



■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO

Tekniikan ja liikenteen ala

# LÄÄKEAINEJÄÄMIEN KULKEUTUMINEN JÄTEVETEEN

Sanna Kylliäinen EYY13SY

KEVÄT 2021

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
OPINNÄYTETYÖ  
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Sanna Kylliäinen	
Työn nimi Lääkeainejäämien kulkeutuminen jäteveeseen	
Päiväys	1.3.2021
Sivumäärä/Liitteet	35
Ohjaaja Juha-Matti Aalto, opettaja, Savonia-ammattikorkeakoulu	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Jukka Collan, Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin ympäristöpäällikkö, KYSin kiinteistöhallinto	
Tiivistelmä	
<p>Yhdyskuntajäteveeseen kulkeutuu lääkkeitä ihmisten käyttämistä lääkkeitä. Sairaaloiden ja hoitolaitosten jäteveeseen lääkkeitä päätyy huomattavasti enemmän, runsaamman lääkekäytön myötä. Lääkeainejäämät voivat olla haitallisia ympäristölle ja eliöstölle kulkeutuessaan luonnonvesistöön. Lääkeainejäämien puhdistus jätevedestä on erittäin haastavaa lääkkeitä erilaisten ominaisuuksien vuoksi. Lääkkeitä kulkeutuessa vesistöön, niiden jäämistä tai metaboliiteista voi seurata pysyviä muutoksia esimerkiksi eliöstön lisääntymisjärjestelmään. Lääkeainejäämät ovat täten uhkana vesistöjen ekosysteemille ja eliöstön monimuotoisuudelle.</p> <p>Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää keinoja, jotka soveltuisivat KYS-sairaalan jäteveden puhdistamiseen lääkkeitä vähentämiseksi. Perehdyin KYS-jätevedestä tehtyihin lääkkeitä vähentämisen mittaustuloksiin vuosilta 2016 ja 2019 ja selvitin kirjallisuuden avulla jäteveden puhdistusmenetelmien soveltuvuutta lääkkeitä vähentämiseksi.</p> <p>Lääkkeitä voidaan vähentää jätevedenpuhdistuslietteestä kompostoimalla, mädättämällä tai kalkkistabiloinnilla. Muita keinoja lääkkeitä vähentämiseksi jätevedestä ovat mm. kalvosuodatus, eli niin sanottu MBR-tekniikka, jolla on pystytty poistamaan jätevedestä, jopa viruksia. Myös otsonointi yhdistettynä UV-säteilytykseen on todettu tehokkaaksi keinoksi ja tämä olisi oman arvioni mukaan kysin jätevedenpuhdistukseen parhaiten soveltuva puhdistuskeino. otsonoinnin etuna olisi myös se, että otsoni voitaisiin tuottaa fotokemiallisesti UV-valolla tai sähköisillä koronapurkauksilla paikan päällä, jolloin otsonia ei tartvisi kuljettaa. Otsonoinnin etuna olisi myös se, että sairaalan jäteveeseen kulkeutuvat mahdollisesti haitallisetkin virukset tai bakteerit voitaisiin desinfioida ja näin ollen eliminoida niiden kulkeutuminen eteenpäin vesisysteemissä. (Ozonotech, 2020)</p> <p>Tämän insinööriyden tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa lääkkeitä vähentämisen menetelmiä kysin jätevedestä.</p>	

Avainsanat  
Lääkeaineet, ympäristö, jätevesi, puhdistusmenetelmät, MBR, otsonointi

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Sanna Kylliäinen			
Title of Thesis The Environmental effects of Pharmaceutical residue in Waste Water			
Date	1st March 2021	Pages/Appendices	35
Supervisor(s) Mr Juha-Matti Aalto, Lecturer, Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation /Partners Mr Jukka Collan, The Environmental Chief of North Savo HealthCare District, Kuopio University Hospital			
Abstract			
<p>There is already evidence that medicine remains affect animal breeding system, especially among fishes and other water creatures. So it is clear that unwanted effects occur in the future if medicine remains end up in natural waters.</p> <p>The goal in this project was to find out if it is possible to remove the pharmaceutical remains from the waste water in the Kuopio university hospital. MBR-technology can remove even certain viruses from the waste water and it has proved to be effective when removing pharmaceuticals from the waste water. It means that waste water is led through a membrane by pressure and unwanted waste stays in the surface of the membrane. Also ozonation and UV-radiation and their combination has been used successfully to reduce the amount of pharmaceuticals.</p> <p>As a result of the thesis, the combination of ozonation and UV-radiation could be a possible way to reduce the pharmaceutical residue in the Kuopio hospital waste water. Analysing the results of the pharmaceutical measurements was also a part of this work. The measurements of pharmaceuticals from the hospital waste water were taken in years 2016 and 2019.</p>			

Keywords  
Pharmaceutical, Environment, Waste water, Residue

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tausta ja tavoitteet .....	8
1.2	Kuopion yliopistollinen sairaala.....	9
2	LÄÄKKEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA.....	10
3	LÄÄKKEIDEN AIHEUTTAMA YMPÄRISTÖKUORMA JA SEN VALVONTA.....	12
3.1	Lääkeaineiden kulkeutuminen ympäristöön.....	12
3.2	Vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden valvonta EU:ssa .....	13
3.3	Lainsäädäntö Suomessa .....	15
3.3.1	Lääkeainepäästöjen huomioiminen ympäristöluvuissa .....	15
3.4	EU:n lääkeaineiden ympäristövaikutuksien hallinnan strategia?.....	15
4	YHDYSKUNTAJÄTEVEDEN PUHDISTUSPROSESSI .....	16
4.1	Lääkeaineiden käyttäytyminen jäteveden puhdistusprosessissa.....	17
5	JÄTEVEDEN PUHDISTUSMENETELMIÄ.....	19
5.1	Aktiivihilli.....	19
5.2	Aktiivilieteprosessi ja MBR-tekniikka.....	19
5.2.1	MBR-tekniikan edut .....	20
5.2.2	MBR-tekniikan haitat .....	20
5.3	Hapetusmenetelmät eli AOP-prosessit (Advanced oxidation processes) .....	21
5.4	Otsonointi .....	21
5.4.1	Otsonoinnin vaikutus lääkeaineisiin .....	22
5.5	UV-säteilytys.....	22
5.6	Sähkökemiallinen hapetus .....	23
5.6.1	EPIC-hanke (EFFICIENT TREATMENT OF PHARMACEUTICAL RESIDUE AT SOURCE).....	23
5.7	Ultraääni ja Gammasäteily.....	24
5.8	Nano- ja ultrasuodatus.....	24
6	KYS PUIJON SAIRAALAN JÄTEVEDEN LÄÄKEAINEET .....	26
7	TARKASTELTAVAT LÄÄKEAINEET.....	27
7.1	Metformiini .....	27
7.2	Naishormonit .....	28
8	KIPULÄÄKKEET.....	31
8.1	Parasetamoli (Asetaminofeeni).....	31

8.2	Diklofenaakki .....	31
8.3	Naprokseeni ja ketoprofeini .....	32
9	ANTIBIOOTIT .....	32
9.1	Siprofloksasiini .....	32
9.2	Erytromysiini .....	33
10	YMPÄRISTÖRISKIN ARVIOINTI .....	33
10.1	P <sub>nec</sub> -arvo .....	33
11	KEINOJA LÄÄKEAINEJÄÄMIEN ELIMINOIMISEKSI .....	34
11.1	Ennaltaehkäisy .....	34
12	LÄÄKEAINEJÄÄMIEN POISTOMAHDOLLISUUKSIA KYSIN JÄTEVEDESTÄ .....	34
12.1	Otsonointi .....	35
12.2	MBR-menetelmä .....	36
13	YHTEENVETO .....	37
13.1	TULEVAISUUS .....	37
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	38

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tavoitteet

Osa lääkkeistä ja lääkkeiden aineenvaihduntatuotteista päätyy ympäristöön ihmiskehon kautta. Lääkkeet erittyvät ihmisestä pääasiassa virtsaan ja tätä kautta jätevedeen ja lopulta vesistöön. Ympäristöön kulkeutuu lääkeaineita myös tuotantoeläimistä ja lannoitekäytössä olevasta jätevesilietteestä. Tehokain tapa vähentää ympäristön lääkekuormaa on vähentää lääkkeiden tarpeetonta käyttöä. Esimerkiksi antibioottien kohdalla, turhan innokas käyttö on johtanut antibiooteille vastustuskykyisten bakteerikantojen syntyyn. Lisäksi lääkkeet tulisi aina hävittää asianmukaisesti palauttamalla ne apteekkiin.

Lääkeaineet voivat olla haitallisia ympäristölle ja eliöstölle, mutta niiden vaikutuksia pitkällä tähtäimellä on vaikea ennustaa. Lääkeaineet on suunniteltu vaikuttamaan elimistöön hyvin pienillä pitoisuuksilla, tällöin vaikutukset myös ympäristössä voivat todentua vähäisillä pitoisuuksilla. On siis tärkeää miettiä lääkeainepitoisuuksien vähentämistä jätevedestä ja pyrkiä vähentämään lääkeainejäämien kulkeutusta vesistöön. Kustannustehokkainta lääkeaineiden vähentäminen jätevedestä olisi juuri niiden suurimmilla päästölähteillä, kuten sairaaloissa ja hoitolaitoksissa sekä lääketeollisuudessa.

Lääkeaineita on yritetty poistaa jätevedestä erilaisilla keinoilla, mutta ongelmana on lääkeaineiden erilaiset ominaisuudet ja niiden vaihteleva käyttäytyminen jätevedessä. Tavoitteena on löytää kustannustehokas keino lääkejäämien poistamiseksi, mikä eliminoisi suurimman osan erilaisista lääkeaineista ja ennen kaikkea sellaiset lääkeaineet, joilla on haitallisia vaikutuksia ympäristöön ja eliöstöön. Oman haasteensa puhdistusprosessille asettaa se, että lääkeaineet voivat metaboloitua eli muuntua toiseksi yhdisteiksi jäteveden puhdistuksessa esimerkiksi bakteerien entsyymitoiminnan seurauksena. Metabolian seurauksena lääkeainetta voi olla jätevesilietteessä jopa enemmän kuin ennen puhdistusprosessia.

Lääkeaineiden vaikutuksista ympäristöön ei vielä ole riittävästi tutkimustietoa, jotta ympäristövaikutuksia voitaisiin arvioida ja ennustaa luotettavasti. Tämän vuoksi tarkastelen opinnäytetyössäni vain niitä lääkeaineita, joilla on todettuja haittoja ja joiden PNEC-arvot (vaarattomaksi todennettu pitoisuus) ylittyivät kysin jätevedessä. Tarkoitus, on myös selvittää, mitkä menetelmät olisivat kustannustehokkaita lääkeainejäämien vähentämiseksi jätevedestä ja minkälaisia menetelmiä on jo käytössä. Lääkeainejäämien poistomahdollisuus olisi hyvä huomioida uusien jäteveden puhdistamoiden ja sairaaloiden jäteveden käsittelyssä. Myös ihmisten tietoisuuden lisääminen lääkeaineiden ympäristöhaittoista olisi arvokasta, sillä osa lääkeaineista kulkeutuu ympäristöön käyttämättä jääneiden ja vanhentuneiden lääkkeiden väärinlaisen hävittämisen seurauksena, joka osin voi johtua ihmisten tietämättömyydestä. Lääkkeitä hävitetään esimerkiksi viemärin kautta tai heitetään suoraan ympäristöön, vaikka kaikki lääkeainetta sisältävät tuotteet, kuten lääkevoiteet, -liuokset ja -laastarit tulisi palauttaa aina apteekkiin, josta ne lähetetään ongelmajätelaitokselle Riihimäelle poltettavaksi.

## 1.2 Kuopion yliopistollinen sairaala

Tarkastelun kohteena tässä työssä on ensisijaisesti Kuopion yliopistollinen sairaala. Pyrkimys on selvittää mitkä lääkeaineet ovat haitallisimpia joutuessaan jäteveeseen ja löytää keinoja, jolla lääkeaineita saataisiin vähennettyä sairaalan jätevedestä.

Kys sairaalassa kertyi lääkejätettä vuonna 2019, sytostaatit mukaan lukien 20 991 kg. Lääkejätteen määrä on pysynyt viimeiset neljä vuotta lähes samoissa lukemissa. Lääkejätteeksi lasketaan myös sytostaattihoidossa käytetyt materiaalit ja työvälaineet, mikä osaltaan lisäävät kokonaisjättemäärää. Sairaalan lääkejäte ei pääse kulkeutumaan jäteveeseen, sillä se hävitetään asianmukaisesti ongelmajätelaitoksella. Kysin sairaala kulutti talousvettä vuonna 2019, 114 955 m<sup>3</sup>. Veden kulutus on noussut vuoden 2015 lukemasta 106 399 m<sup>3</sup> vuoden 2019 tulokseen vähitellen. Jätevesimäärä on käytännössä sama kuin kulutetun veden määrä. Jätevesivirtaama oli 493 m<sup>3</sup>/d vuonna 2019. Kysissä tehdään vuosittain 21 000 leikkausta ja hoidetaan 99 305 potilasta. Poliklinikkakäyntejä on 509 000 ja uusia lapsia syntyy vuosittain n. 2100. Kysin toiminnan mahdollistaa 4276 työntekijää.

(Vanninen, E: Collan, J, 2020)

Ideaalitilanteessa, lääkeaineita saataisiin poistettua sairaalan omasta jätevedestä, ennen kuin jätevesi kulkeutuu varsinaiselle jätevedenpuhdistamolle. Jätevesipuhdistamon prosessi keskittyy tällä hetkellä lähinnä fosforin ja typen poistoon, sekä kiintoaineen erotteluun.

Työn tilaaja on Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin ympäristöpäällikkö Jukka Collan KYS (Kuopion yliopistollisen sairaalan) kiinteistöhuollosta. Lääkeainepitoisuuksia on mitattu Kysin jätevedestä toistaiseksi kahtena vuotena, 2016 ja 2019 ja näiden pitoisuusmittausten analysointi on myös osa tätä työtä.

## 2 LÄÄKKEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA

Suomessa lääkkeiden käyttö on maltillista. Maailman terveysjärjestö (WHO) asetti lääkkeiden järkevän käytön keskeiseksi terveystaloudelliseksi tavoitteeksi jo 30 vuotta sitten. WHO:n määritelmän mukaan lääkkeiden järkevän käytön edellytyksenä on, että ”potilaat saavat hoidollisiin tarpeisiinsa sopivat lääkitykset omien yksilöllisten vaatimustensa mukaisina annoksina riittävän ajan ja vähäisimmin kustannuksin heille ja yhteiskunnalle”. Järkevä käyttö siis tarkoittaa, että lääkkeen käytön hyödyt punnitaan kussakin tilanteessa käyttöön liittyviä riskejä ja kustannuksia vastaan. Tämä on yhteisesti niin yhteiskunnan ja lääketeollisuuden, lääketeollisuuden, terveydenhuollon henkilöstön kuin potilaiden ja kansalaistenkin vastuulla. (Fimea, 2016)

Suomessa on myyntilupa tällä hetkellä lähes tuhannelle eri lääkeaineelle. Suomalaiset käyttävät vuosittain n. 120 000 kg ibuprofeenia (tunnetuin tulehduskipulääke Burana), josta jätevedenpuhdistamolle on arvioitu päätyvän vuosittain sellaisenaan n. 8 000 kg. Puhdistamolla lääkeaineet sitoutuvat lietteeseen, metaboloituvat tai läpäisevät puhdistusprosessin päätyen vesistöihin. Ibuprofeenia on arvioitu päätyvän vesistöihin Suomessa vuosittain n. 130 kg. Suomessa lääkeainejäämiä tarkkaillaan yhteensä yhdeksästä vesistöstä, joihin kuuluu ainakin Aurajoki, Kokemäenjoki ja Vantaanjoki. (Ikävalko, 2015)

Taulukossa 1 on esitelty Suomen 10 myydyintä lääkeainetta, joista suurin osa on biologisia autoimmuunisairauksiin vaikuttavia lääkkeitä. Autoimmuunisairauksia ovat mm. reuma, MS-tauti ja Diabetes. Immunologiaan vaikuttavien lääkkeiden valmistus ja kehittäminen on erittäin kallista, mikä selittää näiden lääkkeiden suuret kustannukset. Tupakan vieroitukseen käytettävät nikotiinivalmisteet ovat hinnaltaan kalliita. Ympäristön kannalta nikotiinin on myös haitallinen aine, sillä sitä ja muita nikotiinijohdannaisia käytetään myös hyönteismyrkkinä. Burana taas on tällä hetkellä kallein ilman reseptiä saatava tulehduskipulääke.

Taulukko 1: Suomen kymmenen myydyintä lääkeainetta vuonna 2017 (Fimea, Kela, 2018) Määrät on tilastoitu euromääräisen käytön mukaan, eikä määrällisen käytön mukaan.

Tukkumyynti tuhatta euroa	Muutos vuodesta 2016 %	Lääkeaine	Kauppanimi, käyttötarkoitus
54 532	6	Nikotiini	Nicotinell, tupakan vieroitus
43 960	-6	Adalimumabi	Humira, biologinen reumalääke
38 327	12	Infliksimabi	Remicade, biologinen reumalääke
35 080	1	Rituksimabi	Mabthera, biologinen reumalääke
33 585	16	Ihmisen norm.immunoglobuliini i.v. käyttöön	Kiovig, Privigen Eri syistä johtuvaan immunoglobuliini vajaukseen
29 064	-12	Glargininsuliini	Lantus, Diabetes, Toujeo
29 044	-2	Ibuprofeini	Burana, Ibusal, tulehduksellinen kipu,kuume
27 502	-15	Etanersepti	Enbrel, biologinen lääkereumaattiset, tulehdukselliset sairaudet
24 813	0	Trastutsumabi	Herceptin,pysäyttää syöpäsolun kasvun, rintasyöpä
24 277	-9	Hyytymistekijä VIII	Wilate, hemofilian eri muodot

### 3 LÄÄKKEIDEN AIHEUTTAMA YMPÄRISTÖKUORMA JA SEN VALVONTA

Energiatehokkaat tuotantomenetelmät ja vihreä kemia eli halu toteuttaa ympäristöystävällisiä tuotantomenetelmiä ja pyrkiä kestävään kehitykseen sekä turvallisten kemikaalien suunnitteluun ovat osa nykypäivän lääketeknologiaa. Vihreä kemia on käsitteenä tunnettu jo 1990-luvulta ja nykyisin sen periaatteita pyritään noudattamaan myös lääketeollisuudessa. Vihreän kemian tavoitteena on hyödyntää esimerkiksi luonnonaineista peräisin olevia molekyyliarakenteita lääkeaineiden suunnittelussa ja synteettisessä valmistuksessa.

Joskus lääkekehityksen päämäärä, käyttäjälleen turvallinen ja tehokas lääke, on ristiriidassa ympäristöturvallisuuden kanssa. Toivotun hoitovasteen saavuttaminen voi edellyttää ympäristölle hankalien molekyyliarakenteiden käyttöä. Molekyylihallinnus on tärkeä työkalu, jolla pyritään ennustamaan lääkeaineiden rakenteen ja aktiivisuuden suhdetta. Silti yksittäisten molekyylien reaktiivisuutta ja hajoamista ei voida täysin ennustaa, vaan ympäristöriskinarviointi perustuu useimmiten kokeelliseen tietoon molekyylien puoliintumisajoista eri ympäristöissä. Suomessa lääkeainejäämien esiintymistä ja kulkeutumista vesiympäristössä on tutkittu aktiivisesti jo yli kymmenen vuoden ajan. (Sikanen, 2016)

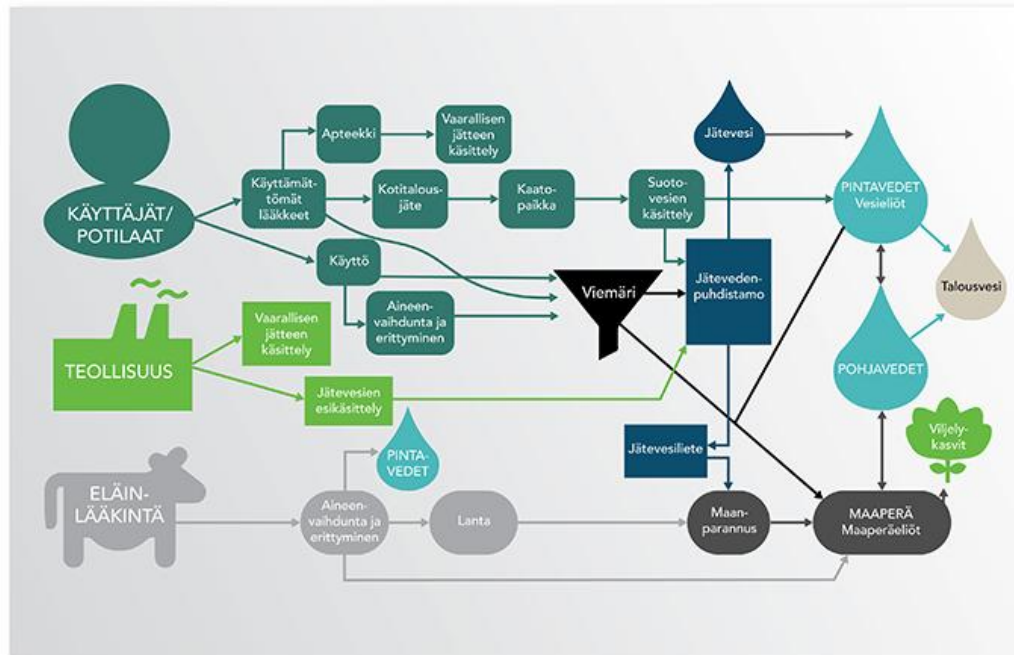
#### 3.1 Lääkeaineiden kulkeutuminen ympäristöön

Lääkeaineet ovat vieraita aineita myös elimistölle ja ne pyritään poistamaan elimistöstä joko metaboliin kautta tai suoraan erittämällä. Maksassa tapahtuva metabolaatio, pyrkii muuttamaan lääkeaineita vesiliukoisemmaksi, jolloin niistä tulee helpommin erittyviä. Metaboliolla tarkoitetaan jonkin kemiallisen yhdisteen muuttumista toiseksi. Erittyminen on yhdisteen palautumatonta poistumista elimistöstä. (Piri, Jonna, 2016)



Kuva 1: Lääkeaineiden kulkeutumisreitit ympäristöön

Kuten, kuvasta 1 voi havaita, lääkeaineita kulkeutuu vielä suoraan viemäriin merkittäviä määriä (20-40 %) ihmisen vääränlaisen toiminnan seurauksena. Lopulta lääkkeet huuhtoutuvat joko suoraan ympäristöstä vesistöihin tai niiden jäteveden puhdistusprosessin jälkeiset jäämät kulkeutuvat purkupuut-kesta luonnonvesistöön. Kuvassa 2 on huomioitu kaikki lääkeaineille mahdolliset reitit ympäristöön. Kaatopaikallekin kulkeutuu jonkun verran lääkeaineita, mutta nykyisin suurin osa sekajätteestä päätyy Suomessa poltettavaksi energialaitoksiin. Hoitolaitoksissa käytettävät vaipat sisältävät myös lääkeai-nejäämiä. Erikoista on se, että nautaeläimillä käytettyjen antibioottihoitojen aikana eläinten suolikaa-sut sisältävät enemmän metaania. Eli ympäristövaikutukset lisääntyvät myös tämän merkittävän kas-vihuonekaasun lisääntyessä. (SyKe, 2019)



Kuva 2: Yksityiskohtaiset reitit lääkeaineiden kulkeutumiselle ympäristössä (Sikanen, 2019)

### 3.2 Vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden valvonta EU:ssa

Vesistöjen vaarallisista ja haitallisista aineista säädetään EU:ssa Vesipuidedirektiivissä (2000/60/EY). Vesiympäristölle haitallisiksi todettuja aineita, ns. prioriteettiaineita pitää siis tunnistaa ja niiden määrää valvoa, sekä niiden käyttöä pyrkiä vähentämään. Prioriteettiaineita on noin 45, joihin lukeutuvat esimerkiksi bentseeni, kadmium ja naftaleeni. Ympäristölaatumormit määräävät prioriteettiaineille suurimman sallitun vuosikeskiarvon ja hetkellisen pitoisuuden pintavesissä. 10 lääkeainetta on päässyt prioriteettiainelistan sijasta tarkkailulistalle EU-komission täytäntöönpanopäätöksellä (2015/495). (Ympäristöministeriö, 2018) Nämä lääkkeet on koottu taulukkoon 2. Päivitetyltä tarkkailulistalta on poistettu diklofenaakki, koska siitä katsottiin olevan olemassa riittävästi korkealaatuista seurantatietoa VPD:n mukaisen riskinarvioinnin VPD16) toteuttamiseksi. Jätin diklofenaakin kuitenkin vielä listalle, koska sen aiheuttamista haitoista on eniten tutkimustietoa ja sen PNEC-arvo ylittyi kysin jätevedessä.

Taulukko 2: Haitallisten aineiden tarkkailulistalla olevat lääkeaineet (Miettinen, M; Äystö, L; Kauppi, S, 2020) PNEC-arvo (predicted no effect concentrations) tarkoittaa lääkeainepitoisuutta, jonka on arvioitu olevan vielä, vaaraton ympäristölle. Diklofenaakki on poistettu uusimmasta listasta (2018), mutta se oli ensimmäinen tarkkailulistan lääkeaine, joten jätin sen vielä listaan.

LÄÄKEAINE	KÄYTTÖTARKOITUS	KAUPPANIMI	PNEC-arvo ng/l
Diklofenaakki	tulehduskipulääke	Voltaren, Diclomex	*50-100
Erytromysiini	antibiotti	Abboticin	*200
Klaritromysiini	antibiotti	Klacid, Zeclar	*120
Atsitromysiini	antibiotti	Zithromax	*19
17 $\alpha$ -etinyylestradioli	ehkäisyvalmisteet	Mercilon, Evra-laastari	0,02-0,035*
17 $\beta$ -estradioli (E2)	hormonikorvaushoito	Estrena 1mg/g geeli Progynova	*0,4-20
estroni (E1)	estrogeeniaineenvaihdunnan lopputuote (luonnollinen), hormonikorvaushoito	Ovestin, paikallishoito	
Metaflumitsoni	koirien täi ja punkkihäätö, paikallisvaeluliuos	Pro-Meris Duo-Spot	
Amoksisilliini	antibiotti	Amorion, Amoxin	*78
Siprofloksasiini	antibiotti	Ciproxin	*89

\*) EU-komission PNEC-arvoja (Suomen ympäristökeskus, 2019) PNEC-arvot vaihtelivat jonkin verran eri lähteiden mukaan.

Tarkkailulistan avulla pyritään tuottamaan lisätietoa yhdisteiden esiintymisestä vesistöissä EU:n alueella. Jos seuranta-aineisto antaa aihetta, voidaan kyseinen aine lisätä VPD:n prioriteettiainelistalle, jolloin yhdisteelle asetetaan EU:n lainsäädännössä sitova ympäristölaatumnormi ja sallittu pitoisuusraja. EU-komissio laatii koko ajan strategista lähestymistapaa lääkeaineiden aiheuttamien ympäristövaikutusten pienentämiseksi. Euroopan lääkevirasto (EMA) on edellyttänyt vuodesta 2006 lähtien alkupe- räisten lääkeaineiden ja niiden biologisten hajoamistuotteiden ympäristöriskien ja biohajoavuuden (OECD) raportointia. Tarkastelun keskiössä on lääkeaineiden pysyvyys ja kertyvyys sekä vaikutukset vesieläöihin. (Sikanen, 2019)

### 3.3 Lainsäädäntö Suomessa

#### 3.3.1 Lääkeainepäästöjen huomioiminen ympäristöluvuissa

Teollisuuslaitoksille ja yrityksille myönnettyissä ympäristöluvuissa ei ole vaadittu vielä suoraan lääkeainepitoisuusseuranta tai niiden poistoa jätevedestä. Toiminnanharjoittajan on kuitenkin toteutettava toimenpiteitä, joilla vähennetään jäteveden mukana viemäriin ja edelleen jätevedenpuhdistamolle joutuvien lääkeainepitoisuuksia tai voidaan määrätä esikäsittelyjä, jotka sisältävät merkittävästi lääkkeitä tai niiden välituotteita ja jotka eivät ole puhdistamolla biologisesti hajoavia. Esimerkiksi mereen johdettavassa jätevedestä ei saisi olla oletettua haittaa meriekosysteemille. Tällä hetkellä myönnettyissä ympäristöluvuissa, lääkeainepitoisuuksille ei annettu pitoisuusrajoja, joiden ylittyessä, yritysten tulisi ryhtyä toimenpiteisiin. (Miettinen, M; Äystö, L;Kauppi,S, 2020)

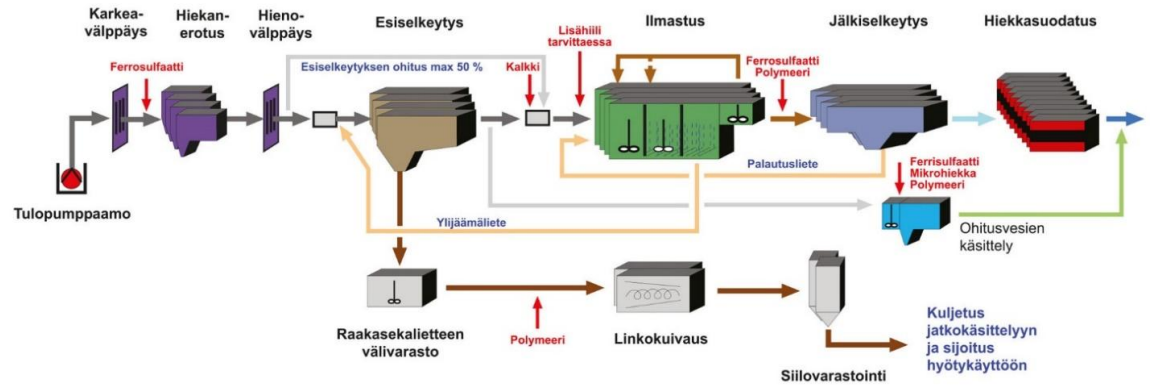
Lääkeainejäämien mahdollisia haittavaikutuksia voisi tutkia biotestauksilla, jolloin jätevettä voitaisiin testata esimerkiksi soluviljelmissä ja erilaisilla bakteereilla. Testausohjeiden pitäisi kuitenkin olla yhtenäiset, jotta ne olisivat vertailukelpoisia. Sairaaloitten ja lääketehaiden pitäisi noudattaa TJVS-sopimuksen (teollisuusjätevesisopimus) mukaista ympäristölupaa, joka korostaa ympäristönsuojelun intressiä. Nämä sopimukset ovat julkisia päästötietojen sekä ympäristön laatu- ja tilastotietojen osalta. Keräämällä tiedot ympäristöhallinnon tilastoihin, lääkeainepitoisuuksien esiintymisestä jätevedessä saataisiin tarkempaa ja vertailukelpoisempaa tietoa. (Miettinen, M; Äystö, L;Kauppi,S, 2020)

#### 3.4 EU:n lääkeainepäästöjen ympäristövaikutusten hallinnan strategia?

EU julkaisi maaliskuussa 2019 lääkeainepäästöjen ympäristövaikutuksia käsittelevän strategian. Strategiaan liittyy lääkkeiden koko elinkaari. Komissio pyrkii esittelemään toimia, joilla lääkeainepäästöjen haitallisia vaikutuksia voitaisiin pienentää. EU pyrkii parantamaan esimerkiksi lääkkeiden ympäristöriskinarviointia, lääkehävikin vähentämistä ja jäteveden käsittelyn tehostamista. Strategiaa pyritään siirtämään kansalliselle tasolle. Lisätietoja [www.ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/index.htm](http://www.ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/index.htm)

Haitallisten aineiden seuranta ja päästöjen ilmoittaminen jätevedestä perustuu Euroopan komission IPPC-direktiivin nojalla annettuun päätökseen. Päästöt kirjataan Euroopan päästörekisteriin (E-PRTR European Pollutant Release and Transfer Register), minkä tavoitteena on edesauttaa ympäristönsuojelun ja kansainvälisten sopimusten tavoitteisiin pääsemistä. (Viksten, 2017)

## 4 YHDYSKUNTAJÄTEVEDEN PUHDISTUSPROSESSI



Kuva 3: Yhdyskuntajäteveden puhdistukseen kuuluvat prosessit (Turun seudun puhdistamo Oy, 2016)

1. Kuten, kuvasta 3 voi havaita, mekaaninen puhdistus eli välppäys voi tapahtua kahdessa osassa, jossa ensin karkea välppä erottelee suuremmat roskat ja kiinteät aineet ja hienovälppä viimeistelee irtonaisten partikkelien poistamisen jätevedestä.

2. Esiselkeytyks, jossa poistetaan hienojakoisempaa kiintoainetta (ns. raakaliete)

3. Fosforin poisto ferrosulfaattilla, fosforisaostuma painuu saostusaltaan pohjalle

4. Aktiivilieteprosessi, jossa jätevesi ilmastetaan, jotta bakteerit lisääntyvät ja alkavat hajottaa eloperäistä ainetta ja samalla osa tyypestä vapautuu kaasuna ilmaan

5. Jätkiselkeytyks, liete painuu pohjalle ja puhdistettu jätevesi jää selkeytyksaltaan pinnalle, josta se johdetaan takaisin pintavesistöön, puhdistetun jäteveden jälkisuodatus on mahdollista esim. hiekan läpi.

6. Typpi poistuu pääasiassa aktiivilieteprosessissa, jossa bakteerit sekä kuluttavat typpeä, että muuttavat typpiyhdisteitä kaasuiksi.

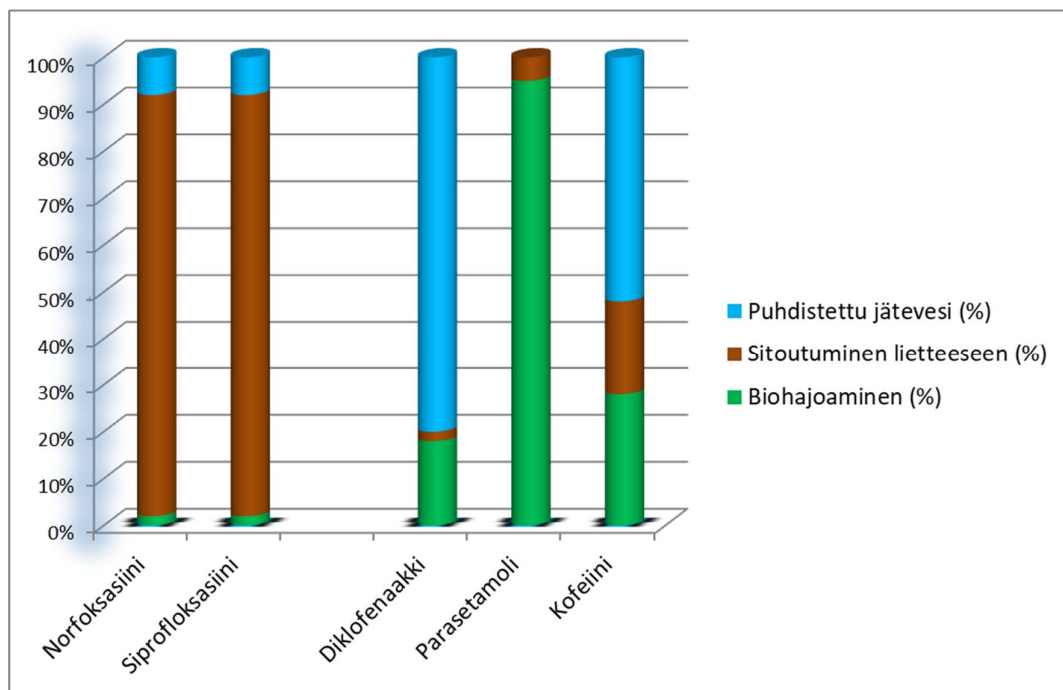
7. Lietteen mädättämisellä saadaan biokaasua ja lietteen kompostoinnilla saadaan fosforipitoisia multatuotteita maaperän lannoittamiseen. Mädätyksessä lietteen kiintoainesta häviää n. 20-50 %

8. Liete voidaan stabiloida kemiallisesti kalkilla tai ammoniakilla. Kalkkistabiloinnissa lietteen pH nostetaan 12 kahdeksi tunniksi. Ammoniakkistabiloinnissa lietteeseen lisätään ammoniakkia tai ureaa ja pH nostetaan suunnilleen tasolle 9. (Turun seudun puhdistamo Oy, 2016)

#### 4.1 Lääkeaineiden käyttäytyminen jäteveden puhdistusprosessissa

Jäteveden puhdistusprosessissa lääkeaineet voivat sitoutua lietteeseen tai biohajota. Osa lääkeaineista ei poistu puhdistamoilla juuri lainkaan ja päätyy ympäristöön jätevesien mukana. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi epilepsialääke karbamatsepiini ja tulehduskipulääke diklofenaakki. (Vieno, Niina, 2015) Parasetamoli ja ibuprofeini ovat melko hyvin biohajoavia, joten ne poistuvat jätevedestä noin 80 prosenttisesti. Toisille aineille biohajoaminen voi tapahtua vaihtelevalla tehokkuudella, riippuen eri tyyppisistä puhdistamoista. Näin tapahtuu esimerkiksi, sulfametoksatsolille ja trimetopriimille, jotka ovat antibiootteja sekä naprokseenille että ketoprofeiinille, jotka ovat tulehduskipulääkkeitä.

Lääkkeiden sitoutuminen lietteeseen johtuu sähkövarauksesta sekä hydrofobisuudesta, lisäksi molekyylipaino, pH, vesiliukoisuus, biohajoamispotentiaali ja lietteen ominaisuudet, sekä puhdistamon käytössä oleva prosessitekniikka vaikuttavat lääkeaineiden lietepitoisuuteen. (Vieno, Niina, 2015) Ibuprofeini ja diklofenaakki pyrkii sitoutumaan enemmän raakalietteeseen kuin ylijäämalietteeseen. Siprofloksasiinin ja norfloksasiinin on todettu jätevedenpuhdistamolla sitoutuvan pääosin lietteeseen. Aineet eivät ole biohajoavia, mutta poistumisen vesifaasista on havaittu olleen jopa 80 %. Kuvassa 4 näkyy esimerkiksi diklofenaakin ja parasetamolien erot sitoutumisessa lietteeseen ja näiden lääkkeiden biohajoavuuden erot.



Kuva 4: Lääkeaineiden sitoutumiseroja (Vieno, Niina, 2015) mukaillen

Parasetamolin ja naprokseenin on havaittu olevan biologisesti hajoavia myös hapettomissa olosuhteissa eli poistuvan tehokkaasti myös mädätyksessä. Diklofenaakin on todettu poistuvan mädätyksen aikana jopa > 60 %, joten se on hapettomissa oloissa biohajoava. Ibuprofeeni on jätevedenpuhdistamon hapellisissa olosuhteissa biohajoava, mutta hapettomassa mädätyksessä hajoaminen on selvästi hitaampaa. (Viksten, 2017)

Taulukko 3: Lääkeainejäämien pitoisuuksia ennen ja jälkeen mädätyksen. (Viksten, 2017)

AINE	KÄYTTÖKOHTTEET	PITOISUUDET KÄSITTELEMÄTTÖMÄSSÄ LIETTEESSÄ	PITOISUUDET MÄDÄTYSSÄ LIETTEESSÄ
Siproflokasiini	Antibiotti	2,48	2,75
Tetrasykliini	Antibiotti	2,14	1,73
Ibuprofeeni	Tulehduskipulääke	0,382	<0,1
Diklofenaakki	Tulehduskipulääke	0,168	0,088
Sitalopraami	Masennuslääke	0,190	0,111
Metoprololi	Sydän- ja verisuonitautilääke	0,069	0,103
Kofeiini	Muu lääke	1,46	0,084
Karbamatsepiini	Epilepsialääke	0,108	0,108
17a-etiynyliestradioli (EE2)	Hormoni	<0,1	<0,05
17b-estradioli (E2)	Hormoni	<0,1	<0,05
Estroni (E1)	Hormoni	<0,1	0,121
Progesteroni	Hormoni	0,064	0,356
Testosteroni	Hormoni	0,010	<0,005

Antibiottien hajoamisen on todettu olevan mädätyksessä melko vähäistä. Taulukosta 3 voi havaita, että mädätyksen hyöty lääkeainejäämien poistossa jää vähäiseksi. Taulukosta 3 voi myös havaita, että karbamatsepiinin pitoisuus ei muutu lainkaan mädätyksen aikana ja progesteronin pitoisuus jopa kasvaa mädätyksen seurauksena.

Mädätyksen jälkeen liete yleensä jälkikompostoidaan. Kompostoinnin on todettu toimivan tehokkaammin lääkeaineiden poistamiseksi. Toisaalta kompostoinnin seurauksena monet aineet voivat päätyä myös rejektiveteen, jolloin pitoisuus kompostimassassa vähenee, mutta lääkeaine on siirtynyt vesifaasiin. Kompostointi vaikuttaa kuitenkin tehokkaalta menetelmältä lääkeaineiden poistamiseksi lietteestä. Kalkkistabilointi vaikutti ainoastaan tetrasykliini-antibiootin poistumiseen merkittävästi eli johti noin 80 %:n pitoisuuden alenemaan. (Viksten, 2017)

## 5 JÄTEVEDEN PUHDISTUSMENETELMIÄ

### 5.1 Aktiivihili

Aktiivihillisuodatus on yleisin haitta-aineiden poistomenetelmä jätevedestä. Aktiivihiltä on saatavana jauheena, pelletteinä ja rakeina. Jauhemainen aktiivihili PAC sopii suuren ominaispinta-alansa vuoksi parhaiten jäteveden puhdistukseen. Viikinmäessä vuonna 2015 tehdyn aktiivihilipuhdistuksen seurauksena yksittäisen lääkeaineen pitoisuus laski keskimäärin 71,9-91,9 %. Lääkeaineiden kokonaisreduktio oli 40 % PAC-pitoisuudella 20mg/l ja viipymän ollessa 10 minuuttia. Haasteeksi muodostui kuitenkin jauhemaisen aktiivihilen talteenotto, koska pyritään hiilen uusiokäyttöön. (Vilpanen, 2018)

### 5.2 Aktiivilieteprosessi ja MBR-tekniikka

Biologinen puhdistus eli aktiivilieteprosessi hajottaa jäteveden orgaanista ainetta siinä olevien mikrobien toimesta. Biosuodattimeksi kutsutaan suodatinta, jossa aktiivilietemassa on yhdistetty suodatinmateriaalin pinnalle. Sitä voidaan nimittää myös kantoaineprosessiksi. Membraanibioreaktori yhdistää aktiivilieteprosessin ja kalvosuodatustekniikan. MBR-tekniikan avulla on mahdollista poistaa vedestä sellaisia haitallisia yhdisteitä, joita perinteisillä menetelmillä ei saa eroteltua, kuten lääkkeitä. Ravinteiden, kiintoaineen ja mikrobien puhdistaminen on tehokkaampaa membraanibioreaktorissa kuin aktiivilieteprosessissa.

MBR-tekniikassa käytettävässä kalvossa eli membraanissa on pieniä huokosia, jotka läpäisevät vettä ja pidättävät kiintoainetta sekä bakteereja, lääkkeitä ja ravinteita. MBR korvaa jätevedenpuhdistusprosessissa jälkiselkeytyksen ja hiekkasuodatuksen. Myöskään jälkidesinfointia ei MBR-metodin kanssa yleisesti tarvita.

Memraanibioreaktorissa (MBR) ilmastusaltaassa oleva vesi ajetaan puoliläpäisevän kalvon läpi. Jätevesi työnnetään kalvon läpi yleensä paine-eron avulla, joko ali- tai ylipaineella. Membraanin huokosia pienemmät partikkelit läpäisevät sen ja tätä vettä ja pienten partikkelien seosta kutsutaan permeaatiksi. Kalvon syöttöpuolelle jäävät isommat yhdisteet ovat ns. retentaattia. Tavallisessa jätevesien puhdistuksessa käytetään tyypillisesti mikro- ja ultrasuodatuskalvoja, joiden huokoskoot ovat välillä 0,01–0,4 µm. Erotustehokkuuteen vaikuttaa kalvon huokoskoko, huokoisuus ja käytetty kalvomateriaali. Luonnollisena kalvomateriaalina voidaan käyttää mm. villaa, selluloosaa tai kumia, synteettisinä kalvomateriaaleina käytetään esimerkiksi polyetyleeniamiinia, polyvinylidifluoridia ja hydroksiapatiittia. Sopivan kokoisella kalvorakenteella jätevedestä pystytään erottamaan tehokkaasti lääkkeitä ja jopa viruksia, joiden koko on n. 0,01- µm. Lääkeaineita kulkeutuu jätevedenpuhdistamoille keskimäärin 20- 29 000 ng/l ja MBR-tekniikalla puhdistetussa jätevedessä pitoisuus on korkeimmillaan 3900 ng/l. (Viksten, 2017)

### 5.2.1 MBR-tekniikan edut

- ✚ suodatettu vesi voidaan kierrättää, koska laatu on korkea (hygienisoitu)
- ✚ ei tarvita jälkiselkeytystä, hiekkasuodatusta tai UV-desinfointia -> säästöt
- ✚ kompakti rakenne, pieni tilantarve (n. 30% verrattuna perinteisiin järjestelmiin)
- ✚ moduulirakenne, helppo asentaa ja laajentaa olemassa olevia laitoksia
- ✚ orgaanisten pienhiukkasten parempi erotus

### 5.2.2 MBR-tekniikan haitat

- ✚ lisääntynyt energiantarve
- ✚ kalvojen kemiallinen puhdistus
- ✚ kalvot ovat herkkiä isommille partikkeleille

### 5.3 Hapetusmenetelmät eli AOP-prosessit (Advanced oxidation processes)

Hapetusmenetelmät, kuten otsonointi, toimivat lääkeainejäämien poistamisessa jätevedestä tehokkaasti. Hapetusmenetelmät perustuvat hydroksyyli- tai sulfaattiradikaalien tuottamiseen eri tavoilla, näillä radikaaleilla on kyky hajottaa tehokkaasti haitallisia yhdisteitä. Tämä perustuu hydroksyyli- radikaalien korkeaan hapetuspotentiaaliin. AOP-menetelmää voidaan käyttää ennen tai jälkeen biologisen prosessin. Yleisimmin käytettyjä AOP-menetelmiä teollisuuden jätevesien käsittelyssä ovat UV-säteily ja vetyperoksidin yhdistäminen sekä Fenton-prosessi. Fenton-prosessissa vetyperoksidi ja ferrirauta toimivat katalyyttinä hapettumisreaktiossa ja muodostavat nopeasti tehokkaita hapettavia radikaaleja. Fenton-prosessi vaatii kuitenkin tarkkaa pH:n säätelyä ja on siksi käytössä vain happamissa teollisuus- jätevesissä. (Viksten, 2017)

### 5.4 Otsonointi

Lääkejäämien poistaminen jätevedestä on tehokasta otsonoinnin avulla. Tällä menetelmällä saadaan poistettua jopa 75 % lääkejäämistä, mutta menetelmä saattaa olla toistaiseksi kallis. Otsonoinnin kuluista on löytynyt hieman ristiriitaisia tietoja, sillä toisaalla väitetään otsonoinnin olevan kallista ja toisaalla varsin kustannustehokasta, sekä ainakin huomattavasti edullisempaa kuin Fentonin- menetelmä. Otsonointia käytetään myös juomaveden käsittelyssä hyvin yleisesti. Otsonin suora reaktio hapettaa vedessä orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden sidoksia. Toisaalta voi tapahtua epäsuora hapetusreaktio, jolloin otsoni hajoaa ensin hydroksyyli- radikaaleiksi. Otsoni sekä hydroksyyli- radikaalit ovat kaksi vahvinta kemiallista hapetinta. Kun, pH on alle 4, hapetusreaktio tapahtuu suoran reaktion mukaisesti. Hydroksyyli- radikaalien kautta tapahtuva otsonoinnin hapetusreaktio tapahtuu yleensä pH:n ollessa 10. Neutraalissa pH:ssa molemmat reaktiot ovat tasapuolisesti mahdollisia. Otsonin hapetuspotentiaali kasvaa, kun se yhdistetään jonkin toisen hapettimen, kuten esimerkiksi vetyperoksidin kanssa. Otsonin tehokas vaikutusaika hajoitettavaan yhdisteeseen on 10-15 minuuttia. (Viksten, 2017)

#### 5.4.1 Otsonoinnin vaikutus lääkeaineisiin

Ferre Aracil työtovereineen tutkivat Espanjassa, Valenciassa keskikokoisen sairaalan jätevesien otsonointia. Sairaalan jätevesistä otettiin viisi 12 tunnin kokoomanäytettä, joista tutkittiin otsonoinnin mahdollisuuksia poistaa sytostaattisia yhdisteitä. Otsonointi tehtiin pienessä litran kokoisessa lasipintaisessa reaktorissa, jonka lämpötila pidettiin 20 °C vakiona. Otsonigeneraattoriin syötettiin puhdasta happea.

Toisen sarjan testeissä reaktioaikana pidettiin 20 minuuttia ja otsonikaasun syöttö vakioitiin tasolle 60 g/m<sup>3</sup> ja näytteeseen lisättiin vetyperoksidia (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Vetyperoksidia lisättiin otsonin määrään nähden neljällä eri suhteella (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 1:1, 1:2, 1:0,5 ja 1:3. Seurattavaksi yhdisteeksi valittiin syklofosfamidi, jonka havaittiin koeajoissa olevan vaikeimmin hajoava sytostaattinen yhdiste. Syklofosfamidin poistumat olivat kuitenkin keskimäärin 97 % ja 99 % otsonin pitoisuuksilla 43.9 ja 55.3 g/m<sup>3</sup> käsittelyajan ollessa 10 minuuttia. Nostamalla käsittelyaikaa 20 minuuttiin ja lisäämällä vetyperoksidia syklofosfamidi saatiin täysin poistettua jätevedestä. Otsonoinnin todettiin olevan taloudellisesti ja teknisesti so-piva menetelmä myrkyllisten sytostaattisten yhdisteiden poistamiseksi.

Syklofosfamidin lisäksi otsonoinnin havaittiin edesauttavan karbamatsepiinin hajoamista noin 60 % asti lämpötilassa 55 °C. Estrogeenin ja sulfametoksatsolin pitoisuuksista poistui yli 80 %. Diklofenaakin poistuma oli merkittävä, molemmissa reaktoreissa 60–80 %. Diatsepamin poistuma oli myös 50 %. Keskihajonta huomioitaessa otsonilla näytti olevan vaikutusta lääke- ja hygieniatuotteista karbamatsepiinin ja tonaliidin (hajuste, jota käytetään pesuaineissa ja hajuvesissä) poistumaan. Otsonoinnin ongelmana jäteveden puhdistuksessa on vaahtoaminen sekä kalsiumoksalaatin, kalsiumkarbonaatin ja ferrihydroksidin muodostuminen. Yhdisteet voivat tukkia reaktorin, putket tai venttiilit ja aiheuttaa vahinkoa pumpuille. (Viksten, 2017)

#### 5.5 UV-säteilytys

UV-säteily lisää vetyperoksidin tai otsonin käytön yhteydessä hydroksyyliiradikaalien muodostumista. Ultraviolettisäteily esimerkiksi hajottaa vetyperoksidimolekyylin kahdeksi hydroksyyliiradikaaliksi. Reaktion katalyyttinä voidaan käyttää titaanioksidia. Piikottavaksi tarkoitetut haitalliset yhdisteet, voivat hajota myös suoraan UV-säteilyn vaikutuksesta. UV-säteilyn ja otsonin yhdistelmä on tehokkaampi kuin UV-säteilyn ja vetyperoksidin yhdistelmä, sillä otsoni hajoaa vetyperoksidia nopeammin. Tehokkaan tuloksen kannalta otsonin tulee olla ehtinyt liueta veteen ennen UV-säteilylle altistamista. UV-lamput vaativat huoltopuhdistusta. (Viksten, 2017)

## 5.6 Sähkökemiallinen hapetus

Voimakkaan sähkövirran avulla voidaan tuottaa otsonia ja hydroksyyliiradikaaleja. Tämän tyyppisiä menetelmiä ovat esimerkiksi (Gas-phase pulsed corona discharge) PCD sekä (Dielectric Barrier Discharge) (DBD). Sähkökemiallisessa hapetuksessa sähkövirta ajetaan normaalisti varauksettomaan kaasuun, kiinteään aineeseen tai nesteeseen. Sähköpurkaukseen liittyy yleensä plasman eli sähköisesti neutraalin ionisoidun kaasun muodostuminen. Tunnetuin plasman muoto on salamointi, jolloin syntyy termistä plasmaa. Lyhytkestoisilla sähköpurkauksilla saadaan tuotettua ei-termistä plasmaa (NTP) non-thermal plasma. Sähkövirran syöttöteho on hyvä pitää pienenä, jotta lämpötila reaktorissa ei nousisi liikaa. Korkean jännitteen avulla synnytettyllä sähkövirralla voidaan poistaa vedestä haitallisia aineita ja desinfioida vettä. Vedessä korkeajännitteinen virta indusoi ei-termistä plasmareaktiota ja tuottaa otsonia sekä hydroksyyliiradikaaleja. DBD- ja PCD-prosessit ovat yleisimmät jätevedenpuhdistuksessa hyödynnetyt kylmän plasman tuotantoon perustuvat menetelmät. PCD-prosessi tuottaa 100–400 nanosekunnin pituisia korkeajännitepurkauksia. Maksimijännitetasot ovat usein 20–30 kilovoltin luokkaa.

Veden käsittely NTP:llä on lähes samankaltainen prosessi kuin otsonisaatio. Tehokkain tapa tois- taiseksi on ollut PCD, missä nano-mikrosekunnin ajan korkeajännitepulsseja johdetaan metallilankaan, jonka kierteisyys mahdollistaa sen, että lääkeaineet kertyvät maadoitettuun metallilevyyn, joka on kiinni metallilangassa. Tämä pilottitutkimus on ollut osa Epic-hanketta. (Ks. seuraava kappale.) PCD:llä saatiin merkittäviä puhdistustuloksia ja lisäksi EPIC-hankkeessa käytettiin myös ultrasuodatusta. Epic-hanke on päätynyt heinäkuussa 2019 eli on lähes uusinta saatavilla olevaa tutkimustietoa, näistä puhdistusmetodeista. (Ajo, 2018)

### 5.6.1 EPIC-hanke (EFFICIENT TREATMENT OF PHARMACEUTICAL RESIDUE AT SOURCE)

Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa ”Lääkejäämiä sisältävän jäteveden puhdistuksen tehos- taminen päästölähteillä ja lääkejätteen tehokkaampi käsittely” –hankkeessa (EPIC-hanke) pyrittiin sel- vittämään, miten ympäristössä ja sitä kautta mahdollisesti myös ravintoketjussa esiintyviä lääkejäämiä voidaan kustannustehokkaimmin keinoin vähentää. Lääkejäämien ennalta arvaamatonta ympäristö- käyttöytymistä ja -vaikutuksia ei vielä tunneta, mutta joillakin yhdisteryhmillä on osoitettu olevan hai- tallisia vaikutuksia ekosysteemeihin. Teknisesti on kustannustehokkaampaa puhdistaa lääkejäämiä nii- den alkuperäisellä päästölähteellä, kuten esimerkiksi sairaalan tai hoitolaitoksen jätevedestä kuin kun- nallisen puhdistamon jätevedestä ja lietteestä tai juomavedestä. (Äystö, Lauri, 2017)

EPIC-hanke on päätynyt heinäkuussa 2019. EPIC-hankkeessa testattiin lääkejäämien poistamiseen soveltuvia puhdistustekniikoita sekä erikseen että eri menetelmien yhdistelminä. Menetelminä olivat sähköpurkausmenetelmään perustuva haitta-aineiden hapettaminen sekä kalvosuodatus. Hankkeen toteutti Suomen ympäristökeskuksen koordinoimana FT Taina Nysten.

## 5.7 Ultraääni ja Gammasäteily

Ultraääntä voidaan käyttää tehostamaan hapetusreaktiota. Tässä, kavitaatioksi kutsutussa ilmiössä, äänen aikaan saamat paine-erot muodostavat veteen mikrokuplia. Nämä mikrokuplat tuottavat lämpöä hajotessaan ja paine-erojen ja lämpötilan ansiosta vesimolekyylit hajoavat ja alkaa muodostua hydroksyyliiradikaaleja ja reaktiivisia vetyatomeita. Ultraäänitekniikassa on käytössä taajuudet 16 kHz ja 100 MHz. Ultraäänen käyttöön voidaan yhdistää myös otsonin, vetyperoksidin tai UV-valon käyttö. Ultraääneen perustuvat hapetusmenetelmät ovat tehokkaita, toiminnaltaan yksinkertaisia ja sovellettavissa suuren mittakaavan teollisuusjätevesien käsittelyyn. (Viksten, 2017)

Korkeaenergisillä elektroni- tai gammasäteillä saadaan tehokkaasti hajoitettua vesien haitallisia aineita. Elektronikatalysaattoreilla pystytään säteilyttämään jätevesiä, jolloin vesimolekyylejä pilkkoutuu lähtöaineikseen kuten vedyksi, vetyperoksidiksi ja hydroksyyliiradikaaleiksi. Elektroni- ja gammasäteilytyksen on todettu voivan hajottaa orgaanisia yhdisteitä kuten PCB:tä. (Viksten, 2017)

## 5.8 Nano- ja ultrasuodatus

Nanosuodatus ja käänteisosmoosi ovat lääkeaineiden poistamisessa hyviä keinoja. Nanosuodatuksen avulla saadaan eliminoitua ibuprofeenia ja diklofenaakkia 60-prosenttisesti ja estradiolia 90-prosenttisesti. Käänteisosmoosissa ibuprofeeni poistuu lähes 100 % ja diklofenaakki 95 %, makrolidiantibiootit, kuten Zithromax ja Klacid (EU:n tarkkailulistalla) poistuvat myös hieman alle 100 %. Membraanibioreaktori yhdistää kalvosuodatuksen ja aktiivilieteprosessin. (Pirhonen, 2016) Myös kalvosuodatuksen ja hapetuksen yhdistelmä on todettu lääkeaineiden poistamisessa tehokkaaksi. (SyKe, 2019)

Taulukko 4: KYS-jäteveden suurimmat lääkeainepitoisuudet vuoden 2019 näytteessä. PNEC-arvolla tarkoitetaan lääkeainepitoisuutta, joka on vielä havaittu turvalliseksi ekologisen riskin kuvauksessa. Pitoisuuden ylittäessä PNEC-arvon lääkeaineen ympäristöhaitat alkavat todennäköisesti ilmentyä.

LÄÄKEAINE	KÄYTTÖTARKOITUS	KAUPPANIIMI	PITOISUUS ng/l	PNEC
				ng/l
Metformiini	diabetes	Metforem, Diformin	340 000	
Estrioli (E3)	estrogeeniaineenvaihdunnan lopputuote (luonnollinen), hormonikorvaushoito, raskaana olevat naiset	Ovestin	<90 000	0,75
Gabapentiini	neurologinen kipu, epilepsia	Gabrion, Neurontin	67 000	
Parasetamoli (Asetaminofeeni)	Kipu ja kuume	Para-Tabs, Panadol	54 000	9200 ng/l
Levetirasetami	epilepsialääke	Keppra	27 000	
Atorvastatiini	kolesterolilääke	Atorbir, Lipitor	14 000	
Norfloksasiini	antibiotti, mm. virtsatieinfektioon, silmätulehdukseen tai bakteeriripuliin	Norflox	<13 000	

## 6 KYS PUIJON SAIRAALAN JÄTEVEDEN LÄÄKEAINEET

Kuopion yliopistollisen sairaalan jätevedestä on mitattu lääkeainepitoisuuksia vuosina 2016 ja 2019. Vuoden 2019 mitatusta 78 lääkeaineesta suurimmat pitoisuudet ovat taulukossa 3 luetelluilla lääkeaineilla. Vuonna 2016 mitattiin 57 eri lääkeaineen pitoisuuksia. Näiden suurimmat pitoisuudet löytyvät taulukosta 4. Parasetamolin suuren pitoisuusvaihtelun taustalla on todennäköisesti pilkkuvirhe, mikä voisi johtua siitä, kun vuoden 2019 mittaustulosten pitoisuudet on annettu eri yksiköissä. Osa tuloksista on mikrogrammaa/l ( $\mu\text{g/l}$ ) ja osa tuloksista nanogrammaa/l ( $\text{ng/l}$ ). Tässä työssä pitoisuudet on ilmoitettu aina yksikössä  $\text{ng/l}$ , kuten myös PNEC-arvojen suosituspitoisuus on.

Taulukko 5: KYS-jäteveden 7 suurinta lääkeainepitoisuutta vuoden 2016 mittaustuloksissa.

LÄÄKEAINE	KÄYTTÖTARKOITUS	KAUPPANIMI	PITOISUUS $\text{ng/l}$	PNEC $\text{ng/l}$
Parasetamoli (Asetaminofeeni)	Kipu ja kuume	Para-Tabs, Panadol	450 000	9200
Kofeiini	kahvin aineosa, lääkekäyttö vähäistä	Cofi-tabs	300 000	87000 (Piiroinen, 2020)
Iopamidoli	matala osmolaarinen varjoaine	Iopamidoli 370 mg	270 000	
Ibuprofeini	Erilaiset kiputilat: mm. tulehduskipu ja kuume	Burana, Ibusal, Ibumax	59 000	5 milj. (Piiroinen, 2020)
Siprofloksasiini	Erilaiset hengitystieinfektiot, virtsatieinfektiot	Ciproxin, Ciprofloxacin Orion	20 000	89 Siprofoksasiini sitoutuu vahvasti kiintoaineeseen, joten sen riski vesiympäristölle ei ole vahva
Naprokseeni	Erilaiset kiputilat: mm. tulehduskipu ja kuume	Naprometin, Miranax ja Pronaxen	15 000	1900
Furosemidi	Nesteen poisto, sydämen vajaatoiminnassa tai korkeassa verenpaineessa	Furesis, Vesix	9300	700

## 7 TARKASTELTAVAT LÄÄKEAINEET

Haastavia lääkeaineita ympäristölle ovat stabiilit ja vesiliukoiset molekyylit, jotka kulkeutuvat lopulta pohjavesiin. Stabiilit, rasvaliukoiset molekyylit rikastuvat lietteeseen. Yksittäisen lääkeainemolekyylin reaktiivisuutta ja hajoamista ei kyetä ennakoimaan, vaan ympäristöriskien arviointi perustuu useimmiten kokeelliseen tietoon molekyyliden puoliintumisajoista eri ympäristöissä. Vaikuttavat aineet voivat muuntua elimistön metabolian seurauksena faasin I hapetus- ja pelkistystuotteiksi ja nämä edelleen faasin II konjugaatiotuotteiksi. Näin yksi vaikuttava lääkeaine saattaa käyttäytyä ja esiintyä jätevesissä eri muodoissaan eri tavoin ja jäteveteen erittyvän lääkeainemetaboliitin pitoisuus voi olla jopa suurempi kuin alkuperäisen lääkeaineen pitoisuus.

Metaboliittipitoisuuksien selvittäminen on työlästä ja perustuu usein tandem-massaspektrometriseen havainnointiin. Se edellyttää, että sekä vaikuttavista aineista että metaboliiteista on kaupallisesti saatavilla sisäiset standardit, jonka mukaan pitoisuuksia voidaan selvittää. (Sikanen, 2016)

Olen valikoinut joitakin lääkeaineita tarkempaan tarkasteluun sen mukaan, miten paljon niiden vaikutuksista on ollut saatavilla tietoa tai mitkä ovat EU:n tarkkailulistalla. Lääkeaineiden ympäristövaikutukset ovat vielä suurelta osin arvailuja, koska käyttäytyminen jätevedessä voi muuttua ja eri lääkeaineiden yhdistelmät ja muut jätevedessä olevat kemikaalit saattavat muuttaa käyttäytymistä haitalliseen muotoon tai toisaalta edistää lääkeaineiden hajoamista. Koska jätevesi kuitenkin sisältää jatkuvasti lääkeaineita, on pitoisuuksien vähentäminen kuitenkin tarpeellista, jottei jatkuva kuormitus saa aikaan pysyviä haittoja eliöissä ja ympäristössä. Myös satunnaisen lääkeainekuorman vaikutus voi olla eliöstön hyvin erilainen, kuin jatkuva kuorma, johon ympäristö vähitellen sopeutuu. Mikrobiston sopeutuminen esimerkiksi jatkuvalla antibioottipitoisuudelle voi edistää resistenssibakteerien kehittymistä.

### 7.1 Metformiini

Metformiinia käytetään peruslääkkeenä tyypin 2 diabeteksen hoitoon. Se kuuluu biguanidin lääkeryhmään ja vaikuttaa diabetekseen kolmella mekanismilla: rajoittamalla maksan glukoosin tuotantoa, lisäämällä insuliiniherkkyttä lihaksissa parantamalla glukoosin soluun ottoa sekä hidastamalla glukosin imeytymistä suolistosta. Ensimmäinen metformiinia sisältävä lääkeaine tuotiin markkinoille jo vuonna 1957 Ranskassa kauppanimellä Glugophage. KYS:llä käytössä on kauppanimet Diformin retard sekä Oramet. Metformiini erittyy muuttumattomana virtsaan, mikä selittää jätevedessä esiintyvän suuren pitoisuuden 340 000 ng/l. Eliminaation puoliintumisaika on 6,5h. Metformiinista ei ihmiselimistössä muodostu metaboliitteja, mutta se ei sulje pois mahdollisuutta lääkeaineen muuntumisesta ympäristössä. (Lääkätietokeskus, 2016) Metformiinin on todettu aiheuttavan koiraskaloissa feminisoitumista ja näin ollen hankaluuksia lisääntymisessä.

## 7.2 Naishormonit

Kys:n jätevedestä vuonna 2019 mitattu estriolin pitoisuus oli yli 90 000 ng/l ja on arvioitu, että ympäristölle tästä hormonista on haittaa jo pitoisuudella 0,75 ng/l (PNEC). Synteettisiä estrogeenejä eli ksenoestrogeenejä löytyy lääkaineiden lisäksi kosmetiikkatuotteista, aurinkorasvojen UV-suodattimista, muovin pehmentimistä ja joistakin torjunta-aineista. Myös sairaalan infuusioletkuissa käytetyt muovinpehmentimet, kuten bisfenoli A ja ftalaatit ovat olleet synteettisten estrogeenien lähteenä. (Karmitsa, Eeva, 2016)

Konkreettisia muutoksia estrogeenien vaikutuksesta on jo havaittu. Esimerkiksi dosentti Markus J. Rantalan mukaan siika-kalojen sukupuolen erottaminen on jo vaikeutunut. Aiemmin vain koirailta oli kutukyhmyt, mutta nykyään kutukyhmyt löytyvät myös naarailta. (Pelkonen, 2013)

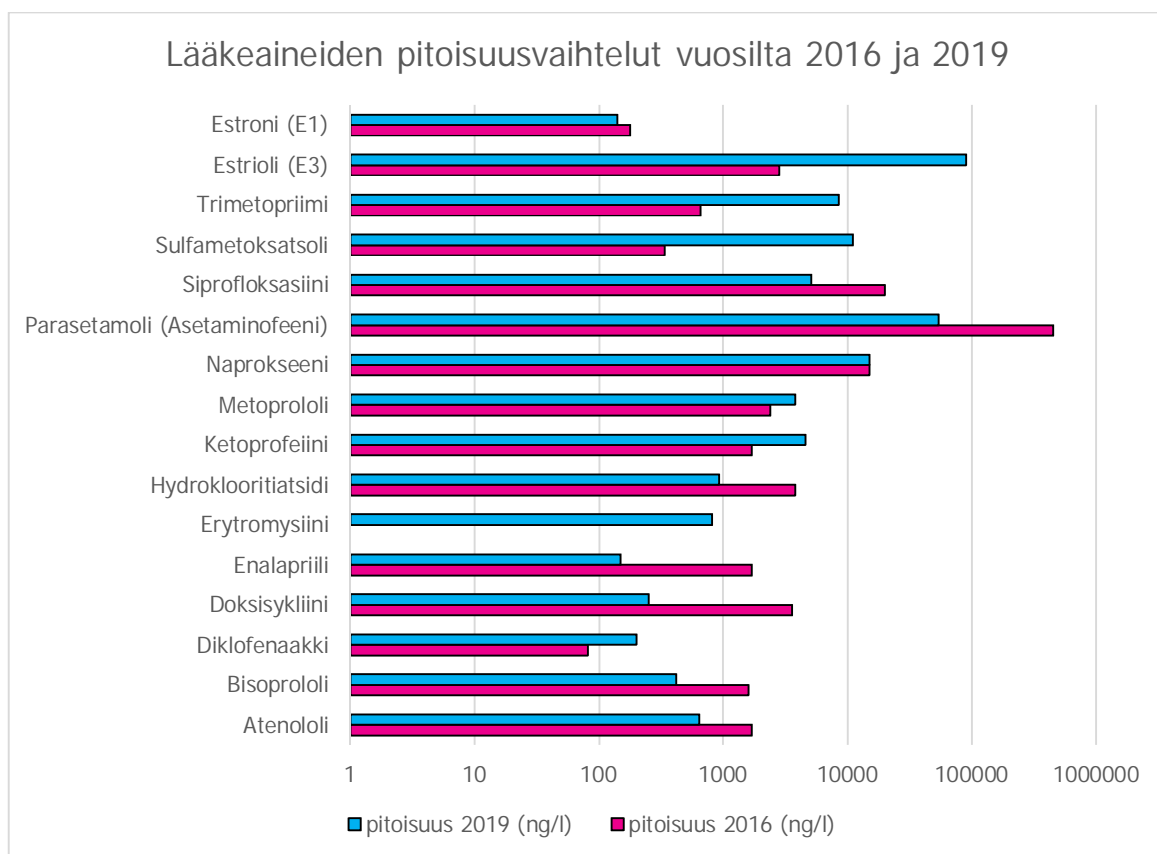
Myös EU:n tarkkailulistalta löytyvät hormonit 17-alfa-etinyyliestradioli, 17-beeta-estradioli (E2), Estroni (E1) ja kysin jätevedestä löytynyt estrioli (E3) ovat biohajoavia erityisesti hapellisissa olosuhteissa. Hajoamisen seurauksena hormonit voivat kuitenkin muuttua toisikseen, joten niiden poistumisen seuranta voi olla hankalaa. Vain noin 5 % näistä hormoneista sitoutuu lietteeseen. Estrogeenien sitoutuminen lietteeseen on tehokkainta silloin, kun pH on 7-8. (Vieno, Niina, 2015)

Luonnollisen hormoniaineenvaihdunnan lopputuotteen eli Estriolin (E3) määrä jätevedessä on lisääntynyt merkittävästi. Määrän lisääntymiseen voi olla monia syitä. Yksi syy voisi olla mahdollinen kumuloituminen tai estrogeenien muuntuminen eri muotoihin ja lopulta tähän luonnollisena pidettyyn muotoon. Naishormonit päätyvät jätevetteen yleensä inaktiivisessa muodossa eli ilman estrogeenistä vaikutusta, mutta muuntautuvat aktiiviseen muotoon beeta-glukuronidaasi entsyymin vaikutuksesta. Tätä entsyymiä erittää, esimerkiksi ihmisen normaaliflooraan kuuluva *Escherichia Coli*-bakteeri. (Ajo, 2018)

Taulukko 6: Pitoisuusvertailu kys:n jäteveden lääkeainemittauksista vuosilta 2016 ja 2019  
 Merkitty ±, jos lääkeaine löytyy EU-komission tarkkailulistalta ja keltainen yliviivaus, kun PNEC-arvo  
 ylittyy. Värien selitykset

verenpainelääke
kipulääke
antibiotti
hormoni

Lääkeaine	pitoisuus 2016 (ng/l)	pitoisuus 2019 (ng/l)	PNEC-arvo
Atenololi	1700	640	
Bisoprololi	1600	420	
Diklofenaakki	81	200	100 + (2018 tarkkailulista)
Doksisykliini	3600	250	310-16 000
Enalapriili	1700	150	
Erytromysiini		820	200 +
Hydroklooritiatsidi	3800	920	
Ketoprofeini	1700	4600	15 600
Metoprololi	2400	3800	
Naprokseeni	15 000	15 000	21 200
Parasetamoli (Asetaminofeeni)	450 000	54 000	9200
Siprofloksasiini	20 000	5100	+ 89
Sulfametoksatsoli	340	11 000	310-16 000
Trimetopriimi	660	8500	310-16 000
Estrioli (E3)	2800	90 000	0,75
Estroni (E1)	180	140	+



Kuva 5: Lääkeaineiden pitoisuusvaihtelut kysin jätevedestä vuosina 2016 ja 2019 logaritmisessa kuvaajassa

Vuoden 2019 pitoisuusmittaustulokset on saatu 5.4.2019 ja 2016 tulokset kesäkuun ensimmäinen päivä 2016. Voidaan olettaa, että kevään mittauksissa myös sulamisvesiä päätyy enemmän näytteenottokohtaan, jolloin mittaustulokset ainakin teoreettisesti olisivat pienempiä. Tämä kuitenkin on vain olettaus ja sen vaikutussuuruutta mittaustuloksiin on vaikea arvioida. Nämä 15 lääkeainetta on poimittu pitoisuusvertailuun, koska näiden lääkeaineiden pitoisuudet ovat ylittäneet määräysrajan ja mittaustulos on saatu molempina vuosina. Erytromysiini on otettu listalle, koska se on Euroopan komission tarkkailulistalla. Toisaalta osa tuloksista voi olla myös mittausvirheitä. Vuoden 2016 tuloksissa on mainittu 30 % mittausepävarmuus.

## 8 KIPULÄÄKKEET

### 8.1 Parasetamoli (Asetaminofeeni)

Parasetamoli on yleisesti käytetty kipulääke, jota voidaan käyttää myös alentamaan kuumetta. Sillä ei ole tulehdusta poistavaa vaikutusta, toisin kuin ns. tulehduskipulääkkeillä joihin kuuluvat esimerkiksi diklofenaakki, naprokseeni, ketoprofeini ja ibuprofeini.

Euroopassa keskimääräinen käyttö parasetamolille on 320 mg/d per 1000 käyttäjää kohden, kun Aasiassa käyttömäärä on 10–18 g/d per 1000 käyttäjää kohden. (Kosma et al., 2010).

Parasetamoli hakeutuu ja kumuloituu sedimenttiin, jopa nopeammin kuin pintavesiin. Etelä-Korealaisesta näytteestä, joka otettiin Masan lahdelta, yli puolessa otetuista sedimenttinäytteistä parasetamolipitoisuus oli 2,2 ng/g.

Parasetamolilla on toksista vaikutusta sekä ihmiseen että eliöstöön. Se aiheuttaa DNA-vaurioita, rasvojen oksidatiivista pilaantumista ja solunsisäisten proteiinien denaturaatiota. Haitat vaihtelevat altistumisen keston ja pitoisuuden mukaan. Vaikutuksia kaloihin voi ilmetä pitoisuudella 372 mg/l altistuksen ollessa noin 48 h. (Hoang Nhat Phong Vo, 2019)

Kysin jätevesimittauksessa parasetamoli sai arvot 450 000 ng/l (2016) ja 54 000 ng/l (2019). Parasetamolien käyttö sairaalassa ei ole muuttunut kolmen vuoden aikana mihinkään, joten epäilen, että kyseessä on joko mittavirhe tai pilkkuvirhe. Osa vuoden 2019 mittaustuloksista on esitetty yksikössä ng/l ja osa µg/l. PNEC-arvo kuitenkin kummassakin tuloksessa ylittyy reippaasti. Edelleen parasetamoli on varmasti sairaalan käytetyin kipulääke. Apteekin myyntitilastoista on mahdollista laskea grammamääräinen kulutus eri parasetamolivalmisteille vuositasolla, mutta se vaatii ampulli ja tablettimäärien muuttamista grammatasolle 19 eri parasetamolivalmisteesta. Suonen sisäisesti annosteltavaa 1000 mg:n annosta oli kysissä käytetty vuonna 2019, 35 096 kpl eli n. 35 kg ja 177 222 kpl 1000 mg:n tablettia eli n.177 kg. Kuten kuvasta 4 voi todeta, parasetamoli on hyvin biohajoava. Sen biohajoavuusprosentti on 80. Parasetamolipitoisuus jätevedessä on kuitenkin hyvin suurta, koska sen käyttö on runsasta ja jatkuvaa, tällöin sen pitoisuudenkin voidaan arvioida olevan suuri, vaikkakin biohajoamista tapahtuu koko ajan.

### 8.2 Diklofenaakki

Diklofenaakki on tehokas tulehuskipulääke, jota käytetään mm. reumakipuun ja tulehduksellisiin kiputiloihin.

Intiassa ja Pakistanissa diklofenaakilla lääkittyjen nautojen raatoja oli päätynt korppikotkien syötäväksi ja tämä johti näiden petolintujen joukkokuolemaan 1990-luvulla. Jo hyvin pieninä pitoisuuksina diklofenaakki alkaa kerryttää virtsahappoa lintujen plasmaan, mikä johtaa munuaisten vajaatoimintaan ja kuolemaan jo muutamassa päivässä. Nykyisin diklofenaakin käyttö on kielletty eläimillä Intiassa

ja Pakistanissa. (Virtanen, 2016) Lisäksi diklofenaakki voi aiheuttaa solumuutoksia kalojen munuaisissa, maksassa ja kiduksissa. Diklofenaakin PNEC-arvo on 100 ng/l (Piri, Jonna, 2016)

Diklofenaakin käyttö kysin sairaalassa ei ole lisääntynyt viime vuosina. Useimmiten sen käyttö kivun hoidossa korvataan Ibuprofeiniinivalmisteella lääkkeiden vastaavuustaulukon mukaisesti. Mittaustuloksissa ei kuitenkaan näy käytön kehityskulku.

### 8.3 Naprokseeni ja ketoprofeiini

Vuonna 2010 Suomessa kulutettiin noin 1000 kg naprokseenia ja käyttö on ollut lähes saman suuruista vuodesta 2002 lähtien. (Brozinski, Jenny-Maria, 2012) Kysillä naprokseeni useimmiten korvataan ibuprofeiinilla sen samankaltaisten ominaisuuksien vuoksi. Erikoista mittaustuloksissa on se, että molempien vuosien mittauksissa tulos on täsmälleen sama.

Ketoprofeiini on käyttötarkoituksiltaan lähes samankaltainen naprokseenin kanssa. Molempia käytetään tulehduksellisiin kiputiloihin sekä kuumeen alentamiseen. Ketoprofeiinin käyttö on vähentynyt viime vuosina kysissä. Eikä se enää kuulu sairaalan peruslääkevalikoimaan.

## 9 ANTIBIOOTIT

Antibioottiresistenssin kehittyminen on yksi lääkeaineiden aiheuttama merkittävä uhka ympäristölle ja myös ihmisille. Antibioottiresistenssillä tarkoitetaan tilannetta, jossa bakteerit altistuvat pienelle määrälle antibioottia esimerkiksi vesistöissä ja sopeutuvat elämään sen läsnä ollessa, jolloin antibiootti ei pysty enää tuhoamaan bakteeria, vaikka lääkkeen pitoisuutta nostettaisiinkin. Otollisen ympäristön resistenssin kehittymiselle tarjoaa myös aktiivilieteprosessi, jossa useat bakteerit altistuvat jatkuvasti useille eri antibiooteille. (Vieno, Niina, 2015) Lääkeaine voi metaboloitua eli muuttaa muotoaan ja aktiivisuuttaan vielä elimistön ulkopuolellakin kemiallisen hajoamisen seurauksena tai pieneliöiden vaikutuksesta. (Piri, 2016)

Intian lääketehdaskeskittymässä Hyderabadin alueella tehtaiden jätevedet sisältävät hyvin paljon mikrobilääkkeitä (jopa 31 mg/l). Alueen jokisedimenttien mikrobistossa on todettu myös mikrobilääkeresistenssiä. (Brozinski, Jenny-Maria, 2012)

### 9.1 Siprofloksasiini

Siprofloksasiini on Euroopan komission tarkkailulistalla. Vaikka, sen PNEC-arvo ylittyykin reilusti, se on ominaisuuksiltaan vahvasti kiintoaineeseen sitoutuva, joten vesiympäristölle tuleva haitta ei ole suoranaisesti sellainen, kuin arvojen perusteella voisi olettaa. (Suomen ympäristökeskus, 2019) Siprofloksasiinia käytetään hengitystie- ja virtsaelininfektioissa. Kuvasta 4 voi havaita kiintoaineeseen sitoutumisen olevan n. 85 %

## 9.2 Erytromysiini

Erytromysiiniä käytetään erityisesti hengitystieinfektioihin, silloin, kun potilas on penisilliiniyliherkkä, käyttöaiheita ovat myös hinkuyskä ja mykoplasman aiheuttama keuhkokuume sekä stafylokokki-infektiot. Janusinfo-sivuston mukaan erytromysiini on kohtalaisen pysyvä ja akuutisti toksinen. Kuitenkin tieto ympäristövaikutuksista on varsin vähäistä.

# 10 YMPÄRISTÖRISKIN ARVIOINTI

## 10.1 Pnec-arvo

Pnec-arvot vaihtelevat eri lähteiden mukaan ja niiden määrittämiseksi tulisi olla käytössä useampia tutkimustuloksia. PNEC-arvo lasketaan lääkeaineen ekotoksisuustestien tulosten perusteella. Testeissä määritetään lääkeaineen vesieliöille (levä, vesikirppu, kala) aiheuttamia vaikutuksia. Ekotoksisuustesteistä saaduista tuloksista lasketaan pienimmän NOEC-tuloksen (no-observed-effect-concentration) ja arviointikertoimen avulla aineen PNEC-arvo. Arviointikertoimena käytetään lähtökohtaisesti arvoa 1000.

Vaaraluokittelussa lääkeaineelle lasketaan indeksiarvo, joka voi olla välillä 0–9. Indeksiarvo muodostuu kolmen mitattavan ominaisuuden summasta. Pysyvyydelle (P) ja biokertyvyydelle (B) annetaan joko arvo 0 tai 3 ja toksisuus (T) voi saada arvon 0–3. Mitä suurempi indeksiarvo lääkeaineella on, sitä suurempaan pidetään sen ympäristölle aiheuttamaa vaaraa. Vaaran arviointi yhdessä riskin arvioinnin kanssa julkaistaan janusinfo-sivustolla. (Suomen ympäristökeskus, 2019)

Vaikka siis monenkin lääkeaineen pNEC-arvo ylittyy mittaustuloksissa, niin yksiselitteisesti ei voida todeta, että lääkeainepitoisuudesta olisi suoranaista vaaraa ympäristölle. On kuitenkin huomioitava, että lisääntyvän antibioottiresistenssin välttämiseksi pienetkin antibioottijäämät voivat olla haitallisia joutuessaan luonnonympäristöön.

## 11 KEINOJA LÄÄKEAINEJÄÄMIEN ELIMINOIMISEKSI

Lääketeollisuuden, terveydenhoitolaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden tulisi seurata lääkepäästöjään, ja päästöille pitäisi asettaa raja-arvot. Lääketeollisuuden ympäristöluvissa tulisi velvoittaa laitokset tekemään lääkepäästöjen laitoskohtainen riskinarviointi ja raportoimaan sen tulokset ja käytetyt menetelmät. Lääkepäästöjen ympäristövaikutukset pitäisi sisällyttää lääkkeen hintaan. Pitäisi myös selvittää, miten ne voitaisiin ottaa huomioon lääkekorvausjärjestelmässä. Maanparannusaineena käytettävän lannan lääkeainepitoisuuksia ja niihin liittyviä ympäristöriskejä tulisi selvittää. (SyKe, 2019)

### 11.1 Ennaltaehkäisy

Tärkeimpiä keinoja lääkeainejäämien pienentämiseksi on lääkeaineiden ympäristöön kulkeutumisen ennaltaehkäisy. Tulee huolehtia siitä, että lääkeaineita kulkeutuu jäteveden mukana mahdollisimman vähän luonnon vesistöihin. Vanhentuneet ja käyttämättömät lääkkeet tulee hävittää asianmukaisesti, vaikka kyseessä olisi kuinka pieni määrä. Esimerkiksi lääkelaastoreissa lääkeainepitoisuudet pysyvät pitkään ja vaikuttavaa ainetta voi olla käytön jälkeen vielä lähes puolet alkuperäisestä pitoisuudesta.

Apteekkeihin voi palauttaa kaikki lääkkeet, rohdosvalmisteet ja lääkevoiteet sekä esimerkiksi insuliini-neulat, jotta ne eivät aiheuta pistovaaraa jätteenkäsittelyssä. Lääketeollisuuden tulee kantaa vastuunsa kolmansissa maissa sijaitsevista tehtaistaan ja estää niiden lääkeainepäästöt.

Sveitsissä tutkijat pyrkivät kehittämään menetelmän, jolla virtsa voitaisiin erottaa muusta jätevedestä. Suurin osa lääkeaineista erittyy elimistöä virtsaan, jolloin lääkeaineiden poistaminen olisi helpompaa virtsajakeesta. Sveitsi on edistysellinen maa jätevesien puhdistuksessa lääkejäämistä ja niiden vesistöihin pääsyn ennaltaehkäisyssä. Se on Euroopan ainoa maa, jossa isoimmilla jätevedenpuhdistamoilla aletaan poistaa haitallisia aineita järjestelmällisesti. (Brozinski, Jenny-Maria, 2012)

## 12 LÄÄKEAINEJÄÄMIEN POISTOMAHDOLLISUUKSIA KYSIN JÄTEVEDESTÄ

Lääkeainejäämien poistaminen Kys sairaalan jätevedestä olisi tehokkainta ennen jäteveden kulkeutumista varsinaiselle jäteveden puhdistamolle. Lääkejäämät olisi helpompi poistaa pienemmästä vesivoilyymistä, kuin koko kaupungin jätevedestä. Mikä keino olisi kustannustehokkain tähän tarkoitukseen ja voisiko suuren mittakaavan MBR-teknologiaa soveltaa myös kysin jätevesiputkeen? Vastaus vaatisi lisää lääkeainemittauksia sekä kokeiluja erilaisilla menetelmillä.

## 12.1 Otsonointi

Kuten kappaleessa 5.4 on mainittu, otsonin hapetuspotentiaali kasvaa, kun se yhdistetään esimerkiksi UV-säteilyn tai vetyperoksidin kanssa. Näitä molempia keinoja voisi siis yhdistää, jotta saataisiin paras tulos. Ferre Aracilin tutkimuksessa Espanjassa otsonoinnin todettiin olevan taloudellisesti ja teknisesti sopiva menetelmä myrkyllisten sytostaattisten yhdisteiden poistamiseksi. KYS:n jätevesitutkimuksessa sytostaattisten aineiden pitoisuuksia ei vielä ole mitattu.

Lääkejäämistä, otsonoinnin havaittiin edesauttavan karbamatsepiinin hajoamista noin 60 % asti. Estrogeenin ja sulfametoksatsolin pitoisuuksista poistui yli 80 %. Diklofenaakin poistuma oli merkittävä, molemmissa reaktoreissa 60–80 %. Korkeiden estrogeenipitoisuuksien vähentäjänäkin voitaisiin siis ajatella otsonointia. Vuoden 2019 mittauspitoisuus naishormoni estriolin osalta oli kysin jätevedestä hyvin suuri. Tosin vaihtelu edelliseen mittaukseen on niin suuri, että epäilyksenä voi olla myös mittausvirhe. Otsonoinnin ongelmana jäteveden puhdistuksessa on vaahtoaminen sekä kalsiumoksaalaatin, kalsiumkarbonaatin ja ferrihydroksidin muodostuminen. Yhdisteet voivat tukkia reaktorin, putket tai venttiilit ja aiheuttaa vahinkoja pumpuille.

Ferre Aracilin tutkimuksessa käytettiin ks. kappale 5.4.1 otsonia 43,9- 60 g/m<sup>3</sup> ja kysin jätevesivirtaama on 493 m<sup>3</sup>/d. Tällöin otsonia tarvittaisiin päivän aikaiselle virtaamalle noin 20- 30 kg päivässä. Otsonoinnin etuna olisi se, että otsoni voitaisiin tuottaa fotokemiallisesti UV-valolla tai sähköisillä koronapurkauksilla hapetta täynnä olevassa ympäristössä, jolloin otsonin kuljettaminen jäisi pois. Koronapurkausmenetelmässä ilma tai happi johdetaan kahden elektrodin väliin ja altistetaan sähköpurkauksille. Happiatomit hajoavat silloin osittain ja muodostavat otsonia, tällöin vapaat happimolekyylit reagoivat läsnä olevien happimolekyylien kanssa. Kappaleessa 5.6 ja 5.6.1 mukaan, otsonin tuotannossa käytetyllä sähkövirralla on merkitystä haitta-aineiden poistossa jätevedestä. Otsonoinnin etuna olisi myös se, että sairaalan jätevetteen kulkeutuvat mahdollisesti haitallisetkin virukset tai bakteerit voitaisiin desinfioida ja näin ollen eliminoida niiden kulkeutuminen eteenpäin vesisysteemissä. (Ozonetech, 2020)

Lappeenrannassa käyttöön otettu sähkökemiallinen hapetusmenetelmä ks. kappale 1.1 perustuu yksinkertaisesti sanottuna siihen, että hapettimet polttavat lääkejäämät pois jätevedestä. Plasmareaktoriin johdetaan korkeajännitepulsseja, joilla muodostetaan plasmakenttä reaktorin sisälle. Siitä sadetetaan vettä läpi, jolloin syntyy voimakkaita hapettimia, hydroksyyliiradikaaleja, jotka reagoivat lääkejäämien ja haitta-aineiden kanssa. Sinne työnnetään myös hapetta ulkoilmasta, jolloin muodostuu otsonia, joka sekin toimii hapettimena. (Ajo, 2018) (Nieminen, 2020)

## 12.2 MBR-menetelmä

MBR-menetelmään voisi vielä yhdistää UV-säteilytyksen, jolloin kysin koontiputkesta tulevat lääkeainejäämät saataisiin tehokkaasti poistettua jo ennen jätevedenpuhdistamo. MBR:n tuloksena lääkeainepitoisuudesta 20- 29 000 ng/l ja puhdistetussa jätevedessä pitoisuus on korkeimmillaan 3900 ng/l. Eli lääkeainejäämät pienenevät n. 87 %:lla.

## 13 YHTEENVETO

Lääkeaineiden ympäristöriskien arviointiin liittyy paljon tiedon keräämistä ja tuottamista, jota tulisi ajatella kansainvälisellä tasolla. Näitä ovat mm. lääkeaineiden ekotoksikologiset vaikutukset sekä pysyvyys ja biokertyvyys. (Suomen ympäristökeskus, 2019)

Toistaiseksi lääkeaineiden ympäristövaikutuksista on vain viitteitä ja ennusteita ja rajallisesti tutkimustietoa. Asiaan kannattaa kuitenkin reagoida nopeasti, sillä tulevaisuudessa lääkeaineiden lisääntynyt määrä vesistöissä voi pilata sekä pintavedet että lopulta juomaveden.

Suomessa asiaan on herätty hyvissä ajoin ja meillä pohjaveden pilaantuminen ei ole vielä uhkakuvana. Suomessa on myös investoitu uuteen teknologiaan jätevedenpuhdistuksessa ja sen vaikutuksista tullaan saamaan tulevaisuudessa lisää tutkimustietoa. Mikkelin uusi jätevedenpuhdistamo on Euroopan ja samalla maailman moderneimpia jätevedenkäsittelylaitoksia. Jätevedenpuhdistamolla käyttöön tuleva MBR-teknologia mahdollistaa lääkeainejäämien, mikromuovien ja haitallisten bakteerien poistamisen jätevedestä. Tällaista teknologiaa kannattaisi kokeilla pienimuotoisesti myös kysillä ja Kuopion jäteveden puhdistamolla tulevaisuudessa. (Nyysönen, Tarja YLE, 2020)

Lappeenrannan jätevesilaitokselle kehitetty, ensimmäinen kaupallinen plasmahapetusjärjestelmään perustuva vedenpuhdistusjärjestelmä on antanut myös hyviä tuloksia lääkeainejäämien poistamisessa jätevedestä. Kehitystyöstä on vastannut Flowroxin ympäristöteknologisten ratkaisujen johtaja Petri Ajo.

### 13.1 TULEVAISUUS

Jatkossa kysin jätevedestä kannattaa ottaa pitoisuusmittaukset joka vuosi samaan aikaan. Kuivimpana aikana otettu mittaustulos antaa suurimmat pitoisuudet mittauksille, kun hulevesiä ei kulkeudu niin paljon laimentamaan jätevettä. Lisäksi kesäaikana jäteveden mikrobitoiminta saattaa hajoittaa lääkeaineita, kun jäteveden lämpötila on korkeampi ja mikrobitoiminta on vilkkaampaa, kuin talvella.

Luotettava mittaustulos olisi hyvä saada vuosittain ainakin EU:n tarkkailulistalla oleville lääkeaineille. Jätevesi on myös hyvä sairauksien mittari, sillä covid19-viruksen esiintyvyyttä on pystytty hyvin seuraamaan jätevesimittauksilla. Jätevedessä virus näkyy jo ennen kuin esimerkiksi potilaalla ilmenee minkäänlaisia oireita.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Ajo, P.Preis, S. 2018. Hospital wastewater treatment with pilot-s removal of pharmaceutical residues. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. [Online] Elsevier 6, 1569-1577, 2018. [Viitattu: 17. 3 2020.] Elsevier.
- Brozinski, Jenny-Maria. 2012. Mihin lääkeaineet päätyvät ympäristössä. *Duodecim 2012 vol. 128 no. 13 s. 1376-1380* . [Online] 2012. [Viitattu: 4. 4 2020.] <https://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo10367.pdf>.
- Fimea. 2016. Lääkkeiden järkevä käyttö turvaa suomalaisten terveyttä. *SIC 1/2016*. [Online] Fimea, 1 2016. [Viitattu: 12. 5 2020.] [https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/1\\_2016/jarkeva-laakehoito/laakkeiden-jarkeva-kaytto-turvaa-suomalaisten-terveytta](https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/1_2016/jarkeva-laakehoito/laakkeiden-jarkeva-kaytto-turvaa-suomalaisten-terveytta).
- Fimea, Kela. 2018. *Suomen lääketilasto 2017*. Helsinki : Pharmacovigilance, 2018.
- Hoang Nhat Phong Vo. 2019. Acetaminophen micropollutant: Historical and current occurrences, toxicity, removal strategies and transformation pathways in different environments. [Online] *Chemosphere vol 236, 12 2019*. [Viitattu: 30. 8 2020.] <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.uef.fi:2443/science/article/pii/S0045653519316121#!>.
- Hyvärinen, Pauli. 2017. Veolia, vesiteknologia. *MBBR-tekniikka on mainettaan parempi*. [Online] 4. 1 2017. [Viitattu: 15. 2 2020.] <https://vesiteknologia.com/2017/01/04/mbbr-tekniikka-on-mainettaan-parempi/>.
- Ikävalko, Kari. 2015. Mieskalat muuttumassa naiskaloiksi-EU aloitti laajan vesien lääkejäämien tarkkailun. [Online] YLE, 29. 11 2015. [Viitattu: 5. 3 2020.] <https://yle.fi/uutiset/3-8445047>.
- Karmitsa, Eeva. 2016. Ympäristömme estrogeenit-vihollisia vai ystäviä? [Online] Helsingin yliopisto, 12. 4 2016. [Viitattu: 5. 3 2020.] <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/terveys/ymparistomme-estrogeenit-ystavia-vai-vihollisia>.
- Lääkeaineet pois luonnosta-mutta miten?* Granqvist, Riikka. 2020. 1, Helsinki : Suomen proviisoriyhdistys ry, 2020, Osa/vuosik. 10.
- Lääkätietokeskus. 2016. Pharmaca Fennica. *Metformiini*. [Online] Orion Pharma, 11. 11 2016. [Viitattu: 4. 3 2020.] <https://pharmacafennica.fi/spc/2971571>.
- Miettinen, M; Äystö, L;Kauppi,S. 2020. Lääkeaineet lääketuotantolaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden ympäristöluvuissa. *Nykytilanne ja teollisuus- ja jätevesisopimuksen rooli ohjausinstrumenttina*. [Online] Itä-Suomen yliopisto, 1 2020. [Viitattu: 27. 4 2020.] <https://www.edilex.fi/ymparistojuridiikka/20729.pdf>.
- Nieminen, Silva. 2020. Suomessa otetaan käyttöön laite, joka polttaa lääkejäämät jätevesistä. *Lääkejäämien ympäristökuormitus on ongelma, johon on haettu ratkaisuja. Nyt yksi sellainen on löytynyt* . [Online] YLE, 16. 10 2020. [Viitattu: 5. 3 2021.] <https://yle.fi/uutiset/3-11596943>.
- Nyyssönen, Tarja YLE. 2020. Mikkeliin valmistuu Euroopan modernein jätevedenpuhdistamo – hintalappu on vuosien saatossa kivunnut 60 miljoonaan euroon . [Online] YLE, 29. 1 2020. [Viitattu: 31. 8 2020.] <https://yle.fi/uutiset/3-11181978>.
- opasnet. 2014. Ekologisten vaikutusten arviointi. [Online] 9. 1 2014. [Viitattu: 15. 2 2020.] [http://fi.opasnet.org/fi/Ekologisten\\_vaikutusten\\_arviointi](http://fi.opasnet.org/fi/Ekologisten_vaikutusten_arviointi).

- Ozonetech. 2020. jätevesi-otsonikäsittely. [Online] ozonetech, 2020. [Viitattu: 5. 3 2021.] <https://www.ozonetech.com/fi/toimialat/j%C3%A4tevesi-%E2%80%93otsonik%C3%A4sittely>.
- Pelkonen, Linda. 2013. Hyytävä tieto E-pillereistä: " Uhka ihmiskunnan tulevaisuudelle". [Online] Uusi Suomi, 14. 6 2013. [Viitattu: 5. 3 2020.] <https://www.uusisuomi.fi/uutiset/hyytava-tieto-e-pillereista-uhka-ihmiskunnan-tulevaisuudelle/0aee6742-74b9-3dd4-ad4d-11a44ad24f19>.
- Pfizer. 2019. Pharmaca Fennica. [Online] Fimea, 30. 4 2019. [Viitattu: 6. 3 2020.] <https://pharmacafennica.fi/spc/48848726>.
- Piironen, Martina. 2020. Kofeiini, salisyylihappo, diklofenaakki ja ibuprofeeni Vesiympäristössä. *Ekologinen riskinarviointi*. [Online] Itä-Suomen yliopisto pro Gradu, 12 2020. [Viitattu: 3. 3 2021.] <https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/24136/1609334232553751528.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Pirhonen, Heli. 2016. MBR-TEKNOLOGIAN ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEHOKKUUTTA MITTAAVIEN TUNNUSLUKUJEN SELVITYS JA VERTAILU PERINTEISEEN AKTIIVILIIETEPROSESSIIN . [Online] Mikkelin AMK, 5 2016. [Viitattu: 9. 6 2020.] [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).
- Piri, Jonna. 2016. Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin ja niiden vaikutukset eliöstöön. *Lukututkielma*. [Online] Oulun yliopisto, 30. 4 2016. [Viitattu: 19. 4 2020.] <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201605111697.pdf>. 1.
- Piri, Jonna. 2016. Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin ja niiden vaikutukset eliöstöön . [Online] Oulun Yliopisto, Maantieteen laitos, 30. 4 2016. [Viitattu: 15. 2 2020.] <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201605111697.pdf>.
- Risteelä, Sofia. 2018. MPR-suodatustekniikka käyttöön Taskilassa. [Online] Oulun vesi, 15. 11 2018. [Viitattu: 19. 5 2020.] [https://www.vvy.fi/site/assets/files/2409/11\\_risteela\\_sofia-1.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/2409/11_risteela_sofia-1.pdf).
- Sikanen, T. 2019. Lääkkeiden ympäristövaikutukset väistämättömiä, vai vältettävissä? *Mistä lääkeainejäämät ovat peräisin?* [Online] TEVA, 27. 8 2019. <https://www.tevafinland.fi/ammattilaisille/ajankohtaista/laakkeiden-ymparistovaikutukset-vaistamattomia-vai-valtettavissa/>.
- Sikanen, Tiina. 2016. Ympäristövaikutukset lääkkeen elinkaareissa. *Sic*. [Online] Fimea, 3 2016. [Viitattu: 4. 3 2020.] [https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/3\\_2016/luonto-ja-laake/ymparistovaikutukset-laakkeen-elinkaareissa](https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/3_2016/luonto-ja-laake/ymparistovaikutukset-laakkeen-elinkaareissa).
- Suomen Proviisoriyhdistys. 2020. 1/2020, Helsinki : s.n., 1 2020.
- Suomen ympäristökeskus. 2019. Lääkeaineiden ympäristöluokittelun käyttöönoton mahdollisuudet Suomessa. [Online] 2019. [Viitattu: 28. 4 2020.] [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/302213/SYKEra\\_19\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/302213/SYKEra_19_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- SyKe. 2019. Näkökulmia ympäristöpolitiikkaan. *Ympäristöön päätyvää lääkekuormaa voidaan vähentää*. [Online] 17. 5 2019. [Viitattu: 8. 6 2020.] [file:///E:/Taulukko\\_lääkkeet%20jätevedessä.pdf](file:///E:/Taulukko_lääkkeet%20jätevedessä.pdf).
- Turun seudun puhdistamo Oy. 2016. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon toiminta. *Tutustu puhdistusprosessiin*. [Online] Turun seudun puhdistamo Oy, 2016. [Viitattu: 7. 12 2020.] <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/toiminta>.
- Vanninen, E: Collan, J. 2020. Ympäristökertomus 2019. [Online] Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin kuntayhtymä, 11. 5 2020. [Viitattu: 25. 8 2020.]

<https://www.psshp.fi/documents/7796350/7869031/Ymparistokertomus+2019/c64d4c57-e0e6-4386-a3ec-0eb3077939ec>.

Vieno, Niina. 2015. Haitta-aineet puhdistamo ja- hajalietteissä. [Online] Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys, 11. 5 2015. [Viitattu: 18. 5 2020.] <file:///E:/Haitta-aineet%20puhdistamo-%20ja%20hajalietteissa.pdf>.

Viksten, Minja. 2017. Yhdyskuntajäteveden haitallisten aineiden poistomahdollisuudet hapetusmenetelmillä. [Online] Turun AMK, 2017. [Viitattu: 11. 6 2020.] <file:///E:/HAPETUSMENETELMÄT%20%20jäteveden%20puhdistuksessa.pdf>.

Vilpanen, Maija. 2018. HSY:n aktiivihiihkipilotoinnit. [Online] HSY, 6. 9 2018. [Viitattu: 1. 3 2021.] <file:///C:/Users/kylliainen/Downloads/Vilpanen%20M%20HSYn%20aktiivihiihkipilotoinnit.pdf>.

Virtanen, Virpi. 2016. Eläinlääkkeiden ympäristöriskien arviointi. [Online] Fimea, 3 2016. [Viitattu: 4. 3 2020.] [https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/3\\_2016/palstat/elainlaakkeiden-ymparistoriskien-arviointi](https://sic.fimea.fi/arkisto/2016/3_2016/palstat/elainlaakkeiden-ymparistoriskien-arviointi).

Ympäristöministeriö. 2018. Veiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen. *Kuvaus hyvistä menettelytavoista*. [Online] 2018. [Viitattu: 15. 2 2020.] [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160990/YMra\\_19\\_2018\\_Vesiymparistolle\\_vaarallisiajahaitallisia.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160990/YMra_19_2018_Vesiymparistolle_vaarallisiajahaitallisia.pdf).

Äystö, Lauri. 2017. Tuleeko lääkeainejäämien poistaminen jätevesistä pakolliseksi? [Online] SYKE, 6. 4 2017. [Viitattu: 17. 2 2020.] [https://www.syke.fi/FI/Ajankohtaista/Uutiskirjeet/Vesikirje/Tuleeko\\_laakejaamien\\_poistaminen\\_jateves\(42678\)](https://www.syke.fi/FI/Ajankohtaista/Uutiskirjeet/Vesikirje/Tuleeko_laakejaamien_poistaminen_jateves(42678)).