



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LÄÄKEAINEIDEN KARTOIT- TAMINEN JÄTEVEDESTÄ

Keski-Savon Vesi Oy

TEKIJÄ:

Mika Markkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Mika Markkanen	
Työn nimi Lääkeaineiden kartoittaminen jätevedestä	
Päiväys 17.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 43/7
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Keski-Savon Vesi Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Keski-Savon Vesi Oy Varkaudesta. Työn tavoitteena oli selvittää lääkeainepitoisuuksia Varkauden alueen sekä puhdistamattomasta että puhdistetusta jätevedestä. Työn avulla oli tarkoitus arvioida, kuinka hyvin Keski-Savon Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamo puhdistaa lääkeaineet jätevedestä ja verrata puhdistamon tehoa muihin Suomessa käytössä oleviin jätevedenpuhdistamoihin. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella sitä, että kuinka paljon erilaisia lääkkeitä ja hormoneja Varkauden alueen jätevedessä on.</p> <p>Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa käytiin läpi yleisesti lääkkeitä esiintymistä jätevesissä sekä esiteltiin Keski-Savon Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamo Varkaudessa. Lisäksi tarkasteltiin erilaisia puhdistusmenetelmiä lääkkeitä poistamiseksi ja esiteltiin erilaisia tehostamismahdollisuuksia puhdistusmenetelmille. Tutkimusosiossa otettiin näytteet puhdistamattomasta ja puhdistetusta jätevedestä ja verrattiin saatuja lääke- ja hormonipitoisuuksia muiden Suomessa tehtyjen tutkimusten tuloksiin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin vertailumateriaalia Varkauden puhdistamon lääkeaineiden ja hormonien puhdistustehosta. Lisäksi saatiin dokumentoitua sitä, että millaisia lääkeainemääriä Varkauden alueen jätevesissä on. Työssä arvioitiin myös mahdollisuuksia jätevedenpuhdistuksen tehostamiseen Keski-Savon Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamolla.</p>	
Avainsanat jätevesi, jätevedenpuhdistamo, lääkeaine	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Mika Markkanen	
Title of Thesis Surveying Medicaments from Wastewater	
Date May 17, 2021	Pages/Appendices 43/7
Client Organisation /Partners Keski-Savon Vesi Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The client of this thesis was Keski-Savon Vesi Oy in Varkaus, Finland. The aim of the thesis was to survey medicaments from the wastewater in Varkaus. The purpose was to assess how well Keski-Savon Vesi Oy's wastewater treatment plant cleans medicaments from wastewater and to compare the efficiency of the treatment plant with other wastewater treatment plants in use in Finland. In addition, the aim was to look for how many different medicaments and hormones there are in the wastewater in the Varkaus area.</p> <p>The theory section reviewed medicaments in wastewater at a general level. In addition, the Varkaus wastewater treatment plant was presented. The section also looked at different purification methods for removing medicaments from wastewater. In addition, various enhancement possibilities for purification methods were sought. In the research section, samples were taken from wastewater and the results were compared with the results of other wastewater treatment plants in operation in Finland.</p> <p>As a result of the thesis, reference material was obtained on the efficiency of a wastewater treatment plant to remove medicaments from wastewater. In addition, it was documented what kind of medicaments there are in the wastewater in the Varkaus area. The work also assessed the possibilities for improving the efficiency of wastewater treatment at Keski-Savon Vesi Oy's wastewater treatment plant.</p>	
<p><b>Keywords</b> wastewater, wastewater treatment plants, medicaments</p>	

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Keski-Savon Vesi Oy:n ja Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:n kanssa. Työn ohjaajina Keski-Savon Vesi Oy:n puolelta toimivat vesihuoltoinsinöörit Janne Särkkä ja Arto Koponen. Heitä haluan erityisesti kiittää mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta ja mahdollisuudesta suorittaa työ hyvässä ohjauksessa. Myös Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:tä haluan kiittää yhteistyöstä, joka mahdollisti tämän työn tekemisen. Kyseisestä yrityksestä kiitän erityisesti tutkimuspäällikkö Minna Kukkosta ja asiakaspäällikkö Henri Koposta. Heidän apunsa ja neuvonsa helpottivat paljon työn suorittamista. Kouluni puolelta ohjaajana toimivat opettajani Juha-Matti Aalto ja Teemu Räsänen. Heitä haluan kiittää hyvistä neuvoista ja kannustamisesta työn tekoon.

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	KESKI-SAVON VESI OY:N JA VARKAUDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON ESITTELY .....	8
2.1	Jätevedenpuhdistamo Varkaudessa .....	8
2.2	Puhdistusvaatimukset.....	9
2.3	Jätevesien käsittelyprosessi .....	10
2.4	Hydrauliikka.....	10
2.5	Esikäsittely .....	10
2.6	Aktiivilietekäsittely.....	10
2.7	Lietteen käsittely/kuivaus .....	11
2.8	Kemikaaliannostukset.....	11
3	LÄÄKEAINEET JA HORMONIT VIEMÄRIVESISSÄ .....	13
3.1	Lääkeaineiden poistaminen jätevesistä .....	14
4	AKTIIVILIETEPROSESSI JA LÄÄKEAINEIDEN POISTUMINEN JÄTEVEDESTÄ SEN AVULLA.....	15
4.1	Lääkeaineiden poistuminen jätevedestä aktiivilieteprosessin avulla.....	17
5	LÄÄKEAINEIDEN JA HORMONIEN POISTON TEHOSTAMISMAHDOLLISUUDET JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA.....	18
5.1	Täsmäpuhdistus.....	18
5.2	MBR-tekniikka.....	18
5.3	Plasmahapetus .....	20
5.4	Tertiäärikäsittelymenetelmät.....	21
5.4.1	Nanosuodatus.....	21
5.4.2	Käänteisosmoosi .....	21
6	OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSVAIHE .....	22
6.1	Näytteidenottoaikat.....	22
6.2	Tutkimuksessa käytetyt laitteet ja varusteet .....	23
6.3	Näytteenottojen analysointi .....	24
7	TULOKSET .....	25
7.1	Lääkeaineiden poistuminen puhdistusprosessissa Akonniemessä.....	27
7.2	Akonniemen jätevedenpuhdistamon ja Kommilan pumppaamon 1. näytteenoton tulokset ja vertailu .....	28
7.3	Havaintoja ja laskelmia.....	30

7.3.1	Havaitsematta jääneet lääkeaine- ja hormoniyhdisteet .....	32
8	VARKAUDEN JÄTEVEDEN LÄÄKEAINEPITOISUUDET VERRATTUNA MUIHIN LAITOKSIIN .....	33
8.1	Vertailu .....	33
9	LÄÄKEAINE- JA HORMONIJÄÄMIEN POISTON TEHOSTAMISMAHDOLLISUUDET VARKAUDEN PUHDISTAMOLLA .....	38
9.1	MBR-tekniikka.....	38
9.2	Plasmahapetus .....	39
10	TUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET .....	40
10.1	Lääkeaine- ja hormonijäämien pitoisuudet ja niiden poistuminen jätevedestä .....	40
11	YHTEENVETO.....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITE 1: KIPULÄÄKKEET .....	44
	LIITE 2: ANTIHISTAMIINIT .....	48
	LIITE 3: ANTIBIOOTIT .....	49
	LIITE 4: VERENPAINELÄÄKKEET .....	52
	LIITE 5: MIELIALALÄÄKKEET .....	55
	LIITE 6: MUUT LÄÄKKEET .....	58
	LIITE 7: HORMONIT .....	61

## 1 JOHDANTO

Erilaisia ihmistoiminnan aiheuttamia ja vapauttamia yhdisteitä on havaittu ympäristöstä laajalti eri paikoilla. Tällaisten yhdisteiden syntypaikkoja ovat mm. teollisuus, jätevedenpuhdistamot, monenlainen ammattimainen käyttö (palosammutusvaahdot, kasvinsuojelualueet). Kuluttajakäytöstä aiheuttajana ovat esimerkiksi kemikaalituotteiden käyttö ja esineiden erilainen käyttö. Yhdisteitä syntyy myös ilmalaskeumana.

Myös lääkeaineita ja hormonien kaltaisesti toimivia yhdisteitä esiintyy laajalti ympäristössä. Lääkeaineet ja hormonit on valmistettu keinotekoisesti ja ne on suunniteltu siten, että ne aiheuttavat vaikutuksia kohteelleen jo erittäin pieninäkin määrinä. Koska yhdisteet ovat erittäin aktiivisia, lääkeaineet ja hormonit saattavat aiheuttaa ympäristölle suuriakin vaikutuksia jo erittäin pieninä pitoisuuksina.

Tässä työssä käsitellään aineita, jotka eivät esiinny luontaisesti luonnossa. Hormonit erittyvät luontaisesti eläinten jätöksiin ja siitä ne voivat päätyä vesistöihin sekä maaperään. Elimistössä lääkeaineet käyttäytyvät eri tavoilla. Jotkin lääkeaineet hajoavat tehokkaasti tai muuntuvat ja osa aineista kulkee elimistön läpi muuttumattomana. Ympäristöön päätyy lääkeaineita myös paljon sitä kautta, kun käyttämättömiä lääkkeitä ei käsitellä oikein.

Suomessa kaikki sekä ihmisten että eläinten terveydenhuollossa syntyvät lääkejätteet luokitellaan ongelmajätteiksi. (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2019.)

Tämän työn tavoitteena on selvittää lääkeainepitoisuuksia Varkauden alueelta sekä puhdistamattomasta että puhdistetusta jätevedestä. Työn aikana tullaan ottamaan erillinen näyte Leppävirralta tulevasta jätevedestä, jotta saadaan eriteltyä omien alueiden lääkeainekuormia. Lisäksi työssä tullaan vertaamaan Varkauden tuloksia hieman muihin aikaisemmin tehtyihin samankaltaisiin tutkimuksiin Suomessa.

## 2 KESKI-SAVON VESI OY:N JA VARKAUDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON ESITTELY

Keski-Savon Vesi Oy on Varkauden kaupungin omistama vesihuolto-yhtiö, jonka päävarikko sijaitsee osoitteessa Borginkatu 9 Varkauden keskustan kupeessa. Talousveden hankinta tapahtuu pohjavedenotantomolta Syvänsiltä Pieksämäen puolelta. Vesi pumpataan alkalointilaitoksen kautta Varkauden vesijohtoverkoston. Kaiken kaikkiaan vesijohtoverkosto on pituudeltaan noin 286 kilometriä. Kaupungissa sijaitsee vesitorni Taulumäellä ja Könönpellossa, joihin vettä myös pumpataan. Varkauden vedenkulutus on noin 1,6 miljoonaa m<sup>3</sup> vuodessa, joka tarkoittaa noin 4500 m<sup>3</sup> vuorokausikulutusta. (Keski-Savon Vesi Oy 2020.)

Keski-Savon Vesi Oy:n vastuulla on myös Kangaslammin talousvedenhankinta sekä jätevedenpuhdistamo. Talousvesi pumpataan Itkonsaaren pohjavesialueelta, alkalointilaitoksen kautta Kangaslammin taajamaan vesijohtoverkoston. Verkosto on noin 8 kilometriä pitkä kokonaisuus. Kangaslammin kulutus on vuodessa noin 18 100 m<sup>3</sup> ja 50 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Jätevesien viemäriverkosto siellä on noin 7 kilometriä pitkä, joka sisältää kaksi jätevedenpumppaamaa ja jätevedenpuhdistamon. Puhdistustekniikkana käytetään biologiskemiallista käsittelyä. Vuosittain Kangaslammin käsittellään noin 22 000 m<sup>3</sup> jätevettä ja vuotovesiä siellä viemäriverkostossa ei synny lähes ollenkaan. Puhdistusvaatimustaso on 90 % ja puhdistusteho onkin ollut hyvää (95–98 %). (Keski-Savon Vesi Oy 2020.)

### 2.1 Jätevedenpuhdistamo Varkaudessa

Varkauden jätevedenpuhdistamo sijaitsee noin 5 km:n päässä Varkauden keskustasta Akonniemen kaupunginosassa. Puhdistamon tonttia ympäröi kahdella sivustalla vesistö, yhdellä maatalousalue ja neljännellä sivustalla on teollisuusalue. Metallialueella ympäröidyn puhdistamoalueen läheisyydessä noin 500 metrin päässä on kaksi yksityistä asuinrakennusta ja noin 300 metrin päässä saarella kaksi mökkiä. Edellä mainitut ovat lähimmät yksityiset asuinrakennukset jätevedenpuhdistamon ympäristössä. (Koskinen 2008.)

Jätevedet johdetaan Akonniemen puhdistamolle biologiskemialliseen puhdistukseen 245 kilometriä pitkän viemäriverkoston läpi. Verkostoon kuuluu lisäksi 61 jätevedenpumppaamaa. Vuosittain Akonniemessä käsitellään noin 3,4 miljoonaa m<sup>3</sup> jätevettä. Käsiteltävän jäteveden määrä on selvästi suurempi, kuin veden kulutus todellisuudessa Varkauden alueella. Tämä johtuu siitä, että joiltain alueilta on johdettu vanhojen verkostojen vuotovesiä sekä kiinteistöjen salaojavesiä Akonniemen puhdistamolle. Myös Leppävirran kunnasta kirkonkylän ja Sorsakosken taajama-alueen jätevedet johdetaan Akonniemen puhdistamolle. Näiden tulokuorma on noin 1500 - 2000m<sup>3</sup>/d. Taulukossa 1 on lainattu Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:n Henri Kopsen vuosiraportista tietoja, jossa nähdään Akonniemen puhdistamon mitoitusta ja kuormia vuonna 2019. Puhdistamon puhdistusteho on 95 ja 99 %:n välillä. (Keski-Savon Vesi Oy 2020.)



Taulukko 1. Akonniemen jätevedenpuhdistamon mitoitus ja kuormat vuonna 2019. (Mukailtu Henri Kopsen (2020) vuosiraportista.)

		Mitoitus	Havaintojen keskiarvo	minimi	maximi
<b>Q<sub>kesk</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	11 200			
<b>Q<sub>max</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	29 000			
<b>Q</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>		8 750	4 307	26 420
<b>q<sub>mit</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	650			
<b>L<sub>BOD7</sub></b>	<b>kgO<sub>2</sub>/d</b>	2 270	2 000	780	3 800
<b>L<sub>FOSFORI</sub></b>	<b>kg/d</b>	92	57	36	110
<b>L<sub>TYYPPI</sub></b>	<b>kg/d</b>	570	430	320	560
<b>L<sub>KIIINTOAINI</sub></b>	<b>kg/d</b>	3 560	2 500	560	7 700

Akonniemen puhdistamolla sijaitsee myös Keski-Savon Vesi Oy:n kompostointilaitos. Siellä kompostoidaan sekä puhdistamolietteen että talousalueelta tulevat biojätteet. Näitä käytetään hyödyksi, kun saadaan valmistettua maanparannusainetta ja viherrakennusmultaa. Tätä multaa on käytetty mm. hyödyksi yrityksen omissa rakennustöissä. (Keski-Savon Vesi Oy 2020.)

## 2.2 Puhdistusvaatimukset

Itä-Suomen ympäristölupavirasto on vuonna 2005 antanut päätöksen (Nro.97/05/2), jossa on annettu lupaehdot Varkauden jätevedenpuhdistamolle. Lupaehdoista selviää taulukossa 2 esiintyvien yhdisteiden pitoisuus- ja poistotehovaatimukset. Esimerkiksi taulukossa 2 näkyvän kiintoaineen pitoisuusvaatimus on vähemmän tai yhtä paljon kuin 30 mg/l ja poistovaatimus sille on enemmän tai yhtä paljon kuin 90 %. Lupaehtoien laskenta tapahtuu neljännesvuosikeskiarvona. (Koskinen 2008.)

Taulukko 2. Lupavaatimukset Akonniemen jätevedenpuhdistamolle. (Mukailtu Teemu Koskisen (2008) prosessisuunnitelmasta.)

<b>Parametri</b>	<b>mg/l</b>	<b>%</b>
BHK <sub>7</sub> (ATU)	≤ 10	≥ 95
Kok. Fosfori	≤ 0,3	≥ 95
Kiintoaine	≤ 30	≥ 90
COD <sub>Cr</sub>	≤ 125	≥ 75

### 2.3 Jätevesien käsittelyprosessi

Jätevesien käsittely Varkaudessa tapahtuu vuonna 1997 rakennetussa rinnakkaissaostuslaitoksessa, joka on varustettu esiselkeytyksellä. Saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia. Jätevedet puretaan käsittelyn jälkeen Siitinselkään. Puhdistamon rakennusvaiheessa on otettu huomioon se, että tulokuorma tulee todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa johtuen Leppävirran jätevesien johtamisesta Varkauden puhdistamolle. Käytännössä tämä on vaikuttanut esikäsittelyn ja esiselkeytyksen suunnitteluun. Myös typenpoiston toteuttamiseen tulevaisuudessa on varauduttu ja muiden prosessiin kuuluvien vaiheiden osalta mitoitukset on perusteltu vuoden 2010 ennustetun kuormituksen mukaisesti. (Koskinen 2008.)

Vuoden 2010 jälkeen laitosta on ehostettu mm. hankkimalla jälkiselkeytyksen tehostamiseksi polymerin valmistus- ja syöttölaitteistot. Lisäksi ferrosulfaatin annostuspumput on vaihdettu uusiin, kasvavan kuormituksen kestäviin pumppuihin. (Koskinen 2008.)

### 2.4 Hydraulikka

Leppävirran jätevedet mukaan lukien puhdistamon maksimivirtaama pysyy alun perin mitoitettujen rajojen sisällä, joka on 1 500 m<sup>3</sup>/h. Vaikka yleensä kaikki tuleva jätevesi pystytäänkin viemään käsittely-yksikköjen läpi, on mahdollisuus tehdä koko laitoksen ohituksia tulopumppaamosta siltä osin, kun tulopumppujen kapasiteetti ylitetään.

### 2.5 Esikäsittely

Prosessin alkuvaiheen esikäsittelyssä tapahtuu välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus sekä kaksilinjainen esiselkeytyks. Raakasekalietteen tiivistys tapahtuu esiselkeytyksessä, josta pumpataan lietettä kuivaukseen suoraan.

### 2.6 Aktiivilietekäsittely

Jätevedestä poistetaan orgaaninen aines ilmastusosissa. Akonniemen puhdistamolla ilmastusosa on kooltaan 2 x 760m<sup>3</sup> ja se on kokonaan aerobinen. Kolmeen erilliseen lohkon jaettujen ilmastusaltaiden kokonaissyvyys on 8 metriä ja ilmastimet on asennettu n. 7,7 metrin syvyyteen. Osa jäteveden sisältämästä fosforista poistuu myös ilmastuksen aikana. Tämä tapahtuu kemiallisesti rinnakkaissaostusperiaatteella. Taulukossa 3 näkyy Akonniemen jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaiden koot ja ilmastimien lukumäärä.

Taulukko 3. Ilmastusaltaiden koot ja ilmastimien lukumäärät. (Mukailtu Teemu Koskisen (2008) prosessisuunnitelmasta.)

	<b>Laatu</b>	<b>Tilavuus</b>	<b>Tilavuus</b>
		<b>Linja 1</b>	<b>Linja 2</b>
Lohko 1	m <sup>3</sup>	190	190
	m <sup>2</sup>	24	24
	ilmastin-lkm	55	55
Lohko 2	m <sup>3</sup>	190	190
	m <sup>2</sup>	24	24
	kpl	40	40
Lohko 3	m <sup>3</sup>	380	380
	m <sup>2</sup>	48	48
	kpl	54	54
<b>Yht.</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>760</b>	<b>760</b>
	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>96</b>	<b>96</b>
	<b>kpl</b>	<b>149</b>	<b>149</b>

Ylijäämälietteen pumppaus esiselkeytykseen tapahtuu ilmastusaltaan loppupäästä. Esiselkeytyksen käsittelyn jälkeen liete on ns. raakasekalietettä ja se pumpataan lietteenkuivaukseen. Jälkiselkeytyksessä jäteveden lietteet laskeutetaan altaan pohjalle. Tähän apuna käytetään saostuskemikaalina ja jälkiselkeytyksen tehostamiseksi polymeeriä, jonka avustuksella liete saadaan eroteltua paremmin jätevedestä. Tässä prosessin vaiheessa laskeutettua lietettä kutsutaan palautuslietteeksi. Myös aktiivilietteeksi kutsuttavaa palautuslietettä syntyy siis jälkiselkeytyksen tuloksena. Palautusliete siirretään takaisin päin ilmastukseen. (Temmes 2018.)

## 2.7 Lietteen käsittely/kuivaus

Lietteen kuivatus Akonniemessä tapahtuu koneellisesti kahdella lingolla. Tämä tarkoittaa, että keskivakovoiman avulla liete erotellaan nesteestä. Kuivatusta tehostetaan lisäämällä polymeeriä.

## 2.8 Kemikaaliannostukset

Akonniemen jätevedenpuhdistamolla saostuskemikaalina on käytössä siis ensisijaisesti ferrosulfaatti. Kemikaalin syötössä on kapasiteettia tasoon 20–25 kg/kg P<sub>TUL</sub>. ja sitä annostellaan kahdesta eri syötöpisteestä. Taulukossa 4 on nähtävissä Akonniemen puhdistamon saostuskemikaalina käytettävän ferrosulfaatin maksimiannostusarvot, jotka on määritetty vuoden 2010 ennustetussa kuormitustilanteessa. (Koskinen 2008.)

Taulukko 4. Ferrosulfaatin maksimiannostustasot v. 2010 ennustetuilla kuormitusarvoilla. (Mukaiiltu Koskisen (2008) prosessisuunnitelmasta)

Parametri	Laatu	Kuormitusarvo ka 2010
<b>1. Annostuspiste</b>		
Annostus, ka	kg/d	1840
	l/h	300
	l/h/allas	150
	g/m <sup>3</sup>	160
	kg/kgPtul.	20
<b>2. Annostuspiste</b>		
Annostus, ka	kg/d	500
	l/h	80
	l/h/allas	40
	g/m <sup>3</sup>	45
	kg/kgPtul.	10

Jälkiselkeytykseen on hankittu polymeerinsyöttölaitteisto sen tehostamiseksi. Kemikaalia syötetään kumpaankin linjaan omilla pumpuillaan. Polymeerin avulla saadaan liete eroteltua paremmin jätevedestä jälkiselkeytysprosessissa. Taulukossa 5 on nähtävissä polymeerin syöttöpumppujen ennustettuja kulutusarvoja vuodelle 2010 jälkiselkeytysvaiheessa. (Koskinen 2008.)

Taulukko 5. Polymeeriliuoksen syöttöpumppujen ennustetut kapasiteetit vuodelle 2010. (Mukaiiltu Koskisen (2008) prosessisuunnitelmasta)

Parametri	Laatu	Kulutustiedot 2010
<b>Jälkiselkeyttävä vesi</b>		
Annostus, ka	g/m <sup>3</sup>	0,5
	kg/d	5,6
	dm <sup>3</sup> /h	max. 470
	dm <sup>3</sup> /h/linja	max. 235

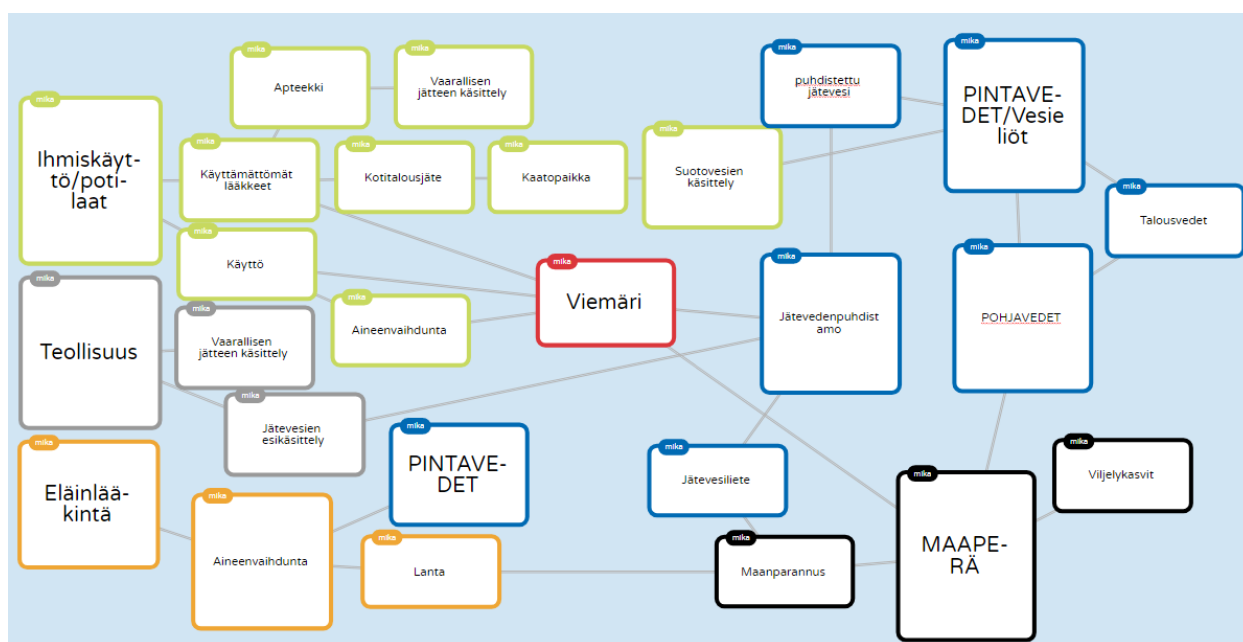
Lietteen erottumiskykyä vedestä parannetaan puhdistamalla lisäämällä myös linkousvaiheessa polymeeriä eli polyelektrolyyttejä. Taulukossa 6 on esitetty polymeeriliuoksen syöttöpumppujen ennustettuja tietoja vuodelle 2010 lietteen kuivatusvaiheessa.

Taulukko 6. Polymeeriliuoksen syöttöpumppujen ennustetut kapasiteetit vuodelle 2010. (Mukaiiltu Koskisen (2008) prosessisuunnitelmasta)

Parametri	Laatu	Kulutustiedot 2010
<b>Raakasekaliete</b>		
Annostus, ka	kg/tnTS	max. 6,0
	kg/d	26
	kg/h	2,9
	dm <sup>3</sup> /d	26 000 (0,1 % liuos)
	dm <sup>3</sup> /h	max. 2900

### 3 LÄÄKEAINEET JA HORMONIT VIEMÄRIVESISSÄ

Lääkejäämiä ajautuu jätevedenpuhdistamoille viemäriverkoston liittyvien toimintojen kautta. Puhdistamolle tulleet lääkejäämät voivat muuntua, pidättyä jätevesilietteeseen, ajautua vesistöihin tai hajota puhdistamalla. Lääkeaineet voivat aiheuttaa vakaviakin haittoja vesistössä tai maaperässä, vaikka niiden pitoisuudet olisivatkin pieniä. Tulevaisuudessa lääkkeidenkäyttö tulee hyvin todennäköisesti vain lisääntymään ja tästä syystä myös lääkejäämiä päätyy ympäristöön enemmän. Tähän voidaan kuitenkin vaikuttaa yrittämällä vähentää lääkeainepäästöjä. Jätevesien lääkejäämille ei ole olemassa mitään poistovaatimuksia Suomen lainsäädännössä, mutta useita tutkimus- ja kehityshankkeita liittyen lääkeaineisiin vesistöissä on meneillään Suomessa. Kuvassa 1 on hahmoteltuna lääkeaineiden kulkeutumisreittejä. (Nysten, Äystö 2020, 4.)



KUVA 1. Lääkejäämien erilaisia kulkeutumisreittejä. (Mika Markkanen 2021.)

Ympäri maailmaa on tehty havaintoja lääkeaineista jätevesissä ja viime vuosina niistä on ryhdytty tekemään enemmän aineistoa julkaistavaksi. Tänä päivänä on runsaasti tietoa erityisesti käsitellystä jätevedestä ja sen lääkeainepitoisuuksista. Selvitykset erilaisten primärlähteiden (esim. sairaalat) jätevesistä ja niiden lääkeainepitoisuuksista ovat kuitenkin todella harvassa. (Äystö 2020, 5–8.)

Jätevedenpuhdistamolta tehtävät näytteenotto ja lääkeaineiden pitoisuuksien arviointi on melko helppoa, mutta sairaalan pitoisuuksien arviointi on sitten hieman hankalampaa. Sairaalaalta voi lähteä viemäriinjoja moneen eri suuntaan ja koko sairaalan jätevesikompleksien kattavaa näytenäytettä on hankala saada selville. Jäteveden virtaamaa ei todennäköisesti seurata tällaisessa kohteessa ja se hankaloittaa entisestään tutkimusta ja tekee näytteiden tuloksista epävarmoja. (Äystö 2020, 5–8.)

Vain sellaisille yhdisteille, joista on olemassa riittävän tarkkaa tietoa ja analytiikkaa, voidaan tehdä pitoisuusmäärityksiä avulla kuormitusarviointia. Varjoaineet ovat esimerkki, jotka ovat ympäristössä pysyviä ja sytostaatit erittäin myrkyllisiä ympäristölle, mutta kaupallisesti tarjolla olevaa analytiikkaa

ei ole tarjolla kovin moneen näiden ryhmien yhdisteisiin. Jotta kuormitusarviointia voitaisiin parantaa, tarvitaan yhä useammalle lääkeaineelle analytiikkaa käytettäväksi. Myös jätevesivirtaamien seuranta tulisi tehdä ja tiettävästi tällaista ei suoriteta ainakaan sairaaloissa. (Äystö 2020, 5–8.)

### 3.1 Lääkeaineiden poistaminen jätevesistä

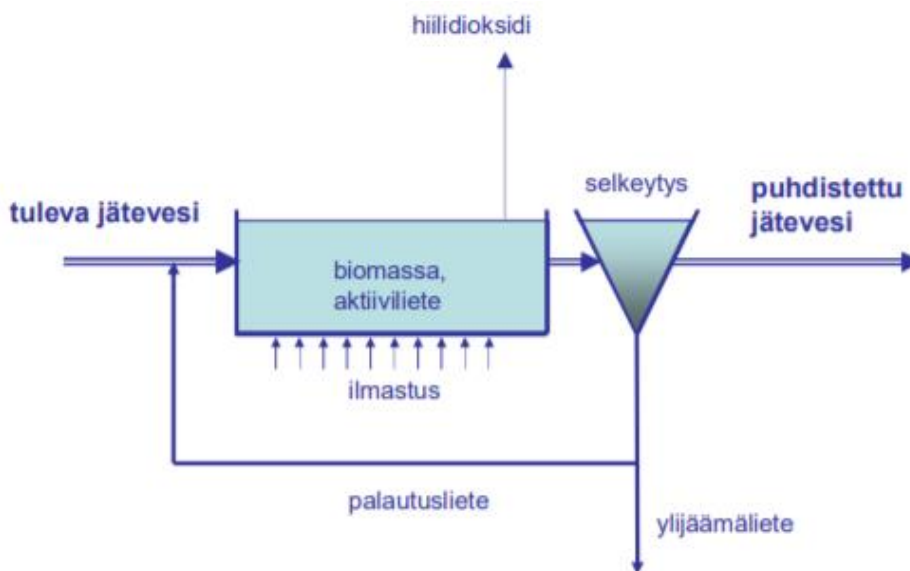
Yhdyskunnan jätevesille parhaita puhdistuskeinoja ovat biologiset jätevedenpuhdistusprosessit. Eri-tyisesti aktiivilieteprosessi on tehokas poistamaan orgaaniset yhdisteet jätevesistä. Prosessia ei kuitenkaan ole suunniteltu lääkeainejäämien poistoon. Tästä huolimatta suuri osa lääkeainejäämistä poistuu jätevedestä puhdistusprosessin aikana. Lääkeaineista erittäin hyvin poistuvia yhdisteitä ovat mm. parasetamoli, ibuprofeeni, progesteroni ja kofeiini. Nämä yhdisteet poistuvat vedestä jopa yli 95 %:sti. Karbamatsepiini, diklofenaakki, propranololi ja hydroklooritiatsidi poistuvat taas vain alle 20 %:sti. Näiden yhdisteiden määrä voi jopa pahimmassa tapauksessa lisääntyä prosessin aikana, jos metaboliitit hajoavat takaisin alkuperäiseen muotoonsa. (Mänttari ja Kallioinen 2020, 13–16.)

Yksi keino jätevedenpuhdistukseen lääkeaineista on tertiäärinen puhdistustekniikka. Jätevedenpuhdistamon perään sijoitettavat puhdistusvaiheet jaotellaan haitta-aineita pilkkovaan menetelmään (hapetus), haitta-aineita sitovaan menetelmään (adsorptio) ja näitä vedestä poistavaan sekä väkevöivään menetelmään (membraanisuodatus). Membraanisuodatuksen jälkeen jätevettä voidaan käsitellä vielä otsonilla, aktiivihieillä ja uv-valolla. Tämä takaa 99,9 % lääkeaineiden poiston. (Mänttari ja Kallioinen 2020, 13–16.)

#### 4 AKTIIVILIETEPROSESSI JA LÄÄKEAINEIDEN POISTUMINEN JÄTEVEDESTÄ SEN AVULLA

Aktiivilieteprosessi on Suomessa eniten käytetty jätevesien puhdistustekniikka. Se on siis sekoitus mekaanista, biologista ja kemiallista puhdistusta. Prosessi poistaa biologisesti jätevedestä siinä olevien mikrobien avulla orgaanisen aineksen sekä typen. Kemiallisesti taas poistetaan fosforia saostamalla. Mekaanisessa puhdistusvaiheessa aivan prosessin alussa jätevedestä poistetaan roskia, hiekkaa, rasvaa, kiinteitä aineita ja kiintoainesta. Tämä tapahtuu välppämällä ja laskeuttamalla.

Jätevedenpuhdistamoilla yleisin biologinen prosessi on siis aktiivilieteprosessi. Prosessin tavoitteena on siis poistaa jätevedestä orgaanista ainetta sekä ravinteita. Tässä käytetään hyödyksi jäteveden omia mikrobeja, jotka käyttävät näitä kyseisiä aineita ravintonaan. Prosessin periaatteena toimii se, että mikrobit muodostavat kasvavan biomassan ja se laskeutuu selkeytysaltaan pohjalle, josta se poistetaan lietteenä. Alkupäässä aktiivilietealtaassa jätevettä ja biomassaa sekoitetaan jatkuvasti. Tämän jälkeen puhdistettu jätevesi sekä syntynyt mikrobimassa eli laskeutunut liete erotellaan toisistaan selkeytysaltaassa. Seuraavassa vaiheessa osa lietteestä poistetaan ja jonkin verran palautetaan takaisin aktiivilieteprosessin alkupäähän jatkamaan orgaanisen aineksen ja ravinteiden syöntiä. Aerobinen prosessi on yleisin käytetty tapa, jossa lietettä ilmastetaan. Tällä tavalla orgaaninen aines (BOD) poistuu hyvin tehokkaasti. Osa orgaanisesta aineesta poistuu hiilidioksidina ilmaan ja jonkin verran taas sitoutuu biomassaan. Toisaalta taas typpi ja fosfori eivät poistu tällä tekniikalla kovin hyvin. Kuvassa 2 on nähtävillä yksinkertaisimmillaan aktiivilieteprosessi, jossa käytetään ilmastusta. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)

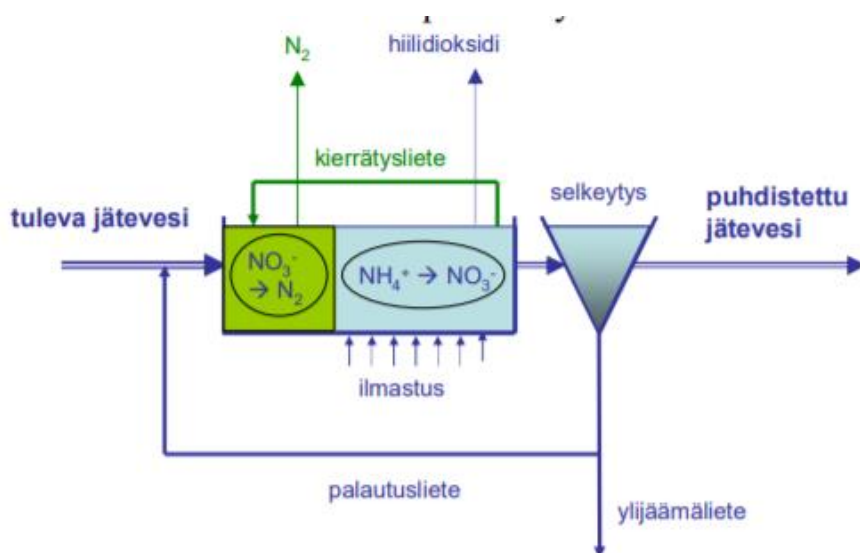


KUVA 2. Aktiivilieteprosessi kuvattuna yksinkertaisesti. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)

Biologisessa puhdistuksessa on myös toinen keino orgaanisen aineksen poistoon. Tällöin biomassa ei ole vapaana lietteenä jätevedessä, vaan se on kiinnittyneenä suodatinmateriaalin pinnalle. Prosessia kutsutaan silloin biosuodattimeksi tai kantoaineprosessiksi.

Biologisessa puhdistusvaiheessa tapahtuu myös typenpoisto. Aktiivilieteprosessissa, joka on ilmastettu, sinne tulevan jäteveden typpi hapettuu mikrobien avustuksella. Tällöin typpi on vähemmän haitallisessa muodossa eli se muuntuu happea kuluttavasta ammoniumtyyppistä nitraattityypeksi. Kyseessä on nitrifikaatio. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)

Jos typpi halutaan poistaa jätevedestä ja muuntaa typpikaasuksi, ei se onnistu pelkästään aerobisella eli ilmastuksella varustetulla prosessilla. Tässä vaiheessa tarvitaan kaksivaiheinen prosessi, jota kutsutaan denitrifikaatioksi. Tällainen prosessi saadaan, kun ilmastetun prosessin alkuun lisätään ilmastamaton osa sekä lietteen kierrätysjärjestelmä (kuva 3). Nitrifikaatio tapahtuu siis ilmastetussa osassa ja siitä syntynyt nitraatti kierrätetään ilmastamattomaan osaan aktiivilietteen mukana. Ilmastamattomassa osassa ei siis ole happea, mutta kun siellä on nitraattia, mikrobit kuluttavat jäteveden orgaanisia hiiliä ja käyttävät hapen sijasta nitraattia. Tällöin syntyy typpikaasua ( $N_2$ ). Usein pelkästään jäteveden sisältämä hiili ei riitä vaadittuun tasoon typen poistossa, joten silloin ilmastamattomaan osaan lisätään jotain hiilenlähdetä, joka on nopeasti saatavilla, esimerkiksi metanoli on tällainen. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)



KUVA 3. Aktiivilieteprosessi, joka poistaa typpeä. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)

Fosforin poisto jätevedestä tapahtuu saostamalla, jossa yleisin saostuskemikaali on ferrosulfaatti ( $FeSO_4$ ). Ferrosulfaattia lisätään siis prosessin alussa jäteveeseen ja se hapettuu joko jo esi-ilmastuksessa tai sitten ilmastusaltaassa. Kun hapettunut ferrosulfaatti on muuttunut kolmenarvoiseksi ferriraudaksi ja reagoi jäteveden fosforin kanssa, muodostaa se laskeutuvan lietteen. Fosfori myös saostuu usein samassa altaassa biologisen prosessin myötä ja tästä tulee prosessin toinen nimitys, rinnakkaissaostus. (Viemärointi ja jäteveden käsittely 2020, 4–9.)

Fosforin poisto voidaan tehdä myös toisella tavalla. Tämän tekniikan aikana jäteveeseen ei lisätä saostuskemikaalia ollenkaan. Aktiivilieteeltaan ensimmäisestä lohkoista tehdään hapeton ja silloin ainoastaan sellaiset mikrobit, jotka eivät tarvitse happea, pystyvät käyttämään fosforia ravinnokseen. Ne varastoivat fosforia siis itseensä ja poistuvat ylijäämälietteen mukana prosessista.



#### 4.1 Lääkeaineiden poistuminen jätevedestä aktiivilieteprosessin avulla

Aktiivilieteprosessi poistaa tehokkaasti osan erilaisista lääkeaineista. Parasetamoli, ibuprofeeni ja kofeiini ovat lähes täydellisesti kyseisessä prosessissa hajoavia yhdisteitä. Ne ovatkin useimmiten esiintyvät lääkeaineet ja useasti niiden osuus kaikista lääkeaineista on yli 90 %. Beetasalpaajat ja useimmat antibiootit ovat huonommin hajoavia yhdisteitä aktiivilieteprosessissa. On myös sellaisia yhdisteitä, joiden pitoisuudet saattavat kasvaa prosessin aikana. Esimerkiksi karbamatsepiini, diklofenaaki, ja hydroklooritiatsidi ovat sellaisia yhdisteitä, joista on tehtyä tällaisia havaintoja. Syy siihen, että näin tapahtuu, on todettu olevan siinä, että kyseisten yhdisteiden aineenvaihduntatuotteet muuntuvat takaisin alkuperäisiksi molekyyileiksi biologisessa jätevedenpuhdistuksessa entsyymien vaikutuksesta. (Mänttari ja Kallioinen 2020, 13–16.)

## 5 LÄÄKEAINEIDEN JA HORMONIEN POISTON TEHOSTAMISMAHDOLLISUUDET JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA

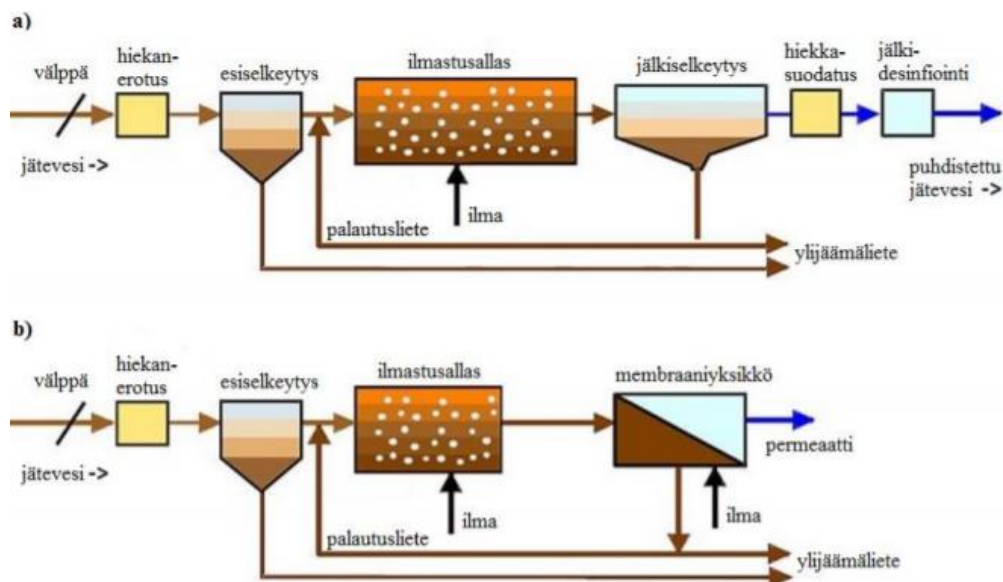
Lääkeaineita ja hormoneja pystytään poistamaan jätevedestä esimerkiksi aktiivilieteprosessilla, mutta useimmiten se ei ole kovinkaan tehokas hajottamaan kaikkia yhdisteitä. Osa lääkeaineyhdisteistä hajoaa kyllä suhteellisen hyvin, mutta jotkin yhdisteet eivät hajoa kovinkaan hyvin sekä osa yhdisteistä saattaa jopa kasvattaa pitoisuuttaan jätevedenpuhdistusprosessin aikana. Erilaisia tehostamiskeinoja on kehitelty ja kokeiltu. On olemassa menetelmiä, joilla pystytään tehostamaan lääkeaineiden poistoa jätevedestä. Tällaisia vaihtoehtoja ovat esimerkiksi lääkeaineiden hajottaminen hapettamalla, adsorboiminen aktiivihiileen sekä suodattaminen erilaisin kalvotekniikoin. Menetelmiä on mahdollisuus yhdistellä sen mukaan, mitä lääkeaineita tai hormonitoimintaa häiritseviä yhdisteitä on tarkoitus poistaa. Erityisesti kalvosuodatuksen ja hapetuksen yhdistäminen on todettu tehokkaaksi poistettaessa lääkeaineita. Lääkeaineiden poisto tehostaminen aiheuttaisi tietysti lisäkustannuksia vedenkäsittelyssä ja se tarkoittaisi käyttäjien vesimaksujen nousua. Seuraavassa käydään läpi muutamia tehostamiskeinoja lääkeaineiden ja hormonitoimintaa häiritsevien yhdisteiden poistoon jätevedenpuhdistuksessa.

### 5.1 Täsmäpuhdistus

Täsmäpuhdistuksella tarkoitetaan esimerkiksi lääkejäämien päästölähteellä tehtävää puhdistusta. Eli tässä tapauksessa jo ennen kunnalliseen jätevedenpuhdistukseen ajamista jätevettä puhdistetaan jollain keinolla siellä, mistä lääkejäte syntyy ja päättyy jäteveeseen. Esimerkiksi sairaalan yhteyteen voitaisiin kokeilla membraanisuoatusta, jolla tehtäisiin ns. esipuhdistus jätevedelle, ennen kuin se ohjataan jätevedenpuhdistamolle käsittelyyn. Täsmäpuhdistuksella voidaan tarkoittaa myös kemiallisesti tehtävää täsmäpuhdistusta johonkin kohteeseen, eli jonkin kemikaalin avulla jätevedestä voidaan poistaa lääkeainejäämiä.

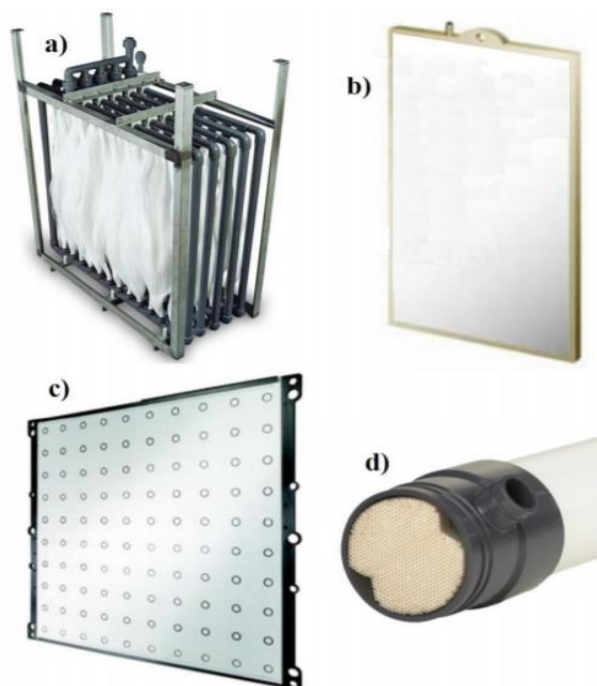
### 5.2 MBR-tekniikka

Membraanitekniikka on yksi keino, jolla voidaan tehostaa jätevedenpuhdistusprosessia ja sen myötä lääkeaineiden poistotehoa. Kyseisessä tekniikassa yhdistyvät aktiivilieteprosessi ja kalvosuodatus. Pieniä huokosia sisältävä kalvo eli membraani poistaa mm. bakteereja, lääkejäämiä sekä ravinteita. MBR-tekniikalla korvataan jätevedenpuhdistusprosessin jälkiselkeytys ja hiekkasuodatus. Membraanireaktorissa jätevesi viedään ilmastusaltaassa puoliläpäisevän kalvon läpi ja sitä ajetaan usein paine-eron avulla eli joko yli- tai alipaineella. Pienimmät partikkelit, jotka läpäisevät kalvon, muodostavat veden kanssa seoksen nimeltä permeaatti. Taas ne isommat yhdisteet, jotka eivät läpäise kalvon huokosia, ovat nimeltään retentaatti. Kuvassa 4 on esitetty aktiivilieteprosessin sekä MBR-tekniikalla toteutetun jätevedenpuhdistuksen toiminnot ja niiden osat. Kuvasta voidaan huomata, että MBR-tekniikassa ei tarvita niin suurta ilmastusallasta, kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa. Tämä johtuu siitä, että MBR-tekniikalla biologinen puhdistus on tehokkaampaa. (Pirhonen 2016, 8–13.)



KUVA 4. Perinteinen aktiivilieteprosessi (a) sekä MBR-tekniikalla toteutettu jätevedenpuhdistusprosessi (b). (Pirhonen 2016, 9.)

MBR-puhdistus pystytään toteuttamaan kahdella eri tavalla. Voidaan joko sijoittaa MBR-moduuli upotettuna ilmastusaltaaseen tai moduuli voidaan asentaa ilmastusaltaan perään sen ulkopuolelle. Upotettuna moduuli on energiaystävällisempi, sillä ulkoinen yksikkö kuluttaa enemmän energiaa, koska sen ja bioreaktorin välinen putkisto aiheuttaisi painehäviötä ja täten tulisi lisäkustannuksia. Ainoa ulkoisen yksikön etu olisi se, että MBR-yksikön puhdistus ei häiritse altaan puhdistusprosessia. Nanosuodatus- tai käänteisosmoosikalvo voidaan lisätä jälkikäsitteilyksi MBR-tekniikalle tehostamaan prosessia vielä entisestään. Kuvassa 5 erilaisia membraanityyppejä. (Pirhonen 2016, 8–13.)



KUVA 5. a) onttokuitumembraani, b) tasomembraani, c) hollow sheet membraani sekä d) putkimembraani. (Pirhonen 2016, 11.)

Membraaniteknologian tehokkuudesta lääkeaineiden poistoon jätevedestä on paljon erilaista aineis- toa ja esimerkiksi Koch Buro-tasomembraani on poistanut ibuprofeenin, estriolin ja bisfenoli-A:n 100 %:n tehokkuudella jätevedestä. Karbamatsepiini on sellainen yhdiste, jota se ei ole pystynyt kovin- kaan hyvin poistamaan ja joillain membraanityypeillä kyseinen yhdiste on saattanut jopa lisätä pitoi- suuttaan jätevedessä puhdistuksen aikana. (Pirhonen 2016, 8–13.)

### 5.3 Plasmahapetus

Plasmahapetustekniikka toimii siten, että puhdistettava vesi ohjataan kylmäplasmakentän läpi ja kun vesi ja ilma reagoivat tämän plasman kanssa, alkaa syntyä vahvoja hapettimia. Tämän jälkeen ha- pettimet tuhoavat veden epäpuhtauksia. Plasma ja vesi ottavat prosessissa kontaktia toisiinsa erit- täin laajalta alueelta, joten puhdistus on todella energiatehokasta.

Plasmahapetus soveltuu hyvin lääkeainejäämien poistoon biologisesti käsitellystä jätevedestä, eli se olisi soveltuva tehostamiskeino esimerkiksi aktiivilieteprosessin perään jätevedenpuhdistamoille. Tek- niikka on täysin kemikaaliton, eli riskialttiita desinfiointiaineita ei tarvitse käyttää ollenkaan. Tekni- kan on kehittänyt lappeenrantalainen Flowrox Oy. Tutkimusten mukaan heidän kehittäämänsä Flow- rox Plasma Oxidizer-plasmahapetusjärjestelmä (kuva 6) tuhoaa 90–99 %:a lääkejäämistä puhdista- mattomasta sairaalan jätevedestä. Eli järjestelmä voidaan sijoittaa myös lääkejäämien syntypaikalle esimerkiksi sairaalan yhteyteen. Tutkimus on suoritettu Lappeenrannassa. (Flowrox Oy 2020.)

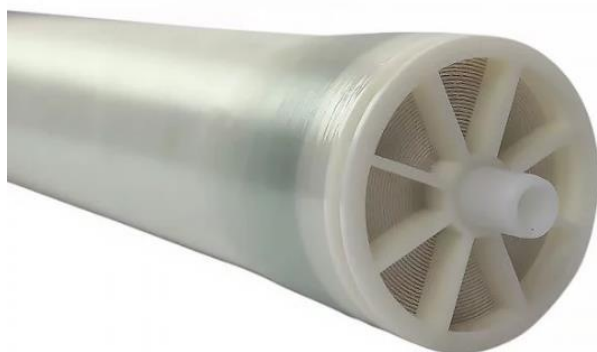


KUVA 6. Flowrox Plasma Oxidizer-plasmahapetuslaite. (Flowrox Oy 2020.)

## 5.4 Tertiäärikäsittelymenetelmät

### 5.4.1 Nanosuodatus

Nanosuodatus on 1 – 10nm huokoskoolla varustettu kalvosuodatusmenetelmä. Menetelmä erottaa partikkelit tai molekyylit koon perusteella tai se voi myös erotella elektrostaattisen varauksen perusteella. Molekyylit, jotka ovat negatiivisesti varautuneet, erottuvat nanokalvolta usein hyvin ja varauksettomat molekyylit taas menevät helposti kalvon läpi. Suodatettavan liuoksen pH-arvo vaikuttaa yleensä nanosuodatuksen haitta-aineiden erottelukykyyn. Myös suodatuskalvon materiaali vaikuttaa sen erottelukykyyn huomattavasti. Kun kalvoon pintaan kertyy kiintoainekerros, sen erotuskyky nousee. Menetelmällä voidaan saavuttaa 30–90 % suodatusteho riippuen suodatettavan veden haitta-aineiden ominaisuuksista. Menetelmä vaatii kuitenkin vielä jälkikäteen käsittelyn haitta-aineille, jotka kerääntyvät kalvoon retentaattiin. Tähän voisi käyttää esimerkiksi aktiivihiiლისuodatusta. Kuvassa 7 on nähtävissä nanosuodatuskalvon yksi mallivaihtoehto. (Vesilaitosyhdistys 2016, 19.)



KUVA 7. Oy Brynolf Grönmark Ab:n NF-kalvo, eli nanosuodatuskalvo. (Oy Brynolf Grönmark Ab 2021.)

### 5.4.2 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoositekniikka perustuu eräänlaisiin käänteisosmoosikalvoihin, jotka ovat ns. tiukkoja kalvoja. Ne pidättävät sekä kiintoaineet että myös liukoisia aineita, kuten ioneita ja makromolekyylejä. Kalvojen materiaalina käytetään vettä helposti läpi päästävää materiaalia. Kalvot eivät taas päästä veteen liuenneita aineita niin hyvin lävitseen. Tekniikka on erityisen hyvä suolanpoistoon. Wulpen laitoksella Belgiassa käänteisosmoosin teho haitta-aineiden poistoon on todettu hyväksi. (Vesilaitosyhdistys 2016, 24.)

## 6 OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSVAIHE

Selvityksen tarkoituksena oli kartoittaa mahdollisimman monta eri lääkeainetta ja hormonia Varkauden alueen tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä. Näytteidenotot suoritettiin Varkauden Akonniemen jätevedenpuhdistamolta sekä tulevasta että puhdistetusta jätevedestä ja lisäksi yhdestä kohtaa läheltä Varkauden sairaalaa otettiin yksi näyte. Näytteidenotot päätettiin suorittaa ennen kevättä, jolloin vuotovesien määrä kasvaa huomattavasti ja voisi sekoittaa näytteenottoa. Ensimmäinen näytteenotto suoritettiin 19.1.2021 yhden vuorokauden kokoomana ja ne lähetettiin mahdollisimman nopeasti Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:n haltuun ja laboratoriotutkimukset suoritettiin Lahdessa. Tutkimuksessa suoritettiin laaja lääkeainetutkimus, jossa havaittiin useita eri lääkeaineita ja hormoneja. Iso osa mahdollisista lääkeaineista ja hormoneista jäi määrittämissä rajan alapuolelle, joten niistä ei ole havaintoa.

Toinen näytteenotto suoritettiin 16.2.2021 ja se päätettiin tehdä mahdollisimman pian ennen kuin alkaa kevään lumien sulaminen ja sitä myöten vuotovesien määrän kasvaminen. Näytteet kerättiin tällä kertaa ainoastaan jätevedenpuhdistamolta tulevasta jätevedestä. Tämän näytteenoton avulla pystytään vertailemaan ensimmäisen näytteenoton tuloksia näihin uusiin tuloksiin. Täten voidaan esimerkiksi pohtia sitä, että kuinka luotettavia näytteenotto ja laboratorion saadut tulokset ovat. Tämän lisäksi voidaan miettiä, että jos tuloksissa on suuriakin eroavaisuuksia verrattuna ensimmäiseen näytteenottokertaan, niin mitä syitä tähän voisi olla.

### 6.1 Näytteenottoaikat

Näytteenottoaikat olivat Varkauden Akonniemen kaupunginosassa sijaitseva jätevedenpuhdistamo (kuva 8) sekä yksi jätevedenpumppaamo Varkauden sairaalan lähellä Kommilan kaupunginosassa.



KUVA 8. Näytteenottoaika Varkauden jätevedenpuhdistamolla. (Karttapaikka 2021).

## 6.2 Tutkimuksessa käytetyt laitteet ja varusteet

Näytteenotto suoritettiin Keski-Savon Vesi Oy:n työntekijöiden toimesta. Näytteet kerättiin kuvissa 9 ja 10 näkyvillä näytteenottimilla ja ne laitettiin 0,5 litran muovipulloihin Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:n yhteyshenkilön antamien ohjeiden mukaisesti. Sairaalan näytettä varten heiltä saatiin lainaan siirrettävä näytteenotin (kuva 10.), joka voitiin sijoittaa sairaalan lähellä olevalle jätevedenpumppaamolle. Jätevedenpuhdistamon näytteet kerättiin siis ensin sinne tulevasta jätevedestä ja sen jälkeen puhdistusprosessin läpi käyneestä puhdistetusta jätevedestä.



KUVA 9. ISCO GLS Sampler – siirrettävä näytteenotin. (Särkkä 2021, CC BY-SA).

Kuvassa 10 on nähtävillä näytteenotin, jolla suoritettiin jätevesinäytteenotto jätevedenpuhdistamolla. Kyseinen tuote on Hyxo Oy:n MJK 780 – näytteenotin, joka on tarkoitettu ensisijaisesti jätevedenpuhdistamoille käytettäväksi, mutta sitä voi myös tarvittaessa käyttää kenttäolosuhteissa.



KUVA 10. MJK 780 – Näytteenotin. (Särkkä 2021, CC BY-SA).

### 6.3 Näytteenottojen analysointi

Laboratorioanalyytit tehtiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa Lahden toimipisteessään. Lääkeaineiden analysoinnissa käytettiin EPA 1694-standardia ja hormonien kohdalla standardi oli EPA 539. Menetelmien epävarmuus vaihtelee 25 % – 55 % välillä.



## 7 TULOKSET

Havaitut lääkeaineet 1. ja 2. näytteenotokerralta Akonniemen puhdistamolta sekä Kommilan pumpaamolta on esitetty taulukossa 8 ja havaitut hormonit Akonniemestä sekä Kommilasta on näkyvillä taulukossa 7. Jätevedenpuhdistamolta 1. näytteenotokerralla havaittiin 38 eri lääkeainepitoisuutta ja 3 eri hormonia. Puhdistamolle siis ohjataan loppujen lopuksi kaikki Varkauden alueen jätevedet. Näistä tuloksista on enemmän pohdintaa myöhemmässä osiossa, jossa käydään läpi kaikki tulokset. Toisella näytteenotokerralla jätevedenpuhdistamolta havaittiin 42 eri lääkeainetta. Kommilan jätevedenpumpusta tehtiin 41 erilaista lääkeainehavaintoa ja hormoneista 2 havaintoa. Jätevedenpumpusta sijaitsee siis lähellä Varkauden sairaalaa ja se tulee ottaa huomioon pohtiessa tuloksia kyseisestä näytteenottoaika-alueesta. Pumpusta havaittiin paljon eri lääkeaineyhdisteitä, mutta yhdisteiden pitoisuudet eivät ole kaikissa lääkeaineissa yhtä suuria, kuin Akonniemen jätevedenpuhdistamolla. Tässä taas täytyy huomioda se, että Kommilan pumpusta tulee vain osa Varkauden alueen jätevesistä ja Akonniemeen taas ajautuu loppujen lopuksi kaikki jätevedet, mitä Varkaudesta syntyy.

Taulukko 7. Laboratorioanalyysissä tehdyt hormonihavainnot Akonniemen puhdistamolta 1. ja 2. näytteenotokertoilta sekä Kommilan jätevedenpumpusta tulevan jäteveden pitoisuudet.

Näytteen nimi	1. Akonniemi tuleva (µg/l)	2. Akonniemi tuleva (µg/l)	Kommila (µg/l)
Estrioli	0,28	0,6	0,29
Estroni	0,051	<0,050	<0,050
Testosteroni	0,043	0,011	0,03

Taulukko 8. Laboratorioanalyysissä tehdyt lääkeainehavainnot Akonniemen puhdistamolta 1. ja 2. näytteenotto kerroilta sekä Kommilan jätevedenpumppaamolta tulevan jäteveden pitoisuudet.

Näytteen nimi	1. Akonniemi tuleva (µg/l)	2. Akonniemi tuleva (µg/l)	Kommila (µg/l)
Ibuprofeeni	13	22	9,9
Parasetamoli	110	210	110
Kofeiini	110	240	98
Valsartaani	9,9	11	5,9
Furosemidi	5,5	6,3	2,6
Hydroklooritiatsidi	3,8	2,7	2,5
Losartaani	2,6	2,8	2,4
Naprokseeni	3,6	5,4	4,8
Metoprololi	0,96	1,8	0,77
Tramadoli	0,78	0,97	0,73
Ketiapiini	0,3	0,47	0,19
Klotsapiini	0,61	0,57	0,29
Lamotrigiini	0,93	1,9	1,1
Mirtatsapiini	0,34	0,57	0,14
Piperasilliini	0,37	0,2	4,5
Propanololi	0,2	0,18	0,16
Setiritsiini	0,68	0,66	0,75
Siprofloksasiini	0,91	1,3	<0,50
Sitalopraami	0,36	0,24	0,25
Tetrasykliini	0,48	1,1	0,69
Trimetoprim	0,42	0,48	0,43
Venlafaksiini	0,66	0,93	0,39
4-Asetamidoantipyriini	0,37	0,22	0,18
5-Metyyli-1H-Bentsotriatsoli	0,82	2,3	0,78
Asetanilidi	0,71	1,4	0,21
Atenololi	0,6	0,88	0,34
Atorvastatiini	0,59	0,87	0,47
Atsitromysiini	0,31	<0,10	<0,10
Bentsotriatsoli	1,9	5,4	1,2
Bisoprololi	0,28	0,41	0,35
Betsafibraatti	0,18	0,2	0,19
Amitriptyliini	<0,10	0,29	<0,10
Diklofenaakki	<0,5	2,7	<0,5
Enalapriili	0,23	0,24	0,14
Feksofenadiini	1	1,4	0,99
Fenbendatsoli	<0,05	0,082	<0,05
Hydrokortisoni	0,15	0,28	0,21
Karbamatsepiini	0,68	0,76	0,55
Ketokonatsoli	<0,10	0,27	<0,10
Ketoprofeeni	0,11	0,21	0,11
Lidokaiini	<0,10	0,1	0,23
Flukonatsoli	0,089	0,082	0,087
Sulfadiatsiini	<0,10	<0,10	0,16
Karvediloli	<0,05	<0,05	0,063
Roksitromysiini	<0,05	<0,05	0,13
Ofloksasiini	<0,50	<0,50	0,83
Sertraliini ja norsertraliini	0,31	0,31	0,14

## 7.1 Lääkeaineiden poistuminen puhdistusprosessissa Akonniemessä

Akonniemen jätevedenpuhdistamolta tehtyjen laboratoriotutkimusten mukaan siellä käytössä oleva puhdistusprosessi poistaa jätevedestä hyvin ainoastaan särkylääkkeitä ja antibiootteja. Tämä hyvin poistuvien lääkeaineiden ryhmä on melko pieni siihen verrattuna, että todella iso määrä lääkkeitä poistuu joko huonosti tai jopa lisää pitoisuuttaan puhdistusprosessin aikana. Hyvin poistuvia lääkeaineyhdisteitä on tässä tutkimuksessa havaittu ainoastaan 7 kappaletta. Taulukosta 9 nähtävissä hyvin poistuvat lääkeaineet.

Taulukko 9. Jätevedestä hyvin poistuneet lääkeaineet Akonniemen puhdistamolla 1. näytteenotossa.

Hyvin poistuvat lääkeaineet		
Näytteen nimi	Tuleva jätevesi (µg/l)	Puhdistettu jätevesi (µg/l)
Ibuprofeeni	13	<0,1
Parasetamoli	110	<0,1
Kofeiini	110	0,12
Naprokseeni	3,6	0,64
Siprofloksasiini	0,91	<0,1
Tetrasykliini	0,48	<0,02
Asetanilidi	0,71	<0,05

Huonosti poistuvien lääkeaineyhdisteiden määrä Akonniemen jätevedenpuhdistamolla oli tämän tutkimuksen yhteydessä 13 eri yhdistettä (Taulukko 10). Yhdisteiden joukossa on verenpainelääkkeitä, diureetteja, beetasalpaajia, mielialalääkkeitä sekä myös antibiootteja. Vaikkakin osa antibiooteista poistuu hyvin, niin on myös sellaisia, jotka eivät poistu kovinkaan paljoa.

Taulukko 10. Jätevedestä huonosti poistuneet lääkeaineet Akonniemen puhdistamolla 1. näytteenotossa.

Huonosti poistuvat lääkeaineet		
Näytteen nimi	Tuleva jätevesi (µg/l)	Puhdistettu jätevesi (µg/l)
Valsartaani	9,9	9,8
Furosemidi	5,5	4
Hydroklooritiatsidi	3,8	1,2
Ketiapiini	0,3	0,22
Klotsapiini	0,61	0,45
Mirtatsapiini	0,34	0,25
Sitalopraami	0,36	0,27
Venlafaksiini	0,66	0,58
4-Asetamidoantipyriini	0,37	0,29
Atenololi	0,6	0,58
Atsitromysiini	0,31	0,15
Bentsotriatsoli	1,9	1,5
Betsafibraatti	0,18	0,15

Pitoisuuttaan puhdistusprosessin aikana lisänneitä yhdisteitä havaittiin useampi kappale (Taulukko 11). Yhdisteiden joukossa on verenpainelääkkeitä, beetasalpaajia, vahvempia kipulääkkeitä, mielialalääkkeitä, antibiootteja ja antihistamiineja. Myös pitoisuuttaan lisäävien joukossa on antibiootteja ja

yhtä vahvempaa särkylääkettä, vaikka iso osa näiden ryhmien lääkeaineyhdisteistä poistuu hyvin jätevedenpuhdistusprosessin aikana.

Taulukko 11. Pitoisuuttaan lisänneet lääkeaineet Akonniemen puhdistamolla 1. näytteenotossa.

Pitoisuuttaan lisänneet lääkeaineet		
Näytteen nimi	Tuleva jätevesi (µg/l)	Puhdistettu jätevesi (µg/l)
Losartaani	2,6	2,8
Metoprololi	0,96	1,2
Tramadoli	0,78	0,8
Lamotrigiini	0,93	1,6
Piperasilliini	0,37	0,74
Setiritsiini	0,68	0,72
Trimetoprim	0,42	0,45
5-Metyyli-1H-Bentsotriatsoli	0,82	1,1
Bisoprololi	0,28	0,33

Hormoneja jätevedenpuhdistamolta havaittiin tutkimuksen aikana vain 3 kappaletta. Jokainen hormoni poistuu puhdistusprosessin aikana kohtuullisen hyvin jätevedestä. Taulukosta 12 on nähtävissä tutkimuksessa hyvin poistuneet hormonit.

Taulukko 12. Hyvin poistuneet hormonit Akonniemen puhdistamolla 1. näytteenotossa.

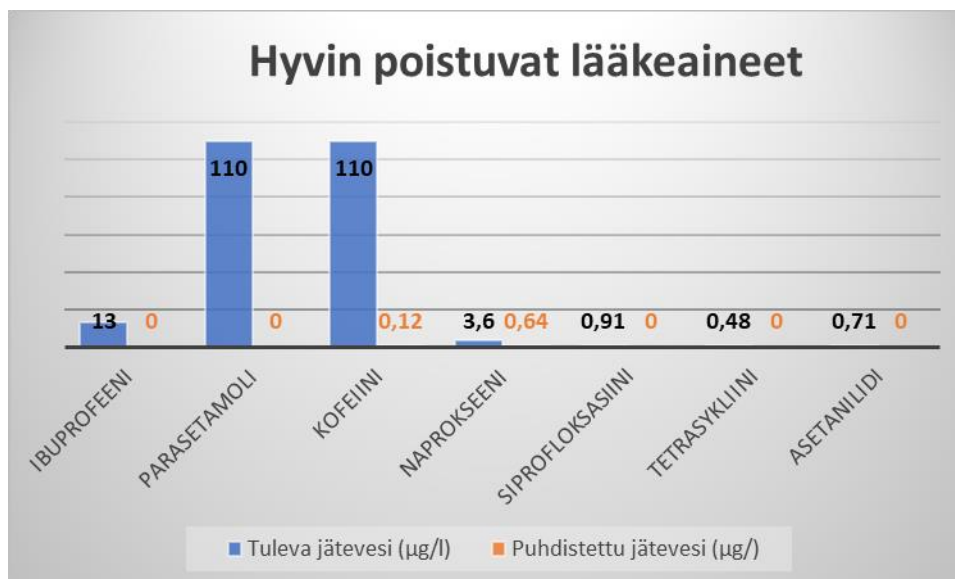
Hyvin poistuvat hormonit		
Näytteen nimi	Tuleva jätevesi (µg/l)	Puhdistettu jätevesi (µg/l)
Estrioli	0,28	<0,010
Estroni	0,051	<0,010
Testosteroni	0,043	<0,002

## 7.2 Akonniemen jätevedenpuhdistamon ja Kommilan pumppaamon 1. näytteenoton tulokset ja vertailu

Akonniemen jätevedenpuhdistamolta näytteenotossa tulevasta jätevedestä havaittiin 36 eri lääkeaineyhdistettä sekä 3 erilaista hormonia. Kommilan pumppaamolta lääkeaineyhdisteitä havaittiin vielä enemmän, jopa 41 kappaletta sekä kahta erilaista hormonia. Pitoisuuksia vertaillessa täytyy siis ottaa huomioon muutamia eri seikkoja. Esimerkiksi Kommilan pumppaamo sijaitsee aivan Varkauden sairaalan läheisyydessä, eli sairaalan jätevedet menevät sen kautta. Pääpiirteissään Kommilan pumppaamon jäteveden lääkeainepitoisuudet ovat samanlaiset, kuin koko Varkauden alueen jäteveden lääkeainepitoisuudet muutamaa poikkeusta lukuunottamatta (esim. piperasilliini taulukossa 8, jota on todennäköisesti vähän muualla, mutta sairaalalla paljon). Huomioitavaa on se, että suurimmat pitoisuudet kaikista yhdisteistä on parasetamolilla ja ibuprofeenilla, jotka ovat särkylääkkeitä ja myös erittäin suosittuja ja tuttuja varmasti kaikille Suomessa. Myös kofeiinilla, joka on piriste, on suuri pitoisuus (110 µg). Lisää analysointia yhdisteistä liitteissä 1–7.

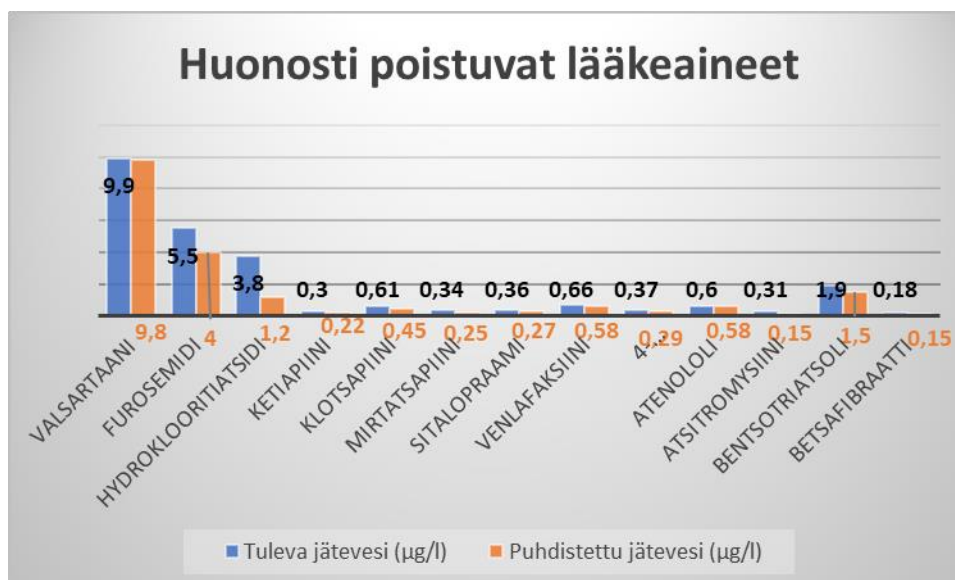
Akonniemen jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessin aikana hyvin poistuvien lääkeaineyhdisteiden joukossa on lähinnä pelkästään kipulääkkeitä (kuva 11). Yksi antibiootti (Siprofloksasiini) poistui lähes kokonaan prosessin aikana. Havainnoista täytyy huomioida se, että kaikkein suurimmat pitoisuudet omaavat yhdisteet, kuten parasetamoli, kofeiini ja ibuprofeeni poistuvat erittäin hyvin puhdistus-

prosessissa. Siprofloksasiinin ja tetrasykliinin on todettu Niina Vienon vuonna 2015 tehdyssä julkaisussa sitoutuvan lietteeseen hyvin suurilta osin. Julkaisu kantaa nimeä: Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä.



KUVA 11. Puhdistusprosessin aikana hyvin poistuneet yhdisteet Akonniemessä.

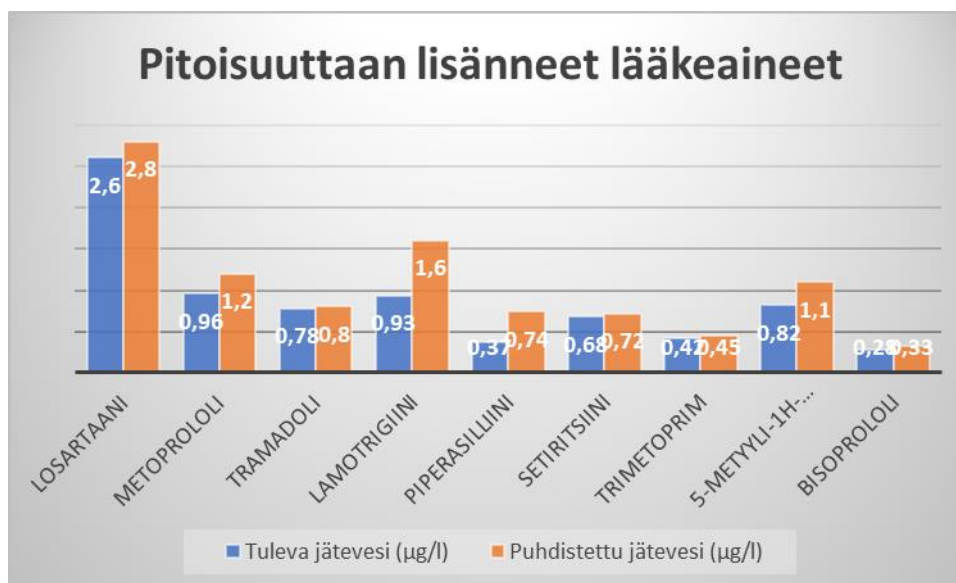
Huonosti poistuvia yhdisteitä jätevedenpuhdistusprosessin aikana oli huomattavasti enemmän, kuin hyvin poistuvia (kuva 12). Selkeästi huonoiten poistuvat Valsartaani, Furosemidi ja Bentsotriatsoli. Nämä kyseiset yhdisteet poistuivat kaikki selvästi alle 30 %:n teholla. Huonosti poistuvien yhdisteiden joukkoon mainitaan vielä Karbamatsepiini, jonka pitoisuus laski puhdistusprosessin aikana:  $0,68\mu\text{g/l} \rightarrow 0,61\mu\text{g/l}$ .



KUVA 12. Puhdistusprosessin aikana huonosti poistuneet yhdisteet Akonniemessä.

Pitoisuuttaan lisänneitä yhdisteitä puhdistusprosessin aikana havaittiin useampi kappale (kuva 13). Joukossa on useasta eri lääkeaineryhmästä (antibiootit, verenpainelääkkeet, antihistamiinit ja mielialalääkkeet) olevia yhdisteitä. Kuvassa 13 näkyvien yhdisteiden joukkoon on lisättävä diklofenaakki, joka oli sellainen yhdiste, että tulevasta jätevedestä sitä ei havaittu ollenkaan määritysrajan ollessa

0,50 µg/l, kun taas puhdistusprosessin jälkeen sen pitoisuus oli tulosten mukaan 1,9 µg/l. Tässä kohtaa täytyy muistaa, että mittausten epävarmuus vaihtelee ja aina ei voida täysin luottaa tuloksiin. Pitoisuuttaan lisänneisiin yhdisteisiin täytyy vielä lisätä Feksofenadiini, jonka pitoisuus ennen puhdistusprosessia oli 1,0 µg/l ja prosessin jälkeen pitoisuus kasvoi tulokseen 1,2 µg/l.



KUVA 13. Puhdistusprosessin aikana pitoisuuttaan lisänneet yhdisteet Akonniemessä.

Kommilan pumppaamolta otetuista näytteistä tehtiin paljon havaintoja yhdisteistä, joilla oli kuitenkin vain pieni pitoisuus sinne tulevassa jätevedessä. Sairaalan läheisyydessä sijaitsevan pumppaamon näytteessä oli usean eri lääkeaineryhmän yhdisteitä pieninä määrinä. Kommilassa näytteestä havaittiin myös hieman enemmän yhdisteitä, kuin jätevedenpuhdistamolla Akonniemessä. Esimerkiksi Sulfaadiatsiinia sekä Lidokaiinia ei havaittu jätevedenpuhdistamon näytteestä ollenkaan. Kommilan pumppaamon näytteitä tutkiessa voidaan todeta, että pitoisuudet ovat hyvin pitkälti samansuuruisia, kuin Akonniemessä jätevedenpuhdistamollakin.

### 7.3 Havaintoja ja laskelmia

Liitteissä 1–7 on käyty läpi jokainen havaittu lääkeaineyhdiste ja hormoni. Seuraavassa osiossa on käyty läpi kahta yleistä lääkeaineyhdistettä ja niiden pitoisuuksia tarkemmin. Liitteissä 1–7 on seuraavanlainen jako:

LIITE 1: Kipulääkkeet

LIITE 2: Antihistamiinit

LIITE 3: Antibiootit

LIITE 4: Verenpainelääkkeet

LIITE 5: Mielialalääkkeet

LIITE 6: Muut lääkkeet

LIITE 7: Hormonit

## Ibuprofeeni

Ibuprofeenihavaintoja (tulehduskipulääke) tehtiin 1. näytteenotossa sekä jätevedenpuhdistamolta että Kommilan pumppaamolta. Jätevedenpuhdistamolla pitoisuudeksi mitattiin 13 µg/l tulevasta jätevedestä ja puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus jäi alle määrittäysrajan, joka on <0,10 µg/l. Eli kyseinen yhdiste poistuu todella hyvin aktiivilieteprosessin aikana. Viikkotasolla laskettuna jätevedenpuhdistamolle esimerkiksi tammikuussa 1. näytteenoton aikoihin on tullut seuraavan laskukaavan mukaisesti ibuprofeenia:

→ Jätevedenpuhdistamon kokonaisvirtaama tulevan jäteveden osalta 19.1.2021-25.1.2021 on ollut 50 496,2 m<sup>3</sup> eli 50 496 199,99 litraa eli ibuprofeenipitoisuus koko viikon osalta lasketaan:

→  $50\,496\,199,99\text{ l} \times 13\ \mu\text{g/l} = \mathbf{0,67\text{ kg/vk}}$

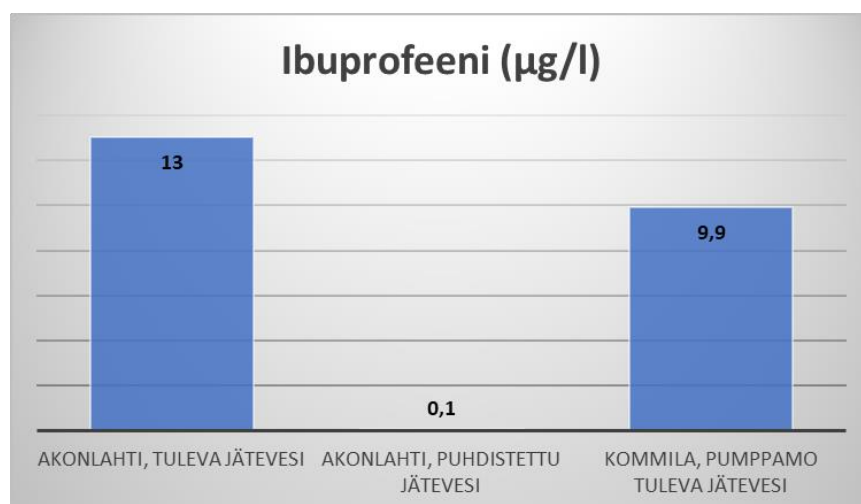
2. näytteenoton aikoihin 15.2.2021-21.2.2021 kokonaisvirtaama on ollut 41 758 m<sup>3</sup> eli noin 41 758 000 litraa, jolloin ibuprofeenipitoisuus lasketaan koko viikon osalta seuraavasti:

→  $41\,758\,000\text{ l} \times 22\ \mu\text{g/l} = \mathbf{0,92\text{ kg/vk}}$

Kommilan kaupunginosan jätevedenpumppaamolta otetusta näytteestä mitattiin ibuprofeenin pitoisuudeksi 9,9 µg/l. Pumppaamon sijainti sairaalan läheisyydessä selittää kyseisen yhdisteen pitoisuuden suuruuden. Havaitut pitoisuudet on esitetty kuvassa 14. Viikkotasolla Kommilan pumppaamolta laskettuna ibuprofeenipitoisuus voidaan laskea seuraavalla tavalla 1. näytteenoton tulosten mukaan:

→ Kommilan jätevedenpumppaamolla pumpattu jäteveden määrä on ollut 19.1.2021-25.1.2021 11 732 m<sup>3</sup> eli 11 732 000 litraa eli ibuprofeenipitoisuus lasketaan koko viikon osalta:

→  $11\,732\,000\text{ l} \times 9,9\ \mu\text{g/l} = \mathbf{0,15\text{ kg/vk}}$



KUVA 14. Ibuprofeenipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## Parasetamoli

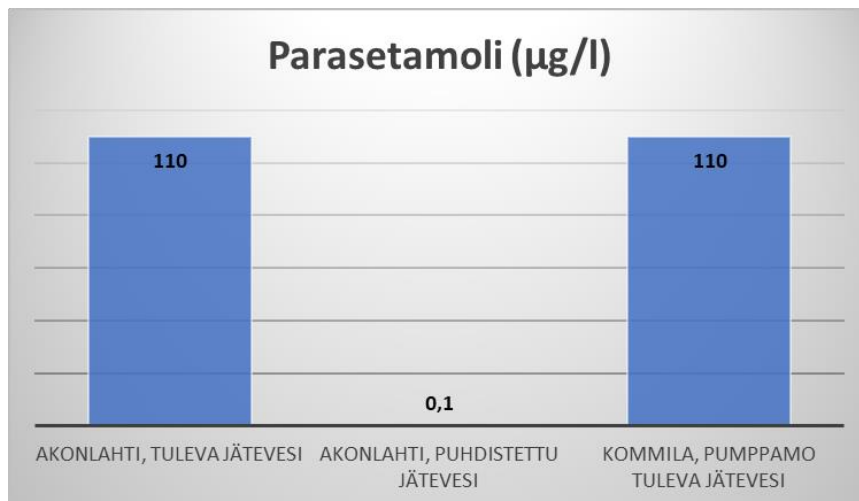
Kipulääkkeenä käytettävää parasetamolia havaittiin suurimpina pitoisuuksina kaikista yhdisteistä 1. näytteenotossa. Sekä jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden että Kommilan pumppaamon näytteen pitoisuus mitattiin arvoon 110 µg/l. Jätevedenpuhdistusprosessin jälkeen puhdistamon tulos oli alle määritysrajan (<0,10 µg/l), eli parasetamoli poistuu hyvin aktiivilieteprosessissa. Kuvassa 15 esitettynä yhdisteen mitatut pitoisuudet. Viikkotasolla parasetamolipitoisuudet voidaan laskea 1. näytteenoton tuloksien perusteella:

→ Jätevedenpuhdistamolla:  $50\,496\,199,99\text{ l} \times 110\ \mu\text{g/l} = \mathbf{5,55\text{ kg/vk}}$

→ Kommilan jätevedenpumppaamolla:  $11\,732\,000\text{ l} \times 110\ \mu\text{g/l} = \mathbf{1,29\text{ kg/vk}}$

2. näytteenoton aikoihin viikkotason pitoisuus voidaan laskea jätevedenpuhdistamolta:

→  $41\,758\,000\text{ l} \times 210\ \mu\text{g/l} = \mathbf{8,77\text{ kg/vk}}$



KUVA 15. Parasetamolipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### 7.3.1 Havaitsematta jääneet lääkeaine- ja hormonyhdisteet

Kaiken kaikkiaan 104 yhdistettä jäi määritysrajan alapuolelle laboratoriotutkimuksissa jätevedenpuhdistamolla tulevasta jätevedestä. Kommilan pumppaamolta jäi havaitsematta 103 erilaista yhdistettä. Laboratorio suoritti erittäin laajan lääkeainetutkimuksen, eli olisi ollut mahdollista löytää todella laajalta rintamalta eri lääkeaine- ja hormonyhdisteitä.

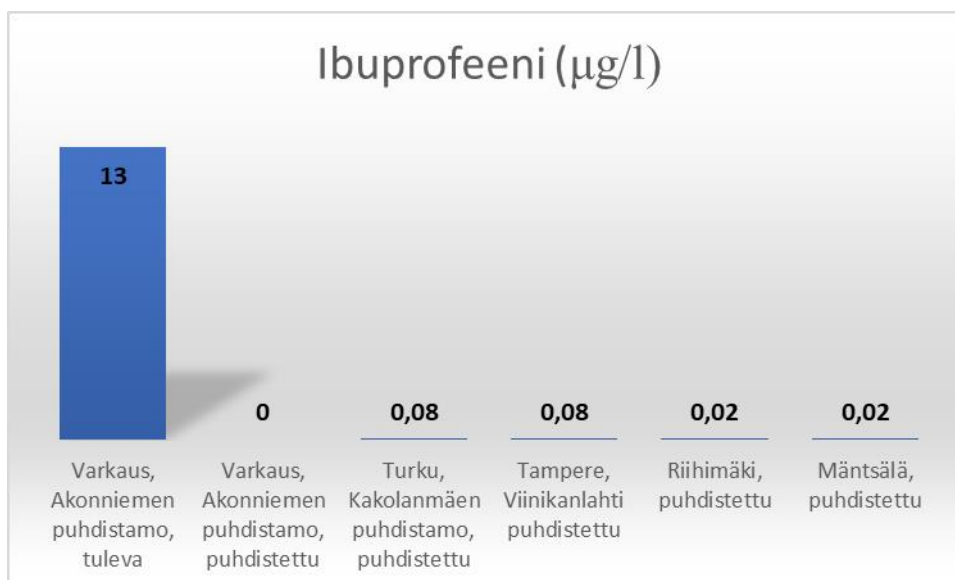


## 8 VARKAUDEN JÄTEVEDEN LÄÄKEAINEPITOISUUDET VERRATTUNA MUIHIN LAITOKSIIN

Seuraavassa osiossa käsitellään Varkauden Akonniemen jätevedenpuhdistamon puhdistetun jäteveden lääkeaine- ja hormonyhdistepitoisuuksien vertailua aikaisemmin Suomessa mitattujen muiden jätevedenpuhdistamojen pitoisuuksiin. Vuonna 2014 Suomen Ympäristökeskus on toteuttanut Lauri Äystön, Jukka Mehtosen ja Kirsti Kalevin toimesta kartoituksen lääkeaineista yhdyskuntajätevedessä ja pintavedessä. Tässä osiossa on kerätty muutamia lääkeaine- ja hormonyhdisteitä ja koottu niiden pitoisuudet puhdistetusta jätevedestä yhdessä vuonna 2014 tehdyn tutkimuksen tuloksien kanssa. Vertailussa on mukana Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo, Tampereen Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo, Riihimäen jätevedenpuhdistamo sekä Mäntsälän jätevedenpuhdistamo. Täytyy huomioida kuitenkin, että kyseessä on eri kokoluokan kaupunkeja. Vertailu antaa kuitenkin jonkinlaista suuntaa sille, että onko Varkauden jätevedenpuhdistamo kuinka tehokas lääkeaine- ja hormonyhdisteiden poistossa. Ei voida kuitenkaan määrittää kovinkaan suurella varmuudella, että mikä puhdistamoista on ollut tehokkain, koska muilta puhdistamoilta on ainoastaan puhdistetun jäteveden pitoisuudet saatavilla.

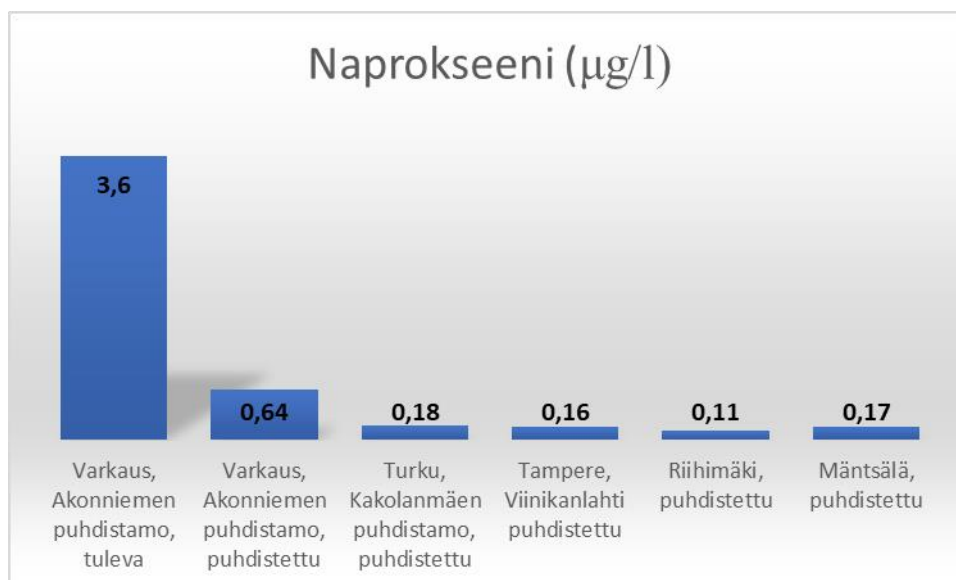
### 8.1 Vertailu

Ibuprofeenin pitoisuusvertailu on nähtävissä kuvasta 16. Varkaudesta puhdistetun jäteveden mitauksessa pitoisuus jäi alle määrittämissä rajan, eli sitä ei havaittu. Vuonna 2014 tehdyissä tutkimuksissa muiden puhdistamoiden kohdalla pitoisuudet ovat myöskin pieniä ja voi olla, että määrittämissä raja on esimerkiksi ollut matalampi tuossa laboratoriotutkimuksessa.



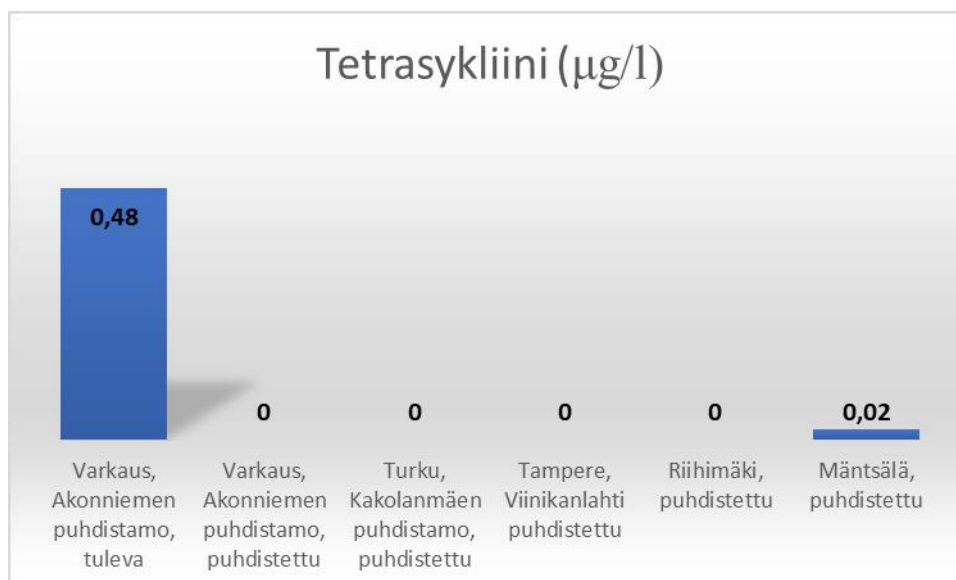
KUVA 16. Ibuprofeenipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä ja Varkauden pitoisuus jäi alle 0,1 µg/l. (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Naprokseenin kohdalla pitoisuus Varkauden puhdistamolla oli huomattavasti suurempi, kuin muilla vuonna 2014 tutkituissa puhdistamoissa. Varkauden Akonniemen puhdistamon puhdistetun jäteveden naprokseenipitoisuus oli 0,64 µg/l, joka oli kolminkertainen verrattuna kaikkien muiden puhdistamojen pitoisuuksiin. Kuvasta 17 voidaan tarkastella tuloksia ja vertailua.



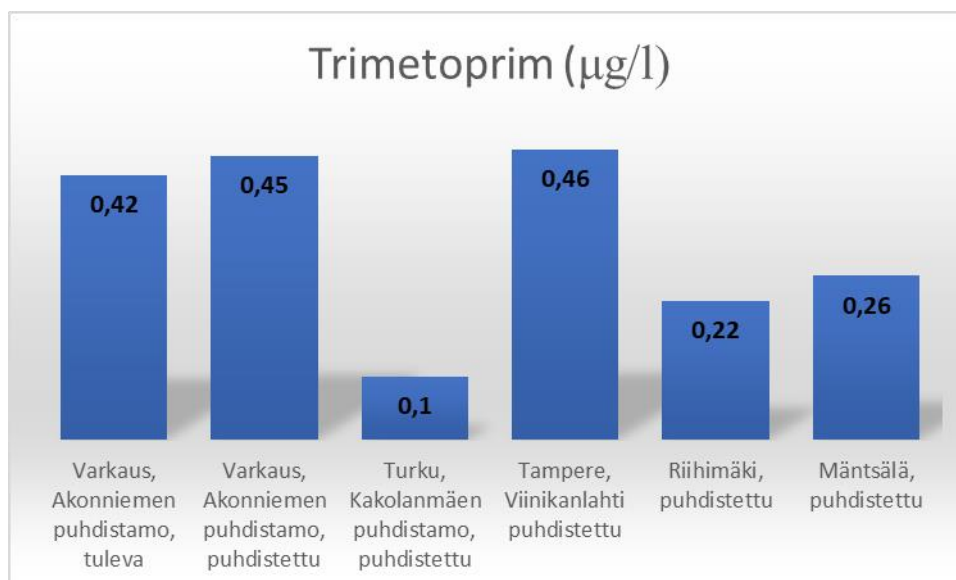
KUVA 17. Naprokseenipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Tetrasykliinipitoisuudet kaikilta jätevedenpuhdistamoilta on näkyvissä kuvassa 18. Varkaudesta puhdistetusta jätevedestä ei saatu havaintoa kyseisestä yhdisteestä ja ainoastaan Mäntsälässä on saatu havainto vuonna 2014 tehdyissä tutkimuksissa. Tetrasykliini on siis poistunut jokaisella jätevedenpuhdistamolla erittäin hyvin puhdistusprosessien aikana.



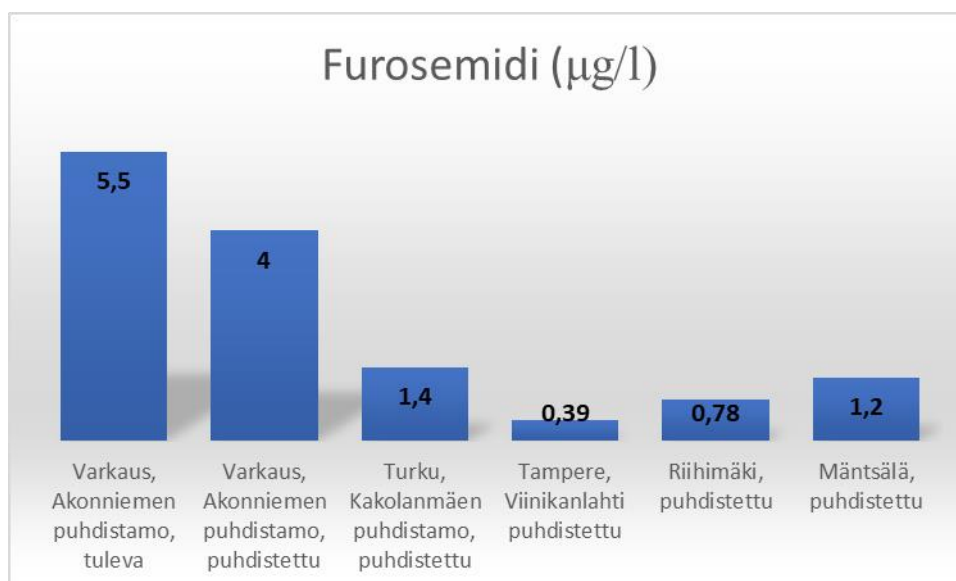
KUVA 18. Tetrasykliinipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä ja Varkauden pitoisuus jäi alle 0,02  $\mu\text{g/l}$ . (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Trimetoprimiä on havaittu jokaiselta jätevedenpuhdistamolta, kuten kuvasta 19 voidaan todeta. Varkauden pitoisuus on Tampereen vuoden 2014 tuloksen kanssa suurimmat kaikista. Varkaudessa pitoisuus on kasvanut puhdistusprosessin aikana. Muiden puhdistamojen kohdalla ei voi sanoa puhdistustehosta mitään, koska tulevan jäteveden pitoisuudet puuttuvat.



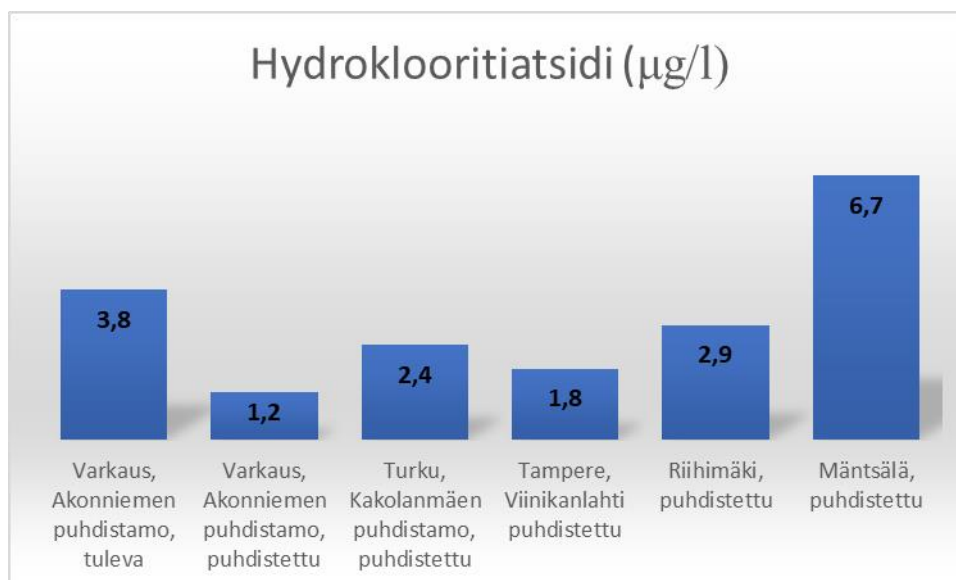
KUVA 19. Trimetoprimipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Furosemidi oli yhdiste, jota Varkauden puhdistamolla havaittiin hieman suurempana pitoisuutena, kuin muilla puhdistamoilla on havaittu vuonna 2014. Varkauden Akonniemen pitoisuus oli jopa 4  $\mu\text{g/l}$ , kun taas kaikilla muilla puhdistamoilla tulos oli alle 1,5  $\mu\text{g/l}$ . Kuvasta 20 nähtävissä tiedot näistä pitoisuuksista.



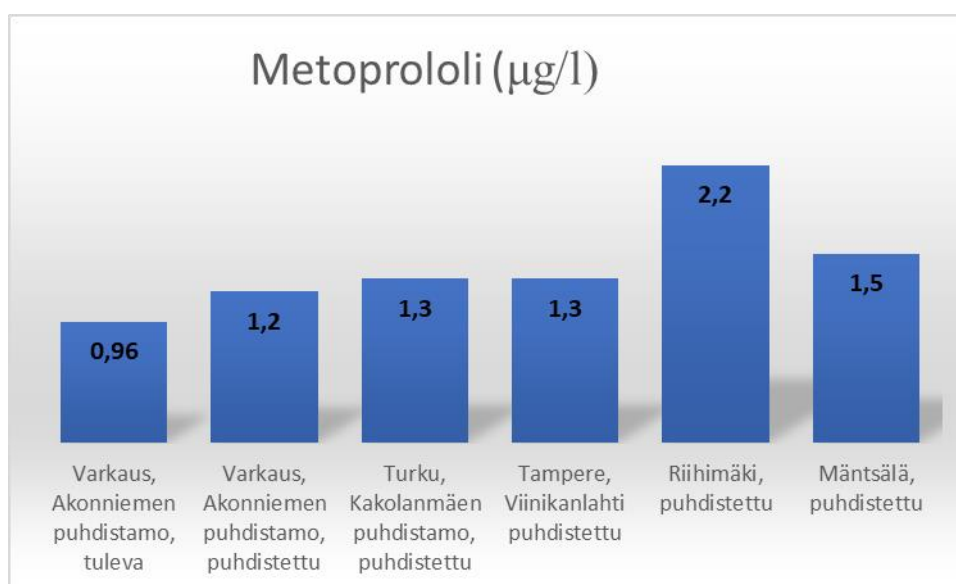
KUVA 20. Furosemidipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Hydroklooritiatsidin pitoisuudet on nähtävissä kuvassa 21. On lähes mahdotonta vertailla puhdistustehoja puhdistamoiden välillä, kun ainoastaan Varkaudesta on saatavilla puhdistamattoman jäteveden pitoisuus. Pitoisuuksia katsoessa voidaan todeta kuitenkin, että muilla paikkakunnilla pitoisuus on ollut puhdistuksen jälkeenkin lähes yhtä suuri tai jopa suurempi kuin Varkauudessa tulevan jäteveden kohdalla.



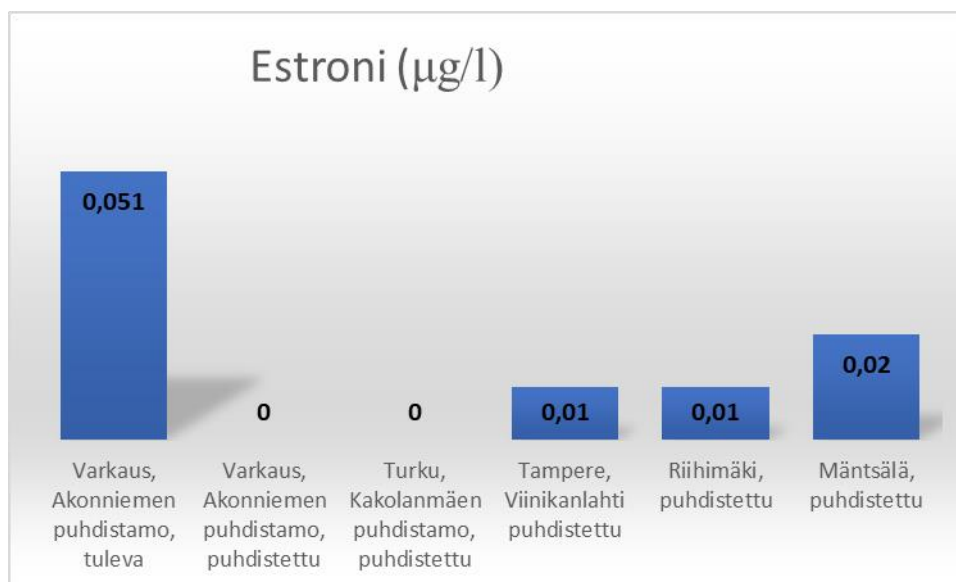
KUVA 21. Hydroklooritiatsidipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Metoprololi oli yksi niistä yhdisteistä, jotka kasvattivat pitoisuuttaan puhdistusprosessin aikana Varkaudessa. On vaikea sanoa, kuinka paljon se on muilla puhdistamoilla pitoisuuttaan kasvattanut tai onko pitoisuus edes kasvanut vuonna 2014 tehdyssä tutkimuksessa. Kuvasta 22 nähdään kuitenkin se, että Varkauden jätevedenpuhdistamolla metoprololin pitoisuus on kaikista puhdistamoista pienin.



KUVA 22. Metoprololipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

Ainoa hormonyhdisteistä tehty vertailu on estronista. Varkaudessa puhdistusprosessin jälkeen estronin pitoisuudessa jäätiin alle määritysrajan, eli siitä ei saatu havaintoa enää. Vuonna 2014 on ollut sama tilanne Turun puhdistamon osalta. Muilta paikkakunnilta on saatu todella pienet pitoisuusarvot, joten kaikilla puhdistamoilla puhdistusteho on ollut estronin osalta todella hyvä. Kuvasta 23 voidaan tarkastella estronin pitoisuuksia.



KUVA 23. Estronipitoisuuksia puhdistetusta jätevedestä ja Varkauden puhdistetun jäteveden estronipitoisuudeksi mitattiin alle  $0,010 \mu\text{g/l}$ . (Varkaudesta myös tulevan jäteveden pitoisuus).

## 9 LÄÄKEAINE- JA HORMONIJÄÄMIEN POISTON TEHOSTAMISMAHDOLLISUUDET VARKAUDEN PUHDISTAMOLLA

Varkauden Akonniemen jätevedenpuhdistamon osalta lääkaineiden sekä hormonien poistotehon lisäämiseen olisi useampi erilainen vaihtoehto. Kaikki menetelmät, joita luvussa 5 on käyty läpi, olisivat varmasti mahdollista toteuttaa Akonniemen puhdistamolla. Tulee kuitenkin muistaa, että tähän asiaan vaikuttavat monet tekijät: Kustannukset ja käytännöllisyys sekä loppujen lopuksi se, että onko menetelmän teho niin hyvä, jotta sitä olisi järkevää alkaa toteuttamaan kyseiseen kohteeseen.

### 9.1 MBR-tekniikka

MBR-tekniikka on yksi potentiaalinen mahdollisuus tehostaa lääkaine- ja hormonijäämien poistotehoa Akonniemen jätevedenpuhdistamolla. Menetelmä voidaan sijoittaa siis aktiivilieteprosessin perään ja se korvaisi jälkiselkeytyksen. Jätevesi ajetaan siinä kalvojen läpi, jotka ovat mikro-suodatuskokoluokkaa. Tässä kohtaa jätevedessä olevat kiintoaineet, mikromuovit, lääkainejäämät ja patogeenit erottuvat jätevedestä. Menetelmän ansiosta käsitelty jätevesi voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi kasteluvetenä tai teollisuudessa eri prosesseissa.

MBR-tekniikkaa on käytetty jo yli 20 vuotta muualla maailmalla, mutta Suomeen se on vasta tulossa yleiseksi vähitellen. Sitä on Suomessa käytetty lähinnä vasta teollisuudessa, mutta jätevedenpuhdistamoilla se on harvinainen vielä tänä päivänä. Menetelmän biologia ei toimi optimaalisesti Suomen kylmien vesien kanssa ja tämä on yksi iso syy kyseisen tekniikan herättämiin epäilyksiin täällä. Myös menetelmän käyttöikä ja hinta ovat nousseet puheenaiheeksi. (Aquazone Oy 2021.)

Aquazone Oy on tehnyt vuonna 2016 Mikkelin Vesilaitoksen kanssa yhteistyössä tutkimuksen liittyen MBR-tekniikan soveltuvuuteen jätevedenpuhdistamoille. Menetelmä osoittautui tutkimuksen aikana erittäin käyttökelpoiseksi Suomen jätevedenpuhdistamoille. Menetelmästä tehtiin seuraavanlaisia havaintoja, jotka ovat hyödyllisiä sen käytännöllisyyden kannalta:

- Puhdistustulokset todettu hyväksi
  - Suurien lietepitoisuuksien hallinta sekä lieteiän kasvattaminen.
  - Vie huomattavasti vähemmän tilaa → esim. ei tarvita jälkiselkeytysaltaita
  - Veden uusiokäyttömahdollisuus esim. teollisuudessa tai kasteluvetenä
  - Liete ei pääse vesistöön
  - Kiintoainepitoisuus voidaan pitää juuri halutulla tasolla, koska lietettä ei tarvitse laskeuttaa
  - Merkittävät säästöt syntyvät mm. prosessiveden kierrätyksestä, paremmista puhdistustuloksista sekä pienentyneestä saostuskemikaalien tarpeesta
  - Mahdollistaa puhdistamon tehostamisen ja kapasiteetin kasvattamisen sekä korvaa tertiärisuodatuslaitoksen
- (Aquazone Oy 2021.)

## 9.2 Plasmahapetus

Lappeenrannassa Flowrox Oy:n toimesta toteutettu plasmahapetusjärjestelmä ja sen tutkimus ovat osoittaneet, että kyseinen tekniikka voisi olla myöskin hyvä vaihtoehto jätevedenpuhdistamolle. Menetelmä on erittäin energiatehokas ja se on täysin kemikaalivapaa, joten sen myötä riskialttiit desinfiointiaineet jäisivät pois. Flowrox Oy:n kehittämän Flowrox Plasma Oxidizer-plasmahapetusjärjestelmän on todettu Lappeenrannassa tehtyjen tutkimusten perusteella poistavan 90–99 %:a sairaalan puhdistamattomassa jätevedessä esiintyvistä lääkeaine- ja hormonijäämistä. Menetelmä on siis erittäin turvallinen, taloudellinen ja ympäristöystävällinen vaihtoehto. (Flowrox Oy 2020.)

Taulukosta 13 nähdään Flowrox Oy:n kokoamia todettuja hyötyjä, joita plasmahapetusjärjestelmässä on verrattuna perinteisiin järjestelmiin.

Taulukko 13. Flowrox Plasma Oxidizer-plasmahapetusjärjestelmän hyötyjä.

<b>Perinteiset järjestelmät:</b>	<b>Flowrox Plasma Oxidizerin edut:</b>
Otsonijärjestelmät	-Vähäisempi energiankulutus -Tehokkaampi hapetus samalla rahalla
UV-järjestelmät	-Vankka rakenne: vain ruostumaton teräs osuu veteen, ei liikkuvia osia -> vähäinen huoltotarve -Estää samentumista -Ei UV-lamppuja
Kemiallinen käsittely	-ei kemikaalien logistiikkaa, varastointia tai käyttöä -Ei kloorisivutuotteita -Täysin sähkötoiminen -Vähemmän turvakäytäntöjä

## 10 TUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

### 10.1 Lääkeaine- ja hormonijäämien pitoisuudet ja niiden poistuminen jätevedestä

Akonniemen jätevedenpuhdistamon ja Kommilan jätevedenpumppaamon lääkeaine- ja hormonipitoisuuksien vertailussa tulee ottaa ensimmäisenä huomioon se, että niiden tulokset olivat suurilta osin hyvinkin samansuuruisia. Tässä kohtaa voidaan todeta se, että sairaalan läheisyydessä sijaitsevalla Kommilan pumpptaamolla pitoisuudet ovat melko suuria, kun verrataan virtaamia jätevedenpuhdistamon ja Kommilan pumpptaamon välillä. Jos vertailuun otetaan esimerkiksi tammikuu 2021, niin jätevedenpuhdistamolle on pumpattu keskimäärin noin 7700 m<sup>3</sup> jätevettä päivässä ja Kommilan pumpptaamolla vastaava lukema on noin 1800 m<sup>3</sup>. Eli vaikka Kommilan jätevedenpumppaamolla pumpatun jäteveden määrä on yli 4 kertaa pienempi kuin jätevedenpuhdistamolla, ovat lääkeaine- ja hormonipitoisuudet hyvinkin samansuuruisia. Kommilan pumpptaamon näytteestä havaittiin useita sellaisia yhdisteitä, joita ei jätevedenpuhdistamolta havaittu ollenkaan. Vertailuna voidaan vielä ottaa tuo kyseinen päivä eli 19.1.2021, jolloin sekä jätevedenpuhdistamolta että Kommilan pumpptaamolta otettiin tulevan jäteveden näytteet. Tuon päivän pumpatun jäteveden määrät olivat jätevedenpuhdistamolla 7414 m<sup>3</sup> ja Kommilan pumpptaamolla 1780 m<sup>3</sup>. Eli näytteenottopäivänä jätevedenpuhdistamolle on pumpattu myös yli 4 kertaa enemmän jätevettä, kuin mitä Kommilassa pumpptaamon läpi on pumpattu. Siitä huolimatta muualta tulevan ja Kommilan pumpptaamon jäteveden koostumuksessa ei ole kovinkaan suuria eroja.

Lääkeaine- ja hormonijäämien pitoisuuksien mittaustuloksia täytyy hieman kyseenalaistaa, kun katsoo ensimmäisen ja toisen näytteenoton tuloksia. Joidenkin yhdisteiden kohdalla toisen näytteenotokerran tulokset ovat tuplasti suurempia, kuin ensimmäisen näytteenoton tulokset. Yksi tuloksien eroavaisuuksiin vaikuttava tekijä on hyvinkin todennäköisesti se, että ensimmäisen ja toisen näytteenotokerran välillä on reilu kuukausi aikaa. Myös mittausepävarmuus tulee ottaa huomioon. 1. näytteenoton kohdalla on mittausepävarmuudet ilmoitettu yhdisteestä riippuen välille 25 % – 55 % ja 2. näytteenoton kohdalla välille 21 % – 55 %. Mittausepävarmuuteen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten näytteenotossa tapahtuvat häiriöt, ympäristön olosuhteet, tilavuuden määritykseen liittyvät epävarmuudet sekä mittausmenetelmän optimointiin liittyvät arviot. Puhdistusteho Varkauden puhdistamolla on kohtalaisen hyvä, sillä suurimmat pitoisuudet puhdistamattomassa jätevedessä omaavat yhdisteet poistuivat todella hyvin puhdistusprosessin aikana.

Lääkeaineiden kertymisestä lietteeseen on olemassa vain vähän tutkimustietoa. Niina Vienon tekemässä julkaisussa on kirjoitettu aiheesta ja siinä on todettu siprofloksasiinin ja tetrasykliinin kertyvän lietteeseen suurilta osin. Akonniemen jätevedenpuhdistamolla on käytössä hyväksytty tapa käsitellä lietettä ja se täyttää kansallisen lannoitevalmistelain vaatimukset.



## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lääkeaine- ja hormonijäämien pitoisuuksia jätevedestä Keski-Savon Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamolla sekä Varkauden sairaalan läheisyydessä olevalla Kommilan jätevedenpumppaamolla. Lisäksi tutkittiin sitä, kuinka hyvin jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi puhdistaa jätevedestä lääkeaine- ja hormonijäämät. Puhdistusprosessin tehoa verrattiin muutamaa muuhun Suomessa toimivaan jätevedenpuhdistamoon, joiden puhdistustehosta löytyi tietoa. Näistä kyseisistä jätevedenpuhdistamoista löytyi ainoastaan puhdistetun jäteveden lääkeainepitoisuuksia, mutta niistä saadaan kuitenkin jonkinlaista näkökulmaa verrattaessa niitä Varkauden tuloksiin. Tutkimuksen aikataulusuunnitelma onnistui hyvin, eikä työn missään vaiheessa ollut oikein minkäänlaisia ongelmia. Näytteenotot suoritettiin talvella 19.1.2021 ja 16.2.2021. Ainoa ongelma esiintyi siinä kohtaa, kun yritettiin ottaa Leppävirralta tulevasta jätevedestä näytettä. Siinä kohtaa todettiin, että näytettä ei pystytä ottamaan kyseisestä paikasta talviaikaan. Työssä myös etsittiin tietoja erilaisista tehostamismahdollisuuksista jätevedenpuhdistukseen lääkeaineiden osalta ja pohdittiin, mitkä voisivat olla sopivia Varkauden jätevedenpuhdistamolle.

Näytteenotot onnistuivat hyvin Keski-Savon Vesi Oy:n työntekijöiden avustuksella ja ne tutkittiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa Lahdessa. Tulokset saatiin molemmilla kerroilla hyvin nopeasti, joten tämäkin vaihe tutkimuksissa onnistui hienosti.

Ohjaavan opettajan sekä Keski-Savon Vesi Oy:n vesihuoltoinsinöörin kanssa pidettyjen etäpalaverien avulla työn eteneminen pysyi hyvin aikataulussaan ja palavereista työhön saatiin joka kerta uusia ehdotuksia ja näkökulmia. Sain paljon kehuja työstäni sen eri vaiheissa ja olen myös itse tyytyväinen lopputulokseen. Pohdimme palavereissa myös sellaista aihetta, että saataisiin jonkinlaista hinta-arviota jätevedenpuhdistuksen eri tehostamismahdollisuuksille. Tulimme tuosta aiheesta siihen loppupäätelmään, että sitä ei aleta lisäämään tähän työhön, koska opinnäytetyö alkoi olla jo aika laaja.

Tämän opinnäytetyön aikana sain runsaasti hyvää kokemusta tulevaisuuttani ajatellen. Pääsin tekemään laboratorionäytteiden analysointia, yhteistyötä kokeneiden ammattilaisten kanssa ja tietotaitoni liittyen jätevedenpuhdistusprosesseihin kasvoi paljon kirjallisen osuuden aikana tutkiessani eri lähteitä.

## LÄHTEET

Aquazone Oy 2021. MBR-tekniikka. Verkkosivu. <https://aquazone.fi/palvelut/mbr-tekniikka/>. Viitattu 19.1.2021.

Flowrox Oy 2020. FLOWROX PLASMA OXIDIZER. Verkkosivu. <https://flowrox.com/fi/tuote/plasma-oxidizer/>. Viitattu 21.1.2021.

Keski-Savon Vesi Oy 2020. Vesi- ja viemärlaitos. Verkkosivu. <http://keskisavonvesi.fi/vesi-javiemari-laitos>. Viitattu 2.2.2021.

Koponen, Henri 2020. Akonniemen jätevedenpuhdistamon toiminnan tarkkailun vuosiyhteenveto 2019. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy.

Koskinen, Teemu 2008. Akonniemen jätevedenpuhdistamon tehostaminen ja saneeraus. Proses-suunnitelma. Helsinki: FCG Planeko Oy.

Kustannus Oy Duodecim 2021. Terveyskirjasto. Verkkosivu. <https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti>. Viitattu 17.1.2021.

Mänttari, Mika ja Kallioinen, Mari 2020. Tekniikat lääkeaineiden poistamiseen jätevesistä. Vesitalous 1/2020. Verkkojulkaisu. [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous\\_01\\_2020\\_LOWRES.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous_01_2020_LOWRES.pdf). Viitattu 21.1.2021.

Nysten, Taina ja Äystö, Lauri 2020. Ohjauskeinoilla ja tehokkailla jätevedenpuhdistusmenetelmillä voidaan vähentää lääkejäämien päästöjä ympäristöön. Vesitalous 1/2020. Verkkojulkaisu. [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous\\_01\\_2020\\_LOWRES.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous_01_2020_LOWRES.pdf). Viitattu 22.1.2021.

Oy Brynolf Grönmark Ab 2021. NF-kalvot. Verkkosivu. <https://www.gronmark.fi/tuote/nf-kalvot/>. Viitattu 15.2.2021.

Pirhonen, Heli 2016. MBR-TEKNOLOGIAN ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEHOKKUUTTA MITTAAVIEN TUNNUSLUKUJEN SELVITYS JA VERTAILU PERINTEISEEN AKTIIVILIETEPROSESSIIN. Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108381/Pirhonen\\_Heli.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108381/Pirhonen_Heli.pdf?sequence=1). Viitattu 14.2.2021.

Temmes, Anja 2018. Jäteveden käsittely - näin prosessi etenee. Prominent Finland Oy - Blogikirjoitus. <https://www.promisti.fi/jateveden-kasittely/>. Viitattu 17.1.2021.

Vesilaitosyhdistys 2016. Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 42. [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn\\_teknis-taloudellinen\\_selvitys\\_21042016.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf). Viitattu 15.2.2021.

Viemärointi ja jäteveden käsittely. Pdf-tiedosto.

[https://www.google.com/search?q=viem%C3%A4r%C3%B6inti+ja+j%C3%A4teveden+k%C3%A4sittely&rlz=1C1CHZL\\_fiFI694FI694&oq=viem%C3%A4r%C3%B6inti+ja+j%C3%A4teveden+k%C3%A4sittely&aqs=chrome..69i57.5984j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=viem%C3%A4r%C3%B6inti+ja+j%C3%A4teveden+k%C3%A4sittely&rlz=1C1CHZL_fiFI694FI694&oq=viem%C3%A4r%C3%B6inti+ja+j%C3%A4teveden+k%C3%A4sittely&aqs=chrome..69i57.5984j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8). Viitattu 12.12.2020.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2019. Lääkejätteen käsittely. Verkkosivu. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus\\_ja\\_tuotanto/kemikaalien\\_ymparistoriskit/ymparistoon\\_paatyvat\\_haitalliset\\_aineet/Laakeaineet/Laakejätteen\\_kasittely](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/kemikaalien_ymparistoriskit/ymparistoon_paatyvat_haitalliset_aineet/Laakeaineet/Laakejätteen_kasittely). Viitattu 16.4.2021.

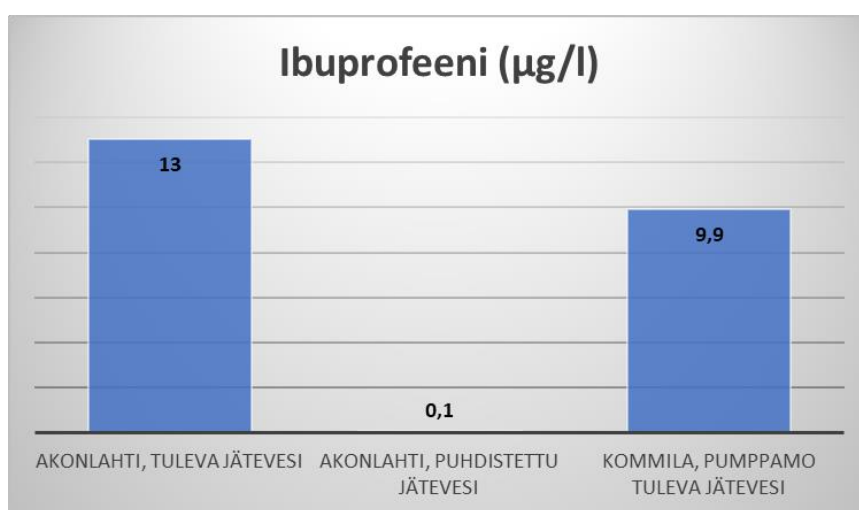
Äystö, Lauri 2020. Lääkeaineiden kuorma jätevedenpuhdistamoille ja niiden primääripäästölähteet. Vesitalous 1/2020. Verkkojulkaisu. [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous\\_01\\_2020\\_LOWRES.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2020/02/Vesitalous_01_2020_LOWRES.pdf). Viitattu 14.12.2020.

## LIITE 1: KIPULÄÄKKEET

**Ibuprofeeni**

Ibuprofeenihavaintoja (tulehduskipulääke) tehtiin 1. näytteenotossa sekä jätevedenpuhdistamolta että Kommilan pumppaamolta. Jätevedenpuhdistamolla pitoisuudeksi mitattiin 13 µg/l tulevasta jätevedestä ja puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus jäi alle määritysrajan, joka on <0,10 µg/l. Eli kyseinen yhdiste poistuu todella hyvin aktiivilieteprosessin aikana.

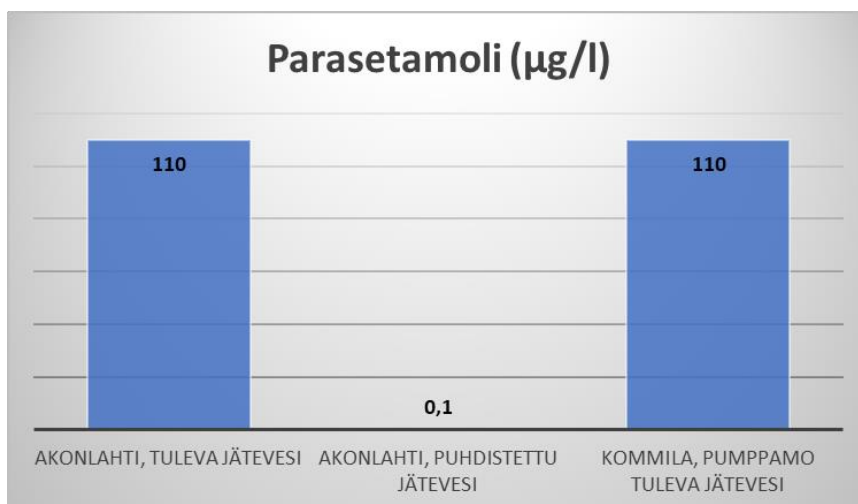
Kommilan kaupunginosan jätevedenpumppaamolta otetusta näytteestä mitattiin ibuprofeenin pitoisuudeksi 9,9 µg/l. Pumppaamon sijainti sairaalan läheisyydessä selittää kyseisen yhdisteen pitoisuuden suuruuden. Havaitut pitoisuudet on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Ibuprofeenipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Parasetamoli**

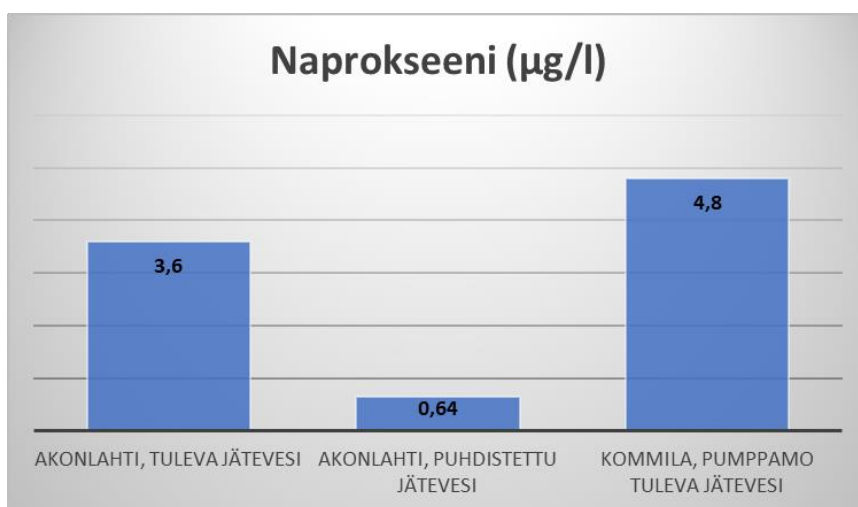
Kipulääkkeenä käytettävää parasetamolia havaittiin suurimpina pitoisuuksina kaikista yhdisteistä 1. näytteenotossa. Sekä jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden että Kommilan pumppaamon näytteen pitoisuus mitattiin arvoon 110 µg/l. Jätevedenpuhdistusprosessin jälkeen puhdistamon tulos oli alle määritysrajan (<0,10 µg/l), eli parasetamoli poistuu hyvin aktiivilieteprosessissa. Kuvassa 25 esitettynä yhdisteen mitatut pitoisuudet.



KUVA 25. Parasetamolipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Naprokseeni

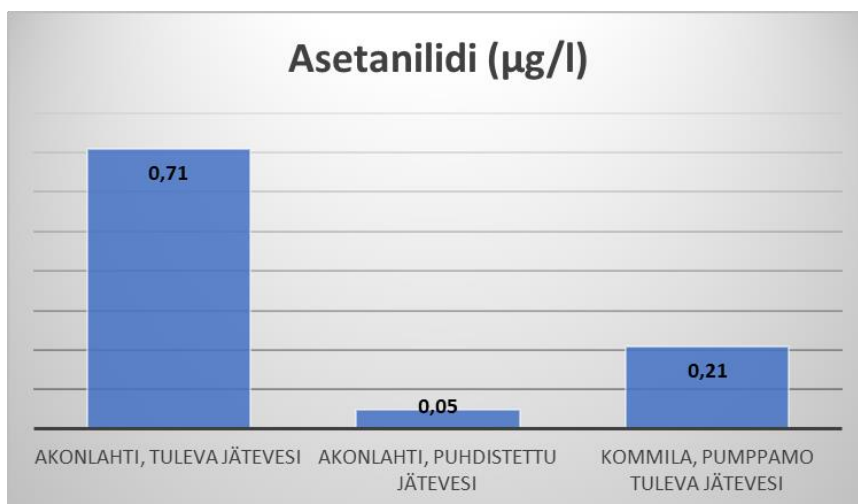
Naprokseeniä mitattiin 1. näytteenottopäivänä jätevedenpuhdistamolta tulevasta jätevedestä 3,6 µg/l pitoisuutena ja Kommilan pumpaamolla 4,8 µg/l pitoisuutena. Puhdistamolla aktiivilieteprosessin läpikäynnin jälkeen pitoisuus oli enää 0,64 µg/l. Tulehduskipulääkkeenä käytettävä naprokseeni poistuu hyvin puhdistusprosessin aikana ja kuvassa 26 on nähtävillä mitatut pitoisuudet.



KUVA 26. Naprokseenipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Asetanilidi

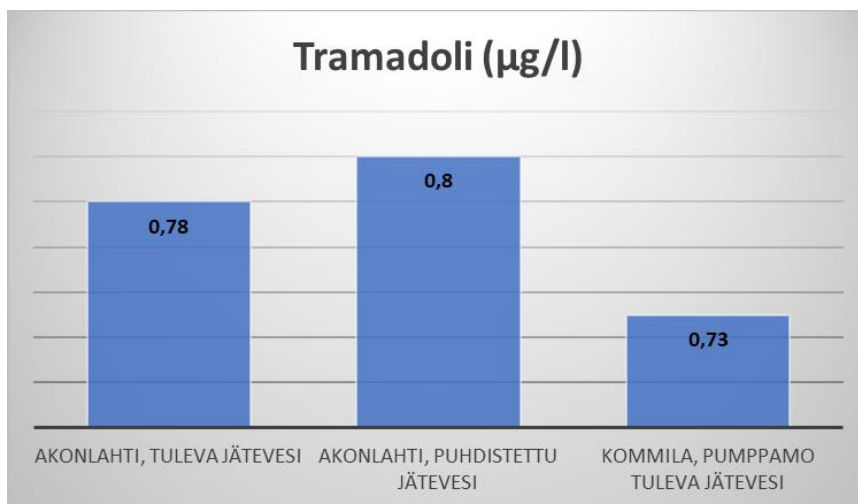
Kipua ja kuumetta lieventävänä lääkeaineena käytettävää asetaniilidiä havaittiin jätevedenpuhdistamolla 0,71 µg/l pitoisuutena ja Kommilan pumpaamolla 0,21 µg/l. Jätevedenpuhdistusprosessin jälkeen yhdisteen pitoisuus jäi alle määritysrajan (0,05 µg/l) puhdistamolla. Yhdiste siis poistuu hyvin aktiivilieteprosessin aikana jätevedestä. Kuvasta 27 voi tarkastella mitattuja pitoisuuksia asetaniilidistä.



KUVA 27. Asetanilidipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Tramadoli

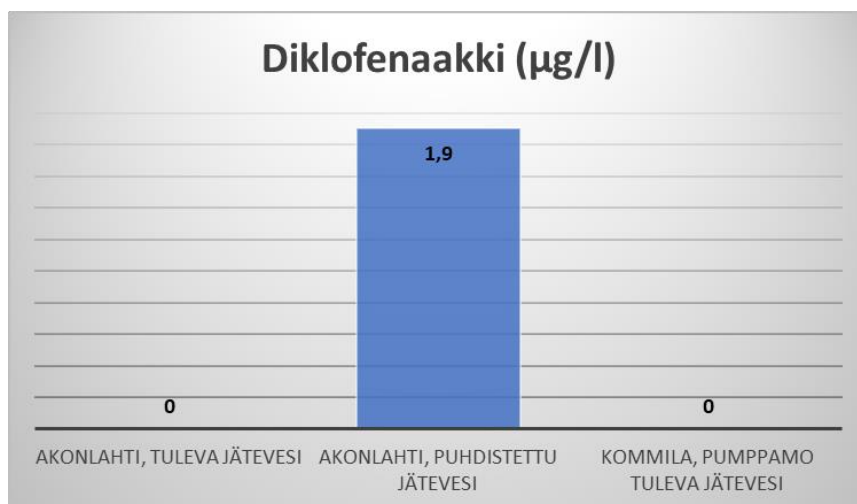
Tramadolia (synteettinen opioidi), jota käytetään vaikean kivun hoitoon, havaittiin 0,78 µg/l pitoisuutena jätevedenpuhdistamolla tulevasta jätevedestä ja Kommilasta pumppaamolta 0,73 µg/l. Puhdistusprosessin aikana yhdiste kasvatti pitoisuuttaan jätevedessä arvoon 0,8 µg/l. Kuvasta 28 nähdään pitoisuudet ja se, että se on aktiiviliete-prosessin aikana pitoisuuttaan lisäävä yhdiste.



KUVA 28. Tramadolipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Diklofenaakki

Tulehduskipulääke diklofenaakia havaittiin ainoastaan puhdistetusta jätevedestä puhdistamolla. Tässä on hyvin todennäköistä, että mittauksessa on tullut jokin virhe tai sattuma. Kyseisen yhdisteen kohdalla on hyvä tarkastella sen pitoisuuksia tarkemmin 2. näytteenottokerran tulosten valmistuessa. Kuvassa 29 nähtävillä diklofenaakin pitoisuudet.

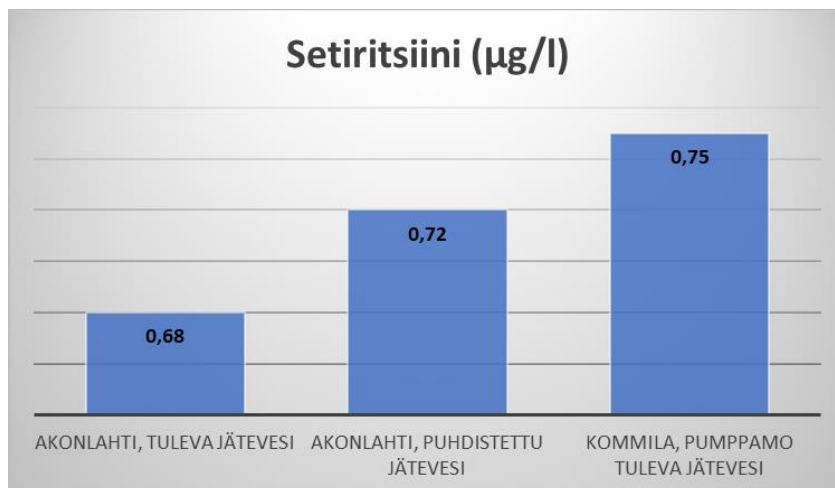


KUVA 29. Diklofenaakkipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## LIITE 2: ANTIHISTAMIINIT

**Setiritsiini**

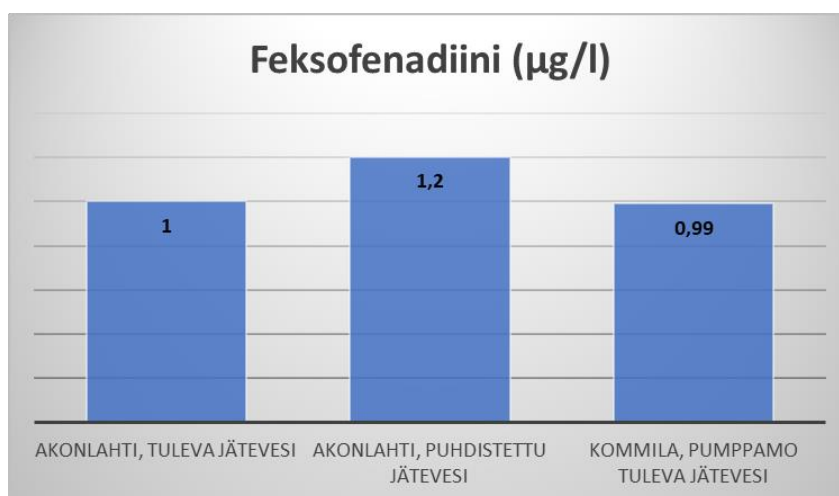
Allergian hoitoon käytettävää setiritsiiniä havaittiin tulevasta jätevedestä jätevedenpuhdistamolta 0,68 µg/l ja Kommilan pumppaamolla 0,75 µg/l pitoisuuksina. Jätevedenpuhdistusprosessin aikana yhdiste lisäsi pitoisuuttaan jätevedessä. Puhdistetun jäteveden mitattu pitoisuus oli 0,72 µg/l. Kuvassa 30 esiteltynä setiritsiinin pitoisuudet.



KUVA 30. Setiritsiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Feksofenadiini**

Allergisen nuhan hoitoon käytettävää feksofenadiinia havaittiin Akonniemessä puhdistamalla tulevasta jätevedestä 1 µg/l ja Kommilassa pumppaamolta lähes saman verran eli 0,99 µg/l. Myös feksofenadiini lisäsi pitoisuuttaan aktiivilieteprosessin aikana puhdistamalla ja sen jälkeen pitoisuudeksi mitattiin 1,2 µg/l. Kuvasta 31 nähdään yhdisteen mitatut pitoisuusarvot.



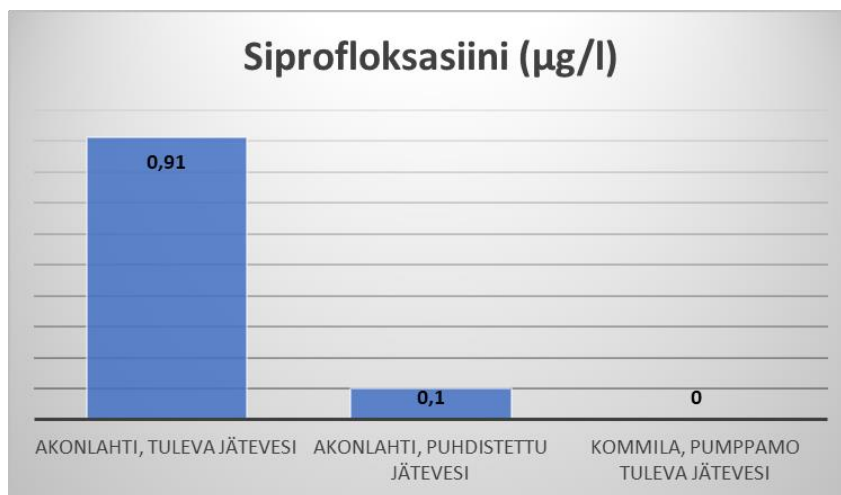
KUVA 31. Feksofenadiinipitoisuudet Akonniemessä sekä Kommilassa 19.1.2021.



## LIITE 3: ANTIBIOOTIT

**Siprofloksasiini**

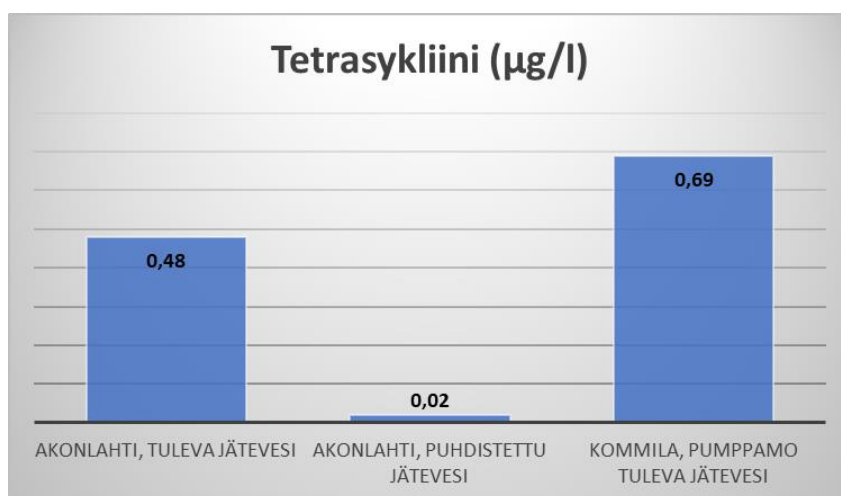
Bakteereja tappavaa antibioottia siprofloksasiiniä havaittiin ainoastaan jätevedenpuhdistamolta Akonniemestä (0,91 µg/l). Puhdistusprosessin aikana yhdisteen pitoisuus laski alle määritysrajan, joka on < 0,1 µg/l. Lääkeaine siis poistuu hyvin aktiivilieteprosessin aikana. Kommilan pumppaamalla ei havaittu ollenkaan kyseistä yhdistettä. Kuvasta 32 voidaan tarkastella siprofloksasiinin pitoisuuksia.



KUVA 32. Siprofloksasiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Tetrasykliini**

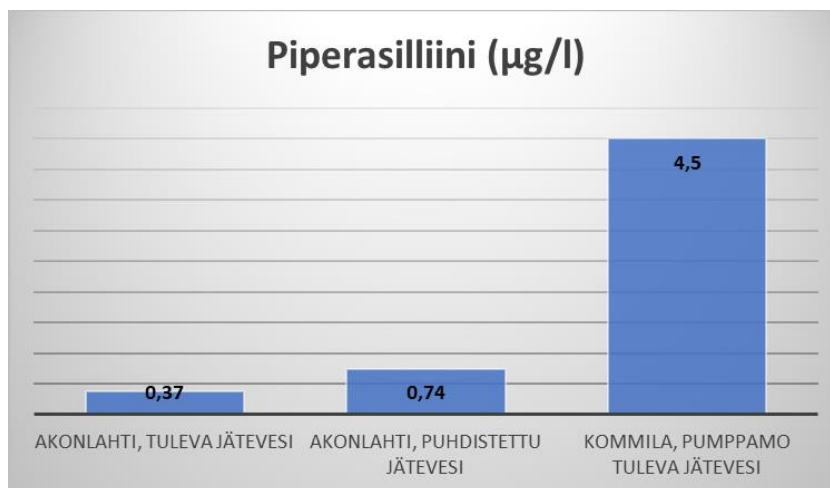
Tetrasykliini on antibiootti, jota käytetään mm. finnitauhin hoitoon. Yhdistettä havaittiin kuvassa 33 esitettyjen pitoisuuksien mukaisesti. Akonniemestä jätevedenpuhdistamolta tulevasta jätevedestä saatiin 0,48 µg/l pitoisuus ja puhdistetusta jätevedestä pitoisuus jäi alle määritysrajan (< 0,02 µg/l). Yhdiste poistui jätevedestä siis erittäin hyvin. Kommilan pumppaamalla pitoisuus oli hieman suurempi, kuin jätevedenpuhdistamolla. Kommilan pitoisuus oli 0,69 µg/l.



KUVA 33. Tetrasykliinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Piperasilliini**

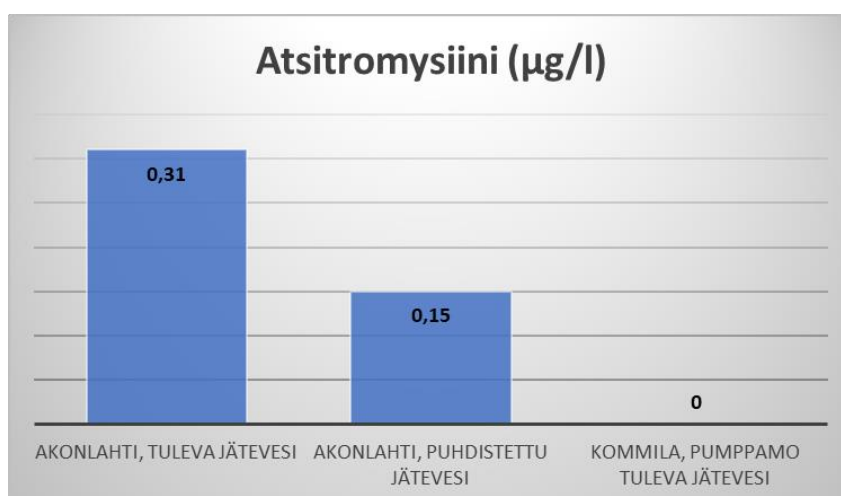
Beetalaktaamiryhmään kuuluvaa antibioottia piperasilliiniä havaittiin jätevedenpuhdistamolta vain 0,37 µg/l tulevasta jätevedestä. Puhdistusprosessin aikana yhdiste lisäsi pitoisuuttaan arvoon 0,74 µg/l. Kommilassa piperasilliinipitoisuus oli huomattavasti paljon suurempi, kuin jätevedenpuhdistamolla. Yhdistettä havaittiin sieltä 4,5 µg/l ja täytyy tässä vaiheessa huomioida taas sairaalan sijainti lähetyillä. Kuvassa 34 piperasilliinin pitoisuusarvot näkyvissä.



KUVA 34. Piperasilliinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Atsitromysiini

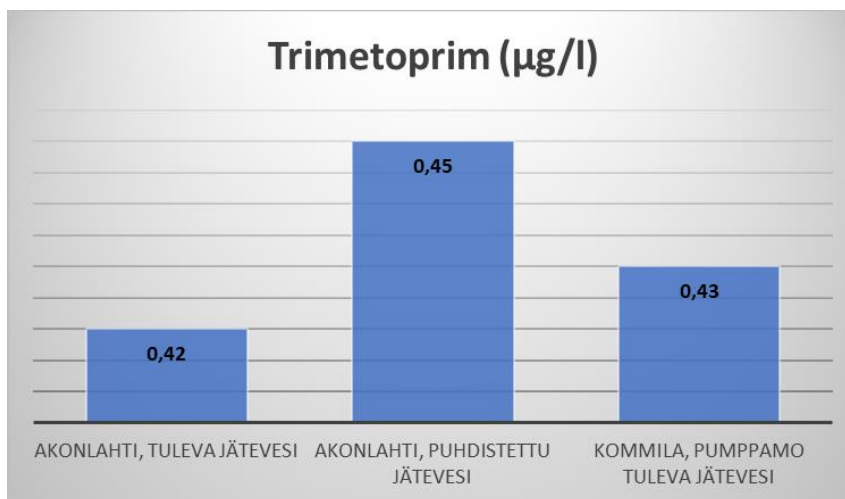
Keuhkoputkentulehdusta, keuhkokuumetta sekä välikorvantulehdusta hoitava atsitromysiini on antibiootti ja sitä havaittiin ainoastaan jätevedenpuhdistamolta. Tulevasta jätevedestä mitattiin arvo 0,31 µg/l ja puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus laski puolella arvoon 0,15 µg/l. Yhdiste voisi siis poistua paremminkin, mutta tulos on jo tyydyttävä. Kommilan jätevedenpumppaamolta ei havaittu ollenkaan kyseistä lääkeainetta. Kuva 35 esittää pitoisuudet yhdisteelle.



KUVA 35. Atsitromysiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Trimetoprim

Trimetoprim on antibiootti ja sitä käytetään yleensä virtsatieinfektioiden hoitoon. Yhdisteestä tehtiin havainnot molemmista näytteenottoaikoista. Jätevedenpuhdistamolta tulevan jäteveden trimetoprimipitoisuus oli 0,42 µg/l. Puhdistusprosessin aikana yhdiste kasvatti pitoisuuttaan. Puhdistetusta jätevedestä mitattiin 0,45 µg/l pitoisuus. Kommilassa pitoisuus oli lähes yhtä suuri, kuin puhdistamolla (0,43 µg/l). Tiedot nähtävissä kuvassa 36.

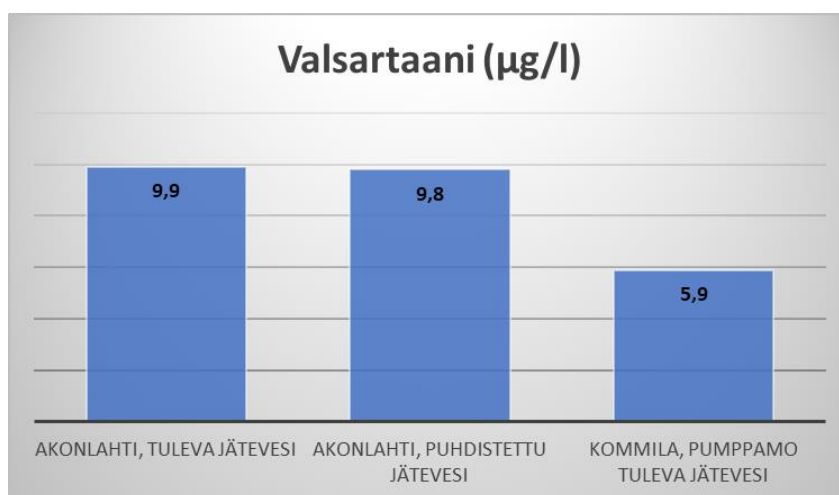


KUVA 36. Trimetoprimipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## LIITE 4: VERENPAINELÄÄKKEET

**Valsartaani**

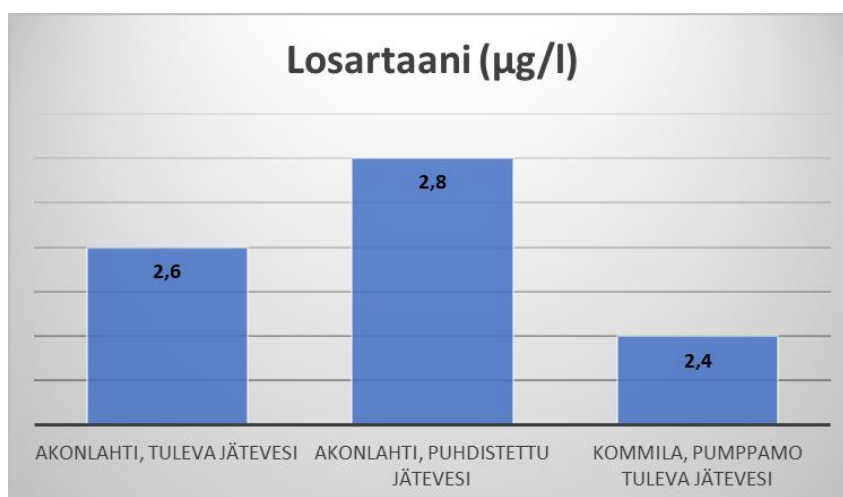
Verenpainelääkkeenä toimivaa valsartaania havaittiin melko suurina pitoisuuksina molemmista näytteenottopisteistä. Akonniemessä puhdistamolla pitoisuus oli jopa 9,9 µg/l ja puhdistusprosessissa yhdiste ei juurikaan poistunut ollenkaan. Puhdistetun jäteveden mittauksessa havaittiin 9,8 µg/l pitoisuus. Myös Kommilan pumppaamolla mitattiin jopa 5,9 µg/l pitoisuus. Niin kuin kuvasta 37 nähdään, valsartaani poistui erittäin huonosti aktiivilieteprosessin aikana.



KUVA 37. Valsartaanipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Losartaani**

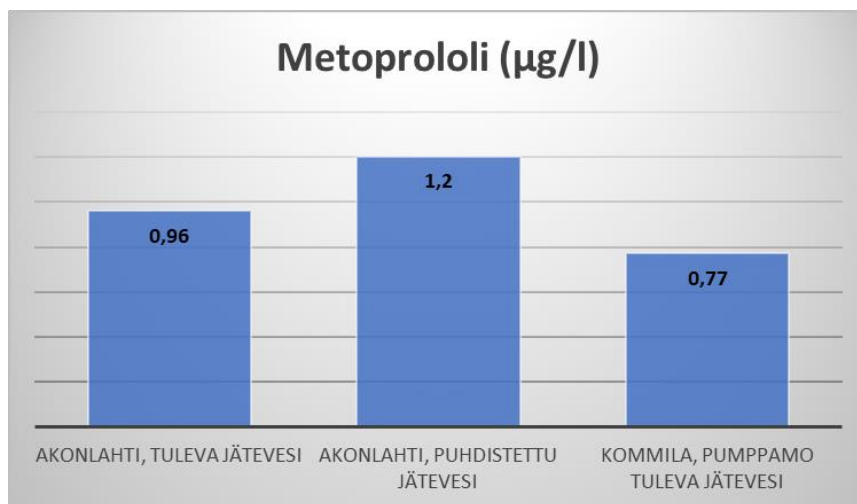
Losartaania käytetään korkean verenpaineen hoitoon. Yhdistettä havaittiin molemmista näytteenottopaikoista. Jätevedenpuhdistamolla saatiin tulevasta jätevedestä pitoisuus 2,6 µg/l ja puhdistusprosessissa pitoisuus kasvoi arvoon 2,8 µg/l. Kommilan jätevedenpumppaamon pitoisuus oli hieman pienempi, eli 2,4 µg/l. Tulokset näkyvissä kuvassa 38.



KUVA 38. Losartaanipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Metoprololi

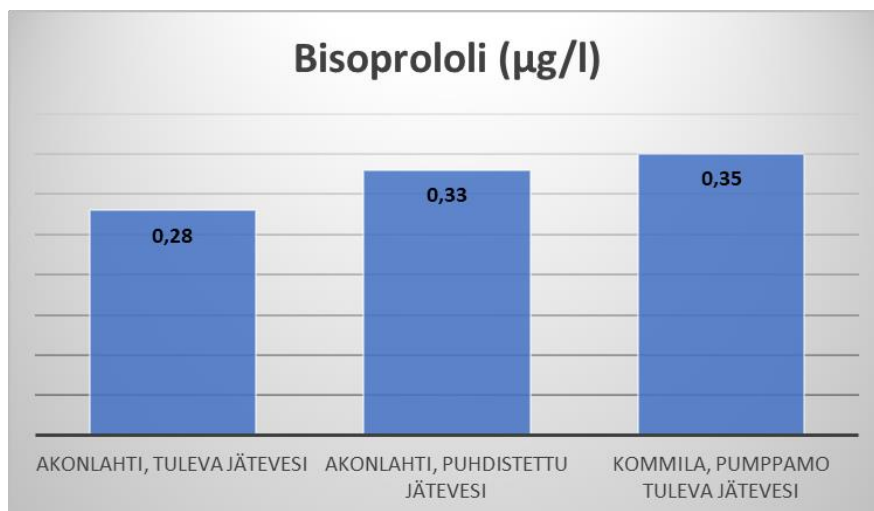
Metoprololi laskee verenpainetta ja sydämen lyöntitiheyttä. Se myös korjaa sydämen rytmiä ja vähentää sen työmäärää. Yhdistettä havaittiin jätevedenpuhdistamolla 0,96 µg/l pitoisuutena tulevasta jätevedestä. Puhdistusprosessin jälkeen havaittiin, että yhdiste kasvatti pitoisuuttaan arvoon 1,2 µg/l. Jätevedenpumppaamolla Kommilassa metoprololin pitoisuus oli 0,77 µg/l, kuten kuvasta 39 voidaan nähdä.



KUVA 39. Metoprololipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Bisoprololi

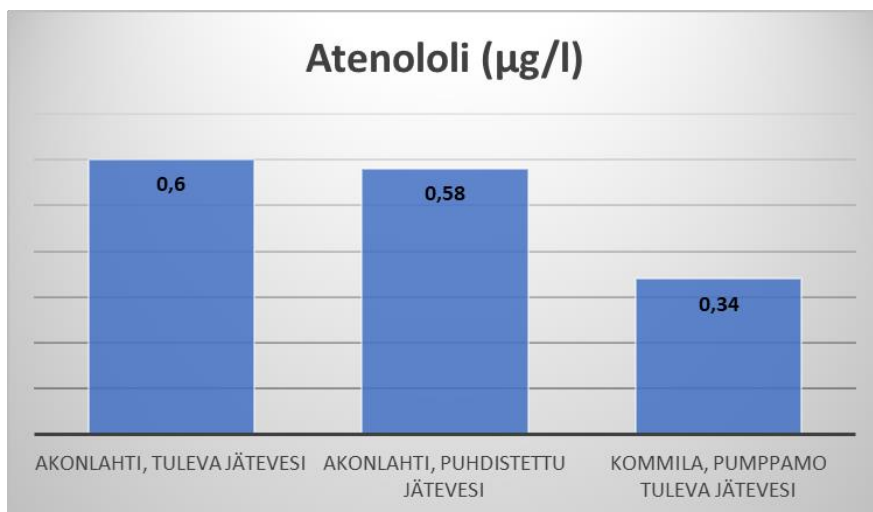
Sydänsairauksien ja korkean verenpaineen hoitoon käytettävää bisoprololia havaittiin jätevedenpuhdistamolta 0,28 µg/l pitoisuutena. Yhdisteen pitoisuus kasvoi jätevedenpuhdistusprosessin aikana arvoon 0,33 µg/l. Kuvassa 40 on nähtävissä tiedot yhdisteestä ja siitä nähdään myös Kommilan pumppaamon pitoisuus, joka oli 0,35 µg/l.



KUVA 40. Bisoprololipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## Atenololi

Verenpaineen madaltamiseen ja sydämen lyöntirytmien tasaamiseen käytettävää atenololia havaittiin jätevedenpuhdistamolla Akonniemessä  $0,6 \mu\text{g/l}$  pitoisuutena. Puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus oli  $0,58 \mu\text{g/l}$ , joten yhdiste ei poistunut lähes ollenkaan prosessin aikana. Jätevedenpumppaamalla Kommilassa saatiin  $0,34 \mu\text{g/l}$  pitoisuus. Pitoisuudet nähtävissä kuvassa 41.

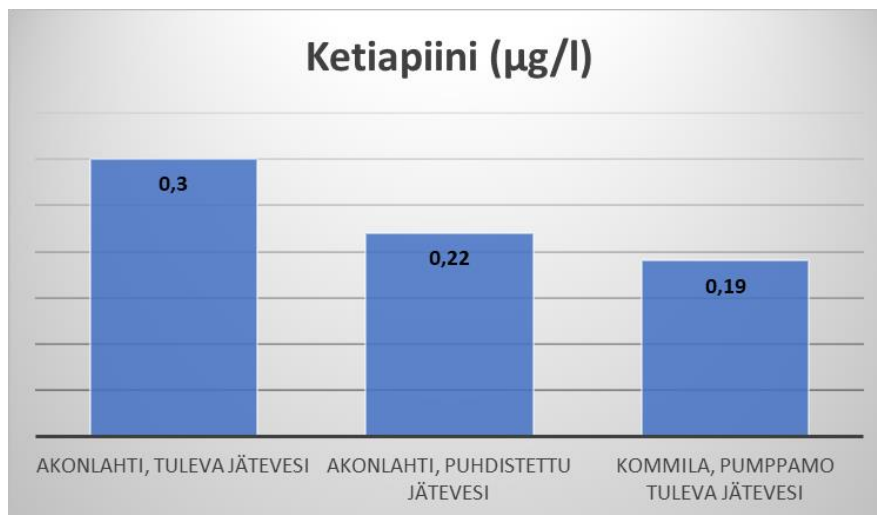


KUVA 41. Atenololipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## LIITE 5: MIELIALALÄÄKKEET

**Ketiapiini**

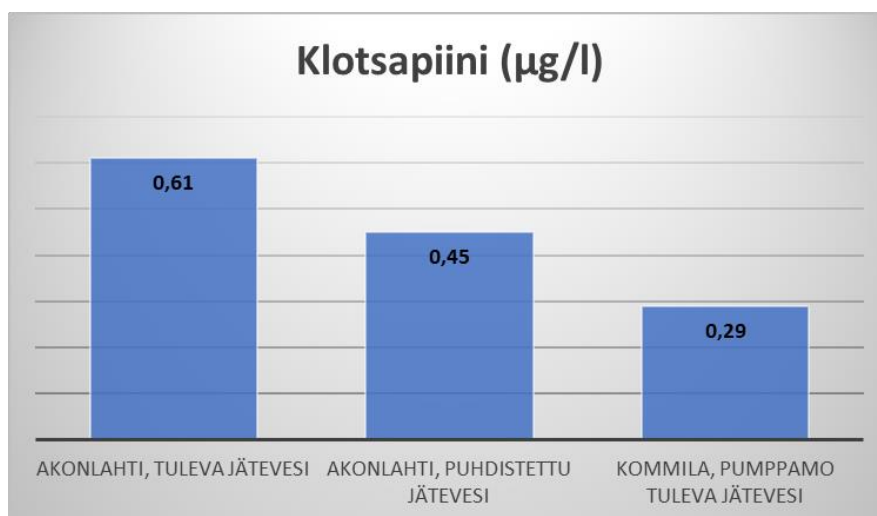
Ketiapiini on yhdiste, jota käytetään psykoosilääkkeenä. Lääkeaineen pitoisuus jätevedenpuhdistamon tulevassa jätevedessä oli 0,3 µg/l. Puhdistusprosessin aikana sen pitoisuus laski hieman arvoon 0,22 µg/l. Lähes samansuuruisen pitoisuuden mitattiin myös Kommilan pumppamolla (0,19 µg/l). Kuvasta 42 nähtävissä yhdisteen pitoisuudet.



KUVA 42. Ketiapiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Klotsapiini**

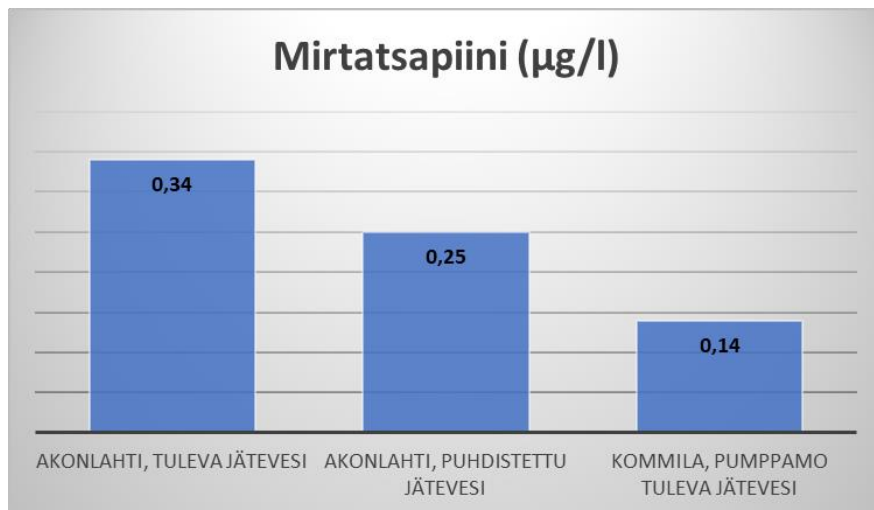
Klotsapiini on psykoosilääke, jota käytetään usein lähinnä skitsofrenian hoitoon. Yhdisteen pitoisuus jätevedenpuhdistamon tulevassa jätevedessä oli 0,61 µg/l ja puhdistusprosessin jälkeen 0,45 µg/l. Poistoteho ei siis ollut kovinkaan hyvä. Kommilan pumppamolla havaittiin hieman matalampi 0,29 µg/l pitoisuus (kuva 43).



KUVA 43. Klotsapiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Mirtatsapiini

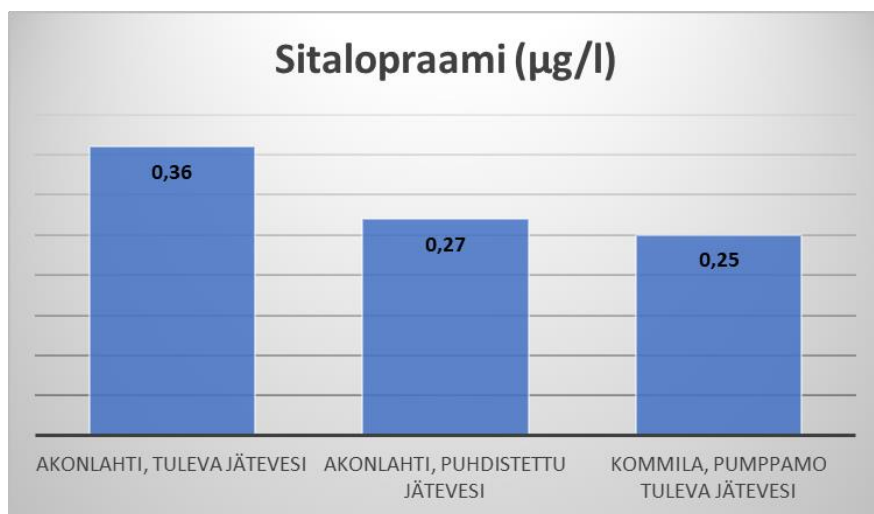
Mirtatsapiini on masennuslääkkeenä käytetty yhdiste ja sen pitoisuus Akonniemen puhdistamolla oli tulevan jäteveden osalta 0,34 µg/l. Pitoisuus laski hieman puhdistusprosessin aikana ja sen jälkeen saatiin arvo 0,25 µg/l. Kommilan pumpaamolla pitoisuus oli pienempi (0,14 µg/l). Kuvasta 44 voidaan katsoa tiedot mirtatsapiinin pitoisuuksista näytteenottopisteiltä.



KUVA 44. Mirtatsapiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Sitalopraami

Masennuksen sekä paniikkihäiriöiden hoitoon tarkoitettua sitalopraamia havaittiin tulevasta jätevedestä Akonniemessä 0,36 µg/l pitoisuutena. Kun jäteveden puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus laski arvoon 0,27 µg/l, voidaan päätellä sen poistuvan melko huonosti aktiivilieteprosessissa. Kommilasta mitattiin 0,25 µg/l pitoisuus pumppaamolta. Kuvassa 45 näkyvissä sitalopraamin pitoisuudet näytteenottopisteiltä.

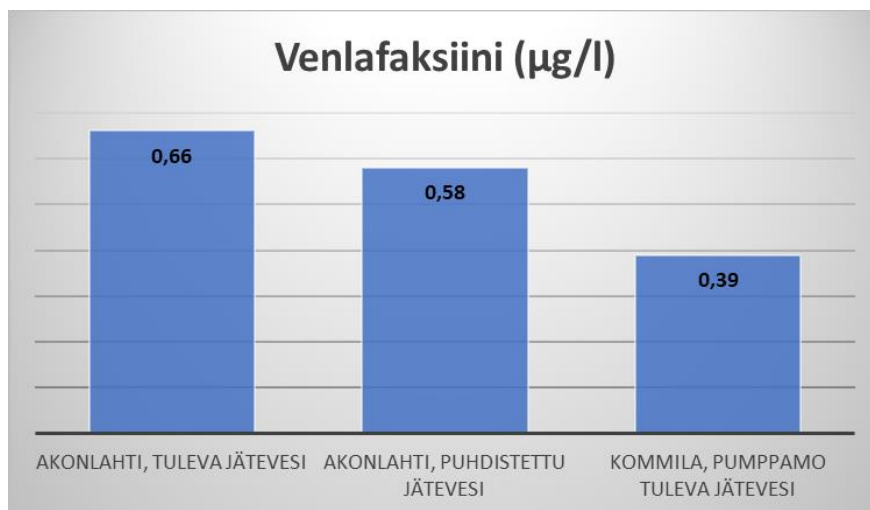


KUVA 45. Sitalopraamipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.



### Venlafaksiini

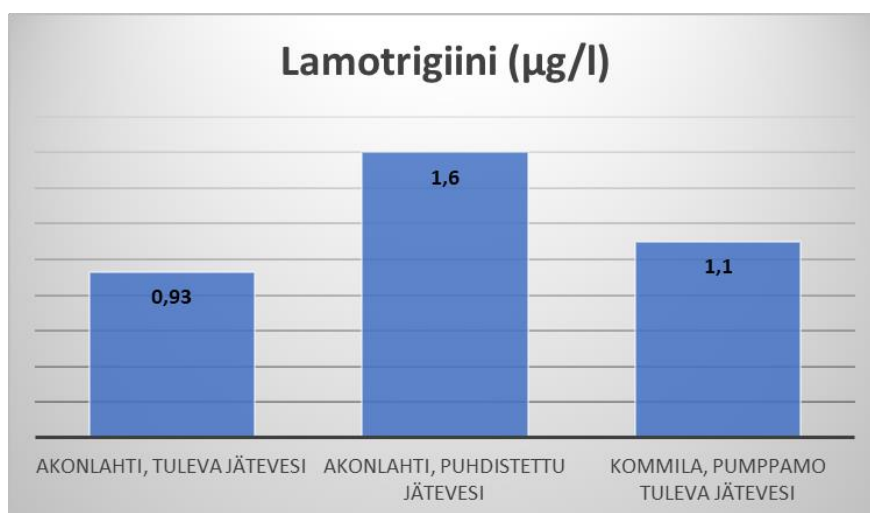
Yhdiste nimeltä venlafaksiini on masennuslääke. Siitä tehtiin pitoisuushavainnot jokaiselta näytteenottopisteeltä. Jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden pitoisuus oli 0,66 µg/l ja puhdistusprosessin aikana sen pitoisuus laski arvoon 0,58 µg/l. Poistotehokkuus ei siis ollut kyseisen yhdisteen kohdalla kovinkaan hyvä. Jätevedenpumppaamalla Kommilassa pitoisuus oli hieman pienempi (0,39 µg/l). Tiedot nähtävissä kuvassa 46.



KUVA 46. Venlafaksiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Lamotrigiini

Lamotrigiiniä käytetään epilepsian eri muotojen ja kaksisuuntaisen mielialahäiriön hoitoon. Yhdiste kasvatti pitoisuuttaan aktiivilieteprosessin aikana jätevedenpuhdistamalla. Tulevan jäteveden osalta pitoisuus oli 0,93 µg/l ja puhdistetun jäteveden kohdalla 1,6 µg/l. Kommilan pumpaamalla mitattiin pitoisuusarvo 1,1 µg/l. Kuvasta 47 nähtävissä tiedot lamotrigiinin pitoisuuksista.

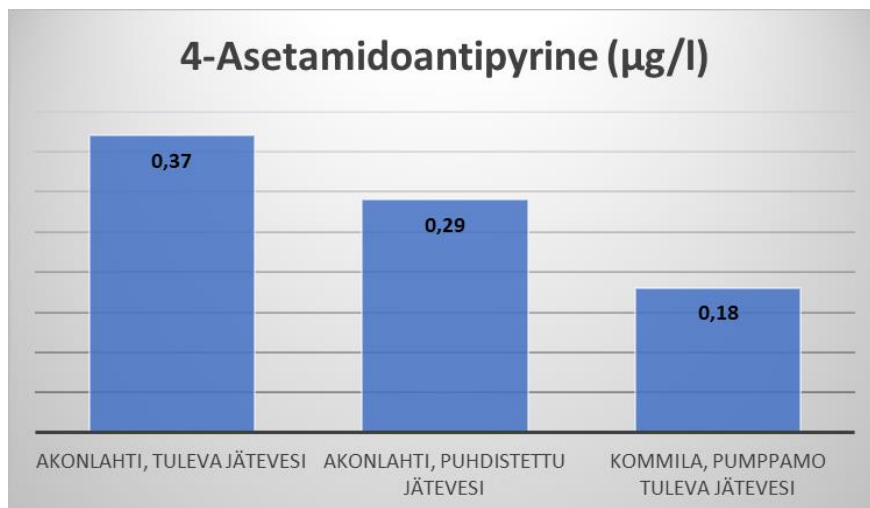


KUVA 47. Lamotrigiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## LIITE 6: MUUT LÄÄKKEET

**4-Asetamidoantipyriine**

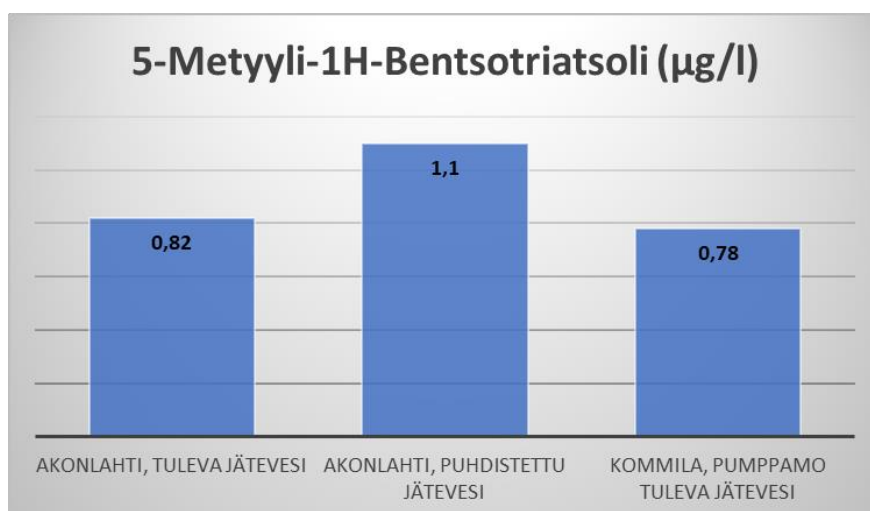
4-Asetamidoantipyriineyhdistettä havaittiin molemmista näytteenottopisteistä. Jätevedenpuhdistamon tulos oli tulevasta jätevedestä 0,37 µg/l ja kun aktiivilieteprosessin jälkeen otettiin näyte, oli tulos 0,29 µg/l. Kommilan pumppaamon pitoisuus oli 0,18 µg/l. Kuvassa 48 esitettynä pitoisuustiedot.



KUVA 48. 4-Asetamidoantipyriinepitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**5-Metyyli-1H-Bentsotriatsoli**

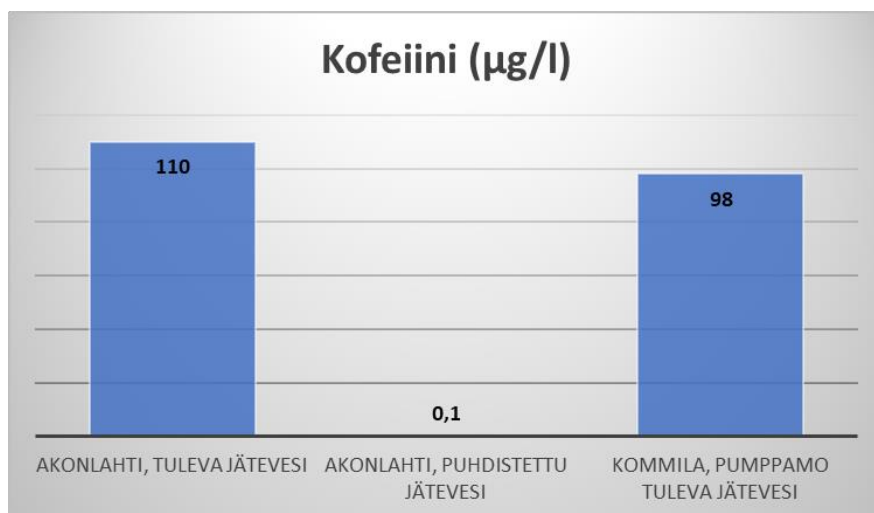
Yhdistettä nimeltä 5-Metyyli-1H-Bentsotriatsoli havaittiin jätevedenpuhdistamolta tulevan jäteveden osalta 0,82 µg/l pitoisuutena ja puhdistusprosessin läpikäynnin jälkeen pitoisuus oli kasvanut 1,1 µg/l. Kommilassa pitoisuus oli 0,78 µg/l ja kuvasta 49 voidaan tarkastella pitoisuuksia näytteenotuspisteissä.



KUVA 49. 5-Metyyli-1H-Bentsotriatsolipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## Kofeiini

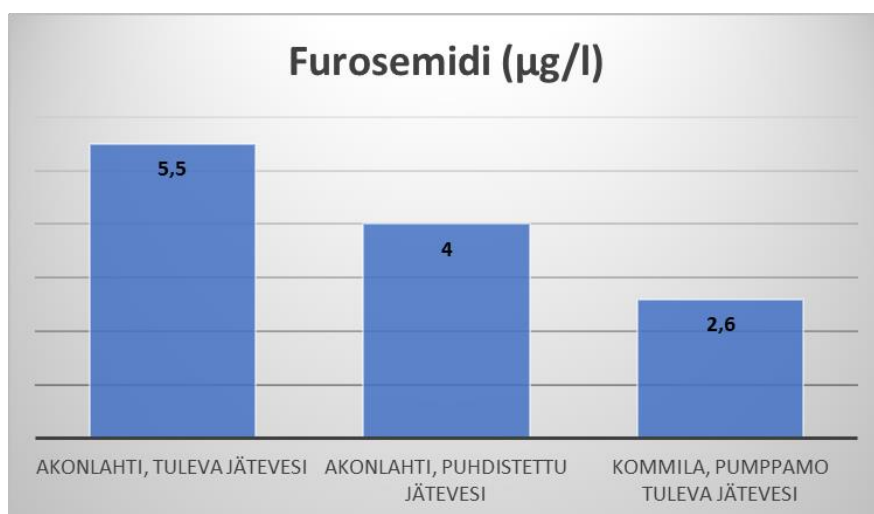
Kofeiini toimii piristeenä ja on ns. päihde, joka siis piristää kehoa. Pitoisuudet ovat todella suuria verrattuna yleisesti lääkeainepitoisuuksiin jätevedessä. Jätevedenpuhdistamolla kofeiinin pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 110 µg/l. Jäteveden puhdistuksen jälkeen havaintoa ei saatu enää, joten pitoisuus laski alle määrittäysrajan (< 0,1 µg/l). Jätevedenpumppaamolta Kommilassa mitattiin pitoisuus 98 µg/l. Kofeiini on siis yleinen yhdiste maailmanlaajuisesti ja pitoisuudet ovat suuria sen osalta jätevesissä. Kuvasta 50 voidaan tarkastella kofeiinin pitoisuustietoja.



KUVA 50. Kofeiinipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## Furosemidi

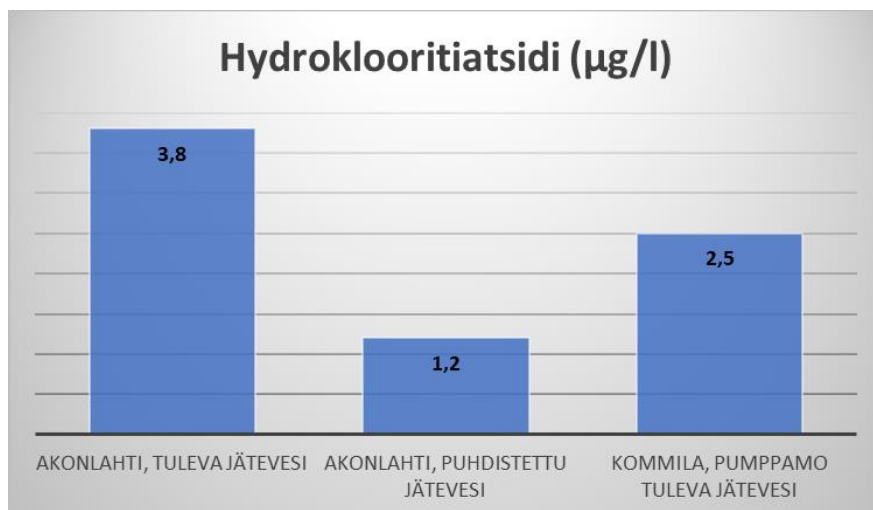
Diureettina eli nesteenpoistolääkkeenä toimivaa furosemidiä havaittiin molemmista näytteenottopaikoista. Jätevedenpuhdistamon furosemidipitoisuus oli tulevassa jätevedessä 5,5 µg/l ja aktiiviliete-prosessin eli puhdistuksen jälkeen pitoisuus oli 4 µg/l. Yhdiste ei siis poistunut kovinkaan hyvin puhdistusprosessin aikana. Jätevedenpumppaamalla Kommilassa yhdisteen pitoisuus mitattiin arvoon 2,6 µg/l. Kuvassa 51 on esitetty furosemidipitoisuudet näytteenottopaikoilta.



KUVA 51. Furosemidipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Hydroklooritiatsidi

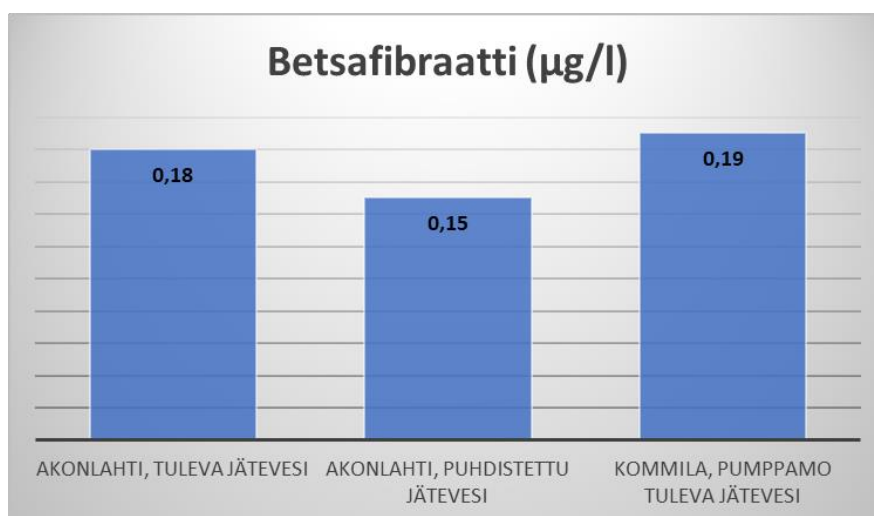
Hydroklooritiatsidi on myös diureetti eli nesteenpoistolääke. Sitä käytetään kohonneen verenpaineen ja turvotuksen hoitoon, eli se on periaatteessa verenpainelääkkeisiin kuuluva yhdiste. Kyseistä lääkettä havaittiin jätevedenpuhdistamolla tulevasta jätevedestä 3,8 µg/l pitoisuutena. Puhdistusprosessin aikana pitoisuus laski ja oli 1,2 µg/l. Sairaalan läheisyydestä Kommilan pumppaamolta mitattiin pitoisuus 2,5 µg/l. Pitoisuuksia voidaan tarkastella kuvasta 52.



KUVA 52. Hydroklooritiatsidipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

### Betsafibraatti

Betsafibraattia käytetään kolesterolilääkkeenä. Yhdistettä havaittiin pieninä pitoisuuksina molemmista näytteenottopaikoilta. Jätevedenpuhdistamon pitoisuus oli tulevassa jätevedessä 0,18 µg/l. Pitoisuus ei juurikaan laskenut puhdistusprosessin aikana ja puhdistetun jäteveden pitoisuus oli 0,15 µg/l. Kommilan pumppaamolla mitattiin 0,19 µg/l pitoisuus. Tiedot näkyvissä kuvassa 53.

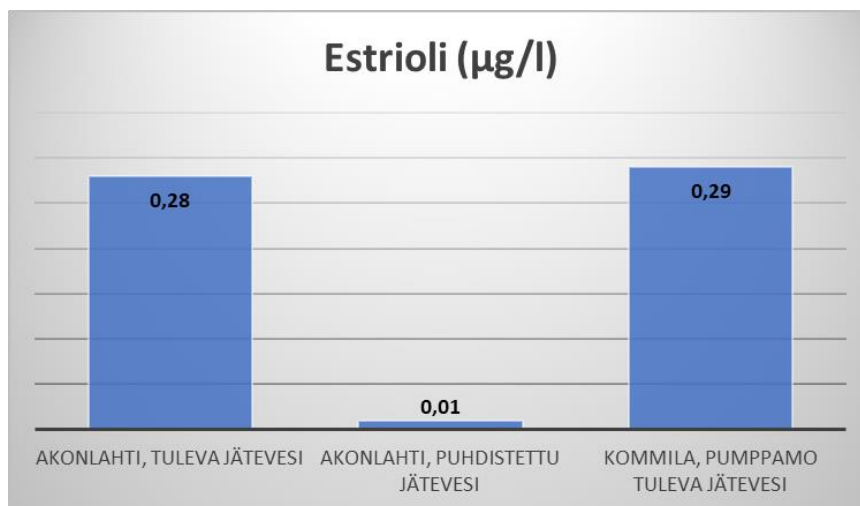


KUVA 53. Betsafibraattipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## LIITE 7: HORMONIT

**Estrioli**

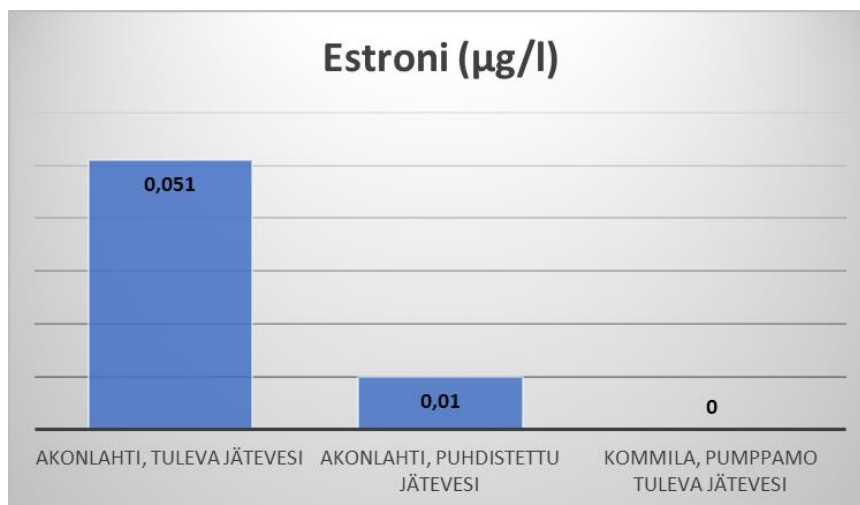
Estrogeenihormoni estriolia erittyy istukasta, eritoten raskauden aikana. Estriolia havaittiin jätevedenpuhdistamon tulevasta jätevedestä 0,28 µg/l pitoisuus. Puhdistusprosessin aikana estrioli poistui erittäin hyvin ja jäi sen jälkeisessä mittauksessa alle määritysrajan (< 0,01 µg/l). Jätevedenpump-  
paamalla sairaalan läheisyydessä Kommilassa pitoisuus oli 0,29 µg/l. Pitoisuustietoja voidaan tarkas-  
tella kuvasta 54.



KUVA 54. Estriolipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

**Estroni**

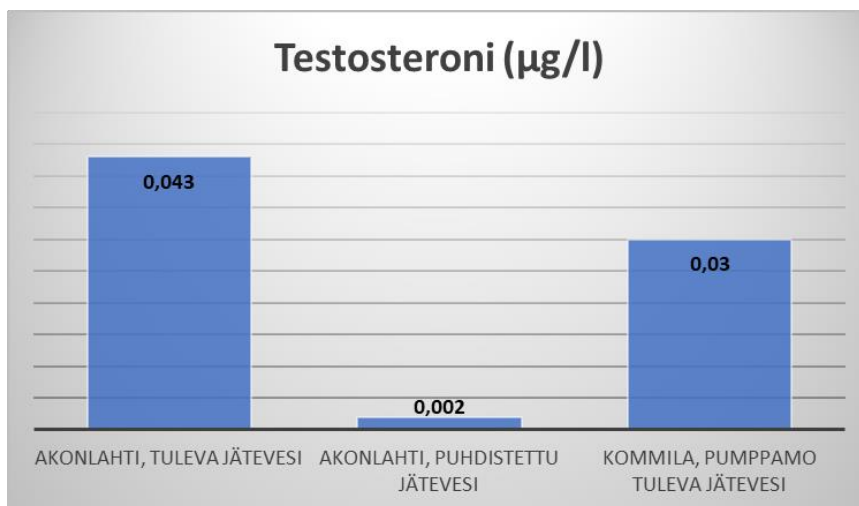
Estroni on estrogeenihormoni, jota esiintyy naisen kehossa vähiten kaikista estrogeenihormoneista. Sitä havaittiin todella pienenä pitoisuutena jätevedenpuhdistamolta Akonniemessä (0,051 µg/l). Puhdistusprosessin jälkeen pitoisuus jäi alle määritysrajan, joka oli 0,01 µg/l. Kommilan jätevedenpump-  
paamolta estronia ei havaittu. Kuvassa 55 nähtävissä pitoisuudet.



KUVA 55. Estronipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.

## Testosteroni

Sukupuolihormoni testosteronin esiintyy sekä miehillä että naisilla. Miehillä sitä esiintyy yleisesti enemmän. Jätevedenpuhdistamolla testosteronipitoisuus oli tulevassa jätevedessä 0,043 µg/l. Aktiivilieteprosessin jälkeen jätevedessä pitoisuus jäi alle määritysrajan (< 0,002 µg/l). Kommilasta mitattiin 0,03 µg/l pitoisuus, kuten kuvasta 56 voidaan tarkastella.



KUVA 56. Testosteronipitoisuudet Akonniemestä sekä Kommilasta 19.1.2021.