

WWData

Vesilaitosten digitalisointia - Jätevesiverkoston datan hallinta ja innovatiiviset sovellukset

Soveltuvuusselvitys (WP5) - loppuraportti

Jani Tomperi

Säätötekniikan tutkimusryhmä
Ympäristö- ja kemiantekniikan tutkimusyksikkö (ECE)
Oulun yliopisto

01.06.2022



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Tiivistelmä

Työpaketissa WP5 suoritettuna oli tarkastella viemärikaivoon asennettuna ultraäänitekniikkaan perustuvan edullisen etäisyysmittausensorin ja tiedonsiirron toimintavarmuutta haastavissa ja vaihtelevissa olosuhteissa, sekä kehittää pelkästään jäteveden pinnankorkeustietoa hyödyntävä datapohjainen virtuaalisensori jäteveden virtaaman määrittämiseen gravitaatioviemäriolosuhteilla. Lisäksi virtuaalisensorilla saatua virtaamatietoa hyödynnettiin yhdessä muun mittaus- ja asiantuntijatiedon kanssa alueellisten vuotovesimäärien arvioinnissa.

Tutkimuksen perusteella todettiin, että jäteveden virtaaman määrittäminen pelkästään etäisyysmittausta hyödyntävällä datapohjaisella virtuaalisensorilla on mahdollista hyvällä tarkkuudella. Manuaalisen mittauskampanjan aikana kerätyn datan avulla luodun virtaamamallin hyvyys oli erinomainen ja virtuaalisensorin tarkkuus virtaaman määrittämisessä pitkän testausjakson aikana oli erittäin hyvä. Kehitetty virtuaalisensori kykenee täten antamaan tärkeää lisätietoa jäteveden virtaamasta ja poikkeavista olosuhteista alueella, jossa erillistä virtaamamittausta ei ole. Tämän lisäksi virtuaalisensorin tuottamaa tietoa hyödynnettiin onnistuneesti yhdessä muun mittaus- ja asiantuntijatiedon kanssa vuotovesimäärien arvioinnissa kyseisessä viemäriinjassa.

Etäisyysmittausensorin jatkuvatoimivuus ja virheetön mittaustulos ovat edellytys virtuaalisensorin kyvyllä määrittää jäteveden virtaama tarkasti. Pitkän seurantajakson aikana todettiin viemärikaivon olevan erittäin haasteellinen kohde valitulle ultraäänitekniikkaan perustuvalle etäisyysmittausensorille, jonka mittaustuloksissa ilmeni runsaasti kohinaa ja virheellisiä mittausarvoja kylminä vuodenaikoina. Tämän perusteella voidaan todeta, että kyseinen sensorin ei ole soveltuva ympärivuotiseen käyttöön kyseisessä mittauskohteessa. Valitun sensorin rinnalla testattiin lyhyen aikaa myös toisen valmistajan eri mittaustekniikkaan perustuvan etäisyysmittausensorin toimintaa ja alustavasti todettiin sen antavan luotettavampia mittaustuloksia ja olevan soveltuvampi kyseiseen mittauskohteeseen.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
1. TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	4
2. TOTEUTUS JA TULOKSET.....	5
2.1. JATKUVATOIMINEN ETÄISYYSMITTAUS.....	5
2.2. JÄTEVEDEN PINNANKORKEUDEN MÄÄRITYS.....	6
2.3. VIRTUAALISENSORIN KEHITTÄMINEN.....	7
2.4. VIRTUAALISENSORIN TESTAUS (JÄTEVEDEN VIRTAAMAN MÄÄRITTÄMINEN)	9
2.5. VUOTOVESIMÄÄRÄN ARVIOINTI.....	11
3. POHDINTA JA JATKO	13
4. YHTEENVETO	15
KIITOKSET.....	15

1. Työn tausta ja tavoitteet

Työpakettin WP5 tutkimuskohteeksi valittiin työpakettin WP2 (Nykytilakartoitus ja vertailevien ratkaisujen etsiminen) toteutuksen aikana suoritettujen haastattelujen perusteella esille noussut tarve jäteveden virtaaman määrittämiseen Oulun Veden viemäriverkoston gravitaatioviemäriosuudella, jossa ei ole erillistä virtaamamittausta. Virtaaman määrittämiseen päätettiin soveltaa datapohjaiseen mallinnukseen perustuvaa virtuaalisensoria (soft sensor), joka hyödyntää pelkästään edullisella etäisyysmittaussensorilla jatkuvatoimisesti määritettyä paikallista jäteveden pinnankorkeustietoa. Työssä hyödynnettiin osittain työpaketissa WP3 (Parametrianalyysi) kerättyä mittaussaineistoa ja kertynyttä tietämystä.

Työpaketissa WP5 suoritettun työn tavoite oli kolmiosainen:

- 1) Selvittää kyetäänkö jäteveden pinnankorkeus määrittämään luotettavasti ja jatkuvatoimisesti vaativissa ja muuttuvissa olosuhteissa edullisella ultraäänitekniikkaan perustuvalla etäisyysmittaussensorilla ja siirtämään mittaustieto lähes reaaliaikaisesti tietokantaan.
- 2) Kehittää datapohjaisen mallinnuksen avulla pinnankorkeustietoa hyödyntävä virtuaalisensori jäteveden virtaaman paikalliseen määrittämiseen ja todentaa virtuaalisensorin toiminta pitkänaikavälin testausjaksolla.
- 3) Hyödyntää virtuaalisensorin virtaustietoa yhdessä asiantuntijatiedon ja läheisiltä jätevedenpumppaamoilta mitatun virtaamatiedon kanssa arvioimaan vuotovesien määrää kyseisellä viemäriosuudella.



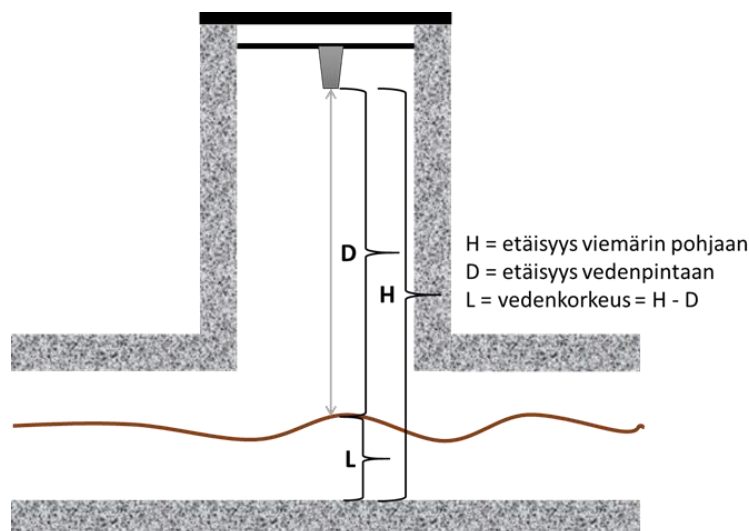
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



2. Toteutus ja tulokset

2.1. Jatkuvatoinen etäisyysmittaus

Jäteveden pinnankorkeuden määrittämiseksi asennettiin kaksi ultraäänitekniikkaan perustuvaa etäisyysmittaussensoria kahteen Oulun Veden viemäriverkoston viemärikaivoon. Sensorit asennettiin viemärikaivon kannen alle mittaamaan jatkuvatoimisesti etäisyyttä vedenpintaan Kuvassa 1 havainnollistetulla tavalla. 15 etäisyysmittauksen mediaaniarvo siirrettiin LoRaWAN-verkossa ja tallennettiin noin kymmenen minuutin välein tätä tarkoitusta varten hankkeen aikana tehtyyn tietokantaan Oulun yliopiston hallinnoimalle serverille. Sensorien ja tiedonsiirron toimintaa seurattiin ja mittaustietoa kerättiin kokonaisuudessaan yli vuoden ajan, helmikuusta 2021 toukokuuhun 2022. Täten mittaustietoa sekä käytännön kokemusta sensorien ja tiedonsiirron toimivuudesta kertyi erittäin kattavasti vaihtelevissa olosuhteista eri vuodenaikoina, sisältäen mm. lumen sulamisen keväällä, rankkasateita, kuivia, kylmiä ja kuumia ajanjaksoja sekä korkeaa kosteutta viemärikaivon sisällä. Vaikka etäisyysmittaussensoreita asennettiin kaksi kappaletta eri viemärikaivoihin, keskitytään tämän raportin tuloksissa vain toiseen, korkeamman prioriteetin mittauskohteeseen.

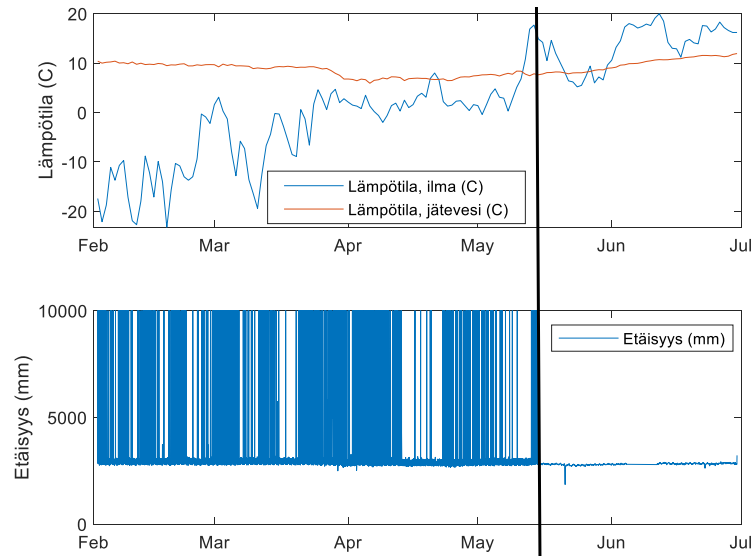


Kuva 1. Etäisyysmittaussensorin asennus viemärikaivoon sekä jäteveden pinnankorkeuden määrittämisperiaate.

Pitkänajan seurannassa todettiin etäisyysensensorin toiminnan ja palvelimelle tapahtuvan tiedonsiirron olevan vakaata, mutta lukuun ottamatta kesäkuukausia mittaustulokset sisälsivät erittäin paljon kohinaa ja virheellisiä (epärealistisia) arvoja. Lisäksi mittaustiedon tallentamisessa tietokantaan esiintyi muutamia katkoksia, jotka johtuivat tiedonsiirtoverkkoon liittyneistä päivityksistä. Virheelliset mittausravot ja kohina aiheutuivat todennäköisesti viemärikaivossa olleesta runsaasta kosteudesta/vesihöyrystä, minkä vuoksi sensorin lähettämä säde kimpoili. Lämpötilan nousua keväällä kohina ja virheelliset mittausravot



lakkasivat (Kuva 2), mutta palasivat jälleen syksyllä lämpötilan laskiessa. Oleellisen mittaustiedon saaminen näkyviin virheellisiä arvoja ja runsasta kohinaa sisältävästä mittaustiedosta vaatii virheellisten arvojen tunnistamista, poistamista ja datan suodattamista. Runsas suodattaminen vaikuttaa kuitenkin myös datan informaatioisisältöön ja hävittää absoluuttisesti oikeat mittaustiedot, mikä olisi tässä työssä vaikuttanut myös virtuaalisensorin kykyyn määrittää jäteveden virtaama tarkasti testausjakson aikana. Tämän vuoksi jäljempänä esitetty virtuaalisensorin kehitys ja testaus suoritettiin hyödyntäen vain toista asennettua etäisyysmittausensoria ja käyttäen pelkästään sen kesäaikana kerättyä hyvälaatuista mittaustiedosta, joka ei vaatinut suodattamista.

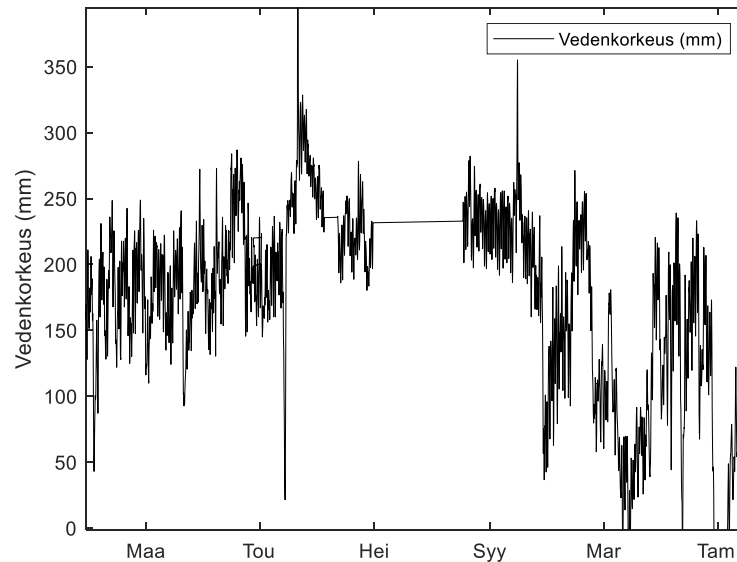


Kuva 2. Ympäristön ja jäteveden lämpötilat sekä etäisyysmittausensorin suodattamaton raakadata keväältä ja kesältä 2021.

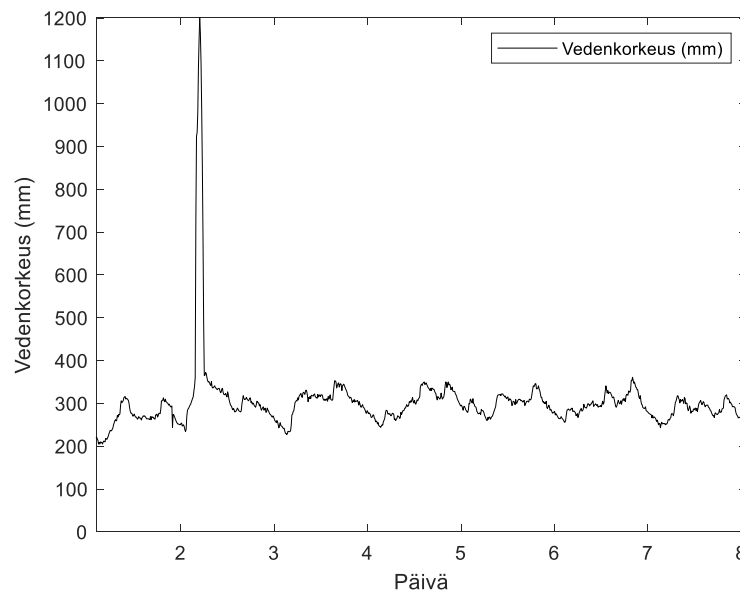
2.2. Jäteveden pinnankorkeuden määrittäminen

Etäisyysmittausensori kalibroitiin manuaalisesti suoritettujen mittausten avulla ja jatkuvatoimisesti mitattu etäisyystieto muutettiin jäteveden pinnankorkeudeksi Kuvassa 1 esitetyllä tavalla. Kuvassa 3 on esitetty jäteveden pinnankorkeuden pitkäaikavälin muutokset eri vuodenaikoina ja Kuvassa 4 pinnankorkeuden vuorokautinen vaihtelu yhden viikon ajalta. Edellä mainittujen häiriöiden vuoksi pitkäaikavälin datasarjaa (Kuva 3) on suodatettu. Etäisyysmittauksen perusteella määritetty pinnankorkeustieto seuraa hyvin loogisesti niin vuodenaikaista kuin vuorokautistakin vaihtelua. Etäisyysmittauksen perusteella määritetty pinnankorkeustieto myös vastasi erittäin tarkasti manuaalisesti mitattua pinnankorkeutta. Kuvassa 4 nähdään rankkasateen aikainen äkillinen ja suuri pinnankorkeuden muutos (Päivä 2), mikä aiheutui lisääntyneestä vesimäärästä ja todennäköisestä jäteveden padottumisesta kyseisellä viemäriolosuhteella. Tätä oletusta tukee jätevedenpuhdistamolta saadut tiedot tulevan jäteveden määrästä ja prosessin toiminnasta ja ohjauksesta kyseisenä päivänä.





Kuva 3. Jätevedenkorkeuden käyttäytyminen pitkänaikavälin tarkastelussa.



Kuva 4. Jätevedenkorkeuden käyttäytyminen lyhyenaikavälin tarkastelussa.

2.3. Virtuaalisensorin kehittäminen

Jäteveden virtaama mallinnettiin käyttäen lineaarista regressiomallia, jossa mallinnettu muuttuja on lineaarinen yhdistelmä valittuja sisääntulomuuttujia. Koska tässä tutkimuksessa haluttiin hyödyntää virtaaman mallintamisessa pelkästään etäisyysmittauksen avulla määritettyä pinnankorkeustietoa, sisääntulomuuttujia oli täten vain yksi. Lineaarinen regressiomalli valittiin koska se on yksinkertainen ja helposti tulkittava ja implementoitava. Mallinnus suoritettiin erillisen mittauskampanjan aikana manuaalisesti kerättyä dataa



hyödyntäen. Manuaaliset mittaukset suoritettiin käyttäen Doppler-mittalaitetta, joka mittaa vedenkorkeuden (m), virtaaman (m^3/h), nopeuden (m/s) ja lämpötilan ($^{\circ}C$).

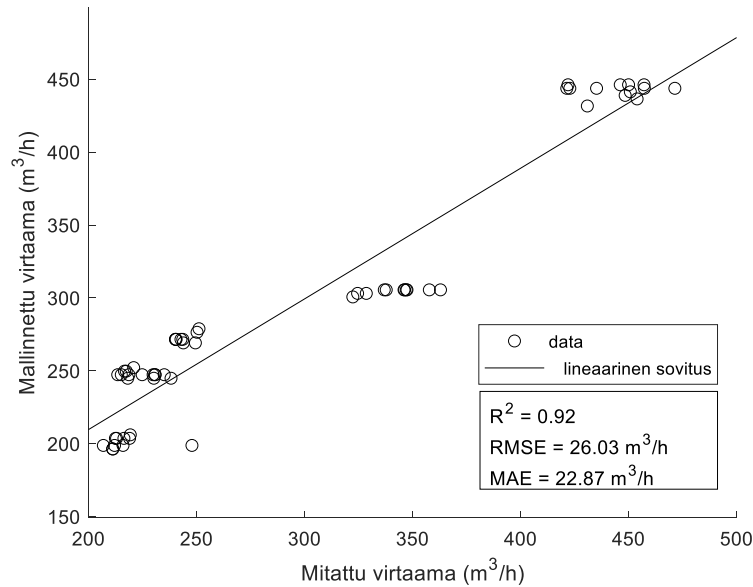
Luodun mallin hyvyys eli kyky määrittää jäteveden virtaama mahdollisimman tarkasti on erittäin riippuvainen käytettävissä olevan datan laadusta. Mallin kehittämisessä käytettävän datan tulisi sisältää riittävän paljon mittauskertoja ja mahdollisimman paljon kohteelle tyypillistä vaihtelua sekä erilaisia ääri- ja poikkeustilanteita, mutta ei virheellisiä arvoja tai kohinaa. Koska on tiedossa, että jäteveden virtaama vaihtelee vuorokauden sisällä ja viikonpäivien välillä huomattavasti, manuaalisia mittauksia suoritettiin useana päivänä eri vuorokauden aikoina, jotta mallin opetusta varten kerättävä data sisältäisi jäteveden virtaamatietoa mahdollisimman monipuolisesti. Lopullinen datasarja sisälsi ~60 pistettä. Tätä kattavamman datasarjan kerääminen manuaalisilla mittauksilla ei ollut tähän hankkeeseen varatuilla resursseilla mahdollista. Mittausaineisto sisälsi useita dataklustereita virtaaman vaihdellessa $\sim 200 m^3/h$ ja $\sim 450 m^3/h$ välillä (Kuva 5). Mittausaineiston vaihteluvälin voidaan olettaa edustavan hyvin jäteveden päiväaikaista virtaamaa normaaliolosuhteissa kyseisellä viemäriosuudella.

Suoritettujen mittauskampanjan aikana kerättyä datamäärää voidaan pitää riittävänä selvittämään jäteveden virtaaman monimuotoisuus normaalitilanteessa, mutta kuitenkin vähäisenä jotta mallin opetus ja testaus voitaisiin tehdä jakamalla data perinteisesti riittävän pitkiksi erillisiksi mittausaineistoiksi. Tämän vuoksi lineaarisen virtaamamallin kehittämisessä käytettiin ristiinvalidointimenetelmää, joka hyödyntää koko manuaalisilla mittauksilla kerätyn mittausaineiston sekä mallin opetuksessa, että sen validoinnissa. Virtuaalisensorin testaus suoritettiin seuraavassa luvussa kuvatulla tavalla erillistä referenssimittausdataa hyödyntäen. Tässä työssä käytetty ristiinvalidointimenetelmä jakaa datasarjan satunnaisesti yhtä suuriin osiin (n kpl), ja käyttää vuorotellen $n-1$ osaa mallin opetuksessa ja yhden osan mallin validoinnissa. Tämä toistetaan n kertaa, kunnes jokaista osaa on käytetty kerran mallin validointiin. Lopullinen tulos on näiden n tuloksen yhdistelmä. Tässä työssä luodun jäteveden virtaamamallin sekä mitatun jäteveden virtaaman vertailu on esitetty Kuvassa 5 yhdessä lineaarisen sovitussuoran sekä mallin hyvyysarvojen R^2 , RMSE ja MAE kanssa. Hyvyysarvojen ($R^2 = 0.92$, RMSE = $26.03 m^3/h$ ja MAE = $22.87 m^3/h$) perusteella voidaan todeta tehdyn datapohjaisen virtaamamallin tarkkuuden olevan erittäin hyvä.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020





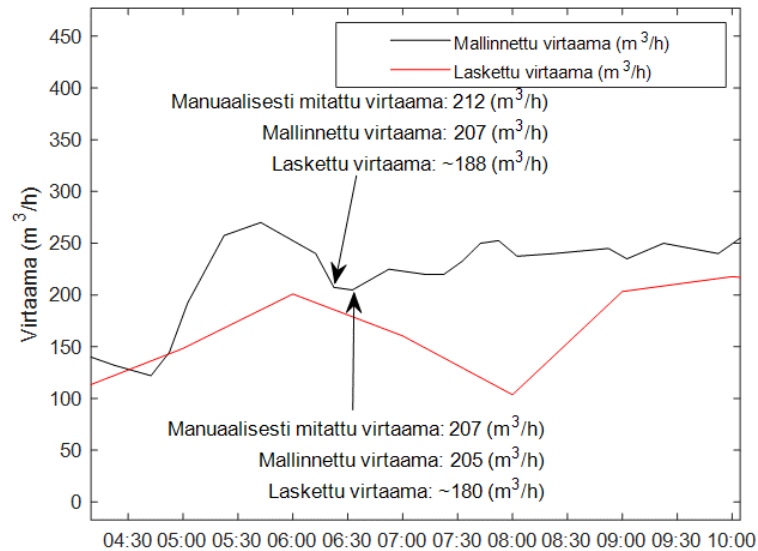
Kuva 5. Lineaarinen sovitus mitatun ja mallinnetun jäteveden virtaaman välillä sekä luodun mallin hyvyysarvot R^2 , RMSE ja MAE.

2.4. Virtuaalisensorin testaus (jäteveden virtaaman määrittäminen)

Ennen pinnankorkeusmittauspistettä kyseiseen viemäriin jaan yhdistyy kaksi suurta pääviemäriin jaan sekä joitain pienempiä viemäriin jaan. Kahden pääviemäriin jaan ylävirralla sijaitsevilta pumppuasemilta oli saatavilla tuntikeskiarvoistettu jäteveden virtaamatiieto, mutta pienemmistä linjoista virtaamaa ei mitata. Pienempien linjojen merkitys pinnankorkeusmittauspisteessä olevaan kokonaisvirtaamaan arvioitiin asiantuntijatiedon perusteella huomattavasti vähäisemmäksi kuin päälinjojen virtaamien, joskaan ei kuitenkaan täysin merkityksettömäksi. Koska viemäriin jaan, jossa pinnankorkeusmittaus suoritettiin, ei ollut erillistä virtaamamittausta ja riittävän laajan ja pitkänaikavälin virtaamadatan kerääminen manuaalisilla mittauksilla ei ollut tämän hankkeen puitteissa mahdollista, todennettiin kehitetyn virtuaalisensorin toiminnan oikeellisuus vertaamalla sen määrittämää jäteveden virtaamaa ns. referenssimittaustietoon, joka tässä tapauksessa oli mittauspistettä lähinnä olevilta kahdelta pumppuasemalta mitatut ja yhteenlasketut virtaamat. Lisäksi vertailu suoritettiin kahteen yksittäiseen manuaalisesti mitattuun virtaama-arvoon.

Kuvassa 6 on esitetty hetkellinen vertailu mallinnetun, pumppaamotietojen perusteella lasketun referenssivirtaaman ja manuaalisesti mitatun virtaaman välillä. Vertailun perusteella voidaan todeta mallinnetun ja manuaalisesti mitatun virtaaman olevan hyvin lähellä toisiaan, eli virtuaalisensori näyttäisi määrittävän jäteveden virtaaman erittäin hyvin tilanteissa, jolloin etäisyysmittaus toimii virheettömästi. Pumppuasemien virtaamien perusteella yhteenlaskettu virtaama on luonnollisesti alhaisempi kuin mallin antama virtaama sillä toisin kuin mallinnettu jäteveden virtaama, pumppuasemilta mitatut virtaamat eivät sisällä pumppuasemien alapuolisten pienempien viemäriin jaan jätevesiä tai viemäriin päässeitä vuotovesiä.





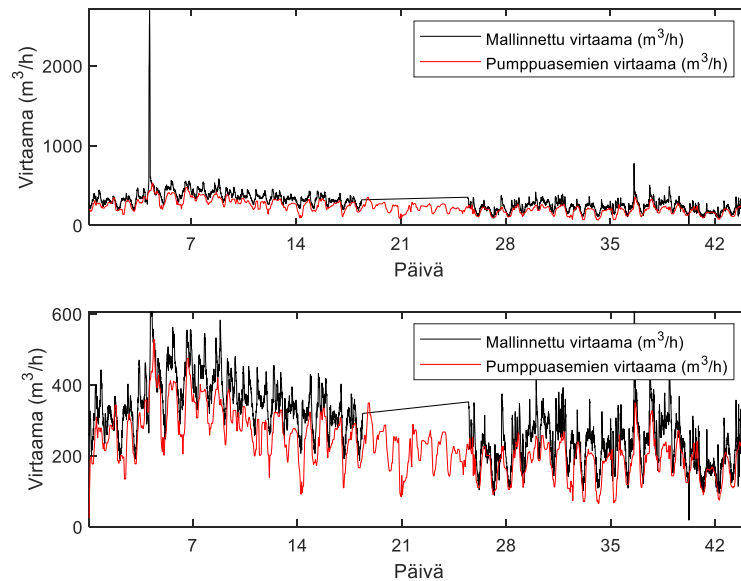
Kuva 6. Manuaalisesti mitatun virtaaman, mallinnetun virtaaman (virtuaalisensori) ja pumppuasemien yhteenlasketun virtaaman vertailu.

Virtuaalisensorin määrittämän virtaaman sekä pumppuasemien virtaamamittausten perusteella yhteenlasketun kokonaisvirtaaman vertaaminen pitkällä ja lyhyellä testausjaksolla on esitetty Kuvassa 7 ja Kuvassa 8. Pumppuasemien ja pinnankorkeusmittauspaikan väliset viiveet määritettiin ja otettiin huomion vertailussa. Kuvaajista nähdään, että virtaamat ovat hyvin yhtenevät. Niiden perustasot ovat identtiset ja muutokset tapahtuvat samanaikaisesti. Pumppuasemien mittausten perusteella yhteenlasketun virtaaman vaihtelu on laajempaa eikä virtuaalisensorin virtaama näytä yhtä alhaisia virtaama-arvoja, sillä kuten edellä mainittiin virtuaalisensorin virtaamaan sisältyvät myös pienempien sivulinjojen jätevedet sekä pumppuasemien ja etäisyysmittauspisteen välisellä osuudella viemäriin päässeet vuotovedet. Esitetyt vertailut vahvistavat virtuaalisensorin kyvyn määrittää jäteveden virtaama tarkasti ja luotettavasti myös pidemmällä aikavälillä.

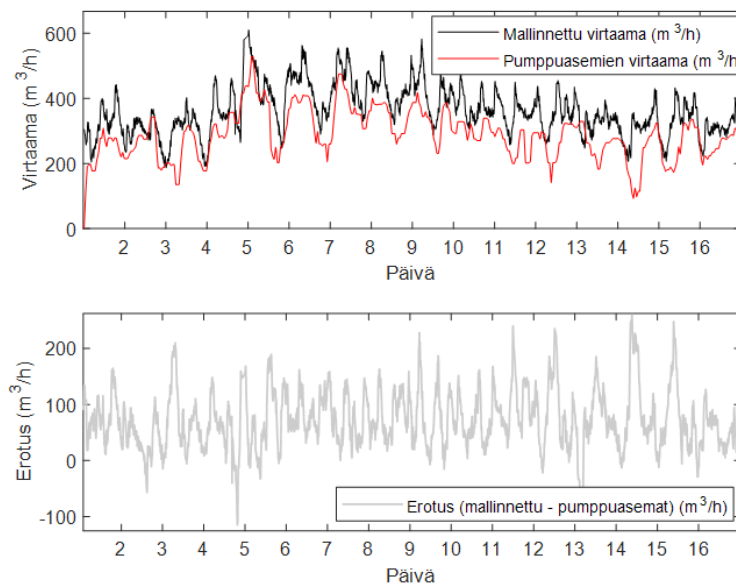


Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020





Kuva 7. Virtuaalisensorin (mallinnettu) ja pumppuasemilta mitatun virtaaman vertailu pitkällä testausjaksolla.



Kuva 8. Virtuaalisensorin (mallinnettu) ja pumppuasemilta mitatun virtaaman vertailu lyhyellä testausjaksolla sekä näiden erotus.

2.5. Vuotovesimäärän arviointi

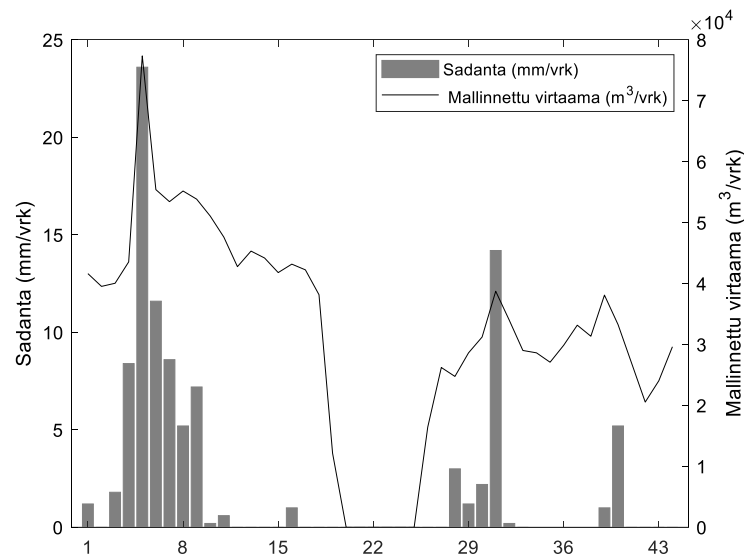
Asiantuntijatiedon ja vuosikulutustiedon perusteella arvioituna pumppuasemien alapuolella olevista pienemmistä viemäriinjoista tuleva jäteveden virtaama, jota ei mitata ja joka ei näy pumppuasemien mittauksissa, on keskimäärin ~67 m³/h. Virtuaalisensorin alle kahden kuukauden pituisen testausjakson aikana virtuaalisensorin ja pumppuasemien virtaamien



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



välisen eron keskiarvo oli $89 \text{ m}^3/\text{h}$ ja mediaani $63 \text{ m}^3/\text{h}$ (keskihajonta $146 \text{ m}^3/\text{h}$), jota voidaan pitää realistisena arviona pienempien viemäriinjien virtaamien ja viemäriin päätyvien vuotovesin yhteismäärästä. Yhdistämällä virtuaalisensorin virtaamatieto sekä asiantuntijatieto ja pumppuasemien virtaamatiedot saadaan täten määritettyä myös arvio jätevesipumppaamoiden ja pinnankorkeusmittauspisteen välillä viemäriin tulevista vuotovesistä. Tämän testausjakson perusteella vuotovesimäärä on siis keskimäärin $\sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$. On kuitenkin syytä huomioida, että asiantuntijatiedon pohjalta laskettu pienempien viemäriinjien virtaama pohjautuu koko vuoden kulutuskeskiarvoon ja vertaileva tarkastelujakso on vain alle kahden kuukauden pituinen alkukesään ajoittuva jakso, jolloin oli useita sateisia päiviä ja yksi erittäin runsassateinen aamuyö, joka näkyy Kuvassa 9 esitetystä päivittäisistä sadantatiedoista testausjakson ajalta. Kuten aiemmin mainittiin, lisääntyneen virtaaman lisäksi rankkasateen aikaansaama äkillinen runsas vesimäärä aiheutti kyseisellä viemäriosuudella padottumista ja nosti vedenkorkeutta runsaasti. Koska virtuaalisensorin määrittämä virtaama perustuu pelkästään määritettyyn jäteveden pinnankorkeuteen, on Kuvassa 7 näkyvä piikki hetkellinen epärealistinen arvo virtaamasta, mutta hyvin informatiivinen tieto viemäriin olevasta poikkeustilanteesta.



Kuva 9. Päivittäinen sadanta ja jäteveden virtaaman päivittäinen kokonaismäärä testausjakson aikana.

3. Pohdinta ja jatko

Tämän tutkimuksen perusteella pelkästään jäteveden pinnankorkeustietoa hyödyntävän virtuaalisensorin kehittäminen ja käyttäminen jäteveden virtaaman määrittämiseen gravitaatioviemärissä on mahdollista. Luodun virtuaalisensorin tarkkuutta voidaan pitää hyvänä sillä se ylittää manuaalisten virtausmittausten tasolle ja sen dynamiikka on yhtenäinen lähimmiltä pumppuasemilta mitattujen virtaamatietojen kanssa. Pumppuasemien yhteenlasketun virtaaman ja virtuaalisensorin virtaaman ero testausjaksolla on realistinen ja virtuaalisensoria voidaankin hyödyntää paikallisen virtaaman arvioinnin lisäksi myös sivuvirtojen tai vuotovesimäärien arvioinnissa yhdessä muun asiantuntija- ja mittaustiedon kanssa. Lisäksi virtuaalisensori antaa hyödyllistä lisätietoa poikkeavista olosuhteista, kuten padottumisesta.

Edulliseen etäisyysmittaukseen perustuvan virtuaalisensorin käyttöön liittyy useita etuja verrattuna kalliisiin online-virtaamasensoreihin. Edullisemmän hankintahinnan lisäksi etäisyysmittalaitteet eivät ole alttiita mekaaniselle kulumiselle tai likaantumiselle ja vaativat vähemmän huolto- ja puhdistustoimia kuin jäteveteen asennettavat virtaamasensorit. Etäisyysensoreiden asentaminen ja virtuaalisensoreiden kehittäminen useampaan kohtaan viemäriverkostoa vaatii suhteellisen vähäisen työmäärän sen tuomiin hyötyihin nähden. Asentamalla etäisyysensoreita useaan kohtaan viemäriverkostoa ja hyödyntämällä virtuaalisensorimenetelmää saadaan kustannustehokkaasti kokonaisvaltaisempi, lähes reaaliaikainen kuva verkoston tilasta sekä voidaan rajata verkoston tilan tarkastelu ja tarvittavat toimenpiteet pienemmille alueille.

Edellä esitettyjä tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida, että mikään todelliseen toimintaympäristöön kehitetty malli ei ole täydellinen eikä se täysin vastaa todellisuutta kaikissa olosuhteissa, vaan mallin ulostulo on aina arvio. Malli ei osaa sitä mitä sille ei opeteta ja mallin hyvyys ja toimintavarmuus ovat hyvin riippuvaisia opetusdatan edustavuudesta sekä mittausdatan laadusta eli tässä tapauksessa etäisyysmittaussensorin luotettavasta toiminnasta. Esitettyjen tulosten tarkkuuteen vaikuttaa myös eri mittauksiin (kalibroitimittaukset, jatkuvatoiminen etäisyysmittaus, pumppuasemien virtaamamittaukset) liittyvät epävarmuudet ja vaihtelevat viiveet mittauspisteen ja pumppuasemien välillä.

Suurin haaste jäteveden virtaaman jatkuvatoimisen määrittämisen luotettavuuden kannalta virtuaalisensoria käyttäen on etäisyysmittauksen toimintavarmuus ja mittaustulosten oikeellisuus. Haasteelliset olosuhteet viemärikaivossa aiheuttivat runsaasti kohinaa ja vääristyneitä mittaustuloksia käytettäessä ultraäänitekniikkaan perustuvaa etäisyysmittaussensoria. Tutkimustyön perusteella voidaankin todeta, että kyseinen sensori ei ollut soveltuva tähän mittauskohteeseen. Mittaustulosten laatua olisi voinut hieman parantaa sensorin asennuskorkeuden laskeminen lähemmäs jäteveden pintaa, mutta tämäkään ei olisi kokonaan poistanut kosteudesta/vesihöyrystä johtuvia ongelmia. Lisäksi lähelle vedenpintaa

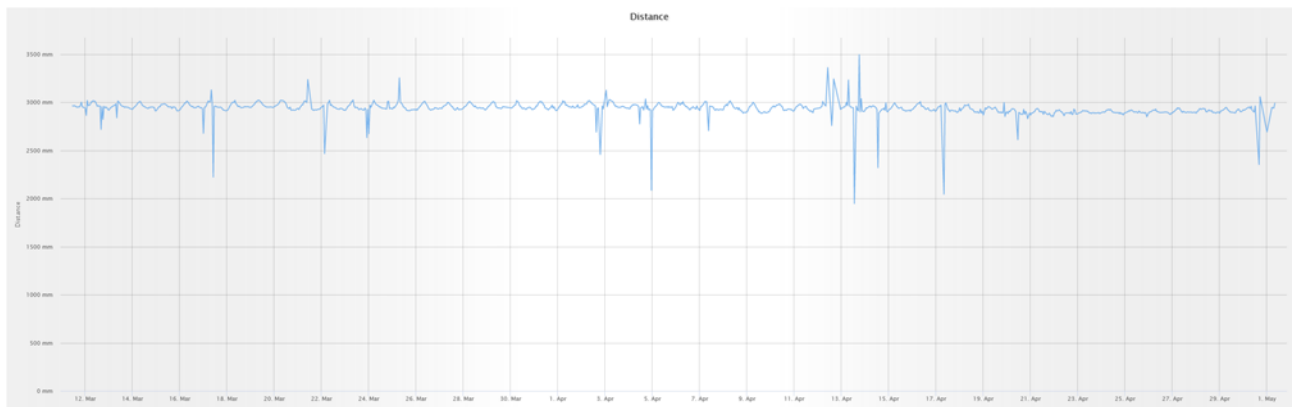


Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



asennettu sensori on suuremmassa vaarassa joutua kosketuksiin jäteveden kanssa pinnankorkeuden noustessa äkillisesti hyvin korkealle.

Kerätyssä etäisyysmittaustiedossa ilmenneiden ongelmien vuoksi samassa viemärikaivossa testattiin hankkeen loppupuolella myös toisen valmistajan eri mittaustekniikkaan perustuvan etäisyysmittaussensorin toimintaa noin kahden kuukauden ajan. Esimerkki tämän sensorin toiminnasta on esitetty Kuvassa 10. Testijakson tavoitteena oli pelkästään tarkastella sensorin toimintavarmuutta ja mittaustulosten oikeellisuutta, joten kyseiselle mittalaitteelle ei suoritettu kalibrointia pinnankorkeuden määrittämiseksi eikä sensorin tuottamaa mittaustietoa hyödynnetä tässä yhteydessä virtaaman määrittämiseen. Lyhyehkön testausjakson perusteella kyseisen sensorin toimintavarmuus ja mittaustiedon laatu vaikuttavat huomattavasti paremmilta kuin ultraääneen perustuvan etäisyysmittaussensorin. Sensorin soveltuvuuden ja toimintavarmuuden varmentaminen vaatii kuitenkin pidempiaikaisen, vähintään vuoden mittaisen seurantajakson. Jatkotutkimus tätä tarkoitusta varten on jo suunnitteilla.



Kuva 10. Sensorin #2 etäisyysmittaustrendi kevään 2022 aikana.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



4. Yhteenveto

Työpaketissa WP5 tehdyn tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kyetäänkö jäteveden pinnankorkeus määrittämään vaativissa ja muuttuvissa olosuhteissa luotettavasti edullisella ultraäänitekniikkaan perustuvalla etäisyysmittaussensorilla ja siirtämään mittaustieto lähes reaaliaikaisesti tietokantaan; sekä kehittää datapohjaisen mallinnuksen avulla pelkästään pinnankorkeustietoa hyödyntävä virtuaalisensori jäteveden virtaaman määrittämiseen gravitaatioviemäriosuudella ja todentaa virtuaalisensorin toiminta pitkänaikavälin testissä. Lisäksi virtuaalisensorin antamaa virtaamatietoa hyödynnettiin yhdessä asiantuntijatiedon ja jätevedenpumppaamoilta mitattujen ja yhteenlaskettujen virtaamatietojen kanssa arvioimaan vuotovesimäärää pumppaamoiden ja etäisyysmittauspisteen välisellä alueella.

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella jäteveden virtaaman määrittäminen gravitaatioviemäriissä pelkästään pinnankorkeustietoa hyödyntävän virtuaalisensorin avulla on mahdollista hyvällä tarkkuudella. Manuaalisten mittausten perusteella kehitetyn datapohjaisen mallin tarkkuus oli erittäin hyvä ja pitkän testijakson aikana virtuaalisensorin toiminta oli realistinen ja yhtenevä mittausta paikkaa lähimmiltä jätevedenpumppaamoilta mitattujen virtaama-arvojen kanssa. Verrattaessa virtuaalisensorin antamaa virtaamaa manuaalisesti mitattuihin virtaama-arvoihin todettiin niiden olevan hyvin lähellä toisiaan. Kehitetty virtuaalisensori antaa tärkeää lisätietoa jäteveden virtaamasta huomattavasti perinteisiä virtaamasensoreita kustannustehokkaammin alueella, jossa erillistä virtaamamittausta ei ole. Virtuaalisensoria voidaan hyödyntää paikallisen virtaaman määrittämisen lisäksi myös sivuvirtojen ja vuotovesimäärien arvioimiseen ja poikkeustilanteiden havainnointiin.

Kehitetyn virtuaalisensorin toimintakyky on kuitenkin täysin riippuvainen etäisyysmittaussensorin ja tiedonsiirron toimintavarmuudesta. Viemärikaivo on erittäin haasteellinen ympäristö jopa kosketuksettomille mittauksille. Vesihöyry ja kosteus aiheuttivat mittaussäteen kimpoilua ja täten kohinaa ja virheellisiä arvoja mittaustuloksiin ultraäänitekniikkaan perustuvaa etäisyysensoria käytettäessä. Tämän vuoksi virtuaalisensorin testausjakso jäi suunniteltua lyhyemmäksi. Alustavien testien perusteella etäisyysmittauksen hyvyttä ja toimintavarmuutta voidaan kuitenkin parantaa käyttämällä eri mittaustekniikkaan perustuvaa mittalaitetta, jonka asetukset määritellään mittaustilanteeseen sopiviksi.

Kiitokset

Santeri Puhakka, Axumawit Tesfamariam ja Joni Koivula suorittivat tämän tutkimustyön kannalta tärkeät mittalaitteiden asennuksen ja kalibroinnin, manuaaliset kenttämittaukset sekä keräsivät pumppuasemien virtaamatiedot ja ympäristömittaustiedot. Pekka Rossi toimi asiantuntijana tutkimustyön suunnittelussa ja toteutuksessa.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

