

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Juha Ronkainen

VUOTOVESIEN MERKITYS JÄTEVESIHUOLLOSSA

Työn tarkastajat: Professori Risto Soukka
Tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Juha Ronkainen

Vuotovesien merkitys jätevesihuollossa

Diplomityö

2016

94 sivua, 91 kuvaa ja 15 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Risto Soukka
Tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Hakusanat: vuotovesi, hulevesi, jätevesi, mallintaminen, kasvihuonekaasupäästö

Yleisimmät viemärointijärjestelmät ovat erillisviemärointi ja sekaviemärointi. Erillisviemäroinnissä jäte- ja hulevedet johdetaan omissa verkostoissa. Sekaviemäroinnissä kaikki viemäroitävät vedet virtaavat samassa verkostossa. Vuotoveden osuus jätevesiviemäriverkostossa virtaavasta jätevedestä on keskimäärin yli 30 prosenttia. Vuotovesiselvityksen avulla pyritään selvittämään vuotoveden esiintymisalueet ja mahdolliset vuotokohteet. Mallintamalla laadittu selvitys tarjoaa mahdollisuuden tarkastella verkostoa kokonaisuutena ja erilaisissa käyttötilanteissa. Tämä työ perustuu Joensuun kantakaupungin viemäriverkostosta mallintamalla laadittuun vuotovesiselvitykseen. Työssä on tarkoitus selvittää vuotovesistä aiheutuvan lisäenergian tarpeen ja kasvihuonekaasupäästöjen kasvua sekä pohtia verkoston omistussuhteiden, sään ääri-ilmiöiden ja taajuusmuuttajien vaikutuksia vuotovesien hallintaan. Lisäksi selvitetään voidaanko tuloksista tehdä valtakunnallisia yleistyksiä.

Joensuun viemäriverkostossa jätevesien pumppaukseen käytetystä energiasta noin 43 prosenttia kuluu vuotovesien pumppaukseen. Siitä aiheutuu vuosittain 480 MWh:n lisäenergian tarve, joka johtaa 106 tonnin hiilidioksidipäästöihin. Lisäenergian tarpeesta aiheutuva hiilidioksidipäästö on pieni liikenteen aiheuttamaan päästöön verrattuna. Saneerauksilla voidaan saavuttaa 60 prosentin vähennys vuotovesimäärään. Tavoitteeksi tulisi asettaa keskusta-alueella olevien sekaviemäreiden korvaaminen erillisviemäreillä esimerkiksi lähimmän 10 vuoden aikana ja vuotovesimäärän yleinen vähentäminen koko verkoston alueella. Ilmastonmuutoksen myötä yleistyvät rankkasateet lisäävät vuotovesimäärää etenkin sekaviemäroidyillä alueilla. Tämä korostaa sekaviemäroidyden verkoston korjaustoimenpiteiden tärkeyttä. Taajuusmuuttajien yleistyvä käyttö tasaa haitallisia virtaamapiikkejä. Optimaaliseksi säädetty pyörimisnopeus pienentää merkittävästi pumppujen energiankulutusta. Työstä saadut tulokset ovat valtakunnallisella tasolla suuntaa antavia. Tarkemmat yleistykset vaativat useista erikokoisista verkostoista tehtyjen vuotovesiselvitystulosten analysointia.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Juha Ronkainen

Infiltrations meaning of sewage supply

Master's thesis

2016

94 pages, 91 figures and 15 tables

Examiners: Professor Risto Soukka
 Licentiate of Engineering Simo Hammo

Keywords: infiltration, storm water, sewage, modeling, greenhouse gas emission

The most common sewerage systems are separate sewerage and combined sewerage. In the separate sewerage sewage and storm water are in the own sewerage. In the combined sewerage sewage and storm water are in the same sewerage. Amount of the infiltration are approximately 30 percent of the total sewage amount. The result of the infiltration research explains infiltrations where the leaking points are. The point of this thesis is to check out the needed extra energy caused by infiltration and the grow of the greenhouse gas emission. Also to considerate the ownership of the sewerage, extreme weather conditions and the inverter effects to the infiltration control. This thesis also checks out can these results be national generalization.

In Joensuu sewerage about 43 percent of the energy used in sewage pumping is used in pumping of infiltration. This causes need of 480 MWh extra energy annually. That leads to 106 t carbon dioxide emission. Carbon dioxide emission caused by extra energy is small compared to traffic emissions. 60 percent reduction in infiltration is possible with renovations. The goal should be to replace mixed sewerage with separate sewerage in urban areas for example in next 10 year and to reduce infiltration in whole sewerage. Climate changing makes heavy rain more common. That increases infiltration especially at the mixed sewerage areas. This highlights the importance of repairing the mixed sewerage. Increasing use of the inverters aligns harmful overflows. Optimal rotation speed of the pumps decreases significantly energy consumption. Results of this thesis are national guidelines only. More accurate generalization needs analyze of infiltration report results made of different sizes sewerages.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Joensuun Veden toimeksiannosta laaditun vuotovesiselvityksen tulosten perusteella. Työn teko on aloitettu vuonna 2012 ja sitä on tehty ansiotyön ohessa la-
vealla aikataululla. Kiitokset työn teossa mukana olleelle Joensuun Veden henkilökunnalle
hyvästä ja kärsivällisestä yhteistyöstä.

Kiitos työn tarkastajille Risto Soukalle ja Simo Hammolle opastuksesta ja kehittävästä kom-
menteista sekä kärsivällisyydestä aikataulun venymisen suhteen. Erityiskiitos ohjaajalle Antti
Smolanderille erittäin kärsivällisestä yhteistyöstä ja hyvistä neuvoista.

Joensuussa 1.2.2016

Juha Ronkainen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	7
2 JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTON MALLINTAMINEN	9
2.1 Jätevesiviemäriverkosto	9
2.2 Tarvittavat lähtötiedot verkoston mallintamiseksi	11
2.3 Käytettävissä olevat tietolähteet	11
2.4 Tyypilliset virhelähteet jätevesiviemäriverkoston mallintamisessa	12
3 VUOTOVEDET OSANA JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTOA	12
3.1 Vuotovesien kulkeutumisreitit	12
3.2 Vuotovesien rooli erilaisissa viemärointijärjestelmissä	14
3.3 Vuotovedet seudullisissa jätevesihuoltoratkaisuissa	17
3.4 Vuotovedet puhdistamon näkökulmasta	17
4 CASE JOENSUUN VUOTOVESISELVITYS	18
4.1 Tutkimusalue	18
4.2 Vedenkulutus	19
4.3 Jätevedenpumppaamot	19
4.4 Puhdistamo	24
4.5 Tutkimusmenetelmä	25
4.6 Vuotovesimäärät ja vuotavuus pumppaamopiireittäin	27
Kuhasalontie	28
Rantapuisto	31
Hasaniemi	34
Aavaranta	37
Penttilänranta	39
Sortavalankatu	41
Pohjolankatu	43
Wahlforssinkatu	45
Suokukonkatu	47
Viertolankatu	49
Helinintie	51
Peltolankatu	53
Koppola	56
Tiaisenkatu	58
Kokkomäentie	59
Patapuronkadun	61

Ojalehdontien.....	62
Sariolankatu	63
Kuurnankatu	65
Ruuhitie	67
Venetie.....	68
Varaslampi.....	70
Vanamokatu.....	72
Yliopistokatu	73
Niskakatu	74
Paimenpojantie	75
Repokallio.....	77
Jyskynkuja	78
4.7 Vuotovesistä aiheutuva lisäenergiatarve.....	79
4.8 Vuotovesistä aiheutuva vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin	84
4.9 Saneerauskohteet ja jatkotoimenpiteet	85
5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	87
6 YHTEENVETO	90
LÄHDELUETTELO	93

1 JOHDANTO

Yli 80 prosenttia suomalaisista on keskitetyn viemäroinnin ja jäteveden käsittelyn piirissä (Vesilaitosyhdistys 2015). Jäteveden käsittely tulee toteuttaa siten, ettei ympäristölle ja ihmisille aiheudu tarpeetonta haittaa. Vesihuoltolaitokset vastaavat jätevesien kokoamisesta, johtamisesta puhdistamolle, puhdistuksesta ja purkamisesta vesistöön. Aikaisemmin jätevedenpuhdistamo ja viemäriverkosto rakennettiin yhden taajaman vesihuollon tarpeisiin. Vesihuoltolaitos omisti verkoston ja huolehti sen kunnossapidosta. Nykyisin yhä useammissa pienissä vesihuoltolaitoksissa päädytään jätevedenpuhdistamon saneerauksen sijaan johtamaan jätevedet siirtoviemärillä alueelliselle keskuspuhdistamolle puhdistettavaksi. Keskustajamien jätevesiviemäriverkostossa virtaa useiden naapurikuntien jätevesiä vuotovesineen kohti alueellista keskuspuhdistamo. Viemäriverkoston omistus on jakautunut laajentumisen myötä. Laajan verkoston ylläpito ja saneeraus sitoo paljon resursseja. Vesihuoltolaitokset ovat alkaneet ulkoistaa verkoston huolto- ja saneeraustöitä.

Jätevedenpuhdistamoille tulevasta jätevedestä on arvioitu olevan yli 30 prosenttia niitä tarpeettomasti kuormittavaa vuotovettä (Vesilaitosyhdistys 2012). Vuotovedellä tarkoitetaan jätevesiviemäriverkoston vuotavien kansistojen, tarkastuskaivoissa ja putkissa olevien rakojen, halkeamien ja rikkonaisten kohtien sekä laittomien liitosten kautta tulevaa ylimääräistä vettä. Suurimmat vuotovesimäärät mitataan keväällä lumen sulamisen ja kesällä rankkasateiden aikaan. Keskitalvella vuotovesimäärät ovat vähäisimmillään. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464 - 465)

Vuotovesistä ei aikaisemmin koettu olevan haittaa, päinvastoin ne paransivat viemärien toimivuutta lisääntyneen virtaaman ansiosta. Jäteveden käsittelyn tehostumisen myötä on alettu kiinnittää huomiota puhdistamolle käsiteltäväksi tulevaan jäteveden määrään. Vuotovedet kuormittavat täysin tarpeettomasti verkostoa ja jätevedenpuhdistamo, aiheuttaen lisäkustannuksia jäteveden pumppauksessa ja puhdistuksessa. Lisääntynyt pumppauskertojen määrä kasvattaa energiankulutusta sekä pumppujen huolto- ja korjauskustannuksia. Puhdistamoilla vesimäärän kasvu kuormittaa tarpeettomasti puhdistusprosessia lisäten kemikaalitarvetta ja huonontaan puhdistustuloksia. Puhdistamot toimivat tehokkaimmin tulevan vesimäärän ja sen laadun pysyessä mahdollisimman vakiona. Mitoitusvirtaaman ylitykset aiheuttavat pahimmillaan ylivuotoja ja ohijuoksutuksia, lisäten purkuvesistöjen kuormitusta. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464 - 465)

Vuotovesistä aiheutuneet ongelmat ovat herättäneet vesihuoltolaitokset. Jätevesiviemäriverkoston kunto ja saneeraustarpeet tulee selvittää viipymättä. Verkoston ongelmakohteet saadaan selville parhaiten vuotovesiselvityksen avulla. Selvityksen tulosten perusteella saadaan osoitettua verkoston vuotavimmat alueet ja saneeraukset voidaan kohdentaa näille alueille. Vesihuoltolaitokset ovatkin lisänneet verkoston saneerauksia, saneerausvauhti on kuitenkin usein tarvetta hitaampaa.

Vuotovesiselvitykset on aikaisemmin laadittu käsin suoritettujen laskelmien, virtaamamittausten ja savukokeiden perustella. Verkoston toiminnan hahmottaminen kokonaisuutena on ollut hankalaa. Mallintaminen on tuonut ratkaisun tähän ongelmaan. Tutkimuskohteesta laaditun mallinnuksen avulla päästään tarkastelemaan verkoston toimintaa kokonaisuutena ja erilaisissa käyttötilanteissa. Mallin toimintaa tarkennetaan virtaamamittausten avulla.

Diplomityön kanssa samanaikaisesti laaditaan Joensuun Veden toimeksiannosta vuotovesiselvitys Joensuun kantakaupungin jätevesiviemäriverkostosta. Vuotovesiselvityksen laadintaan käytetään FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n (FGC) kehittämää FCG SWMM - verkostomallinnussovellusta. Selvityksen perusteella määritetään vuotavimmat alueet ja laaditaan niille saneerausohjelma. Diplomityö perustuu vuotovesiselvityksestä saataviin tuloksiin.

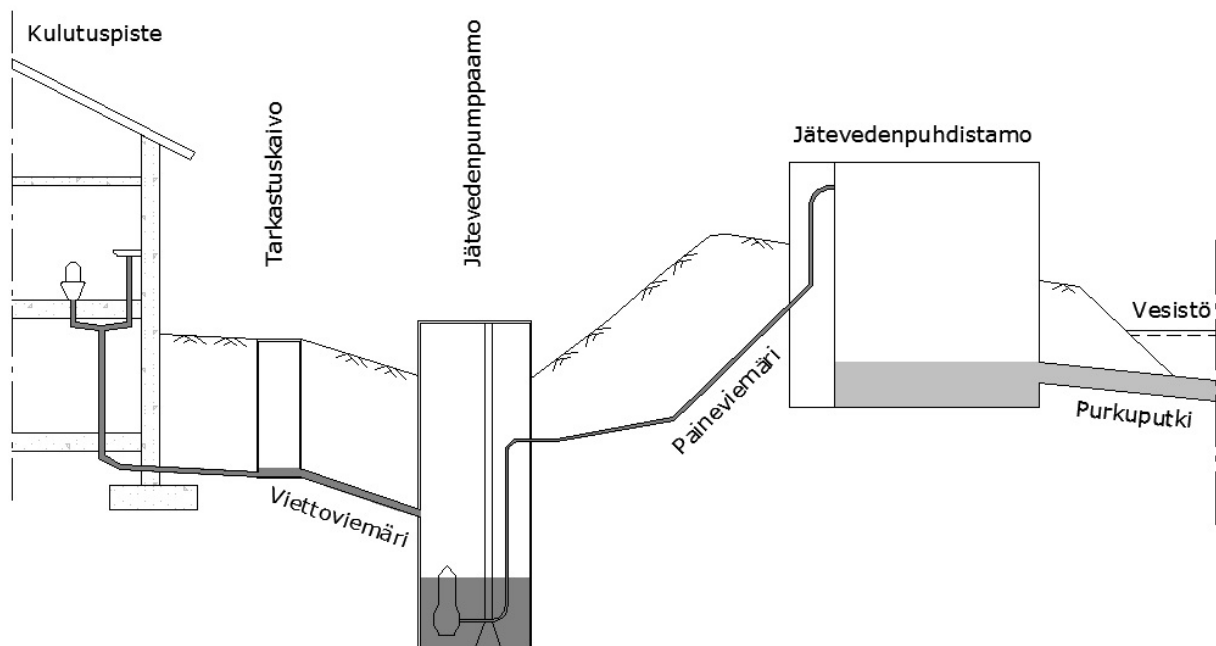
Työn tavoitteena on selvittää vuotovesistä aiheutuvan lisäenergiantarpeen ja kasvihuonekaasupäästöjen kasvua, lisäkustannusten muodostumista matkalla kulutuspisteeltä puhdistamolle sekä vuotovesien aiheuttamia vaikutuksia verkoston ja puhdistamon mitoitukseen saneeraustilanteessa. Lisäksi pohditaan verkoston omistussuhteiden, sään ääri-ilmiöiden yleistymisen ja taajuusmuuttajien käytön vaikutuksia vuotovesien hallintaan sekä selvitetään voidaanko tuloksista tehdä valtakunnallisia yleistyksiä.

2 JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTON MALLINTAMINEN

2.1 Jätevesiviemäriverkosto

Jätevesiviemäriverkosto on rakennettu jätevesien johtamiseen pois kulutuspisteeltä. Verkostossa virtaava jätevesi koostuu pääosin asumisjätevedestä ja teollisuusjätevedestä. Asumisjätevesi on kotitalouksissa ja laitoksissa käytettyä jätevettä, joka on alkuperältään pääosin vesi-johtovettä. Asumisjäteveden laatu on tasaista ja määrä noudattaa selvää vuorokausivaihtelua. Teollisuusjätevesi on laadultaan ja määrältään selvästi asumisjätevettä vaihtelevampaa. Vaihtelu riippuu esimerkiksi teollisuusalasta, vuodenajasta ja käytettävistä raaka-aineista. Mallintamisessa huomioidaan asumis- ja teollisuusjätevesien vuorokausivaihtelun ominaispiirteet. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 457 - 458)

Jätevesiviemäriverkosto muodostaa kuvan 1 mukaisen katkeamattoman putkiyhteyden kulutuspisteeltä jätevedenpuhdistamon kautta purkuvesistöön.



Kuva 1. Jätevesiviemäriverkosto

Verkosto koostuu viemäriputkista, tarkastuskaivoista, tarkastusputkista, jätevedenpumppaamoista sekä jätevedenpuhdistamosta. Viemäriputkina käytetään pääasiassa muovisia PVC- ja PEH-putkia. Ainoastaan suuret puhdistamolle johtavat runkoviemärit tehdään yleisimmin betoniputkista. Viemäriverkostossa on tarkastuskaivoja tai tarkastusputkia verkoston haarautumiskohdissa sekä vaaka ja pystytaitteiden kohdalla. Suorille linjaosuuksille tarkastuskaivoja tai tarkastusputkia sijoitetaan sopivin välein verkoston ylläpitoa varten. Jätevedenpumppaamoita ja paineviemäreitä joudutaan käyttämään linjaosuuksilla joita ei ole maasto-

olosuhteiden vuoksi mahdollista toteuttaa painovoimaan perustuvalla viettoviemäröinnillä. Niitä voidaan käyttää pelkkään jäteveden nostamiseen ylemmälle korkotasolle tai sitä voidaan pumpata kilometrien päässä olevaan purkukaivoon. Jätevedenpumppaamot joiden säiliöt ovat lasikuitu-, lujitemuovi- tai betonirakenteisia on varustettu yleisimmin vähintään kahdella pumpulla.

Yleisin paineviemäriinjojen yhteydessä käytetty pumpputyyppejä on nopeusperiaatteella toimiva keskipakopumppu. Pumppu koostuu siivekkeistä ja akselista muodostuvasta juoksupyörästä sekä kierukan muotoisesta pumppukammioista. Nesteelle muodostuu juoksupyörässä keskipakovoiman vaikutuksesta suuri liike-energia, joka muunnetaan mahdollisimman täydellisesti painenergiaksi pumppukammion kierukan asteittain laajenevan muodon ansiosta. (Karttunen et al. 2003, s. 181 - 182)

Pumpun tärkeimmät ominaisuudet ovat tuotto ja nostokorkeus. Sen valintaan vaikuttavat kapasiteetti- ja painevaatimusten lisäksi pumpattavan nesteen laatu sekä siinä olevien kiinteiden aineiden määrä ja koko. Keskipakopumppuja voidaan käyttää kuiva ja märkä asenteisesti tai uppopumppuna. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 489)

Kuivan asennuksen pumput on sijoitettu maanpinnan alapuolella olevaan erilliseen kuivaan pumpputilaan. Seinämän toisella puolella olevasta imukaivosta tulee pumppuihin venttiilillä varustetut imujohdot. Pumpun huoltotyöt voidaan suorittaa kuivassa pumpputilassa. Kuivan asennuksen pumppuja käytetään isoissa pumppaamoissa. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 489)

Märän asennuksen pumpeissa moottori on imukaivon yläpuolisessa tilassa ja vain pumppu on upotettuna imukaivossa. Pumpun huoltotöiden yhteydessä joudutaan pumpun lisäksi myös moottori siirtämään paikoiltaan. Uppopumppu on kokonaan jäteveteen upotettuna pumppaamosäiliössä. Huoltotöissä uppopumppu joudutaan poistamaan pumppaamosäiliöstä ja pesemään kokonaisuudessaan. Märän asennuksen pumppuja ja uppopumppuja käytetään yleisesti pienissä pumppaamoissa. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 489 - 490)

Pumppujen toimintaa pyritään yhä useammassa pumppaamossa säätämään taajuusmuuttajilla. Niiden avulla pumpun pyörimisnopeutta voidaan säädellä portaattomasti jätevesivirtaaman

vaihteluiden mukaisesti ja saavuttaa mahdollisimman tasainen virtaama energiatehokkaasti. Taajuusmuuttajien käyttö vähentää merkittävästi pumppujen energiankulutusta.

Jäteveden päätyessä jätevedenpuhdistamolle se puhdistetaan tasolle, joka riippuu purkuvesistölle asetetuista tavoitteista. Puhdistettu jätevesi johdetaan purkuputken avulla sellaiseen kohtaan vesistössä, jossa se sekoittuu mahdollisimman suureen vesimäärään. Tällöin sen aiheuttamat haitat purkuvesistössä jäävät mahdollisimman vähäisiksi.

2.2 Tarvittavat lähtötiedot verkoston mallintamiseksi

Jätevesiviemäriverkosto muodostaa mallinnuksen rungon. Mallinnettavasta viemäriverkostosta tulee saada verkostokartta, jossa on verkoston lisäksi esitetty viemäriputkien koko-, korko- ja materiaalitiedot. Aineiston tulisi olla sähköisessä muodossa, jolloin siinä olevat tiedot on siirrettävissä suoraan mallinnusohjelmaan.

Alueen viemäriverkostossa olevista pumppaamoista tulee saada virtaamatiedot viimeiseltä 2 - 3 vuodelta. Mallinnusalueen ulkopuolelta, siirtoviemäreiden kautta, tulevat virtaamat tulee selvittää ja kohdentaa oikeisiin verkostokohtiin. Mallinnettavan alueen kiinteistökohtainen myydyin vesijohtoveden määrä, pumppaamosäiliöiden koko- ja korkotiedot sekä pumppaamossa olevien pumppujen tyyppitiedot tarvitaan toimivan mallin aikaan saamiseksi. Puhdistamolta saatuja virtaamatietoja voidaan käyttää mallista saatavan laskennallisen kokonaisvesimäärän paikkansa pitävyyden arviointiin.

Ilmatieteenlaitokselta tulee hankkia, mallinnusaluetta lähimpänä olevalta sääasemalta, sadanta- ja lämpötilatiedot. Tietojen avulla pyritään löytämään virtaamatietojen tulkintaa selventäviä tekijöitä. Virtaamissa esiintyy erityisesti kesällä lyhyehköjä virtaamapiikkejä, joihin voi löytyä peruste sadantatiedoista.

2.3 Käytettävissä olevat tietolähteet

Vesihuoltolaitokset vastaavat jätevesien johtamisesta puhdistamolle, niiden puhdistamisesta ja purkamisesta vesistöön. Laitosten käyttö- ja huoltohenkilöstö tuntee verkoston ja tietää sen ongelmakohteista. Henkilöstön haastattelun avulla pyritään selvittämään näitä kohteita. Haastateltaviksi valitaan pitkän työuran laitoksen palveluksessa omaavia henkilöitä, joille on muodostunut selkeä mielikuva verkoston toiminnasta ja siinä esiintyvistä ongelmista.

Vesihuoltolaitoksen valvomoon tulee televerkon välityksellä automaatiojärjestelmän keräämiä tietoja pumppaamoilta ja puhdistamolta. Useimmiten verkostossa on käytössä useiden laite-toimittajien automaatiojärjestelmiä. Niiden hyödyntäminen vaatii tiedon saamisen yhteismitalliseen muotoon.

2.4 Tyypilliset virhelähteet jätevesiviemäriverkoston mallintamisessa

Lähtöaineistoksi toimitetut verkostokartat sisältävät useimmiten puutteellista ja epätarkkaa tietoa. Mallinnettavasta verkostosta on harvoin saatavilla rakennusaikaiseen tarkemittaukseen perustuvaa verkostokarttaa. Kartat koostuvat suunnitellun ja toteutetun verkoston yhdistelmästä. Saadun kartta-aineiston läpikäynnissä havaitut puutteet tulee täydentää tarkemittauksin, jotta mallinnuksessa käytettävä verkosto vastaisi mahdollisimman hyvin olemassa olevaa tilannetta.

Eri automaatiojärjestelmien kautta tulevat mittasuureet vaihtelevat ja mittayksiköt ovat harvoin yhteismitallisia. Mittayksiköt muutetaan yhteismitallisiksi yksikönmuunnoslaskelmien avulla. Pumppaamoilta ja puhdistamolta saatavissa virtaamatiedoissa esiintyy usein epätarkkuutta. Virtaamatiedot perustuvat useimmiten astiamittaukseen. Virtaama on määritetty pumppaamon ylä- ja alarajan välisen säiliötilavuuden ja pumppauskertojen lukumäärän sekä keston perusteella. Jatkuva virtaus pumppaamosäiliöön, pumppauksenkin aikana, aiheuttaa astiamittaustulokseen epätarkkuutta. Mittavirheet pumppaamon käyntirajojen korkotiedoissa ja säiliötilavuuden määrittämisessä aiheuttavat osaltaan epätarkkuutta. Virtaamamittarin perusteella saatava virtaamatieto on huomattavasti astiamittauksen perusteella saatua tarkempaa. Epätarkkuutta voi kuitenkin aiheutua virtaamamittarin asennusvirheistä, sekä huollon ja kalibroinnin laiminlyönnistä.

Verkostossa suoritettavissa virtaamamittauksissa mittauksia suorittava henkilö saattaa tehdä virheitä tarkastuskaivoon asennettavan mittalaitteiston ja vedenpinnan korkoaseman määrittämisessä sekä mittaustulosten raportoinnissa.

3 VUOTOVEDET OSANA JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTOA

3.1 Vuotovesien kulkeutumisreitit

Vuotovedellä tarkoitetaan jätevesiviemäriin tahattomasti tulevaa hule- ja pohjavettä. Siihen lasketaan kuuluvaksi myös jätevesiviemäriin tarkoituksellisesti johdetut perustusten kuivatus-

vedet. Rakennetuilta alueilta pintavaluntana valuvaa sade- ja sulamisvettä kutsutaan hulevedeksi. Sen määrä on suurimmillaan kevään lumen sulamisen ja kesän rankkasateiden aikaan.

Huleveden muodostumiseen vaikuttavat sääolosuhteet ja alueiden rakentamisaste. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464)

Maapallon keskilämpötilan on ennustettu nousevan vuodesta 1990 vuoteen 2100 mennessä 1,4 – 5,8 astetta. Lämpötilan nousu vaikuttaa monin tavoin luontoon ja ihmisten elinoloihin. Rankkasateiden on ennustettu lisääntyvän Suomessa 35 – 65 prosenttia vuosisadan loppuun mennessä. Niistä aiheutuva runsas pintavalunta ja tulvat lisäävät hulevesimäärää. (CO2-raportti 2015, s. 7 - 8)

Vettä läpäisemättömät pinnat ovat lisääntyneet asutuksen kasvun ja kaupunkirakenteen tiivistymisen myötä. Hulevesien muodostuminen kaupunkien keskustoissa on lisääntynyt. Hulevesien jätevesiviemäriverkostoon kulkeutumiseen vaikuttavat tarkastuskaivojen sijainti, viemäriverkoston kunto, putkimateriaali, maaperän ominaisuudet, asennustyön laatu ja laittomien liitosten olemassaolo. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464 - 465)

Tarkastuskaivojen epäedullinen sijainti painanteiden pohjalla tai maastollisesti alavimmissa kohdissa, yhdistettynä kansistojen huonoon kuntoon, aiheuttaa merkittävän lisän jätevesiviemäriin virtaamiin. Rikkoutuneen kaivonkannen kautta tuleva hulevesivirtaama voi olla kansiston koosta riippuen jopa 1,7 - 5,0 l/s. Pohjavedenpinnan korkeusasema vaikuttaa viemäriputkien ja tarkastuskaivojen rikkonaisten kohtien kautta verkostoon kulkeutuvan veden määrään. Putket ovat niin tiiviitä, ettei seinämän läpi tulevilla vuotovesillä ole merkitystä. Maalajilla on merkittävä vaikutus vedenkulkeutumiseen. Hyvin vettäläpäisevä vesihuoltokaivannon soratäyttö toimii etenkin hienorakeisissa maalajeissa, kuten savessa ja siltissä, salaojan tapaan ohjaten maaperässä liikkuvan veden jätevesiviemäreiden ja tarkastuskaivojen ympärille. Veden virtaus viemärikaivannon soratäytössä voi muodostua haitallisen suureksi ja vettä saattaa kulkeutua vuotokohtaan pitkältä kaivanto-osuudelta. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464 - 465)

Viemäriputkimateriaali voi epäedullisissa olosuhteissa aiheuttaa vuotoja. Betoniputket saattavat syöpyä korroosion vaikutuksesta puhki, jopa muutamassa vuodessa. Korroosio voi aiheutua esimerkiksi happamista teollisuusvesistä tai rikkivedystä. Pienestä pituuskaltevuudesta

aiheutuva alhainen virtausnopeus aiheuttaa mätänevässä viemäriverdessä rikkivedyn muodostumista. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 465)

Rakennustyön aikana huolimattomuus, puutteellinen ammattitaito ja valvonnan laiminlyönti voivat johtaa virheisiin, jotka aiheuttavat hulevesien kulkeutumista jätevesiviemäriverkostoon. Tällaisia virheitä ovat esimerkiksi liian suuren raekoon omaavan täyttömateriaalin käyttö ja putkien liittämisen tarkastuskaivoihin ilman liittosyhdettä. Liian karkea täyttömateriaali voi rikkoa putkia tai aiheuttaa niihin muodonmuutoksia täyttömateriaalin tiivistyksen ja liikennekuorman vaikutuksesta. Liittosyhteettä tehtyihin liitoksiin ei yleensä asenneta tiivisteitä jolloin niistä aiheutuu vuotoja viemäriverkostoon. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 465)

Laittomat liitokset ovat yksi merkittävimmistä huleveden kulkeutumisreiteistä. Kiinteistöjen katoilta ja piha-alueita jätevesiviemäriin laittomasti johdetut hulevedet voivat saada aikaan hetkellistä tulvimista. Viemärivereden tulvimisesta voi aiheutua haju- ja terveyshaittoja. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 465)

Verkoston läheisyydessä sijaitsevan vesistön vedenpinnan korkeusaseman vaihtelu voi lisätä verkostossa esiintyvän vuotoveden määrää. Pumppaamoiden ylivuotoputkien ja tarkastuskaivoissa olevien tulvakynnysten liian alhainen korkeusasema purkuvesistön ylivedenkorkeuteen nähden aiheuttaa vedenvirtauksen vesistöstä verkostoon.

Rakennusten perustusten sekä rakenteiden salaojitukselta kertyvät kuivatusvedet tulisi johtaa avo-ojiin tai hulevesiviemäriin. Niiden epäedullinen korkeusasema kuivatustasoon nähden, hulevesiviemäroinnin puuttuminen ja hulevesien pumppauksen välttely, ovat johtaneet kuivatusvesien tarkoitukselliseen johtamiseen jätevesiviemäriin. Näitä vesiä käsitellään jätevesiviemärisissä vuotovesinä. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 464)

3.2 Vuotovesien rooli erilaisissa viemärointijärjestelmissä

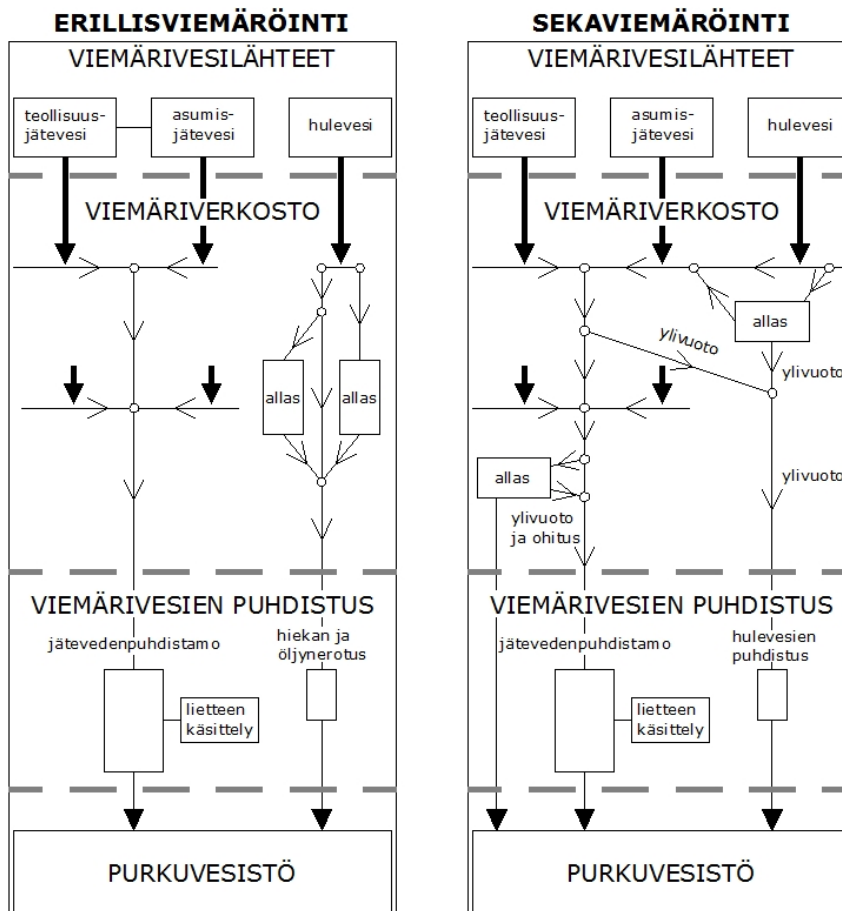
Yleisimpiä viemärointijärjestelmiä ovat erillisviemärointi ja sekaviemärointi. Erillisviemärointi on yleisin ja kasvava viemärointimuoto. Vähemmän käytettyjä järjestelmiä ovat esim. paineviemärointi- ja kaksoisputkijärjestelmä. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 453)

Erillisviemäröinnissä jäte- ja hulevesien johtamiseen käytetään omia erillisiä viemäriverkostoja. Jätevedet johdetaan kulutuspiirteiltä jätevesiviemäriverkoston kautta jätevedenpuhdistamolle, josta puhdistettu jätevesi lasketaan purkuvesistöön. Tiheään rakennetuissa taajamissa hulevesiviemärit puretaan suoraan joko vesistöön tai niihin laskeviin avo-ojiin. Rakennusten perustusten kuivatusvedet pyritään johtamaan hulevesiviemäriin. Mikäli hulevesiviemäröinti ei sovellu tähän tarkoitukseen, johdetaan kuivatusvedet jätevesiviemäriin. Haja-asutusalueilla ja maaseudulla erillisviemäröintiin kuuluu vain jätevesiviemäriverkosto. Hulevesien poisjohtamiseen käytetään avo-ojia. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 454 - 455)

Erillisviemäröinnin kautta jätevedenpuhdistamolle tulevan veden määrän ja laadun vaihtelut ovat vähäisempiä kuin sekaviemäröinnissä. Vuotovesimäärä huomioidaan jätevesiviemärin mitoituksessa. Vuotovesiä tulee verkostoon kansistoissa, tarkastuskaivoissa ja putkissa olevien rikkonaisten kohtien välityksellä. Runsaat vuotovesimäärät voivat aiheuttaa mitoitusvirtaaman ylityksen, josta voi aiheutua viemäriverkon alimpien osien kellaritiloissa tulvimista. Erillisviemäröinnissä vuotovesi saadaan eroteltua jätevedestä ja vuotavat kohteet paikannettua. Kuvassa 2 on esitetty periaatepiirros erillisviemäröintijärjestelmästä. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 454 - 455).

Sekaviemäröinti oli aikaisemmin pääasiällisin viemäröintijärjestelmä. Siinä hule-, jäte- ja kuivatusvedet johdetaan samassa viemäriverkostossa toisiinsa sekoittuneena jätevedenpuhdistamolle. Nykyisin sekaviemäreitä on käytössä pääosin vain kaupunkien keskustoissa. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 454)

Hulevesistä on sekaviemäröinnin yhteydessä sekä hyötyä että haittaa. Suuret hulevesivirtaamat huuhtelevat tehokkaasti sekaviemäreitä. Toisaalta, tulva-aikaan viemäriveresi valuu tulvakynnysten kautta suoraan vesistöön. Tulvakynnysrakenteet ovat sekaviemäröinnin ominaispiirre. Ne ovat välttämättömiä sekaviemäröinnin toiminnalle. Ilman tulvakynnyksiä viemäreiden koko kasvaisi kohtuuttoman suureksi. Sekaviemäröinnissä hulevedet kuormittavat tarpeettomasti jätevedenpuhdistamoja. Saneeraustöiden yhteydessä sekaviemäröityjä alueita muutetaan erillisviemäröidyiksi. Kuvassa 2 on esitetty periaatepiirros sekaviemäröintijärjestelmästä. Sekaviemäröinnissä vuotoveden määrän selvittäminen ja vuotavien kohteiden paikantaminen on lähes mahdotonta. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 454)



Kuva 2. Periaatepiirros erillis- ja sekaviemäröinnistä. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 454 - 455)

Paineviemäröinnissä jätevesi siirretään paineviemärissä paineellisena pumppujen välityksellä. Hitsaamalla toisiinsa liitetyt paineviemärit muodostavat pumppaamolta purkukaivolle saakka ulottuvan yhtenäisen ja tiiviin putken johon ei pääse maaperän välityksellä vuotovesiä. Paineviemärijärjestelmään vuotovettä voi tulla rikkonaisen pumppaamon kautta. Paineviemärit toimivat usein erillis- tai sekaviemäröinnin jatkeena jolloin ne välittävät verkostossa virtaavaa vuotovettä. Vuotovedestä aiheutuu paineviemäröinnissä lisäkustannuksia lisääntyneiden pumppauskertojen ja huoltotarpeen vuoksi. Keväällä huippuvirtaamien aikaan vuotovedet saattavat aiheuttaa jätevedenpumppaamoilla ylivuotoja, jolloin puhdistamatonta jätevettä pääsee vesistöön.

Kaksoisputkijärjestelmässä kiinteistöjen varsinaiset jätevedet ja pesuedet johdetaan eri viemäreissä käsiteltäväksi. Varsinaiset jätevedet johdetaan puhdistamolle käsiteltäväksi. Puhdistamolle tuleva jätevesimäärä on huomattavasti vähäisempi ja se on väkevämpää sekä tasalaa-tuisempaa kuin perinteisten viemäröintimenetelmien kautta tuleva jätevesi. Pesuedet voidaan käsitellä järjestelmässä kevyemmillä menetelmillä esim. tontilla olevan maapuhdistamon

avulla. Osa pesuvesistä voidaan jopa kierrättää. Kaksoisputkijärjestelmää käytetään pääasiassa tonteilla olevien pienpuhdistamojen yhteydessä. Vuotovesien rooli järjestelmässä on vähäinen lyhyiden putkipituuksien vuoksi. (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 455)

3.3 Vuotovedet seudullisissa jätevesihuoltoratkaisuissa

Kiristyneet puhdistusvaatimukset ovat lisänneet alueellisten keskuspuhdistamoiden rakentamista. Kiristyvien lupaehtojen vaatimukset on helpompi saavuttaa tehokkaasti toimivalla alueellisella keskuspuhdistamolla kuin taajamien pienillä puhdistamoilla. Saneerauksen sijaan yhä useampi taajaman pieni puhdistamo muutetaan tasausaltaiksi. Jätevedet johdetaan siirtoviemäreillä keskuspuhdistamolle käsiteltäväksi. Samalla saadaan liitettyä siirtoviemäriin varrella olevat vesiosuuskunnat kunnalliseen vesihuoltoverkkoon.

Siirtoviemäreiden kautta tulee jätevesiin sekoittuneena merkittävä määrä vuotovettä. Useissa pienissä taajamissa jätevesiviemäriverkosto on huonokuntoinen. Taajamien vuotovesimäärät tulisi selvittää ennen siirtoviemäriin rakentamista, jotta välttyttäisiin siirtoviemäriin ja puhdistamon tarpeettomalta ylimitoitukselta.

Siirtoviemäriin jatkeena olevan jätevedenpuhdistamolle johtavan viemäriverkoston välityskyky tulee selvittää kapasiteettitarkastelulla. Sen perusteella saadaan selville kapasiteetiltaan liian pienet putkiosuudet ja vaikutukset verkoston toimintaan. Kapasiteettitarkastelu suoritetaan mallinnuksen avulla.

3.4 Vuotovedet puhdistamon näkökulmasta

Jätevesiä puhdistetaan, jotta niistä aiheutuva haitta pukuvesistöissä olisi mahdollisimman vähäinen. Jätevesien puhdistus on tärkeä osa ympäristönsuojelua. Ympäristölupaviranomaiset määrittelevät lupaehtojen puhdistuksen raja-arvot. Ne määritellään prosentteina poistettavan aineksen pitoisuudelle ja jäteveden puhdistusteholle. Jätevedessä olevat epäpuhtaudet voidaan jakaa epäorgaanisiin ja orgaanisiin aineisiin. Suomen jätevedet puhdistetaan biologis-kemiallisella menetelmällä yhdistettynä typenpoistoon. Puhdistamoiden tiukkenevissa lupaehtojen otetaan nykyisin huomioon niistä ympäristölle aiheutuva kokonaisvaikutus.

Vuotovedet näkyvät vuosittain puhdistamon huhti- ja toukokuun tulovirtaamisissa selvinä piikkeinä. Niistä aiheutuu jätevedenpuhdistamolla toiminnallisia, taloudellisia ja ympäristöön kohdistuvia haittoja. Virtaamien tasauksella pyritään vähentämään jätevedenpuhdistamolle

tulevan vesimäärän vaihteluista aiheutuvia ongelmia. Kuivan- ja märän ajanjakson virtaamat sekä käytetty viemärintijärjestelmä vaikuttavat tasaustarpeeseen. Virtaaman taseus toteutetaan rakentamalla tasausaltaita tai ottamalla tasauskäyttöön käytöstä poistettavan puhdistamon allasrakenteita. Tasainen virtaama parantaa puhdistamon käsittelyprosessin tuloksia ja alentaa käyttökustannuksia.

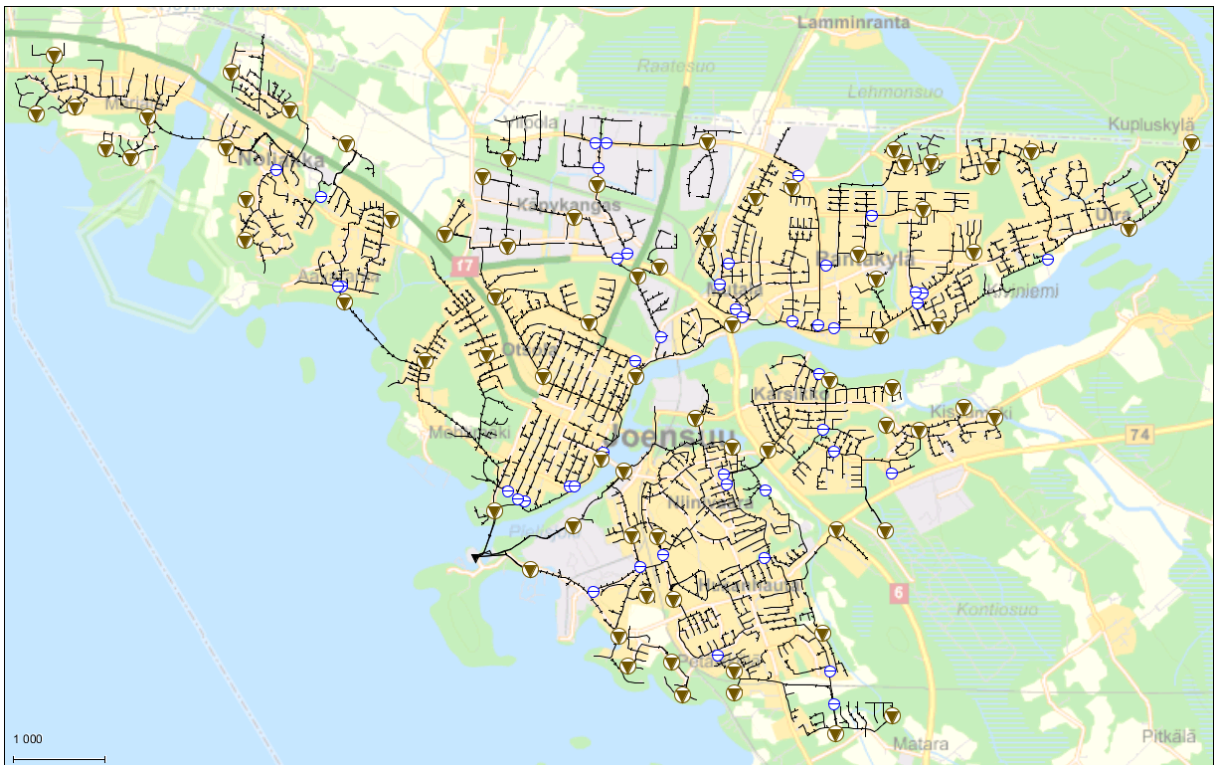
Runsas vuotovesien määrän viilentää jätevetä aiheuttaen haittaa jäteveden puhdistamon biologiselle puhdistusprosessille sekä lisää puhdistamolla energian- ja kemikaalien kulutusta aiheuttaen lisäkustannuksia. Vuotovedet lisäävät puhdistamolle tulevan hiekan, soran ja kivien määrää. Ne joudutaan poistamaan hiekanerottimella puhdistusprosessin alkupäässä. Tuleva hiekkamäärä voi kasvaa sateella jopa kymmenkertaiseksi. Tähän vaikuttaa suurelta osin seka- viemäroidyiltä alueilta hulevesien mukana tuleva kiviaines.

Mitoitusvirtaaman ylittyessä joudutaan turvautumaan puhdistamon biologisen osan ohittamiseen puhdistusprosessin suojaamiseksi. Puutteellisesti puhdistettu jätevesi kuormittaa purkuvesistöä. Siitä voi aiheutua terveydellisiä riskejä ja haittaa vesistön virkistyskäytölle.

4 CASE JOENSUUN VUOTOVESISELVITYS

4.1 Tutkimusalue

Tutkimusalue käsittää Joensuun kantakaupungin jätevesiviemäriverkoston, joka rajautuu lännessä Liperin ja pohjoisessa sekä idässä Kontiolahden kunnan rajaan. Etelässä verkosto rajautuu Reijolan kaupunginosaan. Mallinnettavan viemäriverkoston kokonaispituus on noin 266 kilometriä. Mallinnuksessa on mukana noin 5 000 tarkastuskaivoa ja viemäriputkea sekä 74 jätevedenpumppaamoja. Kantakaupungin alueella jätevedet on johdettu viettoviemäreissä niin pitkälle, kuin se on maastollisesti, kohtuullisten kaivusvyöyksien puolesta ollut mahdollista. Jätevedenpumppaamoiden pumppausmatka vaihtelee pelkästä pumppaamossa tapahtuvasta pinnannostosta noin 1 200 metrin. Ympäröivistä kunnista tulevat jätevedet johdetaan verkostoon siirtoviemäreiden välityksellä. Jätevedet johdetaan viemäriverkostoa pitkin Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle. Käsitellyt jätevedet lasketaan jätevedenpuhdistamolta Pielisjokeen. Kuvassa 3 on esitetty kantakaupungin jätevesiviemäriverkosto pumppaamoineen.



Kuva 3. Joensuun kantakaupungin viemäriverkosto.

4.2 Vedenkulutus

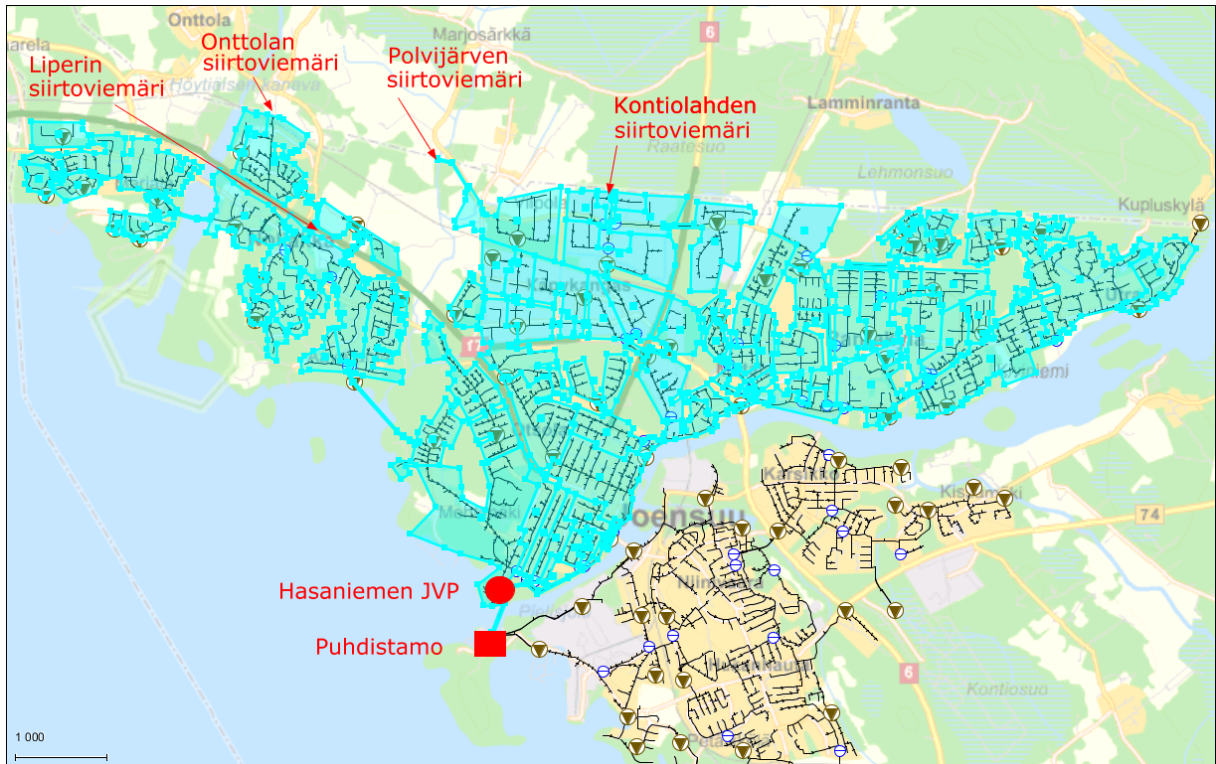
Mallinnuksessa käytetyt vedenkulutustiedot on saatu vuoden 2012 laskutustietojen perusteella 8242 kulutuspiisteestä. Vedenkulutus on ollut vuonna 2012 laskutustietojen perusteella 11500 m³/d ja se on kohdennettu oikeisiin osoitteisiin. Kantakaupungin suurin vedenkuluttaja on Valio Oy Joensuun tehdas, jonka osuus on yli 10 prosenttia veden kokonaiskulutuksesta.

4.3 Jätevedenpumppaamot

Mallinnettavan verkoston yleisin pumppaamotyyppi on 2 metriä halkaisijaltaan olevista betonirenkaista rakennettu säiliöpumppaamo, jossa on kaksi märkä-asenteista uppopumppua. Tällaisia pumppaamoita 48 kappaletta ja ne sijoittuvat tasaisesti kokoverkoston alueelle. Runkoviemärien yhteydessä olevat pumppaamot ovat pääosin betonirakenteisia allaspumppaamoita.

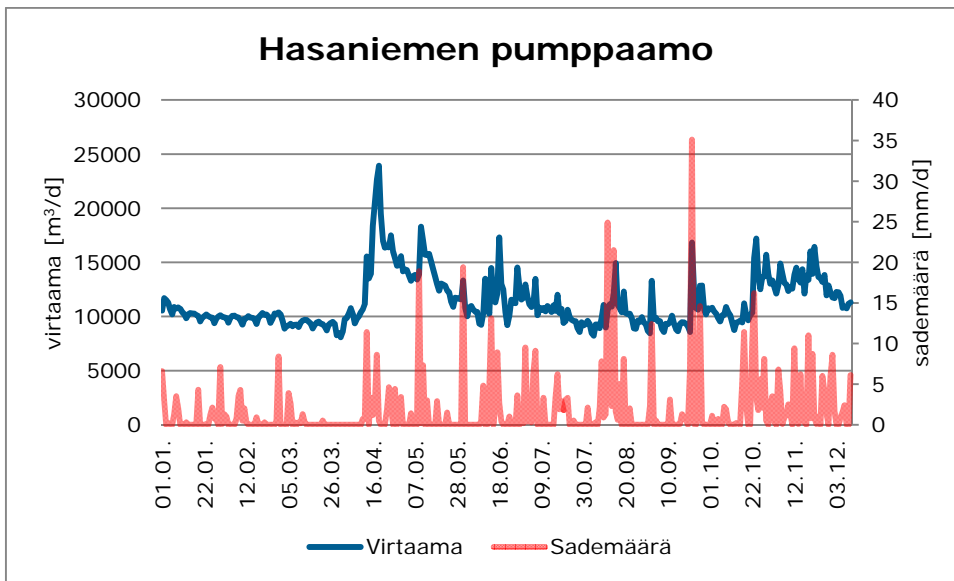
Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle tuleva jätevesi pumpataan kolmen pääpumppaamon kautta. Pielisjoen pohjoispuolisista kaupunginosista sekä Liperistä, Onttolasta, Polvijärveltä ja Kontiolahdesta siirtoviemäreiden kautta tuleva jätevesi johdetaan kuvan 4 mukaisesti Hasaniemen jätevedenpumppaamon kautta Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle. Hasaniemen betonirakenteinen pumppaamo on varustettu maanpäällisellä huoltorakennuksella. Pumppaamossa

on erillinen imuallas ja kuusi kuiva-asenteista uppopumppua. Pumppaamo on rakennettu 1970-luvulla ja se on saneerattu 1990-luvulla.



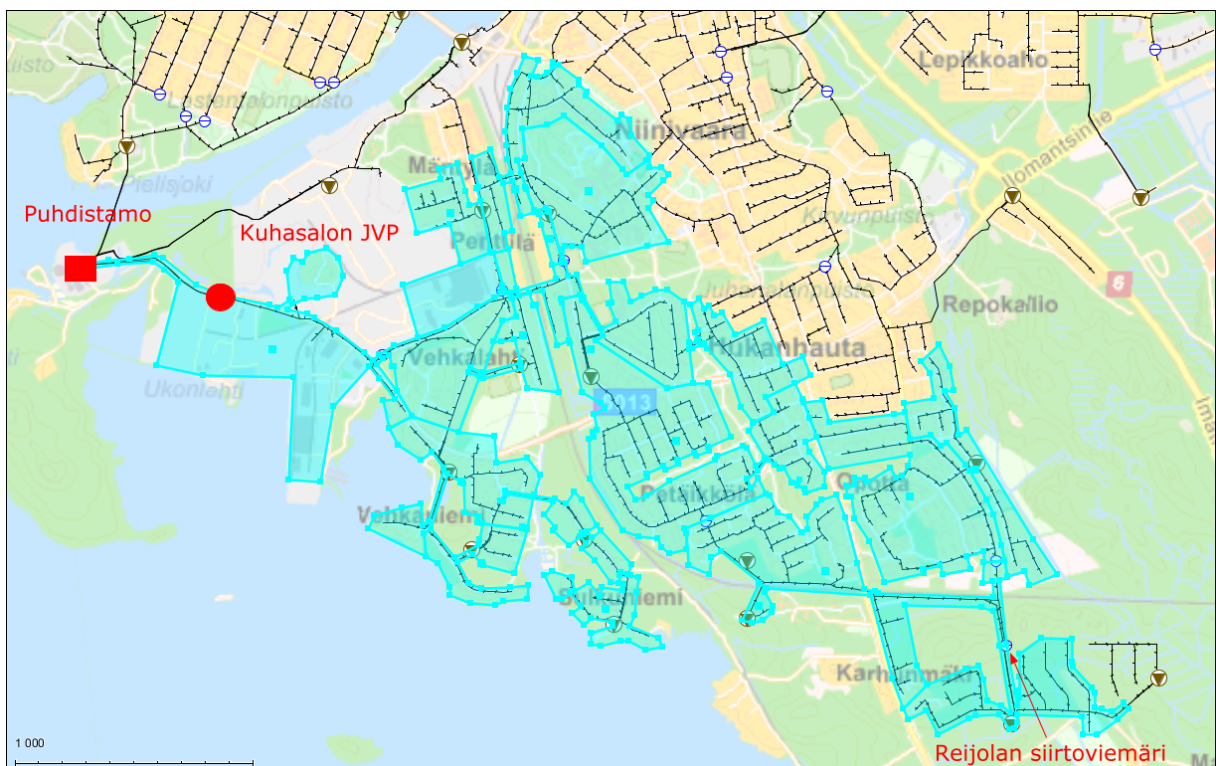
Kuva 4. Alueet joiden jätevedet johdetaan puhdistamolle Hasaniemen jätevedenpumppaamon kautta.

Hasaniemen jätevedenpumppaamon keskimääräinen virtaama on n. 11300 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama on n. 23920 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama on n. 9300 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on yli kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 5 on esitetty Hasaniemen jätevedenpumppaamon virtaamat vuodelta 2013.



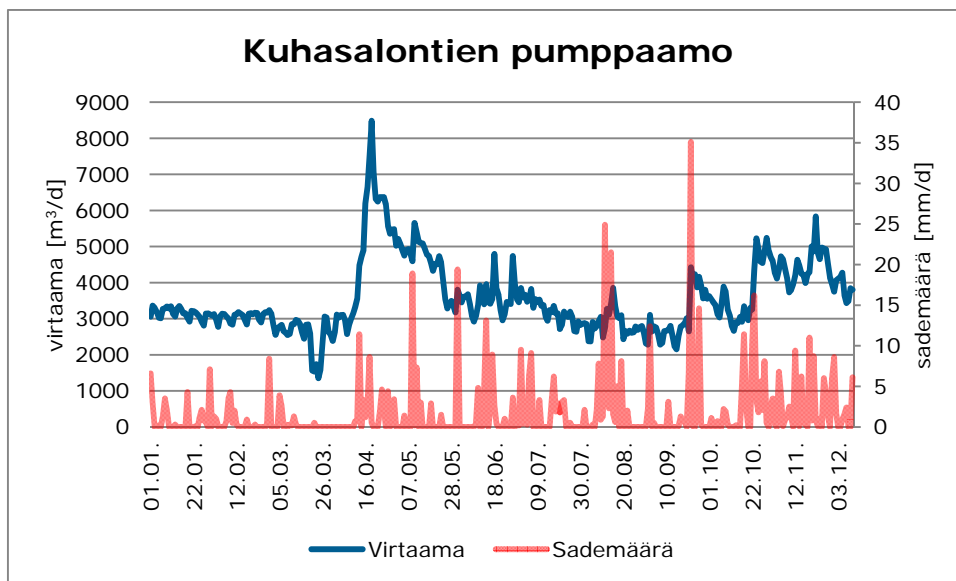
Kuva 5. Hasaniemen pumppaamon virtaamat vuodelta 2013.

Penttilän, Niinivaaran, Hukanhaidan ja Karhumäen kaupunginosista sekä Reijolan siirtoviemärin kautta tulevat jätevedet johdetaan kuvan 6 mukaisesti Kuhasalontien jätevedenpumppaamon kautta Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle. Pumppaamo on rakennettu 1970-luvulla. Betonirakenteisessa säiliöpumppaamossa on kolme märkä-asenteista uppopumppua. Pumppaamo on rakennettu 1970-luvulla.



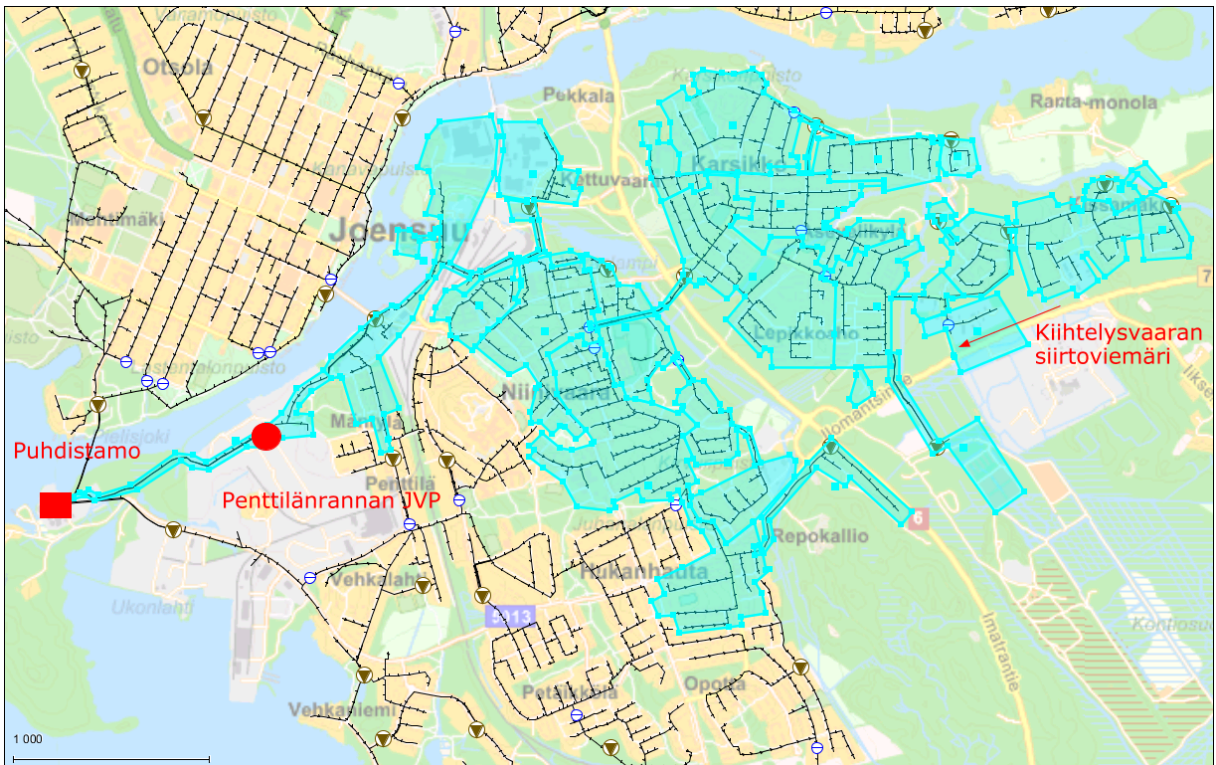
Kuva 6. Alueet joiden jätevedet johdetaan puhdistamolle Kuhasalontien jätevedenpumppaamon kautta.

Kuhasalontien jätevedenpumppaamon keskimääräinen virtaama on n. 3550 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama on n. 8480 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama on n. 2800 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on yli kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmissa ei ole huomioitu maaliskuun lopun virheellisiä virtaamatietoja. Kuvassa 7 on esitetty Kuhasalon jätevedenpumppaamon virtaamat vuodelta 2013.



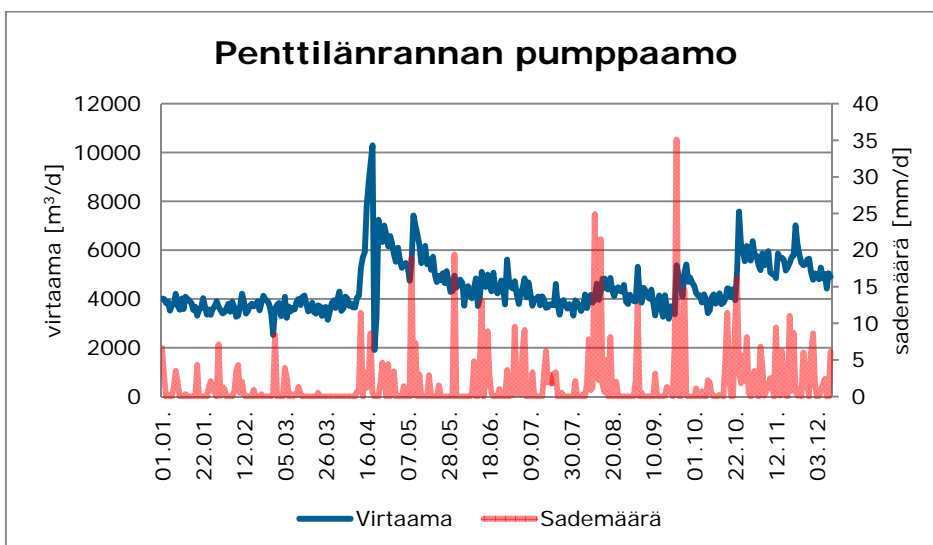
Kuva 7. Kuhasalontien pumppaamon virtaamat vuodelta 2013.

Penttilän, Niinivaaran, Sirkkalan ja Hukanhaudan kaupunginosista sekä Kiihtelysvaaran siirtoviemäristä tulevat jätevedet johdetaan kuvan 8 mukaisesti Penttilänrannan jätevedenpumppaamon kautta Kuhasalon jäteveden puhdistamolle. Pumppaamo on valmistunut vuonna 2013. Betonirakenteinen pumppaamo on varustettu maanpäällisellä huoltorakennuksella. Pumppaamossa on erillinen imuallas ja neljä kuiva-asenteista uppopumppua.



Kuva 8. Alueet joiden jätevedet johdetaan puhdistamolle Penttilänrannan jätevedenpumppaamon kautta.

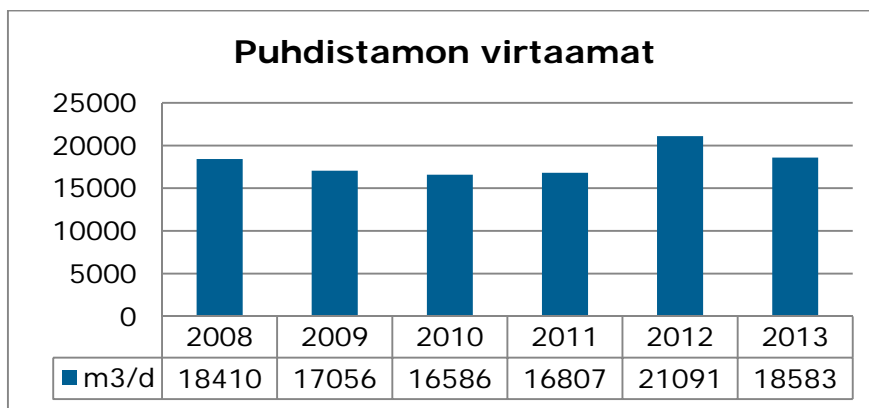
Penttilänrannan jätevedenpumppaamon keskimääräinen virtaama on n. 4480 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama on n. 10290 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama on n. 3500 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmissa ei ole huomioitu huhtikuun lopun virheellisiä virtaamatietoja. Kuvassa 9 on esitetty Penttilänrannan jätevedenpumppaamon virtaamat vuodelta 2013.



Kuva 9. Penttilänrannan pumppaamon virtaamat vuodelta 2013.

4.4 Puhdistamo

Joensuun Kuhasalon jätevedenpuhdistamo on otettu käyttöön 1975. Laitosta on laajennettu vuonna 1987. Puhdistamossa käsitellään kaikki Joensuun viemäriverkoston jätevedet lukuun ottamatta Tuupovaaran, Enon ja Hammaslahden taajamia. Lisäksi puhdistamolle johdetaan Liperin, Polvijärven ja Kontiolahden sekä Onttolan ja Kulhon vesiosuuskuntien jätevedet. Puhdistamon jätevesimäärän mitoitusarvo on 20000 m³/d. Puhdistamolle tulevat keskimääräiset vuorokausivirtaamat vuosilta 2008 - 2013 on esitetty kuvassa 10. (Joensuun Vesi 2015; Kakkonen P 2013, s. 2 - 4)



Kuva 10. Puhdistamon keskimääräiset vuorokausivirtaamat.

Jätevesien käsittely toteutetaan Kuhasalon jätevedenpuhdistamolla kaksilinjaisena lukuun ottamatta jälkiselkeytystä. Puhdistusprosessi käsittää mekaanisen esikäsittelyn, biologisen puhdistuksen ja kemiallisen jälkisaostuksen. Saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia kaksipistesyöttönä ja tarvittaessa jälkisaostukseen ALF-30-kemikalia sekä kalkkia pH:n säätelyyn. Huippuvirtaamien aikana syötetään polymeeria väli- ja jälkiselkeytykseen, lietteen kuivauksen ja selkeytyksen tehostamiseksi. Puhdistamon toimintaa ohjataan ja valvotaan automaatiojärjestelmällä. Lietteenkäsittely sisältää lietteen tiivistyksen, mädätyksen, koneellinen kuivauksen ja kompostoinnin sekä termisen kuivauksen. (Kakkonen P 2013, s. 1 - 2)

Keväällä sulamisvesien aikaan puhdistamolle tuleva huippuvirtaama oli vuonna 2013 yli kaksinkertainen keskitalven minimivirtaamaan verrattuna. Siitä ja runsaista sateista aiheutui 20 mitoitusvirtaaman ylitystä, jotka johtivat puhdistamon biologisen osan ohittamiseen puhdistusprosessin suojaamiseksi. Jätevesille suoritetaan ohitustilanteessa vain mekaaninen esikäsittely ja kemiallinen jälkiselkeytys. Biologisen prosessin ohitus aiheuttaa lisäkuormitusta purkuvesistölle. (Kakkonen P 2013, s. 1 - 2)

4.5 Tutkimusmenetelmä

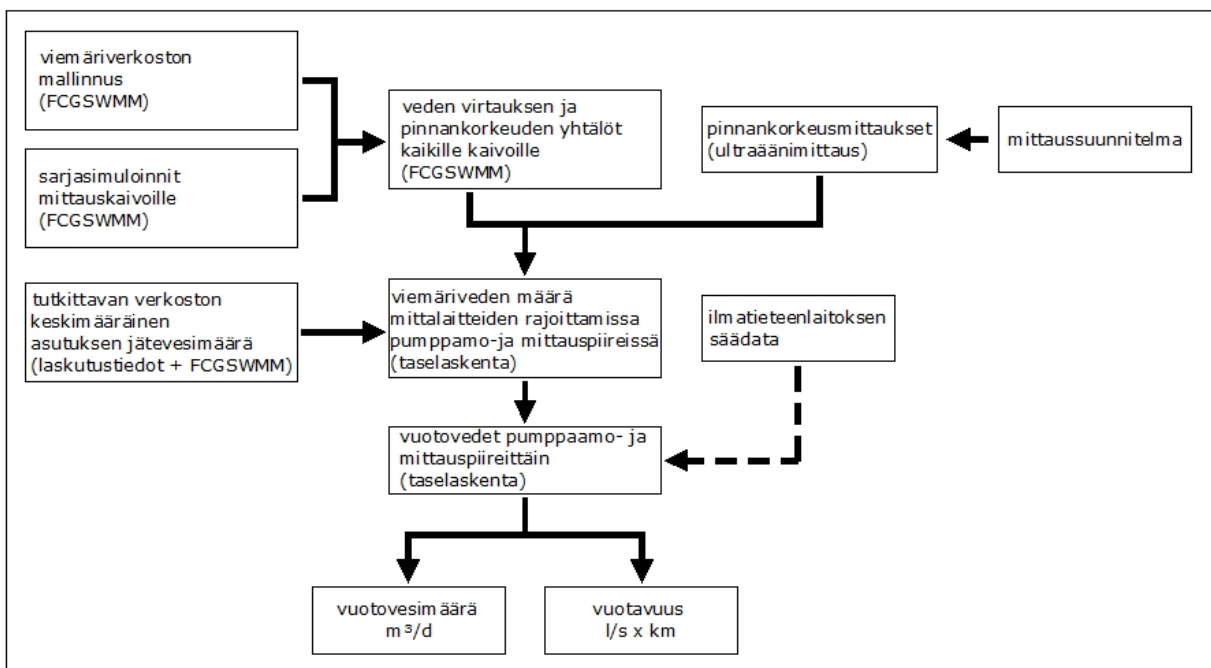
Mallinnukseen käytettävä FCG:n kehittämä FCG SWMM – verkostomallinnussovellus perustuu Yhdysvaltain ympäristöhallinnon avoimen lähdekoodin EPA SWMM – viemäriverkosto simulaattoriin. Pumppaamoiden automaatiotietojen tarkastelu suoritetaan FCG:n tietojen katseluun ja analysointiin kehittämällä Sahti-ohjelmalla, jolla erilaisista mittaustuloksista koostuvat automaatiotiedot saadaan yhteismitallistettua.

Kantakaupungin viemäriverkostosta on laadittu kattava verkostomalli. Malliin on rakennettu jätevesiviemäriverkosto, ilman tonttijohtoja, korko- ja kokotietoineen. Verkostoa on yksinkertaistettu poistamalla siitä lyhyet muutaman metrin pituiset putkiosuudet, jotka hidastaisivat tarpeettomasti mallin laskentaa. Verkostossa oleville pumppaamoille on syötetty pumppu- ja hyötysuhdekäyrät sekä säiliön koko- ja korkotiedot. Kulutusposteittain saadut vedenkulutus-tiedot on kohdennettu oikeisiin osoitteisiin. Siirtoviemärien kautta tulevat virtaamat on lisätty oikeisiin verkostokohtiin.

Mallinnukseen on hankittu lisää lähtöaineistoa 49 tarkastuskaivosta suoritettujen virtaamamittausten avulla. Virtaamamittauskaivot on sijoitettu siten, että virtaamatietoa olisi saatavissa mahdollisimman kattavasti koko verkoston alueelta. Virtaamamittaukset on suoritettu Sonic-Sense - ultraäänimittarilla, joka on asennettu mittauskohteeksi valittuun tarkastuskaivoon vähintään vuorokauden ajaksi. Mittalaite mittaa tarkastuskaivon vedenkorkeuden viidentoista minuutin välein ja lähettää korkeustiedot kerran vuorokaudessa televerkon välityksellä mittajaan tietokoneelle. Mallinnusohjelmalla lasketaan vedenkorkeusarvoja vastaavat virtaamavertot, jotka tarkentavat mallinnuksesta saatavia tuloksia.

Viemäriverkosto on jaettu mallinnuksessa pumppaamoiden ja mittauskaivojen rajaamiin pumppaamopiireihin. Piiriin kuuluu pumppaamon tai mittauskaivon yläpuolinen viemäriverkosto edeltävään pumppaamoon tai mittauskaivoon saakka. Mallinnuslaskennat on suoritettu kullekin pumppaamopiirille erikseen. Pumppaamopiirikohtainen vuotovesimäärä saadaan kun jätevedenpumppaamon kautta kulkevasta viemäri-vesimäärästä vähennetään yläpuolisista pumppaamopiireistä tuleva vesimäärä ja pumppaamopiirikohtainen asutuksen vesimäärä. Erotukseksi jäävä lukuarvo osoittaa pumppaamopiirikohtaisen vuotovesimäärän. Vuotavuus on saatu selville jakamalla vuotovesimäärä pumppaamopiirin verkostopituudella. Vuotavuuden yksikkönä on käytetty l/s x km.

Laskennat on suoritettu kokovuodelle sekä vuodenajoittain määritellylle viikon pituiselle laskentajaksole. Kokovuoden laskentajakso on hieman kalenterivuotta lyhyempi, 344 vuorokautta, koska pumppaamoilta saadut lähtötiedot ulottuivat joulukuun puoleen väliin saakka. Jaksojen ajankohta on valittu siten, että ne vastaavat parhaiten vuodenajasta viemäriverkostolle kohdistuvia erityispiirteitä. Kevään laskentajakso on sijoitettu ajankohtaan, jossa virtaamat ovat suurimmat lumen sulamisen vuoksi. Jakso on sijoitettu viikkoon 16, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja keskimääräinen sademäärä 2,3 mm. Lämpötilan nousu nollan yläpuolelle nopeutti lumen sulamista ja lumipeite aleni viikon 16 aikana 25 cm. Kesän tarkastelujakso on sijoitettu mahdollisimman kuivaan kauteen viikolle 31, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli $18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja keskimääräinen sademäärä 0,3 mm. Syksyn laskentajakso on sijoitettu sateiseen ajankohtaan viikkoon 43, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja keskimääräinen sademäärä 5,6 mm. Talven laskentajakso on pyritty kesän laskentajakson tapaan sijoittamaan mahdollisimman kuivaan ajanjaksoon. Laskentajakso on sijoitettu viikkoon 12, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli $-8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja keskimääräinen sademäärä 0,1 mm. Tutkimusmenetelmä noudattaa oheista kuvan 11 mukaista kaaviota.



Kuva 11. Vuotovesiselvityksen menetelmäkuvaus. (Smolander A 2014, s 1)

4.6 Vuotovesimäärät ja vuotavuus pumppaamopiireittäin

Vuotovesimäärät ja vuotavuudet on laskettu jaksoittain kaikille pumppaamopiireille. Saatujen tulosten perusteella 22 pumppaamopiiriä jouduttiin hylkäämään lähtöarvoissa olleiden virheiden vuoksi. Jäljelle jääneistä 52 pumppaamopiiristä valittiin tarkastelukohteiksi ne piirit, joiden keskimääräinen vuotuinen tai keväinen vuotovesimäärä tai vuotavuus ylitti valitut raja-arvot. Raja-arvoksi määriteltiin vuotovesimäärän osalta $100 \text{ m}^3/\text{d}$, joka on noin 50 prosenttia pumppaamopiireissä muodostuvasta keskimääräisestä vuotovesimäärästä. Suomen kuntatekniikan yhdistyksen mukaan viemäriverkoston sallittu vuotavuuden arvo on $0,3 - 0,6 \text{ l/s} \times \text{km}$ (Karttunen & Tuhkanen 2004, s. 467). Vuotavuuden osalta raja-arvoksi valittiin sallitun vuotavuuden keskimääräinen lukuarvo $0,45 \text{ l/s} \times \text{km}$. Raja-arvojen ylittäviä pumppaamopiirejä oli 18 kappaletta. Lisäksi tarkasteltiin vain kevään laskentajaksolla raja-arvot ylittäviä pumppaamopiirejä, joita löytyi 10 kappaletta. Taulukossa 1 on esitetty koko vuoden ajalta ja taulukossa 2 vain kevään laskentajakson aikana raja-arvot ylittävät pumppaamopiirit vuotovesimäärän mukaisessa suuruusjärjestyksessä.

Taulukko 1. Vuotavimmat pumppaamopiirit koko vuoden ajalta.

alue	pinta-ala	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
25_Kuhasalontie		629 m^3/d	2236 m^3/d	1607 m^3/d	1,46 $\text{l/s} \times \text{km}$
2_Rantapuisto		877 m^3/d	2450 m^3/d	1573 m^3/d	2,28 $\text{l/s} \times \text{km}$
1_Hasaniemi		882 m^3/d	2119 m^3/d	1237 m^3/d	0,92 $\text{l/s} \times \text{km}$
8_Aavaranta		1802 m^3/d	2680 m^3/d	878 m^3/d	0,57 $\text{l/s} \times \text{km}$
15_Sortavalankatu		1123 m^3/d	1870 m^3/d	747 m^3/d	11,06 $\text{l/s} \times \text{km}$
102_Penttilänranta		0,1 m^3/d	734,8 m^3/d	734,7 m^3/d	4,8 $\text{l/s} \times \text{km}$
5_Pohjolankatu		466 m^3/d	1100 m^3/d	634 m^3/d	0,53 $\text{l/s} \times \text{km}$
14_Walhforssinkatu		1660 m^3/d	2280 m^3/d	620 m^3/d	1,35 $\text{l/s} \times \text{km}$
9_Suokukonkatu		376 m^3/d	622 m^3/d	246 m^3/d	0,17 $\text{l/s} \times \text{km}$
54_Viertolankatu		32 m^3/d	158 m^3/d	126 m^3/d	1,2 $\text{l/s} \times \text{km}$
58_Helinentie		680 m^3/d	792 m^3/d	112 m^3/d	0,48 $\text{l/s} \times \text{km}$
42_Peltolankatu		40 m^3/d	99 m^3/d	59 m^3/d	0,93 $\text{l/s} \times \text{km}$
55_Vehkakuja		10 m^3/d	53 m^3/d	43 m^3/d	0,61 $\text{l/s} \times \text{km}$
29_Koppola		31 m^3/d	51 m^3/d	20 m^3/d	2,29 $\text{l/s} \times \text{km}$
56_Tiaisenkatu		2 m^3/d	19 m^3/d	17 m^3/d	0,94 $\text{l/s} \times \text{km}$
48_Kokkomäentie		6 m^3/d	18 m^3/d	12 m^3/d	1,76 $\text{l/s} \times \text{km}$
67_Patapuronkatu		9 m^3/d	19 m^3/d	10 m^3/d	0,72 $\text{l/s} \times \text{km}$
41_Ojalehdontie		4 m^3/d	7 m^3/d	3 m^3/d	1,4 $\text{l/s} \times \text{km}$

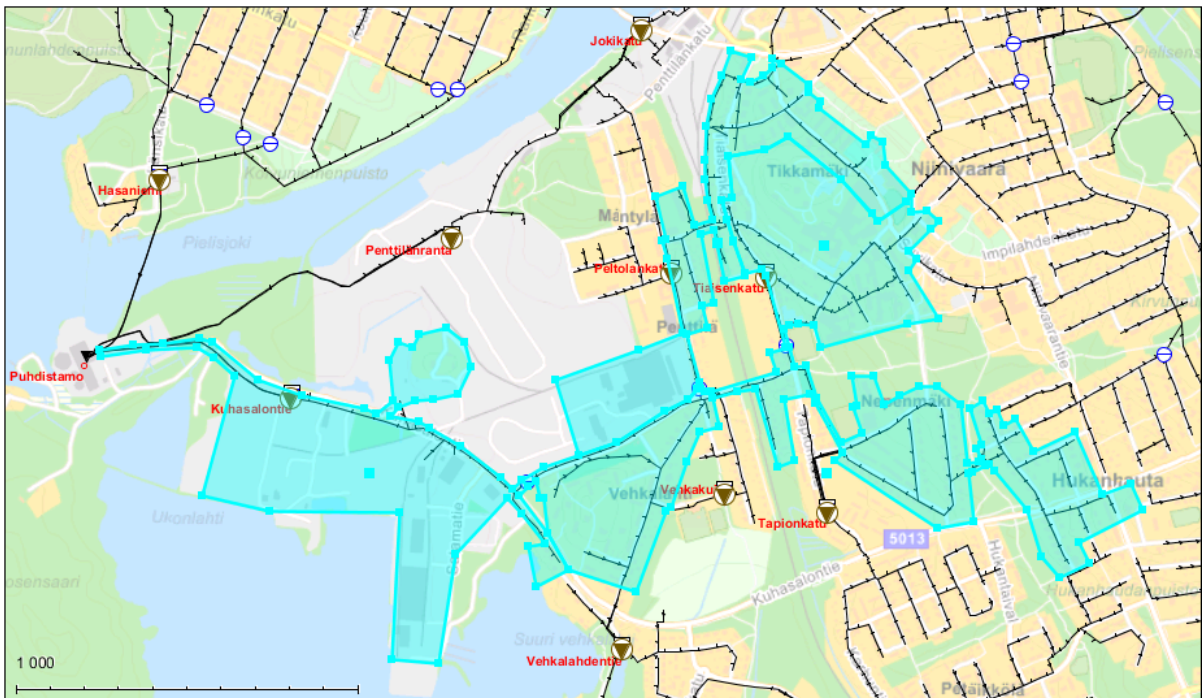
Taulukko 2. Vuotavimmat pumppaamopiirit kevään laskentajakson ajalta.

alue	pinta-ala	vedenkulutus	viemärivesimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
11_Sariola		179 m ³ /d	554 m ³ /d	375 m ³ /d	0,95 l/s x km
23_Kuurnankatu		33 m ³ /d	360 m ³ /d	327 m ³ /d	1,48 l/s x km
37_Ruuhitie		87 m ³ /d	266 m ³ /d	179 m ³ /d	1,06 l/s x km
19_Venetie		147 m ³ /d	318 m ³ /d	171 m ³ /d	0,57 l/s x km
28_Varaslampi		76 m ³ /d	234 m ³ /d	159 m ³ /d	0,4 l/s x km
32_Vanamokatu		72 m ³ /d	230 m ³ /d	158 m ³ /d	0,68 l/s x km
36_Yliopistonkatu		88 m ³ /d	197 m ³ /d	109 m ³ /d	0,36 l/s x km
10_Niskakatu		114 m ³ /d	216 m ³ /d	102 m ³ /d	0,29 l/s x km
20_Paimenpojantie		23 m ³ /d	124 m ³ /d	100 m ³ /d	0,79 l/s x km
101_Repokallio		3 m ³ /d	41 m ³ /d	38 m ³ /d	0,66 l/s x km
46_Jyskykuja		9 m ³ /d	16 m ³ /d	7 m ³ /d	0,61 l/s x km

Vuotavimmat pumppaamopiirit on käyty läpi yksitellen. Niistä on pyritty selvittämään mahdolliset erityispiirteet, jotka aiheuttavat vuotoveden muodostumista, kuten sekaviemäroidyt alueet ja vanhat betoniviemäriosoudet. Vuotovesimäärän jakautuminen on pyritty selvittämään virtaamamittaustulosten perusteella. Pumppaamopiirin virtaamamittauksiin perustuvaa, taselaskelmilla saatua, vuotovesimäärää on verrattu saman ajankohdan pumppaamopiirin vuotovesimäärään. Saadun prosenttiosuuden perusteella on saatu arvioitua virtaamamittauspiirin vuotovesimäärää. Sen jakautumien ja havaittujen vuotokohteiden sijainti on esitetty karttapohjaisesti.

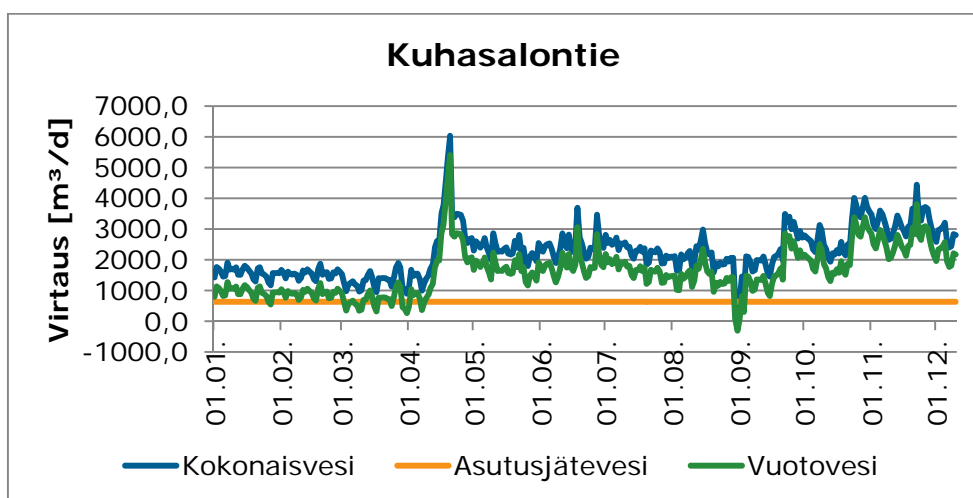
Kuhasalontie

Kuhasalontien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 16 mukaisesti Penttilän, Hukanhaudan ja Niinivaaran kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan vaihtelevan ja Pyhäselän rantaan rajoittuvan alueen rakennuskanta koostuu pääosin omakoti- ja kerrostaloista. Alueella on myös muutamia teollisuuslaitoksia, Pohjois-Karjalan keskussairaala sekä Penttilän maisemamäen suotovesipumppaamo. Viemäriverkoston kokonaispituus on 12,7 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980-luvulla betoni- ja muoviputkista. Betoniviemäreitä on käytetty rata-phan alituksessa, Vehkalahdentien omakoti- ja kerrostaloalueella sekä Nädänkadun ja Niinivaarantien välisellä omakotitaloalueella. Vanhimmat betoniviemärit on rakennettu 1950-luvulla Nädänkadun ja Niinivaarantien väliselle omakotitaloalueelle. Viemärit toimivat sekaviemäreinä. Alueen jätevedenpumppaamo on rakennettu betonista ja siinä on kolme oppopumppua.



Kuva 16. Kuhasalontien pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama oli vuonna 2013 $2200 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $6000 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $1300 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes viisinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 17 on esitetty Kuhasalontien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 17. Kuhasalon pumppaamopiirin vesitase.

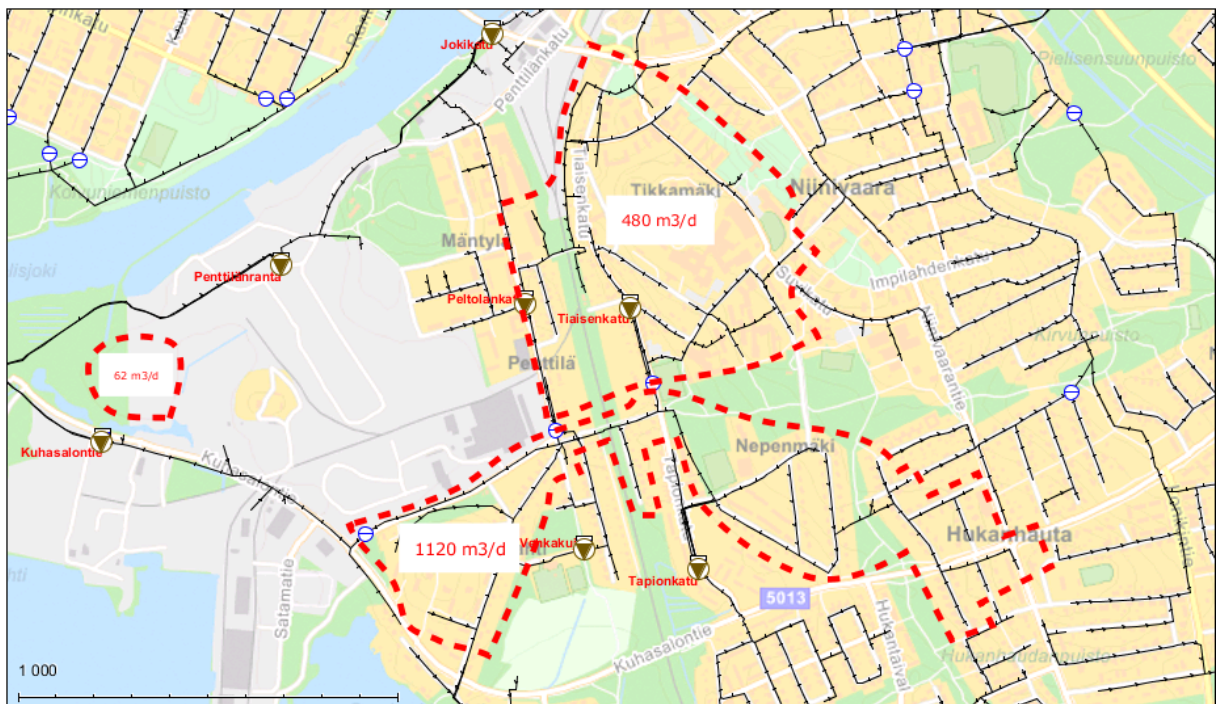
Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $3549 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $3,23 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 717

m^3/d ja vuotavuus $0,65 \text{ l/s} \times \text{km}$. Alueelta muodostuvan vuotoveden tulo on keskittynyt sulaan vuodenaikaan. Pumppaamopiirissä suoritettiin virtaamamittauksia Pyhäselänkadulla, Peltolankadulla ja Tapionkadulla olevista kaivoista. Mittaukset suoritettiin huhtikuun ja marraskuun välisenä aikana. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat $1,1 - 4,90 \text{ l/s} \times \text{km}$ taulukon 4 mukaisesti. Penttilän maisemamäen suotovesipumppaamolta tulee vuotovettä verkostoon keskimäärin $62 \text{ m}^3/\text{d}$.

Taulukko 4. Kuhasalon mittaustiirin vuotavuus.

pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemärivesimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
20-21.4.2013	4883	Pyhäselänkatu	517 m^3/d	5376 m^3/d	4859 m^3/d	4,9 $\text{l/s} \times \text{km}$
10-11.7.2013	4883	Pyhäselänkatu	517 m^3/d	3461 m^3/d	2994 m^3/d	2,97 $\text{l/s} \times \text{km}$
22-23.4.2013	3353	Peltolankatu	318 m^3/d	874 m^3/d	556 m^3/d	2,19 $\text{l/s} \times \text{km}$
9-10.7.2013	3353	Peltolankatu	318 m^3/d	597 m^3/d	279 m^3/d	1,1 $\text{l/s} \times \text{km}$
23-24.4.2013	6335	Tapionkatu	95 m^3/d	381 m^3/d	286 m^3/d	1,6 $\text{l/s} \times \text{km}$
8-9.7.2013	6335	Tapionkatu	95 m^3/d	438 m^3/d	343 m^3/d	1,92 $\text{l/s} \times \text{km}$
31.12.2012-11.12.2013		Suotovesipumppaamo			62 m^3/d	

Kuhasalontien pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin $1600 \text{ m}^3/\text{d}$. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella alueen vuotovedet muodostuvat pääosin Pyhäselänkadun mittauskaivon yläpuoliselta alueelta ja jakautuvat kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 18. Vuotovesimäärän jakautuminen Kuhasalontien pumppaamopiirissä.

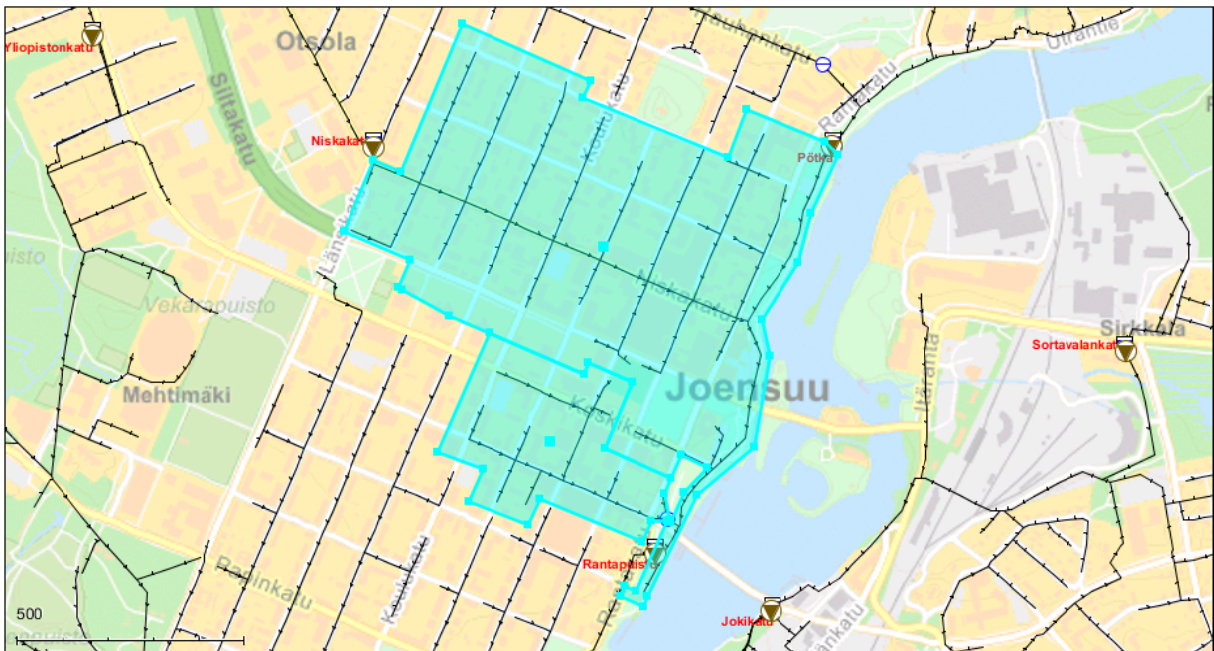
Pumppaamopiirin alueella vuotokohteita ovat Nädänkadun ja Niinivaarantien välisellä alueella olevat kuvassa 19 esitetyt sekaviemärit. Muita mahdollisia vuotokohteita ovat jätevesiviemäriin tonteilta tehdyt hulevesiliitokset.



Kuva 19. Kuusalontien pumppaamopiiriin mahdolliset vuotokohteet.

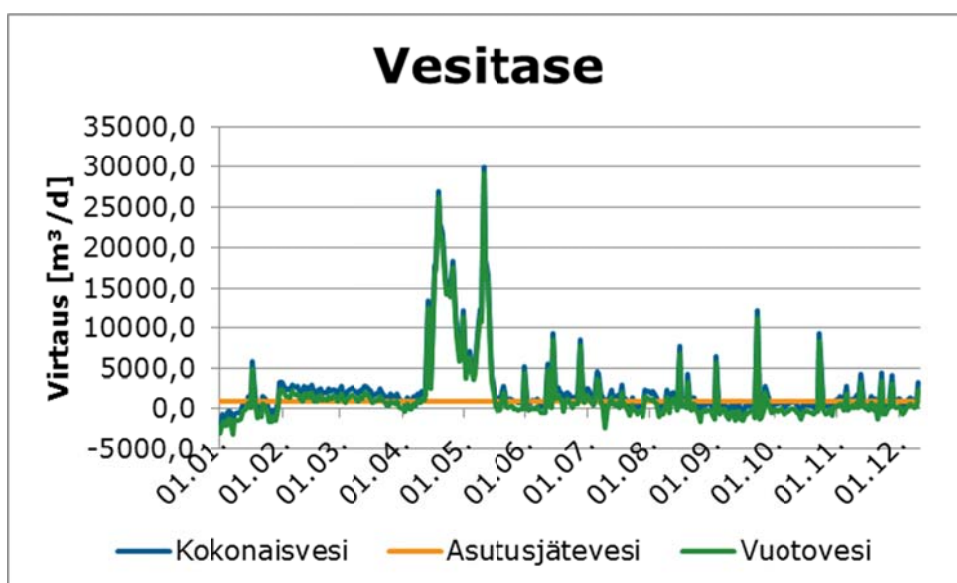
Rantapuisto

Rantapuiston pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 12 mukaisesti I-, II- ja III- kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan tasaisen, Pielisjokeen rajoittuvan alueen rakennuskanta koostuu pääasiassa kerrostaloista sekä liike- ja toimistorakennuksista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 8 km ja se on rakennettu pääosin 1970-luvulla betoni- ja muoviputkista. Vanhimmat johto-osuudet ovat 1950-luvulta. Osa alueen viemäreistä toimii sekaviemäreinä. Verkostoa on saneerattu 1980- ja 2000-luvuilla. Rantapuiston betonirakenteisessa erillisellä imualtaalla varustetussa jätevedenpumppaamossa on kolme kuivaan tilaan asennettua pumppua.



Kuva 12. Rantapuiston pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $2450 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ ja kesän aikaan mitattu minimivirtaama oli $2000 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on viisitoistakertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 13 on esitetty Rantapuiston pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013. Rantapuiston pumppaamon pumpit käyvät jatkuvasti vaihtelevalla tuotolla. Käyntiajoista lasketut virtaamat ovat epätarkkoja.



Kuva 13. Rantapuiston pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 18400 m³/d ja vuotavuus 26,1 l/s x km. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 1200 m³/d ja vuotavuus 1,67 l/s x km. Pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä merkittävä määrä ympäri vuoden. Vuotovesimäärät ovat erittäin suuria lumen sulamisen loppuvaiheessa. Virtaamamittauksia suoritettiin toukokuussa sekä syys- ja lokakuun vaihteessa Suvantosillan keskustanpuoleisessa pengerialueella olevasta kaivosta. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat taulukon 3 mukaisesti 3,76 - 6,56 l/s x km.

Taulukko 3. Rantakadun mittausspiirin vuotavuus.

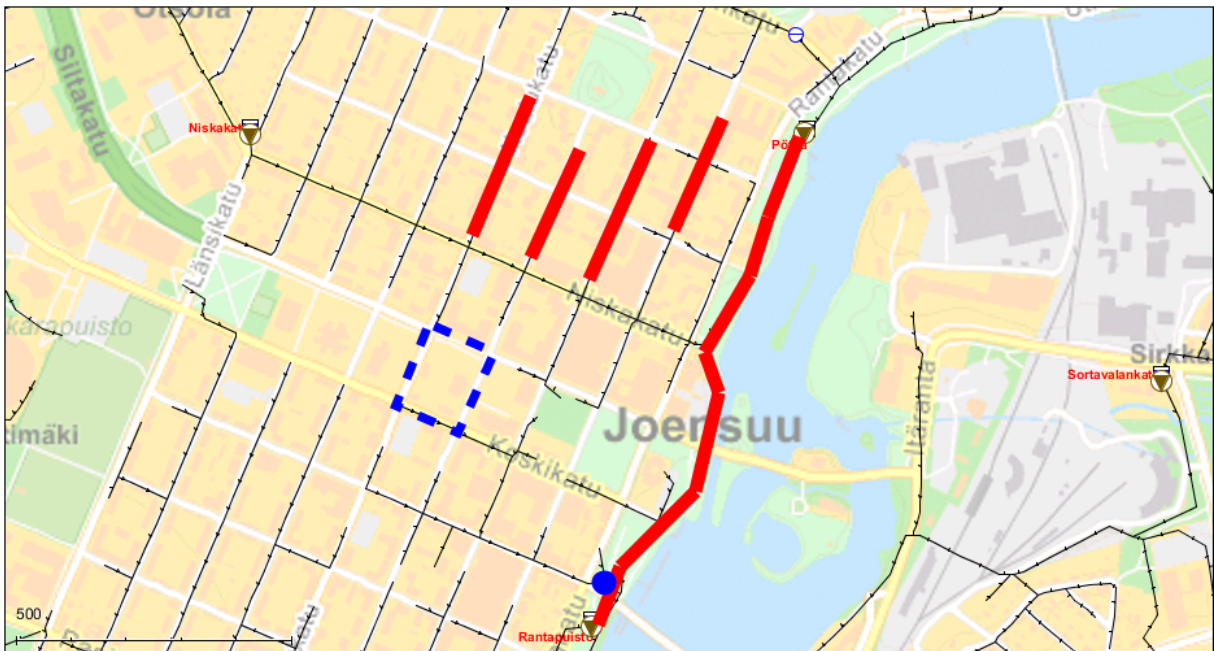
pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäri vesimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
20-21.5.2013	2898	Suvantosillan pengerialue	175 m ³ /d	647 m ³ /d	472 m ³ /d	3,76 l/s x km
27.9-1.10.2013	2898	Suvantosillan pengerialue	175 m ³ /d	999 m ³ /d	824 m ³ /d	6,56 l/s x km

Rantapuiston pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin 1570 m³/d. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella alueen vuotovesistä 580 m³/d muodostuu mittausspiirin yläpuoliselta alueelta. Suurin osa 990 m³/d alueen vuotovesistä muodostuu kuvaan 14 rajatulta alueelta.



Kuva 14. Vuotovesimäärien jakautuminen Rantapuiston pumppaamopiirin alueella.

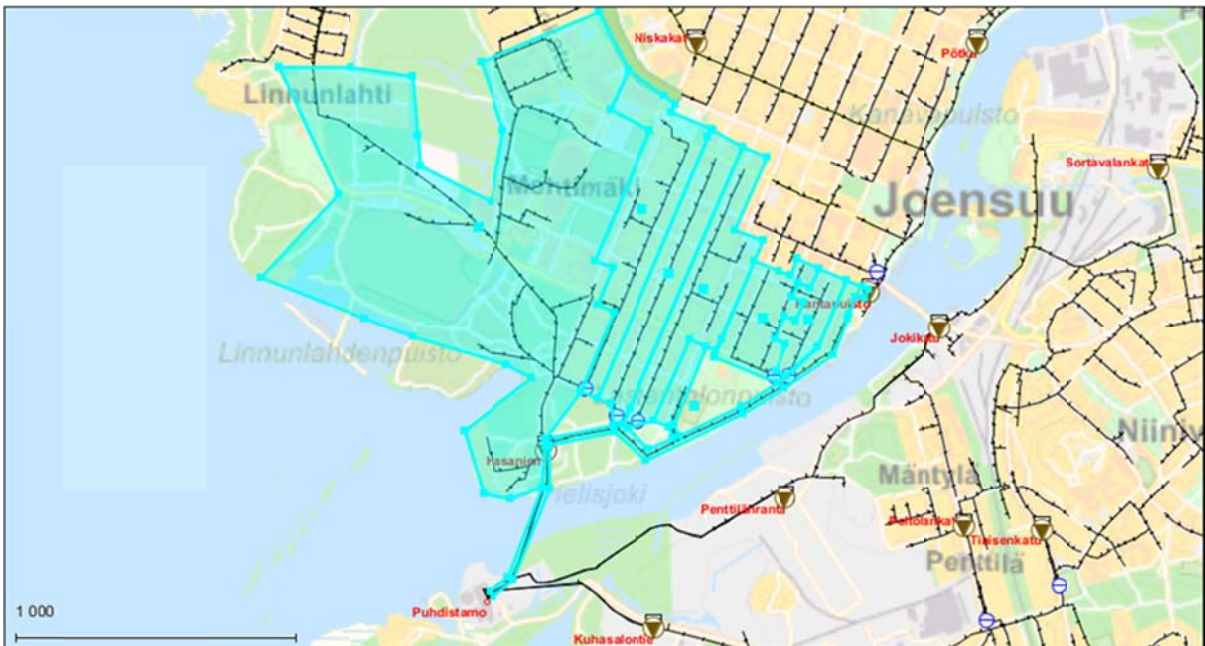
Pumppaamopiirin vuotokohteita ovat taidemuseon kortteli, jonka hulevesiviemärointi on liitetty jätevesiviemäriin sekä alueelta maastokäynnillä löytynyt painanteessa oleva tarkastuskaivo. Muita mahdollisia vuotokohteita ovat kuvassa 15 esitetyt Koulukadun, Kirkkokadun, Kauppakadun ja Torikadun sekaviemäröidyt katuosuudet sekä Pielisjoen rantaa myötäilevä betoniputkista rakennettu runkoviemäri.



Kuva 15. Rantapuiston pumppaamopiiri vuotokohteita.

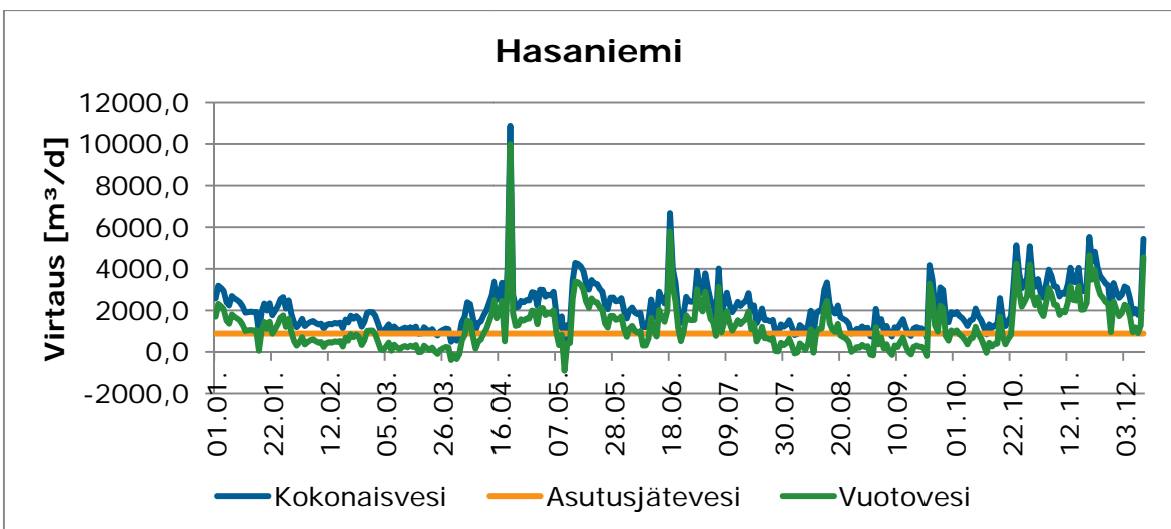
Hasaniemi

Hasaniemen pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 20 mukaisesti Linnunlahden sekä III- ja IV-kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu pääosin kerrostaloista, toimisto- ja liikerakennuksista sekä Linnunlahden puolella olevasta omakotitaloalueesta. Viemäriverkoston kokonaispituus on 15,5 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970 ja 1990-luvulla betoni- ja muoviputkista. Alueelle on rakennettu uutta verkostoa 2010-luvulla. Noljakan suunnasta tulevaa betonista runkoviemäriä ja Mehtimäen alueen viemäriverkostoa on saneerattu sujuttamalla. Alueen 1990-luvulla saneeratussa, maanpäällisellä huoltorakennuksella varustetussa, betonirakenteisessa jätevedenpumppaamossa on kuusi uppopumppua.



Kuva 20. Hasaniemen pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $2120 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $10870 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $980 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on yli yksitoistakertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 21 on esitetty Hasaniemen pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 21. Hasaniemen pumppaamopiirin vesitase.

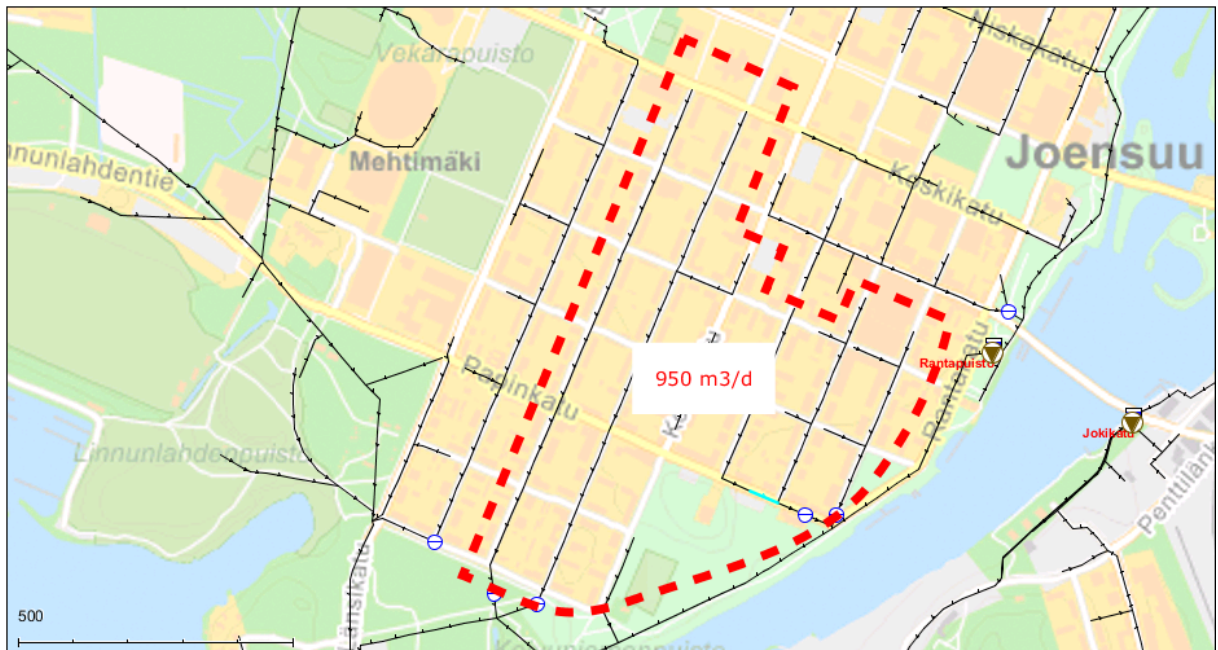
Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $3068 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $2,29 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $105 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,08 \text{ l/s} \times \text{km}$. Vuotovettä muodostuu keväällä lumen sulamisen sekä kesällä ja syksyllä sateisien jaksojen yhteydessä. Talvella alueella ei muodostu vuotovettä. Pump-

paamopiirissä suoritettiin virtaamamittauksia Torikadulla, Papinkadulla, Kalevankadulla, Merimiehenkadulla ja Eteläkadulla olevista kaivoista. Mittaukset suoritettiin touko- ja lokakuun välisenä aikana. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat 0,08 – 4,90 l/s x km taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. Hasaniemen mittausspiirien vuotavuus.

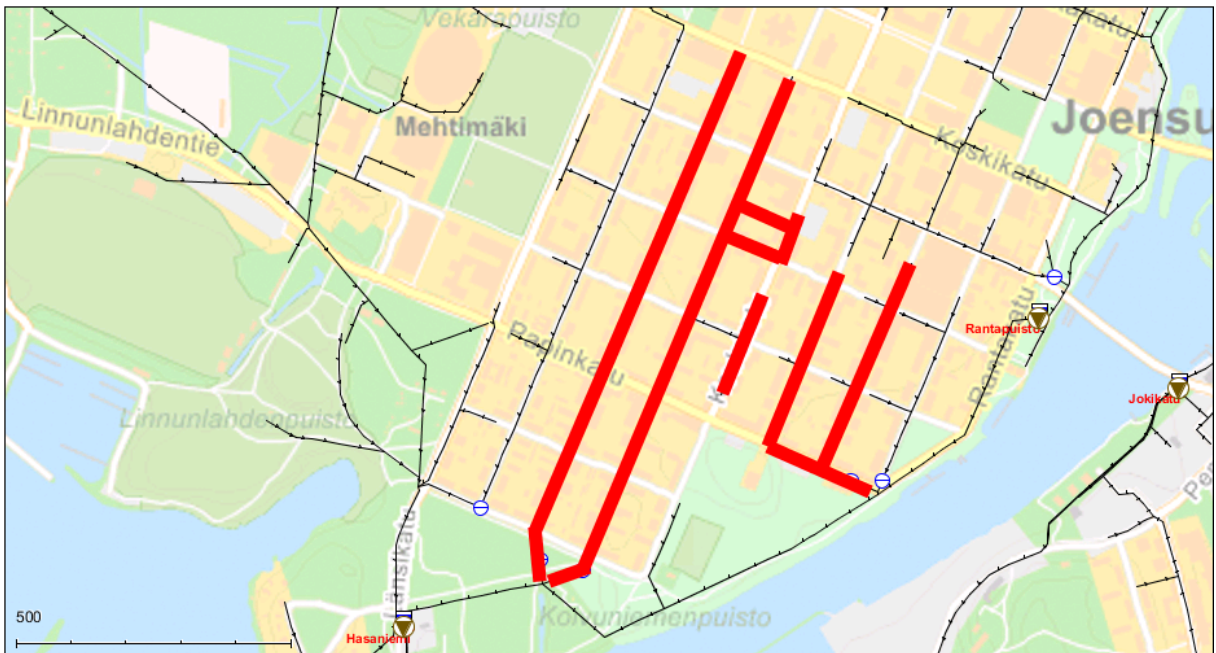
pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemärivesimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
21-22.5.2013	T1	Torikatu	49 m ³ /d	53 m ³ /d	4 m ³ /d	0,08 l/s x km
3-9.10.2013	T1	Torikatu	49 m ³ /d	82 m ³ /d	33 m ³ /d	0,71 l/s x km
22-23.5.2013	5483	Papinkatu	115 m ³ /d	401 m ³ /d	286 m ³ /d	3,12 l/s x km
24-26.9.2013	5483	Papinkatu	115 m ³ /d	260 m ³ /d	145 m ³ /d	1,58 l/s x km
24-26.5.2013	7639	Merimiehenkatu	109 m ³ /d	504 m ³ /d	395 m ³ /d	4,61 l/s x km
20-21.9.2013	7639	Merimiehenkatu	109 m ³ /d	200 m ³ /d	91 m ³ /d	1,06 l/s x km
26-27.5.2013	5330	Kalevankatu	176 m ³ /d	621 m ³ /d	445 m ³ /d	3,64 l/s x km

Hasaniemen pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin 1240 m³/d. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella alueen vuotovesistä muodostuu keskimäärin 950 m³/d kuvassa 22 esitetyllä mittausspiirien yläpuoliselta alueelta.



Kuva 22. Mittausspiirien vuotovesimäärä.

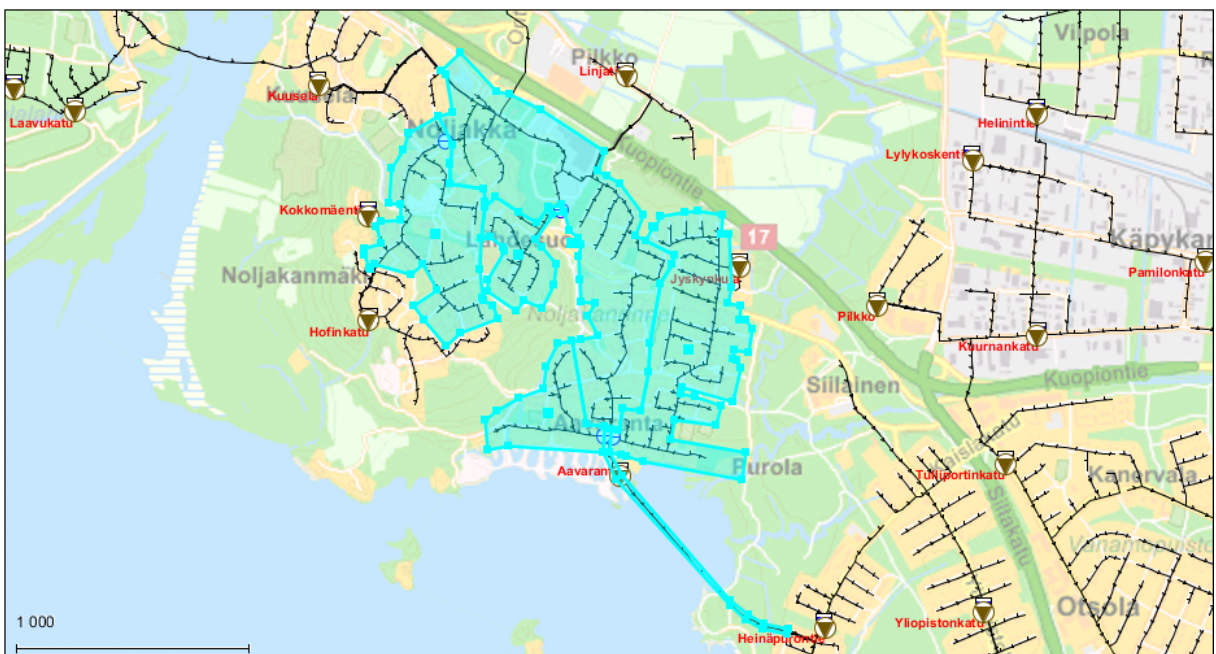
Alueen mahdollisia vuotokohteita ovat vuotovesien muodostumisajankohdan perusteella pääosin tonteilta jätevesiviemäriin tehdyt hulevesiliitokset. Kuvassa 23 esitettyjä 1970-luvulla betoniputkista rakennettuja viemäriinjoja sekä Pielisjoen rantaa myötäilevää, 1960-luvulla betoniputkista rakennettua, runkoviemäriä voidaan pitää lisäksi mahdollisina Hasaniemen pumppaamopiirin vuotokohteina.



Kuva 23. Mittauspiirien vuotokohteet.

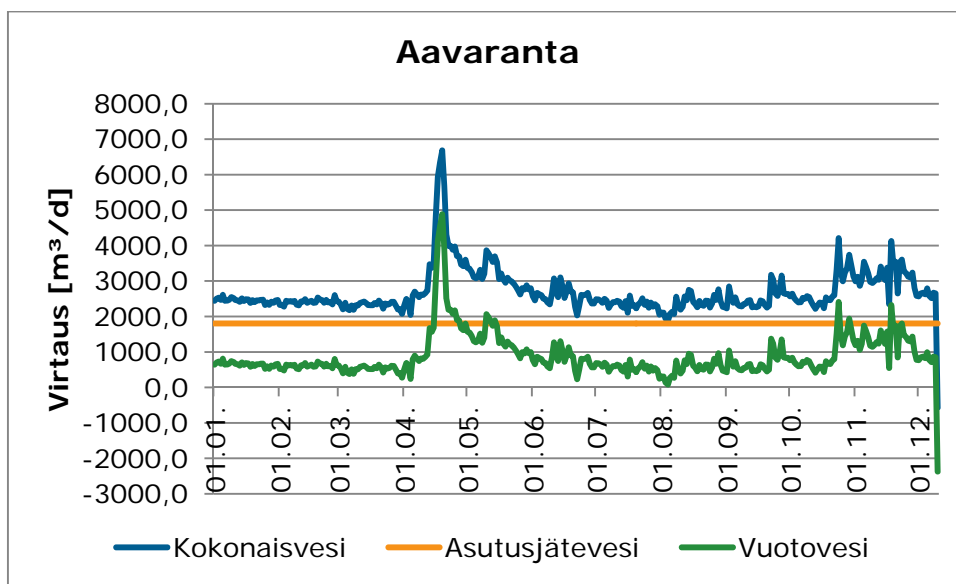
Aavaranta

Aavarannan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 24 mukaisesti Noljakan kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan vaihtelevan alueen rakennuskanta koostuu omakoti-, rivi- ja kerrostaloista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 17,6 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980-luvulla muovi- ja betoniputkista. Siilaisentien ja Koivikkorannantien varressa oleva viemäri on rakennettu betoniputkista. Aavarannan betonista rakennettu jätevedenpumppaamo on varustettu kolmella uoppopumpulla.



Kuva 24. Aavarannan pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 2680 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 6690 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 2350 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmista on poistettu tarkastelujakson lopussa oleva virheellinen virtaamatieto. Kuvassa 25 on esitetty Aavarannan pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



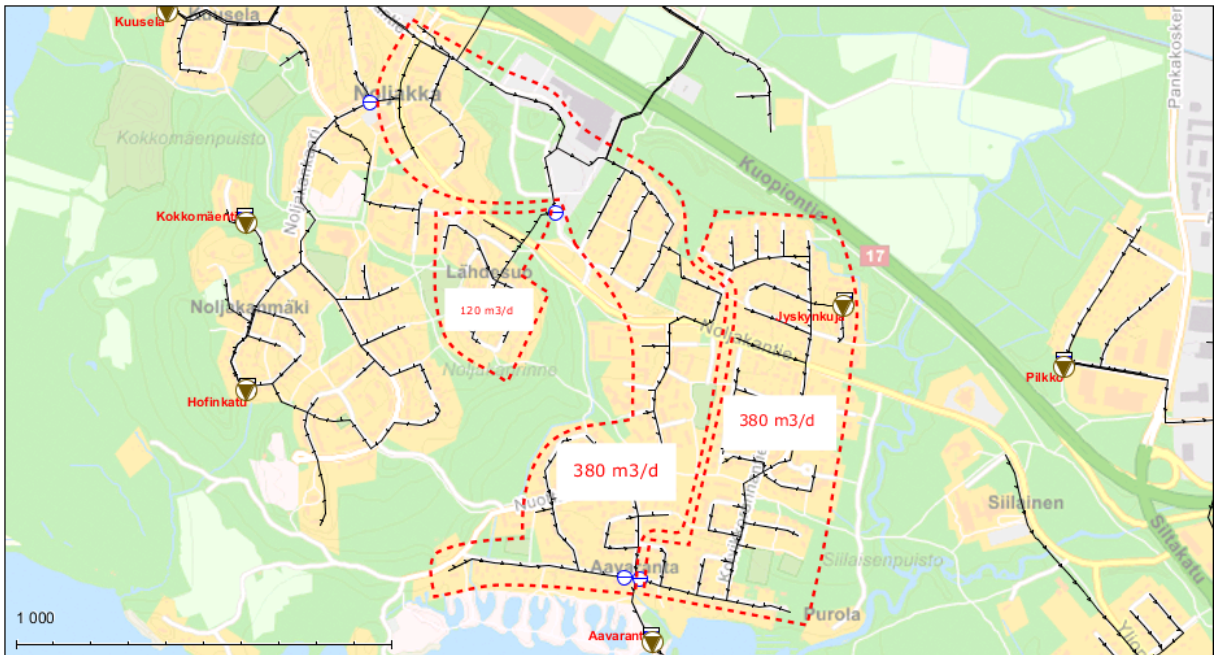
Kuva 25. Aavarannan pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 3521 m³/d ja vuotavuus 2,32 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 549 m³/d ja vuotavuus 0,36 l/s x km. Pumppaamopiirin alueella vuotavuus ei ole ympärivuotista. Vuotovettä muodostuu keväällä lumen sulamisen sekä kesällä ja syksyllä sadepäivien yhteydessä. Alueen virtaamamittauskaivot oli sijoitettu Noljakankaarelle, Lehtipojantielle ja Saratielle. Mittaukset suoritettiin kesäkuun ja lokakuun välisenä aikana. Mittaustuloksista mallinuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat 0,004 – 1,18 l/s x km taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Aavarannan mittauspiirien vuotavuus.

pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
19-20.6.2013	5070	Lehtipojantie	22 m ³ /d	140 m ³ /d	118 m ³ /d	1,18 l/s x km
20-24.6.2013	4843	Noljakankaari	137 m ³ /d	147 m ³ /d	10 m ³ /d	0,03 l/s x km
24.6-1.7.2013	4468	Saratie	106 m ³ /d	584 m ³ /d	478 m ³ /d	1,31 l/s x km
11-15.10.2013	4468	Saratie	106 m ³ /d	126 m ³ /d	20 m ³ /d	0,05 l/s x km

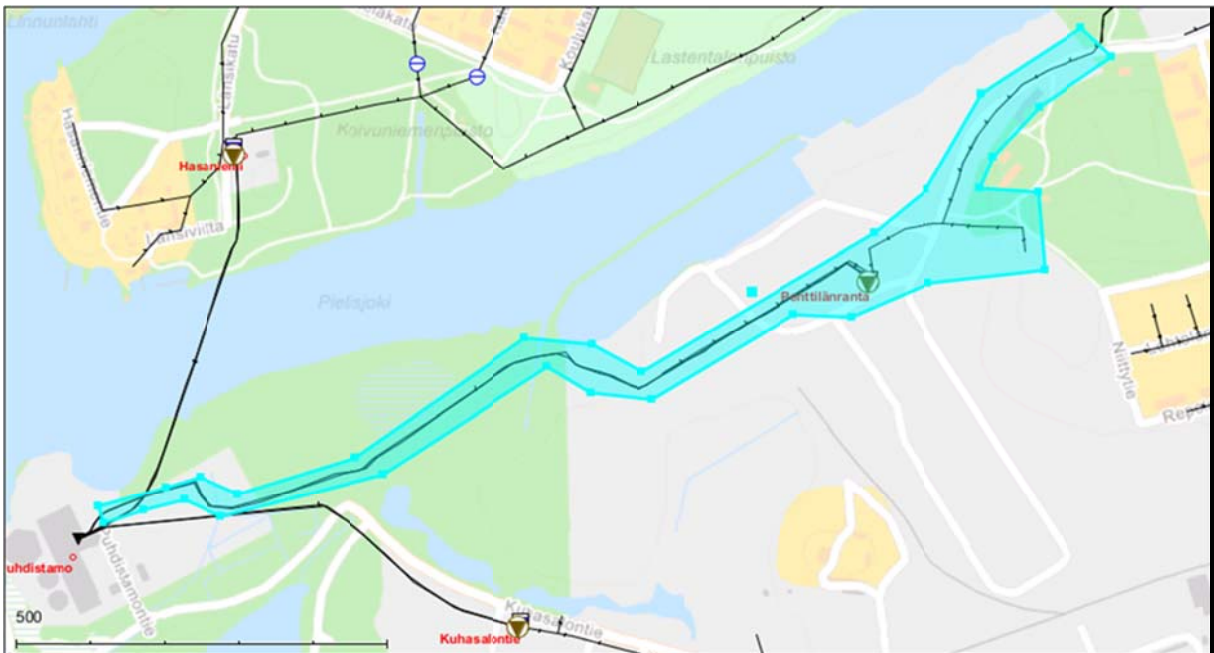
Aavarannan pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin $880 \text{ m}^3/\text{d}$. Mallinustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella Lehtipojantien ja Saratien mittauspiirit osoittautuivat vuotaviksi. Lehtipojantien mittauspiiristä muodostuu vuotovesistä $120 \text{ m}^3/\text{d}$ ja Saratien mittauspiiristä $380 \text{ m}^3/\text{d}$. Jäljelle jäävältä alueelta runkoviemärin läheisyydessä muodostuu vuotovesistä loput $380 \text{ m}^3/\text{d}$. Vuotovesien jakautuminen on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Aavarannan pumppaamopiirin vuotovesien jakautuminen.

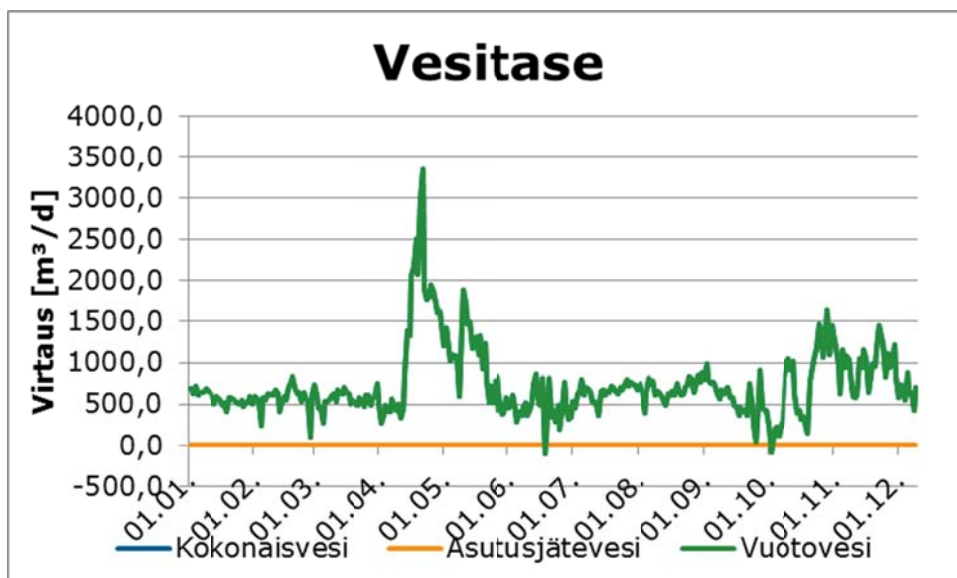
Penttilänranta

Penttilänrannan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 27 mukaisesti Penttilän kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasainen kerros- ja rivitaloalue rajoittuu Pielisjoen rantaan. Viemäriverkoston kokonaispituus on 1,8 km ja verkosto on rakennettu vuosina 2011 - 2012 betoni- ja muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa jätevedenpumppaamossa on neljä uppopumppua. Pumppaamossa on maanpäällinen huoltorakennus.



Kuva 27. Penttilänrannan pumpaamopiiri.

Pumppaamon huhtikuun virheelliset virtaama-arvot on korvattu keskimääräisellä virtaamav arvolla, joka on laskettu virheellisiä arvoja edeltävän ja seuraavan virtaama-arvon keskiarvona. Joulukuun virheellinen virtaamatietao on poistettu kokonaan. Keskimääräinen virtaama alueella vuonna 2013 oli 734 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 2355 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 531 m³/d. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on yli nelinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 28 on esitetty korjattujen virtaamav arvojen mukainen Penttilänrannan pumpaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

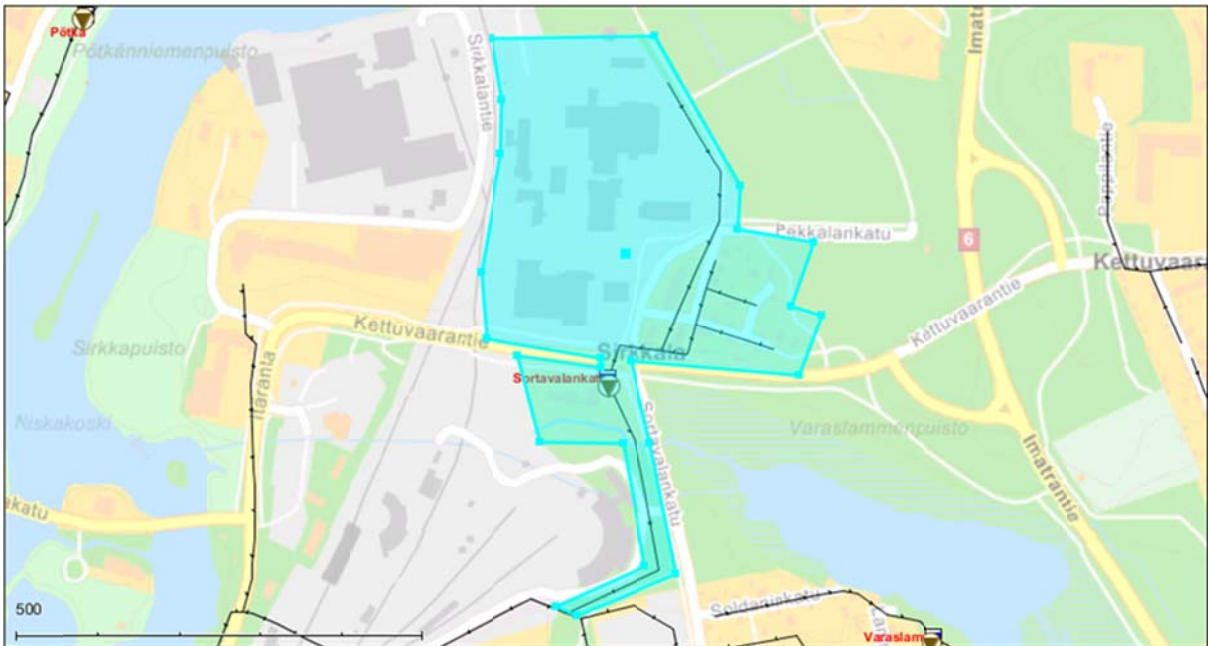


Kuva 28. Penttilänrannan pumpaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 2355 m³/d ja vuotavuus 15,3 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 531 m³/d ja vuotavuus 3,47 l/s x km. Pumppaamopiiri vuotaa merkittävästi ympärivuoden.

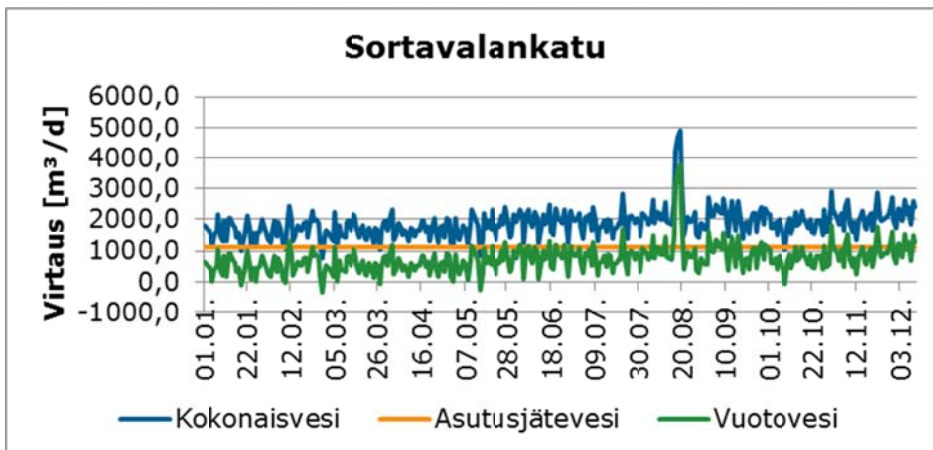
Sortavalankatu

Sortavalankadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 29 mukaisesti Sirkkalan ja Niinivaaran kaupunginosien, korkeussuhteiltaan tasaisella omakotitalo- ja teollisuusalueella. Alueella sijaitsee kaupungin suurin vedenkäyttäjä Valio Oy:n Joensuun tehdas. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,8 km ja verkosto on rakennettu 1970- ja 1980 luvuilla betoni- ja muoviputkista. Tonttikatujen viemärit toimivat sekaviemäreinä. Betonirakenteisessa jätevedenpumppaamossa on kolme uppopumppua. Alueen viemäriverkostoa on saneerattu osittain vuonna 2014.



Kuva 29. Sortavalankadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 1870 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 1710 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 1530 m³/d. Virtaama säilyy tasaisena läpi vuoden. Laskelmissa ei ole huomioitu elokuun virtaamapiikkiä. Kuvassa 30 on esitetty Sortavalankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 30. Sortavalankadun pumpaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumpaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 588 m³/d ja vuotavuus 8,7 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 409 m³/d ja vuotavuus 6,05 l/s x km. Pumpaamopiiri vuotaa tasaisesti ympäri vuoden. Vuotoveden määrä ei noudata normaalia vuodenaikajakaumaa, jossa kevään ja sadepäivien vuotovesivirtaamat näkyvät selvinä virtaamapiikkeinä. Pumpaamopiirin vuotovesi koostuu oletettavasti pääosin Valio Oy:n Joensuun tehtaan prosessivesistä.

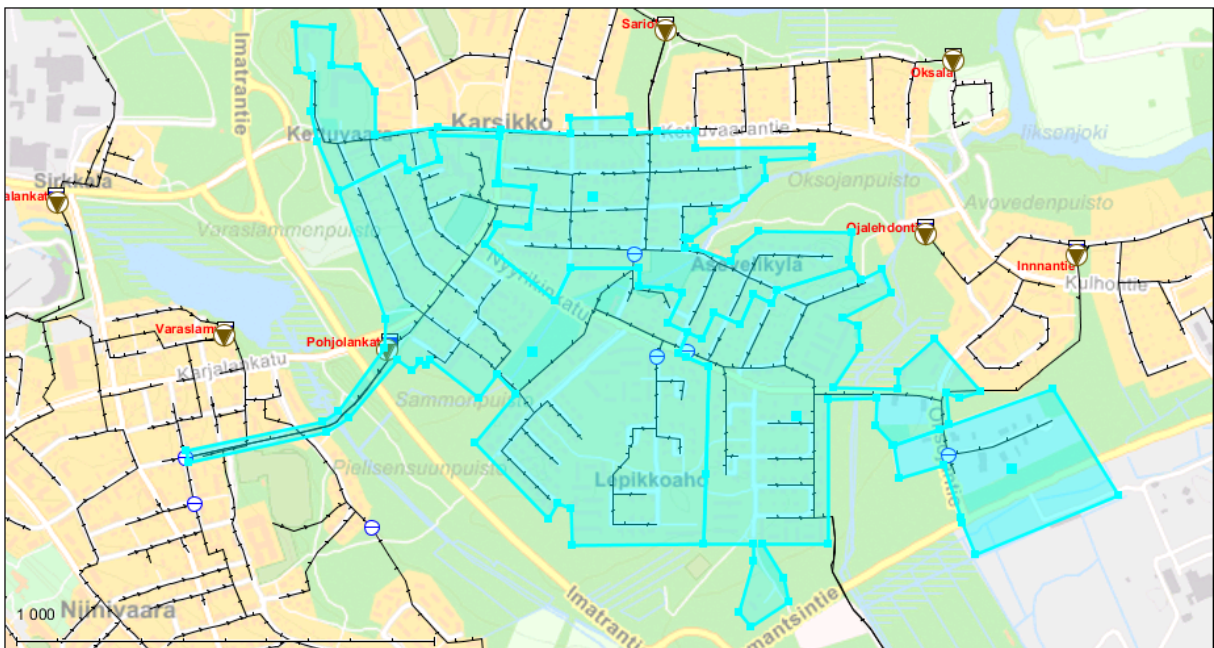
Pumpaamopiirin alueella on suoritettu viemäriverkoston saneerauksia vuonna 2014. Valio Oy:n Joensuun tehtaalle johtava betoniputkista rakennettu viemärilinja on saneerattu päätksujuttamalla. Alueen viemäriverkostossa olevia vuotokohteita ovat kuvassa 31 esitetyt tonttikatujen sekaviemäröidyt osuudet.



Kuva 31. Sortavalankadun pumpaamopiirin vuotokohteet.

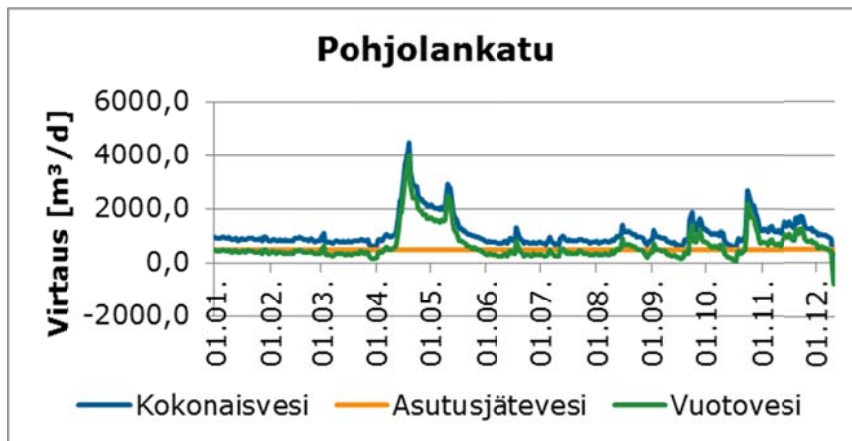
Pohjolankatu

Pohjolankadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 32 mukaisesti Karsikon kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella omakoti- ja rivitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 13,8 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980 luvuilla betoni- ja muoviputkista. Nyyrikinkadun suunnasta tuleva runkoviemäri ja osa Lepikkoahon viemäriverkostosta on rakennettu betoniputkista. Viemäriverkostoa on saneerattu 1990-luvulla. Alueen betonirakenteisessa jätevedenpumppaamossa on kolme uppopumppua. Pumppaamossa on maanpäällinen huoltorakennus.



Kuva 32. Pohjolankadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $1100 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $4480 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $800 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kuusinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmista on poistettu joulukuun virheellinen virtaamatieto. Kuvassa 33 on esitetty Pohjolankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



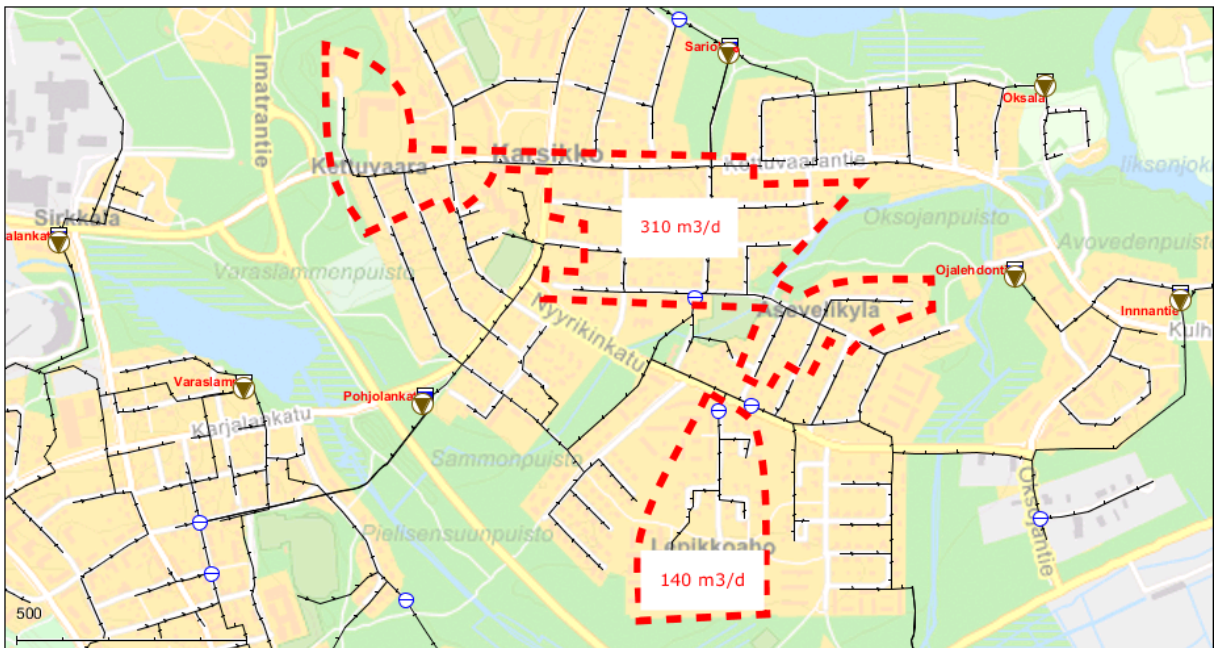
Kuva 33. Pohjolankadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 2963 m³/d ja vuotavuus 2,49 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 352 m³/d ja vuotavuus 0,29 l/s x km. Vuotovettä muodostuu erityisesti keväällä sekä kesän ja syksyn sateisina jaksoina. Alueen virtaamamittauskaivot oli sijoitettu Nuolitielle, Sommelotielle, Nyyrikinkadulle sekä Oksojantielle. Mittaukset suoritettiin huhtikuun ja marraskuun välisenä aikana. Nyyrikinkadun ja Oksojantien mittaustuloksia ei ole voitu hyödyntää laskelmissa. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat 0,69 – 2,33 l/s x km taulukon 7 mukaisesti.

Taulukko 7. Pohjolankadun mittauspiirien vuotavuus.

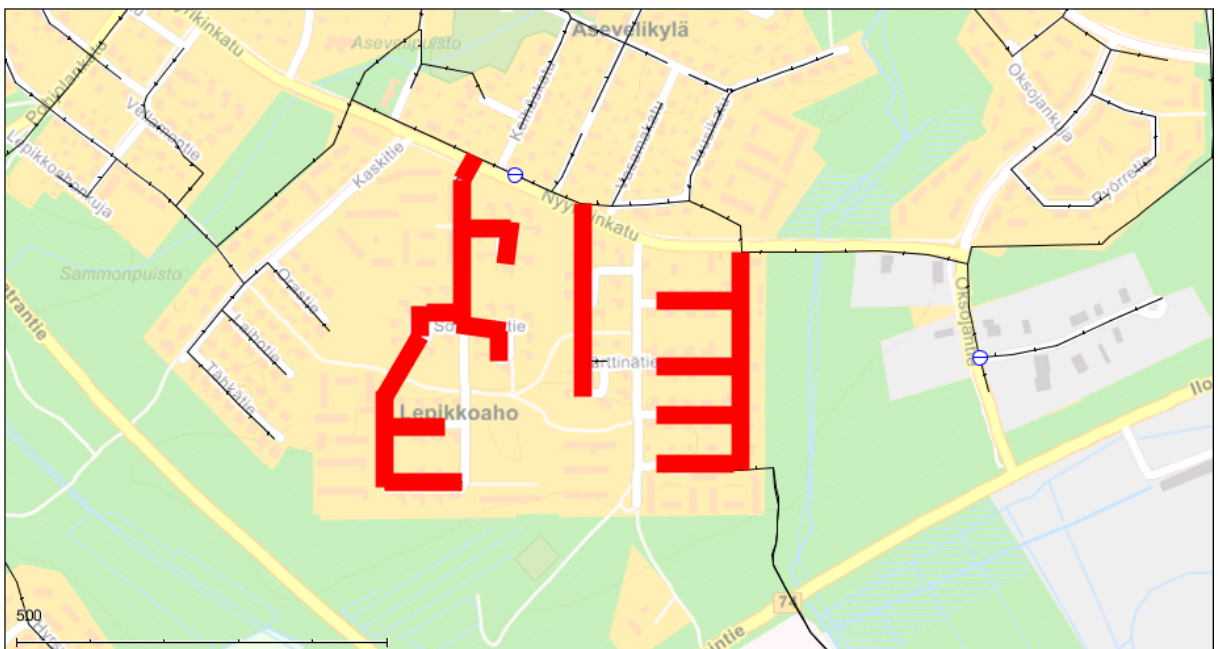
pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemärivesimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
27-29.4.2013	5062	Nuolitie	64 m ³ /d	576 m ³ /d	512 m ³ /d	1,35 l/s x km
16-17.7.2013	5062	Nuolitie	64 m ³ /d	325 m ³ /d	261 m ³ /d	0,69 l/s x km
5-7.11.2013	8448	Sommelotie	42 m ³ /d	219 m ³ /d	176 m ³ /d	2,33 l/s x km

Pohjolankadun pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin 634 m³/d. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella Nuolitian mittauspiiristä muodostuu 310 m³/d ja Sommelotien mittauspiiristä 140 m³/d alueen vuotovesistä. Vuotovesien jakautuminen on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Pohjolankadun pumpaamopiirin vuotovesien jakautuminen.

Pumpaamopiirin mahdollisia vuotokohteita ovat kuvassa 35 esitetyt Lepikkoahon alueen betoniputkista 1970-luvulla rakennetut viemärilinjat sekä tonteilta jätevesiviemäriin tulevat hulevesiliitokset.

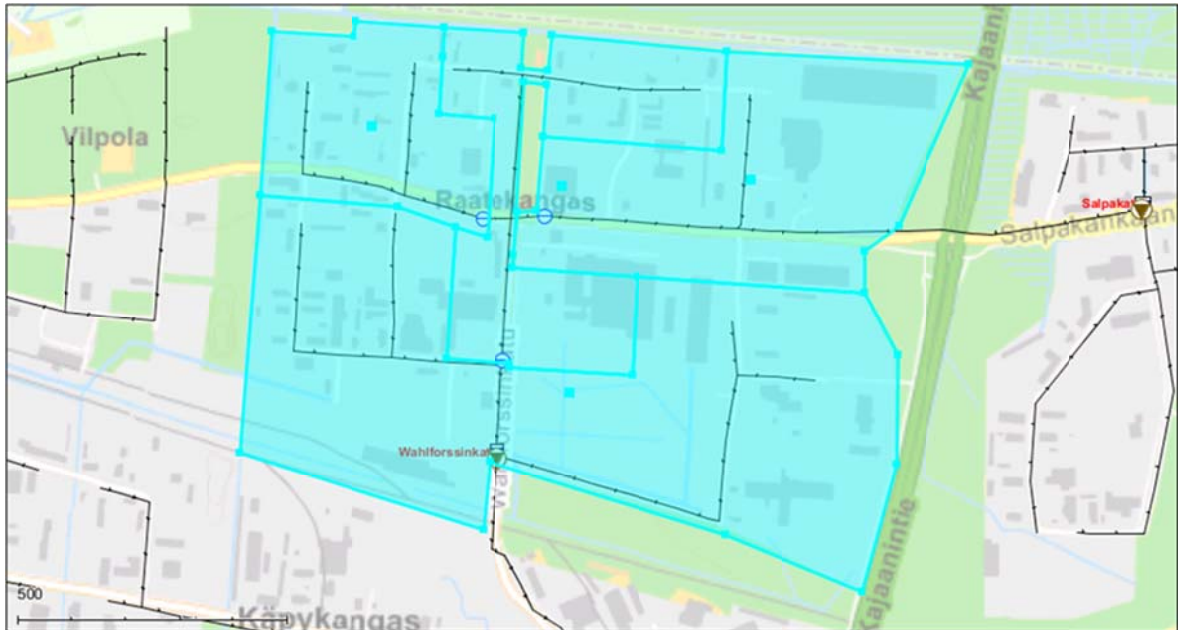


Kuva 35. Pohjolankadun pumpaamopiirin vuotokohteet.

Wahlforssinkatu

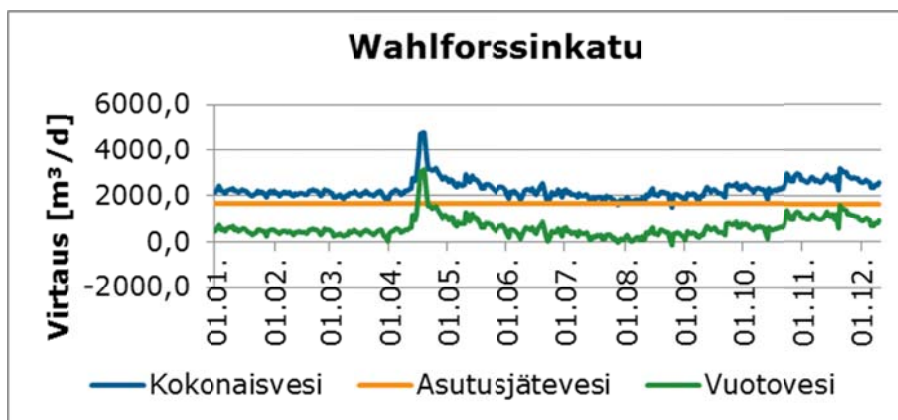
Wahlforssinkadun pumpaamopiiri sijaitsee kuvan 36 mukaisesti Raatekankaan kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu teollisuus- ja liikeraken-

nuksista. Viemäri-verkoston kokonaispituus on 5,3 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980-luvulla muoviputkista. Alueen läpi virtaava runkoviemäri on rakennettu 1960-luvulla betoniputkista. Alueelle on rakennettu uutta verkostoa 2000-luvulla. Alueen betonirakenteisessa jätevedenpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 36. Wahlforssinkadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $2280 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $4800 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $2100 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheeseen ajoittuva virtaamapiikki on selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli kaksinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 37 on esitetty Wahlforssinkadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 37. Wahlforssinkadun pumppaamopiirin vesitase.

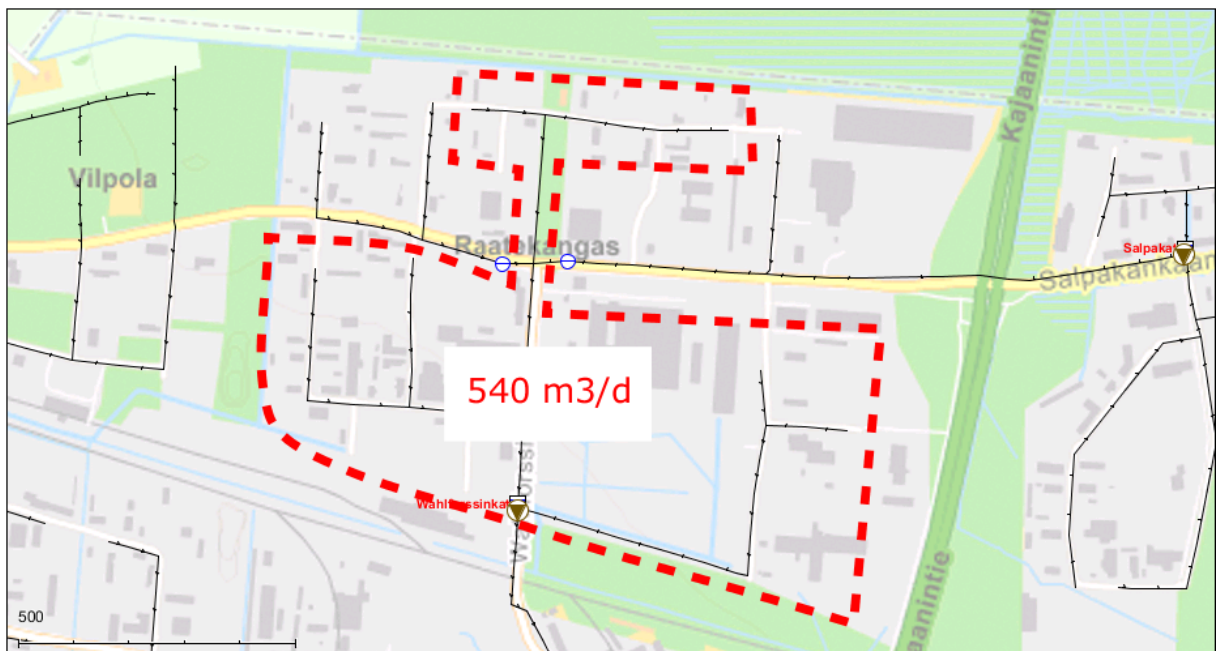
Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $2320 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $5,07 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 417

m^3/d ja vuotavuus $0,91 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä ympäri vuoden. Virtaamamittauksia suoritettiin touko-, kesä- ja lokakuussa Raatekankaantiellä sekä Raatekankaantien kevyen liikenteen väylällä olevista kaivoista. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat taulukon 8 mukaisesti $0,28 - 0,96 \text{ l/s} \times \text{km}$.

Taulukko 8. Wahlforssinkadun mittauspiirien vuotavuus.

pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
31.5.2013	7453	Raatekankaantie/klv	4 m^3/d	68 m^3/d	64 m^3/d	0,96 $\text{l/s} \times \text{km}$
14.6.2013	7453	Raatekankaantie/klv	4 m^3/d	23 m^3/d	19 m^3/d	0,28 $\text{l/s} \times \text{km}$
29-30.10.2013	4330	Raatekankaantie	22 m^3/d	117 m^3/d	95 m^3/d	0,79 $\text{l/s} \times \text{km}$

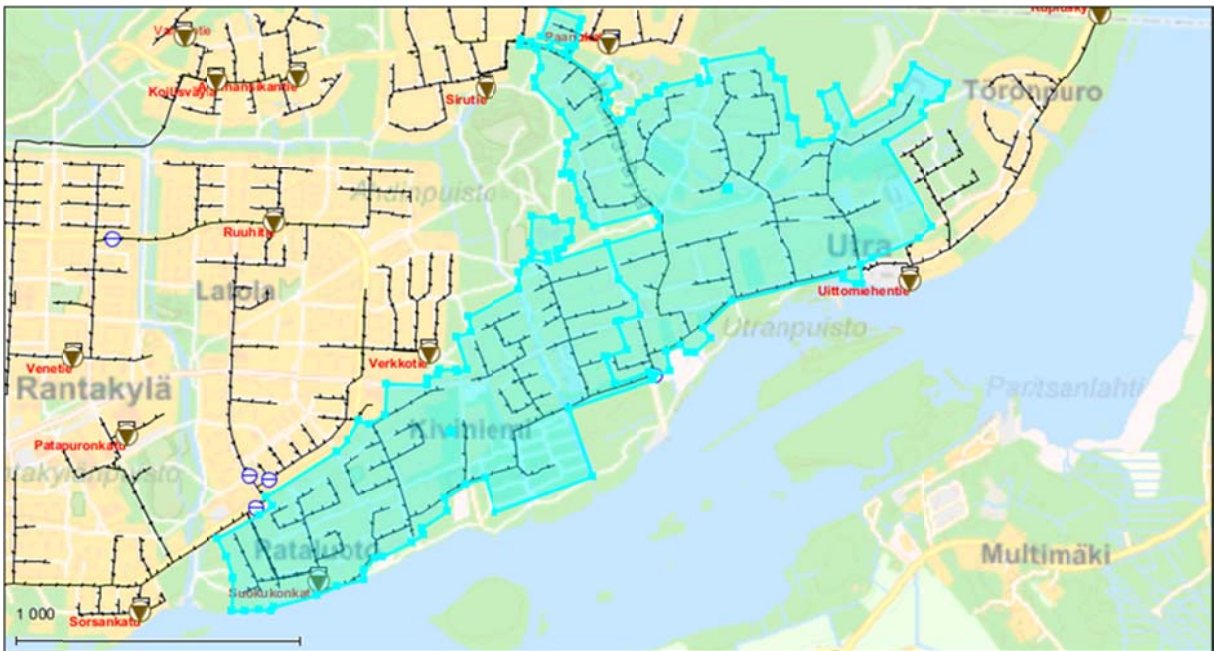
Wahlforssinkadun pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin $619 \text{ m}^3/\text{d}$. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella suurin osa alueen vuotovesistä, $540 \text{ m}^3/\text{d}$, muodostuu kuvan 38 mukaiselta virtaamamittauskaivojen ulkopuoliselta alueelta.



Kuva 38. Wahlforssinkadun pumppaamopiirin vuotovesien jakautuminen.

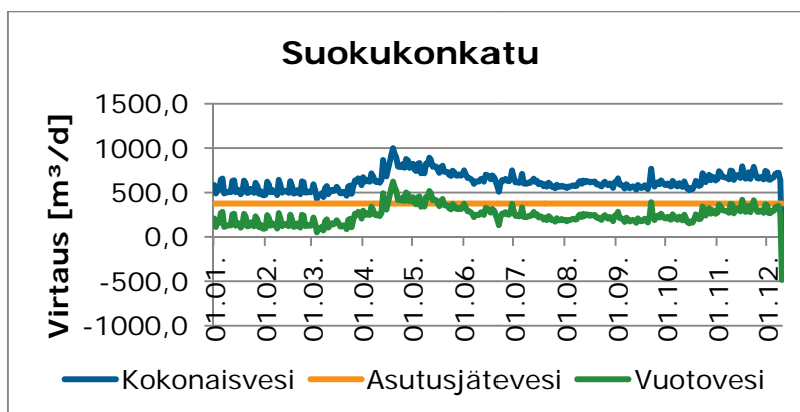
Suokukonkatu

Suokukonkadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 39 mukaisesti Rantakylän ja Utran kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan tasainen omakoti-, rivi- ja kerrostaloalue rajoittuu Pielisjoen rantaan. Viemäriverkoston kokonaispituus on $16,7 \text{ km}$ ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1990-luvun välisenä aikana muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 3 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 39. Suokukonkadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $622 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $500 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään virtaamapiikki on selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on kaksinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmista on poistettu tarkastelujakson lopussa oleva virheellinen virtaamatiieto. Kuvassa 40 on esitetty Suokukonkadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

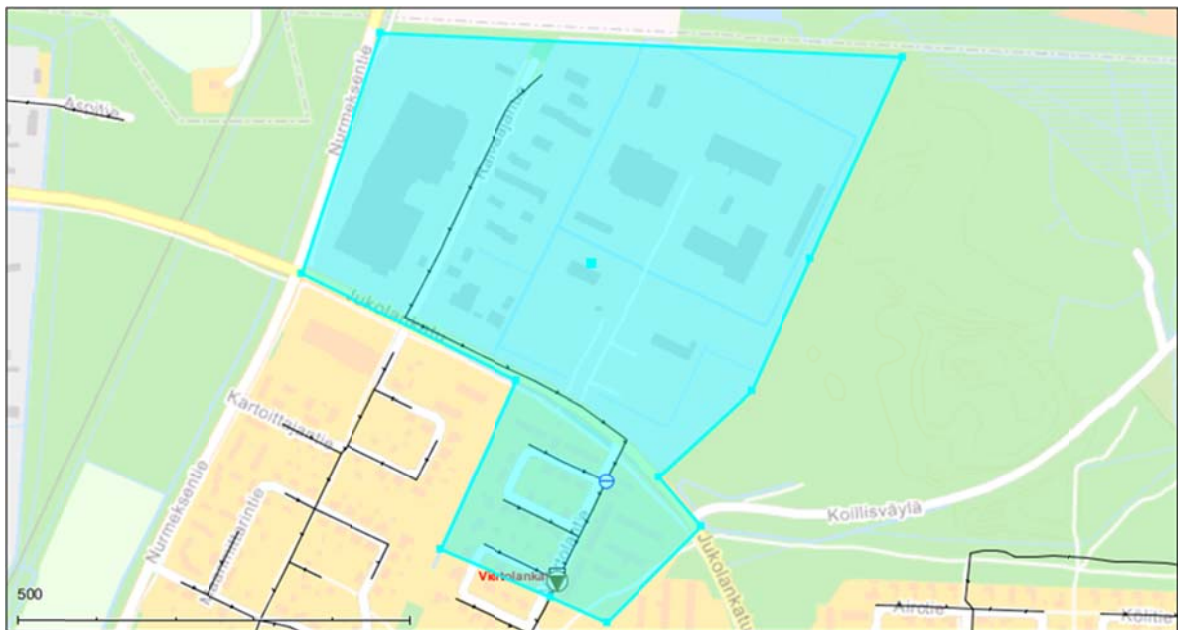


Kuva 40. Suokukonkadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $487 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,34 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $139 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,09 \text{ l/s} \times \text{km}$. Alueelta muodostuu keväällä merkittävä määrä vuotovettä, vaikka vuotavuus ei täytäkään vuotavan alueen tunnusmerkkejä.

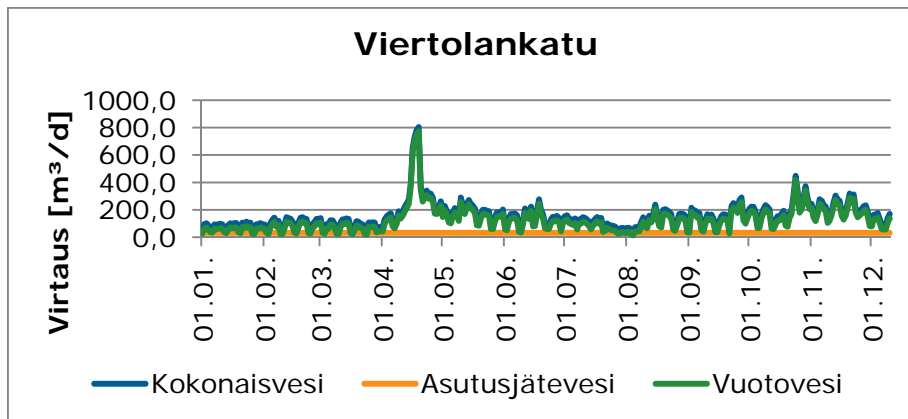
Viertolankatu

Viertolankadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 41 mukaisesti Mutalan kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu omakoti- ja rivitaloista sekä liike- ja teollisuusrakennuksista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 1,2 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla betoni- ja muoviputkista. Omakoti- ja rivitaloalueen sekaviemärinä toimiva viemäriverkosto on rakennettu betoniputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 41. Viertolankadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $157 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $804 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $100 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet korostuvat virtaamissa. Huippuvirtaama on kahdeksankertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 42 on esitetty Viertolankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



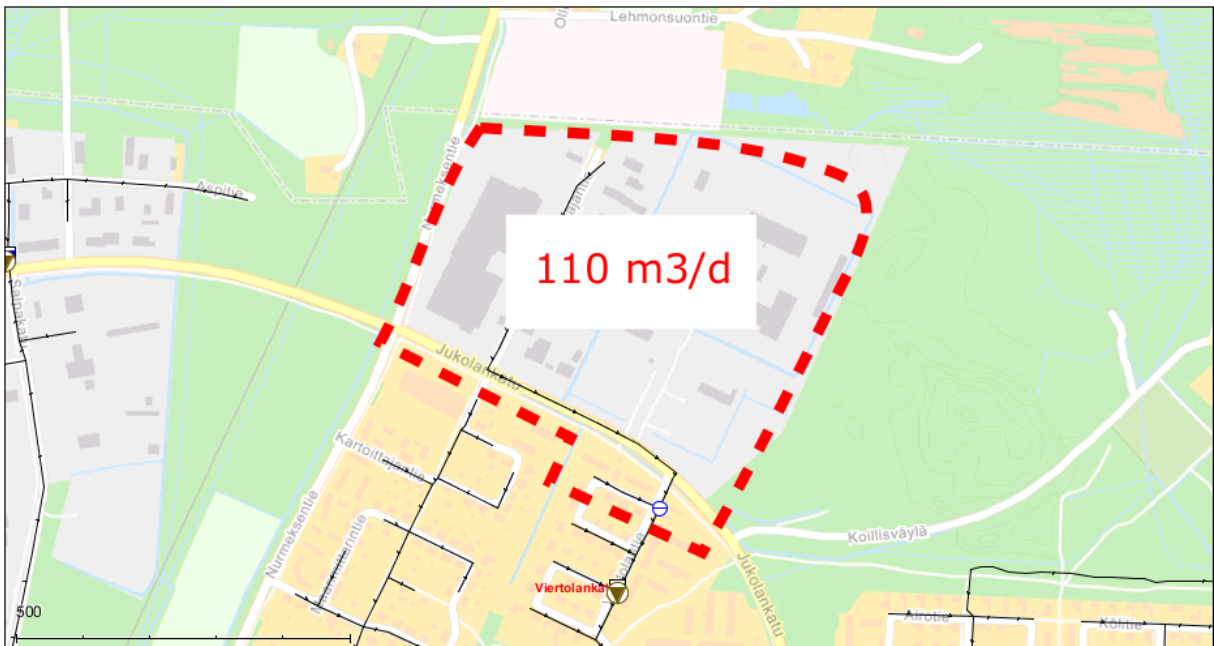
Kuva 42. Viertolankadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 546 m³/d ja vuotavuus 5,25 l/s x km. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 30 m³/d ja vuotavuus 0,28 l/s x km. Pumppaamopiirin alueella muodostuu vuotovettä keväällä ja syksyllä. Kesän ja talven kuivimpaan aikaan pumppaamopiiri ei vuoda. Virtaamamittauksia suoritettiin touko- ja syyskuussa Viertolankadulla olevasta kaivosta. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat taulukon 9 mukaisesti 1,73 – 2,52 l/s x km.

Taulukko 9. Viertolankadun mittauspiirin vuotavuus.

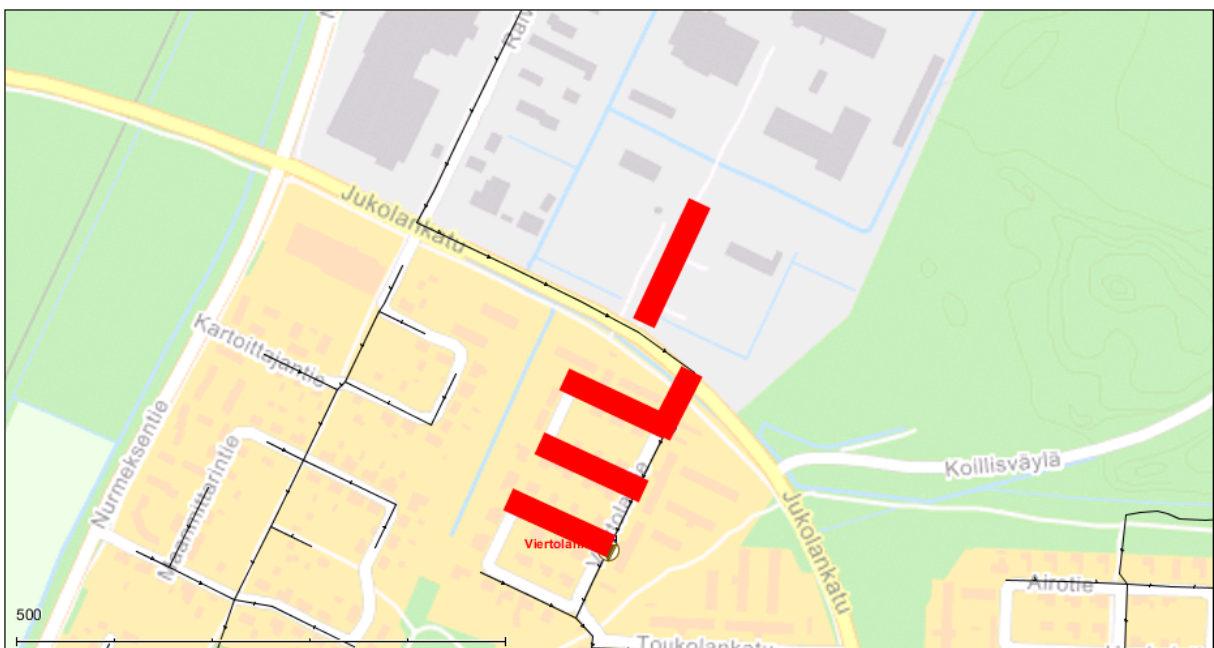
pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
30.4.-2.5.2013	7204	Viertolankatu	22 m ³ /d	207 m ³ /d	185 m ³ /d	2,52 l/s x km
13-16.9.2013	7204	Viertolankatu	22 m ³ /d	149 m ³ /d	127 m ³ /d	1,73 l/s x km

Viertolankadun pumppaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin 125 m³/d. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella alueen vuotovesistä 110 m³/d muodostuu mitauskaivon yläpuoliselta kuvaan 43 rajatulta alueelta.



Kuva 43. Viertolankadun pumppaamopiirin vuotovesien jakautuminen.

Vuotokohteita ovat sekaviemäröidyt tonttikadut sekä sekaviemäröity osa teollisuusalueesta kuvan 44 mukaisesti.

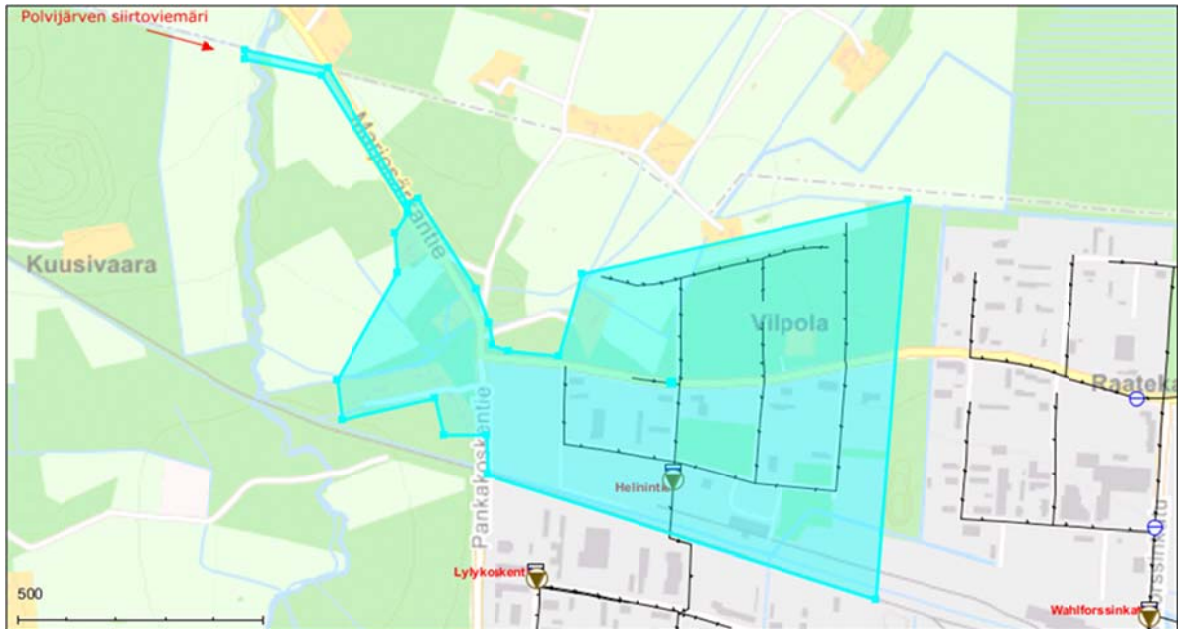


Kuva 44. Viertolankadun pumppaamopiirin vuotokohteet.

Helinintie

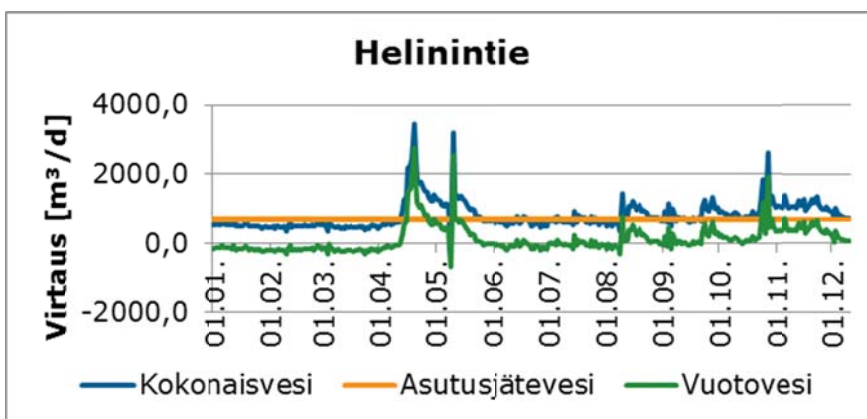
Helinintien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 45 mukaisesti Raatekankaan kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu pääosin teollisuus- ja liikerakennuksista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 2,7 km ja verkosto on rakennettu 1990- ja 2010-luvuilla muoviputkista. Pumppaamopiiriin tulee jätevesiä Polvijärven siirtoviemärin

kautta. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 45. Helinintien pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $790 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $3440 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $450 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kahdeksankertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 45 on esitetty Helinintien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



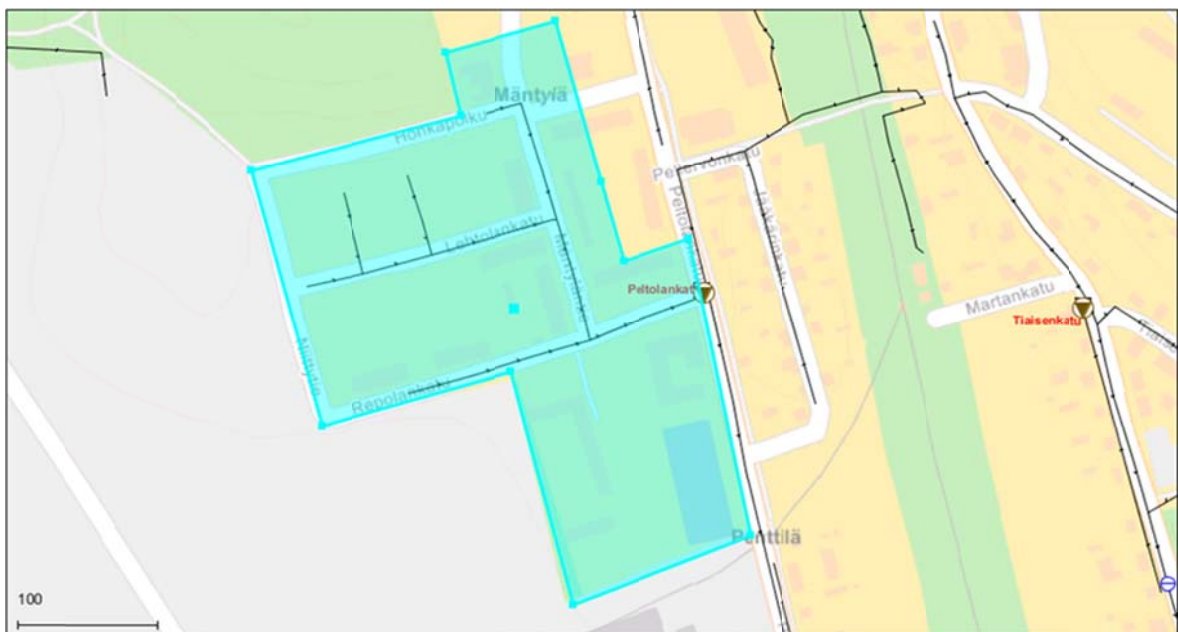
Kuva 46. Helinintien pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $1591 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $6,89 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesän ja talven tarkastelujaksoilta saadut tiedot eivät ole vertailukelpoisia. Syksyn tarkastelujakson virtaamatietojen mukaan alueen vuotovesimäärä on

672 m³/d ja vuotavuus 2,91 l/s x km. Koko vuoden keskimääräinen vuotavuus 0,48 l/s x km osoittaa, että alueen vuotavuus on keskittynyt kevääseen ja syksyyn.

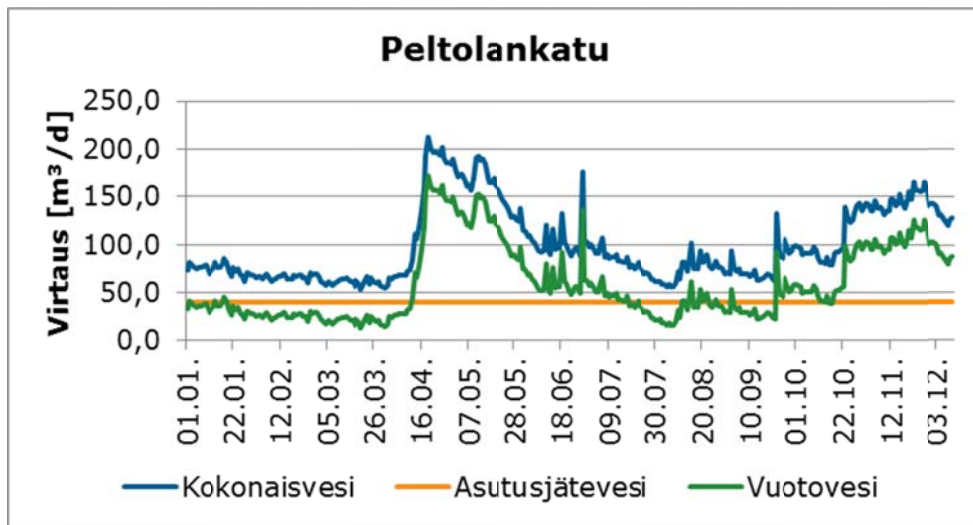
Peltolankatu

Peltolankadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 47 mukaisesti Penttilän kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella kerrostaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,7 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla betoniputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 47. Peltolankadun pumppaamopiiri

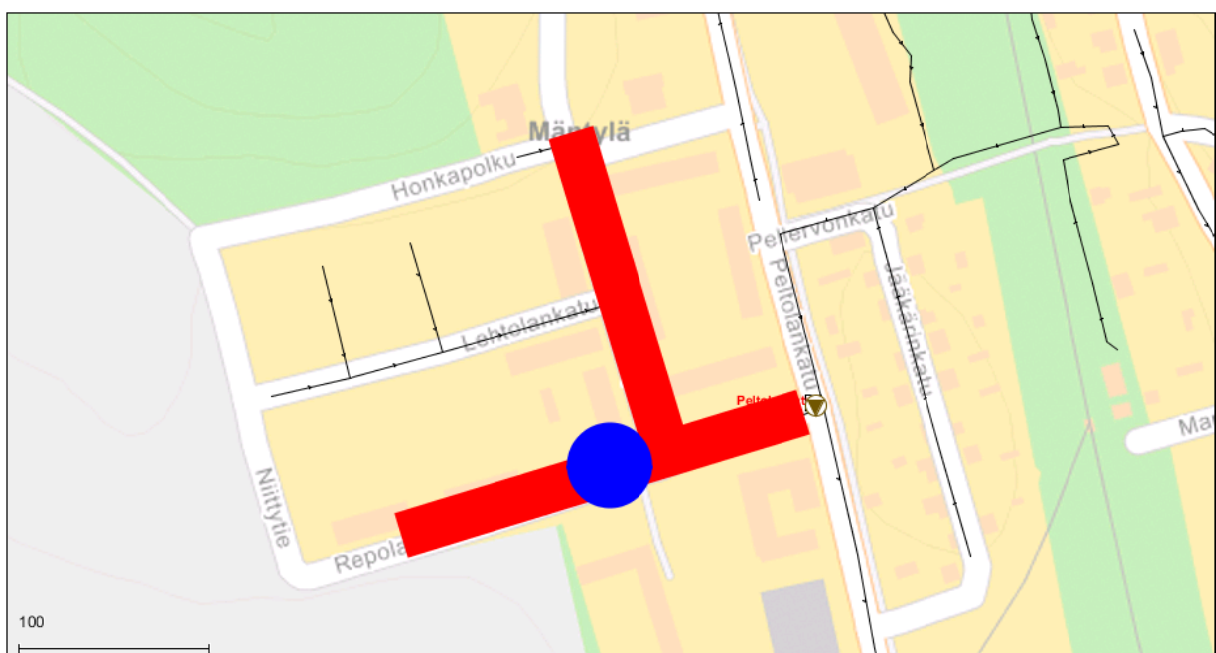
Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 99 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 213 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 60 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Kevään lumen sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes nelinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 48 on esitetty Peltolankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 48. Peltolankadun pumpaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumpaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $134 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $2,1 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $20 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,31 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumpaamopiirin alueella vuotavuus on keskittynyt kevääseen sekä kesän ja syksyn sateisiin jaksoihin.

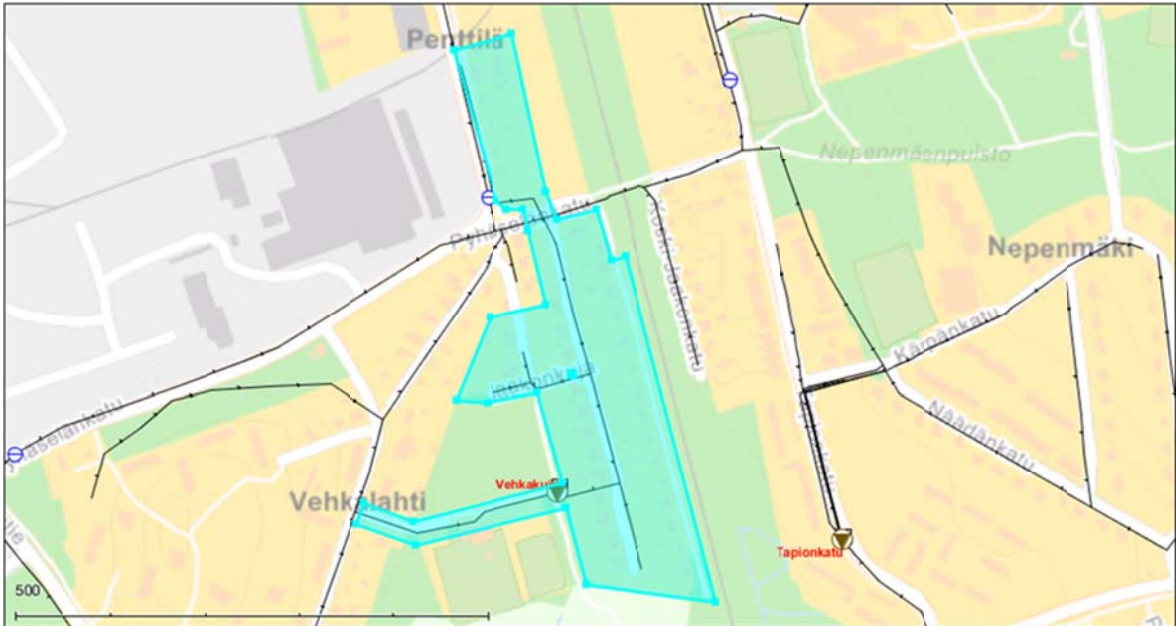
Alueelta on maastokäynnin perusteella tehty havainto vuotavasta tarkastuskaivosta ja tonttijohdosta. Betonirakenteisen tarkastuskaivon saumat vuotavat. Tonttijohdon vuoto voi aiheuttaa hulevesien johtamisesta jätevesiviemäriin. Muita mahdollisia vuotokohteita ovat kuvan 49 mukaiset 1970-luvulla betoniputkista rakennetut jätevesiviemäriinlinjat.



Kuva 49. Peltolankadun pumpaamopiirin vuotokohteet.

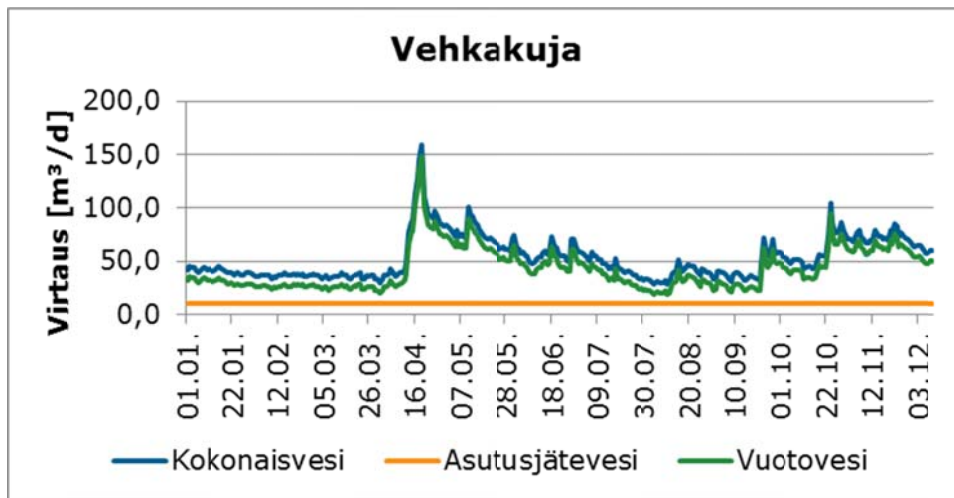
Vehkakuja

Vehkakujan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 50 mukaisesti Penttilän kaupunginosassa korkeus-
 ussuhteiltaan tasaisella omakotialueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,8 km ja
 verkosto on rakennettu 1970-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijal-
 taan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 50. Vehkakujan pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $53 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulami-
 sen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $159 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama
 oli $34 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Kevään lumen
 sulamisen loppuvaiheet ja sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama
 on lähes viisinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 51 on esitetty Vehkakujan
 pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

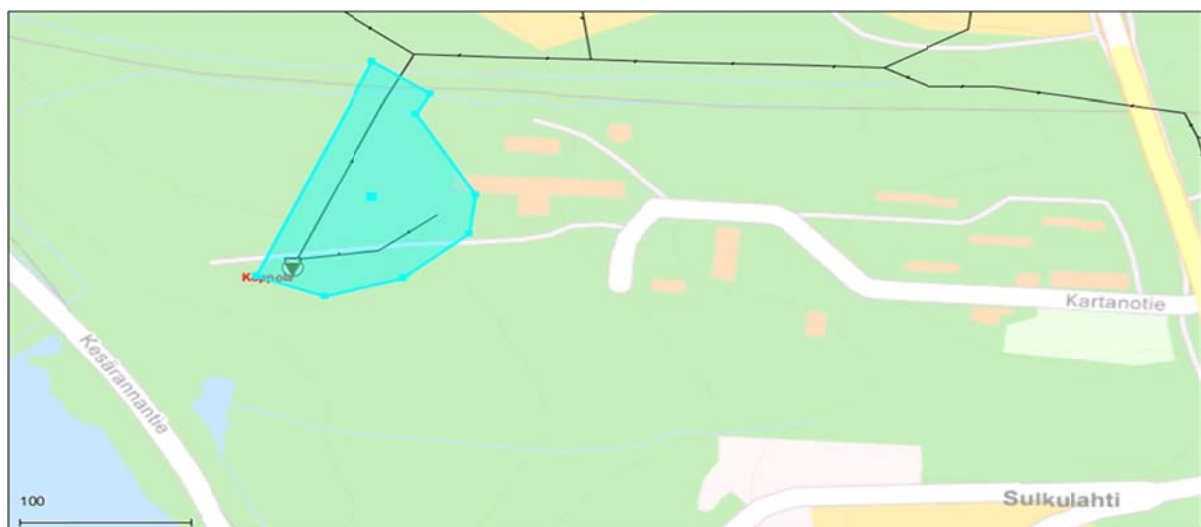


Kuva 51. Vehkakujan pumppaamopiirin vesitase

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 110 m³/d ja vuotavuus 1,57 l/s x km. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 22 m³/d ja vuotavuus 0,31 l/s x km. Pumppaamopiirin alueella vuotoveden tulo on keskittynyt kevääseen ja syksyyn.

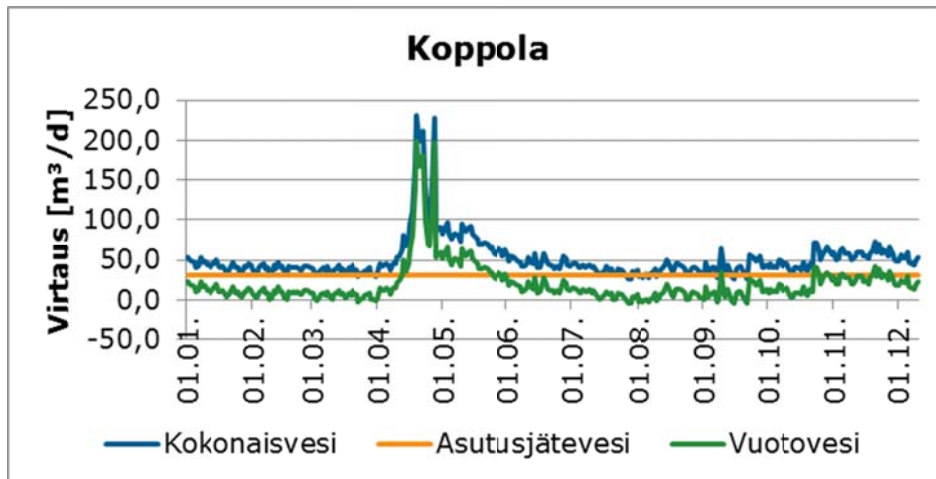
Koppola

Koppolan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 52 mukaisesti Sulkulahdessa korkeussuhteiltaan tasaisella vanhalla sairaala-alueella. Rakennuskanta koostuu sairaalan päärakennuksesta ja kerrostaloista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,1 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla betoniputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 3 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



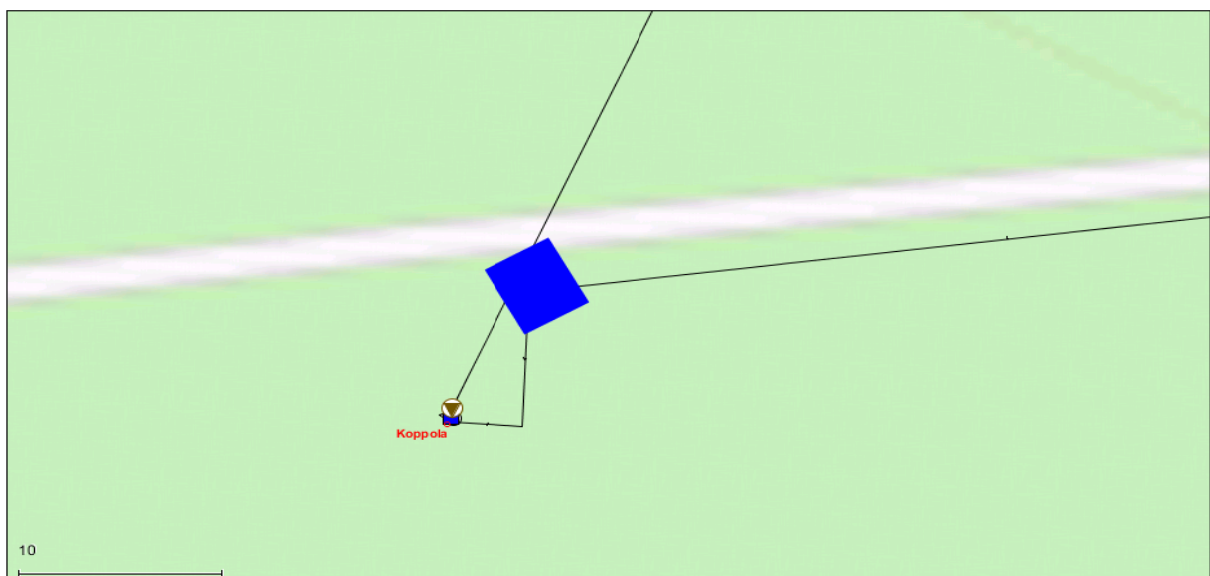
Kuva 52. Koppolan pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $51 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $230 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $36 \text{ m}^3/\text{d}$. Kevään virtaamapiikki on selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli kuusinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 53 on esitetty Koppolan pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 53. Koppolan pumppaamopiirin vesitase

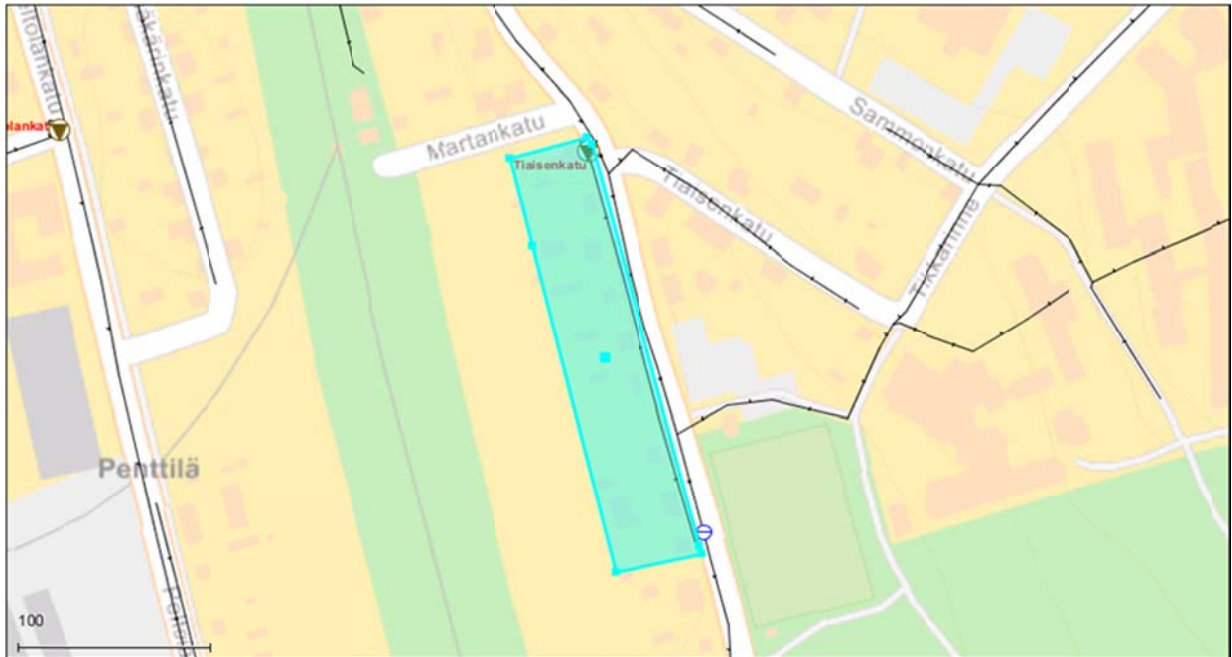
Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $124 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $14,19 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $1 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,12 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumppaamopiirin alueella vuotoveden tulo on keskittynyt kevääseen ja syksyyn sateisiin jaksoihin. Maastokäynnillä tehtyjen havaintojen perusteella pumppaamopiirin alueelta tulevat hulevedet johdetaan jätevedenpumppaamolle kuvassa 54 esitetyn tarkastuskaivon kautta.



Kuva 54. Tarkastuskaivo, jonka kautta hulevedet johdetaan jätevedenpumppaamolle.

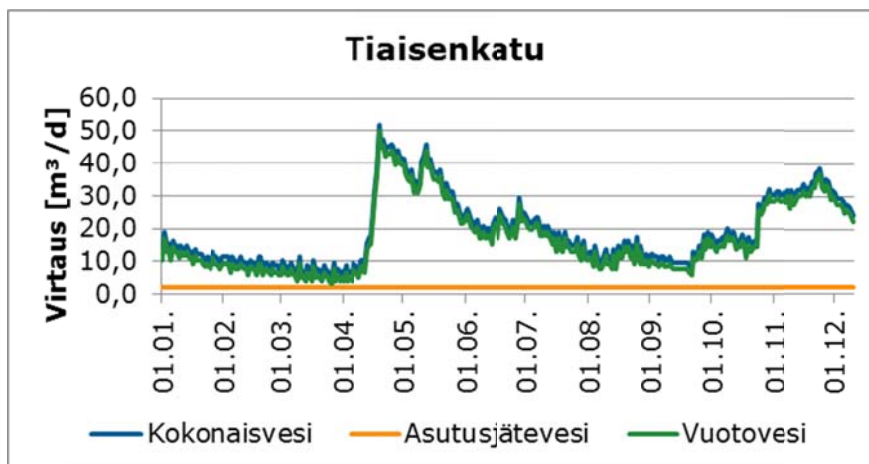
Tiaisenkatu

Tiaisenkadun pumpaamopiirin sijaitsee kuvan 55 mukaisesti Niinivaaran kaupunginosassa, korkeussuhteiltaan tasaisella omakotitaloalueella. Viemäriin kokonaispituus on 0,2 km ja linja on rakennettu 1970-luvulla pääosin betoniputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uupopumppua.



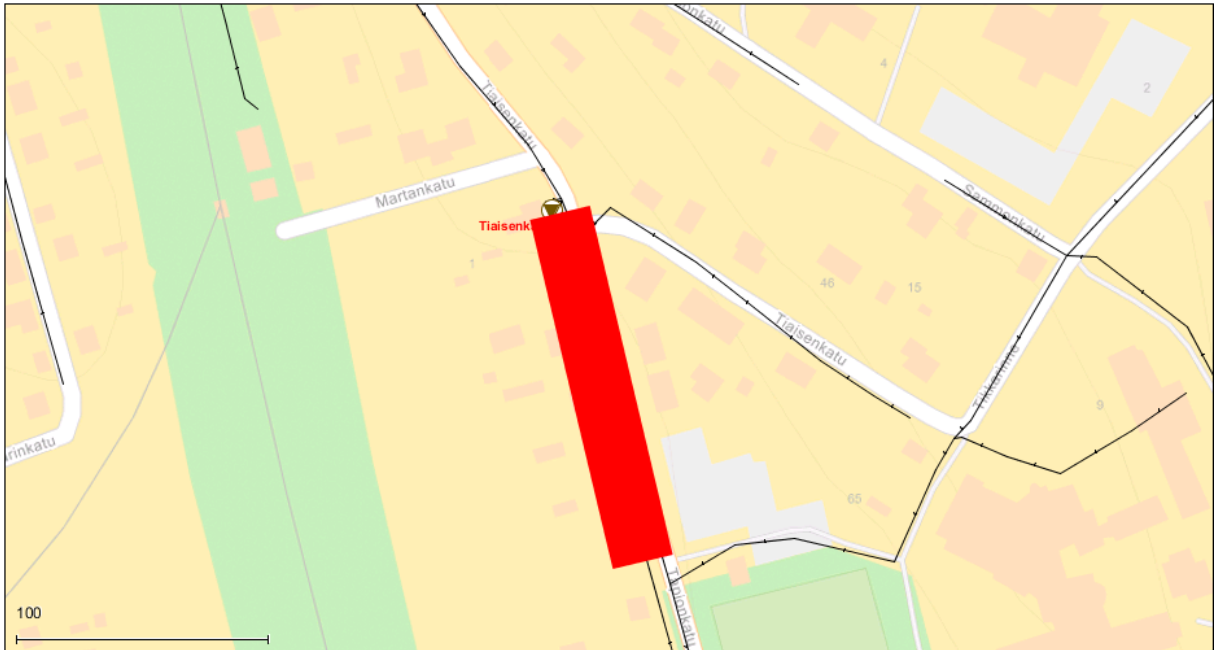
Kuva 55. Tiaisenkadun pumpaamopiiri.

Pumpaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $19 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $51 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $7 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli seitsenkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 56 on esitetty Tiaisenkadun pumpaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 56. Tiaisenkadun pumpaamopiirin vesitase

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumpaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 35 m³/d ja vuotavuus 1,91 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 5 m³/d ja vuotavuus 0,29 l/s x km. Pumpaamopiirin alueella vuotavuus on keskittynyt sulaan vuoden aikaan. Talvella pumppaamopiiri ei vuoda. Alueen mahdollinen vuotokohde on kuvassa 57 esitetty betoniputkista rakennettu viemäriosuus.



Kuva 57. Tiaisenkadun pumppaamopiiri vuotokohde.

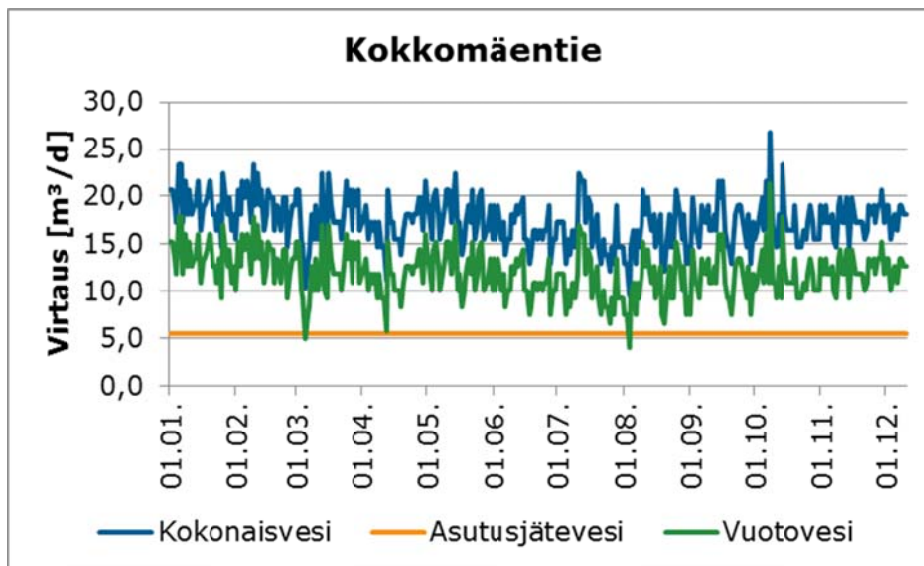
Kokkomäentie

Kokkomäentien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 58 mukaisesti Noljakan kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella rivitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,1 km ja verkosto on rakennettu 1980-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 58. Kokkomäentien pumpaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $18 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $18 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $17 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaama säilyy tasaisena läpi vuoden. Kuvassa 59 on esitetty Kokkomäentien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

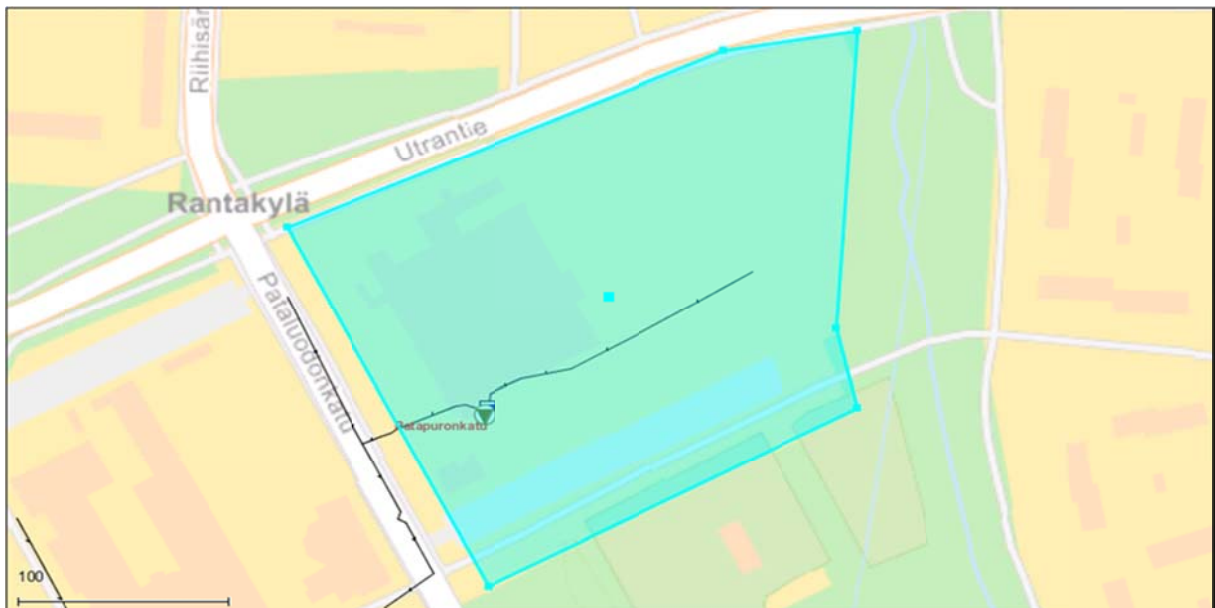


Kuva 59. Kokkomäentein pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $11 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $1,55 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $8 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $1,17 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumppaamopiiri vuotaa tasaisesti ympäri vuoden.

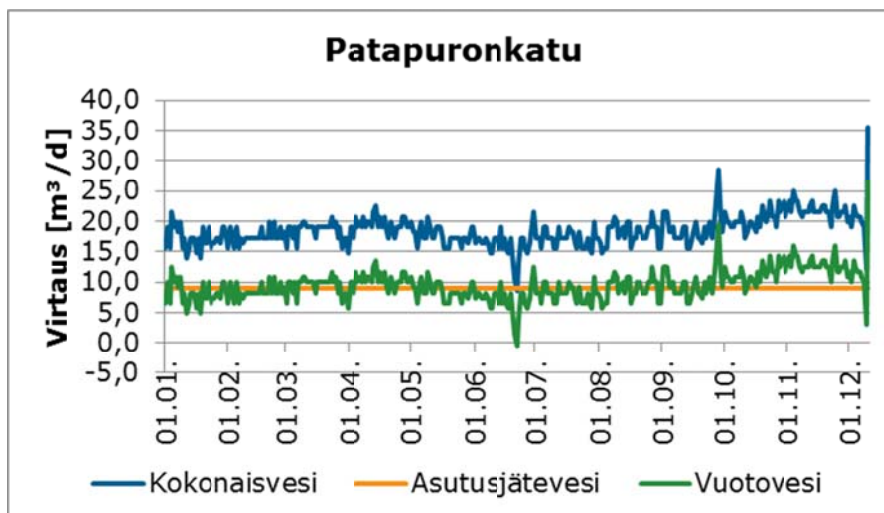
Patapuronkadun

Patapuronkadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 60 mukaisesti Rantakylän kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella kerrostaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 0,2 km ja verkosto on rakennettu 2000-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uupopumppua.



Kuva 60. Patapuronkadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $19 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $20 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $19 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaama säilyy tasaisena läpi vuoden. Laskelmissa ei ole huomioitu joulukuun virtaama-piikkiä. Kuvassa 61 on esitetty Patapuronkadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

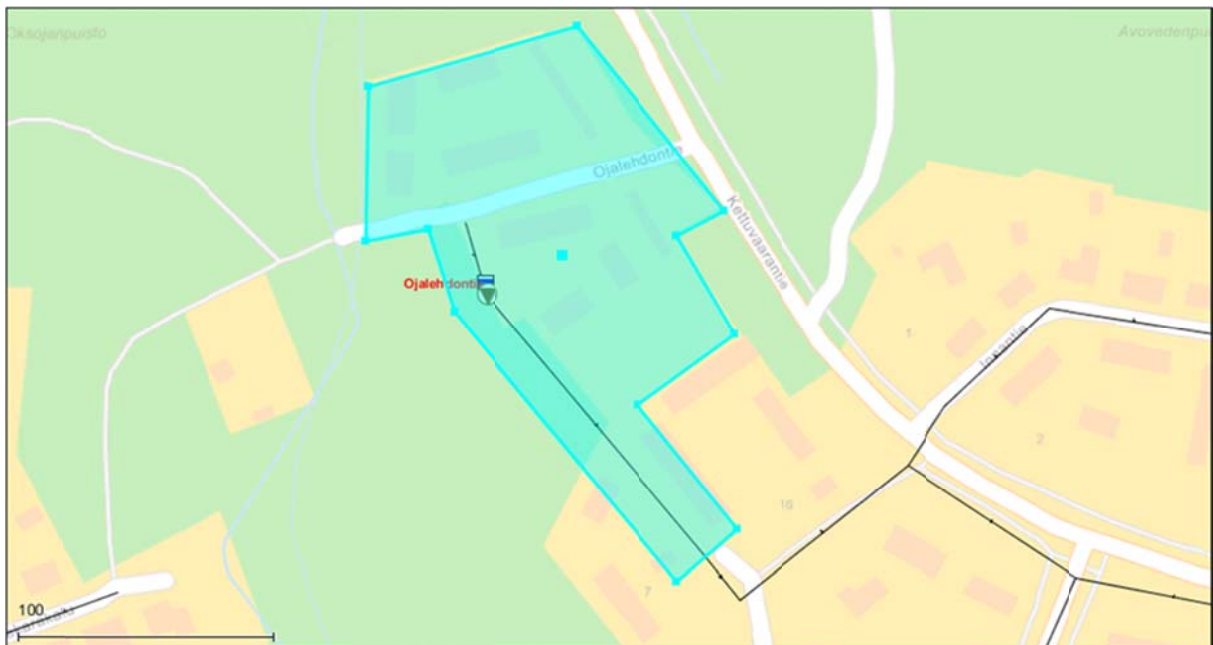


Kuva 61. Patapuronkadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $10 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,79 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $8 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,58 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumppaamopiiri vuotaa tasaisesti ympärivuoden.

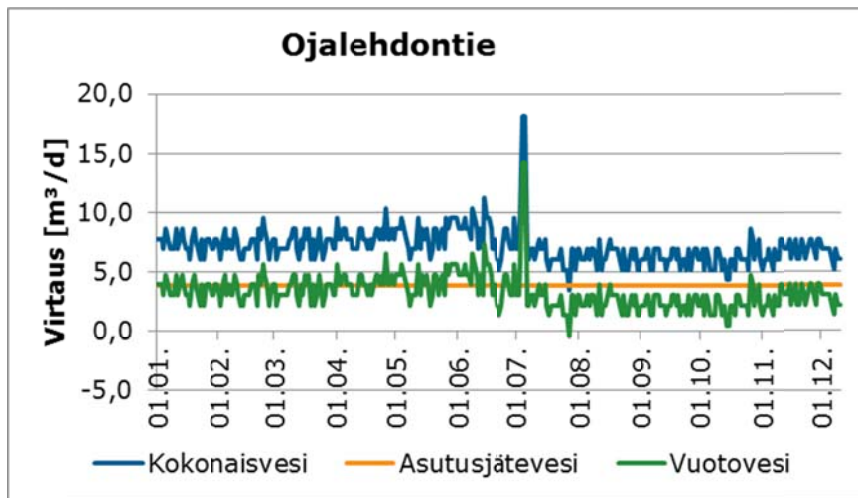
Ojalehdontien

Ojalehdontien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 62 mukaisesti Karsikon kaupunginosassa korkeusasteiltaan tasaisella rivitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on $0,4 \text{ km}$ ja verkosto on rakennettu 1980-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uoppumpua.



Kuva 62. Ojalehdontien pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $7 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $9 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $6 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaama säilyy tasaisena läpi vuoden. Laskelmissa ei ole huomioitu heinäkuun virtaama-ppiikkiä. Kuvassa 63 on esitetty Ojalehdontien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

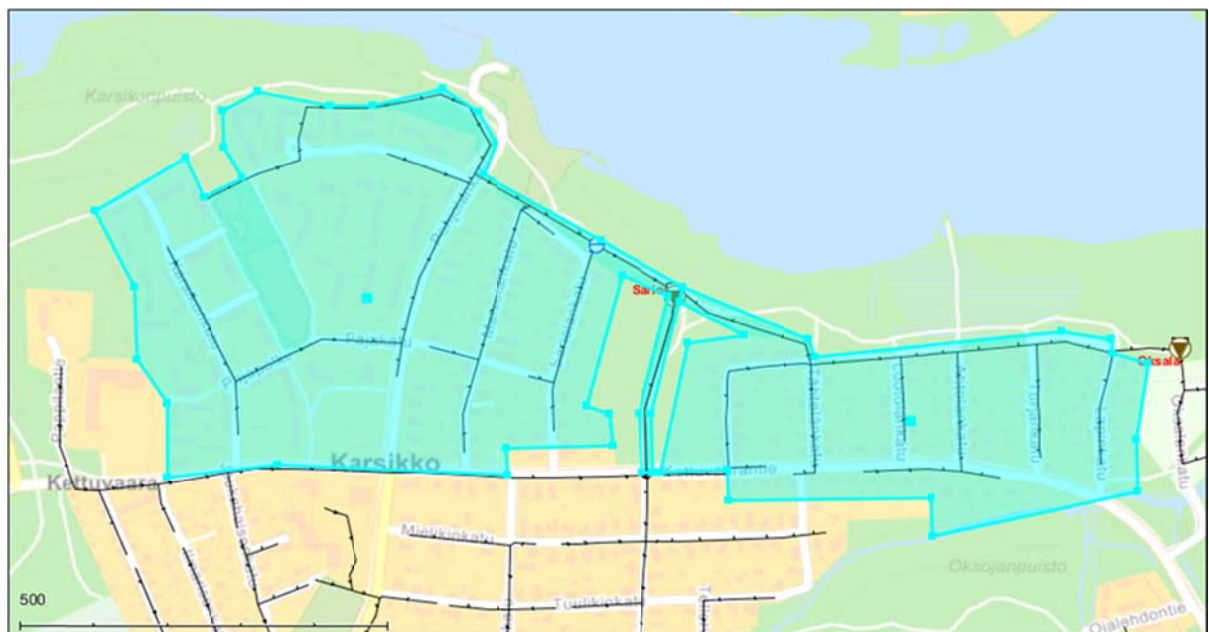


Kuva 63. Ojalehdontien pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $4 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $1,61 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $2 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $1,03 \text{ l/s} \times \text{km}$. Pumppaamopiiri vuotaa tasaisesti ympärivuoden.

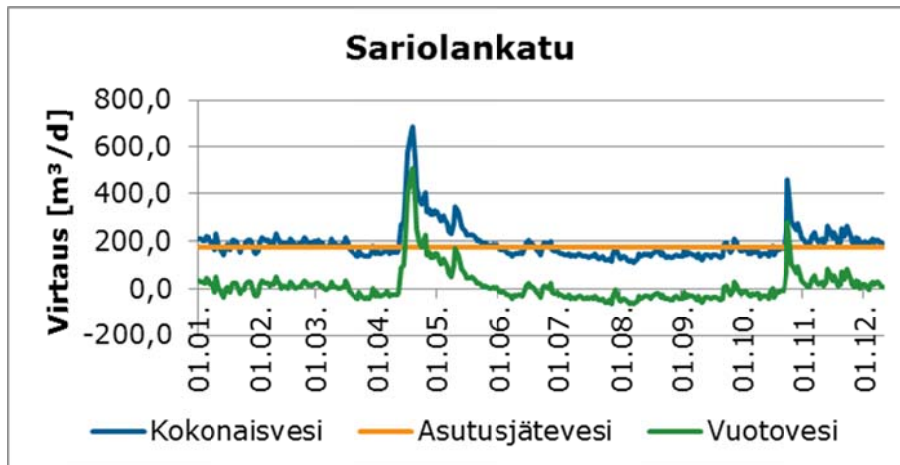
Sariolankatu

Sariolan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 64 mukaisesti Karsikon kaupunginosassa. Korkeus-
suhteiltaan tasainen kerros-, rivi- ja omakotitaloalue rajoittuu Pielisjoen rantaan. Viemäriver-
koston kokonaispituus on $4,6 \text{ km}$ ja verkosto on rakennettu pääosin 1970-
luvulla muoviput-
kista. Viemäriverkostoa on saneerattu 2000-luvulla. Alueen betonirakenteisessa halkaisijal-
taan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 64. Sariolankadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 190 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 690 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 150 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on lähes viisinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 65 on esitetty Sariolankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 65. Sariolankadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 375 m³/d ja vuotavuus 0,95 l/s x km. Kesän ja talven laskentajaksoilla viemäriverkoston ei ole muodostunut vuotovettä. Pumppaamopiirin alueella vuotoveden tulo on keskittynyt kevään lumen sulamisen aikaan ja syksyn sateisiin jaksoihin. Virtaamamittauksia suoritettiin huhtikuussa ja marraskuussa kaivosta, joka sijaitsee Sariolankadulta Pielisjoen suuntaan johtavalla kevyen liikenteen väylällä. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat taulukon 10 mukaisesti 0,03 – 0,36 l/s x km.

Taulukko 10. Sariolankadun pumppaamopiirin virtaamamittauskaivosta tehdyt havainnot.

pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
24-25.4.2013	4681	Sariolankatu	156 m ³ /d	164 m ³ /d	8 m ³ /d	0,03 l/s x km
7-8.11.2013	4681	Sariolankatu	156 m ³ /d	235 m ³ /d	79 m ³ /d	0,36 l/s x km

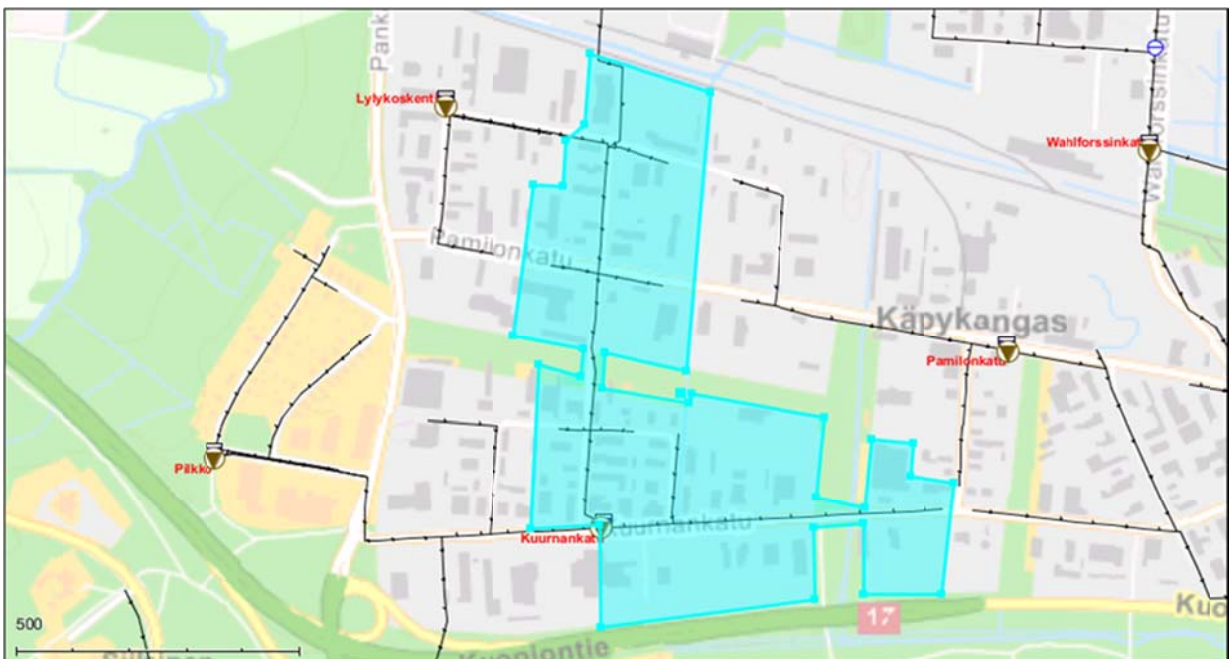
Sariolan pumppaamopiirin vuotovesistä yli 90 % muodostuu mittausten perusteella kuvassa 66 esitetyltä alueelta. Viemäriverkosto sijaitsee osittain Pielisjoen rannan läheisyydessä alavalla ja kostealla alueella, jonka sulamis- ja tulvavedet valtaavat keväisin. Alueelta löytyi maastokäynnillä vaurioitunut vuotava tarkastuskaivo.



Kuva 66. Sariolankadun pumppaamopiirin vuotoalue.

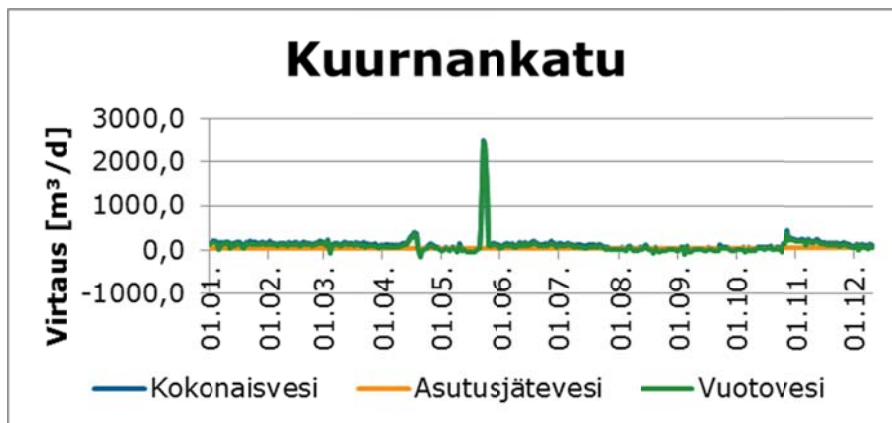
Kuurnankatu

Kuurnankadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 67 mukaisesti Käpykankaan kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu teollisuus- ja liikerakennuksista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 2,6 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980-luvulla betoni- ja muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 67. Kuurnankadun pumppaamopiiri.

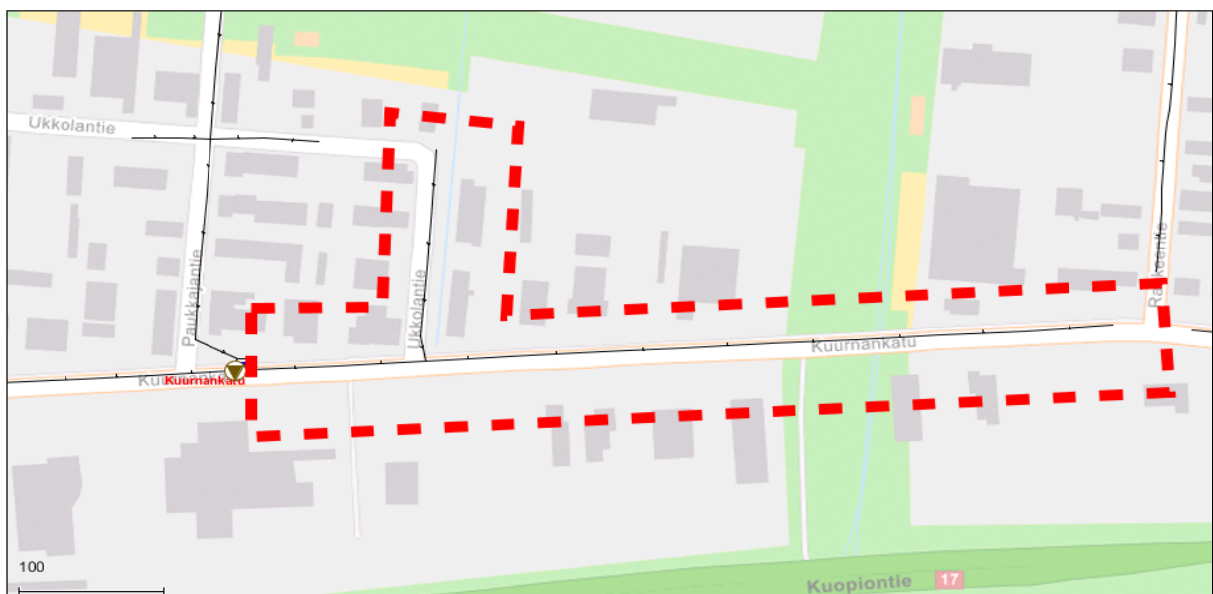
Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $110 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $420 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $150 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on lähes kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmissa ei ole huomioitu toukokuun virtaamapiikkiä. Kuvassa 68 on esitetty Kuurnankadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 68. Kuurnankadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $327 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $1,48 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $9 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,04 \text{ l/s} \times \text{km}$.

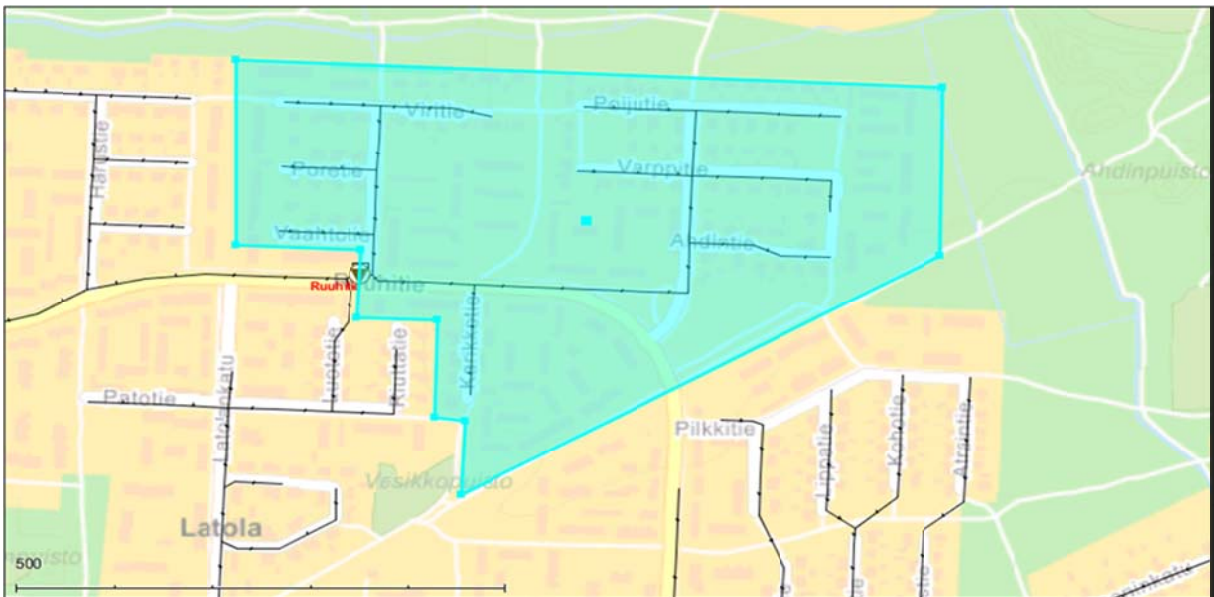
Mahdollisia vuotokohteita ovat kuvan 69 mukaiset Kuurnankadun 1970-luvulla betoniputkista rakennettu runkoviemäri ja Ukkolantien sekaviemäröity osuus.



Kuva 69. Kuurnankadun pumppaamopiirin vuotokohteet.

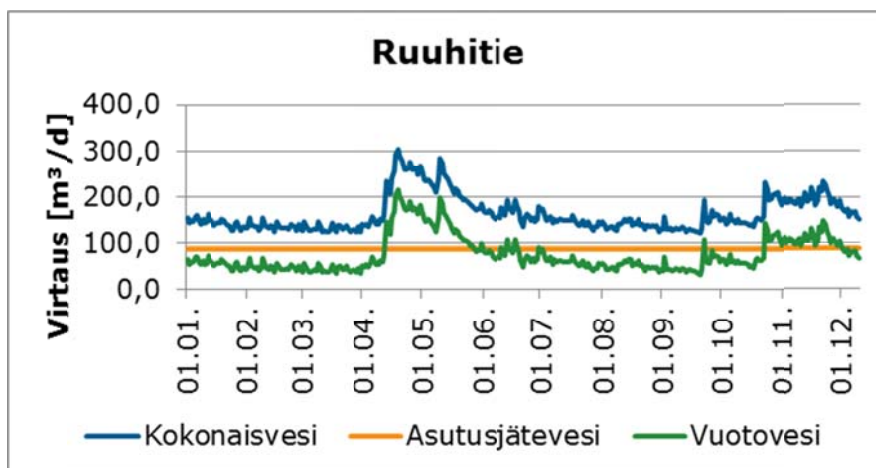
Ruuhitie

Ruuhitien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 70 mukaisesti Rantakylän kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu omakoti- ja rivitaloista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 2 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla betoni- ja muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 70. Ruuhitien pumppaamopiiri.

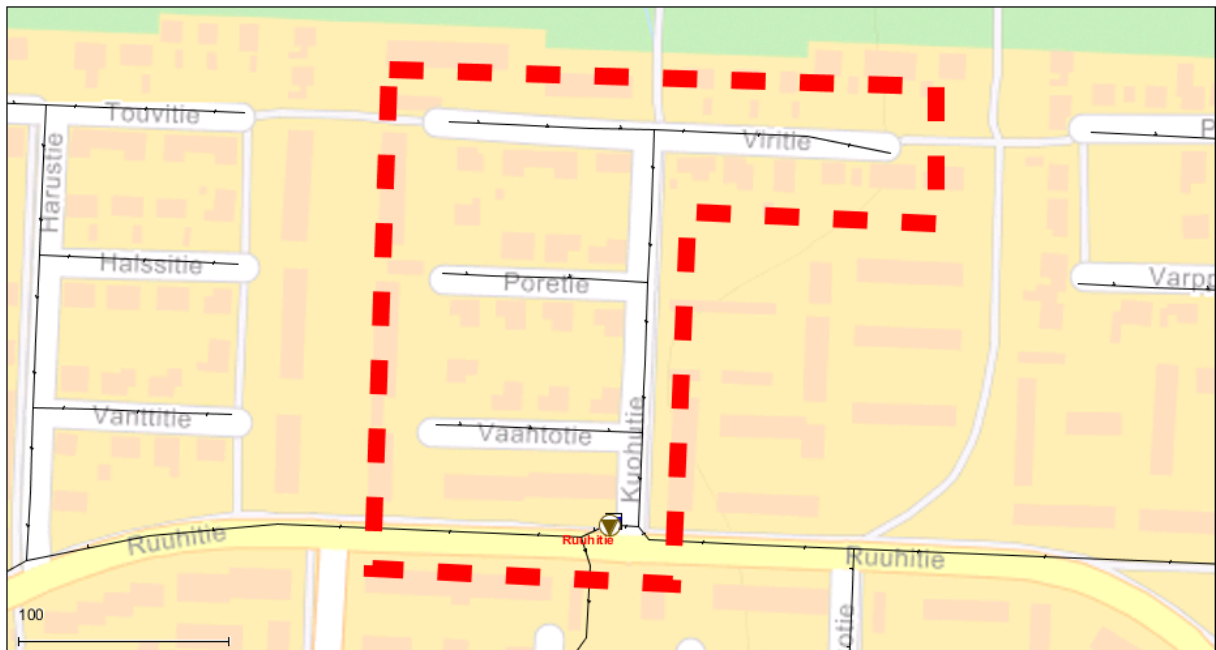
Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $163 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $300 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $130 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli kaksinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 71 on esitetty Venetien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 71. Ruuhitien pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 179 m³/d ja vuotavuus 1,06 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 46 m³/d ja vuotavuus 0,27 l/s x km.

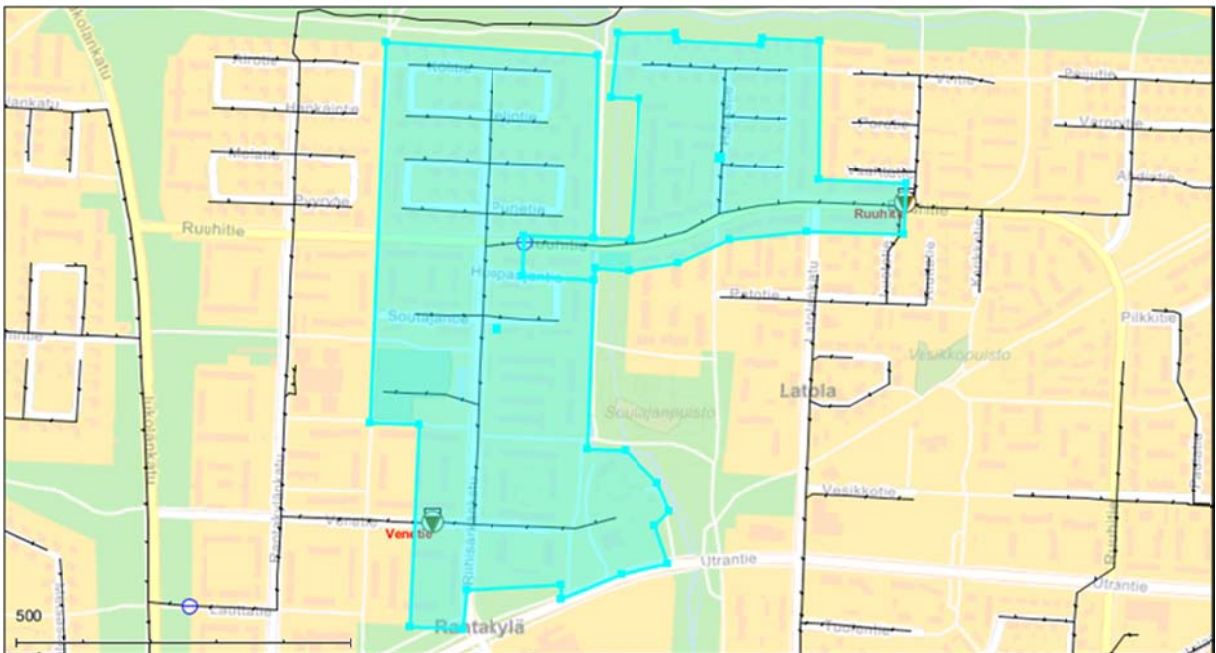
Mahdollisena vuotokohteena on kuvan 72 mukainen Kuohu-, Vaahto-, Pore-, ja Viritien 1970-luvulla betoniviemäreistä rakennettu viemäriverkosto.



Kuva 72. Ruuhitien pumppaamopiirin vuotokohteet.

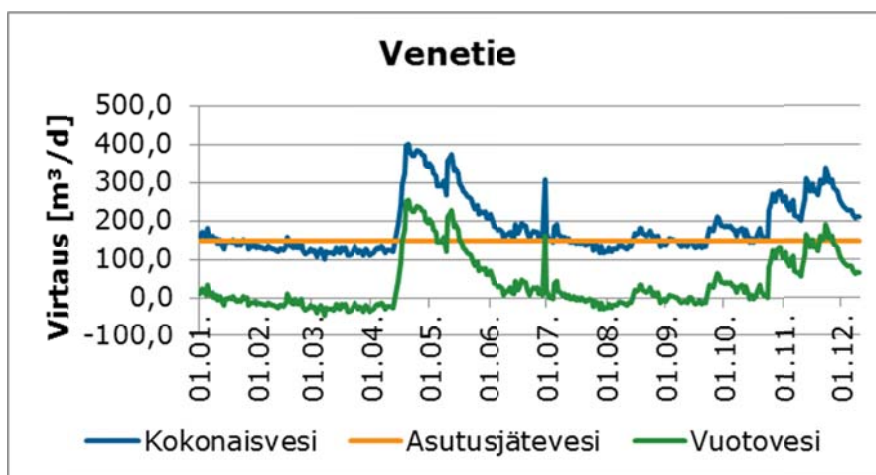
Venetie

Venetien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 73 mukaisesti Rantakylän kaupunginosassa. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu omakoti-, rivi- ja kerrostaloista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 3,5 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla betoniputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 73. Venetien pumpaamopiiri.

Pumpaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $184 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $400 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $150 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on lähes kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 74 on esitetty Venetien pumpaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

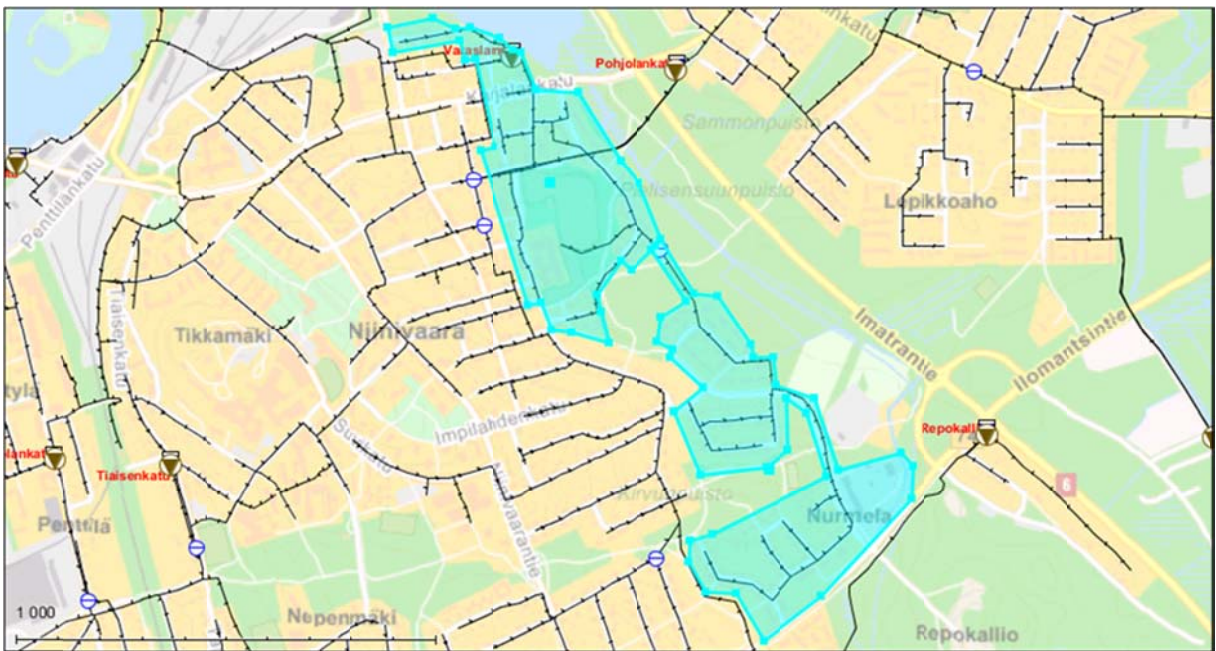


Kuva 74. Venetien pumpaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumpaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $380 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,57 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talven ja kesän laskentajaksoilta ei ole havaintoja vuotove-destä.

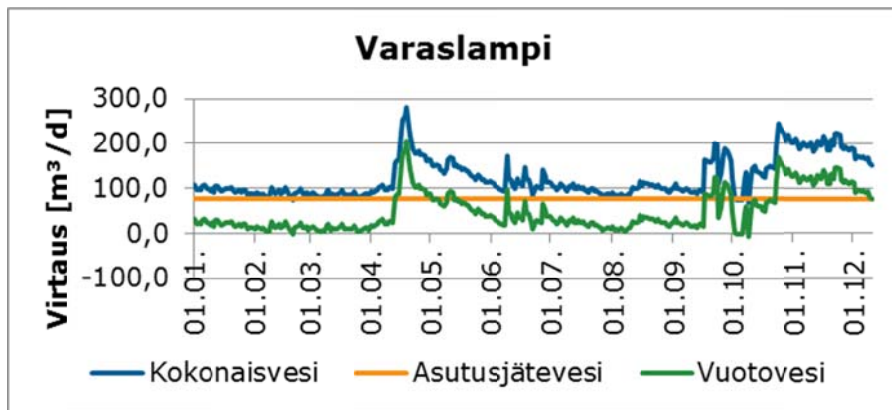
Varaslampi

Varaslammen pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 75 mukaisesti Niinivaaran ja Hukanhaudan kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan tasainen omakoti- ja rivitaloalue rajoittuu Varaslammen rantaan. Viemäriverkoston kokonaispituus on 4,6 km ja verkosto on rakennettu pääosin 1970- ja 1980- luvuilla muoviputkista. Alueelle on rakennettu uutta verkostoa 2000-luvulla. Alueen lasikuiturakenteisessa halkaisijaltaan 1,3 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uoppopumppua.



Kuva 75. Varaslammen pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $124 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $280 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $85 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on yli kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 76 on esitetty Varaslammen pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



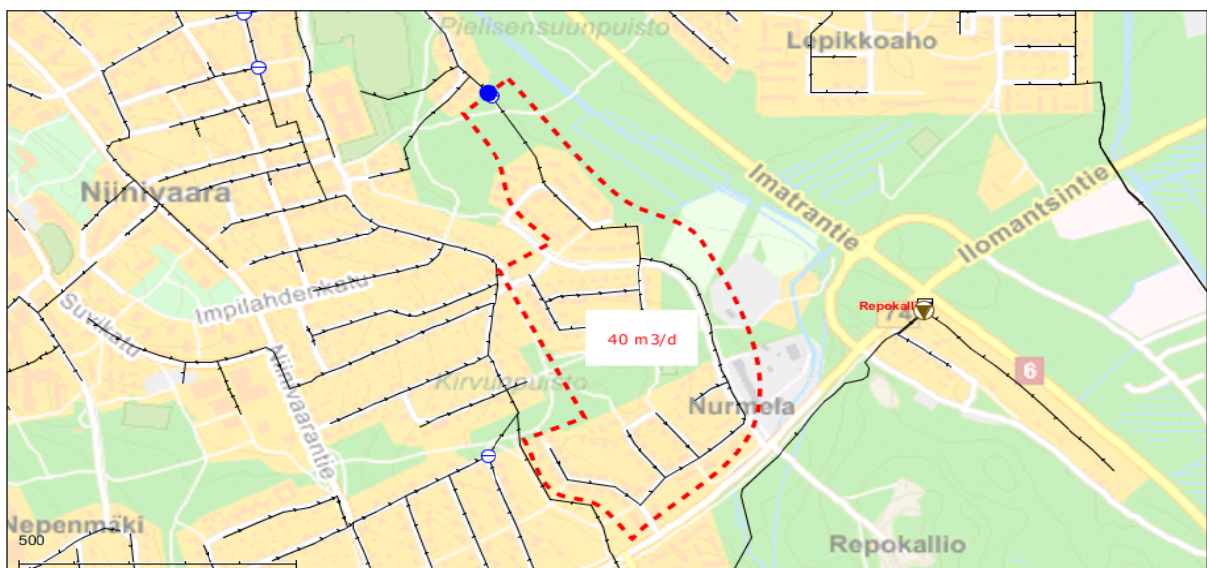
Kuva 76. Varaslammen pumpaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumpaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $159 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,4 \text{ l/s} \times \text{km}$. Kesällä minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $10 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,02 \text{ l/s} \times \text{km}$. Virtaamamittauksia suoritettiin huhtikuussa ja heinäkuussa kaivosta, joka sijaitsee Loimolankadulta Hyrsyläntien suuntaan johtavalla kevyen liikenteen väylällä. Mittaustuloksista mallinnuksen avulla saadut vuotavuusarvot vaihtelevat alueella taulukon 11 mukaisesti $0,14 - 0,51 \text{ l/s} \times \text{km}$.

Taulukko 11. Varaslammen mittauspiirin vuotavuus.

pvm	mittauskaivo	osoite	vedenkulutus	viemäriveresimäärä	vuotovesimäärä	vuotavuus
29-30.4.2013	4713	Loimolankatu	49 m^3/d	149 m^3/d	100 m^3/d	0,51 $\text{l/s} \times \text{km}$
11-12.7.2013	4713	Loimolankatu	49 m^3/d	76 m^3/d	27 m^3/d	0,14 $\text{l/s} \times \text{km}$

Varaslammen pumpaamopiirin alueelta muodostuu vuotovettä keskimäärin $48 \text{ m}^3/\text{d}$. Mallinnustuloksista tehtyjen laskelmien perusteella alueen vuotovesistä suurin osa, $40 \text{ m}^3/\text{d}$, muodostuu mittauskaivon yläpuoliselta kuvaan 77 rajatulta alueelta. Alueelta löytyi maastokäynnillä saumoistaan vuotava tarkastuskaivo.



Kuva 77. Varaslammen pumpaamopiirin vuotokohteet.

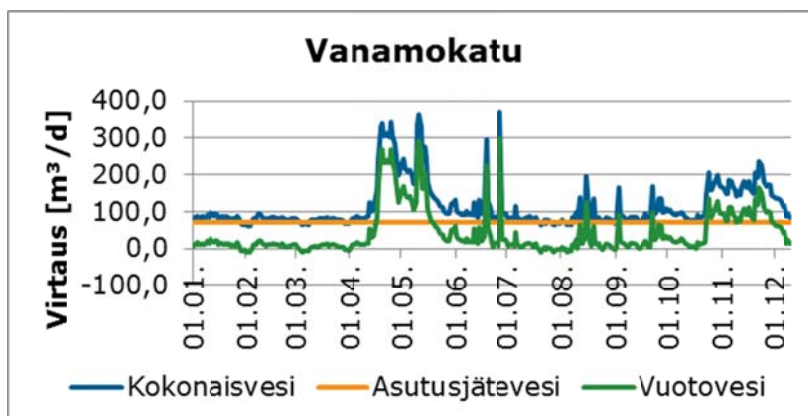
Vanamokatu

Vanamokadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 78 mukaisesti Kanervalan kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella omakoti- ja rivitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on 2,7 km ja verkosto on rakennettu 1980-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 78. Vanamokadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 115 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 340 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 80 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Kevään huippuvirtaama on yli nelinkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 79 on esitetty Vanamokadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

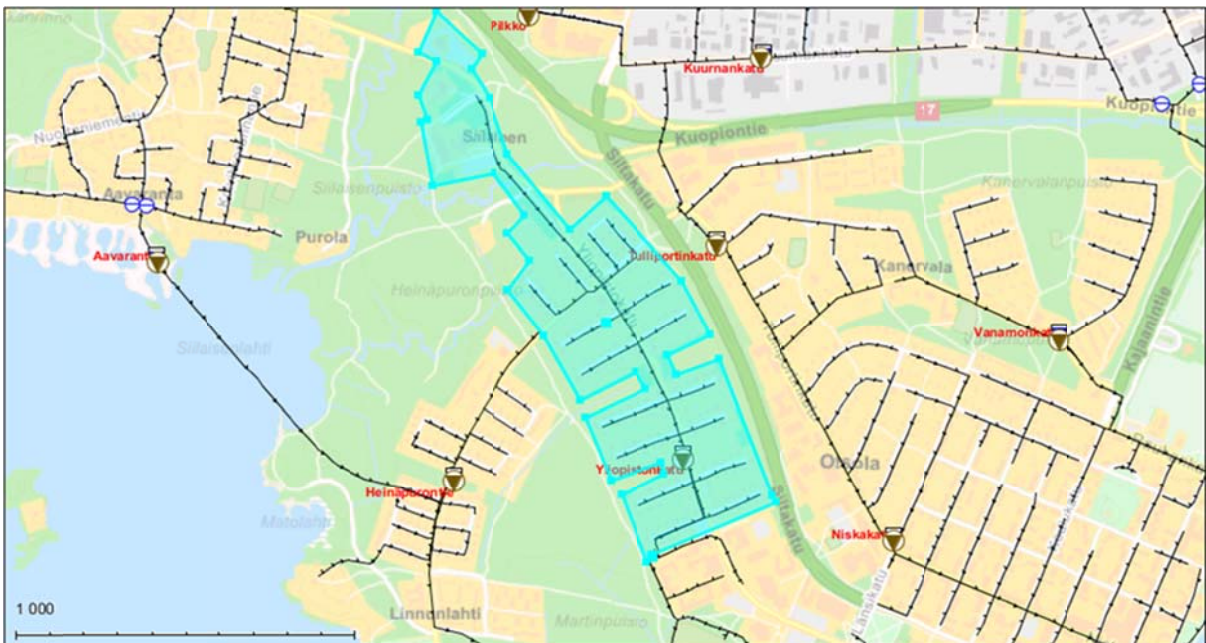


Kuva 79. Vanamokadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 158 m³/d ja vuotavuus 0,68 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 10 m³/d ja vuotavuus 0,04 l/s x km.

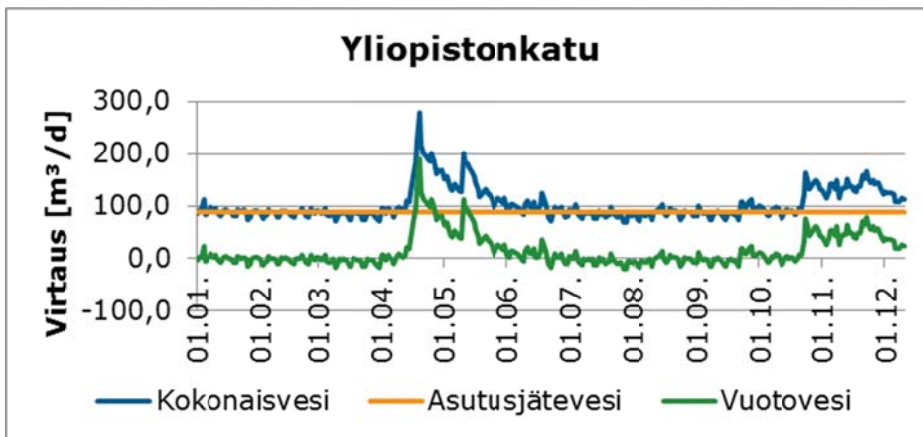
Yliopistokatu

Yliopistokadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 80 mukaisesti Linnunlahden ja Noljakan kaupunginosien alueella. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu pääosin omakotitaloista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 3,5 km ja verkosto on rakennettu 1980- ja 1990-luvuilla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 80. Vanamokadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 103 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 277 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 80 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 81 on esitetty Yliopistokadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 81. Yliopistonkadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $109 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,36 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talven ja kesän laskentajaksoilta ei ole havaintoja vuotove-destä.

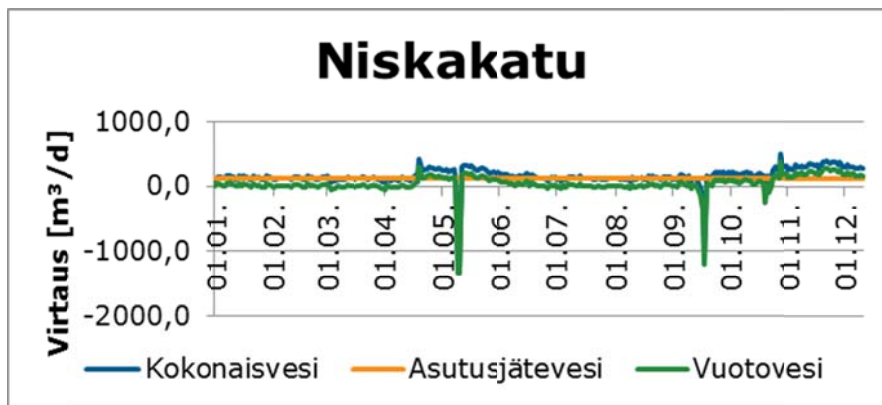
Niskakatu

Niskakadun pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 82 mukaisesti Otsolan ja Kanervalan kaupungin- osien alueella. Korkeussuhteiltaan tasaisen alueen rakennuskanta koostuu omakotitaloista ja koulurakennuksista. Viemäriverkoston kokonaispituus on 4,1 km ja verkosto on rakennettu 1980 luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säi- liöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 82. Niskakadun pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $172 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $415 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $120 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Huippuvirtaama on yli kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Laskelmissa ei ole huomioitu touko- ja syyskuun virheellisiä virtaamatietoja. Kuvassa 83 on esitetty Niskakadun pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

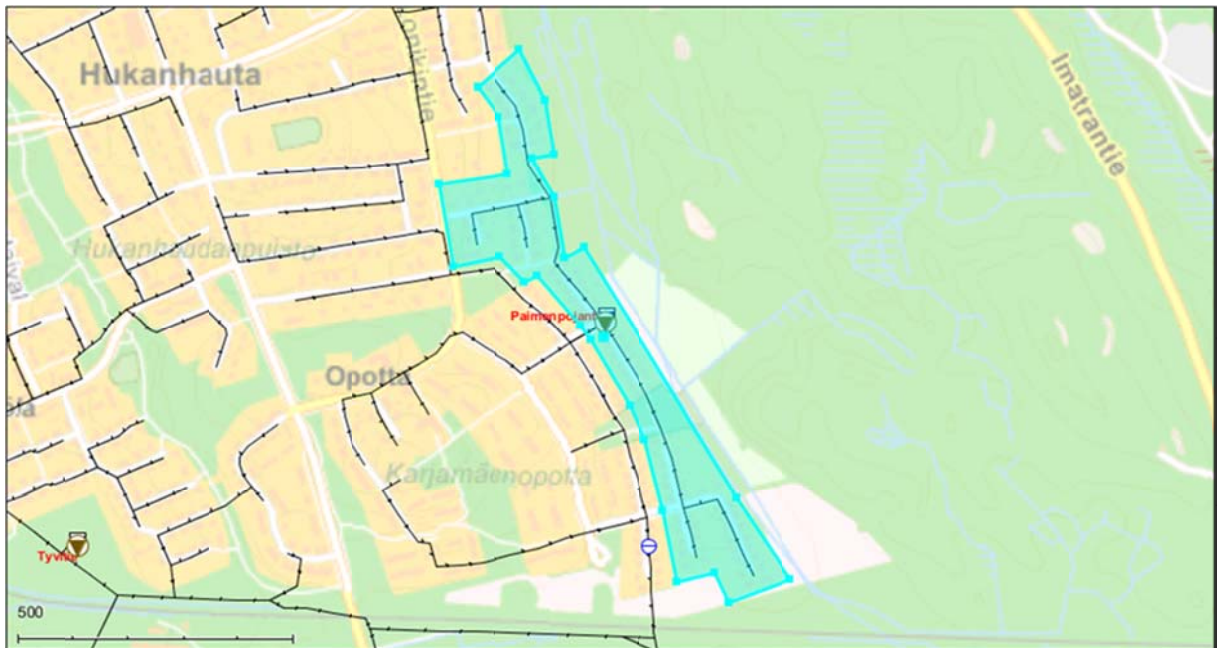


Kuva 83. Niskakadun pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $102 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,29 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $8 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,02 \text{ l/s} \times \text{km}$.

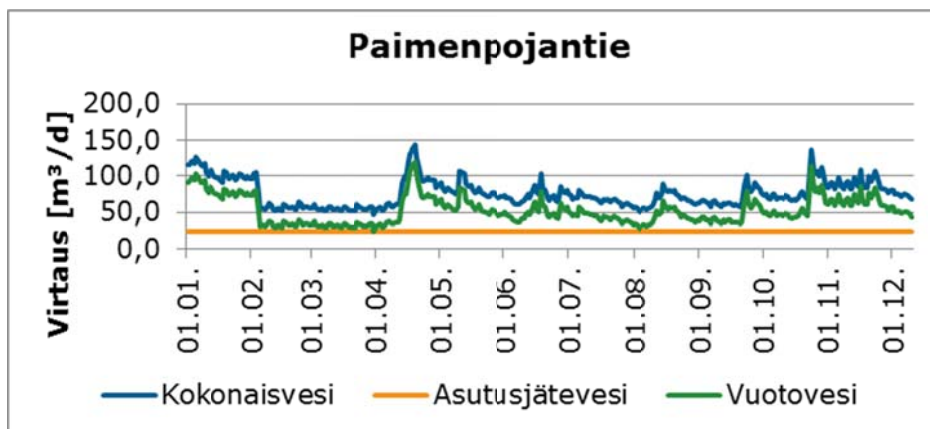
Paimenpojantie

Paimenpojantien pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 84 mukaisesti Hukanhaudan kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella omakotitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on $1,5 \text{ km}$ ja verkosto on rakennettu 1970- ja 1990-luvulla muoviputkista. Alueen lasikuiturakenteisessa halkaisijaltaan $1,3 \text{ metriä}$ olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 84. Paimenpojantien pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli $76 \text{ m}^3/\text{d}$. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli $143 \text{ m}^3/\text{d}$ ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli $55 \text{ m}^3/\text{d}$. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kolminkertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 85 on esitetty Paimenpojantien pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 85. Paimenpojantien pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $100 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,79 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli $31 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,24 \text{ l/s} \times \text{km}$. Alueelta on maastokäynnin yhteydessä tehty havainto saumoistaan vuotavasta sekä väljä kansistoisesta kaivosta.

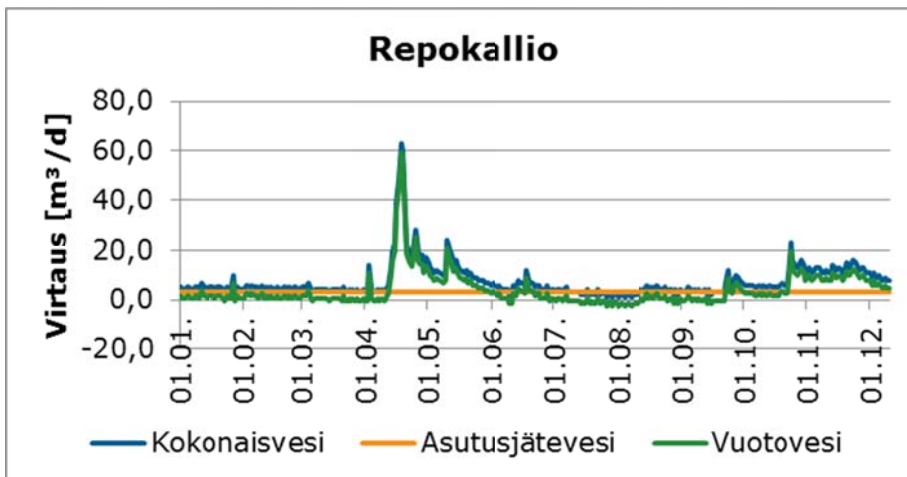
Repokallio

Repokallion pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 86 mukaisesti Iiksenvaaran ja Hukanhaudan kaupunginosien välissä korkeussuhteiltaan tasaisella pienellä omakotitaloalueella. Sekaviemäriverkoston kokonaispituus on 0,7 km ja verkosto on rakennettu 1970-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 86. Repokallion pumppaamopiiri.

Pumppaamopiirin keskimääräinen virtaama vuonna 2013 oli 7 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama oli 63 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama oli 4 m³/d. Virtaamaerot vuodenaikojen välillä ovat selvästi havaittavissa. Sadepäivät erottuvat selkeinä virtaamapiikkeinä. Huippuvirtaama on lähes kuusitoistakertainen minimivirtaamaan verrattuna. Kuvassa 87 on esitetty Repokallion pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.

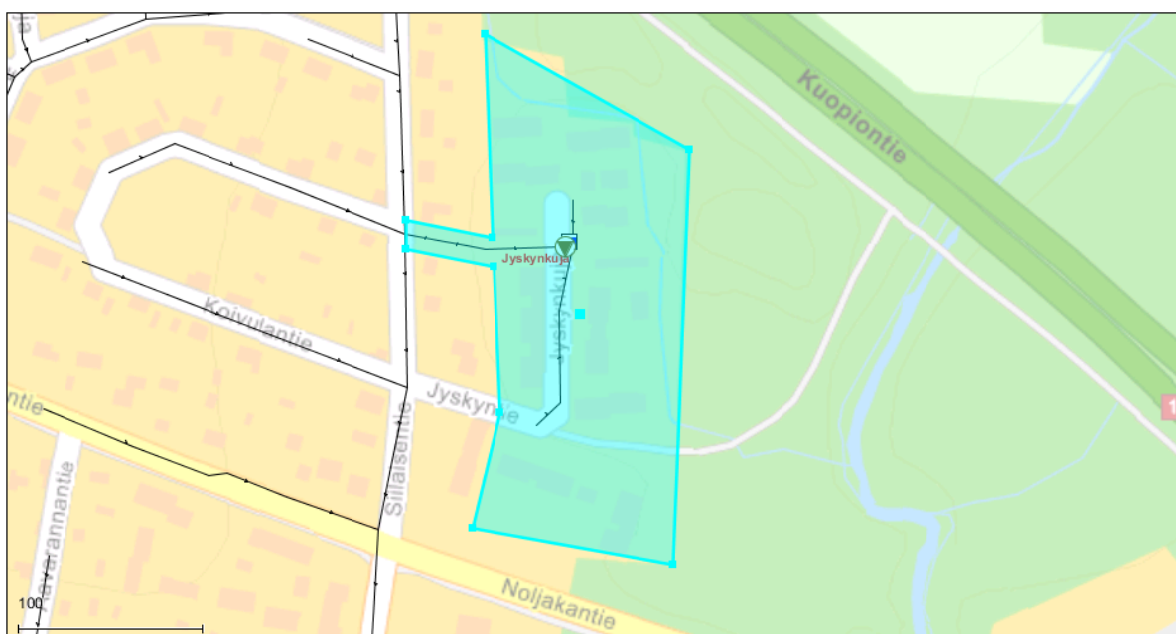


Kuva 87. Repokallion pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli $38 \text{ m}^3/\text{d}$ ja vuotavuus $0,66 \text{ l/s} \times \text{km}$. Talven ja kesän laskentajaksoilla pumppaamopiirin alueelta ei muodostu vuotovettä. Mahdollinen vuotokohde on yksittäinen vuotava kansisto. Alueen vuotavuus ei aiheuta toimenpiteitä.

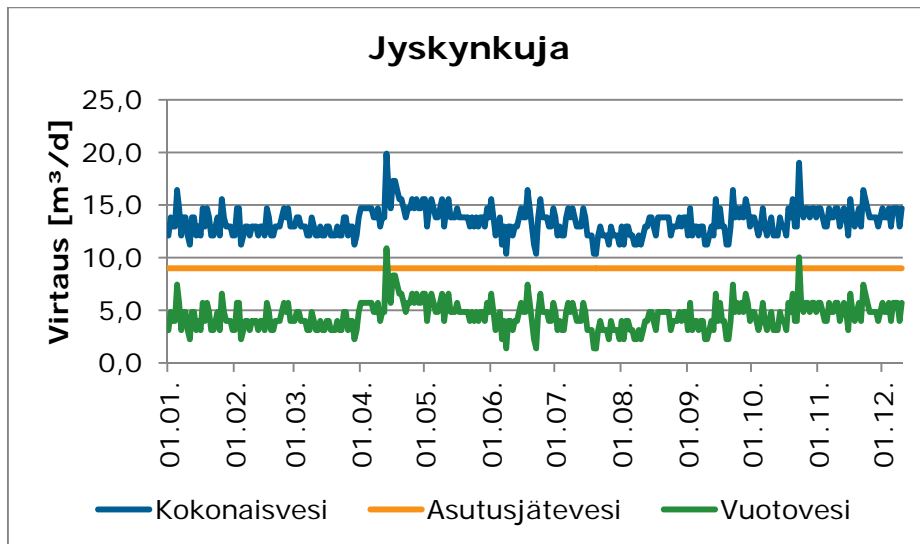
Jyskykuja

Jyskykujan pumppaamopiiri sijaitsee kuvan 88 mukaisesti Noljakan kaupunginosassa korkeussuhteiltaan tasaisella rivitaloalueella. Viemäriverkoston kokonaispituus on $0,1 \text{ km}$ ja verkosto on rakennettu 1980-luvulla muoviputkista. Alueen betonirakenteisessa halkaisijaltaan 2 metriä olevassa säiliöpumppaamossa on kaksi uppopumppua.



Kuva 88. Jyskykujan pumppaamopiiri.

Keskimääräinen virtaama alueella on n. 13 m³/d. Keväällä lumen sulamisen aikaan mitattu huippuvirtaama on n. 20 m³/d ja keskitalven aikaan mitattu minimivirtaama on n. 12 m³/d. Virtaama säilyy lähes tasaisena läpi vuoden. Kuvassa 89 on esitetty Jyskykujan pumppaamopiirin vesitase vuodelta 2013.



Kuva 89. Jyskykujan pumppaamopiirin vesitase.

Kevään huippuvirtaaman aikaan pumppaamopiirin keskimääräinen vuotovesimäärä oli 7 m³/d ja vuotavuus 0,61 l/s x km. Talvella minimivirtaaman aikaan vuotovesimäärä oli 3,5 m³/d ja vuotavuus 0,3 l/s x km. Mahdollinen vuotokohde on yksittäinen vuotava kansisto. Alueen vuotavuus ei aiheuta toimenpiteitä.

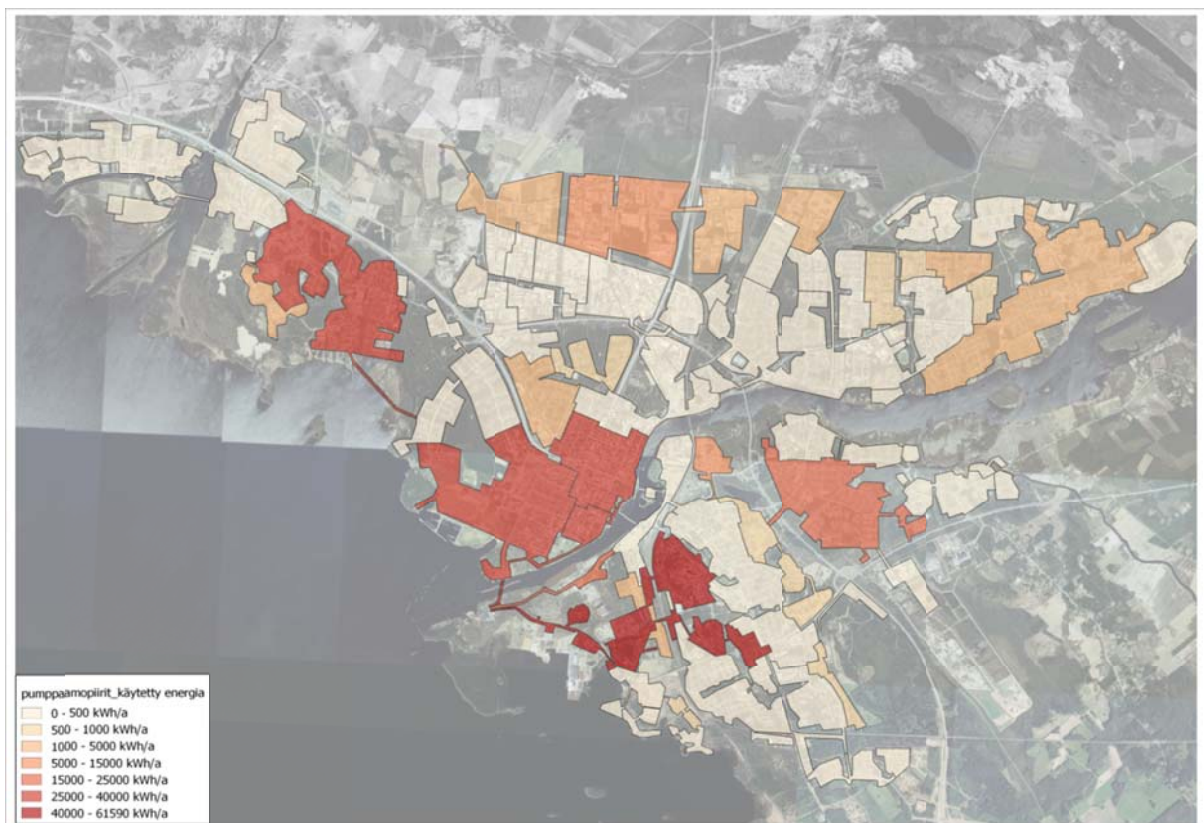
4.7 Vuotovesistä aiheutuva lisäenergiantarve

Pumppaukseen käytetty energia on laskettu mallista saadun ominaisenergian avulla. Ominaisenergia kertoo pumppaukseen tarvittavan energiamäärän suuruuden kuutiometriä kohti. Sen suuruuteen vaikuttaa pumpun hyötysuhde, pumppauksen staattinen nostokorkeus ja pumppausmatka. Pieni nostokorkeus ja lyhyt pumppausmatka pienentävät ominaisenergian arvoa.

Taulukossa 12 on esitetty jätevedenpumppaamossa olevan jätevesipumpun ominaisuudet, pumpattu vesimäärä ja siitä erotettu vuotovesimäärä sekä niiden pumppaukseen vuodessa kuluva energia ja pumppujen laskennallinen vuotuinen käyntiaika. Lisäksi taulukossa on esitetty pumppaamopiirikohtainen kokonaisvesimäärä ja pumppaamopiirissä muodostuva vuotovesimäärä sekä sen pumppaukseen vuodessa kuluva energia. Pumppaamot ovat pumppaamopiirissä muodostuvan vuotovesimäärän mukaisessa suuruusjärjestyksessä. Vuotavimmat

Vuotovesien pumppaukseen käytetään noin 43 prosenttia koko viemäriveresimäärän pumppaukseen käytettävästä energiasta. Se aiheuttaa vuodessa noin 480 MWh:n lisäenergiatarpeen. Jos sähköenergian kokonaishinnaksi arvioidaan 0,10 €/kWh on vuotuinen ylimääräinen kustannus noin 48 000 euroa. Lisäenergiatarvetta voidaan verrata sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuisen sähkönkulutukseen, joka on noin 20 MWh (Motiva 2013). Vuotovesien pumppaukseen käytetyllä lisäenergialla katettaisiin 24 omakotitalon sähkönkulutus. Verkostossa esiintyvistä vuotovedestä noin 93 prosenttia muodostuu 18 vuotavimmassa pumppaamopiirissä. Niiden osalta lisäenergiatarve on noin 460 MWh. Saneerauksilla voidaan päästä keskimäärin 60 prosentin vähennykseen vuotovesien pumppaukseen käytetyssä energiassa. Saavutettu vähennys olisi vuosittain noin 280 MWh ja tästä aiheutuva kustannussäästö noin 28 000 euroa.

Kuvassa 90 on esitetty pumppaamopiireittäin niissä syntyvän vuotoveden pumppaukseen käytetty energia. Kuhasalon, Hasaniemen, Rantapuiston ja Aavarannan pumppaamopiireissä käytetään eniten energiaa pumppaamopiirissä syntyvän vuotoveden pumppaukseen. Näillä alueilla on paljon sekaviemäroityjä viemäriosuuksia sekä vanhoja betonirakenteisia jätevesiviemäreitä.



Kuva 90. Pumppaamopiireissä syntyvän vuotoveden pumppaukseen käytetty energia.

Vuotovesien pumppaukseen käytetyn energian osuus viemäri-vesien pumppaukseen käytetystä kokonaisenergiasta on suurimmillaan noin 90 prosenttia. Taulukossa 13 on esitetty ne pumppaamot, joissa osuus on yli 50 prosenttia.

Taulukko 13. Pumppaamoiden energian käytön jakautuminen.

pumppaamo	viemäri-vesimäärän pumppaukseen käytetty energia kWh / a	vuotovesien pumppaukseen käytetty energia kWh / a	vuotovesien pumppaukseen käytetyn energian osuus %
25_Kuhasalontie	134777	80916	60
1_Hasaniemi	329339	163711	50
54_Viertolankatu	2264	1805	80
34_Hofinkatu	2903	1681	58
42_Peltolankatu	1805	1076	60
20_Paimenpojantie	1395	967	69
55_Vehkakuja	1760	1429	81
33_Salpakatu	1772	1125	63
56_Tiaisenkatu	285	256	90
48_Kokkomäentie	372	255	69
59_Vaiverotie	382	216	56
67_Patapuronkatu	256	131	51
84_Laavukatu	196	108	55
44_Viljapellontie	90	50	55
101_Repokallio	734	401	55

Taulukon 13 pumppaamoista Kuhasalontien ja Hasaniemen pumppaamoita lukuun ottamatta kaikki muut sijaitsevat viemäriverkoston latvaosilla. Latvaosilta jätevedenpuhdistamolle johdettavaa jätevettä joudutaan pumppaamaan Joensuun jätevesiviemäriverkostossa enimmillään seitsemän kertaa ennen puhdistamolle päätymistä. Latvaosalla syntyvän vuotoveden pumppaukseen käytettävä energiamäärä kertyy monikertaiseksi ensimmäiseen pumppaukseen käytettyyn energiaan verrattuna. Käytetyn energiamäärän suuruuteen vaikuttaa pumppausketjun pumppaamoiden ominaisenergian suuruus. Taulukossa 14 on esimerkkinä Viertolankadun pumppaamopiirissä syntyvien vuotovesien pumppaukseen käytetyn energian kasvu matkalla syntypisteeltä jätevedenpuhdistamolle.

Taulukko 14. Pumppaukseen käytetyn energian kasvu pumppaamoketjussa.

pumppaamo	ominaisenergia kWh / m ³	pumpattu vuotovesi m ³ / a	vuotovesien pumppaukseen käytetty energia kWh / a
54_Viertolankatu	0,0394	45801	1805
4_Kurapuro	0,1112	45801	5093
82_Pötkä	0,0609	45801	2789
2_Rantapuisto	0,0512	45801	2345
1_Hasaniemi	0,0798	45801	3655
Yhteensä			15687

Viertolankadun pumppaamopiirissä muodostuvaa vuotovettä joudutaan pumppaamaan viisi kertaa matkalla jätevedenpuhdistamolle. Pumppaukseen käytetty energiamäärä kasvaa lähes yhdeksänkertaiseksi ensimmäiseen pumppaukseen käytettyyn energiaan verrattuna. Tämä johtuu pumppaamokohtaisen ominaisenergian vaihtelusta. Ominaisenergialtaan pienimmissä Viertolankadun, Pötkän ja Rantapuiston pumppaamoissa pumppaus käsittää vain tasonnoston. Kurapurossa ja Hasaniemessä on tasonnoston lisäksi mukana paineviemäriolosuhteet, jonka läpäisy vaatii lisäenergiaa. Se näkyy suurempana ominaisenergiana. Kuvassa 91 on esitetty koko jätevesiviemäriverkoston pumppauskertojen lukumäärä pumppaamopiireittäin.

**Kuva 91.** Kantakaupungin jätevesiviemäriverkoston pumppauskertojen lukumäärä.

4.8 Vuotovesistä aiheutuva vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

Kasvihuoneilmiötä aiheuttavia ilmakehän kaasuja kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. Hiilidioksidilla (CO₂) on suurin vaikutus ilmaston lämpenemiseen ja siitä aiheutuvaan ilmastonmuutokseen. Se on väritön ja hajuton kaasu, joka ilmakehässä päästää auringonvalon lävitseen estäen kuitenkin lämpösäteilyn heijastumisen takaisin avaruuteen. Tämä aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Sen osuus kaikista maapallon lämpenemistä aiheuttavista kaasuista on 80 prosenttia. Noin 75 prosenttia hiilidioksidipäästöistä on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiantuotannossa ja liikenteessä. (CO₂-raportti 2015)

Pumppaukseen kuluvan sähköenergian tuottamiseen liittyvät hiilidioksidipäästöt on laskettu käyttämällä Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaavaa hiilidioksidipäästökerrointa K₂. Kerroin koostuu Suomen sähkön kokonaistuotannon hiilidioksidipäästöistä, johon on huomioitu omaan käyttöön ja vientiin kohdistuneen sähköntuotannon päästöt. Sähkönhankinnan keskimääräinen hiilidioksidipäästökerroin lasketaan viiden vuoden liukuvana keskiarvona. Se on 220 kg CO₂/MWh. (Motiva Oy 2015)

Joensuun kantakaupungin viemäriverkoston vuotoveden pumppauksesta aiheutuva hiilidioksidipäästö on 106 tonnia. Päästöä voidaan verrata henkilöautojen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Suomessa henkilöautokannan keskimääräinen hiilidioksidipäästö on 170 g/km (Yle uutiset 2015). Joensuussa oli vuoden 2014 lopussa noin 43 000 rekisteröityä henkilöautoa (Tilastokeskus 2015). Vuotoveden pumppauksesta vuodessa aiheutuva hiilidioksidipäästö vastaa kaikkien Joensuussa rekisteröityjen henkilöautojen noin 15 kilometrin ajosuoritetta.

Päästökauppajärjestelmä kattaa noin puolet Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Sen piiriin kuuluvat suuret teollisuus- ja energialaitokset sekä lentoliikenne. Tavoitteena on kohdistaa päästöjen vähennys mahdollisimman kustannustehokkaisiin kohteisiin. Päästöoikeuksia jaetaan joko ilmaiseksi tai ne täytyy ostaa huutokaupasta tai jälkimarkkinoilta. Hintaan vaikuttavat suhdanteet, yritysten energiavalinnat ja poliittiset ilmastotavoitteet. Päästöoikeuden yksikkö on hiilidioksiditonni (Ruohomäki K 2014; Työ- ja elinkeinoministeriö 2015). Päästöoikeuden hinta oli vuoden 2015 alussa noin 7 €/ t CO₂ (Turku energia 2015). Vuotoveden pumppauksesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen päästöoikeuden hinta on 742 euroa. Vuotavimpien pumppaamopiirien osalta voidaan saneerauksilla saavuttaa 62 tonnin vähennys hiilidioksidipäästöihin. Päästöoikeuksista maksettu hinta alenisi 434 euroa.

4.9 Saneerauskohteet ja jatkotoimenpiteet

Mallinnuslaskelmien tulosten perusteella vuotavimmiksi osoittautuneista pumppaamopiireistä on pyritty selvittämään vuotojen syitä. Niitä on etsitty verkostokarttatarkastelun ja maastokäyntien perusteella. Taulukkoon 15 on koottu vuotavimpien pumppaamopiirien ongelmakohteet, niiden laajuus, korjaustoimenpiteet ja saneerauskustannukset.

Havaitut ongelmakohteet liittyvät suurimmalta osin sekaviemärointiin ja jätevesikaivoihin sekä niiden kansistoihin. Sekaviemäroidyn verkoston pituus on noin 4 400 m. Hulevesiviemäriin rakentaminen toteutetaan useimmiten muun kunnallistekniikan rakentamisen tai saneerauksen yhteydessä. Tällaisissa kohteissa hulevesiviemäroinnin rakennuskustannusten on arvioitu olevan noin kolmasosa koko vesihuollon rakennuskustannuksista. Vuotavimpien alueiden saneerauksen kokonaiskustannusarvio on noin 820 000 euroa. Saneerauksia on vaikea perustella pelkästään saavutettavilla kustannussäästöillä. Hankkeen takaisinmaksuaika olisi näin ajateltuna 30 vuotta, joka on noin puolet verkoston teknisestä käyttöiästä.

Taulukko 15. Vuotavimpien pumppaamopiirien saneerauskohteet.

OSOITE	HAVAITTU ONGELMA	LAAJUUS	KORJAUSTOIMENPIDE	KUSTANNUSARVIO
RANTAPUISTON PUMPPAAMOPIIRI				
Taidemuseo, Kirkkokatu 23	tontin hulevedet johdettu jätevesiviemäriin	50 m	hulevesiviemärin rakentaminen	20 000
Koulukatu välillä Siltakatu - Sairaalakatu	sekaviemärointi	480 m	hulevesiviemärin rakentaminen	110 000 *
Kirkkokatu välillä Niskakatu - Sairaalakatu	sekaviemärointi	350 m	hulevesiviemärin rakentaminen	80 000 *
Kauppakatu Niskakatu - Sairaalakatu	sekaviemärointi	380 m	hulevesiviemärin rakentaminen	85 000 *
Torikatu välillä Yläsatamakatu - Pohjoiskatu	sekaviemärointi	415 m	hulevesiviemärin rakentaminen	95 000 *
Suvantasillan pengerruiska, kaivo 2898	betonirengaskaivon kansisto päinanteessa		kansiston korotus	1 000
YHTEENSÄ				390 000
KUHASALON PUMPPAAMOPIIRI				
Mäyräkatu	sekaviemärointi	250 m	hulevesiviemärin rakentaminen	30 000 **
Saukonkatu	sekaviemärointi	330 m	hulevesiviemärin rakentaminen	45 000 **
Hillerinkatu	sekaviemärointi	340 m	hulevesiviemärin rakentaminen	50 000 **
Notkokatu	sekaviemärointi	70 m	hulevesiviemärin rakentaminen	15 000 **
Santalankatu	sekaviemärointi	200 m	hulevesiviemärin rakentaminen	35 000 **
Päästäisenkatu	sekaviemärointi	120 m	hulevesiviemärin rakentaminen	20 000 **
Hukanhaudantie välillä Majavankatu-Niinivaarantie	sekaviemärointi	150 m	hulevesiviemärin rakentaminen	30 000 **
Majavankatu	sekaviemärointi	180 m	hulevesiviemärin rakentaminen	30 000 **
Kulmalankatu	sekaviemärointi	85 m	hulevesiviemärin rakentaminen	15 000 **
YHTEENSÄ				270 000
SORTAVALANKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Antinkujan alue	sekaviemärointi	250 m	hulevesiviemärin rakentaminen	30 000 **
POHJOLANKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Sommelotien ja Nyyrikinkadun risteyskaivo 6658	betonikaivon kansisto maanpinnan alapuolella		kansiston korotus	1 000
WAHLFORSSINKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Raatekankaantie 16 , kaivo 4430	betonirengaskaivon kansisto väljä, vuotaa		kehysten ja kansiston uusiminen	1 000
Raatekankaantie 18 , kaivo 7453	betonirengaskaivon pohja vuotaa		kaivon uusiminen	2 500
YHTEENSÄ				4 000
SUOKUKONKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Suokukonkadun jvp kaivot 6211 ja 3722	tarkastuskaivot vuotavat		kaivojen saneeraus	3500
Suokukonkadun jvp kaivo 6211	kansisto irti kartiorenkaasta		kansiston vaihto säädettäväksi kansistoksi	500
Lasitehtaantie 11, kaivo 6130	betonirengaskaivon kansisto irti kartiorenkaasta, kaivon on valnut multaa, alin sauma vuotaa		kansiston kiinnitys/vaihto ja kaivon huuhdelu	1 000
YHTEENSÄ				5 000
VIERTOLANKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Kiiskintie	sekaviemärointi	300 m	hulevesiviemärin rakentaminen	35 000 **
Killintie	sekaviemärointi	250 m	hulevesiviemärin rakentaminen	30 000 **
Jukolankadun viereinen teollisuusalue	sekaviemärointi	350 m	hulevesiviemärin rakentaminen	40 000 **
YHTEENSÄ				105 000
PELTOLANKADUN PUMPPAAMOPIIRI				
Repolankatu 4, kaivo 3167	pohjasta vuotava betonirengaskaivo		kaivon uusiminen	2 500
Repolankatu 4, kaivo 3167	tonttijohdosta tulee hulevesiä, rikkoutunut putki tai hulevesiliitos		tonttijohdon kuvaus	500
YHTEENSÄ				3 000
KOPPOLAN PUMPPAAMOPIIRI				
Kartanonien jatkeena oleva polku	hulevedet johdettu jätevesiviemäriin	40 m	uuden purkuputken ja avo-ojan rakentaminen	15 000
* hulevesiviemärin osuus vesihuollon rakennuskustannuksista (samalla uusitaan vesijohdot ja jätevesiviemärit)				
** hulevesiviemärin osuus vesihuollon rakennuskustannuksista (samalla uusitaan kadun rakenneerrokset, vesijohdot ja jätevesiviemärit)				

Saneeraukset kannattaa keskittää kohteisiin, joista saatava tekninen ja taloudellinen hyöty on mahdollisimman suuri. Suurimman hyödyn tuovat sekaviemäröinnin korvaaminen erillisviemäröinnillä sekä kiinteistöistä ja katualueilta tulevien laittomien hulevesiliitosten poisto. Verkoston latvaosilla tehdyistä saneerauksista saatu hyöty kertautuu pumppausketjussa. Pie-nilläkin korjauksilla voidaan saada aikaan näkyviä vähennyksiä vuotovesimäärään. Esimerkiksi Viertolankadun vuotovesimäärä, joka on keskimäärin 125 m³/d voi olla peräisin yhden

vuotavan kaivonkannen kautta verkostoon tulevasta hulevesivirtaamasta. Vuotavasta kaivonkannesta voi aiheutua ylimääräistä hulevesivirtaamaa jopa 400 m³/d.

Havaitut saneerauskohteet vaativat ennen saneerauspäätösten tekemistä lisätutkimuksia havaintojen varmistamiseksi ja saneerausalueen laajuuden selvittämiseksi. Havaintojen varmistaminen voidaan suorittaa savukokeiden, viemärikuvausten, virtaamamittausten ja mahdollisten tonttijohtokorttien läpikäynnin perusteella. Ainoastaan selvästi todennettavien vikojen, kuten jätevesikaivon kansistojen korjaukseen voidaan ryhtyä välittömästi.

5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Vuotoveden osuus Joensuun kantakaupungin viemäriverkostossa virtaavasta jätevedestä on noin 41 prosenttia. Osuus on hieman Vesilaitosyhdistyksen arviota suurempi. Verkoston voidaan arvioida olevan hieman keskimääräistä huonommassa kunnossa.

Vuotovesien pumppaus aiheuttaa vuosittain noin 480 MWh:n lisäenergiatarpeen. Määrä riittäisi kattamaan 24 sähkölämmitteisen omakotitalon vuosikulutuksen. Lisäenergiatarve on noin 43 prosenttia koko viemäriveresimäärän pumppaukseen käytetystä energiasta ja muodostuu lähes yksinomaan 18 vuotavimmassa pumppaamopiirissä. Siitä aiheutuu vuosittain noin 48 000 euron lisäkulu. Lisäenergiatarpeesta aiheutuva hiilidioksidipäästö on 106 tonnia. Päästöt vastaavat kaikkien Joensuussa rekisteröityjen henkilöautojen noin 15 kilometrin ajo-suoritetta. Merkittävän lisäenergiatarpeen aiheuttama hiilidioksidipäästö on pieni liikenteen aiheuttamaan päästöön verrattuna.

Jätevettä joudutaan pumppaamaan Joensuun viemäriverkostossa keskimäärin kolme kertaa ennen jätevedenpuhdistamolle päätymistä. Vuotovedestä aiheutuva lisäenergiatarve kertaantuu pumppausketjun aikana moninkertaiseksi ensimmäiseen pumppaukseen verrattuna. Tämä lisää verkoston latvaosilla tehtyjen pientenkin saneerausten painoarvoa.

Teollisuustonttien sisäisen viemäriverkoston rakennustyön laatuun ja valvontaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Uusien teollisuusalueiden jätevesiviemäriverkostoissa esiintyy suuria vuotovesimääriä, jotka ovat useimmiten peräisin hulevesiliitoksista. Alueiden rakentamisen jälkeen voitaisiin suorittaa pumppaamoiden virtaamatietoihin tai mittauksiin perustuva tarkastus, jolla varmistettaisiin verkoston oikea toiminta. Näin vuotovesiin voitaisiin puuttua välittömästi eikä vasta myöhemmin ilmenevien ongelmien myötä.

Vuotavimpien pumppaamopiirien saneerauksen kustannusarvio on noin 820 000 €. Sillä voitaisiin saavuttaa 280 MWh:n vähennys lisäenergiantarpeeseen. Saatavan hyödyn perustelu pelkillä kustannussäästöillä on vaikeaa. Saneerauksen takaisinmaksuaika on 30 vuotta eli noin puolet verkoston teknisestä käyttöiästä.

Joensuun Vesi suosii toiminnassaan ympäristöystävällistä vähäpäästöistä energiaa ja pyrkii vähentämään energiankulutusta. Esimerkkeinä voidaan mainita Kuhasalon jätevedenpuhdistamalla jäteveden lämmöstä ja mädättämökaasuista tuotettavan energian sekä työajoon käytettävät kaksi sähköautoa. Samaa linjaa voisi jatkaa myös jätevesiviemäriverkoston osalta. Tavoitteeksi tulisi asettaa keskusta-alueen sekaviemäreiden korvaaminen erillisviemäreillä esimerkiksi lähimmän 10 vuoden aikana ja vuotovesimäärän yleinen vähentäminen koko verkoston alueella. Jolloin saavutettaisiin tuntuvia vähennyksiä lisäenergian tarpeen osalta.

Tulokset perustuvat Joensuun kantakaupungin viemäriverkостosta tehtyyn vuotovesiselvitykseen. Sen lähtötietoihin liittyi epätarkkuuksia. Verkstokartta ei kaikilta osin perustunut rakentamisen jälkeiseen tarkemittaukseen. Puutteita löytyi korko-, koko- ja putkimateriaalitiedoista. Puuttuneet lähtötiedot korvattiin viereisten putkiosuuksien tietoja hyödyntäen. Betonista paikalla valettujen pumppaamosäiliöiden korko ja kokotiedoissa oli puutteita. Korkotaso arvioitiin verkoston korkoja hyödyntäen ja tilavuudeksi valittiin sopiva vakiotilavuus. Pumppaamoiden automaatiojärjestelmistä saadut tiedot olivat 22 pumppaamon osalta epäluotettavia. Nämä pumppaamopiirit jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Kaikki edellä mainitut puutteet ovat aiheuttaneet osaltaan epätarkkuuksia mallinnuksen tuloksiin.

Virtaamamittausten yhteydessä epätarkkuutta on aiheutunut virtaamamittarin asennuksen yhteydessä suoritetuista korkotasojen mittauksista. Erityisesti syvistä kaivoissa korkeustasojen mittaus oli erittäin hankalaa. Tarkastuskaivoista tehdyissä virtaamamittauksissa käytettiin yhtä virtaamamittaria. Useista tarkastuskaivoista samanaikaisesti suoritettavat mittaukset olisivat helpottaneet vuotavimpien alueiden rajausta. Viemäriputkissa tapahtuneet painumat tai niissä olevat vauriot ja tukokset aiheuttavat viemäriputkiin padotusta. Tällaisen kohteen lähistöllä suoritettujen virtaamamittausten tulokset johtivat mallinnuksessa liian suuriin virtaamarvoihin. Näistä saadut tulokset jouduttiin hylkäämään.

Vuotovesimäärä vaihtelee vuosittain vuotuisen sademäärän mukaisesti. Ilmaston lämpeneminen on johtamassa sään ääri-ilmiöiden yleistymiseen. Niistä aiheutuvat rankkasateet ja tulvat lisäävät hulevesivirtaamia erityisesti rakennetussa kaupunkiympäristössä. Etenkin sekaviemäroidyillä alueilla vuotovesimäärät tulevat lisääntymään merkittävästi. Lisäksi maastonmuotojen suhteen epäedullisimmissa kohdissa olevat jätevesiviemärin tarkastuskaivot ja jätevedenpumppaamot lisäävät vuotovesiriskiä. Sään ääri-ilmiöt tulevat näkymään selvästi jätevesiviemäriverkoston vuotovesimäärissä niin kauan kuin sekaviemäroityjä viemäriosuuksia on käytössä.

Taajuusmuuttajien käyttö on lisääntymässä jätevedenpumppaamoissa. Optimaaliseksi säädetty pyörimisnopeus mahdollistaa tasaisen jätevesivirtaaman ja pienentää merkittävästi pump-pauksesta aiheutuvaa energiankulutusta. Taajuusmuuttajien käyttö tasaa runsaista vuotovesistä aiheutuvia virtaamapiikkejä vähentäen ylivuotojen määrää.

Jätevesien puhdistus keskitetään nykyisin yhä useammin tehokkaasti toimiviin alueellisiin keskuspuhdistamoihin. Siirtoviemäreillä toisiinsa liitetyt viemäriverkostot kattavat laajoja alueita. Laajentumisen myötä verkostojen omistus on jakautunut useiden vesihuoltolaitosten kesken. Verkostojen kunto sekä toiminta- ja toteutustavat vaihtelevat vesihuoltolaitoksittain. Osalla laitoksista hulevesiviemärinti saattaa puuttua kokonaan. Hulevedet johdetaan avo-ojien kautta purkuvesistöihin. Näillä alueilla tonteilta tulevat salaoja ja hulevedet on mahdollista johtaa luvallisesti jätevesiviemäriin. Tällaista toimintatapaa noudattavien vesihuoltolaitosten alueelta tuleva virtaama saattaa lisätä merkittävästi keskuspuhdistamolle tulevaa vuotovesikuormitusta. Pienen puhdistamon lakkautuksen myötä vuotovesien aiheuttamat ongelmat siirtyvät helposti toisen vesihuoltolaitoksen alueelle. Vuotovesien alkuperän ja saneeraustarpeiden selvittäminen saattaa jäädä tekemättä. Vuotovesimäärän selvittäminen on tärkeää suunniteltavien rakennushankkeiden kannalta, jotta välttyttäisiin siirtoviemäreiden, pumppaamoiden ja puhdistamon ylimitoitukselta ja tarpeettomilta rakennuskustannuksilta.

Vuotovesi vaikuttaa merkittävästi jätevesiviemäriverkoston toimintaan. Sekaviemäroinnissä vuotovedestä on etua huuhteluvaikutuksen ansiosta. Erillisviemäroinnissä siitä aiheutuu mit-tavia ongelmia erityisesti ylivuotojen seurauksena. Vuotovesi lisää pumppaamoiden energian-kulutusta, hiilidioksidipäästöjä sekä pumppujen huollontarvetta käyntiaikojen kasvun ja vuotoveden sisältämän hiekan kulutusvaikutuksen vuoksi. Myös jäteveden puhdistuskustannukset

kasvavat lisääntyneiden hiekanpoisto- ja kemikaalikulujen myötä. Suurin kuluerä aiheutuu vuotovesien pumppaukseen kuluvaan lisäenergiasta.

Lähtöaineistossa esiintyneistä epävarmuuksista ja virheistä huolimatta vuotovesiselvitys antaa riittävän tarkan kuvan verkostotilasta ja vuotavista alueista. Vuotovesiselvityksellä ei haeta täsmälleen oikeita virtaamia vaan pyritään hahmottamaan verkoston toiminnan kannalta tärkeimmät ongelma-alueet.

Pelkästään Joensuun vuotovesiselvityksen tulosten perusteella ei voida tehdä valtakunnallisia yleistyksiä vuotovesistä aiheutuvan lisäenergiantarpeen tai kasvihuonekaasupäästöjen suuruuteen. Saadut tulokset ovat suuntaa antavia. Pidemmälle meneviin johtopäätöksiin vaaditaan erikokoisista jätevesiviemäriverkostoista tehtyjen selvitystulosten analysointia.

6 YHTEENVETO

Suurin osa suomalaisista asuu viemäröidyillä alueilla. Vesihuoltolaitokset vastaavat viemäröinnin järjestämisestä ja verkoston ylläpidosta. Yleisimmät viemäröintimuodot ovat sekaviemäröinti ja erillisviemäröinti. Verkostossa virtaavasta jätevedestä yli 30 prosenttia arvioidaan olevan vuotovettä. Se on sinne kuulumatonta hule- ja pohjavettä. Sekaviemäröinnissä vuotovesistä ei ole haittaa. Suuret vuotovesivirtaamat huuhtelevat sekaviemärin tehokkaasti. Erillisviemäröinnin osalta tilanne on täysin päinvastainen. Vuotovedet kuormittavat tarpeettomasti erillisviemäröintiä. Niistä saattaa aiheutua erityisesti keväisin ja rankkasateiden aikaan ympäristöä kuormittavia ylivuotoja. Niitä voi esiintyä jätevedenpumppaamoilla ja puhdistamolla. Verkostoa ei saada täysin vuotovedettömäksi. Sen määrää voidaan pienentää merkittävästi oikein kohdennetuilla pienilläkin verkoston saneerauksilla.

Aluekohtainen vuotovesimäärä ja vuotokohteet pyritään selvittämään vuotovesiselvityksen avulla. Mallinnukseen pohjautuva vuotovesiselvitys mahdollistaa verkoston toiminnan tarkastelun kokonaisuutena erilaisissa käyttötilanteissa.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää vuotovesistä aiheutuvan lisäenergiantarpeen ja kasvihuonekaasupäästöjen kasvua. Lisäksi tarkoituksena oli pohtia verkoston omistussuhteiden, sää-ääri-ilmiöiden ja taajuusmuuttajien vaikutuksia vuotovesien hallintaan sekä selvittää voidaanko tuloksista tehdä valtakunnallisia yleistyksiä.

Saadut tulokset pohjautuvat Joensuun kantakaupungin jätevesiviemäriverkosta laadittuun mallinnukseen ja sen pohjalta tehtyyn vuotovesiselvitykseen. Mallinnettavan verkoston kokonaispituus oli 266 kilometriä. Siinä oli mukana 5000 tarkastuskaivoa ja viemäriputkea sekä 74 jätevedenpumppaamoja.

Verkoston latvaosalla muodostuvan vuotoveden pumppaukseen käytettävä energiamäärä kasvaa pumppausketjun edessä pumppujen ominaisenergian mukaisesti. Latvaosalla pumppaukseen käytetty energia moninkertaistuu pumppausketjun aikana.

Joensuun jätevesiviemäriverkостossa jätevesien pumppaukseen käytetystä energiasta noin 43 prosenttia käytetään vuotovesien pumppaukseen. Siitä aiheutuu vuosittain 480 MWh:n lisäenergiantarve, joka johtaa energiantuotannon osalta 106 tonnin hiilidioksidipäästöihin. Lisäenergiantarpeesta aiheutuva hiilidioksidipäästö ovat pieni liikenteen aiheuttamaan päästöön verrattuna.

Vuotavimpien pumppaamopiirien saneerauksella voidaan saavuttaa 60 prosentin vähennys vuotovesimäärään. Saneerauksen on arvioitu maksavan noin 820 000 euroa. Vähentynyt energiantarve johtaisi noin 28 000 euron kustannussäästöön. Hiilidioksidipäästöt vähenisivät 62 tonnilla. Saneerauksista saatavaa hyötyä on vaikea perustella saavutettavilla kustannussäästöillä. Hankkeen takaisinmaksuaika on noin 30 vuotta. Pienempää energian kulutusta ja ympäristöystävällistä vähäpäästöistä energiaa suosiva toimintamalli kannustaa saneerausten tekoon. Yksittäisiin tarkastuskaivoihin kohdistuvat saneeraukset kannattaa tehdä välittömästi. Pienillä kustannuksilla voidaan saavuttaa merkittäviä vähennyksiä pumppaamopiirin vuotovesimäärään ja välttyä haitallisilta ylivuodoilta.

Ilmastonmuutoksen myötä rankkasateiden on ennustettu lisääntyvän Suomessakin. Ne lisäävät vuotovesimäärää etenkin sekaviemäröidyillä alueilla. Sekaviemäröidyn sekä huonokuntoisen verkoston korjaustoimenpiteiden toteuttaminen tulee entistäkin tarpeellisemmaksi ja taloudellisesti kannustavammaksi.

Taajuusmuuttajien avulla saavutettava optimaalinen virtaama loiventaa haitallisia virtaamapiikkejä. Pumput toimivat samalla mahdollisimman energiatehokkaasti.

Jätevesiviemäriverkostot ovat laajentuneet jätevesien puhdistuksen keskittämisen myötä useiden eri kuntien alueille. Verkoston omistus jakautuu entistä useampien vesihuoltolaitosten kesken. Sen kunto sekä toiminta- ja toteutustavatkin vaihtelevat vesihuoltolaitoksittain. Tämä

asettaa haasteita vuotovesien hallinnalle. Vuotovesistä omaan verkostoon aiheutuneet ongelmat ovat saattaneet siirtyä puhdistustoiminnan lopetuksen myötä osaksi toisen vesihuoltolaitoksen pumppaamojen ja keskuspuhdistamon ylivuotoja. Tällöin verkoston saneeraus saattaa jäädä tekemättä.

Työn tulokset ovat valtakunnallisella tasolla suuntaa antavia. Pidemmälle viedyt johtopäätökset vaativat useamman kohteen tulosten arviointia.

LÄHDELUETTELO

CO2-raportti. 2015. Tietoa ilmastonmuutoksesta [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.6.2015]. Saatavilla <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>

Joensuun Vesi. 2015. Kuhansalon jätevedenpuhdistamo [verkkodokumentti]. [Viitattu 10.6.2015]. Saatavilla <http://www.joensuunvesi.fi/kuhasalon-jatevedenpuhdistamo>

Kakkonen, P. 2014. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon velvoitetarkkailujen yhteenveto 2013. Joensuu: Joensuun Vesi

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

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL

Motiva Oy. 2013. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011 Tutkimusraportti 26.2.2013[pdf-dokumentti]. [Viitattu 23.11.2015]. Saatavilla http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus

Motiva Oy. 2015. CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.6.2015]. Saatavilla http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Ruohomäki, K. 2014. Päästökaupan nykytila ja muutokset 2020-luvulla [pdf-dokumentti]. [Viitattu 15.6.2015]. Saatavilla http://ek.fi/wp-content/uploads/Paastokauppa____9.5.2014.pdf

Smolander, A. 2014. Jätevesiverkoston vuotovesiselvitys verkostomallinnuksen avulla. Jyväskylä: FCG Suunnittelu ja tekniikka

Tilastokeskus. 2015. Tilastokeskuksen PX - WEB - tietokannat [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2015]. Saatavilla http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__lii__mkan/020_mkan_tau_102_fi.px/?rxid=3ce68545-2a8e-45a7-8449-4bfe68e8cf2c

Turku energia. 2015. Energiamarkkinakatsaus huhtikuu 2015 [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2015]. Saatavilla <http://www.turkuenergia.fi/yrityksille/uutiskirje-yrityksille/energiamarkkinakatsaukset/sahkomarkkinakatsaus-huhtikuu-2015/>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015. Päästökauppadirektiivi [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.6.2015]. Saatavilla <https://www.tem.fi/energia/paastokauppa/paastokauppadirektiivi>

Vesilaitosyhdistys. 2012. Välttämätön vesi [pdf-dokumentti]. [Viitattu 16.11.2014]. Saatavilla http://www.vvy.fi/files/2228/valttamaton_vesi_8_6_2012_netti.pdf

Vesilaitosyhdistys. 2015. Jätevesien käsittely [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.6.2015]. Saatavilla http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/jatevedet

Yle uutiset. 2015. Paljonko alueesi autot saastuttavat? [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.11.2015]. Saatavilla http://yle.fi/uutiset/paljonko_asuinalueesi_autot_saastuttavat__katso_kartalta/8121018