

Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin ja niiden vaikutukset eliöstöön

Jonna Piri

790351A

LuK-tutkielma

Maantieteen laitos

Oulun yliopisto

30.4.2016

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	3
TEOREETTINEN TAUSTA	5
Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin	5
Lääkeaineet jätevedenpuhdistamoilla	8
TUTKIMUKSEN KANNALTA OLEELLISET LÄÄKEAINEET	10
Antibiootit	11
Särkylääkkeet	11
Epilepsialääkkeet	13
Hormonaaliset valmisteet	13
TULOKSET	14
Lääkejäämien vaikutukset eliöstöön	14
Keinoja lääkejäämien ympäristöön pääsyn ennaltaehkäisemiseksi	18
POHDINTA	20
LÄHTEET	24
Kirjallisuuslähteet	24
Internet-lähteet	26

JOHDANTO

Makea vesi muodostaa vain noin 0,01 % maapallon vesistä, mutta se toimii jopa 100 000 eliölajin elinympäristönä. Sisävedet ja makeat vedet ovat monimuotoisuudessaan arvokkaita, mutta niiden tila on kriittisesti heikentynyt viime aikoina. Makean veden ekosysteemiä on luonnehdittu jopa maapallon uhanalaisimmaksi ekosysteemiksi. Sitä uhkaavat tekijät voidaan luokitella viiteen ryhmään, joita ovat liikkakäyttö, saastuminen, muutokset virtauksessa, elinympäristöjen tuhoutuminen tai hajoaminen ja eksoottisten lajien invaasio (Dudgeon 2006). Lääkejäämät ovat yksi vesiekosysteemejä ja niiden monimuotoisuutta uhkaava tekijä.

Lääkeaineita ja niiden sivuvaikutuksia ihmisiin ja eläimiin tutkitaan kattavasti ennen lääkkeiden käyttöä, mutta niiden ympäristövaikutuksia ei tunneta kovin hyvin. (Boxall 2004). Esimerkiksi antibiootteja on käytetty määrällisesti paljon jo pidemmän aikaa ajattelematta niiden vaikutuksia ympäristöön (Kümmerer 2009). Lääkejäämien pitoisuudet vesistöissä ovat yleisesti todella pieniä ja niissä pitoisuuksissa riskitkin pysyvät todennäköisesti pieninä, mutta on otettava huomioon, että osa lääkkeistä säilyy ja saattaa rikastua ympäristössä (Dove 2006). Ongelmallista on, että lääkeaineet voivat vaikuttaa bakteereihin ja eläimiin selvästi pienemmissä pitoisuuksissa kuin mitä lääketutkimuksissa käytettävät pitoisuudet ovat (Boxall 2004). Tuhansia erilaisia lääkkeitä käytetään ympäri maailman. Lisäksi useita niistä valmistetaan ja käytetään todella suuria määriä. Kaikkia valmistettuja tai käytössä olevia lääkeaineita ei esiinny kirjallisuudessa, joten voidaan olettaa, ettei niiden vaikutuksista ole tietoa. Aihetta tarkasteltaessa on syytä muistaa, etteivät tämänhetkiset tutkimukset kerro koko totuutta (Daughton & Ternes 1999).

Suomessa lääkkeiden tukkumyynti on kasvanut vuosien 2002-2011 välillä 1430 miljoonasta 2005 miljoonaan euroon, eikä tilannetta helpota lainkaan se, että samanlaista trendiä on nähtävillä myös muualla maailmassa. Kahdeksan vuoden aikana tulehduskipulääkkeenä käytettävän ibuprofeenin kulutus Suomessa kasvoi 70 000 kilosta 113 000 kiloon. Vaikka ibuprofeenin kulutus kasvoikin hurjasti, ei kaikkien tulehduskipulääkkeiden myynti noussut yhtä runsaasti (Brozinski ym. 2012). Lääkkeiden vaikuttavat aineet

on suunniteltu olemaan biologisesti aktiivisia ja siten saamaan aikaan biologinen vastekohde-eliöissään. Näin ollen huoli lääkejäämien joutumisesta vesiekosysteemiin on perusteltua (Lishman ym. 2006).

Vesiekosysteemiin päätyvät jäämät ovat peräisin erilaisista lähteistä, kuten lääke-tehtaiden jätteenkäsittelystä, käyttämättömien tai vanhentuneiden lääkkeiden sopimattomasta hävityksestä, nautittujen lääkkeiden elimistöistä poistuvista aineenvaihduntatuotteista, tai kalan- ja katkaravunkasvattamoilta. Laiduntavien eläinten tai tehotuotetun karjan lääkinnässä käytettävät lääkeaineet päätyvät ympäristöön joko laitumelta tai lannoituksen yhteydessä (Boxall 2004). Viimeiset kolme vuosikymmentä tutkimuksessa on keskitytty lähes yksinomaan niin kutsuttuihin prioriteettiepäpuhtauksiin, jotka ovat kuitenkin vain jäävuoren huippu kaikista ympäristöön päätyvistä haitta-aineista (Daughton & Terne 1999) Aihetta ei ole tutkittu riittävästi, joten lääkejäämien vesistöihin pääsyn ennaltaehkäisy ei ole toivotulla tasolla. Tämä kannustaa tekemään entistä enemmän ja entistä parempaa tutkimusta aiheesta.

Valitsin vesistöjä koskevat tutkimukset tarkastelun kohteeksi, sillä useimmiten lääkeaineet kerääntyvät niihin, ja vesiekosysteemeissä on monipuolisesti tarkasteltavia ravintoketjun tasoja. Vesieliöihin kohdistuvia vaikutuksia on tärkeää tutkia, koska veden laadulla on välitön vaikutus vesistöissä eläviin eliöihin. Vertailtaessa vesiekosysteemiä maakekosysteemiin, ovat lääkejäämien vaikutukset auttamatta kohdistuneet enemmän vesieliöihin. Tämä johtuu siitä, että maalla elävät lajit eivät altistu lääkejäämille yhtä voimakkaasti kuin vesieliöt. Tiettyyn vesistöön tutkimusta ei ole mielekästä rajata, koska lääkeaineiden vaikutukset eivät juuri poikkea toisistaan eri vesistöissä. Yleisesti on tiedossa, että hormonaalisten valmisteiden vaikuttavia aineita kulkeutuu vesistöihin, ja että niillä on negatiivisia vaikutuksia eliöstöön. Tästä syystä olettamuksena on, että suurimmat ympäristövaikutukset ovat hormonaalisten valmisteiden aikaansaamia. Jokainen lääkeaine on suunniteltu vaikuttamaan kohteeseensa edullisesti. Valitettavasti lääkeaineilla on usein myös haittavaikutuksia. Oletan näiden molempien vaikuttavan vesieliöihin samankaltaisesti kuin ne vaikuttavat ihmisiin.

Tutkimuskysymykset:

1. Miten eri tavoin lääkejäämät vaikuttavat eri eliöihin?
2. Millä keinoin voidaan parantaa lääkejäämien ympäristöön pääsyn ennaltaehkäisyä tulevaisuudessa?

TEOREETTINEN TAUSTA

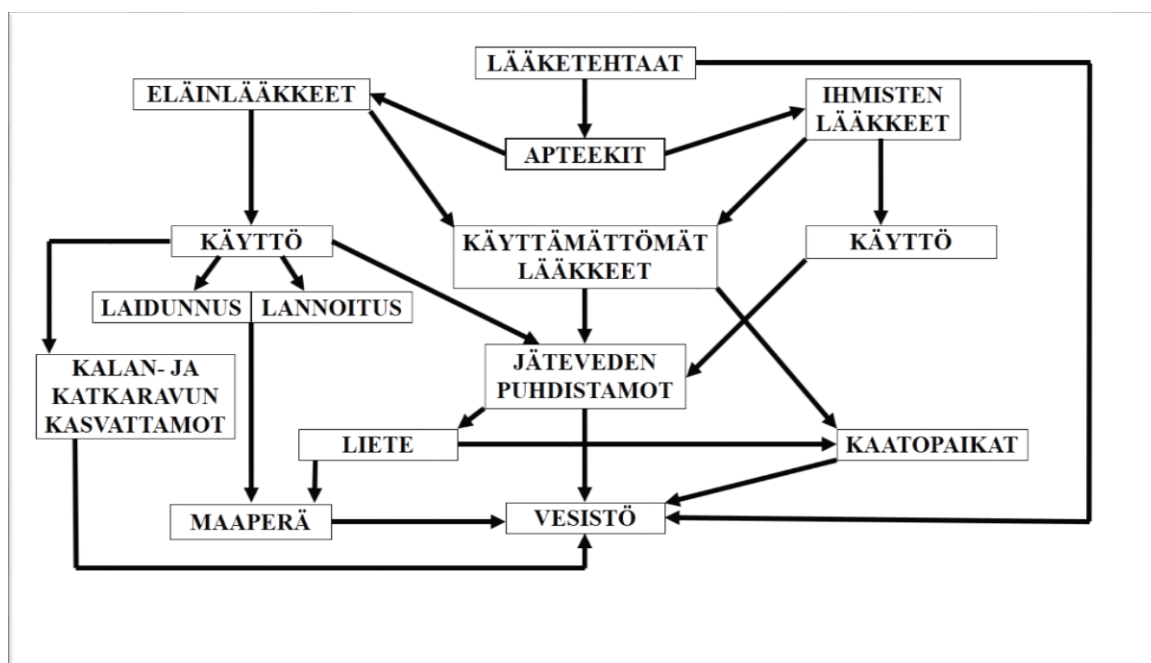
Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin

Suomen markkinoilla on myyntilupia noin 900:lle lääkeaineelle (Vieno 2015). Lääkkeet ovat biologisesti voimakkaita kemikaaleja, jotka jo pienissä pitoisuuksissa vaikuttavat kohteeseensa (Carlsson ym. 2009). Ne ovat vaarallisia ympäristölle, koska niiden hajoaminen luonnossa voi kestää pitkään ja ne voivat kertyä esimerkiksi kalojen sappinesteseen. Niiden kertyvyys eliöihin vaihtelee kuitenkin suuresti riippuen lääkeaineesta ja kohde-eliöstä (Haapkylä 2015). Lääkejäämien pitoisuuksiin ympäristössä korreloivat ainakin väestötiheys, salaojitusalueet, vastaanottavan vesistön tilavuus ja jätevedenpuhdistamoilla käytetyt teknologiat (Brodin ym. 2014). Elimistö pitää lääkeaineita vieraina aineina ja pyrkii niistä eroon. Lääkkeiden poistuminen elimistöstä tapahtuu joko metaboloitumalla tai erittymällä. Maksa pyrkii metaboloimaan eri aineita vesiliukoiseen eli erityskelpoiseen muotoon. Metaboliolla tarkoitetaan jonkin kemiallisen yhdisteen muuttamista toiseksi. Erittyminen on yhdisteen palautumatonta poistumista elimistöstä (Attila & Sandholm 1998: 27-39).

Lääkejäämiä päätyy vesistöihin useista eri lähteistä (kuva 1), mutta pääasiassa niiden kulkeutuminen tapahtuu ihmisten ulosteisiin tai virtsaan erittyvien lääkeaineiden tai niiden aineenvaihduntatuotteiden mukana (Brozinski ym. 2012). Stumpf ym. (1999) ovat kuvanneet ihmisten käyttämien lääkejäämien reittiä. Heidän näkemyksensä mukaan lääkkeen nauttimisen jälkeen se käy läpi monimutkaisen prosessin, jonka aikana se imeytyy, jakautuu, metaboloituu ja lopulta erittyy. Erilaiset lääkeaineet käyttäytyvät elimistössä eri tavalla. Siinä missä esimerkiksi tulehduskipulääkkeenä käytettävä karbamatsepiini metaboloituu elimistössä lähes kokonaan, kulkee eräs sydän- ja verisuonitautilääke suurimaksi osin muuttumattomana vesistöön. Isoimpina pitoisuuksina jätevesistä löytyy käsi-kauppatavarana myytävät, ja siten helpoiten saatavilla olevat, tulehduskipulääkkeet kuten ibuprofeeni tai parasetamoli (Vieno 2015). Erittymisen jälkeen lääkejäämät kulkeutuvat jäteveden mukana viemäriä pitkin jätevedenpuhdistamolle. Siellä ne puhdistetaan ja puhdistetut jätevedet lasketaan pintaveteen. Pintaveden mukana lääkejäämiä päätyy myös pohjavesiin. Pohjavesistä ja pintavesistä otetaan vettä, jota puhdistetaan vesijohtovedeksi.

Jos lääkejäämiä ei puhdistusprosessissa onnistuta poistamaan, kulkeutuvat ne juomavesiin (Fisher & Borland 2003) ja vesijohtoverkoston kautta jopa pullovesiin (Dove 2006). Lääkejäämät voivat Fisher'n ja Borland'n (2003) mukaan käydä läpi monimutkaisia reaktioita erittymisen tai iholta pesun jälkeen. Viemäriverkkoon joutuessaan nämä saattavat reagoida myös muiden kemikaalien kanssa.

Lääkejäämiä pääsee ympäristöön kalan- tai katkaravun kasvattamoilta. Jäämät päätyvät vesistöön suoraan lääkinnän yhteydessä tai välillisesti eliöiden aineenvaihdunnan seurauksena. Peltojen lannoitukseen voidaan käyttää sellaista lantaa, joka on peräisin lääkittyjen eläinten ulosteesta. Näin lääkeaineet päätyvät suoraan pelloille, joista ne imeytyvät maaperään ja huuhtoutuvat vesistöihin. Sama lopputulos on laiduntavan karjan kohdalla, sillä jos niitä lääkitään, päätyy lääkeaineita ulosteen ja virtsan mukana laitumille, josta ne liukenevat ympäristöön (Brozinski ym. 2012).



Kuva 1. Lääkejäämien eri reittejä ympäristöön.

Jätevedenpuhdistamoilla syntyy lietettä, joka ei ole lääkeaineista täysin puhdistunutta, mutta siitä huolimatta sitä käytetään lannoitukseen. Pelloilta sen sisältämät lääkejäämät huuhtoutuvat vesistöihin tai voivat päätyä ravintokasveihin (Brozinski ym. 2012). Esimerkiksi ibuprofeenin huuhtoutumista vesistöihin jätevesilietteen maatalouskäytössä on mallinnettu ja on havaittu, että huuhtoutuminen Suomen olosuhteissa on mahdollista. Myös epilepsialääkkeenä käytettävän karbamatsepiinin on havaittu pääsevän pintavesiin puhdistamolietteen lannoituskäytöstä, sillä esimerkiksi Kanadassa sitä on havaittu vain sellaisilla alueilla, joilla on käytetty jätevesilietettä lannoitukseen. Haja-asutusalueilla ja mökeillä on usein huono jätevedenkäsittelyjärjestelmä tai viemärointi, jos sellaista ylipäätään on. Nämä puhdistetut tai puhdistamattomat jätevedet ovat yksi lääkeaineiden ympäristöön päätyneen syy, vaikkeivat ne kovin isoa osaa siitä näytteleäkään (Äystö ym. 2014).

Lääketehtaiden aiheuttama ympäristösaastuminen on asia, joka usein unohdetaan puhuttaessa lääkejäämien kulkeutumisesta vesistöihin. Vaikka tehtaista vesistöön päätyvät lääkejäämät eivät ole prosentuaalisesti isoja, saattaa niillä olla paikallisella tasolla todella huomattavia vaikutuksia. Esimerkiksi Intiassa Hyderabadin alueella on paljon lääketehtaita ja niiden jätevesistä on mitattu jopa 31 milligramman mikrobilääkepitoisuuksia litrassa vettä. Kyseisellä alueella on havaittu jokisedimenttien mikrobeista lääkeresistenssiä, joka on vakava uhka terveydelle ja nykyihmiskunnalle. Jos vuorokaudessa vesistöihin joutuneiden lääkejäämien arvo mitattaisiin rahassa, olisi se yli 100 000 euroa (Brozinski ym. 2012).

Yliopiston Apteekin vuonna 2006 tekemän asiakaskyselyn mukaan käyttämättömistä lääkkeistä 64 prosenttia palautetaan apteekkiin, 17 prosenttia hävitetään sekajätteen mukana ja 15 prosenttia huuhdotaan viemäristä. Näitä prosenttiosuuksia ja Yliopiston Apteekkiin palautettujen lääkkeiden määrää (12 000 kilogrammaa) apuna käyttäen on laskettu, että luontoon päätyisi noin 6 100 kilogrammaa lääkejätettä vuodessa. Koska Yliopiston Apteekilla on noin 10 % markkinaosuus, olisi todellinen ympäristöön päätyneiden lääkejätteen määrä arviolta vuosittain noin 61 000 kilogrammaa. Näistä 32 000 kilogrammaa päätyisi kaatopaikoille ja 29 000 kilogrammaa jätevedenpuhdistamoille. Nämä määrät ovat arvioita, jotka on tehty asiakaskyselyn perusteella, eivätkä näin ollen

kerro absoluuttista totuutta, mutta antavat kuitenkin jonkinlaista kuvaa siitä, kuinka valtavia määriä lääkettä ympäristöön päätyy vääränlaisen hävityksen seurauksena (Lääkejäte ei kuulu luontoon 2007).

Lääkeaineet jätevedenpuhdistamoilla

Urbaani jätevesijärjestelmä löytyy melkein kaikkialta maailmasta (Schütze ym. 2004). Kotitalouksien jätevesiksi katsotaan käytännössä kaikki asunnon sisällä käytetty vesi. Ne vaativat käsittelyä ennen kuin niitä voidaan laskea ympäristöön (Jätevesikuormituksen vähentäminen 2013). Näiden lisäksi jätevesiä tulee yrityksistä, teollisuuskiinteistöistä ja hulevesistä, eli rakennettujen alueiden sade- ja sulamisvesistä, jotka johdetaan viemäriin. Hulevedet ovat pääsääntöisesti lähtöisin teiltä tai puistoalueilta. Näistä kaikista eri lähteistä saapuvissa jätevesissä on lääkettä lisäksi todella paljon erilaisia aineita, kuten liuottimia, rasvoja, polttoaineita, kiintoaineita ja ravinteita (Schultz ym. 2014).

Doven (2006) mukaan vedenjakelujärjestelmistä löytyy keskimäärin jopa kahtakymmentä eri lääkeainetta. Haimi & Mannio (2008) esittelevät jäteveden puhdistusprosessin vaikutuksia lääkeaineiden määrään vesistöissä. Esille nousi lääkeaineiden eliminaatioon ja pitoisuuksiin vedenkäsittelyssä vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat muun muassa veden laimeus, raajan jäteveden lämpötila, hydraulinen viipymäaika, lieteikä ja prosessin konfiguraatio. On muun muassa huomattu, että β -salpaajat poistuvat huonommin puhdistusprosessissa sateisen jakson aikana. He tekivät myös havaintoja, joiden mukaan eri käsittelymenetelmät poistivat erilaisia lääkeaineita jätevesistä vaihtelevilla tehokkuuksilla. Esimerkiksi membraanibioreaktori osoittautui parhaaksi hormonien puhdistuksessa, mutta kaikkiin lääkeaineisiin kyseinen prosessi ei toiminut yhtä hyvin. Tehokkaimpia jätevedenkäsittelymenetelmiä kaikille lääkkeille olivat käänteisosmoosi ja nanosuodatus, joiden poistotehokkuus oli yli 95 % (Haimi & Mannio 2008).

Helsingissä sijaitseva Viikin jätevedenpuhdistamo on yksi maailman nykyaikaisimmista jätevedenkäsittelylaitoksista. Tästä huolimatta sieltä puuttuu kemikaalien puhdistukseen tarvittavia menetelmiä. Kyseisestä jätevedenpuhdistamosta on raportoitu, että tulehduskipulääkkeenä käytettävää ibuprofeenia pystytään poistamaan jätevedestä jopa 90 prosenttisesti, mutta tulehduskipulääkkeenä ja kipugeeleinä käytettävää diklofenaakkia ja

epilepsialääkkeenä käytettävää karbamatsepiinia ei pystytä poistamaan tehokkaasti. Tämän seurauksena 95 % näistä aineista päätyy mereen (Haapkylä 2015).

Saksassa tehdyn tutkimuksen mukaan yli 80 % tutkituista lääkeaineista löytyi vähintään yhden kunnallisen jätevedenpuhdistamon jätevesistä. Vaikka lääkejäämien pitoisuudet laskivat sitä alemmas mitä kauemmas jätevedenpuhdistamoilta mentiin, havaittiin 20:tä eri lääkeainetta ja neljää vastaavaa aineenvaihduntatuotetta joissa ja virtaavissa vesissä (Ternes 1998). Daughton'n ja Ternes'n (1999) mukaan ympäristössä havaitut lääkeainepitoisuudet ovat yleensä nanogrammasta mikrogrammaan litrassa vettä. Pitoisuustasot voivat Ternesin (1998) mukaan kuitenkin olla jopa 6,3 µg/litra, kuten epilepsialääkkeenä käytettävä karbamatsepiini saksalaisessa tutkimuksessa osoittaa. Pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat lääkkeiden puoliintumisaika, virtsan tai ulosteen erityys ja aineenvaihdunta (Ternes 1998). Jätevedenpuhdistamoiden tehokkuuksissa on eroja, jotka osaltaan vaikuttavat pitoisuuksiin. Eroja saman puhdistamon sisällä on havaittu vuodenaikojen mukaan, sillä biologinen puhdistus on tehokkaampaa kesällä kuin talvella.

Brozinski ym. (2012) tyrmäävät väitteen, että lääkeaineiden pitoisuudet vesistöissä laskevat ajan myötä. He perustelevat omaa kantaansa muun muassa sillä, että auringonvalo tai mikrobit voivat muuttaa lääkeaineita. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteivätkö lääkeaineen muutokset olisi edelleen vesistöissä, niitä ei vain voida havaita enää alkuperäisinä muotoinaan. Pitoisuuksia vesistöissä laskee myös niiden päätyminen pohjasedimentteihin.

TUTKIMUKSEN KANNALTA OLEELLISET LÄÄKEAINEET

Tämän tutkielman kannalta oleellisia lääkkeitä ovat sellaiset yhdisteet, joista on tehty havaintoja ja joiden ympäristövaikutuksista on olemassa tietoa. Todellisuudessa haitallisten lääkkeiden kirjo on valtava, mutta vähäisen tutkimuksen vuoksi tämä tutkielma keskittyy pääasiassa niihin, joiden haittavaikutuksia on pystytty todentamaan. Hernando ym. (2006) tuovat esiin, että yleisimmin jätevesissä, pintavesissä tai sedimenteissä havaittuja lääkkeitä ovat antibiootit, särkylääkkeet, epilepsialääkkeet, ehkäisyvalmisteet, steroidit ja niihin liittyvät hormonit. Lisäksi kolesterolilääkkeitä ja β -salpaajia havaitaan ympäristöstä melko runsaasti. Joidenkin lääkkeiden heikentymätön luonne ja jatkuva käyttö tekevät niistä pysyviä yhdisteitä ympäristössä.

Euroopan lääkevirasto eli European Medicines Evaluation Agency ja Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto eli Food and Drug Administration ovat luoneet yleiset periaatteet ja ohjeet ympäristöriskien arviointiin sekä uusien kemikaalien että olemassa olevien osalta. Molemmat käyttävät samanlaista porrastettua järjestelmää, jossa taustalla on arvioidun haitta-aineen ympäristöpitoisuuden, eli PEC-arvon (predicted environmental concentrations) vertaaminen arvioituun vaikutuksettomaan ympäristöpitoisuuteen, eli PNEC-arvoon (predicted no effect concentrations). Viime vuosien aikana on saatu aikaan huomattavia parannuksia riskien arvioinnin saralta. Vaikka yksittäisen lääkkeen pitoisuus on usein alhainen, saattaa joillakin lääkkeitä olla toksisia vaikutuksia jo pienissä pitoisuuksissa. Esimerkiksi antibiooteilla jo pienet pitoisuudet mahdollistavat bakteerien resistenssin ja steroideilla on havaittu hormonaalisia haittavaikutuksia, kuten muutoksia lisääntymisessä ja kehityksessä. Lisäksi lääkkeitä, joilla on sama vaikutusmekanismi, voivat vaikuttaa yhdessä, vahvistaen toistensa vaikutuksia (Hernando ym. 2006).

Antibiootit

Antibiootteja käytetään bakteri- ja alkueläininfektioiden hoitoon. Ne joko tappavat bakteereja tai estävät niiden lisääntymistä. Antibiooteille erityistä on, että ne vaikuttavat negatiivisesti myös ihmiselle välttämättömien bakteerien toimintaan (Lumio 2015). Antibiootteja käytetään edellä mainittujen lisäksi jatkuvalla syötöllä edistämään lihatuotannossa käytettävien eläinten kasvua (Hirsch ym. 1999).

Antibiootit ovat huolestuttava lääkeryhmä, koska bakteerit voivat muodostaa resistenssin niitä kohtaan. Mikäli bakteeri tulee resistenssiksi, se voi aiheuttaa vakavia ja laajalle levinneitä seurauksia kansanterveydelle. On havaittu, että jätevedenpuhdistamoilla on otolliset olosuhteet antibiooteille resistenssien bakteerien ja geenien syntymiselle ja leviämiselle. Kolme antibioottia (erytromysiini, klaritsomysiini ja atsitromysiini) ovatkin Euroopan unionin tarkkailtavien aineiden listalla. Jäsenmaiden tulee tarkkailla listalla olevia aineita vesistöistä annettujen ohjeiden mukaisesti (Vieno 2015).

Äystö ym. (2014) esittelevät seitsemän eri antibioottia, joiden PNEC-arvot vaihtelevat välillä 0,31-16 mikrogrammaa litrassa vettä. Nämä ovat tylosiini, trimetopriimi, tetrasykliini, sulfametoksatsoli, ofloksasiini, metronidatsoli ja doksisykliini. Useimmat näistä antibiooteista ovat olleet alle määritysrajan pohjoismaisissa tutkimuksissa.

Särkyläkkeet

Tilapäistä särkyä voidaan hoitaa särkyläkkeillä, joita on olemassa tabletteina, poretabletteina, imeskelytabletteina, voiteina, geeleinä, jauheina ja lapsille tarkoitettuina liuosina ja peräpuikkoina. Tulehduskipuläkkeet tulevat kysymykseen silloin, kun kipuun liittyy tulehdusta (Kipuläkkeet 2015). Tulehduskipuläkkeitä käytetään estämään kipua, kuumetta aiheuttavien välittäjäaineiden syntyä ja kudoksen tulehdusreaktioita koko elimistössä. Kipugeelien toiminta perustuu siihen, että ne imeytyvät ihonalaisiin kudoksiin ja helpottavat oireita (Paakkari 2013).

Tulehduskipuläkkeenä ja kipugeelinä käytetty diklofenaakki löytyy vesipolitiikan puitedirektiivin tarkkailuainelistalta (Äystö ym. 2014; Vieno 2015). Se on ei-steroidinen tulehduskipulääke, joka Suomessa tunnetaan paremmin esimerkiksi nimillä Diclomex ja

Voltaren. Suomesta sitä on havaittu enimmillään 65 nanogrammaa litrassa keskiarvon ollessa 10 nanogrammaa litrassa. Ruotsiin verrattuna pitoisuudet ovat pieniä, sillä ruotsin pintavesien vastaavat pitoisuudet ovat maksimissaan 880 ja keskimäärin 135 nanogrammaa litrassa. PNEC-arvo diklofenaakille on 0,1 mikrogrammaa litrassa (Äystö ym. 2014).

Toinen ei-steroidinen ihmisten ja eläinten lääkinnässä käytettävä tulehduskipulääke on ketoprofeeni, jota Suomessa myydään apteekkeissa ainakin nimillä Ketorin ja Orudis. Suomalaisista pintavesinäytteistä sitä on havaittu keskimäärin 11 nanogrammaa litrassa ja maksimissaan 68 nanogrammaa litrassa. PNEC-arvo ketoprofeenille on 15,6 mikrogrammaa litrassa (Äystö ym. 2014).

Ibuprofeeni on yksi eniten käytetyistä tulehduskipulääkkeistä Suomessa. Se tunnetaan muun muassa kauppanimillä Burana, Ibusal ja Ibumax. Suomalaisista pintavesistä sen mitatut arvot ovat olleet keskimäärin 22 nanogramman luokkaa ja maksimiarvo on ollut 90 nanogrammaa litrassa. Vastaavat arvot ovat Ruotsissa olleet keskimäärin 46 nanogrammaa litrassa ja maksimissaan 180 nanogrammaa litrassa. PNEC-tasoksi on asetettu 7,1 milligrammaa litrassa. Ibuprofeeni ei aiheuta vesistölle suurta uhkaa, sillä sen poistaminen jätevedenpuhdistamoilla on tehokasta. Yli 90 % jäämistä pystytään eliminoimaan (Äystö ym. 2014).

Naprokseeni on tulehduskipulääke, jota myydään Suomessa muun muassa nimillä Miranax ja Pronaxen. Sitä on mitattu suomalaisista pintavesistä keskiarvolta 23 nanogrammaa litrassa ja maksimissaan 129 nanogrammaa litrassa. Ruotsissa mitatut arvot ovat melko samaa luokkaa eli 31 nanogrammaa keskimäärin litrassa ja 130 nanogrammaa maksimissaan litrassa. PNEC-taso kyseiselle tulehduskipulääkkeelle on 21,2 mikrogrammaa litrassa (Äystö ym. 2014).

Parasetamoli tunnetaan arkikielessä paremmin esimerkiksi nimillä Panadol ja Pamol. Se onkin Suomen käytetyimpiä kipulääkkeitä, mutta siitä huolimatta Äystö ym. (2014) eivät olleet maininneet sen pitoisuuksia tutkimuksessaan. Ruotsissa sitä on mitattu pintavesistä keskimäärin 0,1 mikrogrammaa litrassa ja maksimissaan 0,36 mikrogrammaa litrassa. PNEC-arvo parasetamolille on 9,2 mikrogrammaa litrassa (Äystö ym. 2014).

Epilepsialääkkeet

Karbamatsepiini on epilepsialääkkeenä käytettävä aine, joka metaboloituu elimistössä lähes kokonaan (Vieno 2015) ja vain 1-2 % siitä pääsee elimistöstä muuttumattomana. Sitä on havaittu suomalaisissa pintavesissä maksimissaan 80 nanogrammaa litrassa, mutta keskimäärin kuitenkin 36 nanogrammaa litrassa. Se on Suomen käytetyimpiä epilepsialääkkeitä ja se vaikuttaa myös hermosärkyyn ja mielialaan. Sen kaupanimillä tunnetaan muun muassa Neurotol ja Tegretol. PNEC-taso kyseiselle yhdisteelle on 4,92 mikrogrammaa per litra (Äystö ym. 2014).

Hormonaaliset valmisteet

Hormonaalisiin valmisteisiin luetaan tässä tutkielmassa ehkäisyvalmisteet, steroidit ja niihin liittyvät hormonit. 17α -etinyyliestradioli (EE2) on ehkäisytableteissa muiden hormonien kanssa yhdessä käytettävä täysin synteettinen hormoni. Sen PNEC-arvoksi on asetettu 0,02 nanogrammaa litrassa. EE2 löytyy vesipolitiikan puitedirektiivin seurantalialta (Äystö ym. 2014).

17β -estradioli eli E2 esiintyy luontaisesti, mutta sitä käytetään myös joissain ehkäisyvalmisteissa. Sen PNEC-arvo on huomattavasti suurempi kuin EE2:lla, eli 0,02 mikrogrammaa litrassa ja myös se löytyy vesipolitiikan puitedirektiivin seurantalialta. Suomessa yhdiste tunnetaan paremmin ainakin nimillä Estrofem ja Progynova (Äystö ym. 2014).

Hormonihoidoissa lääkkeenä käytettävä estrioli löytyy apteekeista muun muassa nimillä Estrokad ja Ovestin. Sen PNEC-tasoksi on määritelty 0,75 nanogrammaa litrassa. Tämän lisäksi estroni, progesteroni ja testosteroni ovat kaikki luontaisia hormoneja, joita voidaan käyttää myös lääkkeenä (Äystö ym. 2014).

TULOKSET

Lääkejäämien vaikutukset eliöstöön

Lääkejäämien vaikutusten arviointi ei ole Brodin'n ym. (2014) mukaan helppoa, sillä jokainen eliölaji voi reagoida lääkeaineisiin eri tavalla. Toisaalta eri lääkkeillä voi olla eri lajeihin samansuuntaisia vaikutuksia. Lisäksi tutkimustuloksia on hankala tulkita, koska vesieliöt altistuvat samaan aikaan useille lääkkeille sekä muille ympäristökemikaaleille, jotka voivat voimistaa, heikentää tai jopa kumota toistensa vaikutuksia. Lääkkeiden vaikutuksia vesistöihin ja niiden eliöstöön ei Brozinskin ym. (2012) mukaan osata pitää kovin suurena uhkana. Tämä johtuu siitä, että lääkejäämien ja muidenkin kemikaalien cocktailkuorma on näkymätön uhka esimerkiksi sinileväesiintymiin tai tulviin verrattuna.

Brozinski ym. (2012) kritisoivat päättäjiä siitä, että ympäristöongelmia korjataan jälkikäteen, eikä sovelleta ennalta varautumisen periaatetta. Sen mukaan voidaan toimia ilman sitovaa tieteellistä näyttöä, jos on syytä olettaa, että seuraukset ilmiöstä voivat olla vakavia. Tätä ajattelua puoltavat myös Daughton ja Ternes (1999), joiden mukaan joidenkin lääkkeiden ei välttämättä havaita aiheuttavan vaikutuksia vesieliöille, mutta tähän ei pidä tuudittautua. He ovat sitä mieltä, että vaikka vaikutukset tällä hetkellä ovat huomaamattomia, voivat eliöt altistua niin sanotulle ”turvalliselle” lääkeaineelle kroonisesti, jolloin vaikutukset kertyvät eliöön saaden aikaan muutoksia pitkällä aikavälillä.

Lääkeaineiden vaikutuksia vesieliöille voidaan tutkia laboratorionkokeilla. Haasteena on kuitenkin, että luonnossa eliöt saavat pahimmassa tapauksessa elinikäisen altistuksen lääkejäämille, jolloin nämä haitat eivät näy laboratorio-olosuhteissa. Tehtyjen kokeiden perusteella onkin havaittu, että joillakin lääkeaineilla on haittavaikutuksia eliöihin jopa luonnossa esiintyvissä pitoisuuksissa. Edellä mainittuja haittavaikutuksia ovat esimerkiksi solumuutokset kaloissa tai käyttäytymishäiriöt vesieliöissä. Lääkeainelöydöksiä on tehty muun muassa luonnonvaraisten kalojen lihaksista, aivoista ja sapesta. Kokeissa ei kuitenkaan havaittu lääkeaineiden kerääntymistä ravintoketjuihin (Brozinski ym. 2012).

Koska käyttäytyminen vaikuttaa suuresti kelpoisuuteen, eli fitnessiin ja populaation pysyvyyteen, on lääkkeiden vaikutuksilla ja käyttäytymisen muutoksilla suora ekologinen merkitys. Brodin ym. (2014) ovat sitä mieltä, että liian harvoissa tutkimuksissa on tutkittu ekologisia vaikutuksia, vaikka lääkkeet voivat vaikuttaa eläinten käyttäytymiseen ja sitä kautta kelpoisuuteen, populaatiodynamiikkaan ja koko ekosysteemin toimintaan. Kun lääkeaine muuttaa jonkin eliön, kuten esimerkiksi kalan käyttäytymistä, on kyseessä suora vaikutus. Epäsuoraksi vaikutukseksi katsotaan sellaiset vaikutukset, jotka ovat seurausta suorasta vaikutuksesta. Tällaisia ovat esimerkiksi muutokset lajienvälisissä interaktioissa kuten saalistuksessa tai kilpailussa. Muutokset voivat johtaa jonkin eliölajin populaation kasvuun, heikentymiseen tai äärimmäisissä tapauksissa jopa paikallisiin sukupuuttoihin. Populaatiokoolla on monia vaikutuksia ekosysteemeille. Siinä tapahtuneet muutokset voivat aiheuttaa muutoksia myös populaatiodynamiikkaan tai ravintoverkkoihin. Muuttuneet populaatiokoot ja mahdolliset sukupuutot vaikuttavat yhdessä yhteisön koostumuksen ja eri lajien suhteellisten lajirunsausten kanssa ekosysteemin toimintaan. Tällaisia vaikutuksia tulee todennäköisimmin silloin, kun eri eliöryhmät reagoivat eri tavalla altistuessaan. Uudenlainen populaatiodynamiikka tai paikalliset sukupuutot vaikuttavat sekä ylempiin että alempiin trofiatasoihin. Jos esimerkiksi ravintoketjun toisen asteen kuluttajat rohkaistuvat jonkin lääkeaineen seurauksena saalistamaan rohkeammin ravintoa, kärsivät ensimmäisen asteen kuluttajat tästä käyttäytymismuutoksesta. Kun ensimmäisen asteen kuluttajien populaatiokooko heikkenee, hyötyvät tuottajat tilanteesta. Vaikutusten laajuuteen vaikuttaa se, millä trofiatasolla alkuperäinen muutos on tapahtunut. Tämänkaltaiset vaikutukset ovat kuitenkin useimmiten ohimeneviä ja tilanne palautuu ennalleen (Brodin ym. 2014).

Brodin'n ym. (2014) mukaan yleisimmin käytettäviin masennuslääkkeisiin kuuluva serotoniini vaikuttaa fysiologiaan ja käyttäytymiseen monilla organismeilla, kuten kaloilla. Sillä on havaittu olevan keskeinen rooli aktiivisuuden, aggressioiden ja lisääntymiskäyttäytymisen muutoksissa. Tutkimuksen mukaan altistuessaan masennuslääkkeille, eräässä taistelukalalajissa havaittiin liikkumiskyvyn heikentymistä ja aggressioiden vähenemistä. Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös koralliriutoilla, joissa alueellinen aggressiivisuus väheni masennuslääkkeille altistumisen myötä. Psykiatriset lääkkeet, joista käytetyimpiä lienee diatsepaami, ovat lisänneet ainakin seeprakalojen ja aurinkoahventen

aktiivisuutta. Nämä tutkimukset on tehty pääasiassa laboratoripopulaatioilla, mutta tuoreen tutkimuksen mukaan luonnollisesta populaatiosta lähtöisin olevan ahvenen on havaittu reagoivan altistukseen samalla tavalla. Kyseisessä tutkimuksessa ahvenen aktiivisuus lisääntyi ja sosiaalisuus väheni. Tästä seurasi kalan rohkeampi ravinnonetsintä, mikä johti ekologisiin vaikutuksiin eläinplanktonin lisääntyneen saalistuksen seurauksena (Brodin ym. 2014). Liian rohkeat ja populaatiostaan eristyneet yksittäiset kalat ovat paljon alttiimpia saalistukselle kuin varautuneet ja parvissa liikkuvat (Underwood 2013).

Antibioottien vesistöihin pääsy aiheuttaa lääkeresistenssejä bakteerikantoja. Tämän seurauksena yhä useampi infektioihin käytettävä antibiootti menettää tehonsa. Sairaaloiden epidemiat johtuvat juuri tästä (Hirsch ym. 1999). Antibioottina käytettävän tetrasykliinin hajoamistuotteena syntyvä anhydrotetrasykliini on tutkimuksen mukaan yhtä toksista tai jopa toksisempaa kuin lähtöaine (Äystö ym. 2014). Antibiootit on suunniteltu vaikuttamaan mikro-organismeihin, eli niiden vaikutukset vesistöissä kohdistuvat pääasiassa bakteereihin, leviin ja sieniin. Haitallisia vaikutuksia on havaittu ainakin jäteveden puhdistuksessa apuna käytettäville bakteereille, mikä huonontaa puhdistustulosta. Erityisen herkkiä antibioottien vaikutuksille ovat syanobakteerit, eli sinilevät. Levät ovat ravintoketjun perusta, joten jo pienetkin populaatiokoon muutokset voivat horjuttaa koko vesiekosysteemin tasapainoa. Joidenkin eliöiden lisääntymiskyvyn on havaittu häiriintyvän antibioottien vaikutuksesta. Tällaisia ovat ainakin vesikirput. Lisäksi vesikasvit altistuvat antibiooteille, mutta niiden herkkyys kyseisille yhdisteille vaihtelee suuresti eri kasvilajien välillä. Kaloille antibioottien haittavaikutuksia ei pidetä todennäköisenä. Laboratoriotutkimukset ovat osoittaneet, että jos vaikutuksia ilmenisi, ne näkyisivät vasta todella korkeissa ja ympäristölle epärealistisissa arvoissa (Kümmerer 2009).

Vuonna 2004 tuli ilmi, että diklofenaakki oli syy 1990-luvulla tapahtuneeseen korppikotkakannan romahdukseen Intiassa ja Pakistanissa. Näissä maissa kyseistä lääkeainetta on käytetty tulehduskipulääkkeenä ihmisillä ja eläimillä 1970-luvulta lähtien. Tämä havainto herätti kiinnostuksen lääkeaineiden ympäristövaikutuksia kohtaan. Korppikotkien luonnollisia ravinnonlähteitä ovat villi-, koti- ja karjaeläinten raadot. Diklofenaakilla lääkittyjen eläinten raatoja syötyään korppikotilla ilmeni munuaisten vajaatoimintaa. Tämä johti aikuisten ja nuorten lintujen kuolleisuuteen, jonka seurauksena populaation koko romahti (Fent ym. 2006).

Yleensä kala eristää myrkyllisiä kemikaaleja lihaskudokseensa (Brodin ym. 2014), mutta diklofenaakin on todettu kertyvän kalojen maksaan, munuaisiin (Vieno 2015) ja sappinesteeseen, josta lääkeaineen mitatut pitoisuudet ovat olleet jopa tuhat kertaisia ympäröivään veteen verrattuna. Lisäksi tutkimus on osoittanut, että erityisesti vähähappisissa oloissa diklofenaakki häiritsee kolmipiikin entsyymitoimintaa ja vuorokausirytmisiä sääteliäviä geenejä. Näin ollen diklofenaakki saattaa haitata kalojen sopeutumiskykyä reheviin ja vähähappisiin olosuhteisiin. Diklofenaakin ja särkylääkkeenä käytettävän ketoprofeenin aiheuttamia vaikutuksia myös sinisimpukoille on tutkittu. Tutkimuksen mukaan nämä lääkkeineet aiheuttavat sinisimpukoiden solu-, molekyyli- ja kudostason stressin kymmenkertaistumista normaalioloihin verrattuna (Haapkylä 2015). Kalojen sappinesteisiin on havaittu diklofenaakin lisäksi kertyvän ainakin ibuprofeenin ja naprokseenin. Kalojen lihaan, maksaan ja aivoihin kertyy fluoksetiini ja sertraliini. Hälyttävää on, että Ruotsissa jätevedenpuhdistamoiden purkupaikan läheisyydessä elävistä ahvenista havaittiin 23:a kyseisessä tutkimuksessa tutkittua lääkeainetta. Voidaan vain arvailla, millainen luku on todellisuudessa, sillä ekotoksisuustietoja on saatavilla vasta noin 10 % kaikista lääkeaineista (Vieno 2015). Joidenkin lääkeaineiden on huomattu voivan kertyä kasveihin. Tällaisia ovat esimerkiksi antibioottina käytettävä trimetopriimi ja epilepsialääkkeenä käytettävä karbamatsepiini (Äystö ym. 2014). Lisäksi karbamatsepiinin vaikutuksesta eliöille saattaa syntyä epämuodostumia (Haapkylä 2015).

Kanadalaisen tutkimuksen mukaan jo 5 nanogrammaa ehkäisyvalmisteesta käytettävää etinyyliestradiolia litrassa riittää romahduttamaan järven kalakannan. Tästä syystä sitä onkin ehdotettu Euroopan unionin vesipuitteidirektiivin pintavesistä seurattavien aineiden listalle (Brozinski ym. 2012). Hormonaalisten yhdisteiden on havaittu rikastuvan ravintoketjussa ja laboratorio- ja kenttätutkimusten mukaan niiden vaikutuksesta joidenkin lajien urokset saattavat saada naisellisia piirteitä, ja muuttua hedelmättömiksi (Dove 2006).

Keinoja lääkejäämien ympäristöön pääsyn ennaltaehkäisemiseksi

Ympäristövastuu lääkkeiden haittavaikutuksista ympäristöön voidaan Brozinskin ym. (2012) mukaan jakaa monille eri tahoille. Valmistuksen ja myynnin osalta vastuu on lääketehailla. Lääkäreiden tehtävänä on punnita lääkkeiden tarpeellisuutta ja arvioida sopivat annostukset tapauskohtaisesti. Lisäksi niin lääkintähenkilökunta kuin apteekkikin voivat valistaa jokaista asiakasta lääkkeiden oikeaoppisesta hävittämisestä. Kuluttajien vastuulle jää lääkkeiden oikeanlainen hävittäminen ja turhien lääkkeiden poisjättäminen. Jätevedenpuhdistamoiden vastuulla on estää lääkeaineiden pääsy ympäristöön puhdistamattomien tai puhdistettujen jätevesien mukana. Jäteveden puhdistuksessa on olemassa sellaista tekniikkaa lääkejäämien poistamiseksi, mikä ei ole vielä käytössä kaikkialla. Tällaisia ovat esimerkiksi UV-säteilytys ja otsonointi. Euroopan unionilla olisi mahdollisuus vaatia lääkkeiden ympäristövaikutusten testausta. Tätä se ei kuitenkaan tällä hetkellä vaadi, sillä testaus ei kuulu Euroopan unionin kemikaalien arvioinnin piiriin.

Brozinski ym. (2012) kritisoivat Suomea siitä, ettei täällä tehdä tarpeeksi aiheeseen liittyvää tutkimusta, vaan luotetaan Ruotsissa tehtyihin tutkimuksiin. Heidän mukaansa tarvitaan enemmän tutkimusta Suomesta, jotta voidaan selvittää täsmällinen tilanne Suomen vesistöissä ja siten pohtia mahdollisia toimenpiteitä. Lääkeaineiden käyttäytyminen ja se, mihin ne ympäristössä päätyvät ovat asioita, jotka vaativat huomattavasti nykyistä parempaa tuntemusta. Jos lääkkeitä ja niiden käyttäytymistä ei tunneta, voivat lääkeaineiden aineenvaihduntatuotteet muuttua puhdistusprosessien aikana takaisin aktiivisiksi lääkeaineiksi. Tutkimukseen panostamalla voidaan onnistua kohdentamaan toimenpiteitä paremmin. Nämä toimenpiteet saattavat tulla kalliiksi, mutta ne ovat tarpeellisia erityisesti tulevaisuutta ajatellen.

Tällä hetkellä lääkkeiden monimutkaisia biokemiallisia signalointireittejä ei tunneta kovin hyvin. Näin ollen on mahdotonta suunnitella niin hyvin kohdennettuja lääkkeitä, etteivät ne toimisi muilla reiteillä. Vaikka lääkkeiden toiminta voitaisiinkin rajoittaa yhden reseptorityypin kudoksiin, ei kohdereseptori välttämättä ole tiedossa (Daughton & Ternes 1999). Fisher ja Borland (2003) ovat sitä mieltä, että tulevaisuudessa lääkejäämien ympäristöön pääsyä voitaisiin ennaltaehkäistä käyttämällä luonnontuotteita lääkkeissä ja rokotteissa. Lisäksi he tuovat esiin geeniterapian, jolla lääkkeiden käyttöä, ja sen myötä myös niiden pääsyä ympäristöön voitaisiin heidän mukaansa vähentää. Sveitsissä

tutkijat työskentelevät uuden keksinnön kanssa, joka erottaisi virtsan muusta jätevedestä. Taustalla on ajatus siitä, että suurin osa lääkejäämistä tulee virtsan mukana ja uudenlainen lähestymistapa mahdollistaisi kemikaalien helpomman eristämisen (Dove 2006). Sveitsi on edistyneimpiä maita jätevesien puhdistuksessa lääkejäämistä ja niiden vesistöihin pääsyn ennaltaehkäisyssä. Se on ainoa maa Euroopassa, jossa on tehty päätös, että isoimmilla jätevedenpuhdistamoilla aletaan poistaa haitallisia aineita (Haapkylä 2015).

POHDINTA

Koska jätevedenpuhdistusprosessissa on havaittu, että eri lääkeaineisiin tehoavat erilaiset jätevedenpuhdistusmenetelmät (Haimi & Mannio 2008), ei lääkeaineita voida käsitellä homogeenisenä ryhmänä. Ei pidä olettaa, että samat ratkaisut toimisivat kaikkien lääkejäämien vähentämiseksi tai että sama lääkeaine vaikuttaa eri eliöihin samalla tavalla. Tämä tekee tutkimuksesta haasteellisen, sillä lukuisia lääkeaineita käytetään ympäri maailman. Tarvitaan todella laajamittaista tutkimusta, että useimpien lääkkeiden ympäristövaikutukset opitaan tuntemaan. Tämä vaatii globaalia yhteistyötä, jonka avulla lääkeaineiden ympäristövaikutuksia voidaan ymmärtää paremmin.

Huomasin useammassa käyttämässäni lähteessä huolta siitä, kuinka lääkejäämät saattavat reagoida keskenään vesistöissä. Tämä saattaa johtaa aivan uudentyyppisiin ja täysin tuntemattomiin yhdisteisiin, joiden vaikutuksia ei luonnollisesti pystytä edes arvioimaan. Laboratorio-oloissa voidaan tutkia luonnosta havaittavien lääkejäämien keskinäistä reagoitua ja esimerkiksi auringosta peräisin olevan säteilyn vaikutuksia niihin. Vaikka laboratoriossa on haasteellista saada aikaan luonnollisia olosuhteita, jotka varsinkin tässä tapauksessa voivat muuttua hyvinkin nopeasti, saataisiin tutkimuksen avulla tärkeää perustietoa lääkeaineiden keskinäisestä reagoinnista ja niihin johtavista tekijöistä. Näiden uusien yhdisteiden tunteminen on tärkeää jo senkin takia, että saataisiin parempi kuva lääkkeiden pysyvyydestä ympäristössä. Toistaiseksi lääkeaineiden reagoitua keskenään ja niiden aiheuttamat lääkeainemuutokset ovat johtaneet siihen, että tutkijat ovat päättelleet niiden pitoisuuksien laskevan vesistöissä ajan myötä (Brozinski ym. 2012).

Pohdin myös sitä, voisiko lääkejäämistä olla joissain tapauksissa hyötyä jollekin eliölle tai eliöryhmälle. Brodin'n ym. (2014) tutkimuksessa havaitaan, että kaikki vaikuttaa kaikkeen, ja yhden eliölajin nauttima hyöty saattaa koitua toisen kohtaloksi. Näin ollen ei ainakaan tämän tutkielman valossa voi tehdä sellaisia johtopäätöksiä, että minkään lääkkeen ympäristöön päätyminen olisi positiivinen asia. Tällä hetkellä lääkejäämien vaikutukset ovat vielä huonosti tunnettuja, joten on tärkeämpää keskittyä niiden haittavaikutusten selvittämiseen.

Brodin ym. (2014) kuvailevat eliöiden käyttäytymismuutoksia lääkeaineiden altistumisen seurauksena. He tuovat esiin ravintoketjussa tapahtuvat muutokset käyttäytymishäiriöiden seurauksena, mutta toteavat kuitenkin, että tämänkaltaiset vaikutukset eivät ole pysyviä. Tähän ei kuitenkaan pidä luottaa, sillä jos eliölajit ovat kroonisen lääkeainealtistuksen alaisia, tulee vaikutustenkin väistämättä ilmetä jatkuvina, ei ohimenevinä. Tilanne on tietysti eri, jos lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin saadaan estettyä. Niin kauan kuin lääkejäämiä kulkeutuu jatkuvasti vesistöihin, on vaikutusten pysyvyyteen varauduttava. Muutokset ravintoketjuissa voivat olla todella kohtalokkaita koko ekosysteemille ja useamman lajin paikalliset sukupuutot ovat enemmän kuin mahdollisia. Tämänhetkinen tieto lääkeaineiden vaikutuksista on niin pintapuolista, että tällaiset seuraukset voivat olla mahdollisia ilman että niiden taustalla vallitsevaa syytä tiedostetaan. Tätä puoltaa myös se, että korppikotkapopulaation romahduksen alkuperäinen syy saatiin selville vasta vuosikymmenen kuluttua.

Brozinski ym. (2012) ovat nostaneet esiin sen, että myös suomalaista tutkimusta aiheesta tarvitaan. Heidän näkemystään tukee Suomessa tehdyn tutkimuksen tulokset, joita verrattiin erityisesti Ruotsissa saatuihin tuloksiin. Melkein jokainen Äystön ym. (2014) tutkimuksessa tutkittu lääkeaine esiintyi keskimäärin korkeammissa tai huomattavasti korkeammissa pitoisuuksissa Ruotsissa kuin Suomessa. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi luultavasti sillä, että Ruotsissa on melkein puolet enemmän asukkaita (Tietoa Pohjoismaista 2016). Uskon kuitenkin, että tämän suuntainen tutkimustulos johtuu ainakin osittain siitä, että Ruotsissa aiheeseen liittyvää tutkimusta on tehty enemmän, jolloin lääkeainehavaintoja ja erityisesti maksimiarvoja on paremmin saatavilla. Useamman maan kattavat tutkimustulokset ennaltaehkäisevät paremmin korruption vääristämiä tuloksia. Voidaan olettaa, että esimerkiksi lääketehtaille on parempi, jos lääkeaineiden ympäristö-ongelmista vaietaan.

Ennako-odotuksena oli, että hormonaalisilla valmisteilla on suurimmat ympäristövaikutukset. Brozinski ym. (2012) osoittivat tämän olleen oikea käsitys, koska ehkäisyvalmisteessa käytettävä 17α -etinyyliestradioli romahdutti järven kalakannan vain viiden nanogramman pitoisuudella litrassa vettä. Yllättävää oli, että tutkielmassa esiintyvistä lääkeaineista myös tulehduskipulääkkeenä ja kipugeelinä käytettävä diklofenaakki osoittautui ympäristövaikutuksiltaan vastaavaksi. Se romahdutti Aasiassa kokonaisen

korppikotkapopulaation (Fent ym. 2006). Näiden kahden lääkeaineen välillä on kuitenkin se ero, että 17α -etinyyliestradioli vaikuttaa kohde-eliöönsä huomattavan pienissä pitoisuuksissa. Diklofenaakin PNEC-arvo, eli sellainen pitoisuus, jonka vielä arvioidaan olevan ympäristölle vaaraton, on 0,1 mikrogrammaa vesilitrassa. Tämä on kaksikymmentä kertaa suurempi kuin se pitoisuus 17α -etinyyliestradioli, joka romahdutti järven kalakanan. On kuitenkin otettava huomioon, että diklofenaakki on käsikauppalääke, eli sitä on mahdollista saada apteekista ilman reseptiä. Vieno (2015) on tutkimuksessaan osoittanut, että käsikauppatavarana myytäviä lääkkeitä havaitaan vesistöissä suurimmissa pitoisuuksissa, koska ne ovat helpoiten saatavilla. Näin ollen myös diklofenaakkia on pidettävä ympäristölle erittäin haitallisena.

Antibioottien ympäristövaikutuksia ei tunneta vielä kovin hyvin, mutta tiedetään, että bakteerien resistenssit lisääntyvät antibioottien vesistöihin pääsyn seurauksena. Tämä on huolestuttavaa, sillä antibiootiresistenssien lisääntyminen johtaa siihen, että infektioaudit saattavat muuttua hallitsemattomiksi globaaleiksi epidemioiksi. Ratkaisu tähän ongelmaan voidaan löytää maiden välisestä yhteistyöstä, lääketieteen kehittymisestä ja antibioottien vesistöön kulkeutumisen ehkäisemisestä. Lumio (2015) tuo esiin, että antibiooteilla on haitallisia vaikutuksia myös ihmiselle hyödyllisille bakteereille. Näin ollen antibiooteilla on haittavaikutuksia myös vesistöissä esiintyville välttämättömille bakteereille. Jätevedenpuhdistamalla käytettävien bakteerien vaikutuksiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota, koska jos puhdistusteho heikkenee, on tuloksena noidankehä. Ympäristöön pääsee enemmän haitallisia aineita, jotka tekevät vesistöistä yhä haavoittuvaisempia. Antibioottien haitalliset vaikutukset keskittyvät mikro-organismeihin, kuten leviin. Levät ovat monien vesieliöiden ensisijainen ravinnonlähde, joten leviin kohdistuvat haittavaikutukset heijastuvat koko ekosysteemiin. Ei sovi unohtaa myöskään levien kykyä yhteyttä. Yhteyttävien levä- ja bakteeripopulaatioiden romahtaminen olisi ekosysteemille hyvin haitallista.

Tulevaisuudessa lääkkeiden käyttö tuskin vähenee, koska suurin osa lääkkeistä on vasta rantautumassa kehitysmaihin, joissa asuu huomattava osa maapallon väestöstä. Lisäksi kaikkein köyhimmässä maissa infrastruktuuri on alkeellista, eivätkä jätevedenpuhdistus tai lääkkeiden ympäristövaikutukset ole suurin huolenaihe. Tästä syystä onkin tärkeää, että lääkkeiden ympäristövaikutuksia tutkitaan, että niihin osataan jatkossa varautua

entistä paremmin jo uusia lääkkeitä kehitettäessä. Lääkkeiden vastuullinen käyttö ja oikeaoppinen hävittäminen on muistettava nyt ja tulevaisuudessa. On uskomatonta, että hyvinvointivaltiona tunnetussa Suomessa lääkejätettä ei osata käsitellä oikein. Teollisuusmailla on iso vastuu tutkimuksesta ja ennaltaehkäisystä esimerkiksi uusien jätevedenpuhdistusmenetelmien tai ympäristöystävällisten lääkkeiden kehittämisessä. Vaikka geeniterapiaa on väläytelty lääkkeitä korvaavaksi hoitomuodoksi, tulee se tuskin pelastamaan tilannetta vielä vuosiin.

Lääkejäämien kulkeutuminen vesistöihin ja niiden vaikutukset eliöstöön ovat poikkitieteellinen ongelma. Tulevaisuudessa pitäisikin panostaa enemmän eri tieteenalojen yhteistyöhön tutkimuksen edistämiseksi. Tällä hetkellä uutta tietoa ja tekniikkaa lääkejäämien ehkäisemiseksi ja niiden vaikutusten selvittämiseksi saadaan liian hitaasti. Jos esimerkiksi maantieteen, biologian, kemian, tekniikan ja lääketieteen ammattilaiset työskentelisivät yhteistyössä aiheen parissa, voisi tutkimus edetä huomattavasti nopeammin. Kun lääkejäämien reitit ja käyttäytyminen ympäristössä opitaan tuntemaan paremmin, voidaan maantieteessä hyödyntää geoinformatiikkaa lääkejäämien vaikutusten kannalta kriittisimpien alueiden mallintamiseen ja ennustamiseen. Näin resurssit osataan kohdentaa oikeisiin paikkoihin. Tutkielmani osoittaaakin, että lääkejäämien ympäristövaikutusten tutkimuksessa on vielä paljon tehtävää.

LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet

- Attila, M & M. Sandholm. (1998). *Lääkeaineet eläimissä : Farmakokinetiikan perusteet*. 2. p. 219 s. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Boxall, A. B. A. (2004). The environmental side effects of medication. *EMBO Reports* 5: 12, 1110-1116.
- Brodin, T., S. Piovano., J. Fick., J. Klaminder., M. Heynen & M. Jonsson. (2014). Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems—impacts through behavioural alterations. *Royal Society Publishing* 369: 1656, 1-9.
- Brozinski, J-M., L. Kronberg & J. Mannio. (2012). Mihin lääkeaineet päätyvät ympäristössä? *Duodecim* 128: 13, 1376-1380.
- Carlsson, G., S. Örn & D. G. J. Larsson. (2009). Effluent from bulk drug production is toxic to aquatic vertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28: 12, 2656-2662.
- Daughton, C. G & T. A. Ternes. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change. *Environmental Health Perspectives* 107: 6, 907-938.
- Dove, A. (2006). News Feature: Drugs down the drain. *Nature Medicine* 12: 4, 376–377.
- Dudgeon, D. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81: 2, 163-182.
- Fent, K., A. A. Weston & D. Caminada. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* 76: 2, 122-159.
- Fisher, P. M. J. & Borland, R. (2003) Gauging the pharmaceutical burden on Sydney's environment: A preventative response. *Journal of Cleaner Production* 11: 3, 315-320.
- Haapkylä, J. (2015). Lääkkeemme päätyvät Itämereen. *Ympäristö* 3/2015. Suomen ympäristökeskus.
- Haimi, H. & J. Mannio. (2008). Haitallisten aineiden näytteenotto ja esiintyminen jätevedenpuhdistamoilla. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 5/2008, 1-56.

- Hernando, M. D., Mezcua, M., Fernández-Alba, A. R. & Barceló, D. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Talanta* 69: 2, 334-342.
- Hirsch, R., T. Ternes., K. Haberer., K-L, Kratz. (1999). Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *Science of The Total Environment* 225: 1-2, 109-118.
- Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment—a review—part I. *Chemosphere* 75: 4, 417-434.
- Lishman, L., S. A. Smyth., K. Sarafin., S. Kleywegt., J. Toito., T. Peart., B. Lee., M. Servos., M. Beland., P. Seto. (2006). Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada. *Science of the Total Environment* 367: 2-3, 544-558.
- Lumio, J. (2015). Antibiootit. *Duodecim*.
- Paakkari, P. (2013). Kipulääkkeit – turvallinen käyttö. *Duodecim*.
- Schultz, E., P. Kärkkäinen., M. Sillanpää & P. Sainio. (2014). Toksisuustestauksen soveltuvuus suomalaisten yhdyskuntajätevesien tarkkailuun ja haitallisten aineiden riskinarviointiin. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2014*, 1-34.
- Schütze, M., A. Campisano., H. Colas., W. Schilling & P. A. Vanrolleghem. (2004). Real time control of urban wastewater systems—where do we stand today? *Journal of Hydrology* 299: 3–4, 335-348.
- Stumpf, M., T. A. Ternes., R-D. Wilken., S. V. Rodrigues., W. Baumann. (1999). Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of The Total Environment* 225: 1-2, 135-141.
- Ternes, T. A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research* 32: 11, 3245-3260.
- Vieno, N. (2015). Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä. *Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry 73/2015*, 1-123.
- Äystö, L., J. Lehtonen & K. Kalevi. (2014). Kartoitus lääkeaineista yhdyskuntajätevedessä ja pintavedessä. *Suomen ympäristökeskus*, 1-54.

Internet-lähteet

Jätevesikuormituksen vähentäminen. (2013). Suomen ympäristökeskus.

<http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Kiinteiston_jatevesien_kasittely/Puhdistamosivusto_jatevesien_kasittelymenetelmista/Jatevesikuormituksen_vahentaminen>. Viitattu 28.3.2016.

Kipulääkkeet. (2015). Yliopiston Apteekki. *<<https://www.yliopistonapteekki.fi/kipulaakkeet>>. Viitattu 6.4.2016.*

Lääkejäte ei kuulu luontoon. (2007). Yliopiston Apteekki.

<<http://news.cision.com/fi/yliopiston-apteekki/r/laakejate-ei-kuulu-luontoon,c277804>>. Viitattu 5.4.2016.

Tietoa Pohjoismaista. (2016). Norden. *<<http://www.norden.org/fi/tietoa-pohjoismaista/pohjoismaat-sekae-ahvenanmaa-faersaaret-ja-groenlanti/tietoa-ruotsista>>. Viitattu 30.4.2016.*

Underwood, E. (2013). Drugged Fish Lose Their Inhibitions, Get the Munchies. Science. *<<http://www.sciencemag.org/news/2013/02/drugged-fish-lose-their-inhibitions-get-munchies>>. Viitattu 6.4.2016.*