. In addition possible effects of the local conditions to the water supply network were considered.

The tool and the calculation model are about assessing the necessity of renovation of individual water supply pipes based on certain properties of the pipes. These properties include leakage of the network section where the pipe is located, as well as the age, diameter and material of the pipe. In addition, on sewer pipes, possible inflow of stormwater or surface water into the network is taken into account. The usability of the tool for Kokkola's Water was considered first from a theoretical aspect: the theoretical background and conclusions behind the tool and the calculation model were compared to other studies and surveys on the subject, which in the end supported those conclusions. The calculation model and the formation of the renovation index developed by Sweco are explained in detail in the thesis.

The functionality of the tool and calculation model was tried in practice by performing pilot phase renovation index calculations to parts of the network. Difficulties and inconsistencies related to the pilot phase calculations were then presented. The pilot was eventually calculated and the results, as well as the related errors, were presented in the conclusions of the thesis.

Based on the observations and the results of the pilot phase calculations, the tool and the calculation model could be utilized by Kokkola's Vesi in the near future. However, the missing pipe data must be completed in order to achieve usable results.

KEYWORDS:

water supply plants, water services, pipings, geographic information systems, geographic information, renovation, pipe repair

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	9
1 JOHDANTO	1
1.1 Vesihuoltoverkko	1
1.2 Vesihuoltolaki	1
1.3 Työn tavoitteet	2
2 KOKKOLAN VESIHUOLTOLAITOS	4
2.1 Historiaa	4
2.2 Toiminta nykypäivänä	4
2.3 Vesijohtoverkosto	5
2.3.1 Ikäjakaus	6
2.3.2 Materiaalijakaus	7
2.3.3 Vuotavuus	8
2.4 Jätevesiviemäriverkosto	9
2.4.1 Ikäjakaus	10
2.4.2 Materiaalijakaus	10
2.4.3 Vuotavuus	11
3 PUTKIMATERIAALIT JA NIIDEN OMINAISUUDET	13
3.1 Metallit	14
3.1.1 Harmaa valurauta	16
3.1.2 Pallografiittirauta	17
3.1.3 Teräs	17
3.2 Sementtipohjaiset materiaalit	17
3.2.1 Betoni	18
3.2.2 Himaniitti	18
3.3 Muovit	18
3.3.1 Polyeteenit	19
3.3.2 Polyvinyylilokloridi	20
3.4 Putkimateriaalien ja verkostossa esiintyvien vuotojen yhteys	20
4 PAIKALLISET OLOSUHTEET	23
4.1 Maaperä	24

4.2 Sääolosuhteet	27
5 VESIHUOLTOPUTKIEN KÄYTTÖIÄN JA HÄIRIÖIDEN SUHDE	30
6 SANEERAUSTARPEEN ARVIOINTI JA SANEERAUSINDEKSI	33
6.1 Osapisteiden laskentaperusteet vesijohtoverkostossa	35
6.1.1 Vesijohtoverkoston vuotavuus	35
6.1.2 Putken rakentamisvuosi	38
6.1.3 Putken halkaisija	39
6.1.4 Putken materiaali	41
6.2 Osapisteiden laskentaperusteet jätevesiviemäriverkossa	42
6.2.1 Jätevesiviemäriverkoston vuotavuus	42
6.2.2 Putken rakentamisvuosi	43
6.2.3 Putken halkaisija	44
6.2.4 Putken materiaali	44
6.2.5 Vesimuodostumien etäisyys tarkasteltavasta jätevesiviemäriputkesta	44
6.2.6 Hulevesiverkoston etäisyys tarkasteltavasta jätevesiviemäriputkesta	45
6.3 Saneerausindeksin laskeminen	45
6.3.1 Osapisteiden painotusprosentit	46
6.3.2 Saneerausindeksin laskukaava	47
6.3.3 Saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman veden perusteella	47
6.3.4 Saneerausindeksin perusteella tehtävä kriittisyysluokitus	49
7 LASKENTAMALLIN PILOTOINTI KOKKOLASSA	51
7.1 Suunnittelu	51
7.2 Pilottialue	52
7.3 Pilottialueen saneerausindeksin laskeminen	54
7.3.1 Vesijohtoverkon vuotavuus	54
7.3.2 Jätevesiviemäriverkon vuotavuus	57
7.3.3 Vesijohto- ja jätevesiviemäriputket	59
7.4 Tulokset	65
7.4.1 Tulokset ilman saneerausindeksin korjausta	66
7.4.2 Tulokset saneerausindeksin korjauksen jälkeen	69
8 YHTEENVETO JA POHDINTA	74
LÄHTEET	79

LIITTEET

Liite 1. Pilottialueen vesihuoltoverkon saneerausindeksi ja kriittisyysluokitus 2021.

KAAVAT

Kaava 1. Pienimmän tuntikulutuksen suuruus (Karttunen 1999).	36
Kaava 2. Saneerausindeksin laskentakaava (Sweco 2017).	47
Kaava 3. Vuotovesiprosentti (Saarnio 2019).	58

KUVAT

Kuva 1. Vanha tonttijohdon osa, joka löytyi saneeraustöiden yhteydessä Ykspihlajasta.	15
Kuva 2. Vanha tonttijohdon osa, joka löytyi saneeraustöiden yhteydessä Ykspihlajasta.	16
Kuva 3. Kokkolan maaperäkartta, pintamaa (GTK 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021).	25
Kuva 4. Kokkolan maaperäkartta, pohjamaa (GTK 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021).	26
Kuva 5. Pilottialue ja vesihuoltoverkon putkikartta. Putkikarttaan on merkitty pilotin kannalta olennaiset mittakaivot ja jätevedenpumppaamo. (Kokkolan Vesi 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021)	53
Kuva 6. Kuvakaappaus QGIS-ohjelmalla tehdystä osapisteiden laskemisesta.	61
Kuva 7. Koivuhaan ja Nuolipuron alueen jätevesiviemäriputkien etäisyys hulevesiverkosta (Kokkolan Vesi 2021).	62
Kuva 8. Pilottialueen jätevesiviemäriputkien etäisyys hulevesiverkosta (Kokkolan Vesi 2021).	63
Kuva 9. Pilottialueen vesimuodostumien mallinnusta.	64
Kuva 10. Jätevesiviemäriputkien saneerausindeksin laskemista.	65
Kuva 11. Pilottialueen vesihuoltoputkien saneerausindeksit ilman korjausta. Putket värjättyinä kriittisyysluokituksen mukaisesti. (Kokkolan Vesi 2021)	69

KUVIOT

Kuvio 1. Kokkolan vesijohtoverkoston ikäjakauma (Kokkolan Vesi 2021).	7
Kuvio 2. Kokkolan vesijohtoverkoston materiaali-jakauma (Kokkolan Vesi 2021).	8
Kuvio 3. Kokkolan jätevesiviemäriverkoston ikäjakauma (Kokkolan Vesi 2021).	10
Kuvio 4. Kokkolan jätevesiviemäriverkoston materiaali-jakauma (Kokkolan Vesi 2021).	11

Kuvio 5. Vesilaitosten ilmoittamat tiedot vuotokohdista putkimateriaaleittain. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vesilaitoksille vuonna 2005 tekemään kyselyyn. Sulkeissa on kyseisen arvion antaneiden vesilaitoksien määrä. (Kekki ym. 2008.)	21
Kuvio 6. Vesilaitoksien arvioita vuotojen syistä putkimateriaaleittain. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vesilaitoksille vuonna 2005 tekemään kyselyyn. Sulkeissa on kyseisen arvion antaneiden vesilaitoksien määrä. (Kekki ym. 2008.)	22
Kuvio 7. Säähavainnot Kokkolassa vuonna 2020 (Ilmatieteen laitos 2021).	27
Kuvio 8. Kokkolan jätevedenpumppaamoiden vuosiraportti vuodelta 2020 (Kokkolan Vesi 2021).	28
Kuvio 9. Putken iän ja häiriön todennäköisyyden suhde jätevesiviemärissä (Syachrani 2010).	31
Kuvio 10. Vantaan vesijohtoverkostossa vuonna 2005 havaittujen putkirikkojen määrän suhde putken ikään (Luukkanen 2013).	32
Kuvio 11. Vuotavuuden mukaan määräytyvät osapisteet (Sweco 2017).	37
Kuvio 12. Putken iän perusteella annettavat osapisteet (Sweco 2017).	39
Kuvio 13. Putken halkaisijan mukaan määräytyvät osapisteet (Sweco 2017).	40
Kuvio 14. Vesijohtoputkien saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman veden osuuden perusteella (Sweco 2017).	48
Kuvio 15. Jätevesiviemäriputkien saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman jäteveden osuuden perusteella (Sweco 2017).	49
Kuvio 16. Öjan mittakaivon kuukausikohtaiset virtaamatiedot (Kokkolan Vesi 2021).	55
Kuvio 17. Pilottialueen arvioitu vedenkulutus vuoden 2020 aikana (Kokkolan Vesi 2021).	56
Kuvio 18. Pilottialueen vesihuoltoputkien luokkakohtainen jakauma ilman saneerausindeksin korjausta. Yhden tai kahden osatekijän perusteella lasketut, selvästi vertailukelvottomat tulokset on jätetty pois. Pienin saneerausindeksi on 0 ja suurin	58.
	67
Kuvio 19. Pilottialueen vesihuoltoputkien luokkakohtainen jakauma saneerausindeksin korjauksen jälkeen. Yhden tai kahden osatekijän perusteella lasketut, selvästi vertailukelvottomat tulokset on jätetty pois. Pienin saneerausindeksi on 11 ja suurin	69.
	70

TAULUKOT

Taulukko 1. Vesijohtoverkoston tunnusluvut vuonna 2020 (Kokkolan Vesi 2021).	6
Taulukko 2. Jätevesiviemäriverkosto vuonna 2020 (Kokkolan Vesi 2021).	9
Taulukko 3. Polyeteenien päätyypit (The Plastics Pipe Institute 2008)	19
Taulukko 4. Maalajien ja veden ominaisvastuksien arvoja (VTT 1997; Aalto 2015).	23
Taulukko 5. Maaperän syövyttävyyden ominaisvastuksen perusteella (Aalto 2015).	24
Taulukko 6. Tilanteet, joissa saaneeraustarvetta tulisi erityisesti tutkia (Karttunen 1999; RIL 124-2 2004).	34
Taulukko 7. Vuotoreiästä virtaava vesimäärä, jos putkistossa on 500 kPa paine (RIL 124-2 2004).	35
Taulukko 8. Putkimateriaalin perusteella määräytyvät osapisteet (Sweco 2017).	41
Taulukko 9. Osapisteiden painotukset saneerausindeksiä laskettaessa (Sweco 2017).	46
Taulukko 10. Kriittisyysluokan määräytyminen (Sweco 2017).	50
Taulukko 11. Pilottialueen saneerausindeksin tunnusluvut ilman korjausta. Pisteitä voi saada välillä 0–100. Mitä suurempi saneerausindeksin arvo, sitä kriittisempi on saneeraustarve.	68

Taulukko 12. Pilottialueen saneerausindeksin tunnusluvut korjauksen jälkeen. Pisteitä voi saada välillä 0–100. Mitä suurempi saneerausindeksin arvo, sitä kriittisempi on saneeraustarve.

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

JVP	Jätevedenpumppaamo. Käytetään pumppaamaan jätevettä paineviemäreissä.
MK	Mittakaivo. Mittaa läpi kulkevan veden virtaamaa.
QGIS	Aikaisemmalta nimeltään Quantum GIS, nykyisin vain QGIS. Avoimen lähdekoodin paikkatietojärjestelmäsovellus.
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto.
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition eli valvomo-ohjelmisto. Valvomo-ohjelmisto on graafinen käyttöliittymä prosessin mittaus- ja automaatiojärjestelmiin.
SHP	ESRI Shapefile (.shp). Avoin vektoripohjainen tiedostomuoto, joka voi sisältää kohteen geometrian, paikkatiedon ja taulukkomuotoisen tietokannan.

1 JOHDANTO

1.1 Vesihuoltoverkko

Vesihuoltoverkolla tarkoitetaan vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostoa. Vesijohtoverkossa vesihuoltolaitos toimittaa käyttäjille talousvettä. Muodostuneet jätevedet siirretään jätevesiviemäreissä jätevedenpuhdistamolle. Vesihuoltoverkoston rakentamisen tarve on lisääntynyt heti sotien jälkeen, mutta varsinkin 60–70-luvuilla uusia verkosto-osuuksia rakennettiin paljon (Lapinlampi ym. 2002). Iso osa näistä verkostoista on tullut nyt ensimmäistä kertaa saneerausikään (Berninger ym. 2018). Vesihuoltoverkkoihin liittyy maanlaajuisesti paljon saneerausvelkaa. Saneerausvelalla tarkoitetaan välitöntä saneerausta vaativien vesihuoltoverkoston osien uusimiseen tai korjaamiseen tarvittavaa rahasummaa. Saneerausvelka perustuu arvioon verkoston osien kunnosta ja kunnostustarpeesta. (Välisalo ym. 2013.)

Vesihuoltoinfrastruktuurin rakentaminen ja korjaaminen on kallista. Maanrakennuslaitteiden vuokrat ovat korkeita ja nostavat kuluja nopeasti. Saneerauksessa kustannukset nousevat usein korkeammalle kuin uusrakentamisessa, koska siihen liittyy erilaisia lisäkustannuksia, kuten olemassa olevien rakenteiden suojaaminen ja korjaaminen sekä saneerauksen ajalle tehtävät erikoisjärjestelyt. (Kuulas 2020.) Saneerausvelan ja korkeiden saneerauskustannuksien vuoksi vesihuoltolaitoksen täytyy pystyä arvioimaan vesihuoltoverkostonsa kuntoa, jotta huoltotyöt voidaan priorisoida saneeraustarpeen mukaan.

1.2 Vesihuoltolaki

Vesihuollon järjestämisestä määrätään laissa (Vesihuoltolaki 2001/119). Vesihuoltolain tarkoituksena on turvata yhdyskunnille laadukas vesihuolto kohtuullisilla kustannuksilla (Vesihuoltolaki 2001/119 § 1). Vesihuollolla tarkoitetaan veden johtamista, käsittelyä ja toimittamista talousvetenä käytettäväksi sekä jäteveden poisjohtamista ja käsittelyä (Vesihuoltolaki 2001/119 § 3). Vesihuoltolaissa määritetään kiinteistön omistajien, kuntien ja vesihuoltolaitosten vastuut vesihuollossa.

Vesihuoltolakia uudistettiin 1.9.2014 voimaan tulleilla lakimuutoksilla. Vesihuoltolakiin lisättiin muun muassa kohdat, jotka velvoittavat vesilaitoksia tarkkailemaan laitteistojensa kuntoa ja siirtämään verkoston sijaintitiedot sähköiseen muotoon.

Vesihuoltolaitoksen on oltava selvillä käyttämänsä raakaveden määrään tai laatuun kohdistuvista riskeistä sekä laitteistonsa kunnosta. Tässä tarkoituksessa vesihuoltolaitoksen on tarkkailtava käyttämänsä raakaveden määrää ja laatua, laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää laitoksen vesijohto- ja viemäriverkostoissa. Tiedot verkostojen sijainnista on saatettava sähköiseen muotoon. (Vesihuoltolaki 2001/119 § 15.)

Vuonna 2014 tehtyyn lakimuutokseen asti, vesihuoltolaitoksilla on ollut melko vapaat kädet rakennetun omaisuuden, kuten vesihuoltoverkoston tietojen ja kunnan valvonnassa. Vesihuoltolaitokset ovat hoitaneet verkostotietojen ylläpidon niin kuin ovat parhaaksi nähneet. Vaikka jotkut vesihuoltolaitokset ovat saattaneet siirtää verkostotietokannan sähköiseen muotoon jo ennen lakimuutosta, niin putkiston kunnan valvontaa ei välttämättä ole ollut. Saneerauspäätös tehdään usein putkiosuuden iän ja havaittujen vikojen perusteella. Tilanteessa, jossa vesihuoltoverkostojen saneeraustietoja säilytetään hajautetusti niistä vastaavien henkilöiden paperikartoissa tai muistiinpanoissa ja vain osittain sähköisessä muodossa, verkoston kunnan seuranta on erittäin haasteellista, ellei mahdotonta. Ongelmia syntyy viimeistään siinä vaiheessa, kun putkiston kunnosta vastaavat henkilöt eläköityvät tai siirtyvät muihin tehtäviin, eikä kaikki muistinvarainen tieto siirry seuraaville työntekijöille. Lakimuutos on yhtenäistänyt vesihuoltolaitoksien toimintamalleja ja parantanut vesihuoltovarmuutta, kun vesihuoltolaitokset siirtyvät hyödyntämään tietoteknisiä apuvälineitä verkostojen kunnan seurannassa.

1.3 Työn tavoitteet

Varsinais-Suomen ELY-keskus tilasi Sweco ympäristö Oy:ltä työkalun vesihuoltoverkostojen saneeraustarpeen arviointia varten. Osana Swecon tekemää selvitystyötä luotiin työkalu ja laskentamalli, joiden kautta vesihuoltoverkoston putkien saneeraustarvetta voidaan arvioida laskennallisesti. Varsinais-Suomen ELY-keskus julkaisi raportin Sweco ympäristö Oy:n tekemästä selvitystyöstä vuonna 2017. Kokkolan Vesi haluaa selvittää, onko ELY-keskuksen julkaisemasta työkalusta hyötyä putkiosuuksien saneerausaikataulutuksessa. Kokkolan Veden toimeksiantona tässä työssä tarkastellaan laskentamallin soveltuvuutta ja käyttömahdollisuuksia Kokkolan Veden tarpeisiin.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Swecon selvitystyöhön ja sen osana laadittuun laskentamalliin. Työssä selvitetään, missä määrin selvitystyössä tehdyt päätelmät ja niiden pohjalta laadittu laskentamalli soveltuvat Kokkolan Veden toiminta-alueelle. Lisäksi esitellään paikallisia olosuhteita ja sitä, miten ne tulevat laskentamallissa huomioiduksi. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten ja miltä osin Swecon tekemää työkalua voitaisiin käyttää Kokkolassa ja millaisia muutoksia työkaluun pitäisi tehdä, jotta paikalliset olosuhteet tulisivat paremmin huomioiduksi. Lisäksi esitetään, miten työkalun kautta kerättyä tietoa saneeraustarpeesta voidaan päivittää ja ylläpitää.

Opinnäytetyön osana toteutetaan pilottitutkimus. Pilotissa Kokkolan kaupunginosien Koi-vuhaan ja Nuolipuron sekä vieressä olevan Jänismaan teollisuusalueen vesihuoltoverkoston putkien saneeraustarvetta tutkitaan Swecon laatimalla työkalulla. Pilotissa selvitetään, minkälaisia hankaluuksia työkalun käyttöön Kokkolan Veden näkökulmasta mahdollisesti liittyy ja onko laskentamallia mahdollista käyttää Kokkolassa, toisin sanoen ovatko saatavat tulokset johdonmukaisia. Tuloksien pohjalta arvioidaan työkalun soveltuvuutta Kokkolan Veden käyttöön.

2 KOKKOLAN VESIHUOLTOLAITOS

Kokkolan Vesi on kaupungin omistama itsenäinen liikelaitos, joka toimii Kokkolan kaupungin vesilaitoksena ja vesihuoltolaitoksena. Kokkolan Vesi vastaa Kokkolan kaupungin vedenotosta, vedenjakelusta, jätevedenviemäröinnistä ja jätevedenkäsittelystä. Kokkolan suurteollisuusalueelle Kokkolan Vesi toimittaa vettä vain erikseen sovittaessa, koska suurteollisuusalueella on oma teollisuuden tarpeita palveleva vesilaitos. Kokkolan Vesi vastaa oman kuntansa lisäksi myös Kälviän, Lohtajan ja Marinkaisten jätevedenviemäröinnistä ja jätevedenkäsittelystä.

2.1 Historiaa

Kokkolan vesilaitostoiminnan voidaan sanoa alkaneen vuonna 1912, jolloin kaupungin talousarvioon myönnettiin varoja alustavia vesijohtotöitä varten. Ensimmäisten viemäreiden rakentaminen alkoi vuonna 1910, mutta ensimmäinen viemärintisuunnitelma oli tehty jo vuonna 1888. Ensimmäisen vesitornin rakennustyöt aloitettiin vuonna 1914 ja vesitorni valmistui vuonna 1921. (Kokkolan vesilaitos 1987.)

Kaupungin keskustasta noin 1,5 kilometrin päässä sijaitsevan Patamäen hiekkakuoppien vesi havaittiin laadultaan hyväksi ja vesimäärä riittäväksi Kokkolaa suuremmallekin kaupungille. Vedenottamo päätettiin rakentaa Patamäkeen, josta puhdistettu vesi johdettaisiin kaupunkiin vesijohtoa pitkin. Vesi puhdistettiin vedenotto paikalla tanskalaisella Candy-suodatinjärjestelmällä, ja vuonna 1930 vesilaitokselle asennettiin uudet tanskalaiset kemikaalien syöttölaitteet. Vedenpuhdistamo laajennettiin vuonna 1943. Tekopohjavedenotto aloitettiin vuonna 1981. (Kokkolan vesilaitos 1987.) Tämän jälkeen puhdistamo on peruskorjattu ja laajennettu tarpeen mukaan ja vedenpuhdistuslaitos palvelee Kokkolan asukkaita tänäkin päivänä.

2.2 Toiminta nykypäivänä

Patamäessä sijaitseva vedenpuhdistuslaitos ottaa raakavetensä Patamäen pohjavesi esiintymästä. Raakavettä käsitellään keskimäärin 6 800 m³/vrk, mutta tarvittaessa raakavettä voidaan käsitellä noin 13 000 m³/vrk. Raakavedessä on paljon rautaa,

mangaania, kloridia ja sulfaattia. Kaksilinjaisen laitoksen vedenpuhdistus perustuu kemialliseen ja biologiseen käsittelyyn. (Kokkolan Vesi 2021.)

Vedenpuhdistamolla raakavesi ensin ilmastetaan. Ilmastuksen tarkoituksena on sekä vähentää raakaveden hiilidioksidia että lisätä veteen happea. Hiilidioksidin vähentäminen pienentää vedenpuhdistusprosessissa tarvittavan kalkin määrää. Happi puolestaan edistää raudan ja mangaanin hapettumista ja poistamista myöhemmässä vaiheessa. Tämän jälkeen vesi johdetaan sekoitusaltaisiin, joissa vesi alkaloidaan kemiallisesti sekoittamalla siihen sammutettua kalkkia eli kalsiumhydroksidia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Alkalointi nostaa veden pH-arvon noin 9,5:een, jotta rauta ja mangaani saadaan hapettumaan. Alkaloitu vesi johdetaan hämmentimiin, joissa vedessä oleva kalkki saadaan sekoittumaan tasaisesti vesipatsaaseen. Hämmentimiltä vesi johdetaan pystyselkeytysaltaisiin, joissa iso osa raudasta ja mangaanista poistuu vedestä. Selkeytyksen jälkeen veteen lisätään hiilihappoa, jolla pH pudotetaan noin 8,5–8,8:aan. Tämän jälkeen vesi johdetaan hiekkasuodattimiin, joissa on antrasiittia ja hiekkaa. Hiekkasuodattimissa vedestä poistuu lähes kaikki jäljelle jäänyt rauta- ja mangaanisakka, sekä ammoniakki, jota raakavedessä voi olla pieniä määriä. Veteen lisätään lopuksi vielä desinfiointikemikaaleina hypokloriittia ja ammoniumkloridia, joista jälkimmäinen vaihdetaan piakkoin ammoniumsulfaattiin EU:n biosidiasetuksen vuoksi. Näiden kemikaalien tehtävä on varmistaa veden hygienia varastointia ja jakelua varten. (Kokkolan Vesi 2021.) Puhdistettua vettä pumpataan vuonna 1987 valmistuneeseen Ilkantiellä sijaitsevaan Hakalahden vesitorniin sekä lähes 550 kilometriä pitkään vesijohtoverkoston.

Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkostoa on yhteensä hieman alle 400 kilometriä. Jätevedenkäsittely tapahtuu vuonna 2011 valmistuneessa Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamossa. Puhdistusprosessi perustuu rinnakkaissaostukseen ja tertiäärikäsittelyyn. Keskimääräinen tulovirtaama on noin 10 000 m³/vrk ja kuivattua lietettä muodostuu keskimäärin 200 tn/kk. Puhdistetut jätevedet johdetaan mereen. (Kokkolan Vesi 2021.)

2.3 Vesijohtoverkosto

Kokkolan Veden hallinnoimaa vesijohtoverkostoa on 548 kilometriä, josta Kokkolan alueella on noin 516 kilometriä. Vesijohtoverkosto kattaa lähes täysin kaikki Kokkolan alueet, joissa on vakituista asutusta. Taulukkoon 1 on koottu Kokkolan Veden vesijohtoverkoston tunnusluvut.

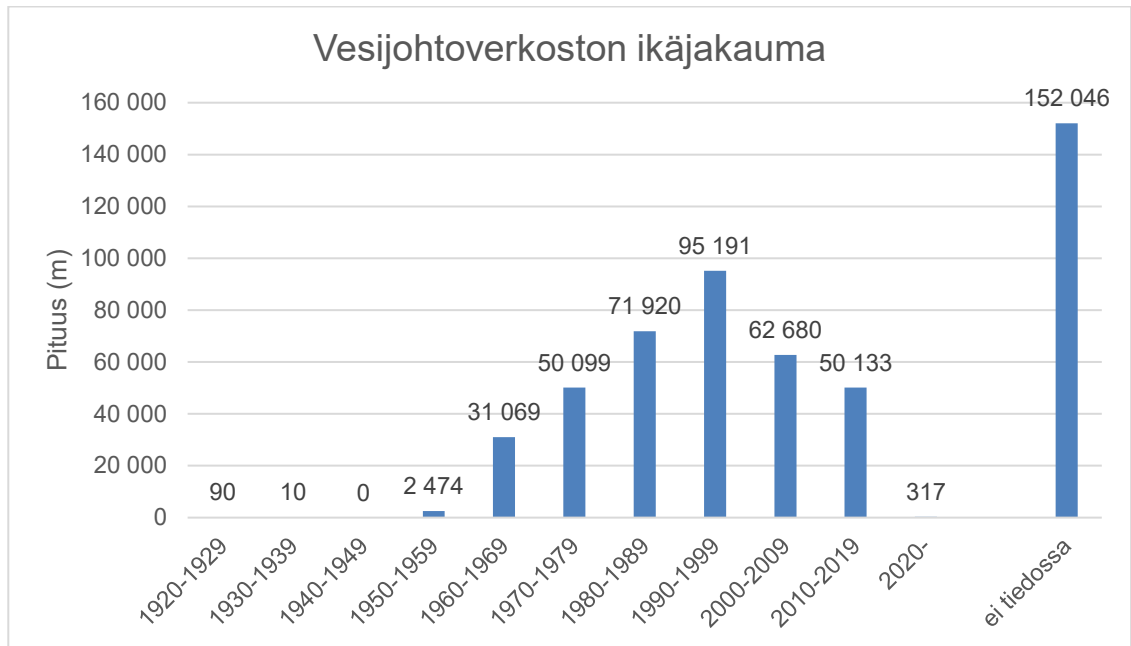
Taulukko 1. Vesijohtoverkoston tunnusluvut vuonna 2020 (Kokkolan Vesi 2021).

Vesijohtoverkoston kokonaispituus	548 km
Liittymisaste vesijohtoverkoston	100 %
Vesitorni	1 000 m ³
Alavesisäiliöt	3 300 m ³
Paineenkorotusasemat	3 kpl
Pumpattu raakavesimäärä	2 518 000 m ³
Verkostoon pumpattu vesijohtovesi	2 334 000 m ³
Laskutettu vesijohtovesi	2 194 000 m ³
Vesijohtoveden hinta	1,36 €/m ³
Veden ominaiskäyttö	126 l/as./vrk
Hukkavesiprosentti	6 %

2.3.1 Ikäjakauma

Vesijohtoverkoston puolella putkistotiedot ovat osittain vajavaisia. Varsinkin tietoja putkien rakennusvuosista puuttuu monen putken osalta. Putken ikä on tärkeä kriteeri, kun putkiosuuden saneeraustarvetta arvioidaan. Ikätietoja voidaan yrittää arvioida tarkasteltavan putken viereisten putkien perusteella, mutta jos saneeraustietoja ei ole viety sähköiseen muotoon, ei iän arviointi välttämättä onnistu. Tässä työssä pilottialueen putkitietoja on jouduttu täydentämään tietueisiin jälkikäteen lisättyjen merkintöjen perusteella (ks. luku 7.3.3).

Vesijohtoverkoston ikäjakaumatiedot ovat peräisin vuoden 2020 Kokkolan runkovesijohdot -tietokannasta. Kuviosta 1 ilmenee, että putkiosuuksia on saneerattu ja rakennettu huomattavasti 90-luvun jälkeen. Näiden putkiosuuksien suhteen tilanne on käyttöikänsä puolesta hyvä. Kuitenkin verkostosta löytyy myös huomattava määrä iäkkäitä putkiosuuksia, jotka on rakennettu 70-luvulla tai sitä ennen, joten ne alkavat olemaan käyttöikänsä päässä.

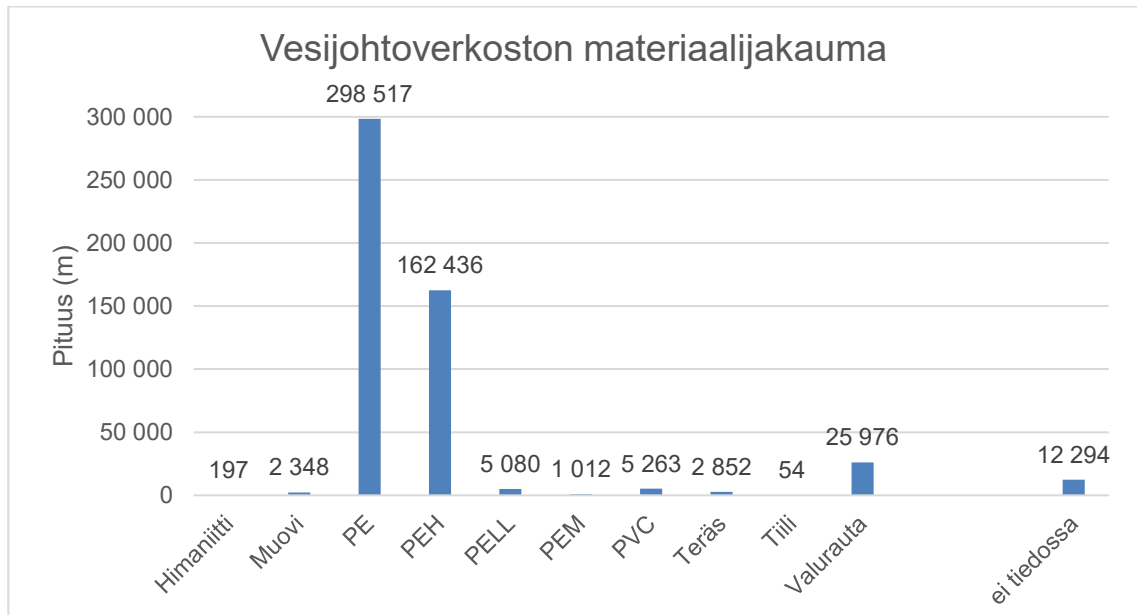


Kuvio 1. Kokkolan vesijohtoverkoston ikäjakauma (Kokkolan Vesi 2021).

Kuvion 1 perusteella vesijohtoverkостossa on yli 150 kilometriä putkia, joiden rakennusvuodet ei ole tiedossa. Osa näistä puuttuvista tiedoista voi löytyä alkuperäisistä papereista, mutta niitä ei olla vielä viety sähköiseen muotoon. Tilanne ei siis välttämättä ole niin huono kuin kuvioista 1 voisi päätellä. Putket, joiden osalta ikätietoja ei ole, ovat todennäköisesti 70-luvulta tai sitä aikaisemmalta ajalta.

2.3.2 Materiaalijakauma

Kokkolan vesijohtoverkостossa valtaosa putkista on polyeteeniä. Verkostosta löytyy myös noin 26 kilometriä valurautaisia putkia, 3 kilometriä teräksisiä putkia ja 200 metriä himaniitti- eli asbestiputkia. Nykyään kaikki Kokkolassa rakennettavat vesijohtoputket ovat poikkeuksetta polyeteenimuovia. Kuviossa 2 esitetään Kokkolan alueen vesijohtoputkien materiaalijakauma putkitietueisiin kirjatun materiaalin perusteella eriteltynä.



Kuvio 2. Kokkolan vesijohtoverkoston materiaali-jakauma (Kokkolan Vesi 2021).

Kuviosta 2 ilmenee, että vesijohtoverkoston puolella putkien materiaalitiedot on saatu valtaosin siirrettyä sähköiseen muotoon, vaikka hieman yli 12 kilometrin osalta tuo tieto vielä puuttuukin.

2.3.3 Vuotavuus

Vesijohtoverkoista puhuttaessa vuotavuus tarkoittaa maaperään valuvan talousveden tiilavuutta. Vesijohtoverkkoon pumpatusta vedestä osa saattaa valua maaperään joko rikinäisistä putkista tai muista huonokuntoisista vesijohtoverkoston osista. Hukkavesiprosentti on laskuttamattoman veden osuus verkostoon pumpatun vesijohtoveden määrästä. Laskuttamattoman veden määrä sisältää vuotovesien lisäksi myös kaiken sellaisen talousveden käytön, joka ei tapahdu vesimittareiden kautta, kuten sammutusvedet, kenttien kasteluvedet ja verkoston huuhteluvedet. Kokkolan Veden vesijohtoverkoston hukkavesiprosentti vuonna 2020 oli noin 6 %, kun kansallinen keskiarvo oli 23 % (Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoraportit 2020). Laskuttamattoman talousveden osuus on Kokkolassa merkittävästi pienempi kuin keskimäärin Suomen vesihuoltolaitoksissa. Hyvänä tilanteena pidetään 10 % vuotovesiprosenttia, mutta taloudellisista syistä toimenpiderajana pidetään yleensä 20–25 % (Välisalo ym. 2013).

2.4 Jätevesiviemäriverkosto

Kokkolan kanta-alueella on noin 283 kilometriä jätevesiviemäriverkkoa. Tämän lisäksi Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston kuuluu myös Ullavan, Kälviän, Lohtajan ja Marinkaisten alueiden verkostot. Näistä kaikkien paitsi Ullavan jätevedet johdetaan siirtoviemäriä pitkin Kokkolaan puhdistettavaksi, joten Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston kokonaispituus on lähes 400 kilometriä. (Kokkolan Vesi 2021.) Taulukossa 2 esitetään Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston tunnusluvut.

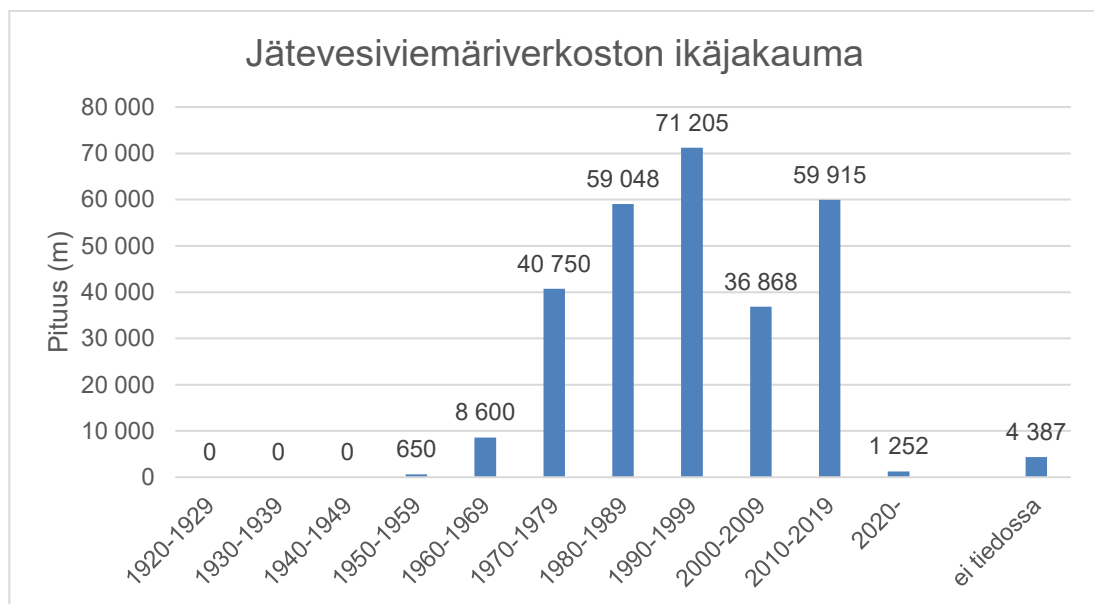
Taulukko 2. Jätevesiviemäriverkosto vuonna 2020 (Kokkolan Vesi 2021).

Jätevesiviemäriverkoston kokonaispituus	371 km
Jätevedenpumppaamot	62 kpl
Liittymisaste jätevesiviemäriverkoston	77 %
Puhdistettu jätevesimäärä	3 590 000 m ³
Laskutettu jätevesimäärä	2 105 000 m ³
Laskuttamaton jätevesimäärä	1 485 000 m ³
Jäteveden hinta	2,15 €/m ³
Vuotovesiprosentti	41,4 %

Viemärit pyritään yleensä aina ensisijaisesti rakentamaan painovoimaisena. Kuitenkin Kokkolan alueella maanpinta on erittäin tasaista, joten osa viemäreistä on jouduttu rakentamaan paineviemäreinä jätevedenpumppaamoinen. Lähes kaikissa Kokkolan alueen kiinteistöissä on omat saostuskaivot, joiden kautta kiinteistöjen jätevedet johdetaan jätevesiviemäriverkkoon. (Kokkolan Vesi 2020.) Saostuskaivo eli sakokaivo on vesitiivis säiliö, johon kaikki kiinteistön käymälä- ja pesuvedet johdetaan. Saostuskaivoon virtaavasta jätevedestä kiinteämpi aines painuu säiliön pohjalle ja vettä kevyempi aines jatkaa jätevesivirran mukana poistoputken kautta kunnalliseen jätevesiviemäriverkkoon. Saostuskaivot tyhjenetään vähintään kerran vuodessa ja sisältö kuljetetaan säiliöautoilla jätevedenpuhdistamon vieressä sijaitsevaan biolaitokseen hyödynnettäväksi. Kokkolan jätevesiverkostossa kulkeva jätevesi on hieman tavanomaista laimeampaa näiden järjestelyiden vuoksi.

2.4.1 Ikäjakauma

Jätevesiviemäriverkoston ikäjakaumasta (kuvio 3) ilmenevät putkiosuudet luokiteltuina sen vuosikymmenen mukaan, kun putki on rakennettu. Putkistoa on saneerattu ja rakennettu runsaasti 90-luvun jälkeen. Toisaalta verkostossa on vielä lähes 100 kilometriä 80-luvulla tai sitä aiemmin rakennettuja putkiosuuksia, jotka alkavat olemaan ikänsä vuoksi alttiimpia putkirikoille.



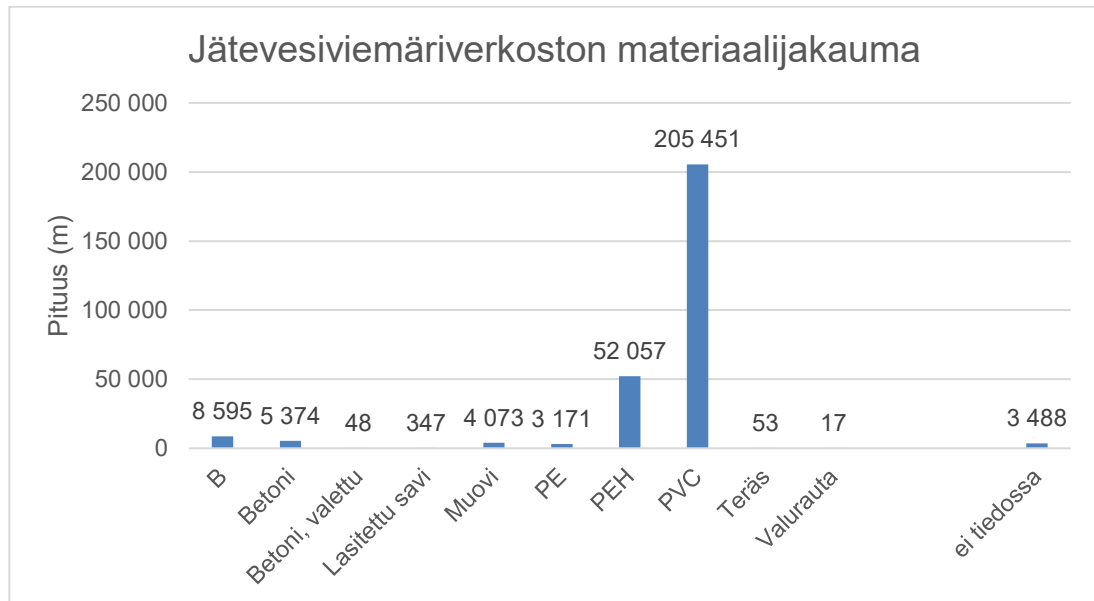
Kuvio 3. Kokkolan jätevesiviemäriverkoston ikäjakauma (Kokkolan Vesi 2021).

Kuviosta ilmenee, että jätevesiviemäriverkoston puolella tiedot putkien rakennusvuosista on jo valtaosin saatu siirrettyä sähköiseen muotoon. Tilanne on siis paljon parempi kuin se on vesijohtoverkoston puolella.

2.4.2 Materiaalijakauma

Jätevesiverkoston materiaalijakauman (kuvio 4) perusteella valtaosa Kokkolan jätevesiverkoston putkista on materiaaliltaan joko polyvinyylikloridia tai polyeteeniä. Polyvinyylikloridi on ominaisuuksiltaan samankaltaista kuin suuritiheksinen polyeteeni eli PEH. PVC ja PEH ovat erinomaisia putkimateriaaleja ja niitä on helppo työstää rakennusvaiheessa, mutta ajan myötä ne yleensä lasittuvat ja haurastuvat. PVC ja PE-putket ovat

materiaalinsa puolesta pitkäikäisiä, mutta niiden käyttöikä riippuu paljon asennustyön laadusta. Huonosti tehty hitsausseura tai putken virheellinen tuenta voi kuitenkin johtaa putkirikkoon nuoremmassakin putkiosuoksissa. Vanhoja betoniputkiosuoksia on jäljellä vielä noin 14 kilometriä, joista osa on jo hyvin heikkokuntoisia (Kokkolan Vesi 2021).



Kuvio 4. Kokkolan jätevesiviemäriverkoston materiaali jakauma (Kokkolan Vesi 2021).

Jätevesiviemäriverkoston puolella putkien materiaalitiedot on valtaosin saatu siirrettyä sähköiseen muotoon.

2.4.3 Vuotavuus

Jätevesiverkostossa vuotavuus tarkoittaa jätevedenpuhdistamolle päätyvän laskuttamattoman jäteveden tilavuutta. Huonokuntoisten putkiosuoksien ja tarkastuskaivojen kautta jätevesiviemäriverkkoon pääsee valumaan sade- ja sulamisvesistä muodostuneita hulevesiä, sekä muita sellaisia vesiä, joita ei muutoin tarvitsisi puhdistaa.

Jätevesiviemäriverkoston vuotavuus voidaan ilmoittaa vuotovesiprosenttina, joka kuvaa laskuttamattoman jäteveden osuutta kokonaisvirtaamasta. Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamo puhdisti vuonna 2020 yhteensä 3 590 000 m³ jätevettä ja laskutetun jäteveden tilavuus oli 2 105 000 m³. Laskuttamattoman jäteveden tilavuus oli näin ollen 1

485 000 m³. Taulukossa 2 esitetty vuotovesiprosentti on laskuttamattoman jäteveden osuus kaikesta jätevedenpuhdistamolla vuoden aikana käsitellystä jätevedestä.

$$\text{Vuotovesiprosentti (\%)} = \frac{1\,485\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}}{3\,590\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}} * 100 \approx 41,4 \%$$

Vuonna 2020 Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkon vuotovesiprosentti 41,4 % oli hie-
man kansallista keskiarvoa 43,2 % pienempi (Suomen ympäristökeskuksen vesihuolto-
raportit 2020).

3 PUTKIMATERIAALIT JA NIIDEN OMINAISUUDET

Suomessa vesihuoltoverkostoja on rakennettu jo toista vuosisataa. Eri aikakausina on suosittu erilaisia putkistomateriaaleja. Vesihuollosta saatujen kokemusten sekä valmistustekniikoiden kehittymisen myötä tiettyjen materiaalien käyttö on korostunut. Suomessa käytetään nykypäivänä lähes yksinomaan muovimateriaaleja, mutta varsinkin 80-luvulle asti vesihuoltoverkkoa on rakennettu myös erilaisista sementtipohjaisista materiaaleista ja rautametalleista. Vesihuoltoverkostoissa on yleensä edustettuna monelta aikakaudelta peräisin olevia putkimateriaaleja.

Putkistoissa käytetyillä materiaaleilla on hyvin erilaisia ominaisuuksia: jotkin kestävät hyvin mekaanista rasitusta, mutta ovat alttiita korroosiolle, kun toiset kestävät huonosti mekaanista kuormitusta, mutta eivät juurikaan syövy jne. Putkistoa kuormittavat sekä ulkoiset että sisäiset tekijät. Ulkoisia tekijöitä ovat muun muassa maaperä, maaperän mikrobiologia ja mekaaninen kuormitus. Sisäisiä tekijöitä ovat putkistossa kulkevan veden laatu ja ominaisuudet, sekä putkiston sisäpinnalla olevat mikrobit. (Luomanen ym. 2013.) Mikrobit voivat aiheuttaa mikrobiologista korroosiota. Veden syövyttävyyttä edistäviä tekijöitä ovat veden pH:n, alkaliteetin ja kovuuden vähentyminen tai vapaan hiilidioksidin, kloridien ja sulfaattien määrän kasvaminen (Kekki ym. 2008). Talousvesiverkostoissa materiaalien vaurioitumista aiheuttavat erityisesti seuraavat ilmiöt: sähkökemiallinen korrosio metalleissa, aineiden liukeneminen sementtipohjaisissa materiaaleissa, muoveissa ja kumeissa, vanheneminen muoveissa ja kumeissa, mikrobitoiminta biofilmeissä ja mekaaniset kuormitukset (Kekki ym. 2008).

Vesihuoltoverkoston putkien kestävyys kannalta tärkeintä on asennustyön laatu (Laakso 2015). Huolimattomasti tehty putken asennus, virheellinen putken tuenta tai vääränlaisen täytömaan käyttö altistaa putkiosuuden poikkeukselliselle rasitukselle ja lyhentää sen käyttöikää. Esimerkiksi asennusvaiheessa kolhiintunut metalliputken pinnoite altistaa putken maaperäkorroosiolle huomattavasti arvioitua aiemmin. Putkistoon voi kohdistua myös monenlaista ulkopuolista mekaanista kuormitusta, joka voidaan jakaa taivutus-, puristus- ja vetojännitykseen sekä lämpötilanmuutoksista johtuviin materiaalien tilavuusmuutoksiin. Putken asennusvaiheessa ja käyttöönotossa tapahtuneet virheet ovat teknistä käyttöikää yleisempiä syitä vaurioiden taustalla. (Kekki ym. 2008.)

Laskentamallissa putkimateriaalit on jaoteltu kestävämpiin muovimateriaaleihin ja vähemmän kestäviin muihin materiaaleihin.

3.1 Metallit

Suomessa jakeluverkoissa on käytetty useita erilaisia rautametalleja. Kokkolan vesijohtoverkossa rautametalleja on vain pieni osa kokonaispituudesta. Valurautaisia putkia on noin 26 kilometriä ja teräksisiä putkia hieman vajaa 3 kilometriä. Jätevesiviemäriverkoston puolella metalliputkia on sitäkin vähemmän: valurauta- ja teräsputkia on yhteensä vain 60 metriä.

Metalliputket kestävät yleensä hyvin mekaanista rasitusta ja ne eivät ole yhtä alttiita lämpötilanvaihtelusta johtuville tilavuusmuutoksille kuin muoviputket (Kekki ym. 2008). Metallisten putkien ja osien tyypillisenä ja suurimpana ongelmana on korroosio eli syöpyminen. Korroosiota voi syntyä putken sisä- että ulkopuolella. Korroosio kuluttaa metallisen putken pintaa, tehden siitä hauraampaa. Syöpymisen seurauksena veteen liennut metalli voi myös muodostaa putkeen saostumia, jolloin putken tilavuus ja vedenjohtokyky heikkenee. Metallisten putkien ja laitteiden kestävyys kannalta olennaisinta on pinnoitteiden suojauskyky ja kiinnipysyvyys. (Kekki ym. 2008.) Mikäli metalliosan tai putken pinnoite vaurioituu, seuraa siitä korroosiovaurio, joka voi lyhentää käyttöikää huomattavasti.

Keväällä 2021 Kokkolan Veden putkiasentaja löysi Yksipihlajassa tehtyjen saneeraustöiden yhteydessä kyseenalaisesti tehdyn tonttijohtojen liitoksen, jossa kaksi muovista vesijohtoputkea on aikanaan liitetty toisiinsa metalliputkella. Tämä omakotitalon vierestä löytynyt, todennäköisesti talonrakentajan itse 70-luvulla tekemä ohjeiden vastainen putkiliitos, toimii hyvänä esimerkkinä metalliputken korroosiovaurioista. Kuvassa 1 on nähtävissä putken keskellä oleva ohuempi osuus joka on metalliputkea, sekä molemmissa reunoissa olevat 50 milliset polyeteeniputken palat. Metalliputki oli sujutettu muoviputkien sisälle, jonka jälkeen liitos oli pyritty varmistamaan kiristämällä muoviputken päät nauhalla - josta ei ole jäänyt mitään jäljelle.



Kuva 1. Vanha tonttijohdon osa, joka löytyi saneeraustöiden yhteydessä Ykspihlajasta.

Metalliputki oli löydettyessä kauttaaltaan ruosteessa ja liitoskohta olisi asentajan mukaan voinut alkaa vuotamaan milloin vaan. Putken sisäpinnasta otetussa kuvassa (kuva 2) on nähtävissä, miten metalliputken sisäpinta on täysin ruostunut ja saostumat täyttävät noin puolet putken tilavuudesta. Huomioitavaa on, että vaikka PE-putket olivat kovettuneet ja lasittuneet vajaan 50 vuoden aikana hauraiksi, sisäpinnat olivat pysyneet näissäkin olosuhteissa sileinä ja ehjinä.



Kuva 2. Vanha tonttijohdon osa, joka löytyi saneeraustöiden yhteydessä Ykspihlajasta.

3.1.1 Harmaa valurauta

Harmaasta valuraudasta eli suomugrafiittiraudasta valmistettuja putkia ei ole asennettu 80-luvun jälkeen. Harmaa valurauta pinnoitettiin silloisten ohjeiden mukaan bitumilla, betonilla tai sinkkibetonilla. Harmaa valurauta on erittäin kovaa, eikä se siedä hyvin iskuja tai mekaanista kuormitusta. Valurautaputkien vauriot ovat yleensä seurausta syöpmisestä, mekaanisesta rasituksesta tai niiden yhdistelmästä. Tyypillinen harmaan valuraudan korroosiomekanismi on grafitoituminen, jossa rauta syöpyy pois ja hiili jää jäljelle. Tällaisessa tapauksessa putki voi näyttää päällepäin hyväkuntoiselta, mutta se on hauras. Myös yleinen korrosio on valuraudalle ominaista. Vesijohtoverkoissa bakteeritoiminta vaikuttaa olennaisesti valuraudan korroosioon. (Kekki ym. 2008.)

Pehmeä ja hapan vesi, korkea kloridipitoisuus sekä maaperän ja veden sisältämät sulfatit edistävät valuraudan syöpmistä. Niiden perusteella ei kuitenkaan voida arvioida harmaan valuraudan käyttöikä. (Kekki ym. 2008.)

3.1.2 Pallografiittirauta

Pallografiittiraudasta valmistetut SG-putket kestävät painetta paremmin kuin harmaasta valuraudasta tehdyt. Siksi pallografiittiraudasta valmistetut putket ovat yleensä ohuempia kuin vastaaville paineille suunnitellut valurautaputket. Pallografiittirauta on kuitenkin valuraudan tavoin herkkä korroosiolle ja ilman pinnoitetta ne syöpyvät lähes yhtä nopeasti. Jos pallografiittirautaisen putken pinnoite rikkoontuu, niiden käyttöikä voi pudota ohuempien seinämien vuoksi 30–40 vuotta lyhyemmäksi kuin valurautaisissa putkissa. (Kekki ym. 2008.)

3.1.3 Teräs

Teräsputkille on tyypillistä syöpyä sekä sisä- että ulkopinnoilta. Tyypillistä ovat yleinen korroosio ja piste-/kuoppakorroosio. Teräsputken syöpymistä edistää, jos vesi on happanta ja pehmeää, myös veden korkea kloridipitoisuus altistaa syöpymiselle. Maaperän matala ominaisvastus voi kiihdyttää syöpymistä. Normaaleissa suomalaisissa olosuhteissa bitumipinnoitetun teräsputken käyttöikäksi on arvioitu 30–40 vuotta, mutta happamassa maaperässä se voi olla vain puolet siitä. (Kekki ym. 2008.)

3.2 Sementtipohjaiset materiaalit

Suomessa sementtipohjaisia materiaaleja käytetään nykyään ainoastaan säiliöissä tai vanhojen putkien pinnoitteena. Sementtipohjaisissa materiaaleissa perusominaisuudet ja vaurioitumismekanismit ovat hyvin saman tyyppisiä. Tyypillinen vaurio on betonin liukeneminen kemiallisten reaktioiden johdosta putken sisä- tai ulkopuolella. Liukenemisen seurauksena sementtiputkista tulee heikompia ja ne kestävät vähemmän mekaanista rasitusta. Sementtipohjaisissa materiaaleissa alkaneet vauriot usein lisäävät ja voimistavat putken turmeltumista. Veden virtausnopeudella ja veden laadulla on merkittävä vaikutus betoniputken sisäpinnan kestävyYTEEN. Ulkopintojen vaurioitumiseen voi vaikuttaa erityisesti pohjaveden tai maaperän korkea sulfaattipitoisuus. Maaperän aggressiivisuuteen vaikuttaa myös happamuus (pH-arvo <6,5), aggressiivisen hiilidioksidin pitoisuus, sekä ammonium- ja magnesiumpitoisuus. (Kekki ym. 2008.)

3.2.1 Betoni

Kokkolan alueen jätevesiverkostossa on yhteensä noin 14 kilometriä betoniputkea. Betoniputkia ei enää asenneta ja nykyiset osuudet vaihtunevat muovisiin seuraavan saneerauksen yhteydessä. Jänismaassa tehtyjen saneeraustöiden aikana huomattiin, että varsinkin 600 millimetrin betoniset runkoviemärit ovat vaurioituneet hyvin voimakkaasti liukenemisen seurauksena ja paikoitellen betoniputken sisällä olevat terästangot olivat näkyvissä (Kokkolan Vesi 2021.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että teräs alkaa ruostumaan ja kyseisen putkiosuuden mekaanisen rasituksen kestävyys alkaa heikentymään nopeasti.

3.2.2 Himaniitti

Himaniitti eli asbestisementti. Asbestisementtiputkia asennettiin Suomessa jonkin verran 70-luvulla ja niiden asentaminen loppui 80-luvulla. Asbestisementtiä käytettiin pää- ja jakelujohtojen materiaalina. Kokkolan alueella himaniittiputkea on enää noin 200 metriä vesijohtoverkossa. Himaniitti on erityisen herkkä iskuille ja vääntämiselle. Tyypillinen vaurio on murtuma. (Kekki ym. 2008.)

3.3 Muovit

Muovit, joista etenkin polyeteeni (PE) on käytetyin materiaali vesijohtoverkoissa. Kokkolan Veden vesijohtoverkostossa käytetään valtaosin polyeteeniä ja jätevesiviemäriverkostossa polyvinyylikloridia (PVC). Vesihuollon tietojärjestelmän (VEETI) tietojen mukaan vuonna 2020 Suomen vesihuoltoverkkojen kokonaispituudesta vesijohtoputkista 87 % ja jätevesiviemäriputkista 84 % oli muovisia (Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoraportit 2020).

Muoviputkissa tapahtuu enemmän lämpölaajenemista kuin muissa putkimateriaaleissa ja lämpötila vaikuttaa muutenkin muoviputkien kestävyteen ja käyttöikänsä. Muovien vauriomekanismit jakautuvat vanhenemisestä johtuvaan hauraaseen murtumiseen ja sitkeään murtumiseen. Muoveille vanheneminen on ominainen ilmiö, jota ympäristötekijät voivat nopeuttaa. Vanhetessaan muovit kovettuvat ja lasittuvat, jolloin muoviputkista tulee hauraita ja alttiita murtumille. Sitkeitä murtumia syntyy tilanteissa, joissa muovin

mekaanisen rasituksen suunnitteluyläraja ylittyy. Sitkeisiin murtumiin liittyy yleensä liian korkea vedenpaine ja -lämpötila. (Kekki ym. 2008.) Muoviputkia voidaan liittää monella tavalla ja esimerkiksi PE-putket usein hitsataan. Huomioitavaa on rakennusvaiheessa tehtävän hitsausseaman kestävyys, joka voi huonosti tehtynä pettää huomattavasti ennen putken käyttöänsä päättymistä. Tästä on esimerkkinä noin 30-vuotiaan PEH-vesijohdotputken saumarikko 6.6.2021 Kokkolassa. Putkessa ei ollut reikiä, vaan hitsausseama antoi yllättäen periksi (Kokkolan Vesi 2021.) Vesi-Instituutin vesilaitoksille tekemän kyselyn mukaan PEL- ja PEM-putkissa vuotokohta oli yleisimmin liitoskohdassa. PEM:ssä liitosvuotojen osuus oli jopa 60 %. (Kekki ym. 2008.)

Vuonna 2003 tehdyssä diplomityössä Muovisten vesijohtojen pitkäaikaiskestävyys on painekokeiden perusteella pystytty määrittämään eri muoviputkimateriaaleille vaurioitumiskäyrä. Diplomityössä todetaan, että korkeassa paineessa vauriot syntyvät nopeasti murtumalla ja alhaisessa paineessa syntyvät vauriot ovat akselin suuntaisia viiltomaisia murtumia. Murtumat ovat seurausta putken väsymisestä ja sellaisten riski kasvaa putken ollessa 30–40-vuotias. (Rintala 2003.)

3.3.1 Polyeteenit

Polyeteeni eli PE on maailmanlaajuisesti käytetyin muovi. Polyeteeni valmistetaan polymeroimalla eteeniä. Polyeteenit jaetaan usein kolmeen päätyyppiin tiheydensä perusteella: pientiheyspolyeteeni (PE-LD tai PEL), keskitiheyspolyeteeni (PE-MD tai PEM) ja suuritiheyspolyeteeni (PE-HD tai PEH). Päätyyppien tiheydet ovat yleensä taulukon 3 mukaisia.

Taulukko 3. Polyeteenien päätyypit (The Plastics Pipe Institute 2008)

PE-LD, LDPE tai PEL	0,910–0,925 g/cm ³
PE-MD, MDPE tai PEM	0,926–0,940 g/cm ³
PE-HD, HDPE tai PEH	0,941–0,959 g/cm ³

Tiheys vaikuttaa PE-putken ominaisuuksiin olennaisesti. Polyeteenistä tehty putki on sitä jäykempi, mitä tiheämmästä polyeteenistä on kyse. Paineputkissa käytetään nykyään PEH- tai PEM-putkea, koska vain ne ovat paineluokiteltuja. Suomalaisessa

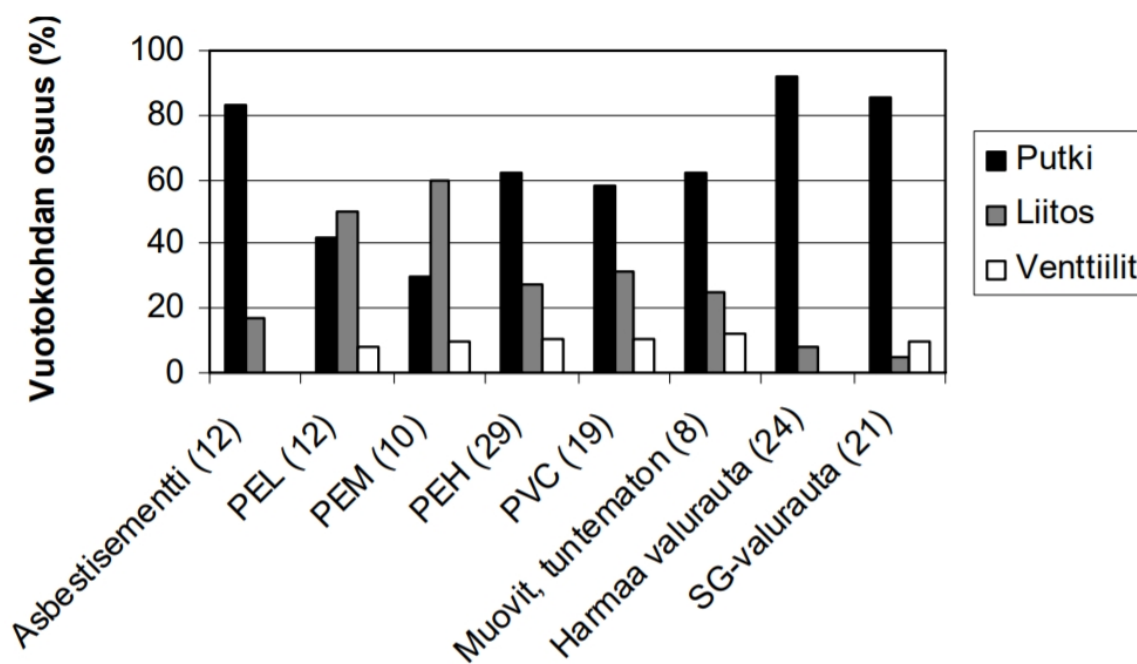
opinnäytetyössä havaittiin 69–70-luvulla valmistettujen PEH-putkien olevan noin 30 vuoden ikäisenä lasittuneita ja helposti rikkoutuvia (Kukkola 2004). Jakeluverkostojen polyeteeniputkien valmistusmenetelmissä on tapahtunut vuosikymmenien aikana merkittävää kehitystä ja nykyiset PE-putket ovat ominaisuuksiltaan ja kestävyydeltään huomattavasti parempia kuin 70-luvulla. Vuoden 2021 alussa Kokkolan vesijohtoverkoston kokonaispituudesta yli 90 % on polyeteeniputkea ja määrä tulee saneerausten ja uusrakentamisen yhteydessä vain kasvamaan (Kokkolan Vesi 2021).

3.3.2 Polyvinyylidikloridi

Polyvinyylidikloridi eli PVC on Vuoden 2021 alussa Kokkolan Veden hallinnoimaa jätevesiverkkoa on noin 283 kilometriä, josta 205 kilometriä on polyvinyylidikloridi- eli PVC-putkea. (Kokkolan Vesi 2021) Polyvinyylidikloridi on kovempaa kuin polyeteeni, mutta matalissa lämpötiloissa PVC on polyeteeniä hauraampaa. PVC-putkien yleisin vauriotyyppi on kanadalaisen ja suomalaisen tutkimuksen mukaan pitkittäissuuntainen halkeama. Pitkittäissuuntaiset halkeamat liittyvät yleensä materiaalin vanhenemiseen ja haurastumiseen. (Kekki 2008.) Kun PVC-putki vanhenee ja lasittuu, täytyy sitä käsitellä erityisen varovaisesti, koska se halkeaa herkästi. Vaurioiden taustalla on usein huolimattomasti tehty asennustyö, kuten esimerkiksi putkikaivannon huonosti tehty alkutäyttö tai putkea vasten jätetty kivi. Kunhan PVC-putkeen ei kohdistu ulkopuolista mekaanista rasitusta, se ei ole erityisen vikaherkkä. Jyväskylässä PVC-putkilla on käytössä olevista vesijohtomateriaaleista pienin vikatiheys (Pietilä 2013).

3.4 Putkimateriaalien ja verkostossa esiintyvien vuotojen yhteys

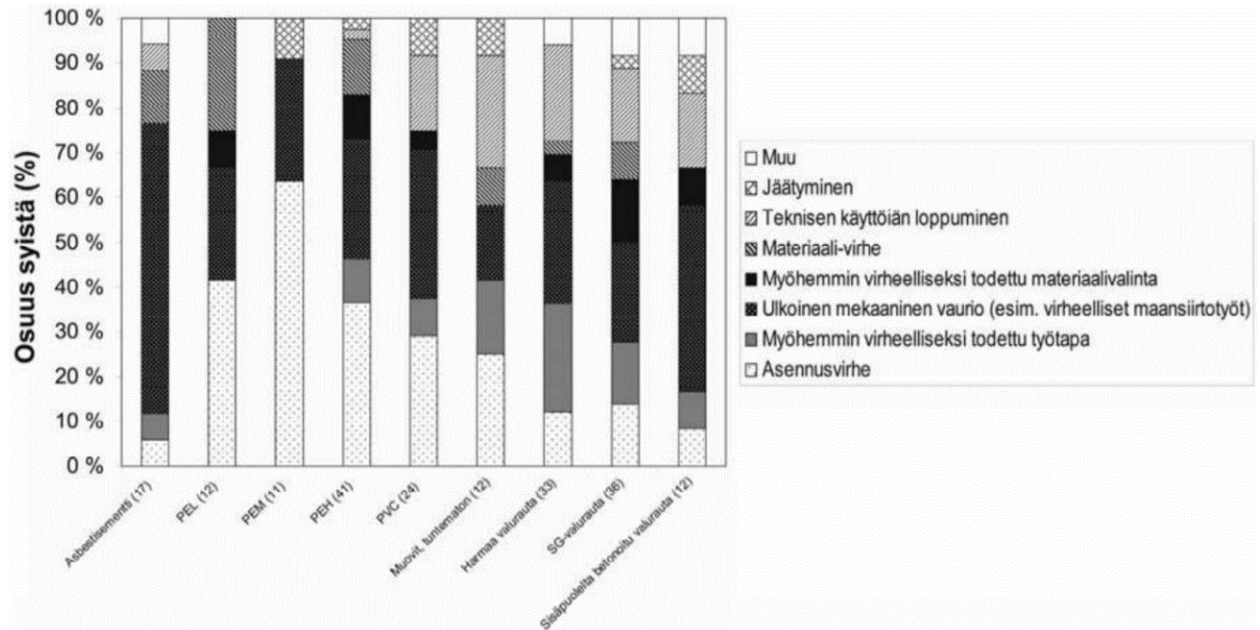
Vesihuoltoverkoston putkimateriaaleilla ja verkostossa esiintyvien vuotojen välillä ei ole selvää syy-seuraussuhdetta. Putkimateriaalien valinnalla voi kuitenkin olla vaikutusta siihen, minkä tyyppisiä vikoja putkistossa useimmiten esiintyy. (Sweco 2017.) Vesi-Instituutin kesällä 2006 tekemässä kyselyssä vesilaitoksia pyydettiin arvioimaan vuonna 2005 tapahtuneita verkostovaurioita ja niiden mahdollisia syitä vesijohtoverkostoissa (Kekki ym. 2008.) Vesi-Instituutin kyselyn tuloksista ilmenee, että putken materiaalilla on vaikutusta siihen, mihin kohtaan putkea vuodot useimmiten muodostuvat. Vesi-Instituutin laatimassa kuviossa (kuvio 5) esitetään vuotokohtien osuus prosentteina putkissa, putkien liitoksissa ja putkien venttiileissä.



Kuvio 5. Vesilaitosten ilmoittamat tiedot vuotokohdista putkimateriaaleittain. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vesilaitoksille vuonna 2005 tekemään kyselyyn. Sulkeissa on kyseisen arvioon antaneiden vesilaitoksien määrä. (Kekki ym. 2008.)

Tuloksien perusteella polyeteenilaaduista PEL ja PEM erottuvat selvästi muista putkimateriaaleista siten, että vuotokohdat olivat noin 50 % tapauksista putkien liitoskohdissa. PEH- ja PVC-putkissa, joita Kokkolan Veden vesihuoltoverkostossa valtaosin on, vuotokohdat muodostuivat yli 50 % tapauksista putkeen.

Samaisessa Vesi-Instituutin kyselyssä, vesilaitoksia pyydettiin arvioimaan myös vuotojen yleisimpiä syitä putkimateriaaleittain. Vesi-Instituutin laatima kuvio (kuvio 6) perustuu vesilaitoksien kyselyssä antamiin arvioihin. Kuviossa 6 esitetään vuotojen arvioidut syyt eroteltuna putkimateriaaleittain.



Kuvio 6. Vesilaitoksien arvioita vuotojen syistä putkimateriaaleittain. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vesilaitoksille vuonna 2005 tekemään kyselyyn. Sulkeissa on kyseisen arvion antaneiden vesilaitoksien määrä. (Kekki ym. 2008.)

Huomioitavaa on, että muoviputkissa esiintyneiden vuotojen syyksi arvioitiin vähintään joka neljännessä tapauksessa putken virheellistä asennusta ja PE-putkissa osuus oli sitäkin suurempi. Kokkolan Veden vesihuoltoverkko on valtaosin polyeteeni- ja polyvinyyliikloridiputkea. Kyselyn tuloksien perusteella voidaan olettaa, että myöskään Kokkolassa PE-putkissa havaitut vuodot eivät olisi yleensä seurausta teknisen käyttöiän loppumisesta, vaan ne johtuvat todennäköisemmin joko asennusvirheistä tai ulkoisista mekaanisista vaurioista kuten maansiirtotöistä tai jäätymisestä. PVC-putkissa teknisen käyttöiän arvioitiin olevan vuotojen taustalla huomattavasti useammin, joka voi viitata PVC:lle ominaiseen lasittumiseen ja haurastumiseen. Tuntemattomien muovilaatujen voidaan olettaa olevan 60- tai 70-luvulta peräisin olevia ensimmäisiä muoviputkia, jotka ovat jo teknisen käyttöikänsä päässä. Tuloksien perusteella PVC:llä ja tunnetusti syöpymiskillillä valuraudoilla teknisen käyttöiän loppumisen arvioitiin olevan lähes yhtä usein vuotojen taustalla. PVC ei syövy normaalioloissa, kuten betoni tai valuraudat.

Vaikka otanta on pieni ja koskee ainoastaan vuotta 2005, putkimateriaalien ominaisuuksilla näyttäisi näiden tuloksien perusteella olevan vaikutusta putkistossa esiintyvien vuotojen tyyppeihin. Vuodot olivat kuitenkin todennäköisesti seurausta putkeen hetkellisesti kohdistuneesta mekaanisesta rasituksesta, jollaista ei voida ennakoida. Näiden tietojen perusteella laskentamallissa käytettävä pisteytys on perusteltua.

4 PAIKALLISET OLOSUHTEET

Opinnäytetyössä oli tarpeen arvioida, miten työkalussa ja laskentamallissa tulee huomioiduksi paikalliset olosuhteet. Tätä varten selvitettiin millaisiin olosuhteisiin vesihuoltoverkoston putket Kokkolassa joutuvat.

Maaperän ominaisuudet, maaperässä olevan veden määrä ja pohjaveden korkeuden vaihtelut vaikuttavat maaperässä olevien putkien materiaalien kestävyYTEEN. Metallit ja sementtipohjaiset materiaalit ovat alttiita syöpymiselle. Alueilla, joissa pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee runsaasti, on iso riski maaperäkorroosiolle. (Kekki ym. 2008.) Maaperän syövyttävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat: maaperän vesi- ja happipitoisuus, veden ja ilman läpäisykyky, pH-arvo, syövyttävät yhdisteet – veteen liuenneet suolat, mikrobi-toiminta, redox-potentiaali ja maan ominaisvastus. Merkittävimmät korroosiota aiheuttavat maalajityypit ovat savi ja siltti. (Aalto 2015.)

Maan ominaisvastus on sähkönjohtavuuden käänteisluku. Ominaisvastukseen vaikuttaa maaperässä oleva kosteus ja siihen liuenneiden suolojen eli virtaa kuljettavien ionien konsentraatio. Maan ominaisvastus kuvaa sen kykyä kuljettaa korroosiovirtaa eli kykyä toimia elektrolyytinä. Mitä pienempi ominaisvastus on, sitä suurempi mahdollisuus sillä on edistää korroosiota. (Perolainen 2016.) Taulukossa 4 on esitettyä Suomessa yleisimmät maalajit sekä niiden ominaisvastus ja pH-arvo.

Taulukko 4. Maalajien ja veden ominaisvastuksien arvoja (VTT 1997; Aalto 2015).

Maalaji	Keskimäärin (Ωm)	Vaihteluväli (Ωm)	pH
merivesi (Suomenlahti)	2,5	1–5	6,5–8
pohja-, kaivo- ja lähdevesi	50	10–150	6–7
savi	40	25–70	4,9–5,7
humusmaa		10–40	
siltti		10–100	
savensekainen hiekka	100	40–300	5,4
lieju, turve, muta	150	50–350	3,6–5,1
hiekkä, hieta	2000	1000–3000	
moreenisora	3000	3000–10000	4,9–5,5
harjusora	15000	3000–30000	4,6

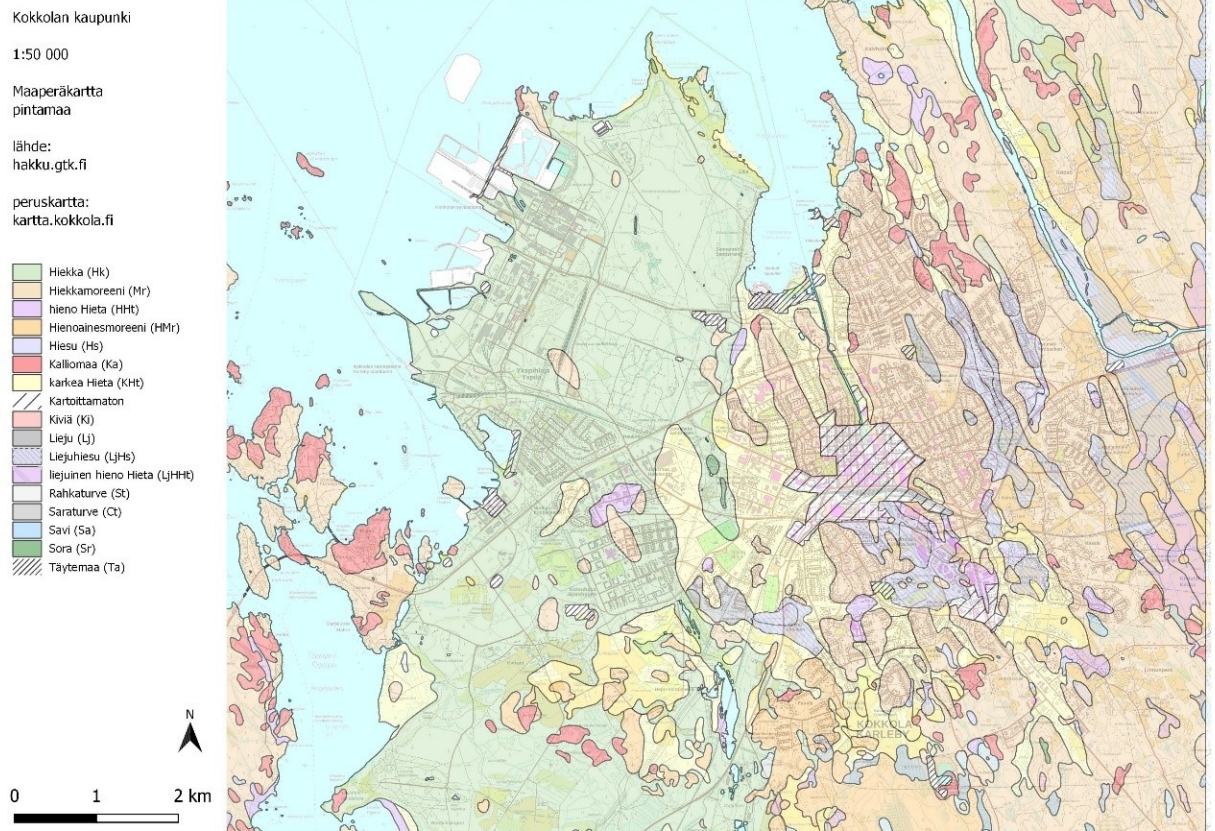
Maaperän syövyttävyyttä ominaisvastuksen perusteella voidaan arvioida karkeasti taulukon 5 mukaisesti. Käytännössä vesihuoltoverkoston putkiosuuksien syöpyminen maaperän ominaisvastuksen johdosta on hyvin pientä ja kohdistuu lähinnä vain metalli- tai sementtiputkiin.

Taulukko 5. Maaperän syövyttävyyden ominaisvastuksen perusteella (Aalto 2015).

Maan ominaisvastus (Ωm)	Maaperän syövyttävyys
< 10	erittäin suuri
10–30	suuri
30–50	suurehko
50–100	kohtalainen
100–200	pieni
> 200	erittäin pieni

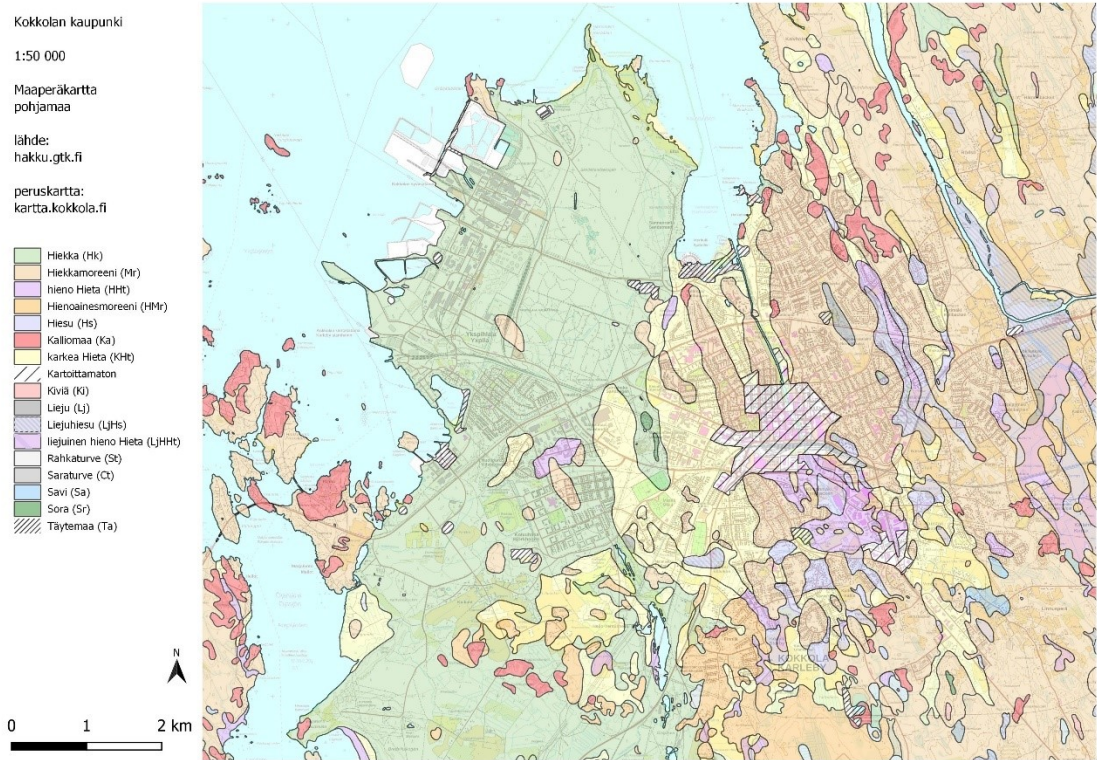
4.1 Maaperä

Geologian tutkimuskeskus on työ- ja elinkeinoministeriön alainen tutkimuskeskus. GTK:n tehtäviin kuuluu luonnonvarojen kartoittaminen, sekä niihin liittyvien tietokantojen kerääminen ja ylläpitäminen. Erilaisia maaperään ja luonnonvaroihin liittyviä tutkimusaineistoja on ladattavissa Geologian tutkimuskeskuksen Hakku-palvelusta muun muassa paikkatietoformaattissa. Tätä opinnäytetyötä tehdessä on etsitty tietoa vaikutuksista, joita paikallisella maaperällä saattaa olla Kokkolan alueen vesihuoltoverkostolle. Työssä on käytetty GTK:n Hakku-palvelusta ladattavissa olevia Kokkolan alueen maaperäkartoitustietoja. Tässä työssä käytetyssä maaperäkartoitusaineistossa pohjamaana (kuva 4) on esitetty 1 metrin syvyydessä oleva maakerros ja pintamaana (kuva 3) pohjamaan päällä oleva 0,4–0,9 metrin maakerros (GTK 2021.) Tämän työn kartat on tehty QGIS paikkatieto-ohjelmistolla. Karttojen taustalla oleva peruskartta on ladattu Kokkolan kaupungin avoimesta WMS-rajapintapalvelusta. (Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021)



Kuva 3. Kokkolan maaperäkartta, pintamaa (GTK 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021).

Kokkola on vanhaa merenpohjaa. Maa nousee Merenkurkun ympärillä hieman alle senttimetrin vuodessa. Kokkolan maaperän pinta- ja pohjamaa ovat suurelta osin hiekkaa, hiekkamoreenia ja kivikkoa kuten maaperäkartasta (kuva 4) voidaan nähdä. Aineiston perusteella Kokkolan alueen pinta- ja pohjamaalla ei ole juurikaan eroa, joten maakerros on samaa ainakin 1 metrin syvyyteen. Poikkeuksena Taularuukin eteläosa, jossa pohjamaan (karkea hieta) päällä oleva pintamaa on joko liejua tai saraturvetta. Kokkolan keskustasta ei aineistossa ollut tutkimustietoja.



Kuva 4. Kokkolan maaperäkartta, pohjamaa (GTK 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021).

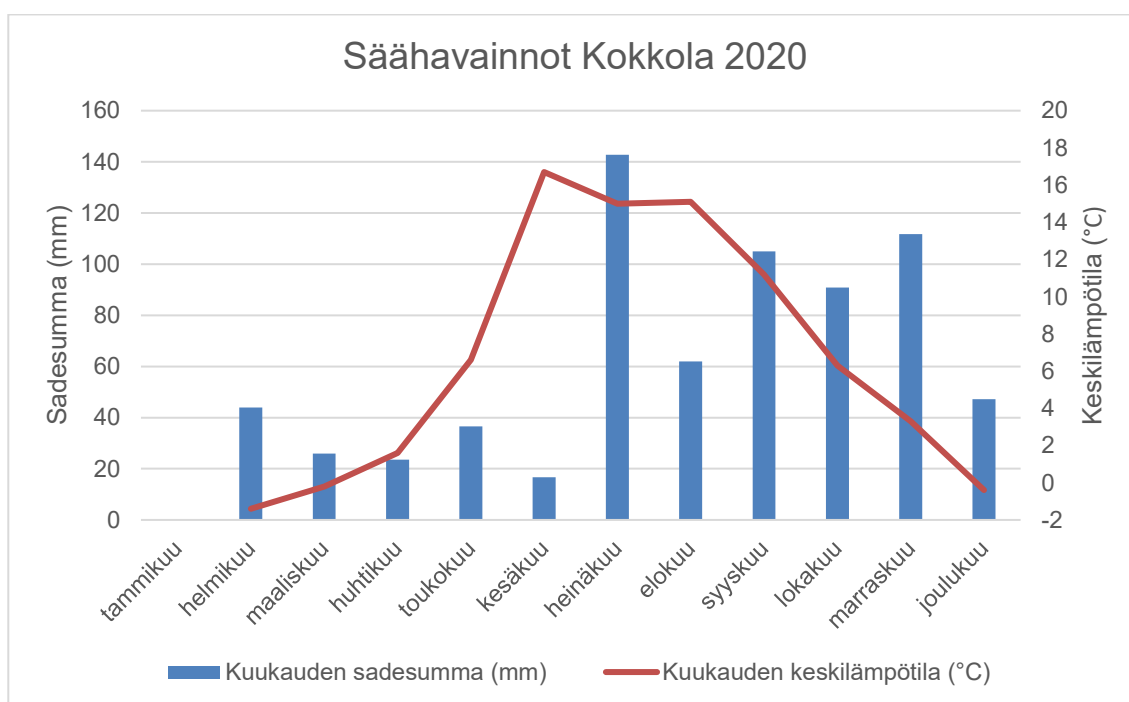
Hiekkapitoinen maaperä läpäisee hyvin vettä, ja sen johdosta sillä on erittäin korkea ominaisvastus. Maaperän maalajit vaikuttavat jonkin verran vesihuoltoverkoston kuntoon pitkällä aikavälillä, mutta korkean ominaisvastuksen osalta Kokkolan maaperä ei vaikuta juurikaan putkiston käyttöikäen.

Pohjaveden pinnan vaihtelulla voi olla pientä vaikutusta pohjavesimuodostuman alueella oleviin putkiosuuksiin, kuten Jänismaan valurautaisiin runkoputkiin tai betonisiin runkoviemäriin. Muovisiin putkiin vaikutus on kuitenkin häviävän pientä. Tutkimuksen mukaan pohjavesi on pääsääntöisesti vähähappista ja rauta- ja mangaanipitoista, mutta maaperän mineraalikoostumuksella on suuri vaikutus pohjaveden kemialliseen peruskoostumukseen (Pohjanmaan vesi ja ympäristö ry 2018).

Tässä työssä ominaisvastuksen tai pohjaveden pinnanvaihteluun liittyviä vaikutuksia ei ole syytä käsitellä enempää, koska vaikutukset ovat Kokkolan maaperässä pieniä ja selvää syy-seuraussuhdetta ei näiden muuttujien ja putken käyttöiän välillä ole tiedossa. Kokkolan vesihuoltoverkostossa on vain vähän metallisia ja sementtipohjaisia putkiosuuksia, jotka ovat erityisen alttiita maaperästä johtuvalle syöpymiselle.

4.2 Sääolosuhteet

Kokkolan alueella vallitsevista sääolosuhteista vesihuoltoverkostolle merkityksellisimmät liittyvät sadantaan eli sademäärään. Osa sadevesistä päätyy hulevesiksi, joista osa päätyy lopulta jätevesiviemäriverkostoon. Ilmatieteen laitoksen tilastojen (kuvio 7) mukaan sateet painottuivat heinä-marraskuulle vuonna 2020. Tammikuulta 2020 tiedot puuttuvat, mutta sademäärän ja lämpötilan voi olettaa olevan lähes samalla tasolla kuin saman vuoden joulukuussa ja helmikuussa.

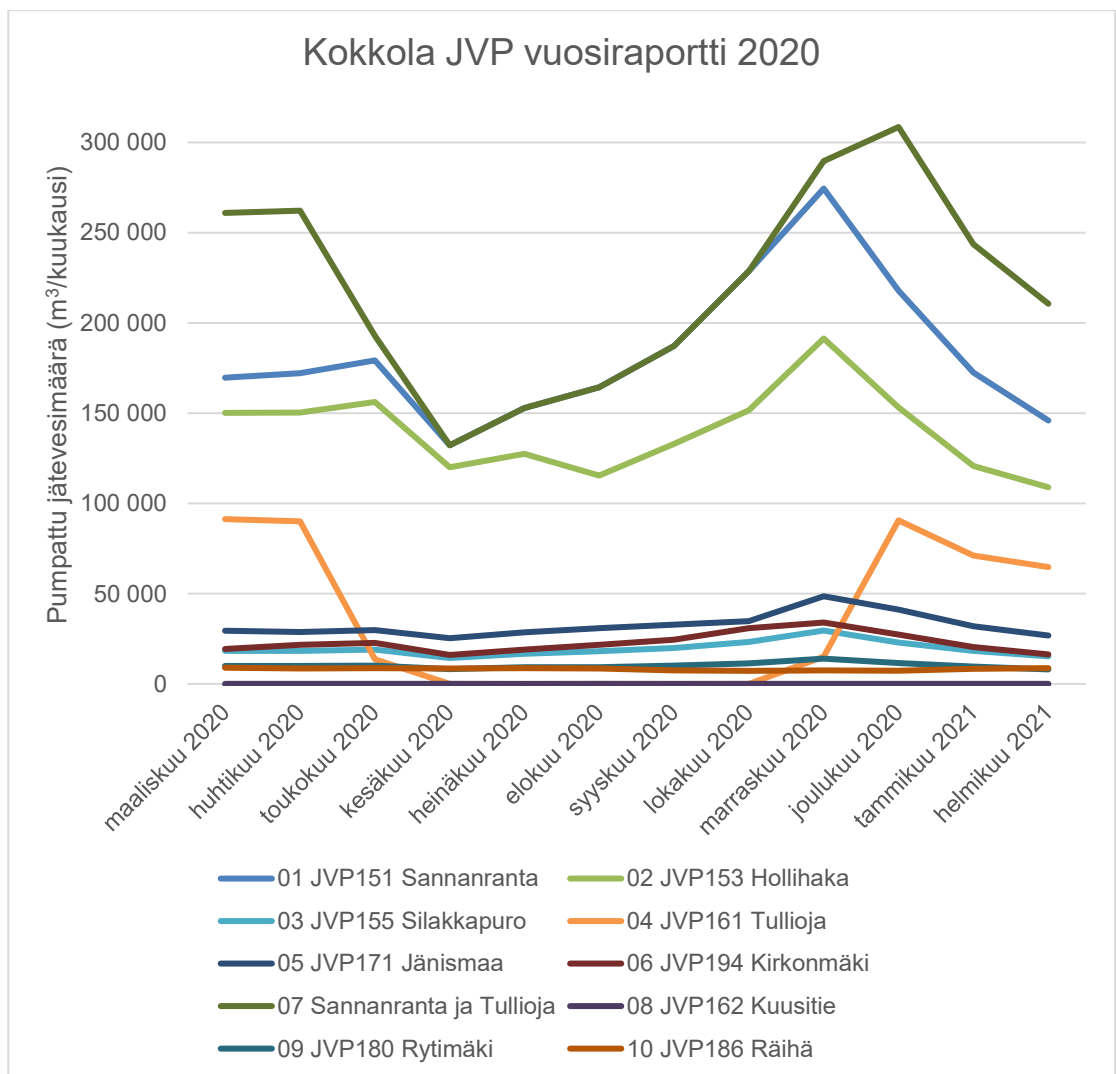


Kuvio 7. Säähavainnot Kokkolassa vuonna 2020 (Ilmatieteen laitos 2021).

Koska tiedetään että runsaiden sateiden jälkeen osa hulevedestä päätyy jätevesiviemäriverkkoon, voitaisiin ajatella, että sateiden aikaan tai heti niiden jälkeen jätevedenpumppaamojen jätevesivirtaamissa voisi olla havaittavia muutoksia.

Kuviossa 8 esitetään Kokkolan jätevedenpumppaamoiden kuukausikohtaiset virtaamat vuodelta 2020. Kuviosta jätevesimäärältään erottuvat JVP161 Tullioja, JVP153 Hollihaka ja JVP151 Sannanranta ovat suuria jätevedenpumppaamoita, joiden kautta kaikki alueen jätevesi pumpataan vedenpuhdistamolle.

Patamäen vesilaitoksella on havaittu, että vesijohtoveden kulutus on yleensä keskimääräistä pienempää sateisina päivinä ja vastaavasti keskimääräistä korkeampaa aurinkoisina kesäpäivinä. Muodostuvan jäteveden määrä seuraa yleensä aika tarkasti vesijohtoveden kulutusta. Säähavaintojen (kuvio 7) mukaan kesäkuun keskilämpötila oli 1,7 °C korkeampi kuin heinäkuussa ja sadanta oli vain 12 % heinäkuisesta sademäärästä. Puuttuvista tiedoista huolimatta kuviosta 8 ilmenee jätevesimäärän olevan heinäkuussa hie-man suurempi kuin kesäkuussa. Korkeimmillaan jätevesivirtaama on marraskuussa, pu-doten huomattavasti kohti joulukuuta, aivan kuten sadantakin.



Kuvio 8. Kokkolan jätevedenpumppaamoiden vuosiraportti vuodelta 2020 (Kokkolan Vesi 2021).

Kokkolan jätevedenpumppaamoiden vuosiraportissa (kuvio 8.) pienempien jätevedenpumppaamoiden jätevesivirtaamien perusteella voidaan varovaisesti arvioida sadannan vaikuttavan muodostuvan jäteveden määrään. Mutta varmasti ei voida sanoa minkä verran sadevesiä päätyy jätevesiviemäriverkoston.

Vuosiraportin käytettävyyttä hankaloittaa JVP161 Tulliojassa ollut häiriö, jonka vuoksi virtaamatiedot puuttuvat kesäkuusta lokakuuhun kokonaan ja toukokuulta sekä marraskuulta osittain. Häiriön vuoksi edellä mainituista virtaamista on hyvin hankalaa arvioida heinäkuun sateiden seurauksia.

Vertaamalla tarkasteltavan alueen päiväkohtaisia sadanta tilastoja, pumpatun vesijohtoveden määrää ja jätevedenpumppaamon virtaamatietoja, voitaisiin tarkasteltavan alueen jätevesiviemäriverkoston kuntoa arvioida suuntaa antavasti. Tämän työn kannalta tarvittavia tietoja ei kuitenkaan ole saatavissa, eikä niitä siksi voida huomioida.

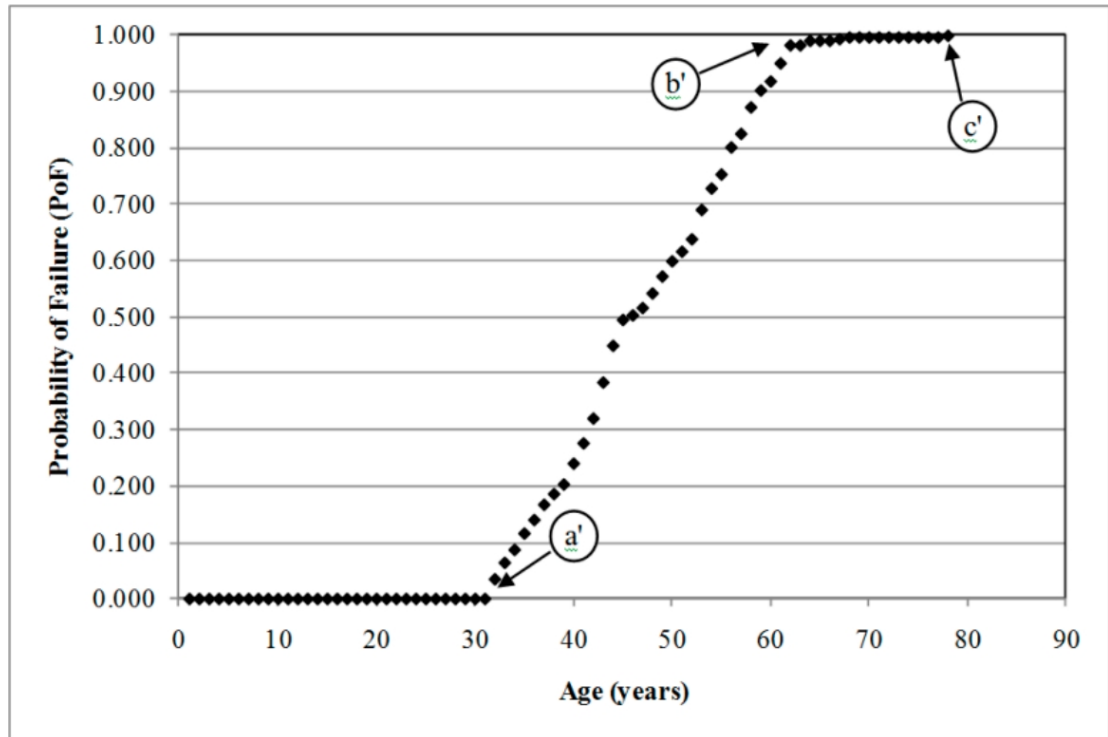
5 VESIHUOLTOPUTKIEN KÄYTTÖIÄN JA HÄIRIÖIDEN SUHDE

Vesihuoltoverkon putkien tekninen käyttöikä on useita kymmeniä vuosia, mutta putkien kuntoon vaikuttaa monenlaiset asiat, eikä materiaalien todellista käyttöikää tiedetä varmasti. Suomessa vesihuoltoverkoston käyttöiän arvioimisen katsotaan olevan lähes mahdotonta, koska siihen vaikuttavat niin monet tekijät yhdessä ja erikseen (Kekki ym. 2008.)

Tässä työssä on käsitelty hieman eri putkimateriaalien ominaisuuksia, sekä paikallisia olosuhteita. Näiden tietojen pohjalta ei voida selvästi osoittaa jonkin putkimateriaalin kestävän tiettyä aikaa tietyissä olosuhteissa. Erilaiset putkimateriaalit ikääntyvät eri tavalla ja eri tahtiin. Varsinkin Kokkolassa, jossa verkostot ovat valtaosin muovimateriaaleja, vuodon aiheuttaa lopulta jokin hetkellisesti putkeen kohdistuva mekaaninen rasitus. PE- ja PVC-putken iän perusteella voidaan jossain määrin arvioida putkiosuuden lasittumisesta johtuvaa haurautta, joka altistaa putken rikkoutumiselle. Sen perusteella ei kuitenkaan voida määrittää putkelle tarkkaa käyttöikää.

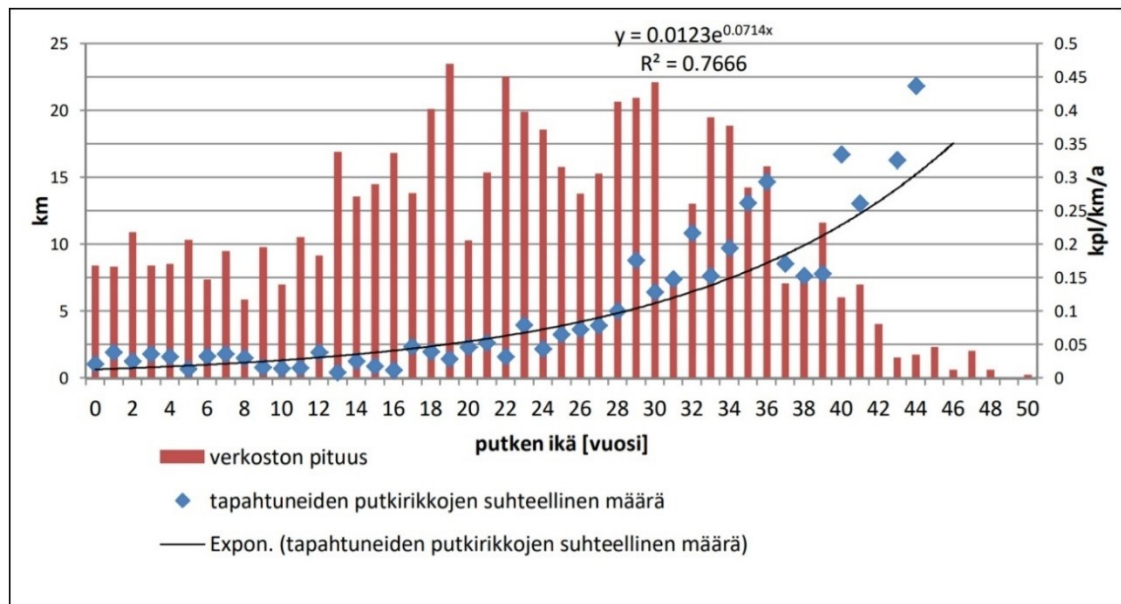
Swecon selvitystyön laskentamallissa vesijohto- ja jätevesiviemäriputken käyttöikäksi on asetettu 60 vuotta. Tämä luku perustuu yksinomaan putken iän ja häiriöiden todennäköisyyden väliseen suhteeseen.

Vuonna 2010 julkaistussa väitöskirjassa on analysoitu jätevesiviemäreissä esiintyvien häiriöiden todennäköisyyksiä ja seurauksia. Tutkimuksen mukaan putkistossa esiintyvien häiriöiden todennäköisyys alkaa kasvamaan jyrkästi putken iän ollessa 31 vuotta, ja se kasvaa iän mukaan niin, että putken saavuttaessa 60 vuoden iän, häiriön todennäköisyys on 90 % ja 70 vuoden jälkeen 100 %. (Syachrani 2010.) Putken iän ja häiriön todennäköisyyden suhde ilmenee väitöskirjassa esitetyssä kuviossa (kuvio 9).



Kuvio 9. Putken iän ja häiriön todennäköisyyden suhde jätevesiviemäriässä (Syachrani 2010).

Vuonna 2013 julkaistussa diplomityössä arvioitiin verkostosaneerausten vaikuttavuutta HSY:n verkostotietokantojen perusteella. Vantaan alueen vuodelta 2005 olevan vesijohtoverkkoaineiston perusteella diplomityössä todettiin, että putkiosuuden iän ylittäessä 25 vuotta, putkirikkojen määrä alkaa kasvamaan selvästi, mikä ilmenee diplomityössä esitettyssä kuviossa (kuvio 10) (Luukkanen 2013). Havainnot ovat samansuuntaisia kuin mitä Syachrani on esittänyt putkiston iän vaikutuksesta häiriöiden todennäköisyyteen. Jätevesiviemäriputkissa ja vesijohtoputkissa esiintyvien putkirikkojen ja häiriöiden todennäköisyys alkaa kasvamaan huomattavasti putken ollessa noin 30-vuotias. Kuvion 10 perusteella voidaan arvioida, että tapahtuvien putkirikkojen määrä suhteessa putken ikään kasvaa eksponentiaalisesti.



Kuvio 10. Vantaan vesijohtoverkostossa vuonna 2005 havaittujen putkirikkojen määrän suhde putken ikään (Luukkanen 2013).

Putken iällä on selvästi merkitystä putken kestävyys- ja vikaherkkyyteen. Siksi ikä täytyy jollakin tavalla ottaa huomioon laskentamallissa. Vikojen todennäköisyyden ja iän välisen suhteen perusteella määriteltävä käyttöikä ei huomioi eri putkimateriaalien ominaisuuksia. Mutta laskentamallissa putkimateriaalien ikääntyminen ja ominaisuuksien muuttuminen huomioidaan erikseen. Siksi niitä ei tarvitse välttämättä yhdistää. Olisi kuitenkin syytä selvittää millä tavalla eri putkimateriaalit vaikuttavat putken iän ja esiintyvien vikojen väliseen suhteeseen.

Swecon selvitystyössään asettamaa jätevesi- ja vesijohtoputkien 60 vuoden käyttöikää voidaan saatavilla olevien tietojen pohjalta pitää perusteltuna.

6 SANEERAUSTARPEEN ARVIOINTI JA SANEERAUSINDEKSI

Vesihuoltoverkoston kuntoa ei voida luotettavasti arvioida yksittäisten tekijöiden perusteella, koska todellinen kunto on aina monen tekijän summa (Kekki ym. 2008). Vesihuoltoverkoston kuntoa voidaan kuitenkin arvioida sellaisten tunnuslukujen perusteella, jotka liittyvät lähes aina huonokuntoiseen verkkoon. Tällaisia ongelmia ovat: laskuttamaton vesi, vuodot ja tukkeumat, sekä erilaiset häiriöt vedenjakelussa. (Välisalo ym. 2013.)

Vesihuoltoverkosto on käytännössä kokonaan maan alla, joten putkiston kunnan seuranta on haastavaa. Kuitenkin aina putkirikon, tukkeuman tai muun vian sattua paikalle menevällä korjaushenkilöstöllä on mahdollisuus arvioida vian syyn lisäksi viikaantuneen putken tai laitteen yleistä kuntoa. On erittäin tärkeää, että huoltohenkilöstö tekee mahdollisimman tarkat muistiinpanot korjauskohteesta, korjaustarpeesta ja korjaustoimenpiteistä. Vikatietoja keräämällä voidaan seurata verkosto-osuuksille kertyneitä häiriöitä, mallintaa sen elinkaarta ja ennakoida tulevia huoltotarpeita. Jos kaikki vesihuoltoverkoston vikatiedot sekä korjauksien ja saneerauksien yhteydessä tehtävät raportit vietäisiin sähköisesti osaksi verkkotietojärjestelmän paikkatietoja, Kokkolan Vedellä olisi käytettävissään päivittyvä tietokanta vesihuoltoverkoston kunnosta. Mahdollisuudet ja keinot tähän ovat jo olemassa, koska Kokkolan Veden käyttämässä Trimble NIS -verkkotietoympäristössä on sisäänrakennettuna työkalu raporttien tuomiseen. Vikatietojen ja raporttien kautta päivitettävien putkikohtaisten tietojen yhdistäminen putkiston arvioituun tekniseen käyttöikään antaisi arvokasta tietoa saneeraustarpeesta.

Jos putkisto-osuus alkaa olemaan teknisen käyttöikänsä päässä ja siihen on jouduttu tekemään aikaisempia korjaustoimenpiteitä, huomioidaan se saneeraustarpeen arvioinnissa. Koska vesihuoltoon liittyvissä asioissa kyse on ennen kaikkea resursseista, täytyy myös arvioida, onko taloudellisesti kannattavampaa saneerata huonokuntoinen putkisto-osuus mahdollisimman nopeasti, vai odottaa parempaa ajankohtaa ja ottaa riski kalliiden korjaustöiden osumisesta putkisto-osuudelle, joka lähitulevaisuudessa kuitenkin saneerataan. Vesihuoltoverkon saneeraustarpeen arvioimiseksi tarvitaan tietoa verkoston teknisestä käyttöiästä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Saneeraustarvetta tulisi erityisesti tutkia taulukossa 6 mainituissa tilanteissa.

Taulukko 6. Tilanteet, joissa saneeraustarvetta tulisi erityisesti tutkia (Karttunen 1999; RIL 124-2 2004).

Rakenteelliset tekijät	Putkien raaka-aineiden tai verkoston osien rakenteiden heikkeneminen. Putket alkavat olemaan vanhoja. Verkostossa esiintyy toimintahäiriöitä. Toistuvat viemäritulvat. Jätevesiviemäriputkia sijaitsee pohjavesialueella tai vedenalituskohdissa. Tietyllä putkiosuudella todetaan vuotoja. Laskuttamattoman vesijohtoveden määrä ylittää 15 %, suurimman osan ollessa todennäköisesti vuotovesiä.
Toiminnalliset tekijät	Verkoston tai pumppaamoiden kapasiteetti ylittyy tai muuttuu. Verkoston alikuormitus tai ylikuormitus. Paineet vaihtelevat suuresti kulutustilanteissa. On vaaraa liian korkeista paineista tai paineiskuista.
Muut tekijät	Muutokset maankäytössä tai olosuhteiden muutokset putken yläpuolella. Olosuhteet altistavat putkiosuudet erityiselle rasitukselle.

Sweco Ympäristö Oy:n tekemässä selvitystyössä on kehitetty laskentaperusteet, joiden kautta vesihuoltoverkoston putkiosuuksien huoltotarvetta priorisoidaan tiettyjen rakenteellisten tekijöiden perusteella. Vesijohtoputkia ja jätevesiviemäriputkia arvioidaan osittain samanlaisin kriteerein, mutta viemäriverkoston arvioinnissa huomioidaan hulevesien mahdollinen päätyminen jätevesiverkkoon.

Tässä luvussa esiteltävä laskentamalli on kokonaisuus, joka sisältää osapisteiden, osapisteiden painotuksen, saneerausindeksin ja saneerausindeksin korjauksen laskemisen. Laskentamalli, sekä siihen liittyvät kaavat ja laskentaperusteet on kokonaisuudessaan Sweco Ympäristö Oy:n laatimia, ja ne löytyvät Varsinais-Suomen ELY-keskuksen vuonna 2017 julkaisemasta raportista: Vesihuoltoverkoston saneeraustarpeen selvittäminen – Työkaluja varojen kohdentamiseen (Sweco 2017).

6.1 Osapisteiden laskentaperusteet vesijohtoverkostossa

6.1.1 Vesijohtoverkoston vuotavuus

Vesihuoltolain mukaan vesilaitoksien täytyy tarkkailla laitteistonsa kuntoa ja vuotovesien määrää vesihuoltoverkossa (Vesihuoltolaki 2001/119 § 15). Jos vesihuoltoverkoston vuotavuudesta olisi saatavilla tarkkaa tietoa, eli jos vuotokohdat voitaisiin paikallistaa tarkasti, olisi saneerattavien putkiosuuksien priorisointi mahdollista tehdä jo sen perusteella (Sweco 2017). Näin asia ei yleensä ole, sillä harvoin verkostoon on asennettu riittävän tiheästi mittakaivoja ja mittausyhteitä putkisto-osuuksien virtaamien seurantaan.

Pienehköt vuodot harvoin näkyvät maanpinnalle ja etsiminen on aikaa vievää ja kallista. Tähän tarkoitukseen kuitenkin löytyy työkaluja, joilla vuotoja voidaan paikallistaa kuuntelemalla, esim. ääniloggerit, korrelaattorit, maamikrofonit ja hydrofonit. Vaikka vuotojen kuuntelu muoviputkista on haastavaa, vuodelta 2010 oleva tutkimus osoittaa, että se on mahdollista (Maninder ym. 2010). Pienikin verkossa oleva vuoto voi tulla vesilaitokselle kalliiksi, kuten taulukosta 7 voidaan päätellä.

Taulukko 7. Vuotoreiästä virtaava vesimäärä, jos putkistossa on 500 kPa paine (RIL 124-2 2004).

Reiän läpimitta (mm)	l/s	l/h	m ³ /a
1,0	0,016	58	510
2,0	0,053	190	1 660
3,0	0,136	490	4 300
4,0	0,246	890	7 800
5,0	0,372	1 340	11 600
6,0	0,500	1 800	15 800
7,0	0,660	2 360	20 700
8,0	0,870	3 130	27 300
9,0	1,110	4 030	35 000
10,0	1,360	4 910	42 800

Vesijohtoverkoston vuotavuudella tarkoitetaan yleensä laskuttamattoman veden määrää eli verkostoon pumpattua vettä, joka ei kulje vesimittareille asti. Yleisesti käytössä oleva tapa vesijohtoverkoston vuotavuuden laskemiseksi on alueelle pumpatun vuotuisen vesimäärän vertaaminen alueen vesimittareiden lukemaan. Suuri laskuttamattoman veden määrä voi viitata verkoston huonoon kuntoon, koska vuodot ovat yleisin syy laskuttamattoman veden määrälle (Maninder ym. 2010). Kuitenkaan kaikki laskuttamaton vesi ei ole vuotovesiä, esimerkiksi tulipalojen sammutukseen, putkistojen huuhteluun ja erilaisten urheilukenttien kasteluun käytettävä vesi ei kulje vesimittarin kautta. Näistä kuitenkin yleensä ilmoitetaan vesilaitokselle ja ne pitäisi huomioida vuotovesiprosenttia laskiessa. Vuotovesiprosentti kuvaa laskuttamattoman veden osuutta alueelle pumpatusta vesimäärästä.

Verkoston vuotavuutta voidaan arvioida myös seuraamalla verkostoon pumpatun veden määrää. Vesilaitoksella vedenkulutusta seurataan jatkuvasti ja tiedetään että veden menekki seuraa ihmisten keskimääräistä elämänrytmiä. Aamulla kun iso osa ihmisistä herää ja hoitaa aamutoimia, vedenkulutus alkaa nousemaan ja yleensä jonkinlainen kulutuspiikkikin tulee aamupäivän aikana. Keskipäivästä alkaen kulutus pysyy yleensä suhteellisen ylhäällä, mutta rauhallisena. Iltapäivällä kulutus voi hieman nousta, kun ihmiset pääsevät töistä, mutta yleensä vasta illalla kello 18–19 kulutus alkaa nousemaan iltatoimien johdosta huomattavasti. Kun iltatoimet on hoidettu ja ihmiset alkavat menemään nukkumaan, kulutus alkaa merkittävästi laskemaan. Yöllä kulutus on yleensä tasaisen pientä ja aamuyön tunteina vedenkulutus painuu erittäin pieneksi. Jos tiedetään että verkossa ei ole sellaisia laitoksia, jotka kuluttavat runsaasti vettä myös yöaikaan, aamuyön tunteina tuntikohtaisen kulutuksen pitäisi laskea arviolta noin 1–1,5 % vuorokauden kokonaiskulutuksesta. Jos kulutus jää tätä suuremmaksi, voidaan epäillä kyseisessä verkoston osassa olevan vuotoa. (RIL 124-2 2004.) Pienimmän tuntikäytön suuruus laskeaan kertomalla keskimääräinen tuntikäyttö pienimmän tuntikäytön kertoimella kaavan 1 mukaisesti.

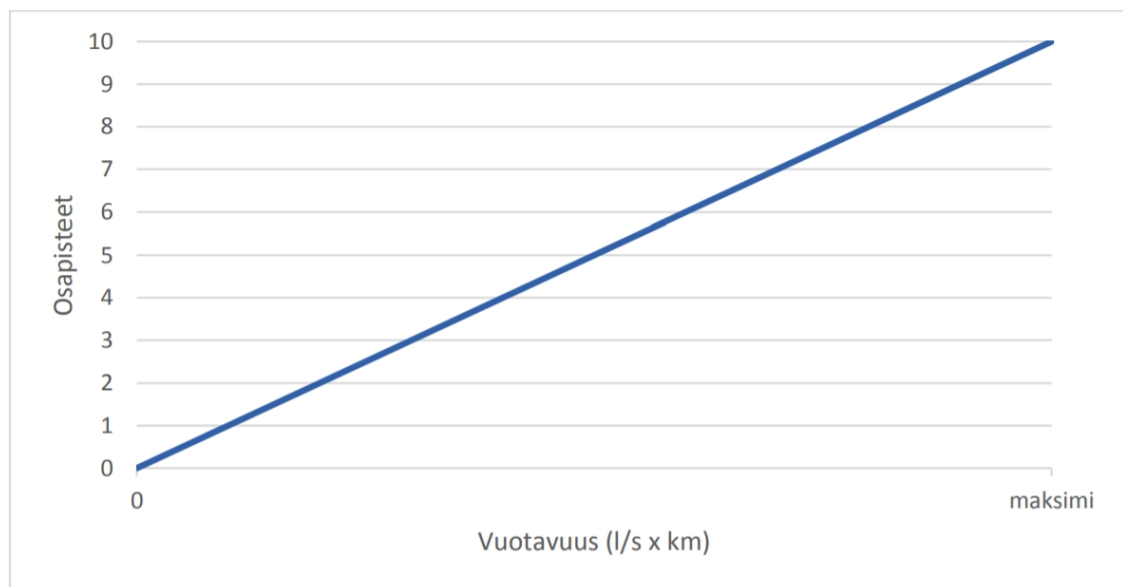
Kaava 1. Pienimmän tuntikulutuksen suuruus (Karttunen 1999).

$$Q_{h \min} = k_{h \min} * \frac{Q_d}{24}$$

Jos $k_{h \min}$ ei ole tarkemmin tiedossa, voidaan yleisesti käyttää kerrointa 0,3 (RIL 124-2 2003). Jos alueen vedenkäyttötiedot tunnetaan osittain, pienimmän tuntikäytön kerroin saadaan jakamalla vuorokauden pienin hetkellinen kulutus vuorokauden keskimääräisellä vedenkulutuksella.

Yön aikaista pienintä hetkellistä kulutusta seuraamalla, voidaan arvioida tietyllä alueella olevan verkoston vuotavuutta. Kun vedenkulutuskäyrä käy pienimmässä arvossa, voidaan ajatella hetken kuvaavan ainoastaan putkesta maaperään tasaisesti vuotavan veden määrää. Tällainen arvio on lopulta vain suuntaa-antava ja jos vedenkäyttö on yöaikaa suurta, ei arviota kannata tehdä. Kuitenkin jos pienin hetkellinen kulutus on useana yönä todella pieni, ei verkosto-osassa voi olla isoa vuotoa.

Swecon laskentamallissa verkoston vuotavuutta arvioidaan suhteessa verkoston pituuteen. Vuotovesiarvo lasketaan jakamalla vuotovesimäärä (l/s) verkosto-osan pituudella (km). Vesijohtoverkoston vuotavuuden osapisteet lasketaan niin, että jos putkiosuuden vuotavuus on 0 l/(s*km), johto saa 0 osapistettä. Verkostossa esiintyvistä maksimivuotavuudesta saa 10 osapistettä. Osapisteet määräytyvät suoran (kuvio 11) kulmakertoimen perusteella.



Kuvio 11. Vuotavuuden mukaan määräytyvät osapisteet (Sweco 2017).

Osapisteet lasketaan suoran yhtälöllä

$$y = k * x + b$$

jossa y on osapisteiden määrä, k on suoran kulmakerroin - joka lasketaan verkostossa esiintyvän suurimman ja pienimmän vuotavuuden mukaan, x on tarkasteltavan putki-
osuuden vuotavuus ja b on kohta, jossa suora leikkaa y-akselin

$$k = \frac{\text{maksimiosapisteet} - \text{minimiosapisteet}}{\text{suurin vuotavuus} - \text{pienin vuotavuus}}$$

Putki saa 0 osapistettä jos sen vuotavuus on 0 l/(s*km), joten b saadaan

$$0 = k * \text{pienin vuotavuus} + b \leftrightarrow b = 0$$

Painotetut osapisteet lasketaan

$$y_{\text{painotettu}} = \text{painotus}(\%) * y$$

Vesijohtoputkien saneerausindeksiä laskettaessa vuotavuudesta saadut osapisteet saavat 35 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.1.2 Putken rakentamisvuosi

Rakentamisvuoden mukaan annettavat osapisteet menevät niin, että jos vesijohtoputken ikä on 0 vuotta, putki saa 0 osapistettä. Jos putken ikä on 60 vuotta tai enemmän, putki saa 10 osapistettä. Jos putki on alle 60 vuotta vanha, osapisteet annetaan suoran (kuvio 12) kulmakertoimen mukaisesti

$$y = k * x + b$$

jossa y on osapisteiden määrä, k on suoran kulmakerroin – joka lasketaan verkostoon viimeksi rakennetun putken rakentamisvuoden ja vanhimman putken rakennusvuoden perusteella, x on tarkasteltavan putken rakentamisvuosi ja b on kohta, jossa suora leikkaa y-akselin.

$$k = \frac{\text{minimiosapisteet} - \text{maksimiosapisteet}}{\text{viimeisin rakentamisvuosi (vvvv)} - \text{vanhin rakentamisvuosi (vvvv)}}$$

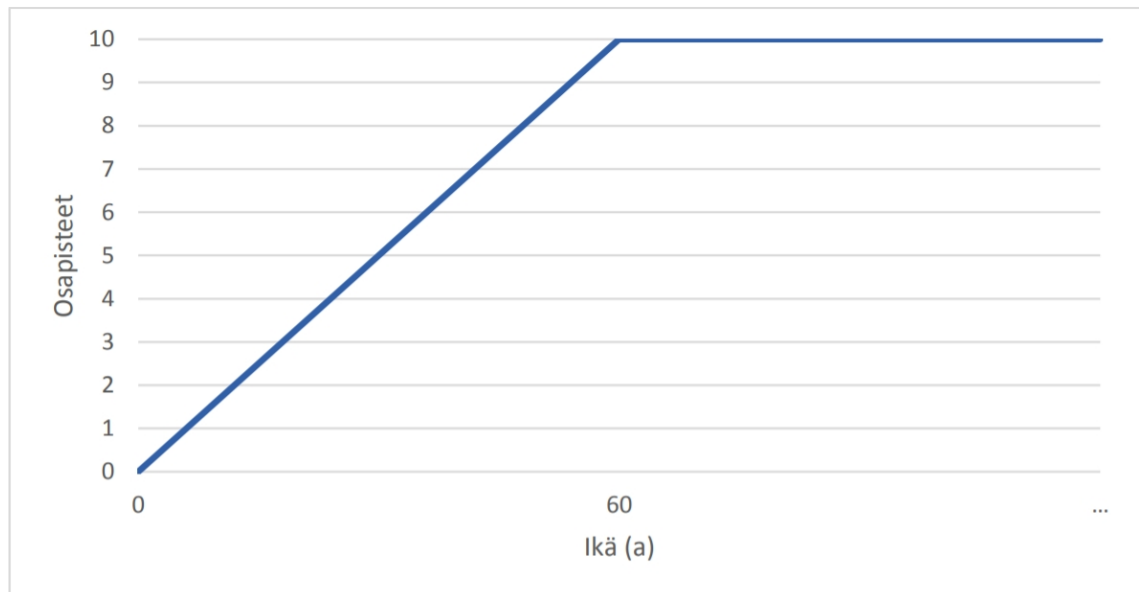
Putki saa 0 osapistettä jos sen rakentamisvuosi on sama kuin vuosi, jona verkoston kuntoa tarkastellaan, joten b ratkaistaan

$$0 = k * \text{nykyinen vuosi} + b \leftrightarrow b = -k * \text{nykyinen vuosi}$$

Painotetut osapisteet lasketaan

$$y_{\text{painotettu}} = \text{painotus}(\%) * y$$

Vesijohtoputkien saneerausindeksiä laskettaessa rakentamivuodesta annettavat osapisteet saavat 35 % painotuksen. (Sweco 2017.)



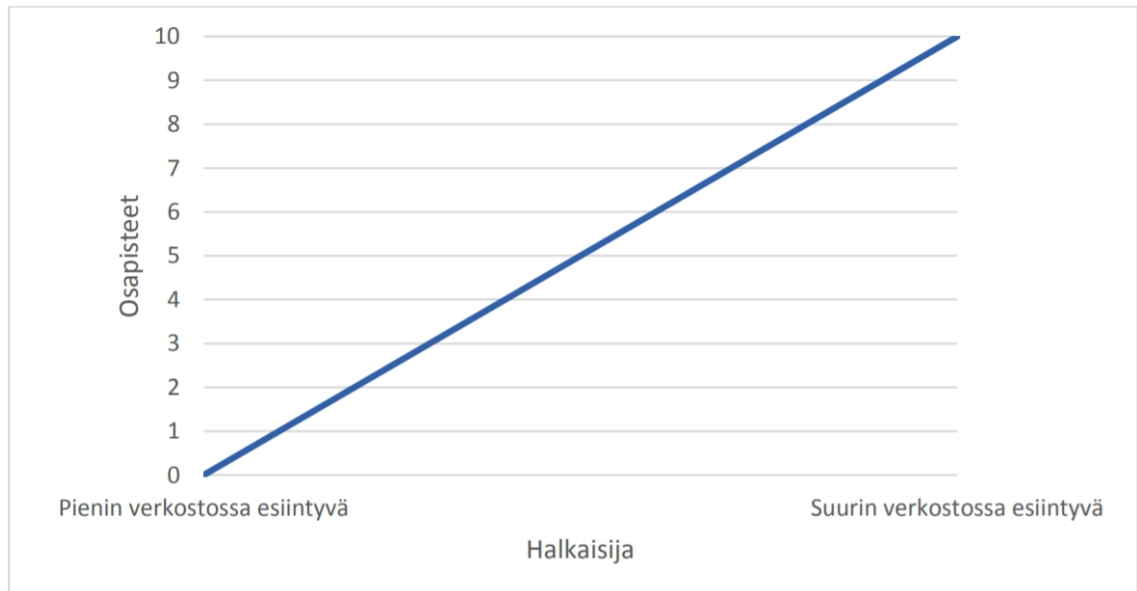
Kuvio 12. Putken iän perusteella annettavat osapisteet (Sweco 2017).

6.1.3 Putken halkaisija

Vesijohtoverkostossa halkaisijaltaan suurimmat putket ovat päävesijohtoja, joten niiden toiminnan varmistaminen on ensisijaisen tärkeää. Osapisteiden laskemisessa käytetään verkostossa esiintyvää suurinta ja pienintä halkaisijaa.

Kokkolan Veden vesijohtoverkostossa halkaisijaltaan suurimpien suoja-putkien halkaisija on 560 millimetriä, mutta runkoputkissa esiintyvä suurin halkaisija on 400 millimetriä. Pienin Kokkolan vesijohtoverkostossa esiintyvä runkoputken halkaisija on puolestaan 32 millimetriä. Tämän johdosta Kokkolan alueen vesijohtovesiverkoston saneerausindeksilaskennassa vesijohtoverkostossa esiintyvänä suurimpana halkaisijana käytetään runkoputkien suurinta halkaisijaa 400 millimetriä ja pienintä halkaisijaa 32 millimetriä. Putken halkaisijan perusteella annettavat osapisteet (kuviokuva 13) muodostuvat niin, että pienin

verkostossa esiintyvä putken halkaisija antaa 0 osapistettä ja suurin halkaisija antaa 10 osapistettä kuvion 13 mukaisesti.



Kuvio 13. Putken halkaisijan mukaan määräytyvät osapistheet (Sweco 2017).

Osapistheet lasketaan suoran yhtälöllä

$$y = k * x + b$$

jossa y on osapisteiden määrä, k on suoran kulmakerroin - joka lasketaan verkostossa esiintyvän suurimman ja pienimmän putken halkaisijan perusteella, x on tarkasteltavan putken halkaisija ja b on kohta, jossa suora leikkaa y-akselin

$$k = \frac{\text{maksimiosapistheet} - \text{minimiosapistheet}}{\text{suurin halkaisija (mm)} - \text{pienin halkaisija (mm)}}$$

Putki saa 0 osapistettä, jos sen halkaisija on pienin verkostossa esiintyvä halkaisija, joten b ratkaistaan

$$0 = k * \text{pienin halkaisija (mm)} + b \leftrightarrow b = -k * \text{pienin halkaisija (mm)}$$

Painotetut osapistheet lasketaan

$$y_{\text{painotettu}} = \text{painotus}(\%) * y$$

Vesijohtoputkien saneerausindeksiä laskettaessa halkaisijan perusteella tulevat osapisteet saavat 15 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.1.4 Putken materiaali

Selvitystyössä eri putkimateriaalien väliset erot on huomioitu pelkistetysti pisteytyksessä. Muovimateriaaleista valmistettujen putkien on arvioitu olevan hieman kestävämpiä kuin muista materiaaleista valmistetut putket, joten muoviputket saavat 5 osapistettä, kun muista materiaaleista valmistetut putket saavat 10 osapistettä. Jos tarkasteltavan putken materiaali ei ole tiedossa, putki saa 5 osapistettä. Putkimateriaalien perusteella annettavat osapisteet määräytyvät taulukon 8 mukaisesti.

Taulukko 8. Putkimateriaalin perusteella määräytyvät osapisteet (Sweco 2017).

Materiaali	Osapisteet
B, Bk	10
A, Ak, Himaniitti	10
V, Vk, Mannesmann, Harmaa, T	10
PEH, PEL, PEM, M, PVC	5
X	5

Painotetut osapisteet lasketaan

$$Osapisteet_{painotettu} = painotus(\%) * osapisteet$$

Vesijohtoputkien saneerausindeksiä laskettaessa materiaalin perusteella tulevat osapisteet saavat 15 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.2 Osapisteiden laskentaperusteet jätevesiviemäriverkossa

6.2.1 Jätevesiviemäriverkoston vuotavuus

Painovoimalla toimivaan jätevesiviemäriin voi päästä valumaan pohja-, hule- tai vuotovesiä huonokuntoisten putkien ja liitoksien kautta. Myös huonokuntoisen tarkastus- tai saostuskaivojen kautta voi päästä hulevesiä kaivoihin ja niistä viemäriverkkoon. Viemäriverkkoon pääsevät vuotovedet ovat yleensä niin puhtaita, ettei niitä tarvitsisi puhdistaa jätevedenpuhdistamolla. Vuotovedet laimentavat ja lisäävät jätevesiverkostossa kulkevan veden määrää varsinkin sateiden aikana ja niiden jälkeen. Tämä kuormittaa turhaan jätevedenpuhdistamoja ja lisäksi laimea vesi heikentää vedenpuhdistusprosesseissa olevien bakteerien toimintaa. Jätevedenpuhdistamoiden ja jätevedenpumppaamoiden suunnittelussa ei yleensä voida huomioida vuotovesien aiheuttamaa lisää jätevesien määrässä. Rankkasateiden seurauksena jätevesimäärät voivat lisääntyä huomattavasti, mikä lisää jätevedenpumppaamoiden sähkökulutusta. Pahimmassa tapauksessa vettä tulee niin paljon, että jätevedenpuhdistamo ei pysty käsittelemään kaikkea saapuvaa jätevettä, vaan joudutaan tekemään ohijuoksutuksia. Jätevesiverkoston vuotavuus on Suomessa iso ja varsin yleinen ongelma, ja se täytyy huomioida saneeraustarvetta arvioidessa.

Viemäriverkoston vuotavuutta voidaan arvioida laskuttamattoman jäteveden määrästä. Vesilaitokset laskuttavat asiakkaitaan vesimittarilukeman perusteella. Vesimittarilukema kertoo, kuinka paljon tiettyyn kiinteistöön menee vettä. Käytännössä lähes kaikki vesimittarin kautta kulkenut vesijohtovesi päättyy lopulta jätevesiviemäriin, siksi jätevesimaksu perustuu vesimittarilukemaan. Jätevesiviemäriverkon vuotovesitulavuus laskeaan vähentämällä pumpatusta jätevesimäärästä laskutettu vesijohtovesi, paitsi tilanteissa, joissa alueella on kiinteistöjä, jotka eivät kuulu jätevesiviemäriverkkoon. Tällöin käytetään laskuttamattoman jäteveden määrää.

Vuotovesiarvo $l/(s \cdot km)$ saadaan jakamalla vuotovesimäärä (l/s) eli laskuttamattoman jäteveden määrä verkosto-osan pituudella (km). Laskuttamattoman jäteveden määrä Kokolan Veden tietojen mukaan vuonna 2020 oli $1\,485\,000\ m^3$ ja jätevesiviemäriverkoston kokonaispituus oli yhteensä 371 kilometriä. Kun vuodessa 2020 oli 366 päivää, sekunti-kohtainen vuotovesimäärä saadaan yksikönmuutoksella

$$\frac{1\,485\,000\ m^3/a}{366 \cdot 24 \cdot 3600} \approx 46,96\ l/s$$

Jonka jälkeen Kokkolan jätevesiviemäriverkoston kokonaisvuotovesiarvo saadaan laskettua

$$\frac{46,96 \text{ l/s}}{371 \text{ km}} \approx 0,1266 \text{ l/(s * km)}$$

Viemäriverkoston vuotavuuden osapisteet lasketaan niin, että jos putkiosuuden vuotavuus on 0 l/(s*km), putki saa 0 osapistettä. Viemäriverkostossa esiintyvistä maksimivuotavuudesta saa 10 osapistettä. Kokkolan jätevesiviemäriverkoston vuotavuus vuonna 2020 oli 0,1266 l/(s*km), jota tässä työssä käytetään suurimpana vuotavuutena, koska tietoa verkostossa esiintyvistä suurimmasta vuotavuudesta ei ole saatavilla. Osapisteet määräytyvät suoran kulmakertoimen (kuvio 11) perusteella.

Osapisteet lasketaan suoran yhtälöllä

$$y = k * x + b$$

jossa y on osapisteiden määrä, k on suoran kulmakerroin - joka lasketaan verkostossa esiintyvän suurimman ja pienimmän vuotavuuden mukaan, x on tarkasteltavan putkiosuuden vuotavuus ja b on kohta jossa suora leikkaa y-akselin

$$k = \frac{\text{maksimiosapisteet} - \text{minimiosapisteet}}{\text{suurin vuotavuus} - \text{pienin vuotavuus}}$$

Putki saa 0 osapistettä jos sen vuotavuus on 0 l/(s*km), joten b saadaan

$$0 = k * \text{pienin vuotavuus} + b \leftrightarrow b = 0$$

Painotetut osapisteet lasketaan

$$y_{\text{painotettu}} = \text{painotus}(\%) * y$$

Viemäriputkien saneerausindeksiä laskettaessa vuotavuudesta annetut osapisteet saavat 25 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.2.2 Putken rakentamisvuosi

Rakentamisvuoden perusteella jätevesiviemäriputkille annettavat osapisteet lasketaan samalla tavalla kuin vesijohtoputkille (ks. luku 6.1.2).

Kun Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamon ja jätevesiviemäriverkon yhdistäviä yli 2 kilometriä pitkiä linjoja ei huomioida, niin Kokkolan jätevesiviemäriverkoston vanhin putkiosuus on vuodelta 1956. Opinnäytetyötä tehdessä uusin putkiosuus on vuodelta 2021.

Viemäriputkien saneerausindeksiä laskettaessa rakentamisvuodesta tulevat osapisteet saavat 25 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.2.3 Putken halkaisija

Viemäriverkostossa halkaisijaltaan suurimmat putket ovat pääjätevesiviemäreitä, joten niiden toiminnan varmistaminen on ensisijaisen tärkeää. Selvitystyössä putken halkaisijan perusteella annettavat osapisteet muodostuvat niin, että pienin verkostossa esiintyvä putken halkaisija antaa 0 osapistettä ja suurin halkaisija antaa 10 osapistettä. (Sweco 2017.)

Kun Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamon ja jätevesiviemäriverkon yhdistäviä yli 2 kilometriä pitkiä linjoja ei huomioida, niin verkostossa esiintyvistä halkaisijoista suurin on Pikiruukin 900 millimetrin runkoviemärissä ja pienin Elisabetin hautausmaan 50 millimetrissä paineviemärissä. Halkaisijan perusteella annettavat osapisteet lasketaan samalla tavalla kuin vesijohtoputkille (ks. luku 6.1.3).

Viemäriverkoston saneerausindeksiä laskettaessa halkaisijan perusteella tulevat osapisteet saavat 10 % painotuksen (Sweco 2017).

6.2.4 Putken materiaali

Putkimateriaalin mukaan annettavat osapisteet määräytyvät samalla tavalla kuin vesijohtoputkille (ks. luku 6.1.4).

Jätevesiviemäriverkoston saneerausindeksiä laskettaessa materiaalin perusteella annetut osapisteet saavat 10 % painotuksen (Sweco 2017).

6.2.5 Vesimuodostumien etäisyys tarkasteltavasta jätevesiviemäriputkesta

Jos jätevesiviemäri sijaitsee lähellä vesimuodostumia, on riskinä, että pintavettä pääsee valumaan viemäriin. Tämän vuoksi jätevesiviemäri saa 10 osapistettä, jos se sijaitsee

enintään 5 metrin päässä ojasta tai 0 osapistettä jos etäisyys on yli 5 metriä. Samalla tavalla jätevesiviemäri saa 10 osapistettä jos se sijaitsee enintään 20 metrin päässä soista tai vesistöistä, muussa tapauksessa putki saa 0 osapistettä. Jätevesiviemäreiden saneerausindeksiä laskettaessa putken etäisyydestä vesimuodostumaan annetut osapisteet saavat 10 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.2.6 Hulevesiverkoston etäisyys tarkasteltavasta jätevesiviemäriputkesta

Hule- tai sadevesiverkoston tarkoitus on kuljettaa sulamisvesistä ja sadevesistä muodostuneita hulevesiä hallitusti pois alueelta, jossa ne muutoin aiheuttaisivat monenlaista haittaa. Jos alueella ei ole toimivaa hulevesiverkkoa, osa hulevesistä saattaa päätyä huonokuntoisten kaivojen ja putkien kautta jätevesiverkkoon. Jätevesiverkkoon päätyessään hulevedet kasvattavat jätevesivirtaamia, mitkä puolestaan lisäävät jätevedenpumpuamoiden sähkönkulutusta sekä kuormittavat turhaan jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessia. (Laitinen ym. 2014.) Tämän tyyppisiä ongelmia syntyy varsinkin alueilla, joissa on huonokuntoista jätevesiviemäriverkkoa, mutta ei toimivaa hulevesiverkkoa. Tämä huomioidaan saneeraustarpeen arvioinnissa niin että jätevesiviemärit, jotka sijaitsevat enintään 5 metrin etäisyydellä hulevesiviemäristä saavat 0 osapistettä ja yli 5 metrin etäisyydellä olevat putket saavat 10 osapistettä. Jätevesiviemäreiden saneerausindeksiä laskettaessa, annetut osapisteet putken etäisyydestä hulevesiverkostosta saavat 10 % painotuksen. (Sweco 2017.)

6.3 Saneerausindeksin laskeminen

Saneerausindeksi kuvaa putken saaman kokonaisosapistemäärän osuutta maksimi-osapistemäärästä painotukset huomioiden. Mitä suurempi on saneerausindeksi, sitä kriittisempi on putken saneeraustarve selvitystyön mukaan. (Sweco 2017.)

Jokaiselle vesihuoltoverkoston putkelle lasketaan putkikohtaiset osapisteet. Jos tarkasteltavasta putkesta tunnetaan kaikki laskentamallissa tarvittavat tiedot, käytetään oletuspainotusprosentteja (taulukko 9). Jos jokin tiedoista puuttuu, kokonaisosapistemäärä jää vajaaksi. Tämän vuoksi puuttuvia osapisteitä kompensoidaan korottamalla muiden osapisteiden painotusprosentteja. Kun putkelle on laskettu kaikki laskettavissa olevat painotetut osapisteet, lasketaan saneerausindeksi. Saneerausindeksiä korjataan lopuksi

vuotovesiprocentin perusteella, jos vuotovesimäärä on tavoitetasoa korkeampi. (Sweco 2017.)

6.3.1 Osapisteiden painotusprosentit

Saneerausindeksin laskemisessa käytettävät painotusprosentit esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Osapisteiden painotukset saneerausindeksiä laskettaessa (Sweco 2017).

Osapisteet	Painotus	
	Vesijohto	Jätevesiviemäri
Vuotavuus	35 %	25 %
Rakentamisvuosi	35 %	25 %
Halkaisija	15 %	10 %
Materiaali	15 %	10 %
Ojat	-	10 %
Vesistöt/suot	-	10 %
Hulevesiviemärit	-	10 %
Yhteensä	100 %	100 %

Jos putkelle ei voida laskea kaikkia osapisteitä, nostetaan annettujen osapisteiden painotuksia samassa suhteessa niin, että painotuksien summaksi saadaan 100 % (Sweco 2017). Esimerkiksi jos tarkasteltavan vesijohtoputken rakentamisvuotta ei tiedetä, vuotavuuden painotusta nostetaan 35 %:sta noin 54 %:iin ($\frac{35}{65} * 100$) ja halkaisijan sekä materiaalin painotuksia nostetaan 15 %:sta noin 23 %:iin ($\frac{15}{65} * 100$).

6.3.2 Saneerausindeksin laskukaava

Saneerausindeksin laskennassa käytetään Swecon laskentamallissa esiteltyä laskenta-kaavaa (kaava 2).

Kaava 2. Saneerausindeksin laskentakaava (Sweco 2017).

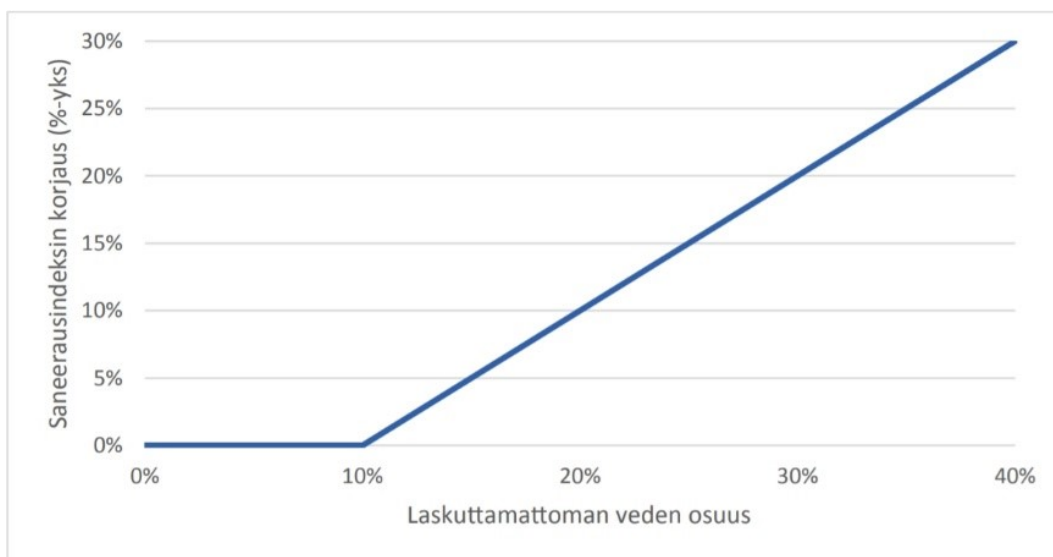
$$SI = \frac{\Sigma \text{painotus} * \text{osapisteet}}{\Sigma \text{painotus} * \text{maksimiosapisteet}} * 100 \%$$

Eli saneerausindeksi saadaan, kun painotettujen osapisteiden summa jaetaan kymmenellä ja osamäärä kerrotaan lopuksi sadalla.

6.3.3 Saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman veden perusteella

Kun vesijohto- ja jätevesiviemäriverkoston putkille on laskettu saneerausindeksit, saatuja saneerausindeksejä korjataan vielä laskuttamattoman veden ja laskuttamattoman jäteveden perusteella. Korjaus perustuu annettuihin laskuttamattoman veden tavoitearvoihin, jotka ovat vesijohtoverkoston osalta 10 % ja jätevesiviemäriverkoston osalta 30 %. Jos osuus on tavoitearvoa suurempi, saneerausindeksiä korjataan lisäämällä siihen tietty määrä prosenttiyksiköitä. Muussa tapauksessa saneerausindeksi jätetään ennalleen. (Sweco 2017.)

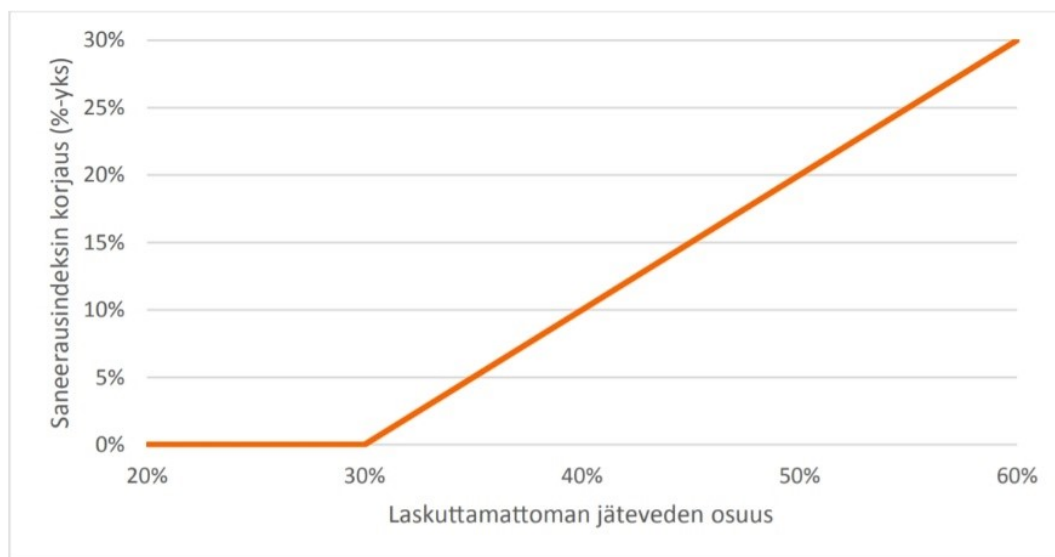
Vesijohtoverkostossa putkien saneerausindeksiin lisätään tarvittaessa prosenttiyksiköitä kuvion 14 mukaisesti.



Kuvio 14. Vesijohtoputkien saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman veden osuuden perusteella (Sweco 2017).

Mikäli laskuttamattoman veden osuus on yli 10 %, korjauksen suuruus (prosenttiyksikköä) saadaan vähentämällä vuotovesiprosentista 10 %-yksikköä. Esimerkiksi jos tarkasteltava vesijohtoputki kuuluu vesijohtoverkoston, jossa vuotovesiprosentti on 14 %, niin korjauksen suuruus on 4 %-yksikköä. Kun tarkasteltavan putken korjaamaton saneerausindeksi on 50, niin korjattu saneerausindeksi on 54.

Jätevesiviemäriverkostossa putkien saneerausindeksiin lisätään tarvittaessa prosenttiyksiköitä suoran kertoimen (kuvio 15) mukaisesti.



Kuvio 15. Jätevesiviemäriputkien saneerausindeksin korjaaminen laskuttamattoman jäteveden osuuden perusteella (Sweco 2017).

Kun laskuttamattoman jäteveden osuus on yli 30 %, korjauksen suuruus (prosenttiyksikköä) saadaan vähentämällä vuotovesiprosentista 30 %-yksikköä. Esimerkiksi jos tarkastettava jätevesiviemäriputki kuuluu jätevesiviemäriverkoston, jossa vuotovesiprosentti on 41,4 %, niin korjauksen suuruus on 11,4 %-yksikköä. Kun tarkasteltavan putken korjaamaton saneerausindeksi on 58, niin korjattu saneerausindeksi on 69.

6.3.4 Saneerausindeksin perusteella tehtävä kriittisyysluokitus

Kun putkille on laskettu saneerausindeksi, ne voidaan jakaa saneerausindeksin perusteella eri kriittisyysluokkiin. Luokittelu selkeyttää putkiosuoksien saneerausaikatauluksen suunnittelua, kun putket voidaan esimerkiksi värjätä kriittisyysluokituksen mukaan paikatieto-ohjelmassa. Saneerausindeksit luokitellaan viiteen eri kriittisyysluokkaan taulukon 10 mukaisesti.

Taulukko 10. Kriittisyysluokan määräytyminen (Sweco 2017).

Kriittisyysluokka	Saneerausindeksi
1	0–19 %
2	20–39 %
3	40–59 %
4	60–79 %
5	>80 %

Jos putkiosuuden saneerausindeksi on enintään 19, kuuluu se kriittisyysluokkaan 1, joka tarkoittaa, että putken laskennallinen saneeraustarve on hyvin pieni. Tällainen putki sijaitsee todennäköisesti verkoston osassa, jossa on havaittu hyvin vähän tai ei ollenkaan vuotoa. Lisäksi jätevesiviemäripuolella hule- tai pintavesien pääsy tarkasteltavan putken kautta verkostoon on hyvin epätodennäköistä. Muiden osatekijöiden perusteella annettavien pisteiden on myös täytynyt jäädä pienehköiksi. Tällaiset putkiosuudet voidaan jättää saneerausjärjestyksessä viimeiseksi.

Jos putkiosuuden saneerausindeksi on yli 80, kuuluu se kriittisyysluokkaan 5. Tällaisen putken on täytynyt saada jokaisesta arvioitavasta osatekijästä erittäin korkeat pisteet, eli putki kuuluu verkoston osaan, jossa on suuri vuotavuus. Lisäksi kyseinen putki on rakennusikänsä ja materiaalin puolesta käyttöikänsä päässä. Putki on myös todennäköisesti runkoputki, koska putken halkaisijan perusteella annettavissa osapisteissä huomioidaan tarkasteltavassa verkostossa esiintyvä suurin ja pienin putken halkaisija. Eli putken rikkoutuessa seuraukset olisivat huomattavasti merkittävämpiä, kuin mitä ne olisivat jonkin pienemmän putken rikkoutuessa. Jos kyseinen putki kuuluu jätevesiviemäri-verkkoon, edellä mainittujen riskitekijöiden lisäksi on olemassa myös kohonnut riski että pinta- tai hulevesiä pääsee vuotamaan putkiosuuden kautta jätevesiviemäriverkkoon. Luokan 5 putket ovat koko verkoston alueella kriittisimmässä saneeraustarpeessa.

Käytännössä putkiosuuksien saneerausindeksi tai sen perusteella tehty kriittisyysluokitus ei pyri kuvaamaan putkien todellista kuntoa, vaan tarkoituksena on asettaa putkiosuudet laskennallisen saneeraustarpeen mukaiseen järjestykseen.

7 LASKENTAMALLIN PILOTOINTI KOKKOLASSA

Pilotin ensisijaisena tarkoituksena on selvittää työkalun toimivuutta rajatulla alueella. Pilotissa käytetään Sweco Ympäristö Oy:n kehittämää työkalua vesihuoltoverkon saneeraustarpeen arvioimiseksi laskennallisesti. Pilotista saatavien tuloksien perusteella voidaan arvioida, missä määrin laskentamalli toimisi Kokkolan Veden vesihuoltoverkoston saneeraustarpeen arvioimisessa, toisin sanoen miten työkalua voitaisiin hyödyntää Kokkolan Vedellä ja mitä asioita sen käytössä täytyy ottaa huomioon.

Osana opinnäytetyötä pyritään laatimaan toimintamalli, jonka kautta Kokkolan Vesi pystyy ylläpitämään päivittyvää kuntoarviota hallinnoimastaan vesihuoltoverkostosta. Pilotissa selvitetään saneeraustarpeen laskemisessa huomioitavat putken ominaisuudet – niiden saatavuus tällä hetkellä, sekä mahdolliset keinot niiden saamiseksi. Pilotista saatavien tietojen perusteella laaditaan lista tarvittavista muuttujista ja selvitetään mestareiden kanssa keinot niiden saamiseksi putkiston tarkastus-, saneeraus- ja asennustöiden ohessa.

Alun perin pilottiin oli tarkoitus sisällyttää paikan päällä tehtävää putkiston kuntotarkastelua. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin jo pilotin suunnitteluvaiheessa. Vaikka opinnäytetyön tavoitteiden kannalta olisi hyvä päästä arvioimaan miten putken kunto käytännössä korreloi laskennallisen arvion kanssa, sellaista ei päästä tekemään tämän pilotin yhteydessä. Esillä olevia putkia on vain vähän Kokkolan alueella, eikä pilottialuetta voida valita ainoastaan esillä olevien putkien perusteella. Pilotin onnistumisen kannalta ensisijaisen tärkeää on alueen järkevä rajattavuus.

7.1 Suunnittelu

Pilotin valmistelu alkoi soveltuvan alueen etsimisellä. Koska yksi olennainen muuttuja laskennallisessa arviossa on putkiosuuden vuotoprosentti, täytyy valita sellainen alue, josta vuotoprosenttia on ylipäättään mahdollista laskea.

Vesiputkien vuotavuutta varten täytyy tuntea alueelle pumpattavan veden määrä, sekä laskutettavan veden määrä. Kiinteistöjä laskutetaan kiinteistökohtaisten vesimittareiden lukeman perusteella, eli sen perusteella kuinka paljon kiinteistössä kulutetaan vettä.

Alueellinen vedenkulutus saadaan rajattua mittakaivojen avulla, jotka mittaavat läpikulkevaa vesimäärää.

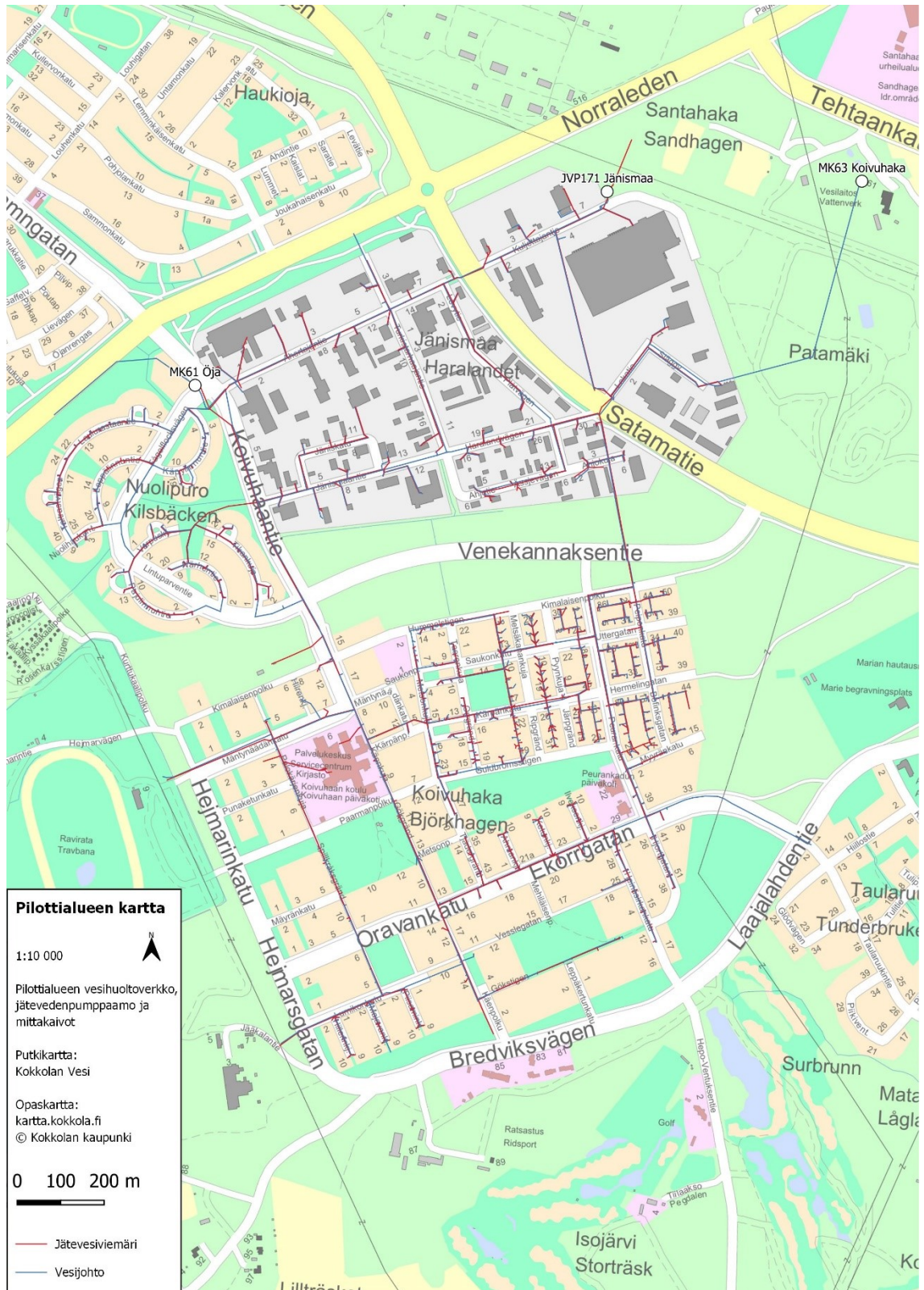
Jätevesiverkossa vuotavuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon jätevesiverkkoon pääsee valumaan tai vuotamaan vettä. Jätevesiverkon osalta vuotavuutta voidaan arvioida laskutetun vesimäärän ja alueelta pumpattavan jätevesimäärän erotuksesta. Kokkolassa vuotovesimäärien arvioimista haittaavat jätevesiviemäriin pääsevät hulevedet, jotka tiettyinä kuukausina lisäävät huomattavasti jätevesipumppaamon läpi kulkevaa jätevesimäärää.

Pilottialueeksi harkittiin alkuvaiheessa kolmea eri kaupunginosaa: Halkokaria, Ykspihlajaa ja Koivuhakaa. Vaihtoehtoja pohdittiin yhdessä Kokkolan Veden vesihuoltopäällikön, infrasuunnittelijan ja vesilaitosmestarin kanssa. Alueen valinnassa ratkaisevassa asemassa oli alueen rajattavuus mittakaivojen avulla, sekä putkistojen ikä- ja materiaali- ja kauma. Halkokari olisi ollut helpoin rajata, mutta alueen vesihuoltoverkko on koko alueella samantyyppistä ja ikäistä, joten tuloksia ei käytännössä pystyisi vertaamaan keskenään. Ykspihlajassa on puolestaan lähiaikoina tehty laajasti putkisaneerausta, joten se päätettiin jättää pois vaihtoehtoista. Lopulta päädyttiin valitsemaan Koivuhaka pilotin kohdealueeksi.

7.2 Pilottialue

Koivuhaka on kaupunginosa, joka sijaitsee noin 3 kilometrin etäisyydellä Kokkolan keskustasta. Koivuhaan rakentaminen alkoi 1970-luvun alkupuolella. Koivuhaassa on rivi-, kerros- ja omakotitaloja. Koivuhaasta löytyy kauppiaita, terveyskeskus, kirjasto, päiväkotipalveluja ja ala-aste. Palvelut ovat keskittyneet Koivuhaan palvelukeskukseen. Vuonna 2019 Koivuhaassa asui 3464 asukasta (Tilastokeskus 2021). Koivuhaan pohjoispuolella sijaitsee Jänismaan teollisuusalue, joka sisältyy pilottialueeseen.

Jänismaahan tulee vesilaitokselta halkaisijaltaan 315 millimetrin runkoputki mittakaivon MK63 kautta. Jänismaassa kulkee koko alueen pituudelta halkaisijaltaan 250 millimetrin runkoputki, josta lähtee kaksi 200 millimetrin runkoputkea Koivuhakaan. Koivuhaasta lähtee runkoputki Pohjoisväylän suuntaisesti Öjan suuntaan mittakaivon MK61 läpi. Mittakaivojen sijainti ilmenee kuvasta 5.



Kuva 5. Pilottialue ja vesihuoltoverkon putkikartta. Putkikarttaan on merkitty pilotin kannalta olennaiset mittakaivot ja jätevedenpumppaamo. (Kokkolan Vesi 2021; ©Kokkolan kaupunki Paikkatieto 2021)

Koivuhaasta lähtee myös yksi runkovesijohto ilman mittakaivoa Taularuukkiin. Linja kulkee Oravankadulta Taularuukintielle. Koivuhaasta Taularuukkiin johdettu haara rajoittuu Kaaritien ja Patruunantien risteykseen. Taularuukin osalta vedenkulutustiedot perustuvat alueen vuosikulutusarvioon, koska tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Jänismaan ja Ykspihlajan välinen runkolinja on suljettu sulkuventtiilillä. Jänismaalla sijaitseva jätevedenpumppaamo JVP171 pumppaa jätevedet Koivuhaasta, Jänismaasta ja Ykspihlajasta Tulliojan JVP161 kautta Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamolle.

7.3 Pilottialueen saneerausindeksin laskeminen

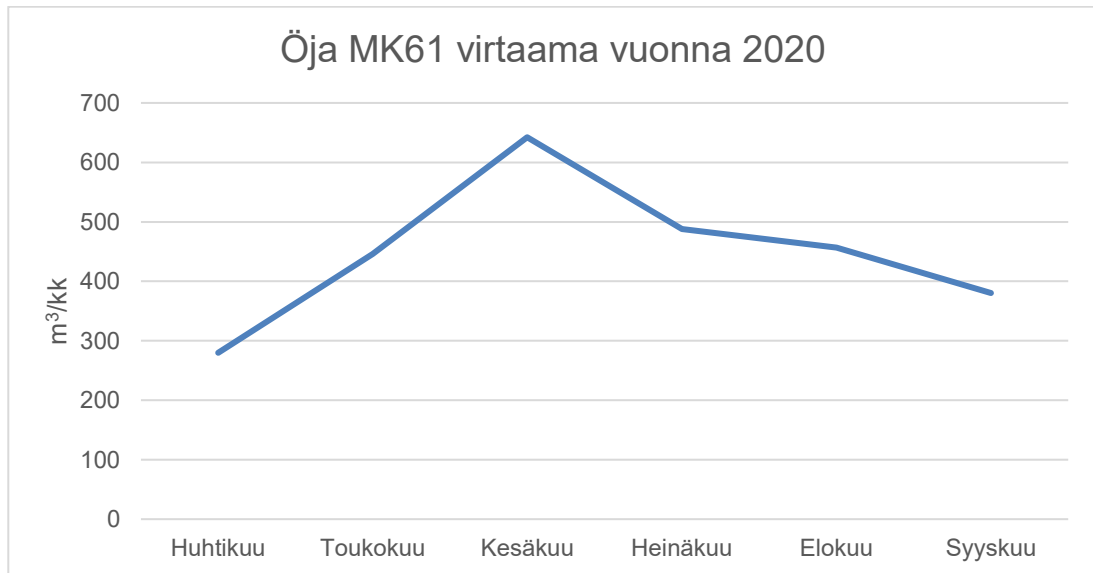
Koivuhaan vesihuoltoverkoston putkiosuuksien saneerausindeksin laskeminen toteutettiin Swecon kehittämällä laskentaperusteilla (ks. luku 6).

7.3.1 Vesijohtoverkon vuotavuus

Pilottialueen vesihuoltoverkoston vuotavuuden arvioiminen osoittautui erittäin hankalaksi tehtäväksi ja tuloksiin liittyy teknisistä syistä paljon epätarkkuutta. Vuotavuuden arviointia varten käytössä oli Koivuhaan, Jänismaan ja Ykspihlajan alueiden, sekä Taularuukin määritellyn alueen vuosikulutusarviot. Tiedot olivat taulukkomuodossa ja ne oli rajattu postinumeron perusteella. Ennen yhteenlaskua, taulukoista oli poistettava kiinteistöt, jotka eivät ole yhteydessä pilotin kannalta olennaiseen verkosto-osuuteen. Taulukoiden tietueissa oli merkintä, mikäli kiinteistöä ei laskuteta jäteveden osalta, eli jos kiinteistö ei kuulu jätevesiverkkoon. Näiden tietojen pohjalta laskettiin Koivuhaan ja Ykspihlajan alueellinen vuosikulutusarvio sekä laskutettava jätevesimäärä. Pilottialueen vuosikulutusarvio vuonna 2020 oli 281 040 m³ ja laskutettava jätevesimäärä 279 008 m³. Ykspihlajan vuoden 2020 vuosikulutusarvio oli 58 313 m³ ja laskutettava jätevesimäärä oli 55 782 m³.

Pilottialueen vesijohtoverkosta lähtee haarat Öjaan ja Taularuukkiin. Öjaan johdettava vesi kulkee mittakaivon kautta, mutta vesilaitoksen servereiden päivittämisen yhteydessä SCADA:n asetuksiin oli jäänyt virhe, jonka vuoksi MK61 virtaamatiedot ovat käytettävissä vasta vuoden 2020 huhtikuusta alkaen. Lisäksi Öjan mittakaivon loggerissa oli vikaa vuoden 2020 lokakuusta alkaen ja virtaamatiedot ovat käyttökeltottomia vuoden

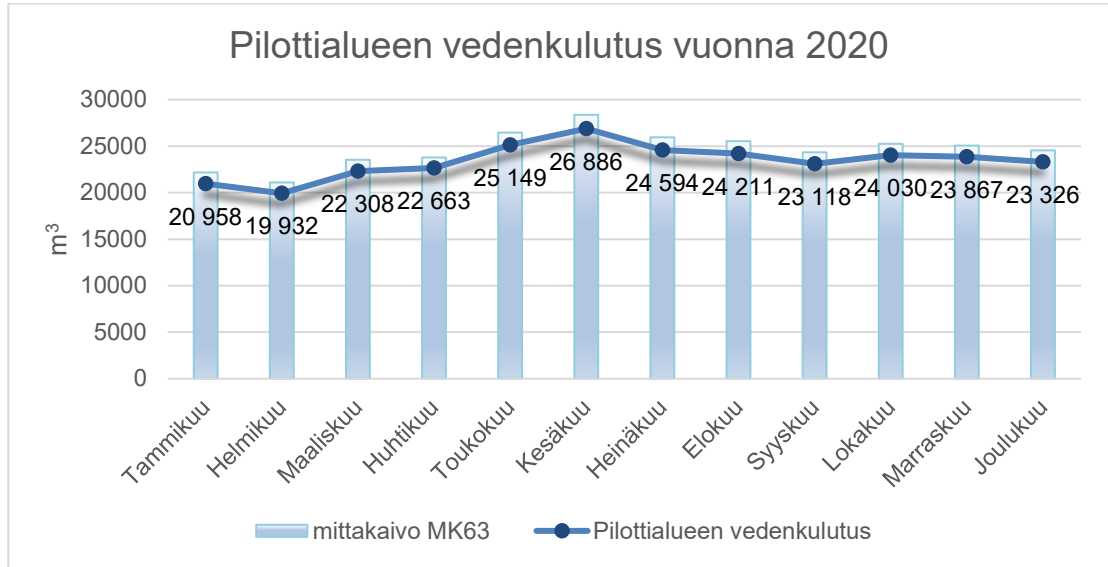
2021 maaliskuuhun asti. Puuttuvat virtaamatiedot päädyttiin arvioimaan saatavilla olevien tietojen perusteella. Öjassa on paljon vapaa-ajan asutusta, joten vedenkäyttö on suurimmillaan lomakuukausina. Kuvioista 16 ilmenee Öjan mittakaivon virtaamatiedot vuoden 2020 huhtikuun ja syyskuun väliseltä ajalta.



Kuvio 16. Öjan mittakaivon kuukausikohtaiset virtaamatiedot (Kokkolan Vesi 2021).

Puuttuvien kuukausien osalta virtaamaksi arvioitiin 350 m³/kk, mutta todellinen kulutus voi olla hieman pienempi. Pilottialueen vuosikulutusarvio oli 281 040 m³ ja mittakaivon läpi alueelle pumpattiin vuoden aikana vesijohtovettä yhteensä 296 168 m³. Kun Öjaan menee noin 4800 m³/a, jää Taularuukin osuudeksi 10 328 m³/a. Taularuukin osuuden laskemista varten käytössä oli alueen kaikkien kiinteistöjen yhteenlaskettu vuosikulutusarvioiden summa, ilman kiinteistökohtaista erottelua. Mutta koska summa oli yli kaksinkertainen verrattuna edellä olevaan päätelmään, voidaan vuosikulutusarvion olettaa koskevan myös sellaisia kiinteistöjä, joita ei ole liitetty Koivuhaasta tulevaan haaraan, vaan joihin vesi tulee Mesilän runkoputken kautta. Näin ollen verkoston vuotavuutta ei voida näiden tietojen varassa arvioida.

Kuvioista 17 ilmenee kuukausikohtainen mittakaivon MK63:n läpi kulkenut vesitilavuus ja pilottialueen arvioitu vedenkulutus.



Kuvio 17. Pilottialueen arvioitu vedenkulutus vuoden 2020 aikana (Kokkolan Vesi 2021).

Pilottialueen vesijohtoverkoston vuotavuutta voidaan arvioida myös seuraamalla yönaikaista minimikulutusta tai yönaikaista hetkellistä minimikulutusta. Vesilaitoksella seurataan tarkasti Koivuhaan alueen vedenkulutusta, koska MK63:sen kautta kulkeva vesi tulee suoraan vesilaitokselta. Kuukausi-, päivä-, tai tuntikohtaiset virtaamat saadaan haettua SCADA:sta mittakaivon raportista. Yönaikainen hetkellinen minimivirtaama puolestaan kirjataan koneenhoitajien toimesta raporttiin joka aamu. Koivuhakaan mittakaivon kautta pumpattavan vesijohtoveden yönaikainen minimivirtaama voi vaihdella huomattavasti perättäisinäkin öinä. Vuoden 2021 tammikuusta alkaen yönaikainen tuntikohtainen minimivirtaama on ollut keskimäärin noin 2 l/s vesilaitoksen SCADA:n mukaan. Kun alueelle pumpattu vesimäärä on ollut keskimäärin 700 m³/d, on tuntikohtainen minimivirtaama noin 1 % päivän vesimäärästä. RIL:n mukaan 1–1,5 % on hyväksyttävä raja, jolloin alueella ei todennäköisesti ole selkeitä vuotoja (RIL 124-2 2004).

Alin hetkellinen yönaikainen virtaama on edellisen puolentoista vuoden aikana ollut hieman alle 1 l/s. Silloin tällöin Jänismaan teollisuusalueella vettä pumpataan teollisuuskäyttöön vuorokauden ympäri, jolloin Koivuhaan mittakaivon hetkellinen virtaama voi vaihdella yön aikana 3 l/s ja 9 l/s välillä. Korkeimmillaan pienin hetkellinen virtaama on ollut yli 3 l/s. Alkuvuonna 2021 on kuitenkin ollut useita öitä, jolloin alin virtaama on ollut hetkellisesti vain 0,05 l/s tai jopa 0,04 l/s. Koivuhaan mittakaivossa mitattu hetkellinen minimivirtaama on välillä siis lähes olemattoman pieni. Kun huomioidaan että Koivuhaan mittakaivon kautta vettä kulkee pilottialueen lisäksi myös Öjaan, sekä osaan Taularuukia, mahdollinen vuotovesimäärä on niin pieni, ettei sitä voida näillä tiedoilla arvioida.

Tästä syystä vesijohtoverkon vuotavuuden vuotovesiarvona käytetään saneerausindeksin laskennassa 0 l/(s*km) , joka antaa 0 osapistettä. Vuotovesien määrä on alle 10 %, joten sen perusteella saneerausindeksiä ei korjata. Koko Kokkolan Veden vesijohtoverkostossa vuotovesien määrä on yhteensä 6 %, joten korjausta ei senkään puolesta pidä tehdä.

7.3.2 Jätevesiviemäriverkon vuotavuus

Vuotoveden määrä saadaan vähentämällä jätevedenpumppaamolle tulevasta jätevesimäärästä laskutetun jäteveden määrä. Pilottialueella olevien jätevesiviemäreiden vuotavuuden arviointia vaikeuttaa se että Jänismaan jätevedenpumppaamolle tulee jätevedet Koivuhaan ja Jänismaan lisäksi Ykspihlajan alueelta. Siksi myös tulokset koskevat pilottialuetta suurempaa aluetta. Koivuhaan, Jänismaan ja Ykspihlajan alueella sijaitsevien kiinteistöjen laskutettavan jätevesimäärän summa selvitettiin vuosikulutusarvioiden perusteella. Öjasta tai Taularuukista ei tule jätevesiä Jänismaan jätevedenpumppaamolle, joten niitä ei huomioida. Jänismaan jätevedenpumppaamo pumppasi vuoden 2020 helmikuusta vuoden 2021 helmikuuhun yhteensä $388\,818 \text{ m}^3$ jätevettä, eli noin $1062,3 \text{ m}^3/\text{d}$. Koivuhaan alueen laskutettava jätevesimäärä oli vuoden 2020 kulutusarvion perusteella $279\,008 \text{ m}^3$, eli noin $762,3 \text{ m}^3/\text{d}$ ja Ykspihlajan laskutettava jätevesimäärä oli $55\,782 \text{ m}^3$, eli noin $152,4 \text{ m}^3/\text{d}$. Koivuhaan, Jänismaan ja Ykspihlajan alueiden yhteenlaskettu laskutettavan jätevedenmäärä oli noin $914,7 \text{ m}^3/\text{d}$. Vuosi 2020 oli karkausvuosi, joten päiviä oli poikkeuksellisesti 366. Tarkastelualan vuotovesitilavuus lasketaan

$$\text{Vuotovesitilavuus} = 1062,3 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 914,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 147,6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}, \text{ eli noin } 1,7 \text{ l/s}.$$

Ykspihlajan jätevesiviemäriverkon pituus on noin 4,2 kilometriä ja pilottialueen jätevesiviemäriverkon pituus on noin 23,4 kilometriä, joten tarkastelualueella olevan verkon pituus on yhteensä 27,6 kilometriä (Kokkolan Vesi 2021).

Osapisteiden laskemista varten tarvitaan vuotovesiarvo l/s kilometriä kohden, joka saadaan jakamalla tarkastelualan vuotovesitilavuus (l/s) tarkastelualan jätevesiviemäriverkon pituudella (km)

$$\frac{1,7 \text{ l/s}}{27,6 \text{ km}} \approx 0,06 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{km}}$$

Tarkastelualueen eli Koivuhaan, Jänismaan ja Ykspihlajan alueilla olevan jätevesiviemäriverkoston vuotavuudeksi saatiin noin 0,06 l/(s*km). Koko Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston vuotavuus oli 0,1266 l/(s*km), mutta suurin verkostossa esiintyvä vuotavuus jäi epäselväksi. Viemäriverkoston vuotavuuden osapisteet lasketaan niin, että jos putkiosuuden vuotavuus on 0 l/(s*km), putki saa 0 osapistettä ja maksimivuotavuudesta saa 10 osapistettä. Osapisteet lasketaan suoran yhtälöllä

$$y = k * x + b$$

jossa x on tarkasteltavan verkosto-osuuden vuotavuus 0,06 ja b on pienin verkostossa esiintyvä vuotavuus, eli 0

kulmakerroin k lasketaan jakamalla maksimiosapisteiden määrä suurimman ja pienimmän vuotavuuden erotuksella. (Sweco 2017.)

$$k = \frac{\text{maksimiosapisteet} - \text{minimiosapisteet}}{\text{suurin vuotavuus} - \text{pienin vuotavuus}}$$

jos ja kun suurimpana vuotavuutena käytetään 0,1266 l/(s*km), saadaan kertoimeksi

$$k = \frac{10-0}{0,1266-0} \approx 79$$

Saneerausindeksin korjausta varten tarvitaan vuotovesiprosentti, joka on laskuttamattoman jäteveden osuus alueelta johdetun jäteveden määrästä (kaava 3).

Kaava 3. Vuotovesiprosentti (Saarnio 2019).

$$\text{Vuotovesiprosentti (\%)} = \frac{Q_{\text{tot } jv} - Q_{\text{tod } jv}}{Q_{\text{tot } jv}} * 100$$

jossa $Q_{\text{tot } jv}$ on kokonaisjätevesivirtaama ja $Q_{\text{tod } jv}$ on lasketun jäteveden määrä.

Vuotovesiprocentiksi saadaan

$$\text{Vuotovesiprocentti} = \frac{1062,3 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 914,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1062,3 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} * 100 \approx 13,9 \%$$

Selvitystyössä pidetään hyväksyttävänä, jos laskuttamattoman jätevedenmäärä osuus kokonaisjätevedenmäärästä on alle 30 %. Saneerausindeksin laskennassa 30 % on asetettu tavoitearvoksi, jonka ylittyessä saneerausindeksiin lisätään pisteitä kuvan 12 mukaisesti. (Sweco 2017.) Tarkastelualueella vuotovesiprocentti on 13,9 %, minkä puolesta korjausta ei tarvitsisi tehdä. Kuitenkin, jos halutaan huomioida Kokkolan Veden koko jätevesiviemäriverkoston vuotovesiprocentti, käytetään vuotovesiprocenttina 41,4 %:tia. Tällöin pilottialueen jätevesiviemäriputkien saneerausindeksejä pitää korjata 11,4 %-yksiköllä. Selvitystyön laskentamallissa saneerausindeksin korjauksessa oli käytetty koko verkoston vuotovesiprocenttia.

7.3.3 Vesijohto- ja jätevesiviemäriputket

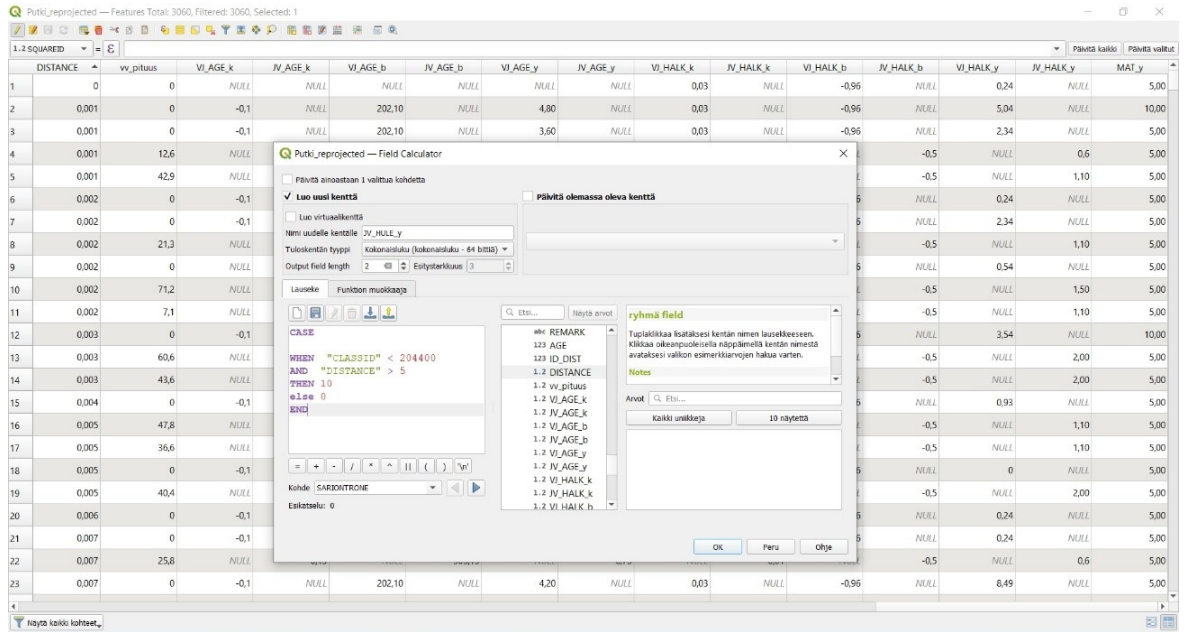
Pilottialueella sijaitseva osa Kokkolan Veden vesihuoltoverkostosta pisteytettiin Swecon esittämän mallin mukaisesti. Pilotin tekemistä varten Kokkolan Vesi toimitti Koivuhaan alueen putkikartat paikkatietopohjaisina Shapefile-tiedostoina. Niiltä osin kun osapisteiden laskennassa on tarvittu verkostossa esiintyvää suurinta tai pienintä arvoa, niin koko Kokkolan alueen verkoston tiedot on huomioitu.

Jokaiselle alueella olevalle vesijohto- ja jätevesiviemäriputkelle annettiin osapisteitä verkoston vuotavuuden, rakennusvuoden, materiaalin ja halkaisijan perusteella (ks. luvut 6.1 ja 6.2). Putkikartat olivat osittain puutteellisia saneerausindeksin laskemisen kannalta, koska vain osasta putkitietueita löytyi tiedot putken rakennusvuodesta, materiaalista ja halkaisijasta. Joissain tapauksissa vajavaisista putkitietueista löytyi ominaisuustietotaulukon huomautuskenttään tehty arvio putken materiaalista tai halkaisijasta, esimerkiksi: ”Silmämääräisesti 140 PE”. Jos putken metatietoja ei olla päivitetty tämän tyyppisten arvioiden perusteella, putkelle lisättiin huomautuskentässä olevat tiedot osapisteiden laskemista varten. Mikäli putkelle ei pystytty antamaan kaikkia osapisteitä jonkun tai joidenkin lähtötietojen puuttuessa, saneerausindeksin laskemisessa käytettäviä painotuksia korotettiin siten, että painotuksien suhde pysyi samana ja kokonaispainotukseksi saatiin 100 %.

Vanhin Kokkolan vesijohtoverkostossa oleva runkoputki on Mäntykankaan kaupunginosassa Vingenkadulle vuonna 1920 rakennettu 90 metrin valurautainen putki. Sähköisessä muodossa olevan putkikartan mukaan kyseinen putkiosuus on vielä käytössä, joten sitä käytetään vertailukohtana pilottialueen vesijohtoputkille. Suurin vesijohtoverkostossa esiintyvä putken halkaisija on 400 millimetriä ja pienin 32 millimetriä.

Kun Hopeakivenlahden jätevedenpuhdistamon ja jätevesiviemäriverkon yhdistäviä 2 kilometriä pitkiä linjoja ei huomioida, niin vanhin Kokkolan jätevesiviemäriverkossa oleva runkoputki on Pitkäsillankadun eteläpuolella Suntin alitse kulkeva muutaman metrin pituinen betoniputkiosuus, joka on rakennettu vuonna 1956. Vastaavia vanhoja putkiosuuksia löytyy verkostotietokannasta muutamia, mutta käytössä olevasta aineistosta on mahdotonta tietää mitkä putkiosuudet ovat vielä käytössä ja mitkä poistetuista putkiosuuksista ovat syystä taikka toisesta jääneet aineistoon. Trimble Utility To Go -selainpohjaisella sovelluksella pystytään tarkistelemaan putkitietoja paikkatietomuodossa. Aikaisemmin mainittua vuonna 1956 rakennettua putkiosuutta ei UTG:lla tarkisteltaessa ole ainakaan korvattu uudemalla putkiosuudella ja koska parempaa tietoa ei ole, se otetaan pilottialueen jätevesiviemäriputkien vertailukohtaksi. Suurin jätevesiviemäriverkostossa esiintyvä putken halkaisija on 900 millimetriä ja pienin 50 millimetriä.

Hulevesiverkoston ja vesimuodostumien etäisyyttä jätevesiviemäriputkista tarkasteltiin Kokkolan Veden verkkotietojärjestelmästä ladattujen paikkatietojen perusteella QGIS-ohjelmalla. Putkistotiedot ovat paikkatietoaineistossa vektoritasoina, mutta tarkempaa etäisyysanalyysiä varten hulevesiverkoston vektorit muutettiin ensin Locate points along line -työkalulla pistemuotoon. Hulevesiverkoston ja jätevesiviemäreiden välisen etäisyyden laskeminen tehtiin NNJoin -työkalulla, joka yhdistää tasot käyttäen Nearest Neighbor Analyysia. Luotu yhdistelmätaso sisältää analyysin tuloksena vektoreiden ja pisteiden välisen lyhimmän etäisyyden. Osapisteet määräytyvät siten, että enintään 5 metrin etäisyydellä hulevesiverkosta sijaitsevat jätevesiviemäriputket saavat 0 osapistettä ja kaikki yli 5 metrin etäisyydellä olevat jätevesiviemäriputket saavat 10 osapistettä. Tämä saatiin tehtyä ominaisuustietotaulukon laskimella (kuva 6), hyödyntämällä NNJoin -työkalun luomaa DISTANCE -kentän arvoa.



Kuva 6. Kuvakaappaus QGIS-ohjelmalla tehdystä osapisteiden laskemisesta.

Kuvassa 6 esitetään, miten yksinkertaisella case-lausekkeella luodaan uusi JV_HULE_y -kenttä, joka saa arvon 10, kun putkiluokka on pienempi kuin 204400 (kaikki alle 204400 olevat putket ovat jätevesiviemäriputkia Trimlessä, josta putkitiedot on tuotu) ja etäisyys hulevesiverkostosta on yli 5 metriä. Kaikissa muissa tapauksissa kenttä saa arvon 0.

Putkikartassa (kuva 7) esitetään keskeiset osat pilottialueen jätevesiviemäri- ja hulevesiverkosta sekä jätevesiputkien lyhin etäisyys hulevesiputkista. Putkikartassa yli 5 metrin etäisyydellä hulevesiputkista olevat jätevesiviemäriputket esitetään korostuksen vuoksi kirkkaan punaisella värillä ja enintään 5 metrin etäisyydellä olevat putket vaalean ruskealla värillä, sekä hieman ohuemmalla viivalla.



Kuva 7. Koivuhaan ja Nuolipuron alueen jätevesiviemäriputkien etäisyys hulevesiverkosta (Kokkolan Vesi 2021).

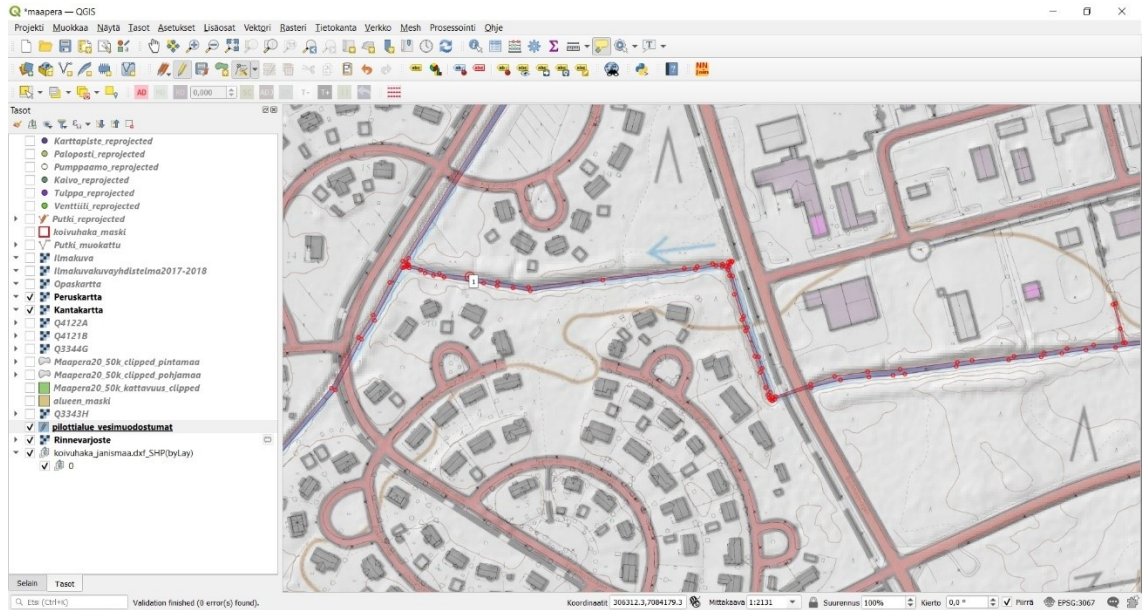
Putkikartan kaakkoisosan 70-luvulla rakennetut putket saavat monin paikoin 10 osapistettä, kun puolestaan putkikartan luoteisosassa näkyvän Nuolipuron alueen putket saavat poikkeuksetta 0 osapistettä.

Koko pilottialueen kattavassa putkikartassa (kuva 8) näkyy kokonaisuudessaan pilotti-alueen jätevesiviemäri- ja hulevesiverkko. Putkikartan pohjoisosassa näkyy Jänismaan teollisuusalue.



Kuva 8. Pilottialueen jätevesiviemäriputkien etäisyys hulevesiverkosta (Kokkolan Vesi 2021).

Jätevesiviemäriputkien etäisyyttä vesimuodostumiin voidaan arvioida helposti paikkatieto-ohjelmalla, jos vesimuodostumat on viety omaksi tasoksi. Tällaista ei kuitenkaan löytynyt, joten sellainen täytyi ensin mallintaa. Pilottialueella ei ole muita vesimuodostumia, kuin suurehko oja. Ojan nimi on Nuolipuro ja se alkaa Koivuhaan ja Jänismaan välistä, josta se jatkaa matkaa halkaisten Nuolipuron ja Ryhmäpuutarhan alueet, laskien lopulta mereen. Nuolipuroon laskee myös muutamia isompia oja, joista osa sijaitsee pilottialueella. Nuolipuro mallinnettiin (kuva 9) monikulmiona, koska vektorimuodossa ojan leveimmät osat jäisivät huomioimatta. Tienvarsilla mahdollisesti olevia pienempiä painanteita ei mallinnettu, koska niiden vaikutusta jätevesiviemäriputkien vuotovesiin voidaan pitää olemattoman pieninä. Mallinnuksessa hyödynnettiin Kokkolan kaupungin avoimen WMS-rajapintapalvelun perus- ja kantakarttaa, sekä Maanmittauslaitoksen laserkeilauksella tuotettua korkeusmallia alueesta.



Kuva 9. Pilottilaueen vesimuodostumien mallinnusta.

Putkikohtaiset osapisteet ja saneerausindeksi laskettiin QGIS-paikkatietosovelluksen ominaisuustietotaulukon kentän arvojen laskimella. Ominaisuustietotaulukko toimii hie-
 man perinteisen taulukkolaskimen tapaan, mutta kentät eivät ole aktiivisia. Vesijohto- ja
 jätevesiviemäriverkon shp-tason ominaisuustietotaulukkoon luotiin uusia kenttiä laski-
 men ehtolausekkeilla niin, että jokaiselle putkelle laskettiin (saatavilla olevien tietojen
 mukaan): verkoston vuotavuuden, putken rakentamisvuoden, putken halkaisijan, putken
 materiaalin, sekä jätevesiviemäriputkien etäisyyksien perusteella muotoutuvat osapis-
 teet. Tämän jälkeen putkille laskettiin painotetut osapisteet. Painotettujen osapisteiden
 perusteella saatiin laskettua putkikohtaiset saneerausindeksit. Kuvassa 10 esitetään sa-
 neerausindeksin laskemista kentän arvojen laskimella sen jälkeen, kun kaikki osapisteet
 on saatu laskettua. Isosta osasta pilottilaueen vesihuoltoputkista on saatavissa vain osa
 tarvittavista lähtötiedoista, jonka vuoksi kaikki mahdolliset putkitietojen osapistevariaatiot
 jouduttiin huomioimaan painotuksissa ennen varsinaisen saneerausindeksin laskemista.
 Näistä syistä paikkatietosovelluksessa putkikohtaisten painotettujen osapisteiden laske-
 minen vaatii monta työvaihetta ja on aikaa vievää.

ADDRESS	REMARK	AGE	ID_DIST	DISTANCE	JV_AGE_y	JV_HALK_y	MAT_y	JV_HULE_y	JV_OJA_y	VUOT_y	JV_KAIK_SI
Ahertajantie 2	Mittauksen arvo: 600 B (tuleva viemäri).	54	704720	91,566	8,10	5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 4	Mittauksen arvo: 600 B (laiteva/tuleva viemäri).	54	704717	151,739	8,10	5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 6	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 3	NULL					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 5	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 12	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 18	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 15	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 20	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Kuljettajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 24	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Kuljettajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Kuljettajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 10	NULL					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 2	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 13	Korkoa (5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 9	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 7	Mittaus					5,50	10,00	10	0	4,74	58
Ahertajantie 5	Mittaus					2,50	10,00	10	0	4,74	55
Saukonkatu 4	NULL					1,75	10,00	10	0	4,74	53

Kuva 10. Jätevesiviemäriputkien saneerausindeksin laskemista.

Kuvassa esitetään yksi osapistevariaatio, joka on myös pilotin kannalta paras vaihtoehto, eli tilanne jossa jätevesiviemäriputken kaikki osapisteet voidaan laskea. Kuvan lauseke päivittää kentän JV_KAIK_SI: kertomalla jätevesiviemäriputken iän, halkaisijan, materiaalin, etäisyyden hulevesiputkista ja ojista jne., sekä vuotavuuden perusteella tulevat osapisteet alkuperäisillä painotuskertoimilla. Tämän jälkeen osapisteiden tulot lasketaan yhteen ja lopuksi summa vielä kerrotaan kymmenellä, jolloin saatu tulo on korjaamaton saneerausindeksi.

Saneerausindeksilaskenta voitaisiin tehdä myös taulukkolaskentaohjelmassa, kuten Excelissä. Laskenta voisi silloin olla suoraviivaisempaa, mutta saneerausindeksiarvot täytyy laskennan jälkeen kuitenkin siirtää osaksi paikkatietomuodossa olevia putkitietoja, jotta saatuja tuloksia voitaisiin arvioida karttakuvassa. Taulukkomuodossa olevien tietojen tuomisessa voidaan käyttää paikkatieto-ohjelmassa olevaa Table Joins -ominaisuutta, jolla esimerkiksi Excel-taulukon sarakkeita voidaan liittää suoraan shp-tason taulukkoon.

7.4 Tulokset

Pilotin tarkoituksena oli selvittää seuraavia asioita: missä määrin laskentamalli toimii Kokkolan Vedeltä saatujen tietojen pohjalta, minkälaisia tuloksia alueen

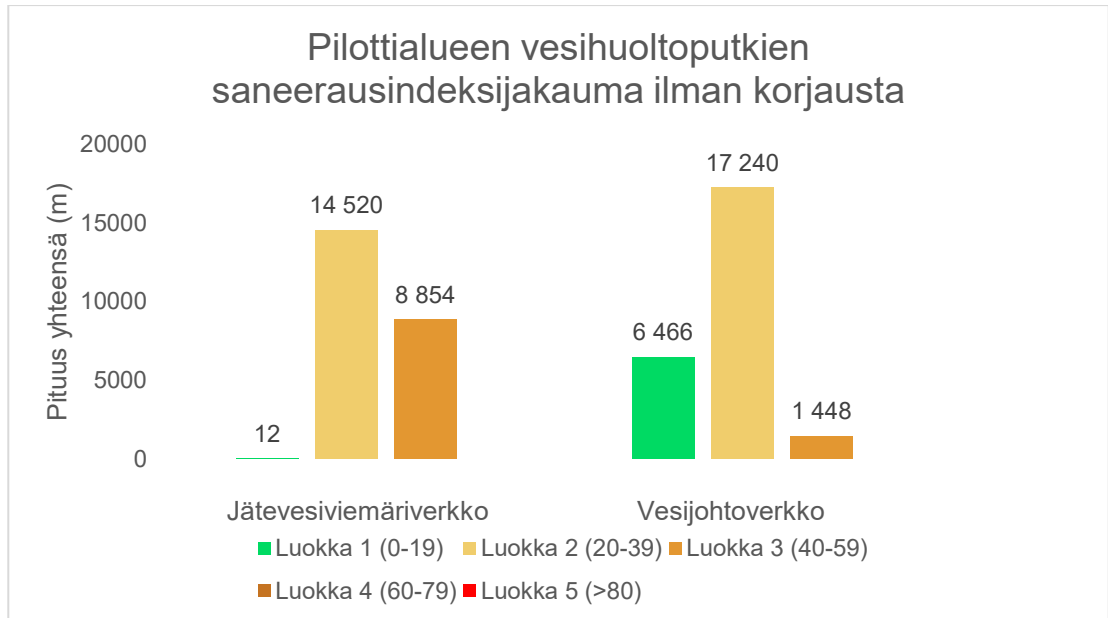
vesihuoltoputkille saadaan ja ovatko saadut tulokset käyttökelpoisia, eli hyödynnettävissä Kokkolan Veden tarpeisiin. Näihin kysymyksiin saatiin pilotin kautta vastauksia. Pilotissa voitiin laskea saneerausindeksi lähes jokaiselle pilottialueella olevalle vesihuoltoputkelle. Tilanteessa, jossa tarkasteltavasta putkesta ei tunneta ensimmäistäkään laskentamallissa käytettyä osatekijää, saneerausindeksiä ei ole mahdollista laskea. Kuitenkin, vaikka saneerausindeksi on mahdollista laskea myös osittaisilla tiedoilla, puuttuvat tiedot vaikuttavat saneerausindeksiin siten, että tulos jää yleensä jonkin verran todellista pienemmäksi. Käytännössä tuloksien vertailtavuus huononee, kun jokin laskentamallissa käytettävä tieto puuttuu. Varsinkin painotukseltaan merkittävimmät osatekijät, verkoston vuotavuus ja putken ikä pitäisi aina pyrkiä selvittämään. Pilotin perusteella voidaan sanoa, että saneerausindeksi voidaan lähtökohtaisesti laskea mille tahansa Kokkolan vesihuoltoverkoston putkiosuudelle. Kuitenkin, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia, tarkasteltavan alueen vuotovesien määrä täytyy selvittää mahdollisimman tarkasti ja puuttuvat putkitiedot pitää täydentää.

Pilottia tehdessä huomattiin epäselvyys, jolla on iso merkitys lopullisiin pisteisiin. Saneerausindeksin laskennan viimeisessä vaiheessa, tulosta täytyy tarvittaessa korjata verkoston vuotovesiprosentin perusteella. Epäselväksi kuitenkin jäi että kumpaa vuotovesiprosenttia tulee tavoitearvoihin verrata: tarkasteltavan alueen, eli tässä yhteydessä, pilottialueelle laskettua jätevesiviemäreiden vuotovesiprosenttia vai Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston kokonaisvuotovesiprosenttia. Pilotti laskettiin lopulta molemmilla tavoilla. Jätevesiverkoston tuloksiin kyseisellä seikalla on suhteellisen suuri vaikutus. Pilottialueen korkein saneerausindeksi oli 58 tai 69 – riippuen siitä, että korjataan saneerausindeksiä vai ei. Pilottialueen jätevesiverkoston vuotovesiprosentin perusteella %-yksiköitä ei tarvitse lisätä, mutta koko Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston vuotovesiprosentin perusteella (41,4 %) %-yksiköitä joudutaan lisäämään peräti 11. Huomioitavaa on, että selvitystyön laskuesimerkissä on käytetty koko verkoston vuotovesiprosenttia. Saneerausindeksin korjaus tai korjaamatta jättäminen vaikuttaa pilottialueella ainoastaan jätevesiviemäriputkien saneerausindeksiin, koska vesijohtoputkille korjausta ei tarvitse tehdä kummassakaan tapauksessa.

7.4.1 Tulokset ilman saneerausindeksin korjausta

Mikäli pilottialueen vesihuoltoverkoston jätevesiviemäriputkien saneerausindeksiä ei korjata, eli jos saneerausindeksiin ei lisätä %-yksiköitä vuotovesien perusteella,

vesihuoltoputket sijoittuvat keskimäärin kriittisyysluokkaan 2. (SI 20–39). Kuviossa 18 esitetään saneerausindeksin perusteella kriittisyysluokkiin jaettujen pilottialueen jätevesiviemäri- ja vesijohtoputkiosuukien luokkakohtaiset kokonaispituudet ilman korjausta.



Kuvio 18. Pilottialueen vesihuoltoputkien luokkakohtainen jakauma ilman saneerausindeksin korjausta. Yhden tai kahden osatekijän perusteella lasketut, selvästi vertailukelvottomat tulokset on jätetty pois. Pienin saneerausindeksi on 0 ja suurin 58.

Tulokset, jotka olivat selvästi vertailukelvottomia (SI 0–3), jätettiin huomioimatta tarkastelussa. Pois jätetyt putket ovat vesijohtoputkia ja niitä on yhteensä 51 kappaletta ja niiden kokonaispituus on 505 metriä. Jätevesiviemäriverkossa puolestaan on 148 putkea, joiden rakennusvuotta ei tiedetä, joista yksi näkyy 12 metrin osuutena yllä olevassa kuviossa. Näiden putkien SI-arvot vaikuttavat olevan johdonmukaisia, joten niitä ei jätetä pois tarkastelusta.

Pilotin olennaisimmat tunnusluvut esitetään taulukossa 11. Käytännössä pienin vertailukelpoinen SI-arvo on vesijohtoverkossa esiintyvä 11. Merkittävä asia joka ei näy suoraan tuloksissa, mutta joka paljastui saneerausindeksiä laskettaessa, liittyy vajavaisista putkitiedoista johtuvaan tuloksien vääristymään. Sekä vesijohto- että jätevesiviemäriverkkoissa on suuri määrä putkia, joista puuttuu sellaisia tietoja, jotka kasvattaisivat putkikohtaista saneerausindeksiä, jos ne voitaisiin laskea. Jokainen yksittäinen laskennassa käytettävä tieto kerryttää osapisteitä ja vaikka tietojen puuttuminen huomioidaankin

painotuksissa, saneerausindeksi jää silti joissakin tapauksissa pienemmäksi kuin putkessa, jonka kaikki tiedot tunnetaan. Tämä täytyy huomioida pilotin tunnuslukuja (taulukko 11) arvioitaessa, koska keskiarvon kuuluisi olla sekä jätevesiviemäri- että vesijohtopuolella hivenen laskettua suurempi. Toisaalta suurimmat arvot kuuluvat putkille, joista kaikki osapisteet saatiin laskettua.

Taulukko 11. Pilottialueen saneerausindeksin tunnusluvut ilman korjausta. Pisteitä voi saada välillä 0–100. Mitä suurempi saneerausindeksin arvo, sitä kriittisempi on saneeraustarve.

	Jätevesiviemäri- verkko	Vesijohtoverkko
keskiarvo	36	24
mediaani	36	24
moodi	44	24
suurin arvo	58	42
pienin arvo	19	11

Pilottialueen jätevesiviemäriputkilla on kauttaaltaan korkeampi saneerausindeksi kuin vesijohtoputkilla. Pilotissa pisteiden jakautumiseen vaikutti erityisesti ero vuotovesien määrässä. Vaikka jätevesiviemäriverkossa oli suhteellisen pieni vuotovesiarvo, oli se kuitenkin selvästi suurempi kuin vesijohtoverkossa oleva 0 l/(s*km) . Saneerausindeksiä laskettaessa vuotovesien määrä on erittäin tärkeä tekijä. Jätevesiviemäriputkissa vuotovesiarvon painotus on 25 % kokonaispisteistä ja vesijohtoputkissa painotus on 35 % kokonaispisteistä. Laskentamallissa painotetut osapisteet toimivat kertoimina ja siksi tällainen ero näkyy selvästi myös lopullisissa pisteissä eli saneerausindeksissä. Esimerkiksi Asentajantiellä oleva vuonna 1967 rakennettu betoninen 600 millimetrin runkoviemäri sai saneerausindeksiksi 58. Vieressä kulkeva saman ikäinen valurautainen 200 millimetrin runkovesijohto sai saneerausindeksiksi 42. Molemmissa tapauksissa putken iän, materiaalin ja halkaisijan perusteella määräytyvät osapisteet ovat samaa suuruusluokkaa ja ero syntyy suurimmalta osin vuotavuuden perusteella annetuista osapisteistä.

Kuvassa 11 esitetään yksinkertaistettu putkikartta pilottialueen vesihuoltoverkosta, jossa putkien kriittisyysluokitus esitetään luokituksen mukaisella värillä ja saneerausindeksi

näkyvät putken päällä olevassa nimiössä. Putkien ulkonäköä ja nimiöitä voidaan muokata halutun näköisiksi.



Kuva 11. Pilottialueen vesihuoltoputkien saneerausindeksit ilman korjausta. Putket värjättyinä kriittisyysluokituksen mukaisesti. (Kokkolan Vesi 2021)

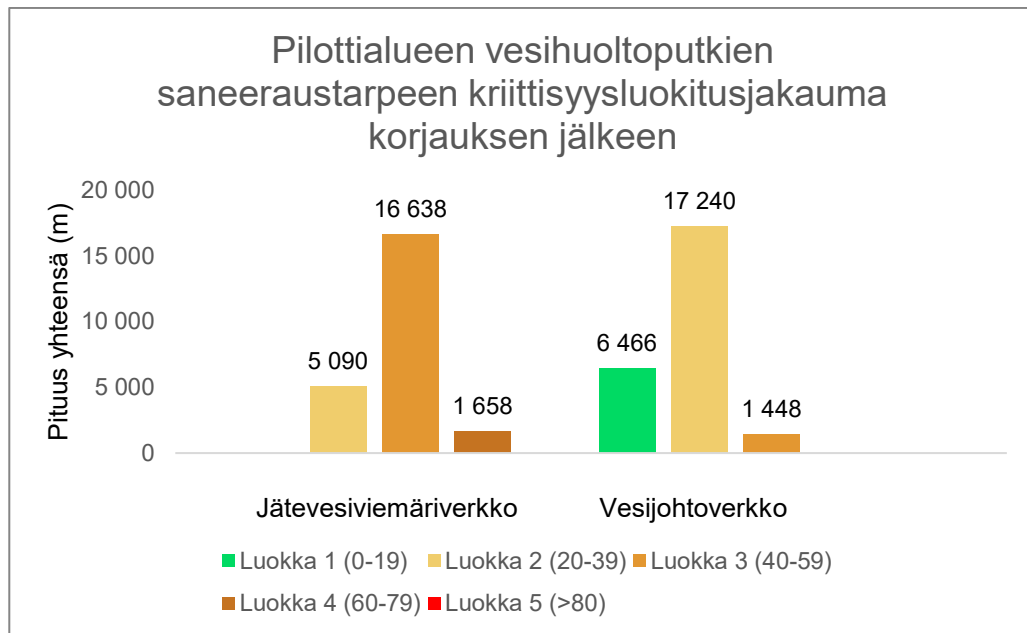
Kuvasta 11 ilmenee että luokan 1. (SI 0–19) putket keskittyvät Nuolipuron alueelle. Nuolipurossa on muuta pilottialuetta uudemmat putket. Putkikartassa näkyy myös yksittäisiä luokan 1. vesijohtoputkia Koivuhaassa ja Jänismaassa, mutta niissä suurimmassa osassa kyse on puutteellisten putkitietojen aiheuttamasta saneerausindeksin vääristymästä.

7.4.2 Tulokset saneerausindeksin korjauksen jälkeen

Kun pilottialueen vesihuoltoputkille oli saatu laskettua saneerausindeksi, jätevesiviemäriputkien saneerausindeksiä korjattiin Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston

vuotovesiprocentin perusteella, joka oli 41,4 % vuonna 2020. Korjauksessa laskettuun saneerausindeksiin lisättiin 11 %-yksikköä.

Kuviosta 19 ilmenee saneerausindeksin perusteella kriittisyysluokkiin jaettujen pilottialueen jätevesiviemäri- ja vesijohtoputkiosuukien luokkakohtaiset kokonaispituudet korjauksen jälkeen.



Kuvio 19. Pilottialueen vesihuoltoputkien luokkakohtainen jakauma saneerausindeksin korjauksen jälkeen. Yhden tai kahden osatekijän perusteella lasketut, selvästi vertailukelvottomat tulokset on jätetty pois. Pienin saneerausindeksi on 11 ja suurin 69.

Tulokset, jotka olivat täysin vertailukelvottomia (SI 0–3), jätettiin jälleen pois tarkastelusta.

Saneerausindeksin korjaus muuttaa voimakkaasti jätevesiviemäriputkien kriittisyysluokituksen jakautumista. Ilman saneerausindeksin korjausta 62 % pilottialueen jätevesiviemäriverkosta kuuluu kriittisyysluokkaan 2. (14 520 metriä), mutta korjauksen jälkeen jopa 71 % jätevesiviemäriverkosta kuuluu kriittisyysluokkaan 3. (16 638 metriä). Olenaista on myös se, että korjauksen jälkeen 1 658 metriä verkosta kuuluu kriittisyysluokkaan 4., mikä on syytä huomioida saneerausaikataulutuksessa.

Taulukossa 12 esitetään pilotin tunnusluvut sen jälkeen, kun jätevesiviemäriputkille laskettu saneerausindeksi on korjattu Kokkolan Veden jätevesiviemäriverkoston vuotovesiprosentin perusteella.

Taulukko 12. Pilottialueen saneerausindeksin tunnusluvut korjauksen jälkeen. Pisteitä voi saada välillä 0–100. Mitä suurempi saneerausindeksin arvo, sitä kriittisempi on saneeraustarve.

	Jätevesiviemäriverkko	Vesijohtoverkko
keskiarvo	47	24
mediaani	47	24
moodi	55	24
suurin arvo	69	42
pienin arvo	30	11

Taulukosta 12 ilmenee, kuinka saneerausindeksin korjauksen seurauksena jätevesiviemäriputkien ja vesijohtoputkien väliset erot kasvoivat entistä suuremmiksi (vrt. taulukko 11). Vuotovesien eli laskuttamattoman jäteveden tilavuus teki jo ennen korjausta suurimman eron verkostojen välillä, mutta korjauksen jälkeen ero kasvoi vielä 11 %-yksikköä lisää.

Yhteenveto pilotista

Vesijohtoputkille laskettiin saneerausindeksi rakennusvuoden, halkaisijan, materiaalin ja verkosto-osan vuotavuuden perusteella. Jätevesiviemäriputkien saneerausindeksin laskennassa käytettiin edellä mainittujen tietojen lisäksi putken etäisyyttä hulevesiputkistosta, ojista ja vesistöistä. Tilanteessa, jossa kaikkia tarvittavia tietoja putkesta ei ole saatavilla, laskettujen osapisteiden painotuskertoimia nostettiin kompensaahtioksi. Mitä enemmän pisteitä putki sai, sitä kriittisempi on putken saneeraustarve selvitystyön mukaan. Pilotia tehdessä suurimmat hankaluudet liittyivät putkiosuuksien vuotavuuden ja puuttuvien putkitietojen selvittämiseen.

Pilottialueen vesihuoltoverkostoa ei voida täysin rajata, joten vuotavuutta ei ole edes mahdollista laskea tarkasti. Jätevedet tulevat pilottialueen lisäksi Ykspihlajan alueelta,

joten arvio jätevesiverkoston vuotavuudesta on keskiarvo huomattavasti pilottialuetta suuremmalta alueelta. Vesijohtoverkoston vuotavuutta ei voitu myöskään arvioida kovin tarkasti. Teknisten vikojen vuoksi kaikkia pumppaustietoja ei ollut käytettävissä, mikä esti vesijohtoverkoston vuotavuuden arvioinnin alueelle pumpatun veden ja laskutetun veden perusteella. Vesijohtoverkoston puolella vuotavuudesta annettavat osapisteet ovat yli kolmasosan kokonaispisteistä ja jätevesiviemäriverkoston puolella osuus on neljäsosan kaikista osapisteistä. Tämän vuoksi epätarkka arvio vuotavuudesta aiheuttaa huomattavaa epätarkkuutta laskettuun saneerausindeksiin.

Pilottialueella oli yhteensä 3060 kappaletta vesihuoltoverkostoon kuuluvia putkia. Vain osasta putkista löytyy kaikki saneerausindeksilaskennassa tarvittavat tiedot ja muutamien putkien kohdalta saneerausindeksiä ei voitu laskea ollenkaan. Saaduissa tuloksissa on putkien välillä suuriakin eroja puuttuvien tietojen vuoksi. Jos putken rakennusvuodesta ei ole tietoa, saneerausindeksi lasketaan muiden osatekijöiden perusteella. Yksi selvimmistä epäkohdista saneerausindeksissä liittyy sellaisiin putkiin, joista ei tiedetä mitään muuta kuin halkaisija ja materiaali. Tällainen putki voi saada selvästi vähemmän pisteitä kuin vastaavanlainen putki, josta tunnetaan myös rakennusvuosi. Se että putken rakennusvuotta ei tiedetä, tarkoittaa yleensä putken olevan ajalta jolloin tietoja ei olla vielä kunnolla kirjattu ylös, eli todennäköisesti 60–70-luvulta. Vastaavanlaisia epäkohtia on monia muitakin ja siksi on erittäin tärkeää, että kaikki saneerausindeksin laskemisessa tarvittavat tiedot olisivat tiedossa. Tietojen puuttuessa, olisi tärkeää etsiä keinoja niiden saamiseksi. Pilotin perusteella voidaan sanoa, että putkiosuuksien saneerausindeksit eivät ole aina täysin vertailukykyisiä, jos laskennassa on käytetty osapisteiden erilaisia yhdistelmiä.

Paikkatieto-ohjelmistoa kannattaa käyttää osana työskentelyä, koska jätevesiviemäreiden osapisteiden laskennassa joudutaan arvioimaan etäisyyksiä vesistöihin, ojiin ja huilvesiverkostoon. Ilman paikkatietoja osapisteiden laskenta olisi huomattavasti työläämpää. Pilotin osoitti, että tulokset on mahdollista saada paikkatietomuodossa ja sen ansiosta tuloksia voidaan tarkastella suoraan kartalta, joka helpottaa putkisto-osuuksien tuloksien hahmottamista. Koska saneerausindeksit ovat osana paikkatietopohjaisia putkitietoja, voidaan putkikartan ja putkien visuaalista ulkonäköä muokata saneerausindeksikentän perusteella. Esimerkkinä paikkatieto-ohjelman hyödyistä, pilottialueen tulokset vietiin putkikarttaan (liite 1), jossa putket on värjätty malliksi saneerausindeksin kriittisyysluokituksen mukaan. Jos saneerausindeksit jätettäisiin taulukkkoomuotoon,

pilottikohteen tuloksia olisi erittäin vaikeaa hyödyntää saneerausaikatauluksessa, tai ylipäätään vertailtaessa putkiosuuksia.

Pilotin perusteella voidaan todeta, että Swecon luomaa työkalua voidaan hyödyntää Kokkolassa tietyin varauksin. Kokkolan Veden vesihuoltoverkoston putkille voidaan laskea saneerausindeksi, kunhan vuotovesien tilavuutta pystytään arvioimaan riittävän tarkasti ja puutteelliset putkitiedot saadaan päivitettyä.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä syvennyttiin Swecon selvitystyöhön, sen osana tehtyihin arvioihin, sekä niiden perusteella tehtyihin laskelmiin saneeraustarpeen määrittämiseksi. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen tilaamassa selvitystyössä on perehdytty maanlaajuiseen ongelmaan, joka on vesihuoltoverkoston heikentyvä tila ja siihen liittyvä epätietoisuus. Selvitystyön lähteinä on käytetty saatavilla olevaa tutkimustietoa vesihuoltoverkostojen saneeraustarpeesta, siihen vaikuttavista tekijöistä ja niiden vuorovaikutuksesta. Selvitystyössä on pyritty hyödyntämään sellaista tietoa putkistoista, joka on heti saatavilla ja jolla on tutkimuksien mukaan selkeä vaikutus putken käyttöikään tai saneeraustarpeen kriittisyyteen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli arvioida selvitystyössä käytetyn työkalun eli saneerausindeksin laskentamallin käytettävyyttä ja sopivuutta Kokkolan Veden tarpeisiin. Sopivuutta voidaan tarkastella sen perusteella, miten selvitystyön työkalussa tulee huomioiduksi paikalliset olosuhteet. Selvitystyössä arvioitiin vesihuoltoputkien käyttöikä vuotuuden lisäksi tärkeimmäksi osatekijäksi indeksin laskennassa. Putkien käyttöikäksi oli määritetty 60 vuotta perustuen Syachranin väitöstyössä tehtyyn tutkimukseen. Tutkimus osoitti, että tarkasteltavassa jätevesiviemäriverkossa vikojen esiintyvyydellä ja putkiston iällä oli selvä suhde ja 60-vuotiaassa putkistossa vian todennäköisyys oli peräti 90 %. (Syachrani 2010). Koska saneerausindeksilaskennassa putkiston iän perusteella annetaan pisteitä myös vesijohtoputkille ja koska saneerausindeksi käyttöikään on sisällytetty kaikki putken kuntoa heikentävät tekijät, koettiin tarpeelliseksi selvittää asiaa enemmän. Eeva Luukkosen diplomityön mukaan vuonna 2005 Vantaan vesijohtoverkossa vikojen lukumäärä alkoi kasvamaan huomattavasti, kun putken ikä ylitti 25 vuotta (Luukkanen 2013). Näiden kahden tutkimustyön perusteella 60 vuotta voi pitää sopivana käyttöikäenä myös Kokkolan olosuhteissa. Vaikka uudet muoviputket kestäisivät materiaalinsa puolesta 100 vuotta, niissä alkaa todennäköisesti esiintymään tukkeutumisia ja muita häiriöitä jo paljon ennen sitä.

Vesihuoltolaitoksien käyttämissä putkimateriaaleissa ei ole nykyään juurikaan eroja, koska lähes kaikki uusasennettavat putket ovat muovisia. Sen sijaan maaperän olosuhteissa eroja voi olla enemmänkin. Tämän vuoksi haluttiin selvittää, minkälaisia vaikutuksia Kokkolan alueen maaperällä voisi putkille olla. Geologian tutkimuskeskuksen tekemiä ja ylläpitämiä maaperään liittyviä aineistoja saa ladattua paikkatietopohjaisina, joten

niiden käyttö on melko vaivatonta. Kokkolan maaperä on suurelta osin kiviä, moreenia ja hiekkaa. Maaperä on siis huokoista ja läpäisee hyvin vettä. Tämän vuoksi Kokkolan ympäristössä maaperän ominaisvastus on erittäin korkea, eikä siinä tapahdu juurikaan korroosiovirran aiheuttamaa syöpymistä. Lisäksi Kokkolan Veden hallinnoima vesihuoltoverkosto on rakennettu valtaosin PE- ja PVC-putkista, jotka eivät ole alttiita syöpymiselle. Kokkolassa maaperän ominaisuuksilla ei ole tiettävästi merkitystä vesihuoltoverkoston saneeraustarpeelle.

Toinen mainittava asia, jota saneerausindeksissä ei huomioida mutta jolla voi olla merkitystä, on vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostossa kulkevan veden ominaisuudet. Kokkolassa vesijohtoveden puhdistuksessa joudutaan käyttämään kalkkia raakaveden suuren rauta- ja mangaanipitoisuuden takia, joten vesijohtoveden kalkkipitoisuus on hieman keskimääräistä suurempi ja vesi luokitellaan keskikovaksi. Osittain tästä syystä putkiston sisäpinnalle kertyy sakkaa, joka vaikuttaa veden virtaukseen ja voi altistaa putken erilaisille häiriöille. Putkiasentajan Ykspihlajasta löytämä putkiliitoskappale on vain pieni osa satojen kilometrien verkostossa, mutta sen perusteella muovisiin vesijohtoputkiin ei välttämättä kerry kovin paljoa sakkaa. Kokkolan jätevesiviemäreissä jätevesi on puolestaan hieman tavanomaista laimeampaa, koska kaupungissa sijaitsevilla kiinteistöissä on käytössä sakokaivot. Käytöstä poistettavien putkiosuuksien sisä- ja ulkopinnoilta voitaisiin pienellä vaivalla ottaa pari kuvaa poiston yhteydessä, sekä lisätä liitteeksi pienimuotoinen raportti, jossa mainitaan mistä ja milloin putki on poistettu, mikä on putken halkaisija ja materiaali jne. Tällä tavalla voidaan kerryttää aineistoa, jota voidaan ja kannattaa hyödyntää saneeraustarpeen arvioinnissa.

Vesihuoltoverkoston vikaherkkyttä eli putkiosuuksissa tapahtuvien häiriöiden määrää ei hyödynnetä erikseen saneerausindeksilaskennassa, vaan niiden esiintyvyyden todennäköisyys huomioidaan putken käyttöiässä. Putkiosuuksien vikaherkkyys on tärkeimpiä kriteereitä saneerauspäätöksiä tehdessä, joten olisi hyvä selvittää, miten todettujen häiriöiden määrä voitaisiin ottaa osaksi laskentamallia vai onko parempi pitää ne jatkossa erillään.

Opinnäytetyön osana tehty pilottitutkimus osoitti, että laskennassa on mahdollista päästä nopeasti alkuun. Putkikartat saa Trimble NIS:stä juuri sillä tavalla rajattuna kuin tarvitaan ja haluttaessa suoraan shp-muodossa. Rajauksella voidaan määritellä alue, jossa sijaitsevien putkien saneerausindeksi halutaan laskea. Koska shp-taso pitää sisällään geometriatietojen lisäksi myös putkien taulukkomuotoiset tietueet, niitä ei tarvitse erikseen

etsiä. Vesilaitoksen SCADA:ta on saatavissa kaikki tarvittavat pumppaus- ja virtaamatiedot, vaikkakin ongelmana on vielä tällä hetkellä verkosto-osien vaikea rajattavuus.

Ehkä suurin vaikeus työkalun käyttöönotossa liittyy putkiin, joista ei tiedetä juuri muuta kuin sijainti. Pilottialueen putkistotiedot olivat osin vajavaisia ja monesta putkesta puuttui saneerausindeksin laskennassa käytettäviä tietoja. Saneerausindeksi voidaan selvitystyön perusteella laskea, vaikka osa putken tiedoista puuttuisi. Kuitenkin pilottia tehdessä huomattiin, että saadut putkikohtaiset tulokset eivät ole silloin täysin vertailukykyisiä keskenään. Tämä ongelma voidaan välttää vain, jos putkitietokantaa täydennetään puuttuvien tietojen osalta. Nämä tiedot ovat verkoston kunnon seuraamisen kannalta tärkeitä, vaikka Swecon tekemää työkalua ei edes käytettäisi. Yksi toimiva keino puuttuvien tietojen keräämiseksi ja tietokannan päivittämiseksi on ohjeistaa huoltomiehiä ja mittamiehiä tekemään aina kattavat muistiinpanot kentällä ollessaan ja huolehtia siitä, että raportit viedään aina lopulta sähköiseen eli digitaaliseen muotoon. Digitaalinen raportointi on mahdollista tehdä suoraan Kokkolan Veden käyttämässä Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä. Laskentamallin käyttöönottoa ajatellen ja ylipäätensä tulevaisuutta ajatellen, varsinkin vesijohtoputkien ikätiedot pitää saada siirrettyä digitaaliseen muotoon. Muiden osatekijöiden puuttuminen ei ole aivan yhtä kriittistä, mutta niitä tarvitaan, jotta saatavat tulokset voisivat olla vertailukelpoisempia.

Toinen vaikeuksia aiheuttanut asia oli vuotavuuden arviointi. Vuotavuudella on huomattavan iso vaikutus arvioitavan putkiosuuden saneerausindeksiin. Tämä korostaa vuotovesien määrän arvioinnin tärkeyttä tämänkaltaisessa saneeraustarpeen arvioinnissa. Pilotissa jätevesiviemäriverkoston vuotavuudella oli selvästi suurin vaikutus saneerausindeksiin. Vaikutus oli niin suuri, että herää kysymys: kun pilottialueella tiedetään olevan suhteellisen pieni vuotovesitilavuus, kuuluuko koko jätevesiviemäriverkoston vuotovesiprosentilla olla niin suuri merkitys tarkasteltavien putkien saneerausindeksiin? Kaikesta huolimatta, on selvää, että vuotovesitilavuus pitää pystyä arvioimaan mahdollisimman tarkasti ja oikein. Pilottialueella vaivaa aiheutti osittain vajavaiset virtaamatiedot Öjan mittakaivolta, Taularuukkiin menevän vesiosuuden arviointi sekä Jänismaan jätevedenpumppaamolle pilottialueelta ja Ykspihlajasta tulevat vedet. Yksi iso syy Koivuhaan alueen valikoitumiseksi pilottialueeksi oli nimenomaan alueen rajattavuus. Kokkolassa on paljon alueita, joissa samankaltaista rajattavuutta ei voida tehdä, eli verkosto-osaa ei voida selvästi erottaa muusta verkosta. Tästä syystä verkoston vuotavuutta on hyvin hankala arvioida nykytilanteessa ja asiaan olisi syytä perehtyä. Aikanaan, kun mittakaivoja ja mittausyhteitä saadaan asennettua lisää vesijohtoverkkoon, verkosto-osien

virtaamia pystytään seuraamaan tarkemmin. Tuolloin vuotavuutta voidaan arvioida tarkemmin ja pienemmältä alueelta. Mittakaivoja lisäämällä myös Kokkolan Vedellä käytössä olevan Fluidit-mallinnusohjelman käytettävyys vuotavien putkiosuuksien selvittämisessä paranee. Nämä asiat puolestaan parantavat laskennallisen saneeraustarpeen arvioinnin tarkkuutta ja käytettävyttä. Tulevaisuudessa olisi syytä arvioida, voitaisiinko tuloksia mahdollisesti jakaa niin, että puuttuvien tai epävarmojen tietojen johdosta syntyvää vääristymää ei jäisi loppullisiin tuloksiin.

Tuloksissa huomioitavaa on, että paikan päällä tapahtuvaa putkitarkastelua ei pilotin yhteydessä voitu tehdä. Näin ollen putken saneerausindeksiä ei ole verrattu putken todelliseen, todennettavissa olevaan kuntoon. Saneerausindeksin ja putken todetun kunnan korrelaatiota ei siis tunneta. Jotta saneerausindeksilaskennan luotettavuutta ja käytännön hyötyjä voidaan kunnolla tarkastella, on tärkeää selvittää, miten hyvin putken todellinen kunto ja laskennallinen arvio kohtaavat. Esimerkiksi Jänismaassa havaittiin alkuvuodesta, että Ahertajantien betoninen runkoviemäri oli paikoitellen erittäin huonossa kunnossa. Saneerausindeksi tuolle putkiosuudelle on 58 tai 69, riippuen siitä, että korjataanko tulosta tarkasteltavan alueen vai koko kaupungin verkoston vuotovesiprosentin perusteella. Kyseinen saneerausindeksi on koko pilottialueen suurin arvo, mutta huomioiden putkiosuuden todellisen kunnan, arvon pitäisi olla mahdollisesti jonkin verran nykyistä suurempi. Kun Kokkolassa tehdään putkisaneerausta tai verkoston korjaustöitä, olisi tärkeää samalla arvioida jokaisen korjattavan tai poistettavan putkiosuuden kuntoa paikan päällä. Näitä arvioita voidaan myöhemmin verrata kyseisten putkiosuuksien laskettuun saneerausindeksiin. Paikan päällä tehdyn arvion ja lasketun saneerausindeksin perusteella laskennallisen ja konkreettisen saneeraustarpeen korrelaatiota voidaan tarvittaessa yrittää parantaa laskentamallin kertoimia muokkaamalla. Tässä täytyy kuitenkin muistaa, että koska verkostot sijaitsevat hyvin laajalla alueella, myös putkiin kohdistuu erityyppistä ja suuruista kuormitusta. Otannan pitäisi edustaa mahdollisimman hyvin koko verkostoa, ennen kertoimien muokkausta. Jos saneerausindeksiä ei ole mahdollista saada kohdilleen kertoimien muokkaamisella, täytyy selvittää mitä putkien kuntoon liittyviä tekijöitä ei ole vielä riittävästi huomioitu laskentamallissa. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä mainittuja maaperän ja pohjaveden vaikutuksia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää laskentamallissa. Tällainen laskentamallin suurempi työstäminen vaatii kuitenkin paljon työtä.

Selvitystyössä käytetty työkalu ja putkikohtainen saneerausindeksi tarjoaa tämänhetkessä tilanteessa Kokkolan Vedelle keinon vertailla eri kaupunginosien putkiosuuksia

suuntaa antavasti. Kun putkitietoja päivitetään ja saneerausindeksiä lasketaan kaikilla työkalun tarjoamilla osapisteillä, myös saatavat tulokset ovat vertailukelpoisempia. Saneerausindeksin laskennassa käytetyt vertailuarvot ovat tämän opinnäytetyön tekijän mielestä perusteltuja, mutta tulevaisuudessa arvioitavia osatekijöitä pitäisi olla enemmän, jotta putken tila tulisi huomioitua kattavammin. Putkikohtainen saneerausindeksi kannattaa viedä paikkatietojärjestelmään, jolloin se antaa mahdollisuuden arvioida verkoston saneeraustarvetta suoraan kartalta. Swecon kehittämä laskentamalli antaa hyvän keinon viedä saneeraustarpeen arviointia digitaaliseen muotoon ja sitä on mahdollista kehittää ja muokata tarpeen tullen. Aikanaan verkoston kunnon ja saneeraustarpeen arvioinnista täytyy pyrkiä tekemään mahdollisimman automaattista. Silloinkin tarvitaan laskentamallia ja todennäköisesti useita erityyppisiä laskentamalleja, joiden kautta tekoäly pystyy analysoimaan alati päivitettäviä putki- ja verkostotietoja. Swecon kehittämällä laskentamallilla Kokkolan Vesi voi aloittaa vesihuoltoverkostonsa saneeraustarpeen laskennallista arvioimista digitaalisessa muodossa.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto, 2015. MT-0.3301 Korroosionestotekniikan perusteet, Ilmastollinen korrosio –luento. Viitattu 20.4.2021. Saatavissa sähköisesti: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/141425/mod_resource/content/1/MT-0-3301-luento%205.pdf

Berninger, K., Laakso, T., Paatela, H., Virta, S., Rautiainen, J., Virtanen, R., Tynkkynen, O., Piila, N., Dubovik, M., Vahala, R., 2018. Tulevaisuuden kestävä vesihuolto – ennakointi, ohjaus ja järjestäminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2018. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 15.10.2020. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-607-2>

GTK, 2021. Geologian tutkimuskeskus. Maaperä 1:20 000/1:50 000 1972–2007. Viitattu 23.4.2021. Saatavissa sähköisesti: <https://hakku.gtk.fi/>

Karttunen, E., 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Opetushallitus. Helsinki.

Kekki, T., Kaunisto, T., Keinänen-Toivola, M., Luntamo, M., 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa sähköisesti: <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf>

Kokkolan kaupunki Paikkatieto, 2021. Kokkolan kaupungin WMS-rajapintapalvelu, Tekla GIS WMS Server. Viitattu 23.4.2021. Saatavissa sähköisesti: <https://kartta.kokkola.fi/TeklaOGCWeb/wms.ashx>

Kokkolan vesilaitos, 1987. Vesilaitoksen juhlaulkaisu 75 v : Vattenverkets jubileumspublikation 75 år, Kokkolan kaupunki.

Kuulas, A., 2020. Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Viitattu 31.3.2021. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202008235072>

Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen, R., Toivikko, S. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Suomen ympäristö 3 | 2014, Ympäristöministeriö. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa sähköisesti: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/43199>

Laakso, T., 2015. Efesus-hankkeen loppuraportti. Viitattu 19.4.2021

Lapinlampi, T., Raassina, S., 2002. Vesihuoltolaitokset 1998–2000. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 30.3.2021. Saatavissa sähköisesti: <http://hdl.handle.net/10138/40435>

Luomanen, T., Hanski, J., Oulasvirta, L., 2013. Vesihuoltoverkoston kunnan ja arvon määrittäminen – tulosityhteenvedo (No. VTT-R08119-12). Viitattu 30.3.2021. Saatavilla sähköisesti: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2012/VTT-R-08119-12.pdf>

Luukkanen, E., 2013. Vesihuoltoverkostojen saneerausten vaikuttavuuden arviointiperiaatteet. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 22.6.2021. Saatavilla sähköisesti: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201308221307>

Maninder, P., Dixon, N., Flint, J., 2010. Detecting & Locating Leaks in Water Distribution Polyethylene Pipes. Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol II. WCE 2010, June 30 – July 2, 2010. London. Viitattu 15.4.2021. Saatavissa sähköisesti: https://www.researchgate.net/publication/45534512_Detecting_Locating_Leaks_in_Water_Distribution_Polyethylene_Pipes

Perolainen, J., 2016. Helsingin kaupungin pitkäaikaistutkimus teräsputkipaalujen korroosiosta Ky-läsaaren maaperässä – lähtötilanteen kartoitus. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 20.4.2021. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201605254138>

Pietilä, K., 2013. Vesihuollon aluesaneerausten arvottamisen kehittäminen Jyväskylässä. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 29.4.2021. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201310186742>

Pohjanmaan vesi ja ympäristö ry, 2018. Kokkolan Patamäen ja Harrinniemen pohjavesialueiden yhteistarkkailuraportti 2017. Pietarsaari 2018. Viitattu 1.3.2021. Saatavissa sähköisesti: https://www.vesiensuojelu.fi/pohjanmaa/wp-content/uploads/2018/08/Kokkolan-pohjavesialueiden-yhteistarkkailuraportti-2017_final-Liitteet.pdf

QGIS paikkatieto-ohjelmisto. Vapaa avoimen lähdekoodin paikkatieto-ohjelmisto. <https://qgis.org/>

RIL 124-2, 2003. Vesihuolto 1. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto ry.

RIL 124-2, 2004. Vesihuolto 2. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto ry.

Saarnio, J., 2019. Viemärin vuotovesitutkimus jätevesipumppaamojen sähkönkulutustietoja hyödyntäen – Vesilahden kunnan jätevesiverkosto. Diplomityö, Tampereen yliopisto, Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Viitattu 20.5.2021. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201902271272>

Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoraportit, 2020. Tunnuslukuraportti. Viitattu 9.9.2021. Saatavissa sähköisesti: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesihuoltoraportit/Vesihuoltolaitosten_raportit

Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoraportit, 2020. Vesijohtoverkkojen ja viemäriverkkojen kokonaispituus. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa sähköisesti: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesihuoltoraportit/Vesihuoltolaitosten_raportit

Sweco Ympäristö Oy, 2017. Vesihuoltoverkoston saneeraustarpeen selvittäminen: Työkaluja varojen kohdentamiseen. Turku: Varsinais-Suomen ELY-keskus. Viitattu 14.10.2020. Saatavissa sähköisesti: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-559-7>

The Plastics Pipe Institute, 2008. The Plastics Pipe Institute handbook of polyethylene pipe. Irving, TX.

Tilastokeskus, 2021. Väestörakenne 25.1.2021. Viitattu 20.3.2021.

Vesihuoltolaki 9.2.2001/119. Viitattu 14.10.2020. Saatavissa sähköisesti: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>

VTT, 1997. Talonrakennuksen routasuojausohjeet. VTT, Yhdyskuntatekniikka. Viitattu 20.4.2021.

Välisalo, T., Hanski, J., Virolainen, K., Malm, T., Salmela, L. (Ed.), Pietilä, P., Heino, O., Oulasvirta, L., Luomanen, T., Riihimäki, M., Grönfors, T., Teerimo, S., 2013. Vesihuoltoverkoston kunnossapitopalvelujen riskienhallinta : Loppuraportti. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology, No. 73. Viitattu 14.10.2020. Saatavissa sähköisesti: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T73.pdf>



**Koivuhaka, Nuolipuro ja
Jänismaan teollisuusalue**

1:8 000

Vesihuoltoverkon
saneerausindeksi ja
kriittisyysluokitus

Putkikartta:
Kokkolan Vesi

Kantakartta:
kartta.kokkola.fi
© Kokkolan Kaupunki



0 100 200 m

- ei riittävästi tietoja
- luokka 1. (0-19)
- luokka 2. (20-39)
- luokka 3. (40-59)
- luokka 4. (60-79)