

Eetu Kasurinen

# **HULEVESIEN HAITTA-AINEET JA KÄ- SITTELYMENETELMÄT**

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö

Tarkastaja: Marja Palmroth

Toukokuu 2020

# TIIVISTELMÄ

**Kasurinen, Eetu:** Hulevesien haitta-aineet ja käsittelymenetelmät

Pollutants in stormwater runoff

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Ympäristö- ja energiatekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Bio- ja ympäristötekniikka

Toukokuu 2020

Urbanisoituminen eli ihmisten kasvava määrä kaupungeissa lisää siellä tarvittavien rakennusten määrää. Maan käyttöönotto rakennuksille ja koviille päällysteille häiritsee veden normaalia hydrologista kiertoa, estämällä normaalia imeytymistä maaperään. Näiltä rakennuksilta ja läpäisemättömiltä pinnoilta huuhtoutuvaa sadevettä kutsutaan hulevedeksi. Taajamien hulevedet sisältävät kaikkia päällysteillä, ilmassa ja saateen mukana olevia aineita. Myös maaperää ja sedimenttiä sekoittuu usein huleveteen. Osa näistä aineista vaikuttavat negatiivisesti eliöihin sekä ympäristöön ja siksi niitä kutsutaan haitta-aineiksi. Tässä kandidityössä tarkastellaan hulevesissä olevia haitta-aineita ja tehdään selvitystä niiden pitoisuuksista sekä puhdistamismahdollisuuksista.

Taajamien hulevesissä merkittävimiksi haitta-aineiksi yleisyytensä perusteella on osoittautunut raskasmetallit sekä hiilivety-yhdisteet, varsinkin PAH-yhdisteet. Näitä on yleensä taajamien hulevesissä monesti sen verran suurina konsentraatioina, ettei niiden vaikutusta ympäristöön voi jättää huomiomatta. PAH-yhdisteet ovat uhka vesieliöille ja varsinkin pohjaeliöille, sillä ne kerääntyvät sedimenttiin. PAH-yhdisteitä muodostuu epätäydellisen palamisen seurauksena, mikä tekee niistä yleisiä yhdisteitä kaupunkiympäristössä. Metalleja taas käytetään yleisesti rakennusmateriaaleina, joista niitä liukenee eroosion vaikutuksesta hulevesiin. Raskasmetallit ovat metalleista ympäristöllemme sekä eliöille haitallisimpia.

Käsittelen työssäni myös typpeä ja fosforia, koska ne vaikuttavat suuresti järviemme tilaan. Niiden kerääntyminen vesistöihin hulevesien mukana kiihdyttää taajamien vieressä sijaitsevien järvien rehevöitymistä.

Tukholmassa on muutama vuosi sitten määrätty hulevedessä esiintyvillä tietyille haitta-aineille raja-arvoja. Jos pitoisuudet halutaan pitää näiden alapuolella, tulisi selvitykseni mukaan hulevesiä puhdistaa. Verrattaessa Tukholman haitta-aine raja-arvoja Yhdysvaltalaiseen hulevesi tietokantaan, huomataan että hulevettä tulisi monessa paikassa käsitellä ennen niiden päästämistä vesistöihin. Onneksi monet haitta-aineet sitoutuvat kiintoainekseen, mikä helpottaa niiden puhdistamista huomattavasti.

Tietty määrä hulevesistä imeytyy maaperään muodostaen pohjavettä, mutta suurin osa valuu lopulta vesistöihin. Hulevesien suuren määrän ja pienien haitta-aine konsentraatioiden takia niiden käsittely jätevedenpuhdistamoilla on huomattu olevan tehoton ratkaisu. Toimivimmaksi haitta-aineiden puhdistusmenetelmäksi on osoittautunut biosuodatus. Helpoin ja yleisimmin käytetty tapa on taas hulevesikosteikko, minkä pääasiallinen tarkoitus on yleensä hulevesien viivytyks. Kosteikko poistaa kuitenkin myös haitta-aineita sedimenttiin laskeuttamalla. Biosuodatuksessa hulevesi imeytetään maakerrosten läpi ennen sen päästämistä ojaan. Suodatuksessa varsinkin kiintoaines ja sen mukana olevat haitta-aineet jäävät tehokkaasti maakerrokseen.

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

1. JOHDANTO .....	1
2. HULEVESIEN MUODOSTUMINEN, KULKEUTUMINEN, VAIHTELEVUUS SEKÄ RAJA-ARVOT .....	3
2.1 Kulkeutuminen ja vaihtelevuus .....	4
2.2 Ensihuuhtouma ja laskeuma .....	6
2.3 Raja-arvot .....	6
3. HULEVESIEN HAITTA-AINEET JA NIIDEN LÄHTEET .....	8
3.1 Typpi ja fosfori .....	10
3.2 Metallit .....	10
3.2.1 Elohopea .....	11
3.2.2 Kadmium .....	11
3.2.3 Kupari .....	12
3.2.4 Nikkeli .....	12
3.2.5 Sinkki .....	12
3.2.6 Kromi .....	12
3.2.7 Lyijy .....	13
3.3 Muut huleveden laatuun vaikuttavat parametrit .....	13
3.3.1 Patogeenit .....	13
3.3.2 Tuholaismyrkyt ja rikkaruohon torjunta-aineet .....	14
3.3.3 Hiilivedyt .....	14
4. HULEVESIEN HAITTA-AINEIDEN KÄSITTELY .....	17
4.1 Maakerroksen läpi suodattuminen .....	17
4.2 Biosuodatus .....	18
4.2.1 Biosuodatuspainanteen rakenne .....	19
4.3 Hulevesikosteikko .....	21
4.3.1 Case Kytölä ja Yhdysvaltalaiset mittaukset <b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>	
5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25
6. LÄHDELUETTELO .....	26

# 1. JOHDANTO

Kaupungistuminen on yleistä ja kiihtyy koko ajan eripuolilla maailmaa. Alueiden urbanisoituessa yhä enemmän, lisääntyy luonnonalueiden muuttaminen asuinalueiksi, teiksi sekä parkkipaikoiksi. (Davies & Charlesworth, 2014) Näillä rakennetuilla alueilla normaali sadeveden imeytyminen maaperään heikkenee. Sadevesiä huuhtoutuu päällystetyiltä pinnoilta pois ja ne keräävät matkalta mukaansa monia aineita kuten ravinteita, raskasmetalleja sekä monia muita ympäristölle haitallisia aineita. (Suomen kuntaliitto, 2012) Termillä haitta-aine viitataan eliölle tai ympäristölle haitallisiin alkuaineisiin ja yhdisteisiin. Mikrobit ja ravinteet eivät suoranaisesti ole haitta-aineita, mutta ne voivat vaikuttaa negatiivisesti ympäristöön sekä eliöihin. Tämän vuoksi huomioin työssäni myös mikrobit ja ravinteet.

Pintavaluntaa, joka huuhtoutuu päällysteiden ja rakennelmien pinnoilta kutsutaan hulevedeksi. Aikoinaan hulevesillä ei ajateltu olevan suurta vaikutusta vesiekosysteemeille. Lähemmässä tarkastelussa hulevesistä on kuitenkin löydetty monia haitta-aineita, jotka vaikuttavat pinta- ja pohjavesiin negatiivisesti. Varsinkin taajamissa hulevesiä muodostuu niin paljon, etteivät ne monesti ehdi imeytymään maaperään kaupungin ulkopuolellakaan, vaan virtaavat hulevesiojja pitkin vesistöihin. Hulevesien haitta-aineiden laatu ja määrä riippuvat vahvasti paikasta. (Suomen kuntaliitto, 2012) Esimerkiksi teollisuusalueiden hulevesissä on monesti erilaisia haitta-aineita kuin taajamissa tai teillä muodostuvissa. Tässä työssä käsittelen taajamissa ja haja-asutusalueilla muodostuvia hulevesiä, niiden haitta-aineita, puhdistamismenetelmiä sekä vaikutusta pintavesiin. Tarkoitus on selvittää tulisiko huleveden puhdistamiseen kiinnittää lisääntyvissä määrin huomiota ja kuinka suuria haitta-ainepitoisuudet ovat verrattuna esimerkiksi Tukholman raja-arvoihin.

Työ on kokonaisuudessaan kirjallisuuskatsaus. Toisessa luvussa kerrotaan hulevesien muodostumisesta sekä haitta-aineiden kulkeutumisesta niihin. Kolmannessa luvussa esittelen haitta-aineita, joita hulevesissä on mittaustulosten perusteella havaittu olevan. Keskityn niihin aineisiin, jotka voivat esiintyä hulevesissä haitallisina

konsentraatioina, ja teen selvitystä niiden yleisistä pitoisuuksista. Pohdin varsinkin sitä, ovatko haitta-aine pitoisuudet tarpeeksi suuria aiheuttaakseen vaikutusta vesistöihin. Neljännessä luvussa selvitän, mitä käyttökelpoisia keinoja on olemassa hulevesien puhdistamiseen ja pohdin niiden toimivuutta. Viidennessä luvussa esitän johtopäätökset.

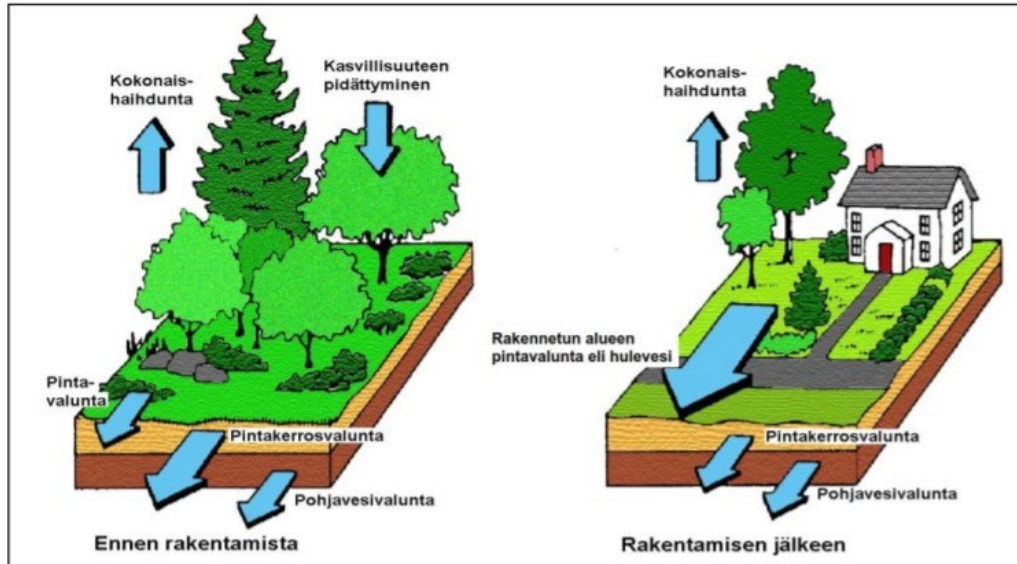
## 2. HULEVESIEN MUODOSTUMINEN, KULKEUTUMINEN, VAIHTELEVUUS SEKÄ RAJA-ARVOT

Hulevedet muodostuvat sateen seurauksena, joten niiden muodostumiseen vaikuttavat suuresti sateen kovuus ja kesto aika, peitteisen alueen määrä, pintojen kaltevuus sekä kasvillisuus (Kotola ja Nurminen, 2005). Kasvillisuus ja paljas maaperä imevät hyvin vettä itseensä, mikä estää tehokkaasti hulevesien muodostumista. Peitteinen maa ei päästä vettä lävitseen, jolloin vedet virtaavat pintoja pitkin ja kerääntyvät maldumiin aiheuttaen lätäköitä. Lätäköityminen vältetään ohjaamalla vedet pois sadevesikaivojen sekä viemäreiden avulla. Viemäreistä vedet lasketaan monesti hulevesiojaan ja sitä kautta vesistöön. Hulevesiä muodostuu enemmän alueilla, missä on paljon ihmisen rakentamia maan peittäviä rakennelmia, kuten rakennuksia, asfalttia, laatoitusta tai teitä. Tiheästi päällystetyillä alueilla hulevedet eivät pääse lainkaan imeytymään maaperään, mikä estää myös pohjaveden muodostumista alueella ja voi hulevesikaivojen sekä putkistojen ylikuormittuessa aiheuttaa paikallisia tulvia.

STORMWATER-hankkeessa tutkittiin tyypillisten suomalaisten rakennettujen alueiden huleveden muodostumista. Tutkimuksessa mitattiin haitta-aine pitoisuuksia ja huleveden muodostumista verrattuna sadannan ja sulavan lumen määrään. Hankkeessa tarkasteltiin kolmea maankäytöltään erilaista kohdetta, jotka olivat väljä alue, tiivis alue ja hyvin tiivis alue. Väljällä alueella (pientalo-alue) läpäisemätöntä pintaa oli 18%, tiiviillä alueella (keskusta-alue) 72% ja hyvin tiiviillä alueella (keskusta-alue) 87%. Alueiden hulevesien muodostumiseen vaikutti suoraan peitteisyyden määrä. Raportin mukaan hyvin tiiviillä alueella sadannasta yli 70% muodosti hulevettä, tiiviillä alueella luku oli alle 50% ja väljällä alueella luku oli noin 10%. (Sillanpää & Sänkiaho, 2012)

Kuva 1 havainnollistaa hyvin miten rakennetun alueen pintavalunta eroaa luonnontilaisen ympäristön valunnasta. Kasvuston poistaminen rakennettavalta alueelta suu-

rentaa maahan asti satavaa vettä sekä pienentää kokonaishaihduntaa. Pintakerrosvalunta heikkenee, koska pintakerrokseen imeytyvän veden määrä vähenee. Nämä kaikki yhdessä lisäävät pintavaluntaa huomattavasti. (Kirkkonummen kunta, 2017)



Kuva 1. Rakentamisen vaikutus hulevesien muodostumiseen (Kirkkonummen kunta, 2017)

Rakentamisessa tulisi aina huomioida hulevedet. Tehokkain tapa niiden hallitsemiseen on estää niiden muodostuminen. Jättämällä rakennettavalle alueelle kasveja sekä imeytymispaikkoja, voidaan vaikuttaa suuresti muodostuvien hulevesien määrään.

## 2.1 Kulkeutuminen ja vaihtelevuus

Haitta-aineen vesiliukoisuudesta, poolisuudesta sekä koosta riippuen, se joko kulkeutuu liuenneena huleveteen tai sitoutuu johonkin muuhun, kuten kiintoainekseen. Pooliset yhdisteet liukenevat helposti veteen ja näin kulkeutuvat tehokkaasti sen mukana. Poolittomat yhdisteet taas kulkeutuvat yleensä kiintoaineksen mukana. Monet metallit ovat luonteeltaan kompleksin muodostajia. Kompleksi tarkoittaa ionien tai molekyylien ryhmää, jossa metalli toimii keskusatomina. Muodostaessa kompleksin haitta-aineen kulkeutuminen voi muuttua. (Heikkinen, 2000)

Haitta-aine pitoisuudet hulevesissä vaihtelevat suuresti olosuhteiden mukaan. Tästä syystä tuloksista on vaikea tehdä yleisiä päätelmiä. Pitoisuuksiin vaikuttavat varsinkin sateen määrä ja paikka, missä mittauksia tehdään. Teollisuusalueilla, taajamissa, haja-asutuskeskuksissa tai teillä hulevesissä on erilaisia haitta-aineita tai ainakin eri konsentraatioissa. (Suomen kuntaliitto, 2012) Taulukko 1 havainnollistaa, hulevesien vaihtelevuutta. Eri haitta-aineita voi tietenkin esiintyä kaikissa siinä luetelluilla alueilla. Taulukon tarkoitus onkin kuvata paikkaa, mistä haitta-aineita löytyy todennäköisemmin. Koska hulevesien haitta-aine pitoisuuksiin vaikuttaa niin moni tekijä, tarkkoja tuloksia saisi mielestäni vain automaattiseurannalla, joka mittaisi hulevesien pitoisuuksia ja virtausmääriä usein ja pitkällä aikavälillä. Raja-arvoja määrittäessä hulevesille täytyisi se mielestäni tehdä erikseen jokaiselle paikalle tai minimissään kaikille erityyppisille päällystetyille ympäristöille. Raja-arvon suuruuteen pitäisi vaikuttaa myös vastaanottavan vesistön suuruus ja laatu.

Taulukko 1. *Eri haitta-aineiden tyypillisiä lähteitä* (Valtanen, et al., 2010). VOC-yhdisteet (volatile organic compounds) = Haihtuvat orgaaniset yhdisteet. PAH-yhdisteet = polysykliset aromaattiset hiilivedyt.

Haitta-aineet + muut	Ilmakehä	Liikenne	Teollisuus	Kattorakenteet	Asutus	Rakennustyömaat	Nurmialueet
Typpi	x	x	x		x	x	x
Fosfori	x	x	x		x	x	x
Metallit	x	x	x	x			
PAH-yhdisteet	x	x	x		x		
VOC-yhdisteet		x	x		x		
Kloridi	x	x					
Torjunta-aineet		x	x		x		x
Koliformiset bakteerit					x		x
Öljyt ja pitkäketjuiset hiilivedyt		x	x		x	x	



## 2.2 Ensihuuhtouma ja laskeuma

Ensihuuhtoumalla tarkoitetaan kuivan jakson jälkeistä ensimmäistä sadetapahtumaa. Kuivan jakson aikana haitta-aineet kerääntyvät pinnoille, joista niitä huuhtoutuu eniten ensimmäisiin sateisiin. Tätä tapahtumaa kutsutaan (first flush) ensihuutoumaksi ja se sisältää suurempia haitta-aine konsentraatioita kuin tämän jälkeiset huuhtoumat. Myös maan lähellä leijuvia pölyhiukkasia tarttuu eniten ensimmäisiin vesipisaroihin, mikä lisää osaltaan ensihuutouman vaikutusta. (Bertrand-Krajewski, et al., 1998)

Ilmaan päässeet saasteet voivat päätyä hulevesiin märkä- tai kuivalaskeumana. Märkälaskeumalla tarkoitetaan sateen mukana tulevia hiukkasia ja kuivalaskeumalla muuten gravitaation vaikutuksesta maahan laskeutuvia hiukkasia. Joissakin lähteissä, esimerkiksi kirjassa (Butler & Davies, 2004, p.110-111) väitetään laskeumien olevan merkittävä tekijä hulevesien haitta-aine pitoisuuksiin.

Kuitenkin Ranskassa tehtyjen mittausten mukaan (Al Ali, et al., 2017) laskeuman vaikutus hulevesien haitta-aine pitoisuuksiin on pieni. Tutkimuksessa tarkkailtiin kuuuden PAH-yhdisteen, nikkelin sekä arseenin laskeuman kautta tapahtuvaa hulevesien saastumista. Mittauksen tehtiin vilkkaan autotien vierestä Pariisin läheltä sekä asuinalueilta Pariisin ympäriltä. Tutkimustulosten mukaan, tutkittuja aineita joutui hulevesiin vain pieniosa märkä- ja kuivalaskeuman seurauksena. Märkä ja kuivalaskeuman aiheuttama haitta-aine kuormitus hulevesiin arvioitiin olevan vain noin 10%. (Al Ali, et al., 2017)

## 2.3 Raja-arvot

Suomessa ei toistaiseksi olla määritetty haitta-aine raja-arvoja hulevedelle, mutta olemassa on ympäristölaatonormeja määrittävä asetus 1022/2006. Ympäristölaatonormilla tarkoitetaan aineen pitoisuutta pintavedessä, sedimentissä tai eliöstössä, jota ei saa ihmisen terveyden tai pintaveden suojelemiseksi ylittää (Airola, et al.,

2014). Asetus sisältää vesiympäristölle vaarallisia aineita sekä niiden raja-arvoja vesistöissä. Huleveden raja-arvojen sijaan asetuksessa on lähinnä mainittu aineita, joita ei saa päästää vesistöihin sekä raja-arvoja haitta-ainepitoisuuksille vesistöissä. Vain elohopealle ja kadmiumille on annettu selkeät raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä viemäriin johdettavalle vedelle.

Suomesta poiketen Tukholman lääni Ruotsissa on määrännyt hulevesille yleisesti esiintyville haitta-aineille selkeät raja-arvot. Asetuksessa on viisi porrasta, jotka määräytyvät sen mukaan, missä päin valuma-aluetta päästö tapahtuu ja kuormitusta hulevesi suurta vai pientä vesistöä (Riktvärdesgruppen, 2009). Raja-arvot ovat sitä tiukemmat mitä pienempään vesistöön hulevesi on tarkoitus purkaa (Airola, et al., 2014). Tukholman alimmat ja ylimmät raja-arvot ovat taulukossa 2. Mielestäni myös Suomessa tulisi määritellä Tukholman läänin kaltaiset raja-arvot. Tämä toisi selkeyttä hulevesiä koskeviin ongelmiin sekä pakottaisi kunnat ja muut tahot keskittymään niiden käsittelyyn.

Taulukko 2. *Tukholman asettamat raja-arvot. Alin raja-arvo tarkoittaa suoraan pienen vesistöön purettavan huleveden raja-arvoa. Ylin raja-arvo tarkoittaa hulevesiojan kautta suureen vesistöön menevän huleveden raja-arvoa.* (Airola, et al., 2014)

Haitta-aine	Alin raja-arvo (µg/l)	Ylin raja-arvo (µg/l)
Kiintoaine	40000	75000
Kokonaisfosfori	160	250
Kokonaistyyppi	2000	3000
Sinkki	75	125
Kupari	18	40
Lyijy	8	15
Kadmium	0,4	0,5
Elohopea	0,03	0,07
Kromi	10	25
Nikkeli (µg/l)	15	30
Öljy hiilivetyindeksi (µg/l)	0,4	0,7
Bentso(a)pyreeni (µg/l)	0,03	0,07

### 3. HULEVESIEN HAITTA-AINEET JA NIIDEN LÄHTEET

Hulevesien haitta-aineita on selvitetty eri tutkimuksissa ympäri maailmaa. Haitta-aineet ovat tässä luokiteltu samankaltaisuuksiensa mukaan. Typpi, fosfori ja patogeenit eivät ole varsinaisia haitta-aineita, mutta ne vaikuttavat suuresti vesistöjen laatuun, jonka takia ne ovat mukana. Ympäristön kannalta aineesta tekee yleensä haitallisen sen pysyvyys, sekä kerääntymisominaisuudet. Monet myrkylliset aineet hajoavat nopeasti ympäristöön jouduttuaan, ja niiden haittavaikutukset jäävät hyvinkin paikallisiksi. Esimerkiksi raskasmetallit ja PAH-yhdisteet ovat yleisiä haitta-aineita ja niiden haitallisuus ympäristössä perustuu pitkään säilymisikään ja sen kautta kertymiseen eläviin organismeihin (Ancion, et al., 2010) (Fatoki, et al., 2010).

Yhdysvalloissa hulevesien laadusta on tehty tietokanta nimeltään National Stormwater Quality Database (NSQD), johon on koottu tietoa yli 200 kunnan hulevesien laadusta. Mittaukset on tehty noin kymmenen vuoden ajalta, vuosina 1994-2005. (Pitt & Maestre, 2015) Esitän taulukossa 3 samoja haitta-aineita kuin Tukholman läänin raja-arvo esityksessä on mainittu. Mittaukset on tehty pääasiassa asuinalueilta ja taajamista. Tulokset ovat mielestäni luotettavia, sillä jokaisen haitta-aineen kohdalla on vähintään tuhat mittaustapahtumaa ja monien kohdalla useampia tuhansia. Yhdysvalloissa tehdyt mittaukset osoittavat, että hulevesissä on useita haitta-aineita. Mittaukset ovat kuitenkin jo yli 15 vuotta vanhoja, joten niihin tulee suhtautua pienellä varauksella. Esimerkiksi siirtyminen lyijyttömään polttoaineeseen on vähentänyt lyijyn esiintymistä hulevesissä huomattavasti. Taulukossa on myös keskiarvot Vantaanjoen ja Helsingin vesiensuojeluyhdistyksen tekemästä tutkimuksesta vuosilta 2014 ja 2015 (Vahtera & Lahti, 2016). Tutkimuksessa mitattiin haitta-ainepitoisuuksia erilaisilta valuma-alueilta. Mittaukset on tehty suurimmaksi osaksi asutusalueilta ja taajamista (Hyvinkää, Riihimäki ja Viikki).

Taulukko 3. *Yhdysvalloissa tehtyjen tuhansien hulevesimittausten mediaanit tummennettuina* (Pitt & Maestre, 2015). *Taulukossa on myös Suomen asutusalueilla mitatut pitoisuudet* (Vahtera & Lahti, 2016). *TDS = total dissolved solids (liukoinen*

*kiintoaine*) ja TSS = total suspended solids (kiintoaines joka jää yli 45 µm suodattimiiin) (Kuokkanen, ei pvm).

Haitta-aine	Yhdysvaltalaisten mittaus- ten mediaani (µg/l)	Suomessa tehtyjen mit- tausten keskiarvot(µg/l)
Kiintoaine (TDS+TSS)	<b>139000</b>	-
Kokonaisfosfori	<b>270</b>	170
Kokonaistyppe	<b>1400</b>	2200
Kokonaiskadmium	<b>1</b>	0,05
Kokonaiskromi	<b>7</b>	2,3
Kokonaissinkki	<b>116</b>	84
Kokonaiskupari	<b>16</b>	19
Kokonaislyijy	<b>17</b>	<8
Elohopea	<b>0,20</b>	<0,03
Kokonaisnikkeli	<b>8</b>	2,3
PAH	-	0,9

Taulukon 3 mukaan monet tietokannassa olevat haitta-aineet pysyvät Tukholman raja-arvojen sisällä. Datan mukaan ainoastaan kadmium ja elohopea ovat selvästi yli raja-arvojen. Alin ja ylin arvo on kuitenkin määritetty vastaanottavan järven koon mukaan, joten riippuen muodostumisalueesta pitoisuudet voivat ylittää paikallisen raja-arvon. Pysyvien haitta-aineiden osalta eli tässä tapauksessa metallien sekä PAH-yhdisteiden osalta täytyy muistaa, niiden pitkäikäisyys luonnossa (Ancion, et al., 2010). Pikkuhiljaa ne voivat kerääntyä organismeihin tai sedimenttiin ja saavuttaa paikallisesti haitallisia konsentraatioita. (Fatoki, et al., 2010)

### 3.1 Typpi ja fosfori

Typpi ja fosfori ovat tärkeitä aineita orgaanisille eliöille. Ne ovat yleensä myös kasvien kasvua rajoittavia tekijöitä, jonka vuoksi niitä käytetään paljon lannoitteena. Luonnon määrä typpiä sekä fosforia on ympäristölle haitallista, ne lisäävät kasvien kasvua ja näin rehevöittävät vesistöjä. Suomessa järvet ovat monesti matalia ja vesitilavuudeltaan pieniä, joka tekee niistä hyvin alttiita rehevöitymiselle. Fosforia ja typpiä joutuu hulevesiin ilman laskeumana, päästöinä jätevesiviemäreistä, eläinten jätöksistä sekä liikenteestä. (Kotola & Nurminen, 2003) Viljelymaiden lisäksi, myös kaupungeissa käytetään paljon lannoitteita viheralueilla. Alueilla, jotka sijaitsevat kaupunkien keskellä on yleensä huonosti ravinteita luonnostaan ja siksi niitä pitää lannoittaa. Viheralueille satava vesi huuhtoo hyvin helposti mukaansa kiintoainetta ja sen mukana ravinteita. Tämän seurauksena huleveten sekoittuu kiintoainesta ja sen mukana fosforia sekä typpiä. Arolan sadekaivoista tekemien mittauksen valossa hulevedet sisältävät huomattavia määriä fosforia. Mittauksista kävi myös ilmi, että kaivojen vieressä sijaitsevan päällystetyn alueen määrällä oli vaikutusta ravinne määriin. Mittauksista kävi myös ilmi, että kiintoaineen määrällä oli vaikutusta fosforipitoisuuksiin. Arolan pohdintojen mukaan fosfori on suuremmaksi osaksi sitoutunut kiintoainekseen. (Arola, 2009).

### 3.2 Metallit

Metallit eivät hajoa luonnossa haitattomammiksi yhdisteiksi kuten orgaaniset kemikaalit, joten niiden säilyvyys haitallisena ympäristössä on todella pitkä. (Gheorghe, et al., 2017). Ne kertyvät myös helposti eliöihin ja voivat muodostaa eläville organismeille haitallisia yhdisteitä. Hulevedestä yleisimmin löydetyt metallit ovat sinkki, lyijy, kadmium ja kupari. Muita hulevesistä löydettäviä raskasmetalleja ovat nikkeli, kromi, elohopea, antimoni, arseeni ja tina (Arola, 2009; Davis, et al., 2001; Mitchell, 2005; Pitt & Maestre, 2015). Metallien suurentuneet pitoisuudet vesissä voivat haitata vesiorganismien kasvua, lisääntymistä ja selviytymistä. Suuret konsentraatiot voi olla myös tappavia näille organismeille. (Erickson, et al., 2013) Raskasmetallit voivat kertyä biofilmiin niin, että konsentraatiot ovat suurempia niissä kuin ympäröivässä vedessä tai sedimentissä. Kalat ja selkärangattomat syövät näitä biofilmejä ja näin metallit kertyvät helposti ruokaketjussa. (Ancion, et al., 2010) Metallit sitoutuvat hu-

levedessä osittain kiintoainekseen. Sitoutumisen aste riippuu veden ominaisuuksista, kuten kiintoaineesta sekä pH:sta. Sitoutumisasteen on huomattu pienenevän pH:n laskun myötä (Davies & Charlesworth, 2014). Sitoutumisaste vaihtelee suuresti myös metallien ja vuodenaikojen välillä (Arola, 2009). Metallien sitoutumistaipumus kiintoainekseen on tutkittu olevan seuraavanlaisessa järjestyksessä: kadmium<sinkki<koboltti<nikkeli<kupari<lyijy (Pitt & Maestre, 2015; Weiss, et al., 2008) Lyijyn on havaittu sitoutuvan todella hyvin kiintoainekseen, kun taas kupari, sinkki, nikkeli, kromi ja elohopea pysyvät enemmän liuenneina.

### **3.2.1 Elohopea**

Elohopea ja sen muodostamat yhdisteet kuten metyylielohopea ovat myrkyllisiä ihmisille ja muille eläville organismeille. Elävät organismit eivät tarvitse elohopeaa toimintoihinsa. Elohopea kertyy ravintoketjussa ja pitoisuudet ovat suurimmillaan yleensä pedoissa, varsinkin petokaloissa. Puhdas elohopea esiintyy huoneenlämpöolosuhteissa nestemäisenä ja ylempänä ilmakehässä yleensä kaasumaisena. Elohopea voi vaikuttaa kalojen lisääntymiseen vesistöissä. (Luonnonvarakeskus, 2010)

### **3.2.2 Kadmium**

Kadmiumin kaukokulkeuman päästölähteitä ovat metalli- ja kaivosteollisuus sekä energiantuotanto. Kaukokulkeuman aiheuttama osuus on suuri hulevedessä olevasta kadmiumista. Kadmiumia voi joutua hulevesiin myös fosforilannoitteista, jätteenpoltosta sekä liikenteestä. Kadmiumin ei ole eliöille tai kasveille tarpeellinen alkuaine ja näin kertyy niihin. Sen vaarallisuus perustuu samankaltaisuuteen eliöille ja kasveille tärkeän alkuaineen sinkin kanssa. Kadmium saattaa korvata sinkin eliöiden tai kasvien aineenvaihdunnassa ja näin aiheuttaa ongelmia. Ympäristölaaturomissa kadmiumin raja-arvoksi vesistöissä on asetettu 0,1 µg/l (Valtioneuvosto, 2015). Tukholman raja-arvoesityksessä hulevesien suurin sallittu pitoisuus on tätäkin pienempi (Luonnonvarakeskus, 2010; Sillanpää & Sänkiaho, 2012).

### 3.2.3 Kupari

Kupari on kaikille eläville organismeille tarpeellinen alkuaine, mutta suurina pitoisuuksina haitallinen. Ionimuodossa oleva kupari kerääntyy helposti rasvakudokseen kuten muutkin raskasmetallit. Kuparia käytetään sähkönjohtavuutensa takia paljon elektroniikassa, muita käyttökohteita ovat vesijohtoputket ja kattorakenteet. Hulevesiin kupari joutuu usein rakenteista, laskeumasta ja varsinkin liikenteestä. Kupari ei ole niin haitallinen raskasmetalli kuin lyijy, kadmium tai elohopea. Suurina konsentraatioina se on kuitenkin haitallista eläville organismeille (Luonnonvarakeskus, 2010; Sillanpää & Sänkiaho, 2012)

### 3.2.4 Nikkeli

Nikkeliä käytetään lähinnä terästeollisuudessa erilaisten terästen valmistamiseen. Elävät organismit tarvitsevat nikkeliä vähän elintoimintoihinsa, mutta suurina pitoisuuksina se on haitallista. Ympäristölaatonormissa vesistöjen haitalliseksi pitoisuudeksi on asetettu 5 µg/l, mikä on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi kadmiumilla. (Luonnonvarakeskus, 2010; Luonnonvarakeskus, 2010)

### 3.2.5 Sinkki

Sinkki on eläville organismeille välttämätön raskasmetalli ja samalla myös teollisuudessa laajalti käytetty. Sitä käytetään varsinkin raudan pinnoitteena korroosion estämiseksi. Sinkki kuten muutkin raskasmetallit joutuvat hulevesiin laskeumana, eroosion ansiosta ja liikenteestä. (Sillanpää & Sänkiaho, 2012; Luonnonvarakeskus, 2010). Korkeat sinkkipitoisuudet ovat haitallisia varsinkin vesieliöille, mutta myös muille eläville organismeille.

### 3.2.6 Kromi

Kromi on välttämätön hivenaine eliöiden rasva- ja hiilihydraattiaineenvaihdunnalle. Luonnossa kromi esiintyy hapetusluvulla (III), eikä tämä ole eliöille haitallista. Teollisuudessa käytetty kromi taas on hapetusasteeltaan (VI), ja tämän on havaittu olevan haitallista eläville organismeille. Kromi ei ole niin haitallinen ympäristölle kuin

monet muut raskasmetallit. (Luonnonvarakeskus, 2010; Sillanpää & Sänkiaho, 2012)

### 3.2.7 Lyijy

Lyijy on aiemmin paljon käytetty raskasmetalli ja samalla hermomyrky. Lyijyn käyttöä on pyritty vähentämään sen myötä, kun sen haitallisuus ihmisille ja ympäristölle huomattiin. Sen käytön lopettaminen 1990-luvulla bensiinin lisäaineena on vähentänyt huomattavasti sen esiintyvyyttä ympäristössä. Lyijyn on huomattu vaikuttavan eliöiden lisääntymiseen, kehittymiseen ja käyttäytymiseen. Se myös kerääntyy helposti organismeihin ja rikastuu ravintoketjussa. (Luonnonvarakeskus, 2010)

## 3.3 Muut huleveden laatuun vaikuttavat parametrit

Hulevedet sisältävät paljon erilaisia haitallisia aineita, mitä päällystetyillä alueilla satuu olemaan. Varsinkin rakentamisessa on käytetty paljon materiaaleja, joissa on esimerkiksi PAH-yhdisteitä sekä erilaisia öljyhiilivetyjä. Nämä esiintyvät usein pienissä konsentraatioissa, mutta pitoisuudet vaihtelevat suuresti paikan ja ajan mukaan. Otan tässä esille haitta-aineet, joita on mahdollista löytyä haitallisina konsentraatioina hulevesistä. Tarkoituksena ei siis ole luetella kaikkia mahdollisia haitta-aineita, jota hulevesistä voi löytyä.

### 3.3.1 Patogeenit

Taudinaiheuttajia ei voi suoranaisesti pitää haitta-aineina, mutta ne vaikuttavat kuitenkin paljon veden laatuun. Hulevedessä on luonnollisesti monia bakteereja. Näistä ihmiselle haitalliset ovat usein suolistobakteereita. Ne joutuvat hulevesiin pääosin eläinten ulosteista ja jäteviemäreiden ylivuodoista (Suomen kuntaliitto, 2012). Bakteeri pitoisuudet vaihtelevat suuresti eri aikoina hulevesissä. Vaihtelut eivät ole säännöllisiä vaan ne voivat olla hyvinkin erilaisia jopa vuorokauden aikavälillä. Tämän lisäksi pitoisuudet vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Kesäisin ja syksyisin bakteeripitoisuudet ovat suurimmillaan (Suomen kuntaliitto, 2012). Tämä johtuu paljolti lämpötilan vaikutuksesta bakteerien kasvuun. Suomessa bakteeripitoisuuksia on tutkittu vain vähän. Vuosina 1998–1999 Olli Ruth teki seurantatutkimusta *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuuksista (Ruth, 1998; Ruth, 2004). Tutkimuksen mukaan



kesäkuukausien *Escherichia coli* mediaaniarvot vaihtelivat puroilla välillä 380-620 pmy/100 ml. Sisävesissä hyvän vedenlaadun raja-arvo on 1000 pmy/100 ml (Valvira, 2008). *Escherichia coli* bakteeri ei itsessään ole itsessään haitallinen ympäristölle, koska se pystyy vain lisääntymään suolistossa ja tämän takia se on hyvä indikaattoribakteeri (Valvira, 2018).

### 3.3.2 Tuholaismyrkyt ja rikkaruohon torjunta-aineet

Torjunta-aineiden käyttökohteita ovat esimerkiksi puutarhat, nurmikkoalueet, teiden vierukset sekä maisemoidut alueet (Suomen kuntaliitto, 2012). Näiden lisäksi tuholaismyrkyjä voi joutua hulevesiin maaperähuuhtoumana. Myrkyt ovat tehty torjumaan tiettyjä eliöitä, mutta ne eivät vaikuta spesifisti vain haluttuun lajiin. Vaikutukset ulottuvat paljon laajemmalle ympäristöön kuin vain kohdealueelle. Erilaisia Torjunta-aineita on valmistettu ajan saatossa erittäin paljon. Niiden vaikutus ja teho vaihtelevat myös huomattavasti. Kuntaliiton hulevesioppaan mukaan tärkeimmät torjunta-aineet, jotka tulisi analysoida hulevedestä ovat terbutylatsiini, pendimetaaliini, fenmedifaami ja glyfosaatti (Suomen kuntaliitto, 2012). Suomessa torjunta-aineita käytetään pääasiassa maanviljelyyn. Taajamissa ja asutuskeskuksissa käyttö on pientä ja siksi niiden hulevesissä konsentraatiot ovat myös hyvin pieniä. (Luonnonvarakeskus, 2018)

### 3.3.3 Hiilivedyt

Hiilivedyillä tarkoitetaan molekyyliä, jotka muodostuvat vain hiilestä ja vedystä. Ne ovat melkein poikkeuksetta poolittomia yhdisteitä, joka tarkoittaa huonoa vesiliukoisuutta. Hiilivedyt voivat heikentää joidenkin vesiorganismien kykyä lisääntyä, vaikuttaa negatiivisesti niiden kehitykseen ja kasvuun sekä suurina pitoisuuksina aiheuttaa kuolemia. (Erickson, et al., 2013) Esimerkiksi kalakuolemia on yhdistetty korkeisiin PAH pitoisuuksiin (Watts, et al., 2010) Rasvaliukoisina hiilivedyt voivat helposti kerääntyä organismeihin. Hiilivetyjä käytetään paljon polttoaineena ja voiteluaineena. Niitä joutuu hulevesiin teiltä, asuinalueiden pihoilta, parkkipaikoilta ja ajoneuvojen huoltopaikoista (Suomen kuntaliitto, 2012). Hiilivedyistä yleisyytensä perusteella haitallisimpia ovat PAH-yhdisteet, eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Ne koostuvat yhteen liittyneistä aromaattisista hiilivety renkaista. Yhdisteitä syntyy, kun orgaaninen aines palaa epätäydellisesti. PAH-yhdisteitä voi syntyä myös muillakin tavoilla,

mutta epätäydellinen palaminen on tunnistettu olevan näiden suurin yksittäinen tekijä. (Zhang & Tao, 2009) Suurin osa syntyvistä PAH-yhdisteistä on ihmisen vastuulla, mutta lisäksi epätäydellistä palamista tapahtuu luonnollisesti (mm. metsäpalot ja tulivuorenpurkaukset). Palamisen yhteydessä syntyy savupartikkeleita, joihin PAH-yhdisteet voivat sitoutua. (Fatoki, et al., 2010) Poolittomina PAH-yhdisteet sitoutuvat helposti ilman pienhiukkasiin tai maan läheisyydessä olevaan pölyyn. Vesiliukoisuus heikkenee, mitä suurempi PAH-yhdiste on kyseessä. Vesistöihin PAH-yhdisteet päätyvät pintavalunnan ja osittain kuiva- ja märkälaskeman seurauksena. (Fatoki, et al., 2010)

Monet PAH-yhdisteistä ovat haitallisia eliöille, mukaan lukien ihmiselle. Aineenvaihdunta yrittää muuttaa niitä vesiliukoisemmiksi ja nämä aineenvaihduntatuotteet voivat vaurioittaa DNA:ta. Aromaattiset yhdisteet ovat luonnossa todella pysyviä ja siten voivat pikkuhiljaa kertyä ympäristöön. Vesistöissä ne vajoavat helposti pohjaan ja sieltä sedimenttiin, mikä tekee niistä erityisen vaarallisen pohjaeliöille. Näiden kautta ne voivat siirtyä kaloihin aina ravintoketjun huipulle asti. Etelä-Afrikassa tehtyjen tutkimusten (Fatoki, et al., 2010) mukaan suurin osa PAH-yhdisteistä laskeutuu juuri sedimenttiin. Tulosten mukaan sedimentin konsentraatiot olivat todella suuria verrattuna yläpuolisen veden pitoisuuksiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuutta eri PAH-yhdistettä. Nämä olivat indeeni, atsuleeni, dibentsotiofeeni, antraseeni, fluoranteeni ja pyreeni. Näytteitä otettiin joesta, joen sedimentistä, hulevesien purkupaikoista ja hulevesiojan sedimentistä. Mittaukset tehtiin Etelä-Afrikassa, joten niitä ei voi soveltaa pohjoismaalaiseen huleveteen, mutta data kertoo yleisesti PAH-yhdisteiden käyttäytymisestä vedessä.

Taulukko 4. *PAH-yhdisteiden mittaustulokset Etelä-Afrikkalaisesta kaupunkiympäristöstä* (Fatoki, et al., 2010)

	Vaihteluväli
Jokivesi	0,1-53,5 (µg/l)
Joen sedimentti	30–9870 µg/kg
Hulevesi	1-2500 (µg/l)
Hulevesi sedimentti	73–34000 µg/kg

Tuloksista huomaa selvästi, että PAH-yhdisteet konsentroituvat sedimenttiin. Saadut arvot ovat tutkijoidenkin mukaan suuremmat kuin kehittyneimmissä maissa mitatut. Tämä johtuu tekijöiden mukaan käsittelemättömän teollisuusveden ja öljyjen purkamisesta vesistöihin. Paikassa myös poltetaan paljon kasvillisuutta ja fossiilisia polttoaineita. Pakokaasujen ja muiden haitta-aine lähteiden puhdistamiseen ei kiinnitetä suuresti huomiota. (Fatoki, et al., 2010)

Hulevesistä PAH-yhdisteitä ei ole vielä tutkittu tarpeeksi. (Valtanen, et al., 2010)  
Kuntaliiton hulevesioppaan (Suomen kuntaliitto, 2012) mukaan merkittävimmät PAH-yhdisteet ovat bentso(a)pyreeni, naftaleeni ja pyreen. Bentso(a)pyreeniä pidetään muiden PAH-yhdisteiden indikaattorina.

## 4. HULEVESIEN HAITTA-AINEIDEN KÄSITTELY

Kuten aiemmissa kappaleissa on tullut esille, huleveden puhdistaminen ennen vesistöön laskemista on tarpeellista. Pysyvät haitta-aineet kuten metallit sekä PAH-yhdisteet voivat pikkuhiljaa kertyä sedimenttiin tai organismeihin, ja näin aiheuttaa paikallista haittaa elolliselle ainekselle.

Hulevesien ohjaaminen jätevedenpuhdistamoille kuormittaa jäteveden puhdistamisprosessia huomattavasti. Näin puhdistamoilta vaadittaisiin suurempaa kapasiteettia sekä energiamäärää. Lisäksi hulevedet haittaisivat puhdistusprosessia esimerkiksi viilentämällä tulevaa jätevettä. Myös jätevesiviemäriverkostoon olisi tehtävä huomattavia laajennuksia, jottei se ylikuormittuisi rankkasateiden aikana. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, 2020).

Tämän hetkisiä, toimivia ja edullisia menetelmiä huleveden käsittelyyn ovat biosuodatus ja hulevesikosteikot. Biosuodatus on näistä tehokkaampi menetelmä ja se perustuu maa-aineksen suodattamiskykyyn, josta kerrotaan alempana.

### 4.1 Maakerroksen läpi suodattuminen

Huleveden johtaminen maakerroksen läpi on tehokas tapa puhdistaa vedestä haitta-aineita. Siinä tapahtuu monta mekanismia samaan aikaan, jotka kaikki puhdistavat vettä. Pohjavesikin on syntynyt maakerrosten läpi suodattuneista sade tai pintavesistä. Imeytyessään maahan hulevedestä tulee maa-aineksen välimassaa, ja vesi on koko pinta-alaltaan kosketuksissa maapartikkeleihin. Varsinkin kiintoaines jää maahan tehokkaasti suodattumalla, mutta vesi puhdistuu myös muilla mekanismeilla, kuten sorptiolla, saostumalla sekä kasvien ja mikrobien avulla. (Jarret, 2016; Erickson, et al., 2013)

Sorptio tapahtuu, kun hulevesi on kosketuksessa orgaaniseen aineeseen sekä maapartikkeleihin. Näillä partikkeleilla on varaus niin kuin monella haitta-aineellakin. Kun

nämä varaukset ovat vastakkaiset, vetää ne toisiaan puoleensa, ja haitta-aineet jäävät maapartikkeleihin kiinni. Ionimuotoiset metallit sekä liukoinen fosfori puhdistuvat varsinkin tällä mekanismilla. (Jarret, 2016; Erickson, et al., 2013)

Kun haitta-aine reagoi maaperässä jonkun muun kemikaalin kanssa ne muodostavat liukenemattoman yhdisteen. Kemikaali voi olla maaperässä luontaisesti esiintyvä tai sitä on voitu laittaa maaperään tarkoituksella tehostamaan biosuodatusta. Esimerkiksi liukoinen fosfaatti reagoi alumiinin kanssa muodostaen liukenematonta alumiinifosfaattia. (Jarret, 2016; Erickson, et al., 2013)

Kasvit käyttävät ravinteita kasvuunsa, joten ne ottavat hulevedestä itseensä typpeä ja fosforia. Kasvit tarvitsevat pääravinteiden lisäksi pienissä määrin muita alkuaineita, kuten rautaa, kuparia, klooria ja sinkkiä. Monivuotiset kasvit kuitenkin tiputtavat lehtensä syksyllä ja yksivuotiset kuolevat ja lahoontuvat, näin ravinteet joutuvat takaisin maaperään. Ne eivät kuitenkaan ole enää liuenneessa muodossa. (Jarret, 2016; Erickson, et al., 2013)

Mikrobit, jotka elävät maaperässä, poistavat vedestä tehokkaasti orgaanista ainesta muiden eliöiden/kasvien käyttöön. Mikrobien ansiosta monimutkaiset pitkäketjuiset molekyylit muuttuvat yksinkertaisemmiksi ja lyhyemmiksi. Mikrobit myös vievät elintilaa ja kilpailevat patogeenejä vastaan. (Jarret, 2016; Erickson, et al., 2013)

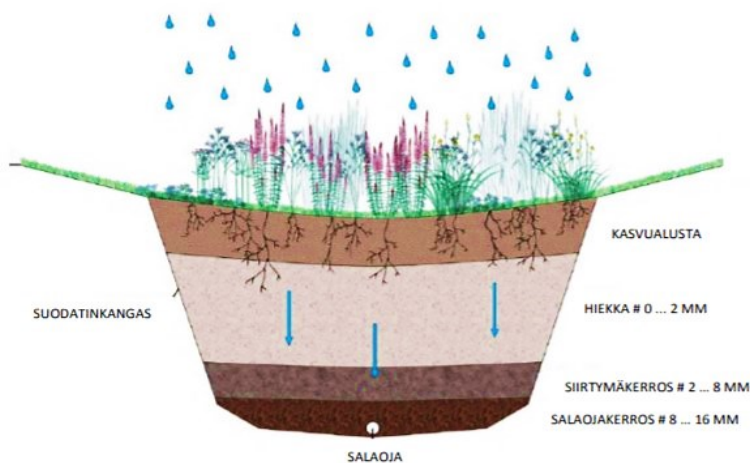
## 4.2 Biosuodatus

Biosuodatus on maailmanlaajuisesti yksi yleisimmin käytetyistä hulevesien hallintamenetelmistä. Siinä hulevettä suodatetaan painanteessa tai maan alle rakennetussa suodatuskammiossa maakerrosten läpi. Vesi puhdistuu samankaltaisesti kuin luonnossa, suodattamalla maakerrosten läpi. Kun hulevettä ohjataan maanpinnalla olevaan painanteeseen suodattamaan tai imeytymään maaperään, puhutaan biosuodatusalueista (kuva 3). (Kasvio, et al., 2016) Suodattumisen jälkeen vesi voidaan ohjata kerrosten alapuolella sijaitsevan salaojaputken avulla haluttuun paikkaan. Jos suodatusalueen alapuolinen maakerros on helposti vettä imevää voi imeytynyt hulevesi muodostaa pohjavettä. Tämä on positiivista varsinkin alueilla, jossa pohjaveden

muodostus on estynyt maanpäällisten rakennelmien vuoksi. Biosuodatus on tehokas tapa poistaa vedestä haitta-aineita ja viivyttää veden virtauksia ja näin estää tulvia. (Davis ym. 2009).

#### 4.2.1 Biosuodatuspainanteen rakenne

Biosuodatuskerros on yleensä vajaan metrin paksuinen ja siinä käytetään erikokoisia rakeita eri kerroksissa (Kuva 3). Päällä on tiheä kasvillisuuskerros, joka osaltaan auttaa ylläpitämään tehokasta suodatusta. Juuristojen kasvu estää suodatinrakenneiden tukkeutumista. Kasvit myös lisäävät paikan haihduntaa ja ne käyttävät ravinteita omaan kasvuunsa (Hatt, et al., 2009). Suodattavana materiaalina on yleensä hienojakoinen hiekka tai silttinen hiekka. Niillä on hyvät suodatusominaisuudet ja niistä huuhtoutuu vain vähän kiintoainesta. Lisäksi ne tarjoavat myös hyvän kasvualustan kasveille. Biosuodatusalueet eroavat kosteikoista kokonsa puolesta. Ne eivät vaadi suurta alaa, vaan toimivaan suodatukseen riittää pienikin painauma. Tämän vuoksi niitä on helppo sijoittaa valmiiksi rakennetuille alueille, joissa on puutetta tilasta. (Kasvio, et al., 2016)



Kuva 3. Biosuodatuskosteikon periaatekuva (Lehikoinen, 2015)

Tutkimustuloksien valossa biosuodatus on osoittautunut hyvin tehokkaaksi tavaksi poistaa haitta-aineita hulevedestä (Davis, et al., 2009). Menetelmä on tehokas varsinkin partikkelimaisille haitta-aineille kuten kiintoainekselle. Kiintoaine suodattuu joidenkin tutkimusten mukaan jopa 90-99-prosenttisesti (Lucas & Greenway, 2012).

Kiintoainekseen on usein sitoutunut muitakin haitta-aine partikkeleja kuten fosforia, typpeä ja metalleja. Nämä suodattuvat maakerrokseen kiintoaineksen mukana. Negatiivisesti varautuneet liuenneet ionit eivät kuitenkaan suodatu niin tehokkaasti. Tämä johtuu suodatinmateriaalin negatiivisista sitoutumispaikoista. Esimerkiksi liuennut fosfori suodattuu vain noin 10–30 -prosenttisesti (Lucas & Greenway, 2012). Sen sijaan positiivisesti varautuneet ionit suodattuvat paremmin. Esimerkiksi metalli-ionit sinkki ja kupari suodattuvat tehokkaasti kuten Taulukosta 7 voi huomata. Sinkin ja kuparin lisäksi biosuodatuksella on saavutettu korkeita vähenemiä kadmiumin ja lyijyn suhteen. Norjalaisessa tutkimuksessa saavutettiin 89–99 % vähenemä kadmiumille, lyijylle, sinkille ja kuparille (Muthanna, et al., 2007).

Taulukko 7. Tyypillisiä biosuodatuksen haitta-aine vähenemiä (Lucas & Greenway, 2012).

Haitta-aine	Vähennä %
Kiintoaine	90–99
Partikkelimainen fosfori	95–99
Partikkelimainen typpi	25–50
Liukoinen fosfori	10–30
Liukoinen typpi	–40–40
Kokonaissinkki	85–95
Kokonaiskupari	60–90
Öljyt ja rasvat	95–99
Biologinen hapenkulutus	80–90

Biosuodattimia voi rakentaa erilaisilla tavoilla, jotta ne toimisivat tehokkaammin. Suodatinkerrokseen voidaan lisätä esimerkiksi alumiiniyhdisteitä, jotka reagoivat liukoisin fosforin kanssa. Niihin voidaan yrittää rakentaa myös hapettomia ja hapellisia kerroksia denitrifikaation ja nitrifikaation käynnistämiseksi, mutta tämä ei ole helppoa. (Lucas & Greenway, 2012)

### 4.3 Hulevesikosteikko

Kosteikoilla tarkoitetaan kasvillisuusalueita, jotka ovat koko ajan tai ajoittain veden peittämiä. Tyypillisesti hulevedet ohjataan näille kosteikoille ennen purkamista vesistöön. Kosteikoilla vesi puhdistuu sedimentoitumisen ansiosta. Kiintoainekseen sitoutuneet haitta-aineet, kuten fosfori, typpi ja metallit laskeutuvat kosteikon sedimenttiin gravitaation vaikutuksesta. (Jarret, 2016) Kiintoaineksen sedimentoitua, veden haitta-aine pitoisuus vähenee. Tämän lisäksi kasvillisuus ja mikrobit auttavat haitta-aineiden käsittelyssä. Kasvit käyttävät typpeä ja fosforia kasvuunsa. Siten imeytyskosteikoilla olevat kasvit vähentävät vesistöihin joutuvia ravinnekuormia. Kasvit sitovat itseensä myös muitakin haitta-aineita ja kosteikon mikrobisto hajottaa hulevesien mukana tulevaa orgaanista ainesta. Kosteikot ovat usein myös monimuotoisia ekosysteemejä, varsinkin jos ne ovat pinta-alaltaan suuria. Ne tarjoavat asuinpaikan esimerkiksi linnuille, matelijoille, sammakkoeläimille, selkärangattomille, kaloille ja monille nisäkkäillekin. Kosteikkoja on käytetty hulevesien imeyttämisen lisäksi myös maa- ja metsätalouden, turvetuotannon, kaivostoiminnan ja yhdyskuntien jätevesien imeyttämiseen sekä viivytykseen. Suomessa näistä sovelluksista on lähinnä käytetty maataloudesta ja turvetuotannosta tulevien ravinteiden ja kiintoaineksen pidättämiseen (Koskiaho, et al., 2015). Maatalousvesien ja turvetuotannon vesien puhdistuksessa kosteikkojen avulla on saavutettu hyviä tuloksia. (Postila, et al., 2015)

Kuvan 2 hulevesikosteikko on pinta-alaltaan suuri. Siihen ohjataan monen omakotitaloalueen hulevedet. Veden tulo- ja lähtövirtaamat pyritään pitämään yhtä suurina. Lähtövirtaamaa voidaan helposti säätää lähtöaukkoa pienentämällä (oikeanpuoleinen kuva). Hulevesikosteikossa kuuluisi olla runsaasti kasvillisuutta, mutta kuvan kosteikkoon ne tulevat vasta myöhemmin keväällä.





Kuva 2. Kuvat alkukevääisestä hulevesikosteikosta Järvenpäässä. (Eetu Kasurinen)

#### 4.4 Kosteikkojen tehokkuus haitta-aineiden poistamisessa

Kosteikkojen tehokkuutta haitta-aineiden poistamisessa on tutkittu Suomessa jonkin verran. Lahdessa rakennettiin Kytölään valmistuvalle asuinalueelle kaksi viivytyskosteikkoa vuonna 2012. Kosteikkojen haitta-aine pitoisuuksia tutkittiin ja niistä otettiin monia vesinäytteitä. Näytteitä otettiin loka-joulukuussa 2013 ja maaliskesäkuussa 2014. Altaat olivat imeyttämiskosteikoiksi pieniä, yhteispinta-ala oli vain 650m<sup>2</sup>.

Taulukko 5. Lahdessa sijaitsevan Kytölään asuinalueen kosteikkojen vähenemät (Hämäläinen, 2014).

Haitta-aine	Keskimääräinen vähenemä syksy (%)	Keskimääräinen vähenemä kevät (%)	Vaihteluväli syksy (%)	Vaihteluväli kevät (%)
Kiintoaine	64	46	48 – 82	16–66

Kokonaisfosfori	32	31	11 – 51	19 – 46
Kokonaistyyppi	31	18	6–70	–
Alumiini	23	38	8-38	25 – 48
Sinkki	36	42	14–61	–
Kupari	25	27	9–41	–

Taulukosta 5 käy selväksi, että hulevesien haitta-aine pitoisuudet vaihtelevat suuresti olosuhteiden ja vuodenaikojen mukaan. Kytölän mittausten valossa (Hämäläinen, 2014) imeytyskosteikot vähentävät keskimäärin haitta-aine pitoisuuksia, vaikka joissakin mittauksissa arvot olivat lievästi kasvaneet kosteikon jälkeen. Monen tutkitun aineen kohdalla vähenemä ei ollut toistuvaa. Hämäläisen tutkimuksen mukaan kosteikot toimivat hyvin kiintoaineksen ja sitäkautta sameuden pidättämisessä. Typpi ja fosfori vähenivät usein, mutta vaihteluväli oli suuri, eikä vähenemäkään ollut kuin noin 30%. Kosteikot näyttivät pidättävän sinkkiä ja kuparia suhteellisen hyvin. Näytteet analysoitiin myös kadmiumin, lyijyn, kromin, *Escherichia coli*-bakteerien, enterokokkien ja öljyhiilivetyjen osalta. Näiden osalta arvot olivat hyvin pieniä ja mittaukset epäselviä. (Hämäläinen, 2014)

Kytölä on omakotitalo asuinalue, jossa veden mukana huuhtoutuvia haitta-aineita on vähemmän kuin esimerkiksi tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä tai teiden läheisyydessä. Vähenemät olisivat hyvin voineet olla suurempia, jos aineiden pitoisuudet olisivat olleet korkeampia. Tämä toimii varsinkin ravinteiden kohdalla. Kasvit ja mikrobit ehtivät käyttämään suuremman osan hyödykseen, jos konsentraatio on suurempi. Esimerkiksi kun kokonaisfosforiarvo pysyi alhaalla 50-100µg/l oli vähenemä lähes mitätön. Lokakuussa yhden mittausten kohdalla arvo kävi huipussaan yli 350 µg/l, tällöin kosteikko vähensi arvon n. 175 µg/l. Samankaltaisia muutoksia on havaittavissa muidenkin haitta-aineiden kohdalla.

Taulukon 6 Yhdysvalloissa mitatut arvot ovat samaa luokkaa kuin Kytölässä saadut. Tiedot on koottu yhdysvaltalaisesta tietokannasta, johon on koottu tutkimustuloksia hulevesien eri käsittelymenetelmien toimivuudesta. (Kasvio, et al., 2016) Manuaalin mukaan imeytyskosteikot ovat tehottomin tapa poistaa haitta-aineita vedestä. Ne perustuvat pääasiallisesti gravitaation aikaansaamaan laskeutumiseen, ja ei näin

poista tehokkaasti muita kuin isompia partikkeleita tai niihin sitoutuneita aineita.  
(Center for Watershed Protection, 2007)

Taulukko 6. Yhdysvalloissa raportoituja haitta-aineiden pidätysprosentteja kosteikoissa (Center for Watershed Protection, 2007)

Haitta-aine	Vähemmän vaihteluväli	Vähemmän mediaani
	%	%
Kiintoaine	45–85	70
Kokonaisfosfori	15–75	50
Kokonaistyyppi	0–55	25
Kokonaissinkki	30–70	40
Kokonaiskupari	20–65	50

Biosuodattimien isoin haaste on sama kuin kaikilla suodattimilla, tukkeutuminen. Australialaisessa tutkimuksessa tutkittiin 37 suodattimien tukkeutumista. Tuloksista kävi ilmi, että jo muutaman vuoden jälkeen 40% suodattimista oli tukkeutunut, ja toimintakyky heikentynyt. (Le Coustumer, et al., 2009; Le Coustumer, et al., 2012). Suodattimien huoltaminen ei kuitenkaan usein ole kovin hankalaa. Yleensä riittää vain pintakerroksen ja siihen laskeutuneen sedimentin poistaminen. Lisäksi suodattimen päällä olevaa kasvillisuutta pitää hoitaa. Vain harvassa tapauksessa koko suodatinkerros pitää vaihtaa (Kasvio, et al., 2016)

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ihmisen toiminnasta luonnon normaali hydrologinen kiertokulku on häiriintynyt ja hulevesiä valuu vesistöihin enemmän kuin luonnollisesti sisältäen monia ihmisen toimista tulleita alkuaineita ja yhdisteitä. Tilannetta ei helpota se, että yhä enemmän luonnontilaisia alueita muutetaan kaupunkialueiksi. Hulevesiin pitää siis kiinnittää yhä lisääntyvässä määrin huomiota.

Monet huleveden sisältämät aineet ovat haitallisia ympäristölle. Selvityksieni mukaan hulevesiä tulisi käsitellä näiden haitta-ainepitoisuuksien johdosta. Pitkäikäiset haitta-aineet, kuten raskasmetallit tai PAH-yhdisteet ovat käsitykseni mukaan haitallisimpia ympäristölle ja varsinkin vesistöille. Ne voivat kertyä organismeihin ja sedimenttiin ja näin vaikuttaa moniin eläviin organismeihin, joka voi pahimmassa tapauksessa johtaa koko ekosysteemin horjumiseen. Tämän vuoksi myös muidenkin kaupunkien tulisi Tukholman tavoin määrittää hulevesille raja-arvot muodostumispaikan ja vastaanottavan vesistön mukaan.

Biosuodatus on maailmalla yleisesti käytetty menetelmä hulevesien puhdistuksessa. Sen avulla hulevedestä pystytään puhdistamaan monia haitta-aineita. Biosuodatus on tehokas varsinkin partikkelimaisille haitta-aineille sekä negatiivisesti varautuneille ioneille. Kytölässä ja Yhdysvalloissa tehtyjen mittauksien mukaan kiintoaineksen vähenemä biosuodatuksessa oli 90-99%. Puhdistusmekanismi perustuu luonnolliseen maakerrosten läpi tapahtuvaan suodattumiseen, joka tekee siitä myös edullisen ratkaisun. Lisäksi biosuodatuspainanne on suhteellisen yksinkertainen rakentaa, ja sillä pystytään myös hallitsemaan hulevesiä. Toinen yleisesti käytetty hulevesien hallintamenetelmä on hulevesikosteikko. Sitä on käytetty pääasiassa hulevesien viivytykseen, mutta niiden avulla pystytään myös puhdistamaan haitta-aineita. Puhdistusmekanismi perustuu suurilta osin kiintoaineksen sekä sen mukana olevien haitta-aineiden sedimentoitumiseen. Puhdistamiskäytössä kosteikot eivät ole läheskään niin tehokkaita kuin biosuodatus, mutta ne toimivat hyvin hulevesien hallinnassa.

## LÄHDELUETTELO

Airola, J., N. P. & Pellikka, K., 2014. *Huleveden laatu Helsingissä*, Helsinki: Ympäristökeskus. pp.19-23

Al Ali, S. ym., 2017. *Contribution of atmospheric dry deposition to stormwater loads for PAHs and trace metals in a small and highly trafficked urban road catchment*, Environmental Science and Pollution Research International,

Ancion, P., Lear, G. & GD, L., 2010. *Three common metal contaminants of urban runoff (Zn, Cu & Pb) accumulate in freshwater biofilm and modify embedded bacterial communities*, Environmental Pollution: Vol.158(8), pp.2738-2745

Arola, H., 2009. *Hulevesien laatu ja merkitys Jyväsjärven kuormittajana*, Jyväskylän Yliopisto.

Bertrand-Krajewski, J.- I., Gheppo, G. & Agnes, S., 1998. DISTRIBUTION OF POLLUTANT MASS VS VOLUME IN STORMWATER DISCHARGES AND THE FIRST FLUSH PHENOMENOM, Water Research: Vol.32(8), pp.2341-2356

Center for Watershed Protection, 2007. *Urban Stormwater Retrofit Practices. Urban Subwatershed Restoration Manual Series. Manual 3*

Davies, J. & Charlesworth, S., 2014. *Water Resources in the Built Environment: Management Issues and Solutions*. Vol.9780470670910 pp.50-60

Davis, A., Hunt, W., Traver, R. & Clar, M., 2009. *Bioretention technology: Overview of current practice and future needs*, Journal of Environmental Engineering: Vol.135(3), pp.109-117

Davis, A., Shokouhian, M. & Ni, S., 2001. *Loading estimates of lead, copper, cadmium, zinc in urban runoff from specific sources*, Chemosphere: Vol.44(5), pp.997-1009

Erickson, A. J., Weiss, P. T. & Gulliver, J. S., 2013. *Optimizing stormwater treatment practices*, Springer New York: Imprint: Springer, pp.23-70

Fatoki, O., Van Ree, T. & Nakhavhembe, J., 2010. *Runoff, Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Waters and runoff*, Alliance for Global Sustainability Bookseries, Highway and Urban Environment: Proceedings of the 9th Highway and Urban Environment symposium, pp.207-215

Gheorghe, S. ym., 2017. *Metals Toxic Effects in Aquatic Ecosystems: Modulators of Water Quality*, Water quality.

Hatt, B., Fletcher, T. & Deletic, A., 2009. *Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field*, Journal of Hydrology: Vol.365(3), pp.310-321

Heikkinen, P., 2000. *Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä*, Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut, päivitetty (2020). *hsy.fi*.  
Saatavissa: <https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/kodinvesiasiat/hulevesi/huleveden-viemarointi/Sivut/default.aspx>

Hämäläinen, T., 2014. *Biosuodatuksen tehokkuuden selvittäminen – case Lahden Kytölä*, Lahden Kaupunki.

Jarret, A., päivitetty (2016), *PennState Extension* Päivitetty.  
Saataavissa: <https://extension.psu.edu/improving-stormwater-quality>

Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiaho, J. & Jormola, J., 2016. *Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden - HULE-hankkeen loppuraportti*, Suomen Ympäristökeskus.

Kirkkonummen kunta, 2017. *Kirkkonummen hulevesiohjelma*.

Koskiaho, J., Siimekselä, T. & Puustinen, M., 2015. *Maatalouden vesiensuojelukosteikkojen tehokkuusseuranta automaattilaitteistojen avulla*.

Kotola, J. & Nurminen, J., 2003. *KAUPUNKIALUEIDEN HYDROLOGIA - VALUNNAN JA AINEHUUHTOUMAN MUODOSTUMINEN RAKENNETUILLA ALUEILLA: osa 1, kirjallisuustutkimus*.

Kuokkanen, A., ei pvm *Vesihuollon suppea sanasto: englanti-suomi*.  
Saataavissa: [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/136762/mod\\_folder/content/0/Vesihuollon%20sanasto%20SUOENG.pdf?forcedownload=1](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/136762/mod_folder/content/0/Vesihuollon%20sanasto%20SUOENG.pdf?forcedownload=1)

Le Coustumer, S. ym., 2009. *Hydraulic performance of biofilter systems for stormwater*, Journal of Hydrology, Vol.376(1), pp.16-23

Le Coustumer, S. ym., 2012. *The influence of design parameters on clogging of stormwater*, Water Research Vol.46(20), pp.6743-6752

Lehikoinen, E., 2015. *Kadun vastavalmistuneiden biosuodatusalueiden toimivuus Vantaalla, Aalto-yliopisto*.

Lucas, W. & Greenway, M., 2012. *Nutrient Removal Performance of Advanced Bioretention Systems: Results from Three Years of Mesocosm Studies. Proceedings of the Water Environment Federation 2*.

Luonnonvarakeskus, päivitetty (16.10.2013) [www.metla.fi](http://www.metla.fi).  
Saataavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-kadmium.htm>

Luonnonvarakeskus, päivitetty (2018). [https://www.luke.fi/ruokafakta/peltomaan\\_kasvit/kasvinsuojeluaineiden-kaytto/](https://www.luke.fi/ruokafakta/peltomaan_kasvit/kasvinsuojeluaineiden-kaytto/) Saataavissa: [https://www.luke.fi/ruokafakta/peltomaan\\_kasvit/kasvinsuojeluaineiden-kaytto/](https://www.luke.fi/ruokafakta/peltomaan_kasvit/kasvinsuojeluaineiden-kaytto/)

Mitchell, G., 2005. *Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning*, Journal of Environmental Management, Vol.74(1), pp.1-9

Muthanna, T., Viklander, M., Blecken, G. & Thorolfsson, S., 2007. *Snowmelt pollutant removal in bioretention areas*, Water Research: Vol.41(18), pp.4061-4072

Pitt, R. & Maestre, A., 2015. *The National Stormwater Quality Database Version 4.02*.

Postila, H., Ronkanen, A.-K. & Kløve, B., 2015. *Wintertime purification efficiency of constructed wetlands treating runoff from peat extraction*, Ecological Engineering, Vol.85, pp.13-25

Rehwoldt, R., Menapace, L., Nerrie, B. & Alessandrello, D., 1972. *The effect of increased temperature upon the acute toxicity of some heavy metal ions*, *Bull Environ Contam Toxicol.* 8(2):91-96

Riktvärdesgruppen, 2009. *Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp.*

Ruth, O., 1998. *Mätäjoki – nimeään parempi. Kaupunkipuron virtaama, aineskuljetus ja veden laatu*, Helsingin kaupunki.

Ruth, O., 2004. *Kaupunkipurujen hydrogeografia*, Väitöskirja Helsingin yliopisto.

Sillanpää, N. & Sänkiäho, L., 2012. *STORMWATER-hankkeen loppuraportti; Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet.*

Suomen kuntaliitto, 2012. *Hulevesiopas.*

Vahtera, H. & Lahti, K., 2016. *Hulevesien haitta-aineet*, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry.

Valtanen, M., Sillanpää, N., Hättinen, N. & Setälä, H., 2010. *Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät*, Helsinki: Ympäristötieteiden laitos.

Valtioneuvosto, 2015. *1308/2015, Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista.*

Valvira, 2008. *Uimavesiasetuksen 177/2008 soveltamisopas.*

Valvira, 2018. *Talousvesiasetuksen soveltamisohje, osa III Enimmäisarvojen perusteet.*

Watts, A., Ballesterio, T., Roseen, R. & Houle, J., 2010. *Environmental Science and Technology: Polycyclic aromatic hydrocarbons in stormwater runoff from sealcoated pavements*, *Environmental science & technology*, Vol.44(23), pp.8849-8854

Weiss, P., LeFevre, G. & Gulliver, J., 2008. *Contamination of Soil and Groundwater*, St. Anthony Falls Laboratory, pp.1-14

Zhang, Y. & Tao, S., 2009. *S. Global atmospheric emission inventory of PAHs*, *Atmospheric Environment*, Vol.43(4), pp.812-819