

Tekniikan kandidaatintyö

**Lääkeainejäämät maailman vesistöissä ja niiden
alueelliset erot sekä vaikutukset ympäristöön**

Lappeenranta 2021

Milla Haapa-aho

LUT-yliopisto

School of Engineering Science

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Milla Haapa-aho

Lääkeainejäämät maailman vesistöissä ja niiden alueelliset erot sekä vaikutukset ympäristöön

Kandidaatintyö 2021

Työn ohjaaja: TkT Maaret Paakkunainen

Työn tarkastaja: TkT Maaret Paakkunainen

Tiivistelmä

LUT-yliopisto

School of Engineering Science

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Milla Haapa-aho

Lääkeainejäämät maailman vesistöissä ja niiden alueelliset erot sekä vaikutukset ympäristöön

Kandidaatintyö

Kesä 2021

53 sivua, 4 kuvaa, 8 taulukkoa ja 1 liite

Työn tarkastaja ja ohjaaja: TkT Maaret Paakkunainen

Hakusanat: lääkeaineet, lääkeainejäämät, lääkeainepitoisuus, antibioottiresistenssi, jätevedenpuhdistus

Globaali väestönkasvu lisää lääkkeiden kulutusta maailmalla ja täten lääkeaineita esiintyy maailman vesissä yhä enemmän. Lääkeaineiden pitoisuudet vaihtelevat alueellisesti, ja pitoisuuksia esiintyy vesissä ng/l – mg/l välillä. Lääkeaineiden esiintyminen vesissä on globaali ongelma. Lääkeaineiden tuotantoa ei voida vain lopettaa, joten on keksittävä vaihtoehtoisia ratkaisuja lääkeaineiden vähentämiselle.

Tässä kandidaatin työssä tarkastellaan lääkeainejäämien pitoisuuksia maailman vesissä. Työssä tarkastellaan kipu- ja kuumelääkkeitä, antibiootteja, verenpainelääkkeitä, psyko-stimulantteja, hormonaalisia lääkkeitä sekä epilepsialääkkeitä. Näistä lääkeryhmistä vesissä havaitaan eniten parasetamolia, ibuprofeenia, diklofenaakkia, sulfametoksatsolia, kofeiinia, karbamatsepiinia sekä estradiolia. Työn tavoitteena on tutkia, onko lääkeainepitoisuuksilla alueellisia eroja ja mistä nämä erot johtuvat. Työssä tarkastellaan lääkeaineiden vaikutuksia ympäristöön ja lisäksi esitetään ratkaisuja pitoisuuksien vähentämiselle.

Lääkeaineet kulkeutuvat vesiin kuluttajien, teollisuuden sekä eläinlääkinnän kautta. Lääkeainepitoisuuksia on havaittu joka puolella maapalloa, ja niiden alueelliset erot johtuvat muun muassa valtioiden asukasluvusta, elintasosta sekä kulutustottumuksista. Tällä hetkellä konkreettisimman haittavaikutuksen aiheuttavat antibiootit, sillä niiden aiheuttama

antibiottiresistenssi on globaali ongelma, joka vaarantaa ihmisten sekä eläinten terveyden. Lääkeaineet vaikuttavat vesien eliöihin jo ng/l-pitoisuuksilla aiheuttaen niille kroonista sekä akuuttia myrkyllisyyttä. Lääkeaineiden esiintyvyyteen tulee kiinnittää huomiota maailmanlaajuisesti, ja jätevedenlaitosten puhdistusprosessia tulee kehittää parempaan suuntaan.

Sisällys

1 JOHDANTO	4
2 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN.....	5
2.1 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN KULUTTAJIEN KÄYTÖN KAUTTA	6
2.2 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN VÄÄRÄNLAISEN HÄVITYKSEN SEURAUKSENA.....	8
2.3 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN TEOLLISUUDEN KAUTTA ..	9
2.4 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN ELÄINLÄÄKINNÄN KAUTTA	10
3 KÄYTETYT LÄÄKEAINEET JA NIIDEN PITOISUUDET	11
3.1 LÄÄKEAINEIDEN YLEISYYS MAAILMALLA	13
3.2 LÄÄKEAINEIDEN PITOISUUKSIA MAAILMALLA	14
3.2.1 Lääkeaineiden pitoisuuksia Euroopassa	14
3.2.2 Lääkeaineiden pitoisuuksia Aasiassa	16
3.2.3 Lääkeaineiden pitoisuuksia Pohjois-Amerikassa	18
3.2.4 Lääkeaineiden pitoisuuksia Etelä-Amerikassa	20
3.2.5 Lääkeaineiden pitoisuuksia Afrikassa	22
3.2.6 Lääkeaineiden pitoisuuksia Australiassa	24
3.2.7 Lääkeaineiden pitoisuuksia Etelämantereella.....	25
3.3 PITOISUUKSIEN YHTEENVETO	26
4 PITOISUUKSIEN SELITTÄVÄT TEKIJÄT	27
4.1 LÄÄKEAINEPITOISUUKSIA SELITTÄVÄT TEKIJÄT	27
4.2 ASIAT, JOTKA VAIKUTTAVAT LÄÄKEAINEIDEN PITOISUUKSIEN EROAVAISSUUTEEN.....	29
5 LÄÄKEAINEJÄÄMIEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN JA IHMISIIN	31
5.1 KIPULÄÄKKEIDEN VAIKUTUKSET	31

5.2 ANTIBIOOTTIEN VAIKUTUKSET	32
5.3 HORMONIEN VAIKUTUKSET	33
5.4 MUIDEN YLEISTEN LÄÄKEAINEIDEN VAIKUTUKSET	35
5.5 LÄÄKKEIDEN YHTEISVAIKUTUKSET	35
6 LÄÄKEAINEJÄÄMIEN VÄHENTÄMISEN KEINOT	36
6.1. LÄÄKEAINEIDEN KULUTUKSEN SÄÄNNÖSTELY	36
6.2 LÄÄKKEIDEN OIKEAOPPISEN HÄVITTÄMISEN PARANTAMINEN.....	37
6.3 JÄTEVEDENLAITOSTEN KEHITTÄMINEN	38
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	38
LÄHTEET	40
LIITTEET	49

1 JOHDANTO

Joet, järvet ja purot eli niin sanotut makean veden lähteet tuottavat juomaveden ihmisille. Usein nämä lähteet ovat osa valuma-alueita, joihin lääkeaineet päätyvät jätevesien sekä maatalouksissa käytettävän lannan mukana. (Guruge, Goswami et al. 2019) Jokien ja järvien altistuessa lääkeaineille on juomaveden puhtaus vaarassa. On tärkeää pitää vesistöt puhtaina, sillä ne ovat elämän ehto ihmisille ja koko ympäristölle. Lääkeaineiden päätymistä ympäristöön on alettu tutkimaan viimeisten vuosikymmenien aikana yhä enemmän, ja tarkempien analyysilaitteiden ja tutkimusmenetelmien avulla pystytään tutkimaan vesistöjä pilaannuttavia aineita entistä tehokkaammin jopa ng/l sekä pg/l -tarkkuudella (Aus Der Beek, Weber et al. 2016, Hallgren, Vieno et al. 2017, Li 2014).

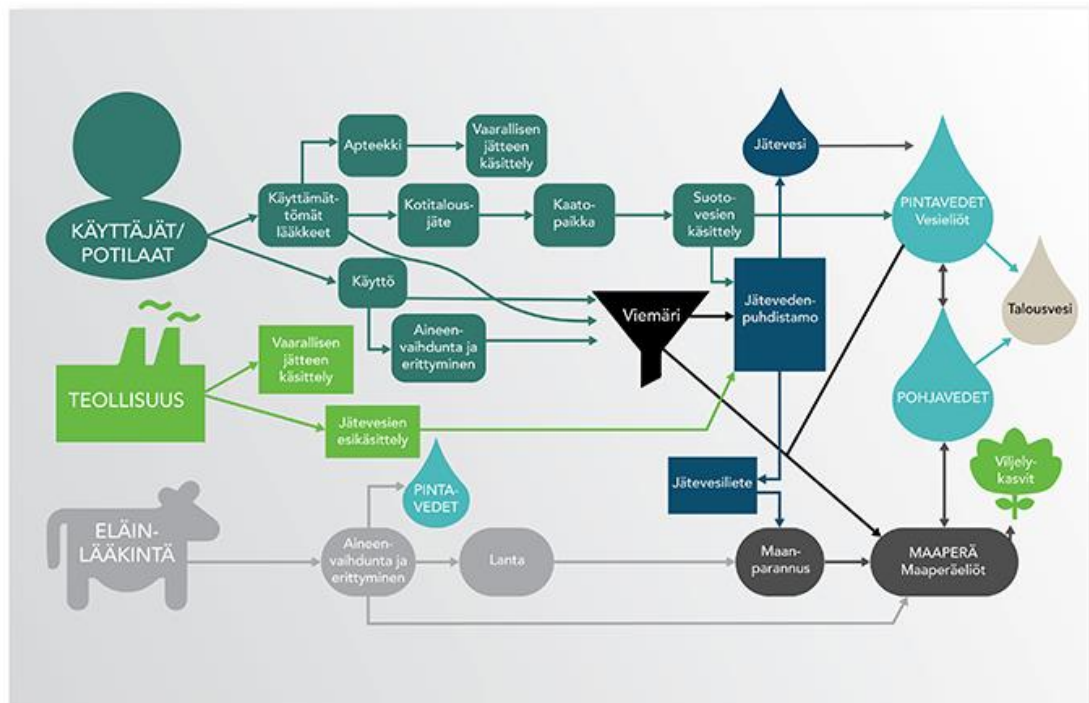
Esimerkiksi globaali väestönkasvu ja väestön ikääntyminen ovat kasvattaneet lääkkeiden kulutusta viimeisten vuosikymmenien aikana. Mitä enemmän ihmisiä maapallolla on, sitä enemmän lääkkeitä käytetään, ja täten lääkeaineita päätyy ympäristöön ja vesistöön yhä enemmän. Antibioottien käyttö kasvoi vuosien 2000–2010 aikana 35 prosentilla, ja Intia oli yksi suurimmista vesiä kuormittavista valtioista (Van Boeckel, Thomas P, PhD, Gandra et al. 2014), sillä Intiassa antibioottien kulutus kasvoi vuosien 2000–2015 aikana 3,2 tonnista 6,5 tonniin (Kumar, Ram et al. 2019). Lääkeaineiden pitoisuuksia on tutkittu jokaisessa maanosassa, mutta lääkeaineiden eroja ja niiden syitä on esitetty tutkimuksissa vasta vähän.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan lääkeainejäämiä maailman vesistöissä. Työssä käydään läpi, miten lääkeaineet kulkeutuvat vesiin ja ympäristöön ja miten niiden pitoisuudet vaihtelevat alueellisesti. Lääkkeiden tuotantoa sekä kulutusta ei voida vain lopettaa, joten on kehitettävä muita vaihtoehtoisia ratkaisuja, joilla lääkeaineiden esiintyvyyttä vesissä ja ympäristössä voitaisiin vähentää. Tämän työn tavoitteena on löytää mahdollisia ratkaisuja lääkeainejäämien vähentämiseen. Työn tutkimuskysymykset ovat, onko lääkeainejäämien pitoisuuksilla alueellisia eroja ja mistä erot johtuvat sekä mitä vaikutuksia lääkeainejäämillä on ympäristöön ja miten niitä voisi pienentää.

2 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN

Ihmiset ostavat ja kuluttavat lääkkeitä päivittäin ympäri maailmaa. Globaalin väestönkasvun ja väestön ikääntymisen myötä lääkkeiden kulutus nousee, sillä iäkkäämmät ihmiset tarvitsevat usein enemmän lääkitystä. Tämän lisäksi talouden kehittyminen ja täten elintason nousu pidentävät väestön ikää entisestään, jolloin lääkkeiden kulutus kasvaa. (Aus Der Beek, Weber et al. 2016, Hallgren, Vieno et al. 2017, Li 2014) Käytetyimpiä lääkkeitä maailmalla ovat erilaiset kipulääkkeet, antibiootit, kardiovaskulaariset lääkkeet eli verenpainelääkkeet, psyko-stimulantit eli kofeiinilääkkeet, estrogeeni ja muut hormonaaliset lääkkeet sekä epilepsialääkkeet. (Li 2014)

Lääkkeiden primääripäästölähteiksi voidaan nimetä kuvan 1 mukaisesti ihmiset eli kuluttajat, teollisuus ja eläinlääkintä. Eläinlääkinnällä tarkoitetaan tuotantoeläinten lääkintää eikä esimerkiksi kotieläinten yksittäisiä lääkintöjä.



Kuva 1 Lääkeaineiden kulkeutuminen ja päätyminen vesiin. (Lähde:(Janczak-Rahnasto 2019))

Kuten kuvasta 1 nähdään, lääkeaineilla on monta erilaista tapaa kulkeutua vesiin. Kuluttajien ja eläinten kautta lääkeaineita kulkeutuu ympäristöön erittymisen myötä. Tämän jälkeen lääkeaineet kulkeutuvat viemäreiden ja valumien kautta ympäristöön. Teollisuudesta aiheutuvat lääkeainepäästöt kulkeutuvat ympäristöön jätevesien mukana. Kuvasta 1 nähdään, että lääkeaineet pääsevät kulkeutumaan helposti pintaveden, pohjaveden ja maaperän välillä, sillä ympäristössä aineet kulkeutuvat esimerkiksi sadevesien mukana eteenpäin. Tämän vuoksi lääkeaineet voivat kuvan 1 osoittamalla tavalla päätyä lopulta jopa talousvesiin ja takaisin ihmisten kehoihin.

2.1 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN KULUTTAJIEN KÄYTÖN KAUTTA

Lääkkeitä päätyy ihmisten käytön vaikutuksesta vesiin aineenvaihdunnan ja eritteiden mukana (kuva 1). Myös esimerkiksi uimisen ja kylpemisen aikana ihmisen kehosta poistuu lääkeaineita vesiin ja täten suoraan ympäristöön. Tällaisia lääkeaineita ovat esimerkiksi iholle suoraan levitettävät lääkeaineita sisältävät voiteet. (Li 2014, Hai, Visvanathan et al. 2018, Hester, Harrison 2016) Lääkeaineilla on erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia (Whitacre 2012, Kümmerer 2008). Monet lääkkeet kokevat rakenteellisia muutoksia ihmisten ja eläinten kehossa. Rakenteelliset muutokset voivat johtua esimerkiksi kehon aineenvaihdunnassa olevista entsyymeistä. Tällaista rakenteellista muutosta, jossa lääkeaineet hajoavat elimistössä, kutsutaan metaboliaksi. Jotkin lääkeaineet metaboloituvat eli hajoavat elimistössä ennen erittymistä, kun taas jotkin lääkeaineet hajoavat vain vähän tai ei lainkaan. Tämän mahdollisen hajoamisen myötä lääkeaineet muuttuvat vähemmän haitallisiksi. (Kümmerer 2008) Näiden fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien ansiosta lääkeaineet voivat myös jäädä pysyviksi vesistöihin. Useimpien lääkeaineiden ominaisuuksiin luokitellaan vähäinen haihtuvuus, jonka vuoksi lääkeaineet päätyvät vesiin, elleivät jätevedenpuhdistamot pysty poistamaan niitä. (Whitacre 2012)

Kuten kuvasta 1 nähdään, kuluttajien eritteiden myötä lääkeaineet kulkeutuvat viemärien kautta jätevedenpuhdistamoille, joista lääkeaineita pääsee vesistöihin puhdistuksesta huolimatta. Kuvan 1 osoittamalla tavalla lääkeaineet voivat kuitenkin päätyä myös viemäreistä suoraan puhdistamattomana pintavesiin sekä maaperään erilaisten vuotojen kautta. Lääkeaineet kulkeutuvat jätevedenpuhdistamoilta jäteveden mukana pintavesiin, joiden kautta

lääkeaineet päätyvät pohjavesiin, maaperään sekä talousvesiin. Kuvasta 1 havaitaan hyvin se, kuinka lääkeaineet kulkeutuvat jätevedenpuhdistamoilta eri reittejä pitkin aina takaisin vesistöihin. Tämän vuoksi on tärkeää, että jätevedenlaitoksilla puhdistusmenetelmät ovat tarpeeksi tehokkaita puhdistamaan lääkeaineet jätevedestä.

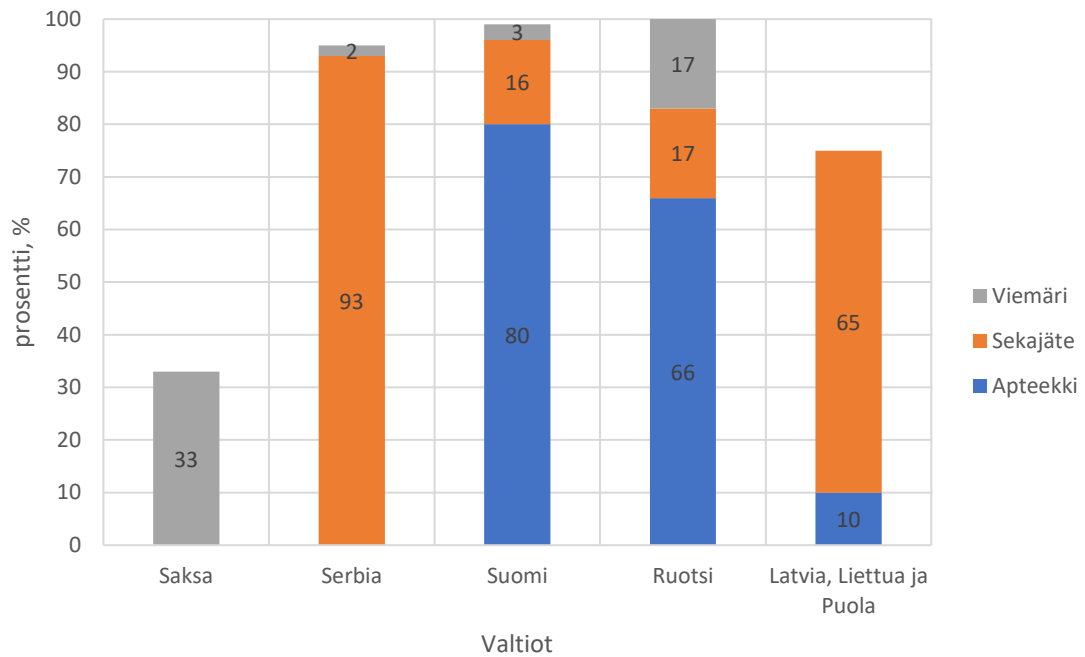
Lääkeaineiden poistaminen jätevedestä ei ole kuitenkaan yksinkertaista. Yleisimpiä tekniikoita, joilla lääkeaineita on pyritty poistamaan, ovat muun muassa sedimentaatio (Khan, Rehman et al. 2020), suodatus (Khan, Rehman et al. 2020), sorptio (Vieno, Tuhkanen et al. 2005), kemiallinen desinfiointi (Sun, Lv et al. 2014), otsonointi (Quadra, Oliveira de Souza et al. 2017), UV-fotolyysi (Li 2014) ja Fenton-reaktio (Khan, Rehman et al. 2020). Puhdistustekniikoita on olemassa useita ja niitä on tutkittu paljon. Tähän päivään mennessä ei kuitenkaan ole keksitty puhdistusmenetelmää, joka poistaisi kaikki mahdolliset lääkeaineet jätevedestä. Lääkeaineiden poistamiseen vaikuttavat puhdistustekniikan lisäksi myös lääkeaineen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet. Yleensä jätevedenpuhdistamot on suunniteltu poistamaan jätevedestä ravinteita, kiinteitä aineita sekä taudinaiheuttajia, mutta ei lääkeaineita. Jos lääkeaineet poistuvat jätevedestä puhdistuksen aikana, se on positiivinen sattuma. (Hai, Visvanathan et al. 2018, Hester, Harrison 2016)

Esimerkiksi Kiinassa Xiamen kaupungin jätevedenlaitoksella tehdyn tutkimuksen mukaan lääkeaineita poistuu jätevedestä jätevedenpuhdistuksen aikana monella eri tavalla, niin kuin ylempänä myös todettiin. Xiamessa lääkeaineet poistuvat joko adsorboitumalla eli imeytymällä suspendoituneisiin kiinteisiin aineisiin ja poistumalla niiden mukana jätevedestä, hajoamalla mikrobien ansiosta tai poistumalla kemiallisesti desinfiointiprosessin myötä. Lääkeaineiden poistumiseen ei riitä pelkästään se, että jätevesi menee jätevedenpuhdistamon läpi, sillä lääkeaineiden ominaisuudet vaikuttavat siihen, tehoaako jätevedenpuhdistus niihin. (Sun, Lv et al. 2014) Esimerkiksi pH sekä hydrofiilisuus vaikuttavat lääkeaineen poistotehokkuuteen ja pH:n muutokset vaikuttavat biologisissa poistoprosesseissa lääkkeiden poistotehokkuuteen negatiivisesti (Hai, Visvanathan et al. 2018). Lääkkeiden ominaisuuksien lisäksi on myös todettu, että vuodenaika vaikuttaa jätevedenpuhdistamon tehokkuuteen poistaa lääkeaineita (Sun, Lv et al. 2014). Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan talvella lääkeaineiden poistoteho jätevedestä väheni jopa 25 prosentilla kevääseen ja kesään nähden. Talvella pitoisuudet kasvoivat vesissä jopa 3–5-kertaisiksi. (Vieno, Tuhkanen et al. 2005)

2.2 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN VÄÄRÄNLAISEN HÄVITYKSEN SEURAUKSENA

Lääkkeiden väärä hävittämistapa on merkittävä ympäristöriski. Kuluttajat kaatavat ja heittävät usein lääkkeensä joko viemäristä tai vessasta alas. Toinen todella yleinen tapa hävittää lääkkeitä on se, että ne heitetään sekajätteeseen. (Kummerer 2009, Hester, Harrison 2016). Ylimääräiset tai vanhentuneet lääkkeet tulisi hävittää oikein, jotta ympäristö välttyisi turhilta lääkeainepitoisuuksilta. Väärän hävitystavan johdosta lääkeaineita päätyy kaatopaikoille, joista lääkeaineet päätyvät lopulta vesiin ja maaperään (Kummerer 2008). Kuvasta 1 nähdään, että ainoastaan kahdella eri tavalla voidaan välttää lääkeaineiden päätyminen ympäristöön. Toinen näistä tavoista on se, että lääkeaineet viedään apteekkiin hävitettäväksi. Euroopan unioni julkaisi vuonna 2004 direktiivin, jossa kerrotaan lääkkeiden oikeaoppisesta hävittämisestä (EUR-Lex 2004). Unionin jäsenmailla tulisi siis olla tietoa ja säädöksiä lääkejätteen hävittämisestä. Suomessa esimerkiksi apteekit ottavat mielellään vastaan vanhat ja käyttämättömät lääkkeet, jonka jälkeen ne voidaan hävittää turvallisesti jätteen käsittelylaitoksilla (Orion Corporation 2021). Kuitenkaan esimerkiksi Brasiliassa sekä Etelä-Aasiassa lääkkeiden hävittämiselle ei ole olemassa minkäänlaisia säädöksiä, jolloin miljoonat ihmiset hävittävät lääkkeensä ympäristöä kuormittaen (Quadra, Oliveira de Souza et al. 2017, Khan, Rehman et al. 2020).

Kuvassa 2 on esitettyä seitsemän eri valtion lääkejätteen hävittämistapoja. Kuten kuvasta nähdään, Saksassa noin 1/3 myydyistä lääkkeistä päätyy hävitettäväksi viemäristöön (Kummerer 2009) ja Serbiassa noin 93-prosenttisesti lääkkeet hävitetään sekajätteeseen tai vessanpönttöön (Paut Kusturica, M., Tomas et al. 2015). Suomessa 60–80 prosenttia ihmisistä palauttaa lääkejätteensä apteekkiin, 3 prosenttia viemäriin ja 16 prosenttia kotitalousjätteen mukana roskeen. Vastaavasti Ruotsissa apteekkiin palautetaan 69–75 prosenttia lääkejätteestä ja noin 17 prosenttia hävitetään viemäriin ja toiset 17 prosenttia sekajätteeseen. Suomen ja Ruotsin lääkejätteen oikeaoppinen hävittäminen on huomattavan paljon edellä esimerkiksi Latviaa, Liettuaa ja Puolaa, joissa lääkejätettä hävitetään apteekkiin vain noin 5–10 prosenttia. Näissä maissa lääkejäte päätyy kotitalousjätteen mukana noin 50–65 prosentin varmuudella kaatopaikoille. (Suomen ympäristökeskus 2020) Kuvasta 2 voidaan päätellä, että Euroopan unionin säädöksistä huolimatta useat Euroopan valtiot ja niiden kansalaiset hävittävät lääkkeensä edelleen väärin.



Kuva 2 Eri valtioiden lääkeaineiden hävittämistapoja

Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan vuonna 2019 suomalaiset hävittivät 89 prosenttia vanhentuneista nestemäisistä lääkkeistään ja 93 prosenttia kiinteistä lääkkeistään oikeaoppisesti apteekkiin. Loput vastaajista heittivät lääkkeet joko viemäriin tai roskakoriin. Tämän tutkimuksen mukaan Suomessa lääkejätteen oikeaoppinen hävittäminen olisi parantunut vuoteen 2009 nähden, mikä on hyvä asia ympäristöä ajateltaessa. (Alajärvi, Louhisalmi et al. 2020)

2.3 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN TEOLLISUUDEN KAUTTA

Lääkejätettä syntyy myös kotitalouksien lisäksi esimerkiksi sairaaloissa, muissa terveydenhuoltolaitoksissa sekä tehtaissa. Ympäristöön ei pääse haitallisia lääkeaineita, jos vaaralliset jätteet hävitetään tuotantolaitoksilla oikein (kuva 1). Kuitenkin lääkeaineita kulkeutuu useiden prosessien myötä jätevesiin, joista ne löytävät tiensä ympäristöön ja vesiin. Esimerkiksi Espanjassa sairaalan jätevesissä on havaittu jopa 16 eri lääkeainevalmistetta, esimerkiksi epilepsialääkkeitä, antibiootteja sekä kipulääkkeitä (Gomez, Petrovic et al. 2006). Sairaaloiden jätevesi kulkeutuu usein kunnallisiin viemäriverkostoihin ilman käsittelyä, mikä

tekeekin niistä suuren lääkeainejätteen lähteen (Gomez, Petrovic et al. 2006, Li 2014). Suomessa Lappeenrannan sairaalan jätevesiä koskevassa tutkimuksessa havaittiin 27 lääkeainetta sairaalan jätevedessä. Jätevesi sisälsi esimerkiksi antibiootteja, kipulääkkeitä ja hormoneja. Kipulääke parasetamolia sekä stimulanttilääke kofeiinia havaittiin muita lääkeaineita enemmän. (Ajo, Preis et al. 2018) Espanjassa havaituista lääkeaineista kahdeksan olivat samoja, joita havaittiin myös Lappeenrannan sairaalan jätevedessä. Samoja lääkeaineita olivat epilepsialääke karbamatsepiini, kipulääkkeet ibuprofeeni, naprokseeni, diklofenaakki ja parasetamoli, verenpainelääke propranololi sekä antibiootit trimetropriimi ja metronidatsoli (Gomez, Petrovic et al. 2006, Ajo, Preis et al. 2018). Näin ollen voidaan todeta, että sairaaloista päätyy paljon lääkeaineita jäteveden mukana puhdistuslaitoksille. Puhdistuslaitosten poistoteho lääkeaineita kohtaan on kuitenkin vaihtelevaa, jolloin lääkeaineita päätyy ympäristöön vielä puhdistetun vedenkin mukana.

2.4 LÄÄKEAINEIDEN KULKEUTUMINEN VESIIN ELÄINLÄÄKINNÄN KAUTTA

Kuten kappaleen 2 kuvasta 1 nähdään, eläinlääkintä on yksi kolmesta primäärilähteestä lääkeaineiden kulkeutumisessa luontoon. Tuotantoeläimiä lääkitään monista eri syistä ja erinäisiä lääkkeitä käytetään eläinlääkinnässä, jotta kulkutaudit ja epidemiat saataisiin ehkäistyä ja lopetettua eikä näin ollen eläimiä menetettäisi taudeille. Keskimäärin noin 3000 uutta lääkedyhdistettä tuodaan markkinoille vuosittain parantamaan ihmisten ja eläinten tauteja. Joitain lääkeaineita, kuten diklofenaakkia, käytetään niin eläinlääkinnässä kuin ihmislääkinnässäkin. Tämän vuoksi esimerkiksi diklofenaakki on maailmanlaajuisesti yksi käytetyimpiä lääkeaineita. (Aus Der Beek, Weber et al. 2016) Eläimiä lääkitään useissa valtioissa myös turhaan. Esimerkiksi Ugandassa eläimiä lääkitään myös silloin, kun eläinten kasvua halutaan parantaa ja nopeuttaa (UNAS, CDDEP et al. 2015). Tällainen käytäntö on kuitenkin esimerkiksi Suomessa ja Euroopassa kiellettyä.

Yleisimmin eläinlääkeaineet päätyvät pintavesiin. Kuvan 1 osoittamalla tavalla lääkeaineet kulkeutuvat suoraan pintavesiin eläinten aineenvaihdunnan ja erittymisen kautta. Eläimet erittävät 30–90 prosenttia niille syötetyistä lääkeaineista riippuen lääkeaineen ominaisuuksista (Hai, Visvanathan et al. 2018). Lääkeaineet päätyvät eläinten eritteen mukana joko

suoraan pintavesiin tai lantana viljelysmaille. Maanviljelijät käyttävät lantaa usein peltojen lannoittamiseen, jolloin lääkeaineet kulkeutuvat niiden mukana suoraan maaperään. Lannassa olevat lääkeaineet päätyvät pelloilta sateiden tai kasteluvesien mukana pinta- ja pohjavesiin. (Hester, Harrison 2016, Hai, Visvanathan et al. 2018, Kümmerer 2008) Kun lääkeaineet päätyvät pohjavesiin, ne voivat kulkeutua sieltä takaisin jopa juomavesiin ja sitä kautta ihmisiin. Euroopan komissio on esittänyt julkaisussaan, että eläinlääkkeiden leviäminen luontoon on usein peräisin karjalannan levittämisestä sekä vesiviljelystä, jossa lääkkeet annetaan eläimille rehuun sekoitettuna (Euroopan komissio 2019). Olisi tärkeää, että uusia ympäristölle sopivia lannoituskeinoja keksittäisiin ja kehitettäisiin. Eläinten lannan hyötykäytössä on myös etunsa, mutta lääkeaineita ja niiden kuormitusta ajateltaessa lannan käytössä on huonot puolensa.

3 KÄYTETYT LÄÄKEAINEET JA NIIDEN PITOISUUDET

Tässä kappaleessa tutkitaan ja keskitytään esittämään maailmanlaajuisesti eri maanosien valtioiden vesistä havaittuja lääkeainepitoisuuksia. Lääkeaineiden pitoisuuksia on taulukoitu maanosittain ja taulukoihin on kerätty pitoisuusarvoja maakohtaisesti eniten havaituista lääkeaineista. Kappaleen lopussa esitetään yhteenveto kaikkien maanosien pitoisuuksista. Myöhemmin kappaleessa 4 syvennytään tarkemmin pitoisuuksia selittäviin tekijöihin. Siellä käydään läpi, mitkä eri tekijät vaikuttavat lääkeaineiden esiintyvyyteen ja niiden eroavaisuuteen.

Taulukossa I on esitettyinä käytetyimmät lääkeaineluokat ja niiden vaikuttavat aineet. On tärkeää tietää lääkkeiden vaikuttavat aineet, sillä ne ovat juuri niitä, jotka lopulta päätyvät vesistöihin ja aiheuttavat vahinkoa ympäristölle.

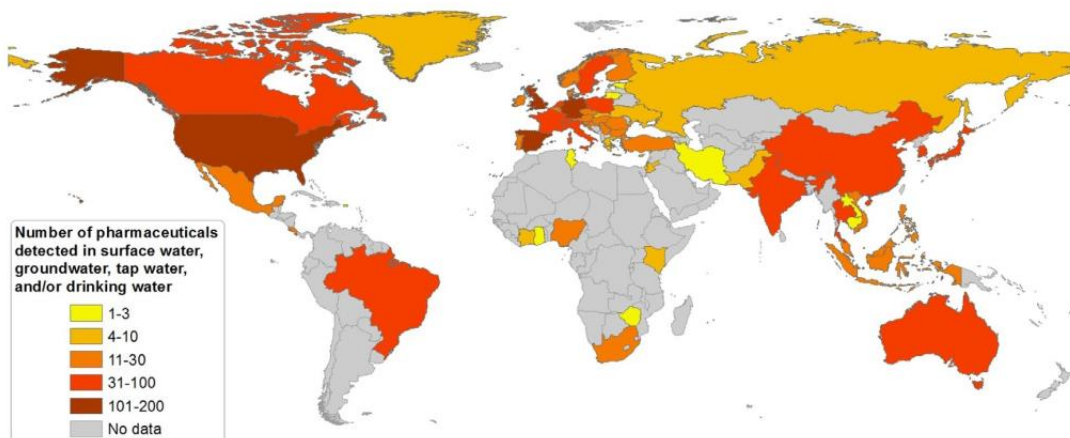
Taulukko I Käytetyimpien lääkkeiden vaikuttavat aineet ja niiden luokittelu (Lähteet: (Cai, Dwivedi et al. 2018, Li 2014, Aus Der Beek, Weber et al. 2016))

luokittelu	lääkkeen vaikuttava aine
kipu- ja kuumelääkkeet	parasetamoli, aspiriini, ibuprofeeni, diklofenaakki, ketoprofeeni, naprokseeni
antibiootit	ampi- ja amoksisilliini, sulfametoksatsoli, klaritromysiini, ofloksasiini, G-penisilliini, tetrasykliini, trimetopriimi
verenpainelääkkeet	beetasalpaajat (esim. atenololi), diureetit (esim. hydroklorotiatsidi)
psyko-stimulantit	kofeiini
hormonaaliset lääkkeet	estrioli, estradioli, estroni, etinyyliestradioli
epilepsialääkkeet	karbamatsepiini

Yleisimmin vesistöissä havaittuja lääkeaineita ovat kipulääke diklofenaakki, epilepsialääke karbamatsepiini, antibioottilääke sulfametoksatsoli, hormonilääkkeet estradioli sekä etinyyliestradioli sekä tulehduskipulääkkeet ibuprofeeni ja naprokseeni. Diklofenaakkia on löydetty maailman vesissä jo 50 eri maassa, mikä tekeekin siitä yleisimmän havaitun lääkeaineen. (Aus Der Beek, Weber et al. 2016) Euroopan unioni on puuttunut omilla säädöksillään lääkeaineiden esiintyvyyteen, sillä se on esimerkiksi laatinut tarkkailulistan eniten haitallisille lääkeaineille (EUR-Lex 2015). Tarkkailulista sisältää lääkeaineita, joita on havaittu vesistöissä suurilla pitoisuuksilla ja joiden esiintyvyyteen tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Tarkkailulistan tarkoituksena on nostaa esiin sillä hetkellä vesissä havaittuja haitallisimpia aineita, jotta juuri niiden aineiden vähentämiseen voitaisiin puuttua. Tämä kyseinen tarkkailulista on esitettyä liitteen I taulukossa I. Juuri yllä mainituista yleisimmin vesistöissä havaituista lääkeaineista kyseisellä tarkkailulistalla ovat diklofenaakki sekä hormonaaliset lääkkeet estradioli sekä etinyyliestradioli. Näiden lääkeaineiden lisäksi tarkkailulista sisältää esimerkiksi estronin, useita hyönteismyrkkyjä sekä muita tuholaisaineina käytettäviä myrkyllisiä lääkeaineita.

3.1 LÄÄKEAINEIDEN YLEISYYS MAAILMALLA

Lääkeaineita on löydetty valtioiden vesistä ympäri maailmaa. Yli 100 eri lääkeainetta on löydetty jo pelkästään Euroopan ja Yhdysvaltain vesistöistä. Kuvassa 3 on esitettyä maailman valtioiden pinta-, pohja-, hana- ja juomavesistä löytyneiden lääkeaineiden lukumäärät. On kuitenkin huomioitava, että eri alueilla on tehty eri määrä tutkimuksia ja että esimerkiksi Afrikassa on tehty tutkimuksia melkein 100 kertaa vähemmän Länsi-Eurooppaan verrattuna. Huomioon on myös otettava se, että lääkeaineiden lukumäärään vaikuttaa myös se, mistä näytteet on otettu. Esimerkiksi jätevedenlaitosten lähellä lääkeaineita havaitaan enemmän, sillä lääkeaineet eivät ole ehtineet vielä hajoamaan vedestä. (Aus Der Beek, Weber et al. 2016) Kuva 3 antaa kuitenkin hyvän katsauksen siitä, kuinka paljon lääkeaineita on havaittu jo tähän mennessä ja kuinka havaittujen lääkeaineiden lukumäärät sijoittuvat maailmalla.



Kuva 3 Maailmalla havaittujen lääkeaineiden lukumäärä pinta-, pohja-, hana- ja juomavesissä. (Lähde: (Aus Der Beek, Weber et al. 2016))

Kuten kuvasta 3 nähdään, jokaisessa valtiossa, jossa tutkimusta tämän aiheen ympärillä on tehty, ainakin yhtä lääkeainetta löytyy sen maan vesistä. Todella huolestuttavaa on huomata, että joissain valtioissa löytyneiden lääkeaineiden määrä on jopa yli 100. Kuten kuvasta voidaan päätellä, lisää tutkimusta lääkeaineiden esiintyvyydestä tulisi tehdä, varsinkin Afrikassa sekä Etelä-Amerikassa. Kuvassa ei ole otettu huomioon Etelämannerta, jossa tutkimuksia lääkeainepitoisuuksista on kuitenkin tehty. Kuvasta 3 voidaan todeta, että

lääkeaineiden esiintyminen vesissä on globaali ongelma eikä se keskity vain esimerkiksi yhteen maanosaan.

3.2 LÄÄKEAINEIDEN PITOISUUKSIA MAAILMALLA

Taulukoissa II–VIII on esitettyinä maailman vesissä havaittujen lääkeaineiden pitoisuuksia. Taulukoihin on merkitty pelkästään kyseisen maan kannalta tärkeimpien sekä eniten havaittujen lääkeaineiden pitoisuudet.

Taulukoissa II–VIII olevien pitoisuuksien esittämistavat poikkeavat osin toisistaan, sillä joidenkin maiden pitoisuuksia on esitetty artikkeleissa keskiarvoina, kun taas toisien maksimiarvoina. Tämän vuoksi pitoisuuksien arvoja ei voi suoraan verrata toisiinsa, vaan pitää huomioida se, miten pitoisuus on esitetty. Pitoisuuksia käydään läpi maanosittain, ja jokaisesta maanosasta on esitettyinä muutaman valtion vesistä havaittuja pitoisuuksia.

3.2.1 Lääkeaineiden pitoisuuksia Euroopassa

Euroopassa on tehty paljon tutkimusta lääkeaineiden pitoisuuksista ja esiintyvyyksistä vesissä. Kuten yllä jo todettiin, Euroopan unioni on puuttunut omilla säädöksillään myös havaittuihin tuloksiin tarkkailulistan muodossa (EUR-Lex 2015). Taulukossa II on esitettyinä Suomessa, Itämeren alueilla ja Espanjassa havaittuja lääkeainepitoisuuksia.

Taulukko II Lääkeainepitoisuuksia Suomessa ja Itämeren alueilla (Lähteet: Suomi: (Lindholm-Lehto, Ahkola et al. 2015), Itämeren alueet: (Hallgren, Vieno et al. 2017) Espanja: (Silva, Jelic et al. 2011))

valtio	Suomi, Päijänne	Itämeren alueet (Suomi, Ruotsi, Viro, Tanska, Puola, Venäjä)	Espanja Ebro-joki
lääkeaine	keskiarvo c, (ng/l)	max c, (ng/l)	keskiarvo c, (ng/l)
karbamatsepiini	6,3	73	4,9
gabapentiini	-	-	1,3
diklofenaakki	76	54	6,4
ibuprofeeni	180	159	43,2
ketoprofeeni	120	-	386
naprokseeni	42	-	8,8
estroni	-	2,5	20,2
estradioli	-	1,1	
parasetamoli	-	360	-
sulfametoksatsoli	-	33	-

Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan vuonna 2013 Päijänteestä löytyi viittä eri lääkeainetta, ja niiden pitoisuuksien keskiarvot ovat esitettyinä taulukossa II. Tutkimuksen mukaan jätevedenpuhdistamon keskimääräinen poistoteho ibuprofeenille oli 99 prosenttia, mutta silti ibuprofeenia havaittiin järvessä keskiarvopitoisuutena 180 ng/l. Ketoprofeenille puolestaan poistoteho oli 41 prosenttia, ja sitä löytyi silti vähemmän kuin ibuprofeenia pitoisuutena 120 ng/l. (Lindholm-Lehto, Ahkola et al. 2015) Tämän mukaan ibuprofeenia olisi ollut jätevedessä huomattavasti enemmän kuin ketoprofeenia, sillä sen suuresta poistotehosta huolimatta sen keskiarvopitoisuus oli suurempi. Kaikkia lääkeaineita havaitaan suurempina pitoisuuksina lähempänä jätevedenpuhdistamoja, mikä on tietenkin oletettua, sillä lääkeaineet eivät ole ehtineet hajota tai levittäytyä vielä vedessä. Lindholm-Lehto et al. (2015) havaitsi tutkimuksessaan myös sen, että lääkeaineiden pitoisuudet ovat pienemmät lähempänä pintaa.

Taulukossa II Itämeren alueilla tarkoitetaan Suomen, Ruotsin, Viron, Tanskan, Puolan ja Venäjän rannikoilta mitattuja pitoisuuksia. Epilepsialääke karbamatsepiinia löytyi kaikkialta Itämerestä, vaikkakin pieninä pitoisuuksina. Karbamatsepiinin puoliintumisaika on kuitenkin varsin pitkä ollessaan 3,5 vuotta, minkä vuoksi sitä on kertynyt Itämereen yli 55 tonnia.

(Björlenius, Ripszám et al. 2018) Karbamatsepiinia havaittiin Itämeressä maksimipitoisuudella 73 ng/l (Hallgren, Vieno et al. 2017), mutta Puolan sisämaassa sitä havaittiin jopa 620 ng/l (Ek Henning, Putna-Nimane et al. 2020). Diklofenaakin pitoisuudet vaihtelivat rannikoilla, ja sen sallittu maksimiarvo 10 ng/l ylittyi 2,3 % näytteenottopaikoista. (Hallgren, Vieno et al. 2017)

Espanjassa sijaitsevan Ebro-joen lääkeainepitoisuuksia tutkimalla Silva, Jelic et al. (2011) sai selville, että joessa havaittiin eniten sekä suurimpina pitoisuuksina kipu- ja tulehduslääkkeitä. Lääkeainepitoisuudet olivat suurimmat kipulääkkeillä: ibuprofeeni, parasetamoli sekä ketoprofeeni, verenpainelääkkeillä: atenololi sekä hydroklooritiatsidi, antibiootti erytromysiinilla sekä epilepsialääke karbamatsepiinilla. Lääkkeaineet päätyivät jokeen pääpainotteisesti jätevedenlaitosten kautta, ja suurimmat pitoisuudet havaittiinkin jätevedenlaitosten lähellä. (Silva, Jelic et al. 2011)

3.2.2 Lääkeaineiden pitoisuuksia Aasiassa

Aasia on Afrikan rinnalla väestönluvultaan suurin maanosa. Näissä maanosissa sijaitsee myös suurin osa maapallon kehitysmaista. Kehitysmaissa elinolosuhteet ovat heikkommat, mikä vaikuttaa suoraan myös lääkeainepitoisuuksiin vesissä. Huonojen puhdistusjärjestelmien, vääränlaisten lääkkeiden käytön sekä alkeellisten jätevedenpuhdistuslaitoksien seurauksena lääkkeitä päätyy vesiin enemmän verrattuna esimerkiksi Eurooppaan. Aasiaan on keskittynyt paljon lääketuotantoa, sillä siellä tuottaminen on halpaa ja markkinat lääkeaineille ovat suuret. Suuren lääketuotannon lisäksi Etelä-Aasian maat kuten Kiina, Intia, Bangladesh ja Pakistan ovat vakiinnuttaneet itselleen aseman maailman suurimpina lääkeaineiden kuluttajina (Khan, Rehman et al. 2020). Tässä kappaleessa tutustutaan Sri Lankan, Etelä-Korean, Intian sekä Kiinan lääkeainepitoisuuksiin. Taulukossa III on esitetty kolmen ensimmäisenä mainittujen valtioiden vesistä havaittuja lääkeainepitoisuuksia.

Taulukko III Aasian valtioiden lääkeainepitoisuuksia pintavesissä (Lähteet: Sri Lanka: (Guruge, Goswami et al. 2019), Etelä-Korea:(Choi, Kim et al. 2008), Intia: (Khan, Rehman et al. 2020))

valtio	Sri Lanka	Etelä-Korea (Han-joki)	Intia (Guwahati)
lääkeaine	keskiarvo c, (ng/l)	keskiarvo c, (ng/l)	keskiarvo c, (ng/l)
karbamatsepiini	12,5	7,8	118,7
sulfametoksatsoli	50,0	25,7	90,8
diklofenaakki	10,7	-	11,8
ibuprofeeni	6,8	-	232,2
dietyylitoluamidi	35,3	-	-
klaritromysiini	11,1	-	-
parasetamoli	-	34,8	1470,8
kofeiini	-	168,7	-
simetidiini	-	274	-
siprofloksasiini	3,1	-	356 052
norfloksasiini	-	-	98 138

Kiina tuottaa ja kuluttaa eniten lääkkeitä maailmassa. Intia tuottaa puolestaan kolmanneksi eniten ja on lääkkeiden kulutuksessa listan kärkipäässä. (Dai, Wang et al. 2015, Kumar, Ram et al. 2019) Viidentoista vuoden aikana Intiassa antibioottien kulutus kasvoi 3,2 miljoonasta tonnista 6,5 miljoonaan tonniin. Intiassa antibiootteja kulutetaan enemmän verrattuna esimerkiksi Eurooppaan, koska Intiassa ei ole mitään säädöksiä antibioottien käytölle koskien eläin- ja ruokatuotantoja. (Kumar, Ram et al. 2019) Intian määrätyn antibiootti sairaaloissa on siprofloksasiini, jonka pitoisuudeksi mitattiin 356 052 ng/l (Barbhuiya, Adak 2021). Toinen Intiassa paljon käytetty antibiootti on norfloksasiini, jota on havaittu vesissä pitoisuudella 98 138 ng/l (Dai, Wang et al. 2015, Khan, Rehman et al. 2020). Pitoisuudet ovat maassa suuria, mikä oletettavasti johtuu suuresta väkiluvusta sekä huonosta jätevedenpuhdistusprosessista. Suuriin pitoisuuksiin voi vaikuttaa myös se, että jätevettä päästetään suoraan vesiin ilman puhdistusta, sillä laitosten kapasiteetti ei riitä kattamaan kaikkea jätemäärää. Näin käy esimerkiksi Kiinan pääkaupungissa Pekingissä, missä päivittäinen jätemäärä on noin 3,3 miljoonaa tonnia, mutta jätevedenlaitosten kapasiteetti on ainoastaan 50–83 prosentin luokkaa (Dai, Wang et al. 2015).

Sri Lankassa antibiootit sulfametoksatsoli ja klaritromysiini sekä hyönteiskarkoitinaine dietyylitoluamidi olivat pitoisuuksiltaan suurimmat havaitut lääkkeet. Sri Lankassa

lääkeaineita päätyy vesiin eniten sairaaloiden ja kotitalouksien jätevesien mukana sekä vesiviljelytoiminnan seurauksena. (Guruge, Goswami et al. 2019) Lääkeaineiden runsas esiintyminen voi johtua siitä, että niin kuin useissa kehitysmaissa, Sri Lankan kaupunkialueilta puuttuu jätevedenkäsittelylaitoksia, jolloin vesistöt ovat todella alttiita lääkeaineille.

Etelä-Korean Han-joen havaituimmat lääkeaineet olivat mahahapon erityistä vähentävä lääke simetidiini, kofeiini, parasetamoli sekä sulfametoksatsoli. Kofeiinin pitoisuus Han-joessa oli suuri keskiarvoltaan 168,7 ng/l, mikä johtuu kofeiinin monipuolisesta käytöstä niin lääkkeissä kuin ruoissa. Simetidiinipitoisuudet olivat maailmanlaajuisesti korkeimmat, mikä johtuu siitä, ettei kyseinen lääkeaine ole yleinen muualla. Etelä-Koreassa kyseistä lääkeainetta valmistetaan vuosittain 133 tonnia, kun taas Yhdysvalloissa vain 160 tonnia. (Choi, Kim et al. 2008) Ottaen huomioon maiden välisen väestöeron voidaan todeta, että Etelä-Koreassa tämä lääke on hyvin yleisesti käytetty. Tämän vuoksi simetidiinipitoisuuksia löytyi kyseisen maan vesistä enemmän kuin muualta maailmasta.

3.2.3 Lääkeaineiden pitoisuuksia Pohjois-Amerikassa

Taulukossa IV on esitettyä Pohjois-Amerikan valtioiden lääkeainepitoisuuksia Costa Ricasta, Meksikosta sekä Yhdysvalloista. Pitoisuudet ovat esitettyä minimi- ja maksimiarvoina ja ng/l -tarkkuudella.

Taulukko IV Pohjois-Amerikan maiden pitoisuuksia (Lähteet: Costa Rica: (Spongberg, Witter et al. 2011), Meksiko: (Rivera-Jaimes, Postigo et al. 2018), Yhdysvallat Erie: (Wu, Witter et al. 2009), Michigan: (Ferguson, Bernot et al. 2013))

valtio	Costa Rica	Meksiko (Morelos)	Yhdysvallat (Erie-järvi)	Yhdysvallat (Michigan-järvi)
lääkeaine	max c, (ng/l)	min-max c, (ng/l)	max c, (ng/l)	min-max c, (ng/l)
karbamatsepiini	82	8–276	1238	0,5–10
sulfametoksatsoli	56	76–722	112	1,5–220
diklofenaakki	266	268–1398	42	-
ibuprofeeni	36 788	184–1100	2796	1,7–84
parasetamoli	13 216	354–4460	-	2,5–17
naprokseeni	-	732–4880	-	3,5–30
kofeiini	1 121 446	-	4275	18–100
paraksantiini	-	-	1822	25–76
doksisykliini	74 000	-	-	-
estradioli	-	0–5,7	-	-

Costa Ricassa tehdyn tutkimuksen mukaan maan lääkeainepitoisuudet ovat samaa luokkaa muiden maailman valtioiden kanssa lukuun ottamatta antibiootti doksisykliinia. Sen maksimiarvoksi pintavesissä havaittiin 74 000 ng/l. Karbamatsepiini on kallis reseptilääke Costa Ricassa, mikä selittääkin pientä maksimipitoisuusmäärää. Ihmisillä ei ole varaa ostaa lääkettä, jolloin sen kulutus on pienempää. Kipulääkkeitä saa puolestaan ostettua maassa halvalla ja ilman reseptiä, mikä selittää parasetamolien ja ibuprofeenin suuria pitoisuuksia pintavesissä. Kofeiinin maksimiarvo oli huimat 1,1 mg/l, mutta tätä selittää se, että näytteenottopaikan lähetyvillä on tuotantolaitos, jossa pestään kahvipapuja. (Spongberg, Witter et al. 2011)

Meksikossa Morelos-kaupungissa tehdyn tutkimuksen mukaan pintavesien yleisimmät havaitut lääkeaineet olivat kipulääkkeet naprokseeni, parasetamoli ja diklofenaakki. Kipulääkkeiden maksimipitoisuudet olivat 4880 ng/l, 4460 ng/l ja 1398 ng/l. Suuria pitoisuuksia selittää se, että, kuten Costa Ricassa, kipulääkkeet eivät vaadi reseptiä, jolloin niiden käyttö on yleistä. Pintavesien antibioottipitoisuudet puolestaan ovat samaa luokkaa esimerkiksi Kenian ja Kiinan kanssa, mutta ovat kuitenkin suuremmat kuin esimerkiksi Isossa-Britanniassa. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että Meksikossa puhdistamatonta jätevettä on totuttu

hyötykäyttämään maatalouksien kasteluvetenä, minkä vuoksi lääkeaineita päätyy maaperään ja pohjaveteen helpommin. (Rivera-Jaimes, Postigo et al. 2018)

Taulukossa IV on esitettyä myös Yhdysvaltojen Erie- ja Michigan-järven lääkeainepitoisuuksia. Erie-järvestä tehdyn tutkimuksen mukaan kofeiini oli havaituin ja pitoisuudeltaan suurin havaittu lääkeaine. Sen maksimipitoisuudeksi mitattiin jopa 4275 ng/l. Vastaavasti Michigan-järven kofeiinin maksimipitoisuudeksi saatiin 100 ng/l. Kofeiinia käytetään stimulanttina lääkkeissä, mutta myös ruoissa ja juomissa. Täten siitä syntyvät jätteet ovat suuremmat kuin muilla lääkkeillä. Erie-järven toiseksi havaituin lääkeaine oli paraksantiini, joka on kofeiinin metaboliitti. Tämä tarkoittaa, että kofeiini hajoaa ihmisen kehossa paraksantiiniksi. Nämä kaksi lääkeainetta ovat kytköksissä toisiinsa, joten kofeiinipitoisuuden ollessa suuri on myös paraksantiinipitoisuudet suuria. (Ferguson, Bernot et al. 2013, Wu, Witter et al. 2009) Karbamatsepiinia havaittiin Erie-järvessä maksimipitoisuudella 1238 ng/l. Ibuprofeenin maksimipitoisuudeksi mitattiin 1822 ng/l, mutta ibuprofeeni onkin yleinen kipulääke Yhdysvalloissa (Wu, Witter et al. 2009). Sulfametoksatsolille mitattiin Michigan-järvestä suurin pitoisuus, joka oli 220 ng/l. Erie-järvessä samalle lääkeaineelle mitattiin maksimiarvoksi 112 ng/l. Näiden kahden järven pitoisuudet ovat samaa luokkaa muiden maailman valtioiden kanssa. (Ferguson, Bernot et al. 2013)

3.2.4 Lääkeaineiden pitoisuuksia Etelä-Amerikassa

Etelä-Amerikassa lääkeaineiden esiintyvyyteen vesissä ei ole kiinnitetty niin paljoa huomiota kuin esimerkiksi Euroopassa ja Aasiassa. Tutkimuksia on tehty alueella huomattavasti vähemmän, sillä Etelä-Amerikassa on keskitytty ympäristöongelmien sijaan köyhyyden, terveyden ja turvallisuuden parantamiseen. Taulukossa V on esitettyä Ecuadorin, Brasilian sekä Kolumbian lääkeainepitoisuuksia.

Taulukko V Etelä-Amerikan valtioiden lääkeainepitoisuuksia (Lähteet: Ecuador: (Voloshenko-Rossin, Gasser et al. 2015), Brasilia:(Quadra, Oliveira de Souza et al. 2017), Kolumbia: (Valdez-Carrillo, Abrell et al. 2020))

valtio	Ecuador (Quito)	Brasilia (Atibaia -joki)	Kolumbia (Cali)
lääkeaine	min-max c (ng/l)	keskiarvo c (ng/l)	min-max c (ng/l)
karbamatsepiini	11600–830 000	-	16–64
sulfametoksatsoli	6000–309 000	1,8	14–246
estroni	400–11400	-	1–13
kofeiini	2000–559 7000	63 600	-
parasetamoli	-	280	48–6820
diklofenaakki	-	106	39–111
estradioli	-	2450	-
ibuprofeeni	-	-	13–894

Ecuadorissa tehdyssä tutkimuksessa lääkeainepitoisuuksia mitattiin Machangara-joesta, joka on todella saastunut joki. Puhdistamatonta jätevettä päästetään suoraan jokeen useista eri kaupunkikeskuksista. Ecuadorin lääkeainepitoisuudet ovat korkeammat karbamatsepiinin ja sulfametoksatsolin kohdalla kuin työssä aiemmin havaitut pitoisuudet. Karbamatsepiinin maksimiarvoksi mitattiin 830 000 ng/l ja sulfametoksatsolin 309 000 ng/l. Karbamatsepiinin maksimiarvo on lähes 13 000-kertainen verrattuna Kolumbiassa mitattuun maksimiarvoon. Kolumbiassa sekä Ecuadorissa karbamatsepiini on nimetty ekologiseksi riskiksi (Valdez-Carrillo, Abrell et al. 2020). Myös estronin pitoisuus oli suuri maksimipitoisuuden ollessa 11 400 ng/l. Sulfametoksatsolin, karbamatsepiinin ja estronin suuria pitoisuuksia selittää jokeen suoraan päästettävät puhdistamattomat jätevedet. (Voloshenko-Rossin, Gasser et al. 2015)

Brasiliassa puolestaan kofeiini oli eniten havaittu yhdiste maan vesissä. Sen käyttö on yleistä maailmanlaajuisesti, mutta Brasiliassa havaitut suuret pitoisuudet johtuvat osakseen kahvintuotannon yleisyydestä. Kofeiinin maksimipitoisuudeksi mitattiin Brasiliassa jopa 357 000 ng/l, mikä on maailmanlaajuisesti suurin havaittu pitoisuus pintavedessä. Suuria pitoisuuksia havaittiin myös hormonilääkkeillä, ja niitä perusteltiin tutkimuksessa väestönkasvulla, kaupungistumisella, huonolla puhtaanapitojärjestelmällä ja säädöksiensä laiminlyönneillä (Valdez-Carrillo, Abrell et al. 2020). Brasilian lisäksi myös Pohjois-Amerikkaan kuuluvan Costa Rican vesissä, jossa kahvintuotanto on myös suuri elinkeino, kofeiinipitoisuus oli 1,1 mg/l

(taulukko IV), mikä on huomattavasti korkeampi muihin lääkeaineisiin verrattaessa (Sponberg, Witter et al. 2011).

3.2.5 Lääkeaineiden pitoisuuksia Afrikassa

Afrikka on Aasian tapaan väkirikas maanosa, jossa useat maat luokitellaan kehitysmaiksi. Aasian tapaan huonot elinolosuhteet vaikuttavat lääkeaineiden kulkeutumiseen veteen. (Khan, Rehman et al. 2020) Afrikassa lääkeaineita koskevat säädökset eivät ole niin tiukkoja kuin kehittyneissä maissa, minkä vuoksi kuluttajien on helpompi saada lääkkeitä käyttöön eikä lääkkeiden oikeaoppisesta hävittämisestä ole välttämättä laisinkaan tietoa (Agunbiade, Moodley 2016). Afrikassa on tehty muihin maanosiin nähden vain vähän tutkimusta lukuun ottamatta Etelä-Afrikkaa, jossa tutkimuksia on tehty enemmän. Taulukossa VI on esitettyä Etelä-Afrikasta, Keniasta sekä Ugandasta havaittuja lääkeainepitoisuuksia.

Taulukko VI Afrikan pitoisuuksia (Lähteet: Etelä-Afrikka: (Agunbiade, Moodley 2016) , Kenia: (K'oreje, Kandie et al. 2018), Uganda: (Nantaba, Wasswa et al. 2020))

valtio	Etelä-Afrikka	Kenia (Nzoia-joki)	Uganda (Victoria-järvi)
lääkeaine	keskiarvo c, (ng/l)	max c, (ng/l)	max c, (ng/l)
naleksiinihappo	18200	-	-
aspiriini	18100	-	-
diklofenaakki	3400	180	160
ibuprofeeni	600	460	780
ketoprofeeni	400	-	-
lamivudiini	-	19	-
parasetamoli	-	5500	-
sulfametoksatsoli	-	2400	5600
atsidotymidiini	-	1300	-
oksitetrasykliini	-	-	300
atenolol	-	-	380
trimetopriimi	-	-	89

Etelä-Afrikan Msunduzi-joessa aspiriinin ja antibiootti naleksiinihapon pitoisuudet olivat pitoisuuksiltaan suurimpia. Aspiriinia havaittiin jopa 22 900 ng/l joen sijaitseman provinssin pääkaupungin alueella. Aspiriinin suurta pitoisuutta selittää se, että Etelä-Afrikassa lääkkeen saamiseen ei joka paikassa tarvitse reseptiä, jolloin sen käyttö on yleisempää. Antibioottina käytetyn naleksiinihapon pitoisuus oli suurta pintavesissä. Pintavedessä havaitut arvot eivät poikenneet suuresti jätevedenlaitoksen ulostulovirran pitoisuuksista, mikä tarkoittaa, ettei jätevedenpuhdistamo poistanut lääkettä juurikaan jätevedestä. Afrikassa jätevedenlaitosten säädökset eivät ole yhtä tiukkoja verrattaessa kehittyneisiin maihin. (Agunbiade, Moodley 2016)

Keniassa lääkeainepitoisuuksia tutkittiin Victoria-järven valuma-alueella Nzoia-joella. Siellä jäteveden poistotehokkuus oli lähes täydellistä ibuprofeenin ja parasetamolin kohdalla. Siitä huolimatta kyseisiä lääkkeitä havaittiin pintavesissä, jolloin lääkkeet ovat kulkeutuneet jokeen esimerkiksi pintavalumien tai huonon viemäriverkoston vuoksi. Havaituimmat lääkeaineryhmät Keniassa olivat antiviruseräkkeet, antibiootit sekä kipulääkkeet. Antiviruseräkkeitä, kuten lamivudiinia sekä atsidotymidiinia, käytetään HIV- ja AIDS-potilaiden hoidossa. (K'oreje, Kandie et al. 2018) Vuonna 2019 noin 68 prosenttia maailman AIDS- ja HIV-potilaista asui Afrikassa, minkä vuoksi näiden lääkkeiden kulutus on siellä muuta maailmaa yleisempää (Byanyima 2021).

Ugandassa antibioottien käyttö on yleistynyt huomattavasti viimeisten vuosikymmenien aikana. Infektiotautien lisääntyminen ja HIV- ja AIDS-potilaiden hoito ja lääkitys ovat lisänneet antibioottien käyttöä. (Nantaba, Wasswa et al. 2020) Ugandassa antibiootteja käytetään eläinlääkinnässä tautien ehkäisyä lisäksi myös nopeuttamaan siipikarjan ja eläinten kasvua (UNAS, CDDEP et al. 2015). Victoria-järven näytteistä 50 prosenttia havaituista lääkkeistä olivat antibiootteja. Antibiooteista suurimmat pitoisuudet olivat sulfametoksatsolilla, trimetopriimilla ja tetrasykliinillä. Sulfametoksatsolin ja trimetopriimin suuret pitoisuudet johtuvat osin siitä, että niitä käytetään lääkkeinä HIV-potilaiden infektioiden hoidossa. Ugandassa lääkkeitä päätyy ympäristöön tehtaiden jätevesien, maatalouksien - ja jätevedenlaitosten valumien sekä vääränlaisen hävityksen seurauksena. (Nantaba, Wasswa et al. 2020)

3.2.6 Lääkeaineiden pitoisuuksia Australiassa

Taulukossa VII on esitettyä Australian joissa mitattuja lääkeainepitoisuuksia. Scott et al. (2014) tutki Australian lääkeainepitoisuuksia eri puolilta maata. Tutkimuksessa näytteitä otettiin suurista kaupungeista kuten Darwinista, Perthista, Brisbanesta, Sydneystä, Canberasta, Melbournesta, Adelaidesta sekä Hobartista. Näytteitä otettiin rannikoilta, sillä suurin osa Australian ihmisistä asuu siellä. Taulukossa VII on esitettyä tuloksia Australiassa havaituista lääkeainepitoisuuksista.

Taulukko VII Australian lääkeainepitoisuudet (Lähteet: (Scott, Bartkow et al. 2014))

maanosa	Australia (Darwin, Perth, Sydney, Canberra, Melbourne, Adelaide, Hobart)
lääkeaine	keskiarvo c, (ng/l)
karbamatsepiini	30
parasetamoli	85
kofeiini	130
salisyylihappo	82

Lääkeaineista havaituin aine oli salisyylihappo, joka on aspiriinin metaboliitti. Sen pitoisuuksien keskiarvoksi mitattiin 82 ng/l. (Scott, Bartkow et al. 2014) Suurta pitoisuutta selittää yleisen lääkeaineen käytön lisäksi se, että salisyylihappoa kertyy myös esimerkiksi pajupuihin (Krantz, Berger et al. 2010). Pajupuut ovat yleisiä Australian vesiteillä, jolloin niiden voidaan olettaa vaikuttavan havaittuihin salisyylihappopitoisuuksiin. Nämä pitoisuusarvot eivät ole kuitenkaan hälyttäviä, sillä salisyylihappo ei aiheuta eliöistölle suurta vaaraa (Whitacre 2012, Scott, Bartkow et al. 2014). Parasetamolien maksimipitoisuudeksi mitattiin 7150 ng/l, ja sen yleisyyttä selittää se, että kipulääke on yleisessä käytössä maassa.

3.2.7 Lääkeaineiden pitoisuuksia Etelämantereella

Etelämanner on kasvattanut mielenkiintoa ihmisten keskuudessa, sillä alueella tehdään tutkimuksia yhä enemmän ja turistien lukumäärä kasvaa vuosi vuodelta. Taulukossa VIII on esitettyä sieltä havaittuja pitoisuuksia.

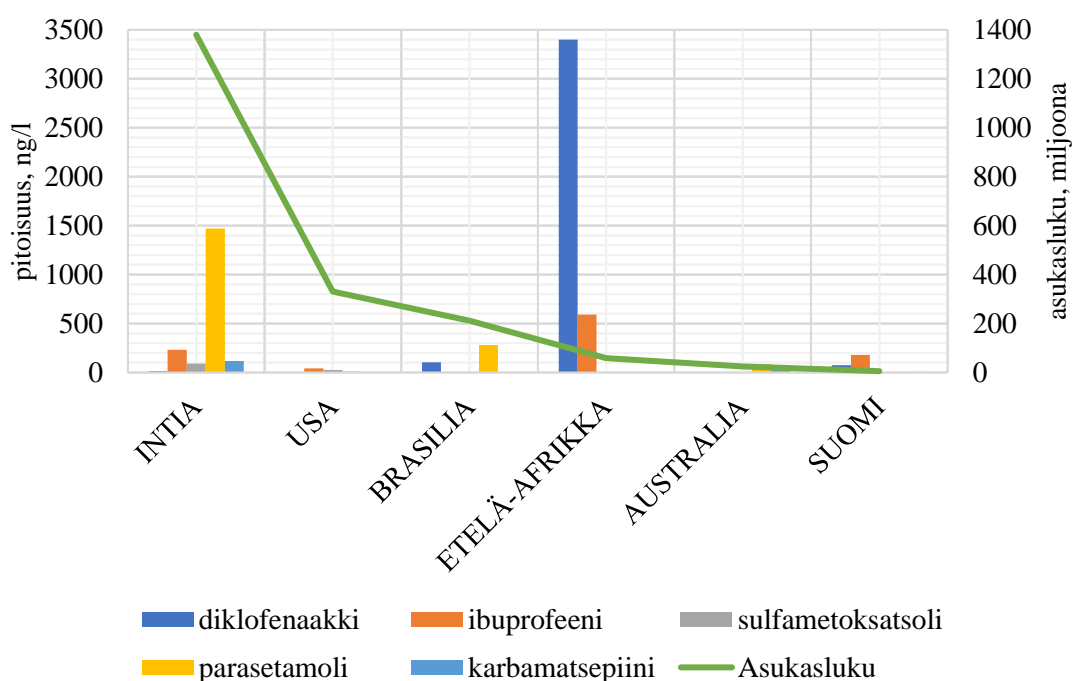
Taulukko VIII Etelämantereella havaittuja lääkeainepitoisuuksia (Lähde: (González-Alonso, Merino et al. 2017))

maanosa	Etelämanner (niemimaan alue)
lääkeaine	c, (ng/l)
parasetamoli	25
diklofenaakki	7761
ibuprofeeni	974
naprokseeni	333
sulfametoksatsoli	5
klaritromysiini	20
kofeiini	224

Tutkimuksen näytteenottoaikaan lähellä asuu talvisin vain noin 50 ihmistä ja kesäisin noin 150. Puroon lääkeainepitoisuuksiin ei siten vaikuta ihmisten eritteet. Puroon päästetään kuitenkin suoraan jätevettä lähellä olevasta saaresta, mikä vaikuttaa lääkeainepitoisuuksiin. Karbamatsepiinia ja ketoprofeenia havaittiin näytteissä, mutta niiden pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin alin mahdollinen havaitsemisraja. Diklofenaakkaa, ibuprofeenia ja naprokseenia havaittiin eniten, mutta pitoisuuksia selittää saarelta pääsevä puhdistamaton jätevesi, joka saastuttaa puroa. Antibiootti sulfametoksatsolin sekä klaritromysiinin pitoisuudet olivat alhaiset, mikä selittyy ihmisten vähäisellä määrällä. (González-Alonso, Merino et al. 2017) Antibioottien kulutus on ihmisten vähäisyyden vuoksi vähäistä, minkä vuoksi vesien antibioottipitoisuudet ovat myös pienemmät kuin muissa valtioissa.

3.3 PITOISUUKSIEN YHTEENVETO

Kuvassa 4 on esitetty Intian, Yhdysvaltojen, Brasilian, Etelä-Afrikan, Australian ja Suomen yleisimpien lääkeaineiden pitoisuudet suhteutettuna maan asukaslukuun. Intiassa on noin 1,4 miljardia asukasta, mikä kattaa noin 18 prosenttia koko maapallon asukkaista, kun Suomen asukasluku on puolestaan noin 5,5 miljoonaa, mikä kattaa 0,07 prosenttia maapallon asukkaista (Worldometer 2021a). On siis oletettavaa, että Intiassa lääkeaineiden pitoisuudet ovat suuremmat kuin Suomessa.



Kuva 4 Lääkeainepitoisuuksia suhteutettuna valtioiden asukaslukuihin

Kuten kuvasta 4 voidaan huomata, Intian ja Etelä-Afrikan lääkeainepitoisuudet ovat korkeammat verrattuna muihin valtioihin. On kuitenkin otettava huomioon, että mitatut pitoisuudet on otettu yhdestä paikasta eikä tuloksia näin voida yleistää suoraan maan lääkejättemäärän tilanteeseen. Kuva 4 kuitenkin antaa suuntaa siitä, miten pitoisuudet jakautuvat maailmalla. Intiassa väestön määrä on huomattavasti suurempi kuin muissa maissa, mikä selittääkin lääkeainepitoisuuksien suuruutta. Vastaavasti Etelä-Afrikassa huonot elinolosuhteet sekä huono sanitaatio edesauttavat lääkeaineiden esiintyvyyttä ympäristössä. Tämän kuvan

sekä näiden havaittujen pitoisuuksien perusteella voidaan todeta, että asukasluvulla sekä elinolosuhteilla on merkittävä rooli lääkeainepitoisuuksien määrässä ja esiintyvyydessä. Seuraavassa kappaleessa syvennytään näihin tekijöihin enemmän.

4 PITOISUUKSIEN SELITTÄVÄT TEKIJÄT

Lääkeaineiden tuotantoa harjoitetaan, sillä maailmalla vallitsee erilaisia sairauksia ja tauteja. Ilman lääkkeitä, ihmisten terveys olisi vaarassa ja kuolleisuus olisi huomattavasti suurempaa. Lääkkeiden tuotanto ja kulutus ovat ehdotonta ihmisten ja eläinten hyvinvoinnille. Lääkkeiden kulutus on täten vääjäämätöntä, mutta lääkkeiden kulutuksen kasvua sekä käytön alueellisia eroja selittää moni eri tekijä. Tässä kappaleessa perehdytään näihin tekijöihin, jotka vaikuttavat lääkeainepitoisuuksien esiintyvyyteen ja määrään. Kappaleessa perehdytään lisäksi myös siihen, mistä alueelliset erot valtioiden lääkeainepitoisuuksissa johtuvat.

4.1 LÄÄKEAINEPITOISUUKSIA SELITTÄVÄT TEKIJÄT

Vuonna 2020 väestö kasvoi 1,05 prosentilla, mikä tarkoittaa, että noin 81 miljoonaa ihmistä syntyi lisää maapallolle tuona vuonna. Väestön kasvu mitataan aina vuosittain ja kasvu on yleensä samaa mittaluokkaa. Viimeisen 40 vuoden aikana maailman väkiluku on kaksinkertaistunut. Väestö ei kuitenkaan kasva tasaisesti ympäri maailmaa, sillä esimerkiksi Afrikan väestö kasvaa vuodessa noin 2,5 % kun taas Euroopassa vain 0,06 %. (Worldometer 2021b) Afrikan valtioista suurin osa ovat kehitysmaat, minkä vuoksi muun muassa elintaso ja koulutus ovat huonommalla tasolla kuin teollisuusmaissa. Kuten aiemmin kuvasta 4 todettiin, lääkeaineita päätyy vesiin tällaisilla alueilla enemmän, sillä valtioiden jätevedenlaitokset ja viemäriverkostot eivät ole välttämättä yhtä tehokkaita kuin teollisuus- ja kehittyneillä mailla.

Väestönkasvu ja sen epätasainen jakautuminen lisäävät myös lääkeaineita ja niiden pitoisuuksia maailman vesissä. Lääkeainepitoisuuksien esiintymiseen ja niiden paljouteen vaikuttaa myös maailman ja valtioiden ikärakenne. Kuten yllä todettiin, Euroopassa väestönkasvu on hyvin hidasta ja esimerkiksi Suomessa väestönkasvu on pysähtymässä kokonaan. Tämän myötä väestön ikärakenne muuttuu ja ikääntyvien ihmisten kasvavan lääketarpeen myötä lääkkeiden kulutus ja näin ollen myös lääkeainepitoisuudet vesissä nousevat.

Väestönkasvu sekä ikääntyvien ihmisten määrä maailmalla ovat yksi selittävä tekijä lääkeainepitoisuuksien esiintyvyyteen ja kasvuun vesissä. Lääkeainepitoisuuksia selittää lisäksi esimerkiksi kaupungistuminen sekä maatalous.

Ihmiset muuttavat yhä enemmän kaupunkeihin ja rannikkoalueille. Rannikoilla asuu arvioiden mukaan noin 2,3 miljardia ihmistä, mikä kattaa noin 40 prosenttia koko maailman väestöstä (The Ocean Conference 2017, Gaw, Thomas et al. 2014, Hester, Harrison 2016). On myös tutkittu, että yli 50 prosentilla maista, joissa on rannikkoa, rannikolla ja sen lähistöllä asuu 80–100 prosenttia sen maan ihmisistä. Maailmalla on yhteensä myös 33 megakaupunkia, joista 2/3 on sijoittunut rannikoille (Gaw, Thomas et al. 2014). Megakaupungilla tarkoitetaan kaupunkia, jonka väkiluku on yli kahdeksan miljoonaa asukasta (Hester, Harrison 2016). Myös esimerkiksi Australiassa suurimmat kaupungit sijaitsevat rannikoilla. Rannikkoalueilla lääkeaineiden kulkeutuminen vesistöihin on huomattavasti helpompaa ja yleisempää. Hester & Harrison (2016) mukaan ihmiset tulevat muuttamaan tulevaisuudessa rannikoille yhä enemmän, mikä lisää lääkeaineiden määrää vesissä ympäri maapalloa. On selvää, että kaupunkien kasvaessa voimakkaasti jätevedenlaitoksien kapasiteetti ei tule riittämään puhdistamaan jätevettä tehokkaasti. Kaupungistuminen sekä rannikkoalueiden trendikkyys tuovat mukanaan näin ollen suuren haasteen. Jätevedenlaitoksien tulisi parantaa kapasiteettiansa, jotta puhdistamatonta jätevettä ei pääsisi suoraan vesiin.

Rannikkoalueilla jätevesi pääsee kulkeutumaan suoraan meriin, jotka ovat tärkeitä ekosysteemejä. Matkailu ja etenkin laivaliikenne saastuttavat myös merien ja vesien ekosysteemejä. Suuret risteily- sekä rahtilaivat seilaavat merillä mukanaan jopa tuhansia ihmisiä. (Hai, Visvanathan et al. 2018)

Suurten kaupunkien tulisikin panostaa tehokkaaseen infrastruktuuriin, jonka avulla taattaisiin puhtaat ja vaarattomat juomavedet sekä ympäristö koko ekosysteemille. On myös tärkeää, että lääkeaineiden haitallisuudesta ja myrkyllisyydestä tehtäisiin lisää tutkimuksia, jotta myrkyllisyyden voitaisiin puuttua esimerkiksi tiukemmalla lainsäädännöllä. Lisääntyvän kaupungistumisen myötä tulisi kiinnittää erityisesti huomiota siihen, että jätevedenpuhdistuslaitokset pystyvät kasvattamaan kapasiteettiansa kasvavan väestön mukana.

Kaupungistumisen lisääntymisestä huolimatta ihmisiä asuu myös edelleen kaupungin ulkopuolella. Maatalous ja sen harjoittaminen lisäävät kaupungistumisen lailla lääkeaineiden pääsyä ympäristöön. Maataloudessa eläinten lannoitetta käytetään usein viljelysmailla,

jolloin lääkeaineet pääsevät suoraan kosketukseen maaperän kanssa. Lisäksi viljelysmailla käytetään paljon tuholaisaineita, jotka sisältävät vaarallisia myrkkyjä. EU:n tarkkailulista sisältääkin useita eri maataloudessa käytettäviä aineita (liite 1 taulukko 1), mikä kertoo siitä, että vesissä havaitaan paljon kyseisiä aineita. Viljelysmailla lääkeaineet valuvat sade- ja kasteluvesien mukana pinta- ja pohjavesiin. Näin ollen lääkeaineita pääsee puhdistamattomina ympäristöön.

4.2 ASIAT, JOTKA VAIKUTTAVAT LÄÄKEAINEIDEN PITOISUUKSIEN EROAVAISSUUTEEN

Lääkkeiden runsas kulutus ja maiden väliset erot kulutuksessa johtuvat osin siitä, että joissakin maissa lääkkeitä myydään ilman reseptiä, jolloin lääkkeitä käytetään enemmän ja niin sanotusti turhaan. Eri mailla on eri käyttötottumuksia lääkkeiden käytössä, ja esimerkiksi antibioottien käytöllä on suuria eroja valtioiden välillä. Joissain valtioissa, kuten Ugandassa, antibiootteja käytetään eläinlääkinnässä ilman säännöksiä (UNAS, CDDEP et al. 2015). Euroopassa puolestaan eläinten hyvinvointiin ja oikeanlaiseen kasvatukseen on kiinnitetty huomiota jo 1970-luvulla, kun ensimmäiset säädökset koskien eläinten suojelua laadittiin. Euroopan unionissa on määrätty maailman tiukimpiin kuuluvia säännöksiä koskien eläinten hyvinvointia. Vuonna 1998 EU loi direktiivin, jossa luotiin yleiset käytännöt eläinten suojelemiseksi. (Euroopan parlamentti 2021) Direktiivissä säädetään esimerkiksi se, ettei eläimille saa syöttää muita paitsi lääkinnällisiä aineita. Eläinten kasvatuksessakaan ei saa käyttää mitään lisäkeinoja, jos niistä on haittaa eläimelle millään tasolla. (Direktiivi 98/58/EU) Yhdysvalloissa antibiootteja käytetään hedelmien kasvatuksessa ja mehiläistenhoidossa (Kümmerer 2008), ja Ugandassa niitä käytetään eläinten kasvun nopeuttamisessa (Nantaba, Wasswa et al. 2020). Tämä näkyy antibioottien pitoisuseroissa, sillä Itämeressä antibiootti sulfametoksatsolia esiintyi maksimipitoisuudella 33 ng/l, kun taas Ugandassa maksimipitoisuudella 5600 ng/l.

Bruttokansantuote ja maiden elintasot vaikuttavat myös lääkeainepitoisuuksien eroavaisuuksiin. Huono elintaso vaikuttaa esimerkiksi erilaisten tautien esiintyvyyteen sekä tautien leviämiseen, mutta myös koulutukseen ja sen puutteeseen. Köyhissä maissa kaikilla ihmisillä ei ole mahdollisuutta opiskella, jolloin tietoisuus lääkeaineista ja niiden haitallisuudesta ovat

puutteelliset. Tällöin esimerkiksi lääkeaineiden oikeaoppisesta hävittämisestä ei välttämättä ole tietoa, jolloin ne hävitetään vääjäämättä väärin. Etelä-Amerikassa ja Afrikassa tutkimukset lääkeaineiden pitoisuuksista ovat myös vähäisempiä kuin esimerkiksi Euroopassa joh-tuen elintasosta. Etelä-Amerikassa keskitytään köyhyyden, terveyden ja turvallisuuden pa-rantamiseen, sillä ne ovat kriittisempiä huolia siellä päin maapalloa. Koska valtiot ovat köy-hempiä, niiden jätevedenpuhdistuslaitokset eivät ole kehittyneimpiä ja tehokkaimpia, jolloin lääkeaineita päätyy ympäristöön myös enemmän.

Elintasot vaikuttavat myös erilaisten tautien esiintyvyyteen. Kuten ylempänä taulukossa IV nähtiin, Afrikan vesissä havaittiin HIV- ja AIDS-lääkkeitä. Afrikassa havaitut HIV- ja AIDS-lääkkeet kertovat siitä, ettei tautia ole saatu samalla tasolla hallintaan kuin esimerkiksi muissa maanosissa, jolloin kyseisiä lääkeaineita havaitaan maanosan vesissä enemmän.

Erilaisten tautien lisäksi eri valtioissa käytetään eri lääkeaineita. Esimerkiksi Costa Ricassa käytetyin antibiootti pitoisuuksien perusteella oli doksisykliini kun taas Etelä-Afrikassa se oli naleksiinihappo. Sri Lankan ja Kiinan vesissä havaittiin puolestaan pitoisuuksia hyön-teiskarkoittimissa käytettävistä lääkeaineista. Kuten huomataan, lääkeaineiden erilaiset käyttötottumukset sekä erilaiset taudit vaikuttavat pitoisuuksiin alueellisesti. Valtioissa on totuttu käyttämään eri lääkeaineita tuotettavuuden, saatavuuden sekä hinnan perusteella.

Kuten aiemmin myös todettiin, vuodenajat vaikuttavat lääkeainepitoisuuksiin. Vieno et al. (2005) mukaan talvella jätevedenpuhdistamon poistotehokkuus laskee jopa 25 prosentilla, jolloin lääkeaineita pääsee vesiin 3–5 kertaa enemmän kuin muina vuodenaikoina. Jäteve-denpuhdistamoiden puhdistusprosessit ovat lämpötilasta riippuvaisia, jolloin talvisin puh-distus tapahtuu huonommalla tehokkuudella (Vieno, Tuhkanen et al. 2005). Auringonvalo vaikuttaa myös joidenkin lääkeaineiden pitoisuuksiin, kuten esimerkiksi diklofenaakin sekä ketoprofeenin. Nämä lääkeaineet käyvät UV-valon vaikutuksesta fotolyysi-reaktiota, eli ne hajoavat UV-valon vaikutuksesta. Talvisin Suomessa ja muissa pohjoisessa sijaitsevilla val-tioissa auringonvalon saanti on vähäisempää kuin kesäisin, jolloin esimerkiksi juuri keto-profeenin ja diklofenaakin pitoisuudet kasvavat niiden hajoamisen vähentyessä. (Lindholm-Lehto, Ahkola et al. 2016)

Lääkeaineiden alueellisia eroja selittää siis monet erilaiset tekijät. Alueellisiin eroihin pys-tyttäisiin vaikuttamaan joidenkin tekijöiden osalta. Kuitenkaan esimerkiksi vuodenaikoihin ja niiden aiheuttamiin pitoisuuksien vaihteluihin ei pystytä vaikuttamaan miltään osin.

Lääkkeiden kulutukseen puolestaan pystyttäisiin vaikuttamaan suhteellisen helposti erilaisien säädöksiä ja lakien avulla. Paremman infrastruktuurin sekä paremman jätevedenlaitosten poistotehokkuuden kehittäminen vaatii uusia teknologioita sekä uusien ideoiden kehittämistä. Lääkeaineiden vähentämisen keinoihin syvennyttään paremmin kappaleessa 6.

5 LÄÄKEAINEJÄÄMIEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN JA IHMISSIIN

Tässä kappaleessa esitetään lääkeaineiden vaikutuksia ympäristöön ja sen eliöihin sekä ihmisiin. Lääkeaineet kulkeutuvat vesiin ja sitä kautta suurina pitoisuuksina ne saattavat kulkeutua jopa juomavesiin, jolloin ihmisten terveys on uhattuna.

Lääkeaineet vaikuttavat ympäristöön negatiivisesti. Lääkeaineiden kulkeuduttua vesiin ne alkavat vaikuttamaan eliöstöön ja ympäristöön välittömästi. Pienet pitoisuudet tiettyä lääkeainetta voi vaikuttaa vesien eliöstöön jo huomattavasti. Vesien eliöstöillä on erilaisia herkkyksiä tietyille lääkeaineille. Toiset eliöt reagoivat jo ng/l pitoisuuksiin, kun taas toiset vaativat mg/l pitoisuuden, jotta lääkeaineet alkavat vaikuttamaan niihin. Lääkeaineiden haitallisuus tietyille eliöille riippuu aina itse eliöstä ja sen rakenteesta, lääkeaineen määrästä, altistumisajasta sekä kehitymisasteesta. (Bonfille, Gomez et al. 2018)

Lääkejätteet vaikuttavat eliöiden lisäksi myös ihmisiin joko juomaveden tai ruoan kautta. Tutkimuksia juomaveden lääkeainepitoisuuksista on tehty vain vähän, ja suurin osa niistä Länsi-Euroopassa (Aus Der Beek, Weber et al. 2016). Juomavesissä on kuitenkin havaittu jo lääkeaineita, kuten estrogeeneja. Pitoisuudet ovat kuitenkin olleet vielä niin pieniä, ettei niistä ole ollut haittaa ihmisille. On kuitenkin huomioitava, ettei tutkimuksia ole tehty joka puolella maailmaa, joten joissain valtioissa lääkeaineita saattaa esiintyä myös jo juomavesissä. (Hester, Harrison 2016)

5.1 KIPULÄÄKKEIDEN VAIKUTUKSET

Yleisimmät kipuainelääkkeet, joiden haitallisista vaikutuksista raportoidaan, ovat diklofenakki, ibuprofeeni, parasetamoli sekä naprokseeni (Khan, Rehman et al. 2020).

Diklofenaakki on EU:n tarkkailulistalla, sillä sen pitoisuuksia on havaittu suurina määrinä Euroopassa ja sen ulkopuolella (EUR-Lex 2015). Diklofenaakki voi aiheuttaa esimerkiksi häiriöitä kalojen ja muiden eliöiden lisääntymisessä, kasvussa sekä elinten toiminnassa (Whitacre 2012, Li 2014). Esimerkiksi Intiassa ja Pakistanissa diklofenaakin on todettu aiheuttavan korppikotkissa munuaisten vajaatoimintaa, minkä vuoksi niiden laji on vähentynyt huomattavasti kyseisissä valtioissa (Khan, Rehman et al. 2020). Diklofenaakin on todettu myös aiheuttavan simpukoille muutoksia aineenvaihdunnassa 100 µg/l -pitoisuudella ja 7 päivän altistumisajalla. Lisäksi sen on todettu vaikuttavan myös eliöiden munasolujen sekä siittiöiden liikkuvuuteen. Siittiöiden liikkuvuudessa havaittiin vaikutuksia eliöillä 0,1 µg/l ja 1 µg/l pitoisuuksilla. (Bonfille, Gomez et al. 2018) Tässä tutkimuksessa tutkittavien maiden diklofenaakkipitoisuudet ylittivät 1 µg/l -pitoisuuden ainoastaan Etelä-Afrikassa. Diklofenaakin alimmaksi ekotoksiseksi konsentraatioksi on saatu keskimäärin 3 µg/l, kun tutkittiin 156 aineiston ekotoksisia vaikutuksia (González-Alonso, Merino et al. 2017).

Ibuprofeeni ja parasetamoli ovat yleisimmät kipulääkkeet maailmalla (González-Alonso, Merino et al. 2017). Ibuprofeeni vaikuttaa herkimmin kasviplanktoneihin pitoisuuksilla 1–315 mg/l eri lajeista riippuen. Eliöstölle sen on todettu aiheuttavan muutoksia käytöksessä alimmalla havaitulla pitoisuudella 0,01 µg/l. Vesikirpuille sen on todettu aiheuttavan käytöslisääntymis- sekä selviytymisongelmia 14 päivän altistumisajalla alimmilla havaituilla pitoisuuksilla 40 mg/l, 20 mg/l sekä 80 mg/l. (Whitacre 2012) Parasetamoli on ilman reseptiä saatava lääke, minkä vuoksi sen käyttö onkin maailmanlaajuisesti yleistä. Parasetamolia on löytynyt vesistä ympäri maapalloa ng/l -tarkkuudella. Parasetamolin on kuitenkin tutkittu olevan vesieliöille vaaratonta. On kuitenkin muistettava, että tutkimuksia on tehty rajallinen määrä eikä tutkimuksia ole suoritettu useinkaan äärielinympäristöissä. Samoin kuin ibuprofeenilla, parasetamolin haittavaikutukset näkyvät vasta mg/l -pitoisuuksilla, mutta näin suuria pitoisuuksia parasetamolia ei ole havaittu vesistöissä. (González-Alonso, Merino et al. 2017)

5.2 ANTIBIOOTTIEN VAIKUTUKSET

Antibiootteja havaitaan vesistöissä joka puolella maailmaa. Antibiootit uhkaavat eniten ympäristöä tällä hetkellä. Maailman terveysjärjestö WHO on listannut vuonna 2019 antibiootiresistenssin yhdeksi maailman kymmenestä terveysriskistä (Rada 2019). Antibioottien

keksiminen ja niiden käyttö lääketieteessä on ollut merkittävä kehitys maailmassa. Ilman antibiootteja monet taudit olisivat hengenvaarallisia. Niiden jatkuva kehitys sekä suuri kulutus ovat nyt kuitenkin vaarassa tuhota niiden hyödyn. Antibioottiresistenssissä on kyse siitä, että bakteerit tottuvat antibiooteille eivätkä antibiootit enää tehoa bakteereja vastaan. Tämän vuoksi bakteerien tarttuessa ihmiseen tai eläimeen, antibiootit eivät tehoa enää parantavasti, jolloin bakteerien aiheuttamia tauteja on vaikeampi hoitaa. (World Health Organization 2020) Antibioottiresistanssi on suurempaa siellä, missä antibiootteja saa ilman reseptejä, minkä vuoksi yhteiset pelisäännöt niiden myynnille ja kulutukselle olisi kohdallaan. Antibiooteista sulfametoksatsoli sekä klaritromysiini ovat maailmalajuisesti käytetyimmät (González-Alonso, Merino et al. 2017).

Antibiooteista sulfametoksatsolia käytetään niin eläin- ja ihmislääkinnässä, ja se on eniten määrätty reseptilääke (González-Alonso, Merino et al. 2017). Sulfametoksatsolin on tutkittu vaikuttavan vehnän lehtien proteiinisynteesiin, minkä vuoksi niiden kasvu ja kehitys hidastuvat tai estyvät kokonaan. On myös tutkittu, että kyseinen lääkeaine voi vaikuttaa myös porkkanan - ja kaalin versojen pituuteen negatiivisesti. (Huang, Bu et al. 2018) Sulfametoksatsoli on kroonisesti myrkyllistä leville aiheuttaen fotosynteesiin nopeuden vähenemistä, mikä johtaa puolestaan leväkuolleisuuteen. Tämä aiheuttaa puolestaan rehevöitymistä, joka vaikuttaa vesiekosysteemiin. (Nie, Liu et al. 2013, Li 2014)

5.3 HORMONIEN VAIKUTUKSET

Yleisimmät hormonit, joita havaitaan vesissä ovat estroni, estradioli sekä etyneeliestradioli. Estroni ja estradioli ovat luonnollisia estrogeenejä, joita on ihmisissä ja eläimissä luonnostaan (Adeel, Song et al. 2017, Li 2014). Kolmanneksi yleisin estrogeeni etyneeliestradioli on yleinen ehkäisyssä käytettävä lääkeaine, jota 8,9 prosenttia maailman naisista käyttävät (Aus Der Beek, Weber et al. 2016). Tämä kyseinen estrogeeni onkin ympäristölle haitallisin aiheuttaen esimerkiksi muutoksia kaloissa. (Li 2014) Arviolta noin 30 000 kg luonnollisia estrogeenejä, kuten estronia ja estradiolia, erittyy maailman ihmisistä vuosittain. Tämän lisäksi noin 700 kg synteettisiä estrogeenejä, kuten etyneeliestradiolia, tuotetaan vuosittain ihmisten käytettäväksi. Karjasta päätyvien estrogeenien määrä ympäristöön on vielä suurempi kuin ihmisistä päätyvä määrä. Euroopan unionin jäsenmaissa sekä Yhdysvalloissa karjan estrogeenipäästöt ovat vuosittain 83 000 kg. Ihmisten ja eläinten luonnolliset

estrogeenit sekä niiden erittyminen ympäristöön on todettu suureksi ympäristöriskiksi. Estrogeenien leviämistä ja niistä koituvaa riskiä lisää myös se, että eläinten lantaa käytetään lannoitteena maataloudessa. (Adeel, Song et al. 2017) Estradioli sekä etyneeliestradioli ovat diklofenaakin tavoin EU:n tarkkailulistalla, jotta niiden vaikutuksia ja vaarallisuutta tutkittaisiin enemmän (EUR-Lex 2015).

Hormonilääkeaineet voivat aiheuttaa pienilläkin pitoisuuksilla vakavia muutoksia ja vaikutuksia kaloihin, nisäkkäisiin sekä muihin eliöihin. Esimerkiksi etinyyliestradioli vaikuttaa kalojen rakenteisiin aiheuttaen häiriöitä sen munuaisissa ja suolistossa 5–50 ng/l pitoisuuksilla. (Li 2014) Särkikaloja tutkittaessa on saatu selville, että estrogeenit vaikuttavat uroskaloihin feminisoiden niitä sekä aiheuttaen niissä intersukupuolisuutta. On arvioitu, että intersukupuolisia vaikutuksia on havaittu kaloilla, kun alin altistuspitoisuus etinyyliestradiolilla on noin 2 ng/l. (Jobling, Williams et al. 2006) Toisessa tutkimuksessa etinyyliestradiolin on havaittu aiheuttavan uroskaloissa täydellisen feminisaation ja täten naaraskalojen väestönkasvun, kun pitoisuus on ollut yli 3,5 ng/l (Li 2014). Etinyyliestradiolin on myös havaittu vaikuttavan härkäsammakon sydämentoimintaan, jos pitoisuus on 10 ng/l (Adeel, Song et al. 2017). Tällaiset vaikutukset ovat suuria ja uhkaavat lajien selviämistä. Lääkeaineiden aiheuttaessa eliöiden feminisointia sekä ongelmia lisääntymisessä ovat kyseiset eliöt vaarassa kuolla sukupuuttoon. Hormonien esiintyminen vesissä on vääjäämätöntä, sillä ihmisissä ja eläimissä on hormoneja luonnostaan. On siis ehdottoman tärkeää, että kaikkien ylimääräisten hormonien käyttöä sekä päätymistä ympäristöön vähennettäisiin.

Estrogeenien päätyessä ympäristöön ja vesiin on niillä mahdollisuus päästä juomavesien mukana takaisin ihmisen kehoon. Sallittu haitaton estrogeenien määrä, mitä ihmisen kehoon voi päästä, on 0,3 mg/l. Jos normaali estrogeenipitoisuus ylittyy ihmisen kehossa, syöpäriski sekä sydän- ja verisuonitautien riskit kasvavat. Juomavesissä ja ruoissa esiintyvien ylimääräisten estrogeenien on todettu aiheuttavan ennenaikaisia vaihdevuosisia, miesten feminisointia sekä häiriöitä lisääntymiskehityksessä ja miesten siittiöiden määrässä. (Adeel, Song et al. 2017) On siis erityisen tärkeää varmistaa ja huolehtia siitä, ettei ihmisten eikä eläinten eritteistä poistuvat estrogeenit pääse juomavesien ja ruokien mukana takaisin ihmisten elimistöön sallittuja pitoisuuksia korkeampina.

5.4 MUIDEN YLEISTEN LÄÄKEAINEIDEN VAIKUTUKSET

Karbamatsepiini on antiepileptinen lääke, jota käytetään yleisimmin epilepsian hoitoon. Lääke on yleinen maailmalla, minkä vuoksi sitä havaitaan paljon vesistä. Karbamatsepiini on luonnossa vastustuskykyinen eli se ei hajoa siellä helposti (Li 2014). Sen on todettu aiheuttavan akuuttia myrkyllisyyttä hyönteisillä pitoisuutena 34,4 mg/l ja vesikirpuilla 17,2 mg/l pitoisuudella. Kroonista myrkyllisyyttä puolestaan havaittiin vesikirpuilla pitoisuudella 92 mg/l. Seeprakaloille karbamatsepiinin on havaittu olevan tappavaa pitoisuudella 43 mg/l. (Kümmerer 2008) On myös todettu, että karbamatsepiini aiheuttaa karsinogeenisiä vaikutuksia rotilla, mutta sen ei ole havaittu aiheuttavan geenimuunnoksia nisäkäsoluilla (Fent, Weston et al. 2006).

Kofeiini on yleisin käytetty stimulanttilääkeaine eli piriste. Sitä löytyy myös juomista ja ruoista, missä sitä käytetään vireystilan palautuksessa. (Li 2014) Kofeiinia ja sen metaboliitti paraksantiinia löytyy vesistä hyvin suurinakin pitoisuuksina. Kofeiinin on todettu aiheuttavan koralleilla pitkäaikaisen altistumisen seurauksena stressiä. Etelämantereella tehdyn tutkimuksen perusteella on myös havaittu, että kofeiini voi kertyä esimerkiksi hyttyskalojen kudoksiin ja täten aiheuttaa niille kroonisia haittoja. Hyttyskaloissa havaittiin biokertymää 1–3 ng/l, kun lammen kofeiinipitoisuus oli 81 ng/l. (González-Alonso, Merino et al. 2017)

5.5 LÄÄKKEIDEN YHTEISVAIKUTUKSET

Kappaleessa 3 esitettyjen lääkeaineiden esiintyvyyksien perusteella voidaan päätellä, etteivät lääkeaineet esiinny vesissä yksin. Tutkimuksissa on havaittu aina useampia lääkeaineita samoilta mittauspaikoista. Joidenkin lääkkeiden vaikutuksia on tutkittu enemmän kuin toisien. Euroopan komissio on esityksessään tuonut ilmi sen, että lääkeaineiden mahdollisista yhteisvaikutuksista on kuitenkin vasta hyvin vähän tietoa (Euroopan komissio 2019). Kaikkien lääkkeiden yhteisvaikutusten selvittäminen on lähes mahdotonta, sillä on olemassa monia eri variaatioita sille, mitkä lääkeaineet esiintyvät yhdessä. Olisi kuitenkin hyödyllistä tehdä tutkimusta yleisimpien lääkeaineiden yhteisvaikutuksista ympäristölle, jotta saataisiin lisää tietoa haitallisuuksista. Lääkeaineiden esiintyessä yhdessä niiden aiheuttamat haitat saattavat suurentaa riskiä kroonisille sekä akuuteille haitoille. Lisää tutkimusta kaivataan siis siitä, miten lääkeaineet vaikuttavat yhdessä ympäristöön.

6 LÄÄKEAINEJÄÄMIEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Lääkkeiden tuotantoa ja kulutusta ei voida vain lopettaa, joten on keksittävä keinoja, joilla lääkeaineiden kulutusta saadaan vähennettyä. Lääkkeiden kulutuksen kontrolloiminen onkin yksi tapa saada vähennettyä lääkeainejäämiä vesissä. Tässä kappaleessa esitetään erilaisia keinoja lääkeainejäämien vähentämiseksi.

6.1. LÄÄKEAINEIDEN KULUTUKSEN SÄÄNNÖSTELY

Kiina ja Intia tuottavat ja kuluttavat eniten lääkeaineita maailmassa. Näiden kahden maan väestö kattaa 36 prosenttia koko maailman väestöstä (Worldometer 2021). Antibioottien myynti ja käyttö Intiassa on suurta eikä niitä rajoiteta millään tasolla. Näiden valtioiden tulisi puuttua lääketuotannon sekä lääkkeiden myynnin parantamiseen. Intia ja Kiina saisivat esimerkiksi antibioottien käytön rajoittamisella huomattavasti alennettua lääkeainekuormaa vesissä. Kulutusta voitaisiin vähentää siten, että valtiot pitäisivät huolen siitä, että lääkkeitä myytäisiin oikeaan tarpeeseen.

Kiinassa ja Intiassa on tehty antibioottiresistenssin ehkäisemiseksi joitain toimia. Kiinassa hallitus on ohjeistanut sairaaloita antibioottien käytön rajoituksissa sekä se on antanut säännöksiä eläinten antibioottikäytännöissä (Khan, Rehman et al. 2020). Intiassa puolestaan on julkaistu antibioottiresistenssiä koskeva julkaisu, jonka mukaan maan antibioottikäytäntöihin tulee kiinnittää enemmän huomiota. Tämä julkaisu herätti maanlaajuisesti huomiota, jonka seurauksena Intiassa on ryhdytty toimimaan antibioottiresistenssiä ehkäisevästi. (Team 2014)

Vuonna 2017 Euroopan komissio hyväksyi toimintasuunnitelman, jonka avulla pystyttäisiin torjumaan mikrobilääkeresistenssiä eli antibioottiresistenssiä. Suunnitelman keskeiset tavoitteet ovat vähentää lääkkeiden turhaa myyntiä ja käyttöä. Suunnitelmassa otetaan tiukasti myös kantaa siihen, ettei esimerkiksi antibiootteja tulisi käyttää eläinlääkinnässä ja että ihmisistä ja eläimistä syntyvät antibioottijäämät vesistöissä ja maaperässä ovat ympäristöongelma. (Euroopan parlamentti 2018, Euroopan komissio 2021). Olisi tärkeää saada jokainen maa sitoutumaan antibioottiresistenssin vähentämiseen ja tekemään konkreettisia toimia sen edistämiseksi. Kiinaan ja Intiaan verrattua Euroopassa on jo tehty näkyviä toimia

antibioottien rajoittamisessa. Esimerkiksi Suomessa antibiootteja ei saa ilman reseptiä eikä niitä saa käyttää eläinlääkinnässä kasvun nopeutuksessa.

6.2 LÄÄKKEIDEN OIKEAOPPISEN HÄVITTÄMISEN PARANTAMINEN

Lääkeaineiden vääränlaiset hävittämisen seuraukset ovat ympäristölle suuret. Vääränlaisen hävityksen seurauksena lääkkeitä kulkeutuu turhaan ympäristöön, sillä se olisi helposti estettävissä. Olisi tärkeää, että jokainen ihminen tietäisi, mitä lääkkeiden vääränlaisesta hävittämisestä seuraa. Aptekeissa itsessään syntyy myös väärin jätettä, jotka niiden kuuluu hävittää. Lääkejätteen vähentämisen kannalta olisi hyödyllistä säätää esimerkiksi maailmanlaajuinen säädös sille, että jokaisen apteekin tulisi ottaa vastaan lääkejätettä ja tämän jälkeen hävittää ne kunnolla. Lääkejätteelle voisi myös esimerkiksi järjestää oman keräyspisteen samalla tavalla kuin lasille ja muoville on omia keräyksiä. Lisäisikö se ihmisten aktiivisuutta lääkejätteen hävittämisessä ja saataisiinko se toimimaan kannattavasti?

Serbiassa on tehty tutkimusta siitä, olisivatko ihmiset valmiita maksamaan, että lääkejätteelle organisoitaisiin keräysohjelma. Tutkimuksessa kävi ilmi, että noin 80 prosenttia vastanneista olisi kiinnostunut tällaisesta ohjelmasta, mutta vain noin 50 prosenttia vastaajista olisi valmiita maksamaan keräyksestä. (Paut Kusturica, Milica, Golcorbin-Kon et al. 2020) Tällainen keräysohjelma voisi olla yksi tapa vähentää ja parantaa ihmisten lääkejätteen hävittämistä. Kuitenkin tämän kaltainen keräys saattaisi olla turha valtioissa, joissa apteekit ottavat jo vastaan lääkejätettä.

Kuten aiemmin kappaleen 2.2 kuvasta 2 todettiin, Suomessa 80 prosenttia ja Ruotsissa 65 prosenttia vanhentuneista ja käyttämättömistä lääkkeistä hävitetään apteekkiin. Kehitysmaissa, joissa asukasluvut ovat usein suuremmat, lääkkeet hävitetään usein suoraan viemäriin tai kotitalousjätteisiin. Olisi erittäin tärkeää saada eniten asutuille alueille kunnolliset hävityspaikat vanhentuneille lääkkeille, sillä siellä lääkejätettä syntyy eniten. Esimerkiksi Kiinassa ja Intiassa tulisi kehittää toimivat keräyspisteet lääkkeille.

6.3 JÄTEVEDENLAITOSTEN KEHITTÄMINEN

Lääkeaineiden esiintyvyys vesistöissä on globaali ongelma, minkä vuoksi lääkeaineiden esiintyvyyteen tulisi puuttua joka puolella maailmaa. Kuitenkin elintasot vaihtelevat suuresti ympäri maapalloa, minkä vuoksi maiden tulisi tehdä yhteistyötä saadakseen lääkeaineiden pitoisuudet vähenemään. Kehitysmaiden jätevedenpuhdistuslaitoksia tulisi parantaa siten, että puhdistamatonta jätevettä ei pääsisi enää suoraan vesiin. Jätevedenpuhdistuksen teknologiaa tulisi myös kehittää siihen suuntaan, että jätevedenlaitokset poistaisivat jätevedestä lääkeaineita paremmalla poistoteholla. Tiheään asutuilla alueilla tulisi huolehtia myös siitä, että jätevedenlaitoksien kapasiteetti riittäisi puhdistamaan kaiken jäteveden.

Kehittyneiden sekä teollisuusmaiden tulisi investoida ja kehittää uusia ja parempia jätevedenpuhdistustekniikoita, jotka ottaisivat huomioon lääkeaineiden poiston puhdistuksessa. Teollisuusmailla on varmasti resursseja kehittää uusia järjestelmiä, ja ympäristöasioiden muutenkin ollessa pinnalla, kiinnostusta ja rahoitusta investointeihin myönnettäisiin varmasti. Samalla kun jätevedenpuhdistamoiden lääkeaineiden poistotehoja tulisi parantaa, tulisi samalla tavalla parantaa itse lääkeaineiden ominaisuuksia parempaan suuntaan. Pystyttäisiinkö lääkeaineita suunnittelemaan siten, että ne hajoaisivat nopeammin eivätkä näin ollen enää vaikuttaisi vesissä?

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tutkia lääkeainejäämien esiintyvyyttä maailman vesissä, ja löytää syitä alueellisiin eroihin. Työssä tarkasteltiin lisäksi lääkeaineiden vaikutuksia ympäristöön sekä esitettiin ratkaisuja lääkeaineiden pitoisuuksien vähentämiseksi. Lääkeaineet kulkeutuvat vesiin kolmen primääripäästölähteen kautta: kuluttajat, eläinlääkintä sekä teollisuus. Lääkeaineiden päädyttyä vesistöihin ne vaikuttavat eliöihin negatiivisesti. Pitoisuudet vaikuttavat vesien eliöihin jo pienilläkin pitoisuuksilla. Ihmisen terveyttä uhkaa tällä hetkellä eniten antibioottien esiintyminen vedessä ja niiden aiheuttama antibioottiresistenssi.

Lääkeaineiden pitoisuudet vaihtelevat alueellisesti, mikä johtuu esimerkiksi valtioiden asukasluvusta, elintasosta, eri sairauksista sekä lääkkeiden kulutuksesta. Lääkeaineiden kulutusta tulisi vähentää erilaisten lakien ja säädösten avulla, jotta lääkeaineiden esiintyvyys

vähentyisi vesissä. Kulutusta saataisiin pienennettyä sillä, että lääkkeiden myyntiä rajoitettaisiin ja että lääkkeitä myytäisiin ainoastaan kunnollisiin tarpeisiin. Antibiootit aiheuttavat tällä hetkellä konkreettisimmat haittavaikutukset päästessään ympäristöön, sillä bakteerien vastustuskyvyn kasvaessa ihmisten ja eläinten terveys ovat uhattuina. Tämän vuoksi antibioottiresistenssin ehkäisy on ehdottoman tärkeää. Näin ollen ilman reseptiä saatavien antibioottien, sekä muiden voimakkaiden lääkkeiden, myynti tulisi lopettaa jokaisessa maassa. Samalla tavoin antibioottien käyttö tuotantoeläinten kasvun nopeuttamisessa tulisi lopettaa maailmanlaajuisesti. Kulutuksen sääntelyn lisäksi lääkeaineiden oikeaoppiseen hävittäminen vähentäisi lääkeaineiden määrää vesissä. Suurten valtioiden, kuten Kiinan ja Intian, tulisi ottaa Suomesta mallia ja kehittää yhtä toimiva systeemi lääkkeiden hävittämiselle. Maiden, joissa tuotetaan ja kulutetaan eniten lääkkeitä, tulisi säätää tiukemmat lait lääkeaineiden myynnille sekä hävittämiselle.

Työn tulosten perusteella lääkeaineita esiintyy joka puolella maapalloa. Stimulanttilääke kofeiinin suurin pitoisuus 1,1 mg/l havaittiin Costa Ricassa, kun taas kipulääke ibuprofeenin suurin pitoisuus 2,8 µg/l havaittiin Yhdysvalloissa. Maailman vesissä havaitut pitoisuudet ovat kuitenkin vielä maltillisia, mutta muutoksia tulisi jo alkaa tekemään. Ihmisten tietoisuutta tulisi lisätä tämän aiheen ympäriltä, jotta jokainen voisi omalla toiminnallaan ehkäistä lääkeainejäämien syntyä. Kun ihmiset eivät tiedä lääkeainejäämien vaikutuksista, eivät he muuta käyttäytymistään mihinkään. Olisi ehdottoman tärkeää tuoda enemmän ilmi sitä, kuinka jokainen voi omalla käytöksellään vaikuttaa esimerkiksi antibioottiresistenssin ehkäisemiseen. Tällä tavoin voidaan vaikuttaa esimerkiksi siihen, kuinka ihmiset hävittävät lääkeainejäämiänsä ja siihen, kuinka ihmiset eivät ostaisi turhaan ilman reseptiä saatavia antibioottilääkkeitä.

Tämän aiheen ympäriltä olisi hyvä tehdä lisää jatkotutkimusta jätevedenlaitoksien tehokkuudesta sekä poistotehosta ja siitä, miten niitä voitaisiin parantaa. Lääkeaineiden yhteisvaikutuksien tutkimista tulisi myös lisätä, jotta saataisiin selkeämpi kuva siitä, miten eri lääkeaineet vaikuttavat yhdessä ympäristöön. Tällä hetkellä on vain niukasti tietoa siitä, miten yksi lääkeaine yksinään vaikuttaa tiettyihin eliöihin tietyllä pitoisuudella. Lisää tutkimusta lääkeaineiden pitoisuuksista kaivataan myös esimerkiksi Afrikan ja Etelä-Amerikan valtioissa, joista tällä hetkellä on vain niukasti tietoa.

LÄHTEET

ADEEL, M., SONG, X., WANG, Y., FRANCIS, D. and YANG, Y., 2017. Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: a critical review. *Environment international*, **99**, pp. 107-119.

AGUNBIADE, F.O. and MOODLEY, B., 2016. Occurrence and distribution pattern of acidic pharmaceuticals in surface water, wastewater, and sediment of the Msunduzi River, Kwazulu-Natal, South Africa. *Environmental toxicology and chemistry; Environ Toxicol Chem*, **35**(1), pp. 36-46.

AJO, P., PREIS, S., VORNAMO, T., MÄNTTÄRI, M., KALLIOINEN, M. and LOUHIKULTANEN, M., 2018. Hospital wastewater treatment with pilot-scale pulsed corona discharge for removal of pharmaceutical residues. Elsevier.

ALAJÄRVI, L., LOUHISALMI, M., MARTIKAINEN, J. and TIMONEN, J., 2020-last update, Suomalaiset palauttavat lääkejätteen apteekkiin - kyselytutkimus käyttämättömien ja vanhentuneiden lääkkeiden hävityskäytännöistä aikuisväestölle [Homepage of Suomen Farmasioliitto ry], [Online]. Available: https://dosis.fi/wp-content/uploads/2020/09/384-Dosis_3-2020_Louhisalmi.pdf.

AUS DER BEEK, T., WEBER, F., BERGMANN, A., HICKMANN, S., EBERT, I., HEIN, A. and KÜSTER, A., 2016. Pharmaceuticals in the environment-Global occurrences and perspectives. *Environmental toxicology and chemistry; Environ Toxicol Chem*, **35**(4), pp. 823-835.

BARBHUIYA, N.H. and ADAK, A., 2021. Determination of antimicrobial concentration and associated risk in water sources in West Bengal state of India. *Environmental monitoring and assessment; Environ Monit Assess*, **193**(2), pp. 77.

BJÖRLENIUS, B., RIPSZÁM, M., HAGLUND, P., LINDBERG, R.H., TYSKLIND, M. and FICK, J., 2018. Pharmaceutical residues are widespread in Baltic Sea coastal and offshore waters – Screening for pharmaceuticals and modelling of environmental

concentrations of carbamazepine. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **633**, pp. 1496-1509.

BONNEFILLE, B., GOMEZ, E., FREDERIQUE, C., ESCANDE, A. and FENET, H., 2018. *Diclofenac in the marine environment: a review of its occurrence and effects*. Oxford ; New York : Elsevier Science.

BYANYIMA, W., 2021-last update, Global HIV and AIDS statistics. Available: <https://www.avert.org/global-hiv-and-aids-statistics> [17.8., 2021].

CAI, Z., DWIVEDI, A.D., LEE, W., ZHAO, X., LIU, W., SILLANPÄÄ, M., ZHAO, D., HUANG, C. and FU, J., 2018. Application of nanotechnologies for removing pharmaceutically active compounds from water: development and future trends. *Environmental Science: Nano*, **5**(1), pp. 27-47.

CHOI, K., KIM, Y., PARK, J., PARK, C.K., KIM, M., KIM, H.S. and KIM, P., 2008. Seasonal variations of several pharmaceutical residues in surface water and sewage treatment plants of Han River, Korea. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **405**(1), pp. 120-128.

DAI, G., WANG, B., HUANG, J., DONG, R., DENG, S. and YU, G., 2015. Occurrence and source apportionment of pharmaceuticals and personal care products in the Beiyun River of Beijing, China. *Chemosphere (Oxford); Chemosphere*, **119**, pp. 1033-1039.

EK HENNING, H., PUTNA-NIMANE, I., KALINOWSKI, R., PERKOLA, N., BOGUSZ, A., KUBLINA, A., HAIBA, E., BARDA, I., KARKOVSKA, I., SCHUTZ, J., MEHTONEN, J., SIIMES, K., NYHLEN, K., DZINTARE, L., ÄYSTÖ, L., SINICS, L., LAHT, M., LEHTONEN, M., STAPF, M., STRIDH, P., POIKANE, R., HOPPE, S., LEHTINEN, T., KORGMÄ, V., JUNTILA, V. and LEISK, U., 2020. *Pharmaceuticals in the Baltic Sea Region –emissions, consumption and environmental risks*. Länsstyrelsen Östergötland.

EUR-LEX, 2015. Euroopan komission direktiivi 2015/495/EU.

EUR-LEX, 2004. Euroopan komission direktiivi 2004/27/EY.

EUROOPAN KOMISSIO, 2021-last update, Mikrobilääkeresistenssiä koskevat EU:n toimet. Available: https://ec.europa.eu/health/antimicrobial-resistance/eu-action-on-antimicrobial-resistance_fi [22.7., 2021].

EUROOPAN KOMISSIO, 2019. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle ja Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle.

EUROOPAN PARLAMENTTI, 10.6., 2021-last update, Eläinten hyvinvointi ja suojele: EU:n lainsäädäntö. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20200624STO81911/elainten-hyvinvointi-ja-suojelu-eu-n-lainsaadanto> [31.7., 2021].

EUROOPAN PARLAMENTTI, 2018. Eurooppalainen yhteinen terveys -toimintasuunnitelma mikrobilääkeresistenssin torjumiseksi. Euroopan unionin virallinen lehti, **62**.

FENT, K., WESTON, A.A. and CAMINADA, D., 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Amsterdam; New York: Elsevier Science.

FERGUSON, P.J., BERNOT, M.J., DOLL, J.C. and LAUER, T.E., 2013. Detection of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in near-shore habitats of southern Lake Michigan. The Science of the total environment; Sci Total Environ, **458-460**, pp. 187-196.

GAW, S., THOMAS, K.V. and HUTCHINSON, T.H., 2014-last update, Sources, impacts and trends of pharmaceuticals in the marine and coastal environment. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4213585/>.

GOMEZ, M.J., PETROVIC, M., FERNANDEZ-ALBA, A. and BARCELO, D., 2006. Determination of pharmaceuticals of various therapeutic classes by solid-phase extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry analysis in hospital effluent wastewaters. Journal of Chromatography A; J Chromatogr A, **1114**(2), pp. 224-233.

GONZÁLEZ-ALONSO, S., MERINO, L.M., ESTEBAN, S., LÓPEZ DE ALDA, M., BARCELÓ, D., DURÁN, J.J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., ACEÑA, J., PÉREZ, S., MASTROIANNI, N., SILVA, A., CATALÁ, M. and VALCÁRCEL, Y., 2017. Occurrence of pharmaceutical, recreational and psychotropic drug residues in surface water on the northern Antarctic Peninsula region. Environmental pollution (1987); Environ Pollut, **229**, pp. 241-254.

GURUGE, K.S., GOSWAMI, P., TANOUE, R., NOMIYAMA, K., WIJESEKARA, R.G.S. and DHARMARATNE, T.S., 2019. First nationwide investigation and environmental risk assessment of 72 pharmaceuticals and personal care products from Sri Lankan surface waterways. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **690**, pp. 683-695.

HAI, F.I., VISVANATHAN, C. and BOOPATHY, R., 2018. *Sustainable Aquaculture*. Cham: Springer International Publishing.

HALLGREN, P., VIENO, N. and WALLBERG, P., 2017. Pharmaceuticals in the aquatic environment of the Baltic Sea region - A status report. *Emerging Pollutants In Water Series*, **1**, pp. 1-121.

HESTER, R.E. and HARRISON, R.M., 2016. *Pharmaceuticals in the environment*. Cambridge, England: Royal Society of Chemistry.

HUANG, Q., BU, Q., ZHONG, W., SHI, K., CAO, Z. and YU, G., 2018. Derivation of aquatic predicted no-effect concentration (PNEC) for ibuprofen and sulfamethoxazole based on various toxicity endpoints and the associated risks. *Chemosphere (Oxford); Chemosphere*, **193**, pp. 223-229.

JANCZAK-RAHNASTO, P., 2019-last update, *Lääkkeiden ympäristövaikutukset - väistä-mättömiä vai vältettävissä?* [Homepage of TEVA], [Online]. Available: <https://www.tevafinland.fi/ajankohtaista/laakkeiden-ymparistovaikutukset-vaistamattomia-vai-valtettavissa/> [4.9., 2021].

JOBLING, S., WILLIAMS, R., JOHNSON, A., TAYLOR, A., GROSS-SOROKIN, M., NOLAN, M., TYLER, C.R., VAN AERLE, R., SANTOS, E. and BRIGHTY, G., 2006. Predicted exposures to steroid estrogens in U.K. rivers correlate with widespread sexual disruption in wild fish populations. *Environmental health perspectives; Environ Health Perspect*, **114 Suppl 1**, pp. 32-39.

KHAN, H.K., REHMAN, M.Y.A. and MALIK, R.N., 2020. Fate and toxicity of pharmaceuticals in water environment: An insight on their occurrence in South Asia. *Journal of environmental management*, **271**, pp. 111030.

K'OREJE, K.O., KANDIE, F.J., VERGEYNST, L., ABIRA, M.A., VAN LANGENHOVE, H., OKOTH, M. and DEMEESTERE, K., 2018. Occurrence, fate and removal of pharmaceuticals, personal care products and pesticides in wastewater stabilization ponds and receiving rivers in the Nzoia Basin, Kenya. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **637-638**, pp. 336-348.

KRANTZ, M.J., BERGER, J.S. and HIATT, W.R., 2010. An Aspirin a Day: Are We Barking Up the Wrong Willow Tree? *Pharmacotherapy; Pharmacotherapy*, **30**(2), pp. 115-118.

KUMAR, M., RAM, B., HONDA, R., POOPIPATTANA, C., CANH, V.D., CHAMINDA, T. and FURUMAI, H., 2019. Concurrence of antibiotic resistant bacteria (ARB), viruses, pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in ambient waters of Guwahati, India: Urban vulnerability and resilience perspective. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **693**, pp. 133640.

KUMMERER, K., 2009. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *Journal of environmental management; J Environ Manage*, **90**(8), pp. 2354-2366.

KÜMMERER, K., 2008. *Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risks*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

LI, W.C., 2014. Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. *Environmental pollution (1987); Environ Pollut*, **187**, pp. 193-201.

LINDHOLM-LEHTO, P., AHKOLA, H.S.J., KNUUTINEN, J.S. and HERVE, S.H., 2016. Widespread occurrence and seasonal variation of pharmaceuticals in surface waters and municipal wastewater treatment plants in central Finland. *Environmental science and pollution research international; Environ Sci Pollut Res Int*, **23**(8), pp. 7985-7997.

LINDHOLM-LEHTO, P., AHKOLA, H.S.J., KNUUTINEN, J.S. and HERVE, S.H., 2015. Occurrence of pharmaceuticals in municipal wastewater, in the recipient water, and sedimented particles of northern Lake Päijänne. *Environmental science and pollution research international; Environ Sci Pollut Res Int*, **22**(21), pp. 17209-17223.

NANTABA, F., WASSWA, J., KYLIN, H., PALM, W., BOUWMAN, H. and KÜMMERER, K., 2020. Occurrence, distribution, and ecotoxicological risk assessment of selected pharmaceutical compounds in water from Lake Victoria, Uganda. *Chemosphere* (Oxford); *Chemosphere*, **239**, pp. 124642.

NIE, X., LIU, B., YU, H., LIU, W. and YANG, Y., 2013. Toxic effects of erythromycin, ciprofloxacin and sulfamethoxazole exposure to the antioxidant system in *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Environmental pollution* (1987); *Environ Pollut*, **172**, pp. 23-32.

ORION CORPORATION, 2021-last update, Proper disposal of pharmaceutical waste [Homepage of Orion Corporation], [Online]. Available: <https://www.orion.fi/en/Sustainability/stories-about-responsibility/proper-disposal-of-pharmaceutical-waste/> [22.7., 2021].

PAUT KUSTURICA, M., TOMAS, A., HORVAT, O., TOMIĆ, Z. and SABO, A., 2015. Storage and Disposal of Unused Medications: Knowledge, Behavior, and Attitudes Among Serbian People. *Clinical therapeutics*, **37**(8), pp. e27-e28.

PAUT KUSTURICA, M., GOLOCORBIN-KON, S., OSTOJIC, T., KRESOJA, M., MILOVIC, M., HORVAT, O., DUGANDZIJA, T., DAVIDOVAC, N., VASIC, A. and TOMAS, A., 2020. Consumer willingness to pay for a pharmaceutical disposal program in Serbia: A double hurdle modeling approach. *Waste management* (Elmsford); *Waste Manag*, **104**, pp. 246-253.

QUADRA, G.R., OLIVEIRA DE SOUZA, H., COSTA, R.D.S. and FERNANDEZ, MARCOS ANTONIO DOS SANTOS, 2017. Do pharmaceuticals reach and affect the aquatic ecosystems in Brazil? A critical review of current studies in a developing country. *Environmental science and pollution research international*; *Environ Sci Pollut Res Int*, **24**(2), pp. 1200-1218.

RADA, A., 2019-last update, Ten threats to global health in 2019 [Homepage of WHO], [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019> [9.7., 2021].

RIVERA-JAIMES, J., POSTIGO, C., MELGOZA-ALEMÁN, R.M., ACEÑA, J., BARCELÓ, D. and LÓPEZ DE ALDA, M., 2018. Study of pharmaceuticals in surface and

wastewater from Cuernavaca, Morelos, Mexico: Occurrence and environmental risk assessment. *The Science of the total environment; Sci Total Environ*, **613-614**, pp. 1263-1274.

SCOTT, P.D., BARTKOW, M., BLOCKWELL, S.J., COLEMAN, H.M., KHAN, S.J., LIM, R., MCDONALD, J.A., NICE, H., NUGEGODA, D., PETTIGROVE, V., TREMBLAY, L.A., WARNE, M.S.J. and LEUSCH, F.D.L., 2014. A National Survey of Trace Organic Contaminants in Australian Rivers. *Journal of environmental quality; J Environ Qual*, **43**(5), pp. 1702-1712.

SILVA, B.F.D., JELIC, A., LÓPEZ-SERNA, R., MOZETO, A.A., PETROVIC, M. and BARCELÓ, D., 2011. Occurrence and distribution of pharmaceuticals in surface water, suspended solids and sediments of the Ebro river basin, Spain. *Chemosphere (Oxford); Chemosphere*, **85**(8), pp. 1331-1339.

SPONGBERG, A.L., WITTER, J.D., ACUÑA, J., VARGAS, J., MURILLO, M., UMAÑA, G., GÓMEZ, E. and PEREZ, G., 2011. Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters. *Water research (Oxford); Water Res*, **45**(20), pp. 6709-6717.

SUN, Q., LV, M., HU, A., YANG, X. and YU, C., 2014. Seasonal variation in the occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products in a wastewater treatment plant in Xiamen, China. *Journal of hazardous materials; J Hazard Mater*, **277**, pp. 69-75.

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS, 3.9., 2020-last update, Lääkkeiden jätehuoltoa Itämeren alueella parannettava [Homepage of Suomen ympäristökeskus], [Online]. Available: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Laakkeiden_jatehuoltoa_Itameren_alueella\(58475\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Laakkeiden_jatehuoltoa_Itameren_alueella(58475)) [3.8., 2021].

TEAM, C.D., 2014. "Chennai Declaration": 5-year plan to tackle the challenge of anti-microbial resistance. *Indian journal of medical microbiology*, **32**(3), pp. 221-228.

THE OCEAN CONFERENCE, Jun 9, 2017-last update, Factsheet: People and Oceans [Homepage of United Nations], [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf> [31.7., 2021].

UNAS, CDDEP, GARP-UGANDA, MPAIRWE, Y. and WAMALA, S., 2015. Antibiotic Resistance in Uganda: Situation Analysis and Recommendations.

VALDEZ-CARRILLO, M., ABRELL, L., RAMIREZ-HERNANDEZ, J., REYES-LOPEZ, J. and CARREON-DIAZCONTI, C., 2020. Pharmaceuticals as emerging contaminants in the aquatic environment of Latin America: a review. *Environmental science and pollution research international*, **27**(36), pp. 44863.

VAN BOECKEL, THOMAS P, PHD, GANDRA, S., M.D., ASHOK, A., M.P.P., CAUDRON, Q., PhD., GRENFELL, B.T., Prof, LEVIN, S.A., Prof and LAXMINARAYAN, R., Prof, 2014. Global antibiotic consumption 2000 to 2010: an analysis of national pharmaceutical sales data. *The Lancet infectious diseases; Lancet Infect Dis*, **14**(8), pp. 742-750.

VIENO, N.M., TUHKANEN, T. and KRONBERG, L., 2005. Seasonal Variation in the Occurrence of Pharmaceuticals in Effluents from a Sewage Treatment Plant and in the Receiving Water. *Environmental science & technology; Environ.Sci.Technol*, **39**(21), pp. 8220-8226.

VOLOSHENKO-ROSSIN, A., GASSER, G., COHEN, K., GUN, J., CUMBAL-FLORES, L., PARRA-MORALES, W., SARABIA, F., OJEDA, F. and LEV, O., 2015. Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro-Guayllabamba-Esmeraldas rivers. *Environmental science--processes & impacts; Environ Sci Process Impacts*, **17**(1), pp. 41-53.

WHITACRE, D.M., 2012. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 218*. Boston, MA: Springer US.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, Jul 31, 2020-last update, Antibiotic resistance. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance>.

WORLDMETER, 2021a-last update, Countries in the world by population. Available: <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/> [9.9., 2021].

WORLDMETER, 20.8., 2021b-last update, Current World Population [Homepage of Worldometer], [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/world-population/> [20.8., 2021].

WU, C., WITTER, J.D., SPONGBERG, A.L. and CZAJKOWSKI, K.P., 2009. Occurrence of selected pharmaceuticals in an agricultural landscape, western Lake Erie basin. *Water research (Oxford)*; *Water Res*, **43**(14), pp. 3407-3416.

LIITTEET

LIITE I Euroopan Unionin tarkkailulista haitallisille lääkeaineille

LIITE I EU:n tarkkailulista

Taulukko I Euroopan unionin tarkkailulista riskiä aiheuttavista lääkeaineista. (Lähde: (EUR-Lex 2015))

Lääkeaineen nimi	Suurin hyväksyttävä havaitsemisraja (ng/l)
Etinyyliestradioli	0,035
Estradioli, Estroni	0,4
Diklofenaakki	10
Butyylihydroksitolueeni (BHT)	3160
Oktyylimetoksisinnamaatti	6000
Erytromysiini, Klaritromysiini, Atsitromy- siini	90
Metiokarbi	10
Imidaklopridi, Tiaklopridi, Tiametoksaami, Klotianidiini, Asetamipridi	9
Oxadiazon	88
Triallaatti	670