

PLÄTS - Plasma lääkejäämien torjunnassa sairaalajätevesistä

26.3.2021

Projektiraportti

Etelä-Savon ELY-keskus, Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseutu

Vesiensuojelun tehostamisohjelma



Lappeenranta-Imatra
kaupunkiseutu



Sisältö

Johdanto	3
Projektin sidosryhmät	5
Etelä-Karjalan Keskussairaala (EKKS).....	5
Flowrox Oy	5
Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseutu	6
Tavoitteet	6
Tekninen toteutus ja toimintakuvaus	7
Projekti aikataulu.....	9
Rahoitus ja kustannukset	9
Budjetti	9
Kustannustoteuma	10
Viestintä.....	10
Tutkimustulokset.....	12
Vaikuttavuus	16
Lääkeainepäästöt ja käsittelyn tehokkuus.....	16
Ratkaisun elinkelpoisuus ja monistettavuus.....	16
Vaikutus tekniikan kehittymiseen.....	17
Ratkaisun uutuusarvo	18
Tekniset kehitystarpeet	18
Tavoitteiden toteutuminen	19
Palveluliiketoimintamahdollisuudet.....	20
Jatko ja yhteistyönäkymät.....	22
LÄHTEET	24

Johdanto

Monien sairauksien ja vaivojen hoito perustuu nykypäivänä tehokkasiin lääkkeisiin ja niiden laajaan saatavuuteen. Ympäristöön lääkeaineita voi päätyä niiden valmistus- ja pakkausprosesseista sekä lääkkeiden epäasiallisesta hävittämisestä, mutta myös tavanomaisen käytön myötä. Normaalikäytössä lääkeaineet poistuvat elimistöstä luontaisesti osin muuttumattomina ja osittain muuntuneina. Jälkimmäisiä kutsutaan aineenvaihdunta- tai muuntumistuotteiksi. Käytännössä luontainen poistuminen tarkoittaa lääkejäämien ja niiden muuntumistuotteiden päätymistä jäteveteen. Perinteisen kunnallisen jätevedenkäsittelytekniikan tehokkuus lääkeainejäämien hajottamiseksi on osoittautunut riittämättömäksi, ja lääkeaineiden päätyminen ympäristöön on herättänyt kasvavaa huolta niin tiedeyhteisöjen, päättäjien kuin tavallisten kansalaistenkin keskuudessa, ja tietoisuus ongelman olemassaolosta on tänä päivänä jo hyvin levittäytynyt. Ympäristöön kertyvien lääkeaineiden haittavaikutuksista on selvää näyttöä ja niistä on raportoitu laajalti sekä tiedejulkaisuissa että tavanomaisessa mediassa, ja vaikka näiden haittavaikutusten laajuudesta ei ole vielä kattavaa ymmärrystä, ongelman konkreettisuus on jo ilmennyt monissa tapauksissa haittavaikutuksena mm. vesieliökantoihin, kalojen käyttäytymiseen ja niiden hormonitasapainoon. Vaarallisimpana haittavaikutuksena voidaan pitää patogeenien antibiootiresistenssin kehittymistä, eli ns. superbakteerien kehittymistä, mikä aiheutuu mikrobien liian laajasta ja jatkuvasta altistukselta antibiooteille.

Euroopan komissio järjesti vuodenvaiheessa 2017-2018 julkisen kuulemisen, jolla kartoitettiin tapoja torjua lääkeaineiden ympäristölle aiheuttamia riskejä. Vuoden 2019 tiedonannossaan¹ komissio ehdottaa Euroopan parlamentille, neuvostolle ja Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle strategista lähestymistapaa lääkeaineista aiheutuvaa veden pilaantumista vastaan. Tiedonannolla tuetaan YK:n kestävän kehityksen tavoitteita ja edistetään erityisesti puhdasta vettä ja jätevesihuoltoa koskevien tavoitteiden saavuttamista. Lisäksi tiedonanto on osa EU:n toimintasuunnitelmaa mikrobilääkeresistenssin torjumiseksi; lääkeaineiden poistamisella jätevesistä edistetään siten monia kestävästä kehitystä tukevia toimia.

Useiden lääkeaineiden jäämiä on löydetty kaikkialla EU:n alueella pinta- ja pohjavesistä. Aineiden pitoisuudet riippuvat useista tekijöistä, mm. lääkeaineen ominaisuuksista, lähteiden luonteesta ja etäisyydestä. Tyypillisiä lääkeaineita ovat erilaiset särkylääkkeet, antibiootit, masennuslääkkeet ja ehkäisyväkkeit. Lääkejäämiä on löydetty jopa juomavesistä².

Lääketeollisuus ja lääkeaineiden maahantuonti on tarkasti säädeltyä ja luvanvaraista. EU-alueella lääkeaineita valmistavalta teollisuudelta ja sen raaka-ainetoimittajilta vaaditaan hyvien valmistustapojen noudattamista, mutta ympäristöön aiheutuvien päästöjen sääntely riippuu kansallisesta ympäristölainsäädännöstä.



26.3.2021

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) koordinoimassa EPIC-hankkeessa³ tunnistettiin erilaisista päästölähteistä jätevedeen päätyviä lääkeainejäämiä ja testattiin erilaisia tekniikoita syntypaikkakäsittelyyn. Lääketeollisuuden lisäksi tällaisia päästölähteitä ovat erityisesti laitokset, joissa lääkeaineiden käyttö on olennainen osa toimintaa, kuten sairaalat ja erilaiset hoitoyksiköt. Vaikka sairaaloiden ja hoitoyksiköiden on voitu olettaa olevan relevantteja päästölähteitä lääkeainejäämille ennen SYKE:n tutkimustakin, ei niissä syntyvien jätevesien syntypaikkakäsittelyyn ole luotu minkäänlaista lakisääteistä vaatimusta.

Tunnistettujen ja ensisijaisten päästölähteiden voidaan lisääntyneen tietoisuuden sekä Euroopan komission viimeaikaisten aloitteiden myötä odottaa asettuvan ensimmäisten joukossa toimenpidelistalle, kun tarkkailulistalla olevien lääkejäämien päätymistä ympäristöön aletaan rajoittaa lainsäädännöllä. Tämä johtuu siitä, että syntypaikkakäsittelyllä päästään teknisesti paljon parempaan tulokseen ja pienempiin kapasiteettivaatimuksiin kuin kunnallisilla jätevesilaitoksilla, joille jätevedet tulevat pistekuormilta laimentuneina muuhun yhdyskuntajätevedeen. Kunnallisilla puhdistamoilla tarvittaisiin siten moninkertainen kapasiteetti syntypaikkakäsittelyyn verrattuna, ja laimentuneiden pitoisuuksien poistaminen sekä poistotehokkuuden monitorointi tällaisista vesistä on verrattain epäkäytännöllistä.

Vuonna 2019 päättyneessä EPIC-hankkeessa lääkeainejäämien hajottamista tutkittiin yhteistyössä LUT-yliopiston kanssa eri tekniikoilla Etelä-Karjalan Keskussairaalan (EKKS) viemäriveresistä sekä Espoon Rinnekoti-säätiön asumisyksikön biologisen jätevedenkäsittelylaitoksen poistovirrasta. Tutkimustuloksissa todettiin, että lääkeaineiden ja niiden muuntumistuotteiden hajottaminen epäselektiivisesti on varmin keino poistaa kollektiivisesti mahdollisimman laaja kirjo haitta-aineita, eikä vain niitä, joita kulloinkin analysoidaan⁴. Kokeissa tällaiseen kollektiiviseen tulokseen päästiin LUT-yliopistolla kehitetyllä koronapurkaustekniikalla, jolla on tutkittu jo entuudestaan sekä lääkeaineiden että niiden muuntumistuotteiden hajottamista. EPIC-hankkeeseen mennessä tekniikka oli kehitetty pilottimittakaavaan, tällä hetkellä tekniikkaa on kaupallistamassa teolliseen mittakaavaan lappeenrantalainen Flowrox Oy.

Koronapurkaustekniikka perustuu voimakkaiden hapettimien muodostamiseen ilmasta ja vedestä. Prosessissa käsitelty vesi sataa plasmareaktorin läpi, jolloin suuri plasma-vesi-kontaktipinta muodostaa suuren määrän hydroksyyliiradikaaleja, jotka ovat erittäin reaktiivisia hapettimia. Reaktorin sisäilmassa olevasta hapesta muodostuu otsonia, joka edelleen myötävaikuttaa orgaanisien haitta-aineiden hajoamiseen. Tekniikalla päästään perinteistä otsonointia parempaan hyötysuhteeseen ja hydroksyyliiradikaalien avulla voidaan hajottaa hankalammin hajoavia haitta-aineita.



Ratkaisu on ainutlaatuinen ja ensimmäinen maailmassa. Plasmatekniikka vedenkäsittelyssä on tehnyt tuloaan akateemisesta tutkimuksesta teolliseen mittakaavaan jo vuosia, mutta skaalaaminen laboratoriomittakaavasta ei ole onnistunut aiemmin. Tekniikan hyödyt ja poikkeuksellinen energiatehokkuus on osoitettu lukuisissa laboratorio- ja pilot-mittakaavan tutkimuksissa ja nyt myös teollisen mittakaavan prototyypeillä. Toteutuksella on näin ollen myös tieteellistä uutuusarvoa.

Lääkeaineiden hajottaminen sairaalajätevesistä on jo sinällään uusi ratkaisu, sillä vaikka aihetta on hieman tutkittu aiemmin, ei käytännön toteutuksia ole vielä raportoitu. Kaupungin panostuksen ja sairaalan sitoutumisen myötä hanke toimii oivallisena esimerkkinä kaupunkien, terveyden ja hyvinvoinnin laitosten sekä yritysten yhteistyöstä merkittävien ympäristöhaasteiden torjunnassa.

Projektin sidosryhmät

Projekti toteutettiin yhteistyössä Etelä-Karjalan Keskussairaalan (EKKS), Flowrox Oy:n sekä Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseudun kanssa.

Etelä-Karjalan Keskussairaala (EKKS)

Etelä-Karjalan keskussairaala on julkinen sairaala, joka sijaitsee Lappeenrannassa ja on yksi 16 keskussairaalasta Suomessa. Hankkeessa käsittelyn kohteena on EKKS:n jätevedet. Keskussairaalan vesistä on aiemmissa tutkimuksissa havaittu 29 eri lääkeaineen jäämiä, joiden pitoisuudet vaihtelivat <math><1 \mu\text{g/L}</math> - 580 $\mu\text{g/L}</math> välillä. Näistä peräti 7 oli antibiootteja, 3 tulehduskipulääkettä ja 2 hormonia. Lukumäärä on suuri, ja pitoisuudet merkittäviä verrattuna kunnallisille puhdistamoille päätyvien pitoisuuksiin, mikä johtuu siitä, että pistekuormalähteiden pitoisuudet ovat korkeampia kuin kunnallisen jäteveden keskimäärin. Lääkeainerikkaat jätevedet laimentuvat kunnallisessa verkostossa sekoittuessaan muihin jätevesiin.$

Flowrox Oy

Flowrox Oy on perheyritys, jonka pääkonttori sijaitsee Lappeenrannassa. Flowrox on globaalisti toimiva virtauksensäätö-, pumppaus- ja ympäristötekniisten ratkaisujen sekä älykkäiden sovellusten ja järjestelmien toimittaja. Flowrox keskittyy kuluttavien ja muiden vaativien väliaineiden sulkua-, säätö-, pumppaus- ja erotusongelmien



26.3.2021

ratkaisemiseen sekä IIOT-ratkaisujen toimittamiseen lukuisille prosessiteollisuuden sovelluksille, erityisesti kaivos- ja mineraaliteollisuuden sekä energia- ja ympäristöteollisuuden kohteissa. Flowroxilla on laajat kansainväliset myyntiverkostot.

Flowrox on tuomassa markkinoille hankkeessa käytettävää koronapurkaustekniikkaa nimellä Flowrox Plasma Oxidizer. Ensimmäisten askelien ottamisen sairaalajätevesien torjunnassa katsotaan edistävän globaalin ongelman torjuntaa ja toimivan konkreettisena esimerkkinä, niin tekniikassa kuin vastuullisuudessakin. Lisäksi yritys saa hankkeessa käytännön kokemusta ja mahdollisuuden tekniikan räätälöintiin käyttötarkoituksessa, sekä tuotteen kaupallistamiseen liittyvää palvelukehitystä.

Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseutu

Lappeenrannan kaupunki on panostanut voimakkaasti kestäväan kehitykseen ja ympäristöystävällisiin hankkeisiin. Kaupunki tavoittelee uutta yritystoimintaa ja kasvua erityisesti uusiutuvan energian, kiertotalouden ja vesiteknologian aloilla.⁵ Osallistumalla hankkeeseen, kaupunki tukee uudenlaisten, energiatehokkaiden ratkaisujen konkretisoitumista tärkeän ympäristöhaasteen torjunnassa. Hanke toimii näin myös esimerkkinä kaupunkien mahdollisuuksista tukea alueellista yritystoimintaa ja kestäväan kehityksen teknologisia harppauksia.

Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena on kohdeapplikaatioon soveltuvan järjestelmän kehittäminen ja toteutus ja sen myötä lääkeaineiden leviämisen estäminen päästölähteellä. Samalla todennetaan tekniikan soveltuvuus ja luodaan toteuttamiskelpoinen esimerkkitapaus lääkeaineiden hajottamiseksi päästölähteellä. Näin ennakoitaan kiristyviä päästömääräyksiä haitta-aineiden suhteen, ja toisaalta luodaan ennakkotapaus ja siten ympäristön kannalta tärkeille kiristyksille paremmat edellytykset. Hankkeen tavoitteet on yksilöity alla:

- Maailman ensimmäisen plasmatekniikkaan ja mekaaniseen esikäsittelyyn perustuvan vedenkäsittelyjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen EKKS:n viemäriin yhteyteen
- Sairaalan jätevesissä olevista lääkejäämistä ja niiden muuntumistuotteista aiheutuvan ympäristökuorman leikkaaminen hankkeen käsittelyjakson aikana
- Lääkeainejäämien ja käsittelyn tehon seuranta ja prosessin säätö
- Hankkeen jälkeen laitteen jääminen pysyväan käyttöön kohteessa
- Tieteen ja tekniikan jatkotutkimuksen mahdollistaminen laitteistolla



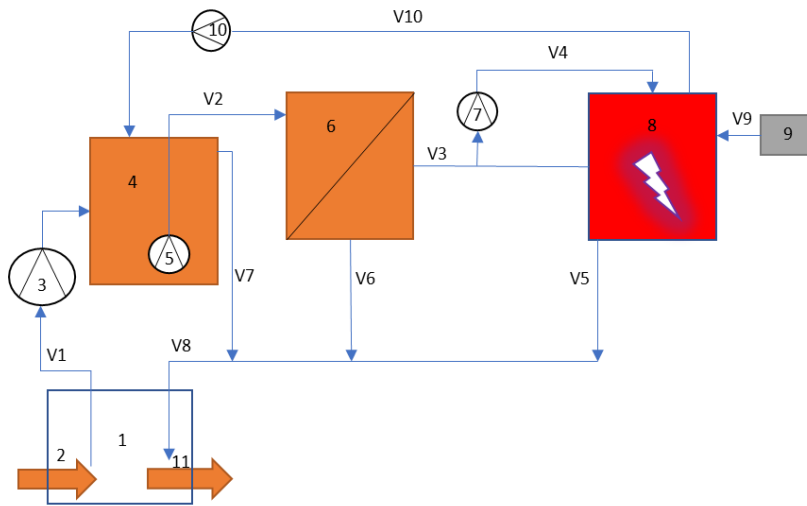
- Palveluliiketoimintamahdollisuuksien tarkastelu

Tekninen toteutus ja toimintakuvaus

EKKS:n jätevesiviemärit kokoontuvat suurimmalta osin yhteen putkeen ennen yhdistymistä kunnalliseen verkostoon. Laitteisto sijoitettiin suunnitellusti kokoomaputken tarkkailukaivon yhteyteen ennen viemäriin yhdistymistä kunnalliseen verkostoon. Laitteisto rakennettiin merikonttiin. Jätevesi-imu toteutettiin letkupumpulla tarkastuskaivon tuloyhteestä, johon asennettiin virtauksenohjauslevy siten, että kaikki tuleva vesi saadaan imettyä prosessiin. Letkupumpun avulla pumppaus voitiin asettaa hieman viemäriin virtausta korkeammaksi, jolloin kaikki vesi saadaan prosessiin ilman että pumppausta tarvitsisi säätää vastaamaan virtausta. Pumppua ajettiin noin 5 m³/h tuotolla, jonka todettiin riittävän toiminta-alueena. Jätevettä pumpattiin tarkkailukaivon tuloyhteestä kontissa olevaan puskurisäiliöön ja edelleen jaksottain toimivalla repijäpumpulla automaattisuodattimen kautta plasmareaktoriin. Suodattimella erotettiin suurin osa kiintoaineesta omaan virtaansa plasmahapetuksen ohi, millä estettiin suurimpien partikkeleiden ja kiintoaineen kertyminen reaktoriin. Reaktorin ohimenevän kiintoaineen käsittelyksi plasmareaktorilta imettiin ilmapumpulla otsonirikasta ilmaa, joka kuplitettiin jätevesilietteen sekaan. Tällöin suurin osa lääkeaineiden hajoamisesta tapahtuu radikaalihapetuksella plasma-nestekontaktissa ja lietteeseen puhallettavalla otsonilla saadaan täydennettyä lopputulosta sekä parannettua kokonaisenergiatehokkuutta. Esisuodatettua vettä kiertää plasmareaktorissa käsittelyssä jatkuvasti määrättilavuus ja jaksottain uppopumpun reaktorille syöttämä suodos syrjäyttää syötön tilavuutta vastaavan määrän jo käsiteltyä vettä, joka poistuu reaktorin altaasta ylivuotona tarkastuskaivon poistoyhteeseen. Jatkuvasti toimivassa prosessissa poistovesi virtaa takaisin viemäriin uppopumpun syklien mukaisesti. Projektissa toteutettu prosessi vaatii vielä joitain teknisiä päivityksiä jatkuvan ajon mahdollistamiseksi, erityisesti esikäsitteilypuolella. Näitä edellytyksiä on esitetty kappaleessa *Tekniset kehitystarpeet*.

Kontti suunniteltiin helposti asennettavaksi siten, että kohteessa tarvittiin vain putkivedot kontin yhteistä tarkastuskaivoon ja kolmivaihelähtö sähkölle. Prosessin virtauskaavio on esitetty kuvassa 1 ja kontti asennettuna kohteeseen kuvassa 2.





1	Kaivo
2	Kaivon sisääntuloyhde
3	Imupumppu
4	Välisäiliö
5	Uppopumppu
6	Suodatin
7	Plasman kierrätyspumppu
8	Plasmareaktori
9	Ilmapumppu
10	Otsonipumppu
11	Kaivon poistoyhde

Virta	Kuvaus
V1	Syöttö välisäiliöön
V2	Syöttö suodattimelle
V3	Suodattimen suodos
V4	Veden kierrätys plasmakäsittelyssä
V5	Plasmakäsitelty vesi+otsoni
V6	Suodattimen liete
V7	Välisäiliön ylivuoto
V8	Palautus kaivoon
V9	Ilma
V10	Otsoni

Kuva 1. PLÄTS-prosessin virtauskaavio.



Kuva 2. PLÄTS-prosessi asennettuna kohteeseen.

Projektiaikataulu

Projekti toteutettiin aikavälillä 1.1.2020-31.12.2020. Hankkeen suunniteltu ja toteutunut eteneminen on jäsenelty taulukossa 1. Hankkeen lopuksi arvioitiin laitteen kohteeseen pysyvästi jäämisen teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä. Jatkuvatoimisuuden ja pysyvän asennuksen tekniset edellytykset on esitetty kappaleessa *Tekniset kehitystarpeet*.

Taulukko 1. Hankeaikataulu (värit = suunniteltu, x = toteuma).

Hankeaikataulu 2020												
kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tekninen suunnittelu	x	x	x	x	x	x						
Rakentaminen ja asennus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Käsittely ja optimointi										x	x	x
Jatkon arviointi										x	x	x

Rahoitus ja kustannukset

Hanke oli ympäristöministeriön, Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseudun sekä Flowrox Oy:n yhteisrahoittama. Ympäristöministeriö on rahoittanut hanketta 45 860 eurolla vesiensuojelun tehostamisohjelmasta.

Budjetti

Hankkeen arvioituihin kuluihin huomioitiin kalustokuluja; suunnittelu-, asennus-, kehitys- ja tutkimustyötä; näyteanalyysijä ja järjestelmän sähköntarve. Hakemuksen mukainen budjettiarvio on eritelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Hakemuksen mukainen budjettiarvio.

Rahoittaja	Määrä	Osuus
ELY-keskus	45.860,75 €	50 %
Flowrox Oy	21.060,75 €	23 %
Lappeenranta	24.800,00 €	27 %
Yhteensä	91.721,50 €	100 %

ELY-keskukselta haettavan rahoituksen lisäksi hankkeessa muita rahoittajia ovat Flowrox Oy ja Lappeenrannan kaupunki. Rahoittajien osuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Rahoittajien osuudet budjetista.

Rahoittaja	Määrä	Osuus
ELY-keskus	45.860,75 €	50 %
Flowrox Oy	21.060,75 €	23 %
Lappeenranta	24.800,00 €	27 %
Yhteensä	91.721,50 €	100 %

Kustannustoteuma

Hankkeen kustannukset ylittyivät Flowroxin osalta työ- ja kalustokustannusten osalta. Toteutuneet kustannukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Rahoittajien toteutuneet kustannukset.

Rahoittaja	Määrä	Osuus
ELY-keskus	45.860,75 €	37 %
Flowrox Oy	52.968,82 €	43 %
Lappeenranta	24.800,00 €	20 %
Yhteensä	123.629,57 €	100 %

Viestintä

PLÄTS-projekti on saanut runsaasti positiivista huomiota mediassa. Projektista on uutisoitu tämän raportoinnin päiväyshetkellä ainakin YLE:n TV-, radio- ja verkkomediassa, sekä sosiaalisessa mediassa (LinkedIn, Twitter). Projektin tiivistetty viestintäsuunnitelma on esitetty alla taulukossa 5.

Taulukko 5. Projektin viestintäsuunnitelma



Sidosryhmät	Toimenpide	Aika	Materiaalit
Lehdistö + media <ul style="list-style-type: none"> Kotimainen Globaali Alan ammattimedia Flowrox asiakaskirje	Lehdistötiedote, 1. aalto: ”hanke alkamassa”	06/2020	<ul style="list-style-type: none"> Press release, kuvat Apsis uutiskirje + MyNewsDesk SoMe
Lehdistö + media <ul style="list-style-type: none"> Kotimainen Globaali Alan ammattimedia Flowrox asiakaskirje	Lehdistötiedote, 2. aalto: ”kokonaisuus asennettu”	09/2020	<ul style="list-style-type: none"> Press release, kuvat Apsis uutiskirje + MyNewsDesk SoMe
Lehdistö + media <ul style="list-style-type: none"> Kotimainen Globaali Alan ammattimedia Flowrox asiakaskirje 	Lehdistötiedote, 3. aalto: ”saadut tulokset”	01/2021	<ul style="list-style-type: none"> Press release, kuvat Apsis uutiskirje + MyNewsDesk SoMe
Lehdistö + media <ul style="list-style-type: none"> Kotimainen Globaali 	Success story	Q1/2021	<ul style="list-style-type: none"> Haastattelut, kuvat

<ul style="list-style-type: none"> • Alan ammattimedia <p>Flowrox asiakaskirje</p>			
---	--	--	--

Tutkimustulokset

Jätevesistä otettiin näytteet käsittelemättömästä ja käsitellyistä näytteistä kahdella eri ominaiskäsitelyenergialla 0,4 kWh/m³ ja 2 kWh/m³. Näytteenotto toteutettiin siten, että järjestelmän vesikiertoon ajettiin esisuodatuksen jälkeen määrävesitilavuus ja lyhyen kierrätyksen jälkeen vesikierrosta otettiin nollanäyte ennen käsittelyn alkua; tällä tavoin pyrittiin varmistamaan vertailukelpoisuus käsittelemättömien ja käsiteltävien näytteiden välillä.

Tutkimuksissa etsittiin jätevesinäytteistä jäämiä 139 eri lääkeaineesta. Vesissä havaittiin jäämiä 44:stä tutkitusta yhdisteestä. Aiempiin tutkimuksiin verrattuna lukumääräisesti suurempi lääkeainemäärä selittyy osin noin kaksi kertaa aiempaa laajemmalla analyysipaketilla. Havaitut lääkeaineet pitoisuuksineen sekä käsittelemättömässä ("Raaka") että käsitellyissä vesinäytteissä (0,4 kWh/m³, 2 kWh/m³) on esitetty alla olevassa taulukossa 6.

Taulukko 6. Analyysitulokset käsittelemättömästä ja käsitellystä jätevedestä. Käsitellyt jätevesinäytteet on luokiteltu ominaisplasmaenergia-annoksen mukaan. Prosenttiosuudet ilmaisevat pitoisuuden muutoksen nollanäytteeseen verrattuna. Punaiset kentät visualisoivat käsiteltyjen näytteiden raakanäytteeseen nähden nousseet pitoisuudet ja vihreät kentät visualisoivat laskeneita pitoisuuksia.

Yhdiste	yksikkö	Raaka	0,4 kWh/m ³	2 kWh/m ³		
Estrioli	µg/l	2,3	2,3	0,00 %	0,72	-68,70 %
Estroni	µg/l	0,16	0,17	6,25 %	0,15	-6,25 %
4-Asetamidoantipyriine	µg/l	6,2	8	29,03 %	1,9	-69,35 %
4-Formyyliaminoantipyriini	µg/l	0,51	0,77	50,98 %	0	-100,00 %
5-metyyli-1H-bentsotriatsoli	µg/l	0,45	0	-100,00 %	0	-100,00 %
Amiloridi	µg/l	0,21	0,2	-4,76 %	0	-100,00 %
Atenololi	µg/l	0,22	0,75	240,91 %	0,61	177,27 %
Atorvastatiini	µg/l	0,95	0	-100,00 %	0	-100,00 %
Bentsotriatsoli	µg/l	1200	3100	158,33 %	1600	33,33 %
Bisoprololi (β-Adrenergics)	µg/l	1,6	1,9	18,75 %	0	-100,00 %
Diatritsoaatti (Amidotritsoaatti)	µg/l	0	0,28	#DIV/0!	0,35	#DIV/0!
Diklofenaakki	µg/l	0,18	0,24	33,33 %	0	-100,00 %
Enalapriili	µg/l	0,43	0,55	27,91 %	0,28	-34,88 %



Flukonatsoli	µg/l	0,31	0,78	151,61 %	0,79	154,84 %
Furosemidi	µg/l	11	8,7	-20,91 %	0	-100,00 %
Hydroklooritiatsidi	µg/l	3,5	8,5	142,86 %	5,5	57,14 %
Hydrokortisoni	µg/l	0,53	1,2	126,42 %	2,9	447,17 %
Ibuprofeeni	µg/l	31	61	96,77 %	77	148,39 %
Irinotekaani	µg/l	0,31	0,48	54,84 %	0,1	-67,74 %
Ketiapiini	µg/l	2,3	1,8	-21,74 %	0,27	-88,26 %
Ketoprofeeni	µg/l	8	16	100,00 %	13	62,50 %
Klotsapiini	µg/l	1,9	1,1	-42,11 %	0	-100,00 %
Kofeiini	µg/l	310	620	100,00 %	480	54,84 %
Lamotrigiini	µg/l	2,4	6,8	183,33 %	3,7	54,17 %
Losartaani	µg/l	2,2	4,3	95,45 %	0,22	-90,00 %
Metoprololi	µg/l	0,33	0,76	130,30 %	0,29	-12,12 %
Metronidatsoli	µg/l	0	0	#DIV/0!	5	#DIV/0!
Mirtatsapiini	µg/l	1,9	3,1	63,16 %	0,5	-73,68 %
N4-Asetyyilisulfametoksatsoli	µg/l	0,73	1,2	64,38 %	0,98	34,25 %
Naprokseeni	µg/l	4,9	9,1	85,71 %	0	-100,00 %
Ofloksasiini	µg/l	6	11	83,33 %	1,6	-73,33 %
Parasetamoli	µg/l	1200	2300	91,67 %	1500	25,00 %
Propanololi	µg/l	0,59	0,63	6,78 %	0	-100,00 %
Ramipriili	µg/l	0,11	0,24	118,18 %	0,17	54,55 %
Salbutamoli (albuteroli)	µg/l	0,38	0,41	7,89 %	0	-100,00 %
Sertraliini ja norsertraliini	µg/l	0,17	0,36	111,76 %	0	-100,00 %
Setiritsiini	µg/l	0,78	1,6	105,13 %	0,3	-61,54 %
Siprofloksasiini	µg/l	20	35	75,00 %	13	-35,00 %
Sitalopraami	µg/l	1,2	1,8	50,00 %	0	-100,00 %
Sulfametoksatsoli	µg/l	0,32	0,53	65,63 %	0	-100,00 %
Tetrasykliini	µg/l	8,8	6	-31,82 %	2,3	-73,86 %
Tramadoli	µg/l	0,55	0,69	25,45 %	0,29	-47,27 %
Trimetoprim	µg/l	1,1	1,6	45,45 %	0,096	-91,27 %
Venlafaksiini	µg/l	0,57	0,74	29,82 %	0,23	-59,65 %

Tuloksissa näkyy myös aiemmissa tutkimuksissa⁴ havaittua lääkeaineiden pitoisuuden heiluntaa. Heilunta oli tässä tapauksessa tosin aiempaa suurempaa, ja ensimmäisessä käsitellyssä näytteessä suurin osa pitoisuuksista oli korkeampia kuin käsittelemättömästä näytteestä tehdyissä analyyseissä. Synteesiä ei voida pitää selityksenä nouseville pitoisuuksille muutoin kuin sopivalla tavalla muuntuneiden lääkeaineiden hetkellisenä palautumisena alkuperäiseen muotoon osana hapetusreaktioketjua, joten käsittelyn edetessä kohonneiden pitoisuuksien voidaan ajatella olevan lähempänä todellista lääkeainekuormaa kuin raakanäytteessä; toisin



26.3.2021

sanoen käsittely tuo esiin pitoisuuksia, jotka raakanäytteessä eivät ole analyysissä näkyvässä muodossa (ks. esim ⁴).

Tuloksia arvioitaessa on tärkeää huomata projektin hyvin rajoittunut otanta ja siitä seuraava epätarkkuus. Käsittelyn edetessä otettujen näytteiden raakanäytteeseen nähden kohonneille pitoisuuksille lienee useampia tulokseen johtaneita mekanismeja, kuten esimerkiksi pelkistyneiden aineenvaihduntatuotteiden hetkellinen palautuminen alkuperäiseen muotoon hapetusprosessin aikana sekä käsittelyn voimakkaasta sekoitusvaikutuksesta seuraava kiinteässä jakeessa olevien lääkeainejäämien desorptio nestejakeeseen. Näiden mekanismien suhteellisen osuuden sekä mahdollisten muiden vaikuttavien mekanismien jatkotutkimuksen katsotaan olevan erityisen tärkeää tuleville hankkeille, sillä esimerkiksi sekoituksen kiihdyttämä desorptio voi yhtäältä olla olennainen aineensiirtomekanismi paitsi syntypaikkakäsittelyssä, myös viemärivereden siirtyessä pitkiä matkoja päästölähteeltä puhdistamolalle ja toisaalta olennainen löydös itse syntypaikkakäsittelyn jatkokehittämiseksi. Kiintoainejakeen hellävarainen erotus ennen nestejakeen käsittelyä voi näin osoittautua merkittäväksi esikäsittelyksi lääkeainejäämien poistamisessa jätevedestä, mikäli kiintoaineessa pystytään pitämään sitoutuneena mahdollisimman suuri lääkeainemäärä ja kiintoaine saadaan erotettua mahdollisimman kuivana jatkokäsittelyyn, kuten polttoon.

Desorption ohella edellä mainittu pelkistyneiden tai muuntuneiden lääkeaineyhdisteiden hapetuksesta johtuvan hetkellisen palautumisen analyysissä havaittavaan alkuperäiseen muotoon on aiemmin todettu esimerkiksi karbamatsepiinin osalta ⁷. Luonnollisena hajoamispolkuna hapetusprosessi voi tällä tavoin tuoda esiin analyysissä näkymättömiä aineenvaihduntatuotteita ennen hajoamisprosessin etenemistä ja alkuperäisten yhdisteiden pilkkoutumista pienemmäksi. Lisäksi prosessissa tapahtuu uudelleenmuodostumisen kanssa samanaikaisesti alkuperäisessä muodossa olevien lääkeaineiden hajoamista, mikä johtuu epäselektiivisestä hapetuksesta ja prosessille ominaisesta hydroksyyliiradikaalien merkittävästä roolista ⁸. Kun alkuperäisten yhdisteiden uudelleenmuodostuminen hidastuu raakavedessä olevien muuntuneiden tuotteiden pitoisuuden laskiessa, mutta hapettuminen jatkuu, reaktiotasapaino siirtyy laskemaan alkuperäisen lääkeaineen pitoisuutta ⁴ (kuten tämän hankkeen tuloksissa nähtävissä toisessa käsitellyssä näytteessä usean lääkeaineen kohdalla). Tämä dynamiikka tekee käsittelyn tarkasta, kvantitatiivisesta vaikutuksesta mahdotonta ilman laajempaa otantaa.

Todennäköisimmäksi syyksi kuitenkin arvellaan tässä tapauksessa koejärjestelyn vesikiertoa, jolla on voimakas sekoitusvaikutus käsiteltävään veteen, ja tästä seuraavaa desorptiota, joka tuo ajan funktiona kasvavan määrän lääkeaineita näkyviin nestejakeen analyyseissä jäämien siirtyessä hiukkasista nesteeseen.



26.3.2021

Yhteenvetona tuloksia voidaan pitää oikeansuuntaisina ja alustavasti voidaan todeta prosessin sopivan käyttötarkoitukseen, mikäli kiintoaineenerotus saadaan toimivalle tasolle, ja kiintoaine jatkokäsittelyä asianmukaisesti. Hydroksyyliiradikaalihapetuksen on osoitettu hajottavan lääkeainejäämiä tässä ja aiemmissa tutkimuksissa. Lääkeaineiden suuri lukumäärä vaikuttaa huolestuttavalta, sillä havaitut pitoisuudet useiden lääkeaineiden kohdalla nousivat merkittävästi sekoituksen ja osittaisen hapetuksen myötä, ts toimenpide toi esiin pitoisuuksia, jotka ilman käsittelyä olisivat jääneet havaitsematta. Pelkästään raakavedessä esisuodatuksen jälkeen havaituilla pitoisuuksilla vuosipäästöt $5 \text{ m}^3/\text{h}$ virtaamalla vastaavat yli sataa kiloa lääkeaineita vuodessa. Käsittelyn edetessä esiin tulleilla pitoisuuksilla lukemat voivat olla kaksikin kertaa suuremmat. On lisäksi huomioitava, että tuloksista puuttuu analyysipaketin ulkopuolelle jäävät yhdisteet. Tällaisiin yhdisteisiin lukeutuu muun muassa kaikki muuntuneet yhdisteet, joita voi olla jopa yhtä paljon tai enemmän kuin alkuperäisiä lääkeaineita⁹.



Kuva 3. Käsittelemätön (vas.) ja käsitelty (oik.) jätevesinäyte. Käsitelty näyte on käsitelty $2 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ominaisplasmaenergia-annoksella.

Vaikuttavuus

Lääkeainepäästöt ja käsittelyn tehokkuus

Hankkeessa saatiin aiempaa laajemman lääkeaineanalyysipaketin myötä lisätietoa sairaalajätevesissä esiintyvistä lääkeainemääristä ja niiden päätymisestä viemäriverkostoon. Analyyseissä havaittiin jäämiä 44 lääkeaineesta aiemman 29 sijaan.

Tulokset olivat linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa siltä osin,

Havaituista lääkeaineista diklofenaakki löytyy EU:n vesien haitta-aineiden tarkkailulistalta ⁶. Diklofenaakki hajosi käsittelyssä alle määritysrajan. Diklofenaakin lähtöpitoisuus sairaalan jätevedessä oli 0,18 µg/l, mikä on jonkin verran matalampi kuin aiempien kokeiden yhteydessä mitatusta näytteestä (0,6 µg/l ⁴). Yksittäisen yhdisteen alttius kemialliselle hapettumiselle toisiin yhdisteisiin verrattuna riippuu sen molekyyliarakenteesta. Esimerkiksi kofeiini ei ole erityisen altis hapettumiselle, mutta toisaalta se on erittäin hyvin biohajoava ja hajoaa täysin kunnallisessa käsittelyssä. Toisaalta esimerkiksi juuri diklofenaakki hajoaa käsittelyssä tehokkaasti.

Tulosten perusteella voidaan todeta käsittelyllä olevan kaksi havaittavaa vaikutusta:

- Käsittelyn dynamiikka tuo esiin pitoisuuksia, joita ei havaittaisi ilman käsittelyä
- Käsittely hajottaa lääkeainejäämiä merkittävästi, mutta kvalitatiivinen tulosten tarkastelu ei ole luotettavaa ilman laajempaa otantaa ja tarkempaa selvitystä kun samanaikaisesti tapahtuu hajoamista ja ”uusia pitoisuuksia” tulee analyysiin näkyviin.

Tuloksista voidaan laskea karkeana arviona, että tarkastelupisteessä analysoiduista yhdisteistä vuosittain ainakin 100-200 kiloa lääkeaineita päätyy sairaalan jätevesien mukana edelleen kunnalliseen verkostoon ilman käsittelyä. Hankkeen aikaisen käsittelyn vaikutusta lääkeainemääriin on vaikea arvioida suppean otannan ja yllä mainitun heiluntaa aiheuttavien mekanismien vuoksi, mutta olennaista pitoisuuden laskemista on perusteltua olettaa tapahtuneen absoluuttisella lääkemäärien tasolla.

Ratkaisun elinkelpoisuus ja monistettavuus

Vedenkäsittelyprosessi koostuu lähes aina useammasta yksikköoperaatiosta, joista kukin on mitoitettu ja suunniteltu käsiteltävän veden lähtö- ja tavoitelaadun mukaan. Mikrohaitta-aineiden hajottaminen plasmakäsittelyllä on aiempien tutkimusten mukaan onnistunut sekä puhtaista malliliuoksista, että erittäin likaisista ja runsaasti



kiintoainetta sisältävistä jätevesistä. Tämän hankkeen tarkastelussa nähtiin lääkeaineiden hajoavan myös täyden mittakaavan järjestelmässä. Tämä johtuu hapetusprosessin epäselektiivisyydestä ja plasmahapetukselle ominaisesta suuresta hydroksyyliiradikaalien roolista hapetuksessa. Hapetuksen lisäksi tarvittavaksi yksikköoperaatioksi jää näin ollen vain isoimpien kiintoainepartikkelien erottaminen esikäsittelyllä, joka tämän hankkeen havaintojen perusteella kannattaisi toteuttaa ruuviseparaattorilla lähinnä viemäriveredessä olevan paperikuidun vuoksi. Kiintoaine voidaan erotuksen jälkeen kerätä erilleen tai palauttaa käsitellyn veden mukana viemärivertaan otsonikäsittelyn jälkeen. Kokonaisuutena konttiin rakennettu ns. plug-n-play -ratkaisu on erityisen helposti monistettavissa muihin kohteisiin, joissa tarvitsee poistaa mikrohaitta-aineita laadultaan hyvin erilaisista jätevesivirroista.

Konttiin rakennettavan järjestelmän jatkokehitystarpeista saatiin hankkeessa arvokasta tietoa, esimerkiksi esikäsittelyn ja varojärjestelmien suunnittelua varten. Käsittelyjakson aikana saatiin käytännön kokemusta ongelmatilanteista ja niiden ratkaisuista, ja havaintojen perusteella ratkaisun elinkelpoisuutta ja monistettavuutta kehitettiin ja kehitetään edelleen. Konttimuotoinen ratkaisu on helppo toteuttaa monenlaisissa ympäristöissä, myös sellaisissa, joissa kiinteän käsittelylaitoksen rakentaminen ei välittömästi ole mahdollista.

Hankkeessa rakennetun demonstraatiolaitoksen suunnittelu, rakennus- ja käyttövaiheessa tehtiin myös monia havaintoja, jotka edesauttavat tekniikan monistettavuutta muissakin kuin mikrohaitta-ainekohteissa.

Projektissa toteutetulla täyden mittakaavan demonstraatiolaitoksella on ollut myös merkittävä vaikutus tekniikan kaupallistamisessa, ja installaatio on toiminut referenssinä useassa raportointipäiväyksellä käynnissä olevassa neuvottelussa loppukäyttäjien kanssa eri toimialoilta.

Vaikutus tekniikan kehittymiseen

Hankkeessa toteutettavan järjestelmän toteutuksesta saatiin uudelle tekniikalle tärkeää mitoitus- ja suunnittelukokemusta sekä erityisesti käyttökokemusta. Hankkeessa myötä saatiin äärimmäisen tärkeää kokemusta ajosta haastavissa olosuhteissa ja haastavalla jätevedellä, ja erityisesti lisätietoa mm. esikäsittelytekniikan rajoitteista ja prosessin eri osien suorituskyvystä. Näillä havainnoilla päästiin työstämään erityisesti hydrodynaamisia määreitä sekä määrittelemään kriittisimpiä esikäsittelyn suunnitteluparametreja. Hanke lisäksi mahdollistaa tutkimustyön jatkamisen yhteistyössä tutkimuslaitosten kanssa, mikä voi edelleen luoda täysin uusia innovaatioita vedenkäsittelyn kehitykselle. Tutkimusyhteistyöstä on raportointipäiväyksellä käyty keskusteluja neljän tutkimuslaitoksen kanssa, jotka ovat ilmaisseet halunsa tehdä sovellusteknistä ja poikkitieteellistä tutkimusta PLÄTS-prosessilla. Hankkeen myötä



plasmahapetustekniikan sovellettavuudesta ja konttiasennuksesta saatiin erittäin arvokasta kokemusta ja tietoa teknisen toteutettavuuden sekä kustannusrakennetarkastelun kannalta, mikä on tärkeää kilpailukyvyyn ja sen määrittämisen sovelluskohtaisen arvioinnin kannalta.

Ratkaisun uutuusarvo

Ratkaisu on ainutlaatuinen ja ensimmäinen maailmassa. Plasmatekniikka vedenkäsittelyssä on tehnyt tuloaan akateemisesta tutkimuksesta teolliseen mittakaavaan jo vuosia, mutta skaalaaminen laboratoriomittakaavasta ei ole onnistunut aiemmin. Tekniikan hyödyt ja poikkeuksellinen energiatehokkuus on osoitettu lukuisissa laboratorio- ja pilot-mittakaavan tutkimuksissa ja nyt myös teollisen mittakaavan prototyypeillä. Toteutuksella on näin ollen myös tieteellistä uutuusarvoa.

Lääkeaineiden hajottaminen sairaalajätevesistä on jo sinällään uusi ratkaisu, sillä vaikka aihetta on hieman tutkittu aiemmin, ei käytännön toteutuksia ole vielä raportoitu. Kaupungin panostuksen ja sairaalan sitoutumisen myötä hanke toimii oivallisena esimerkkinä kaupunkien, terveyden ja hyvinvoinnin laitosten sekä yritysten yhteistyöstä merkittävien ympäristöhaasteiden torjunnassa.

Tekniset kehitystarpeet

Projektin aikana havaittiin teknisiä kehitystarpeita, jotka ovat edellytyksiä PLÄTS-prosessin itsenäiselle ja ympärivuorokautiselle toiminnalle. Kehitystarpeet on esitetty alla.

Kiintoainesuodatin:

Demonstraatioyksikköön valittu suodatintyyppi ei osoittautunut käyttötarkoitukseen soveltuvaksi sillä suodatettavan materiaalin ominaisuudet edellyttävät suodoslinjan vastapaineen nostamisen epäkäytännöllisen korkeaksi. Korkea vastapaine rajoittaa läpivirtauksen alle mitoitustarpeen. Suodatin tukkeutuu pääsääntöisesti jätevedessä olevasta paperikuidusta nopeasti, mikä johtaa normaalia tiheämpään puhdistussykliin. Tällöin merkittävä osa suodattimelle pumpattavasta vedestä käytetään suodattimen puhdistukseen ja ohittaa näin ollen plasmakäsittelyn. Käsiteltävän jakeen ominaisuuksia tarkasteltiin projektin aikana ja sopivaa kiintoaineenerotusratkaisua kartoitettiin asiantuntijaryhmän sekä erilaisten suodatinlaitetoimittajien kanssa. Kartoituksessa päädyttiin johtopäätökseen, että todennäköisesti parhaiten



sovelluskohteeseen soveltuva tekniikka on ruuviseparaattori. Tällöin suhteellisen hyvin erottuva kiintoaines voidaan myös kerätä erikseen esimerkiksi polttoa varten.

Muut kehitystarpeet:

Muita teknisiä kehitystarpeita kuten vikatilannesensoreita, ohjauslogiikan päivityksiä sekä virtaus- ja pinnankorkeussensorien asennusta toteutettiin projektin kuluessa ja sen jälkeen.

Tavoitteiden toteutuminen

Tavoitteiden toteutuminen on esitetty tavoitekohtaisesti taulukossa 7.

Taulukko 7. Hankkeen tavoitteiden toteutuminen.

TAVOITE	TOTEUTUMINEN
Suunnitellun järjestelmän rakentaminen EKKS:n viemäriin yhteyteen	Tavoite toteutui. Laitteisto on esitelty kappaleessa <i>Tekninen toteutus</i> .
Lääkejäämien ja niiden muuntumistuotteiden ympäristökuorman vähentäminen	Tavoite toteutui laitteen käyntijaksojen aikana.
Lääkejäämien ja käsittelyn tehon seuranta ja prosessin säätö	Tavoite toteutui osittain. Prosessia päästiin jonkin verran säätämään mekaanisen toiminnan ja virtaustekniikan osalta. Prosessisäädöt kuitenkin liittyivät ensisijaisesti mekaanisen esikäsittelyn haasteisiin, mistä johtuen varsinaiset käsittelykoheet saatiin käyntiin vasta projektin loppupuolella ja lääkeaineiden seurantanäytteiden otanta jäi hyvin pieneksi. Prosessia ei tämän vuoksi päästy projektin aikana säätämään lääkeainejäämien hajottamisen optimoimiseksi.
Laitteiston jääminen pysyvään käyttöön	Tavoite ei toteutunut suoraan hankkeen jatkeena koska laitteiston ylläpidolle ja mekaaniseen esikäsittelyyn liittyvien,

	<p>teknisten kehitystarpeiden toteuttamiselle ei ole rahoitusta. Ulkopuolisen rahoituksen mahdollisuuksia etsitään 2021 aikana.</p>
<p>Jatkotutkimuksen mahdollistaminen</p>	<p>Tavoite toteutui. Vaikka laite ei raportointipäiväyksellä ole rahoituksen puuttuessa vielä jatkuvatoimisessa käytössä kohteessa, jatkotutkimuksista on laadittu suunnitelma yhdessä jatkotutkimuksiin osalliseksi halukkuutensa ilmoittaneiden tutkimuslaitosten kanssa. Konsortioon kuuluu Flowroxin lisäksi LUT-yliopisto sekä kolme ulkomaista yliopistoa.</p>
<p>Palveluliiketoimintamahdollisuuksien tarkastelu</p>	<p>Tavoite toteutui. Lääkeaineiden käsittelyä palveluliiketoimintana tarkastellaan kappaleessa <i>Palveluliiketoimintamahdollisuudet</i>.</p>

Palveluliiketoimintamahdollisuudet

Lääkeaineiden hajottaminen tässä hankkeessa demonstroidulla teknisellä ratkaisulla ei rajoitu mihinkään tiettyyn liiketoimintamalliin. Liiketoimintamahdollisuuksia tarkastellessa voidaan tehdä kaksijakoinen luokittelu investointi- ja palvelumalliin. Investointimallissa jäteveden tuottaja ostaa laitoksen; malli sisältää kuitenkin palveluliiketoimintamahdollisuuden huolto- ja varaosatoimituksiin, sekä operointipalveluun yms. Varsinaisessa palvelumallissa taas ratkaisun toimittaja pitää kaluston omistuksen ja veloittaa jäteveden tuottajaa käsittelyperusteisesti. Erityisesti tässä hankkeessa demonstroidun konttiyksikön sovittaminen palvelumalleihin on suhteellisen kätevää, sillä konttiyksikkö on helppo siirtää kohteesta toiseen, mikäli palvelusopimusta ei haluta jatkaa; investointimallissa laitteiston omistusrasite jäisi jätevedentuottajalle. Palvelumalli voi siten olla jätevedentuottajalle huomattavasti houkuttelevampi vaihtoehto, mikäli käsittelyn veloitustaso ei nouse liian korkeaksi. Käsittelyn hintatason määräytymisen voidaan olettaa olevan kytköksissä määräyksiin ja päästörajoihin, joita sairaaloiden kaltaisille pistekuormalähteille tulevaisuudessa mahdollisesti asetetaan joko viranomaisen tai kunnallisen jätevedenkäsittelytoimijan toimesta. Sitä ennen sopivalle hintatasolle pääseminen voi olla haastavaa, kun pakon aiheuttamaa painetta käsittelylle ei ole.

Palvelumallissa voidaan hajottaa lääkkeitä suoritus-, kapasiteetti- tai periodiperusteisella veloituksella. Näitä vaihtoehtoja tarkastellaan alla.



26.3.2021

Suoritusperusteinen veloitusmalli perustuu lääkeaineiden hajottamiseen ja tämän puhdistustuloksen mittaamiseen. Kaikkien lääkeaineiden ja niiden tunnettujen muuntumistuotteiden jatkuva seuranta ei kuitenkaan ole nykYTEKNIKALLA realistista. Laajimmat kaupallisesti saatavilla olevat analyysipaketit mittaavat yli sataa lääkeainetta, mutta tällaiset analyysit ovat sopimushinnoillakin erittäin kalliita. Suoritusperusteisessa veloitusmallissa voitaisiin ikään kuin käänteisesti soveltaa nykyään kunnallisten puhdistamatoimijoiden suosimaa teollisuusjätevesimaksun mallia asumisjätevesistä poikkeavien jätevesien johtamisesta viemäriin, ja määrittää prosessiin tulevalle ja siitä poistuvalla vedelle raja-arvot jonkin valitun laatuindikaattorin mukaan. Palveluntarjoaja veloittaisi jätevedentuottajaa sen mukaan, kuinka paljon lääkeaineita prosessi tuhoaa, jolloin hintakerroin määräytyisi laatuindikaattorin lähtö- ja lopputason perusteella. Koska pistekuormalähteilläkin, kuten sairaaloilla, jäteveden lääkeainepitoisuudet voivat vaihdella merkittävästi, laitoksella voi ilmetä laatuindikaattorilla mitattuna ns. päästöttömiä ajanjaksoja. Tällaisiin päästöttömiin jaksoihin käsitteyllä tulisi todennäköisesti olla kuitenkin jonkinlainen vakio-/minimikuutiohintaa, tai esim. kuukausiveloitus, jolloin veloitusmalli olisi osin periodiperusteinen. Palveluntarjoajalla on minimimaksuun taloudellinen motiivi, mutta minimimaksu epäselektiiviselle lääkeaineiden suoritusperusteiselle hajottamiselle on edellä kuvattujen päästöttömien ajanjaksojenkin aikana perusteltua, sillä laatuindikaattori (mikä hyvänsä se onkaan) ei vastaa kattavaa analyysiä; laatuindikaattori toimisi lähtökohtaisesti korottavana tekijänä silloin, kun se indikoi korkeita pitoisuuksia ja niiden onnistunutta hajotusta. Tällaisen laatuindikaattorin tulisi olla helposti ja edullisesti mitattavissa, ja sen tulisi oleellisesti korreloida lääkeaineiden hajoamisen kanssa prosessissa. Tällaista laatuindikaattoria ei ole tiedossa, mikä tarjoaa erinomaisen aiheen laajalle, tieteelliselle tutkimustyölle. Suoritusperusteinen veloitusmalli on tässä tarkastelluista malleista ongelmallisimman luotettavan laatuindikaattorin määrittämisen haasteiden takia. Laatuindikaattori asettaa myös mahdollisesti perustavanlaatuisen ongelman, kun sillä ohjataan palveluntarjoajan veloitusta: hintatason riippuessa indikaattorin muutoksesta prosessissa, asetelma ohjaa käsittelyn optimointia mahdollisimman edulliseen indikaattorin arvoon, eikä itse lääkeaineisiin. Suoritusperusteisen veloitusmallin määrittäminen vaatii paljon lisäselvitystä.

Kapasiteettiperusteinen veloitusmalli perustuu käsiteltävään virtaamaan. Malli on yksinkertainen ja monen teollisen jätevedenkäsittelypalveluntarjoajan käyttämä. Kapasiteettiperusteisessa veloitusmallissa veloitetaan esim. kuukausittain prosessin läpi virtaavan vesimäärän mukaan, jonka seurantaan riittää yksinkertainen virtausmittaus. Virtausmittaus on vakiintunutta tekniikkaa eikä aiheuta olennaisia investointi- tai käyttökuluja. Veloitusmalliin kuitenkin usein sisältyy jonkinlainen tae tai oletus puhdistustuloksesta, koska käsittelypalvelua ostetaan nimenomaan johonkin päästötasoon pääsemiseksi. Suoritusperusteisesta veloitusmallista poiketen kapasiteettiperusteisessa mallissa voitaisiin tyytyä harvempaan analyysitahtiin, eikä laatuindikaattoria tarvita hinnanmuodostuksessa (huom: mikäli tällainen laatuindikaattori kuitenkin olisi löydetty, sitä voitaisiin tässäkin mallissa käyttää esim. poikkeamien ja operoinnin seurantaan). Kapasiteettiperusteisen mallin hyväksyntä perustuu näyttöön prosessin epäselektiivisistä toimivuudesta ja ajoparametrien määrittämisestä siten, että voidaan olla suhteellisen varmoja siitä, että halutut



26.3.2021

lääkeainejäämät hajoavat käsittelyssä riittävän suurilta osin. Mallin veloituskaskennassa on helppo huomioida automaattisesti myös poikkeavat ajanjaksot, jolloin esimerkiksi plasmahapetus ei olisi käynnissä mutta prosessin läpi virtaisi vettä.

Periodiperusteisessa veloitussmallissa palveluntarjoaja veloittaa jätevedenkäsittelystä esimerkiksi kuukausimaksua. Sopimuksen sisältö voidaan sopia kattamaan esimerkiksi operoinnin, huollon ja varaosat. Malli on kaikkein yksinkertaisin ja todennäköisesti myös houkuttelevin ja vastuukysymykset ovat suhteellisen selkeitä. Periodiperusteisessa veloitussmallissa täytyy jollain tavalla huomioida sellaiset ajanjaksot, jolloin prosessi ei jostain syystä ole toiminnassa ja puhdistusta ei tapahdu. Tämä voidaan sopia helposti esimerkiksi hyväksymällä tietty osuus laskutusajanjaksosta ohivirtaukselle siten, että tämän ylittävä osuus lasketaan pois vakioveloituksesta.

Palveluntarjoajan kannalta on yksinkertaisinta käyttää yhtä mallia jokaisessa kohteessa. Tämän vuoksi periodiperusteinen veloitussmalli lienee palveluntarjoajan kannalta helpoimmin toteutettava, mikä helpottaa ratkaisun monistamista eri kohteisiin. Konttiin rakennettu, helposti kohteeseen asennettava käsittely-yksikkö mahdollistaa ratkaisun suoraviivaisen monistamisen.

Jatko ja yhteistyönäkymät

PLÄTS-prosessi EKKS:llä on herättänyt mielenkiintoa useissa teollisissa ja akateemisissa toimijoissa. Projektin tavoitteiden mukaisesti installaatio suunniteltiin mahdollistamaan tutkimus- ja kehitystyö täyden mittakaavan järjestelmällä. PLÄTS-prosessin ja lääkeaineiden hajottamisen jatkotutkimuksia on suunniteltu neljän yliopiston kanssa, joista kolme on ulkomaisia. Yliopistokonsortion kanssa on laadittu alustavaa tutkimussuunnitelmaa ja tehty roolitusta. Samalla kartoitetaan rahoitusmahdollisuuksia teknisille päivityksille ja jatkotutkimusten toteutukselle yhtenä projektina. Jatkon rahoitusmahdollisuuksia selvitetään myös yhteistyössä projektin hankekumppanin, Lappeenranta-Imatra Kaupunkiseudun kanssa. Yliopistoyhteistyössä laaditussa jatkotutkimussuunnitelmaluonnoksessa on tavoitteena selvittää hapetuksen tehokkuutta erikseen sekä suodoksen että lietteen käsittelyssä, selvittää lietteessä ja nesteessä olevat aktiiviset lääkeaineet sekä niiden pitoisuuksien jakautuminen lietteen ja nesteen välillä, mahdollisesti tarkastella tiettyihin lääkeaineisiin liittyviä metabolia- ja hapetustuotteita, selvittää nesteen likaisuuden vaikutusta yhdisteiden hapetukseen, jätevedessä olevien hapetusta häiritsevien parametrien tai yhdisteiden tunnistaminen, erot lääkeaineyhdisteiden välillä ja kohdistaa huomio erityisesti aktiivilietelaitoksella hajoamattomissa ja lietteeseen adsorboituviissa yhdisteissä.

Tutkimusyhteistyön lisäksi Flowroxilla on käynnissä eri asiakkaiden kanssa tekniikan kaupallistamiseen ja ratkaisun monistamiseen liittyviä projekteja, joissa hyödynnetään



26.3.2021

PLÄTS-hankkeessa tehtyä teknistä suunnittelua sekä hankkeen tuomaa kriittistä referenssiarvoa.

Lappeenrannassa 26.3.2021

Petri Ajo, TKT

Head of Environmental Technologies, Flowrox Oy



LÄHTEET

¹ Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle ja Euroopan talous- ja sosiaalikomitealla, Euroopan unionin strateginen lähestymistapa ympäristössä oleviin lääkeaineisiin, 2019.

² Drinking water parameter cooperation project, WHO, 2017, https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/20171215_EC_project_report_final_corrected.pdf

³ Lääkejäämiä sisältävän jäteveden puhdistuksen tehostaminen päästölähteillä ja lääkejätteen tehokkaampi käsittely (EPIC), <https://www.syke.fi/hankkeet/epic>

⁴ Hydroxyl radical behavior in water treatment with gas-phase pulsed corona discharge, P. Ajo, väitöskirja, 2018

⁵ Greenreality network, <https://www.greenreality.fi/yriytykset/lappeenrannan-kaupunki>

⁶ First Watch List for emerging water pollutants, EU, 2016, <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/first-watch-list-emerging-water-pollutants>

⁷ Elimination of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Finland, N. Vieno, T. Tuhkanen, L. Kronberg., Water Research, 2007;41:1001-1012

⁸ Pulsed corona discharge: the role of ozone and hydroxyl radical in aqueous pollutants oxidation, Water Science & Technology, 2013;68.7:1536-1542

⁹ Distribution and fate of pharmaceuticals and their metabolite conjugates in a municipal wastewater treatment plant, A. Brown, C. Wong, Water Research, 2018;144:774-783