

# Kaupunkialueiden vaikutukset virtavesiin

Mirka Heikkinen

LuK-tutkielma

Ekologian ja genetiikan yksikkö

Oulun yliopisto

Joulukuu 2017

## Sisällys

1. Johdanto.....	2
2. Urbaanialueiden vaikutukset virtavesien elinympäristöön.....	2
2.1 Maankäytön vaikutus jokiympäristöön .....	3
2.2 Urbaanialueiden lämpövaikutukset virtavesiin.....	4
2.3 Ravinteiden kiertokulku urbaaneissa virtavesiympäristöissä .....	5
2.4 Kaupungistumisen vaikutus urbaanijokien eliölajistoon.....	6
2.5 Sedimenttien pilaantuminen urbaaneissa virtavesissä .....	7
2.5.1 Esimerkki: Tsurumi-joki, Jokohama, Japani .....	8
3. Virtavesien kunnostustoimet urbaanialueilla.....	11
3.1 Näkökulmia ja menetelmiä urbaanijokien kunnostustoimiin .....	11
3.2 Kunnostuksen haasteet kaupunkiympäristössä.....	13
3.3 Jokien kunnostuksen kustannukset.....	13
3.4 Kunnostustoimenpiteiden vaikutus virtavesiin.....	15
4. Kirjallisuus .....	17

# 1. Johdanto

Ihmistoiminnan lisääntyminen eri puolilla maailmaa vaikuttaa kaikenlaisiin elinympäristöihin metsistä ja niityistä soihin ja järviin sekä jokiin ja meriin. Riippumatta siitä missä ja kuinka paljon ihmistoimintaa tapahtuu, sillä on väistämättömästi vaikutuksia ympäristöön ja ekosysteemiin. Väkiluvun kasvun jatkuessa kaupunkialueet laajenevat rannikoilta sisämaahan päin, ja uusia alueita valloitetaan asutuksen käyttöön. Perinteisesti suuret kaupungit ovat rakentuneet merien rannoille sekä merkittävien jokien varsille, sillä vesistöt ovat toimineet tärkeinä kulkureitteinä ja niistä on saatu käyttöväettä ihmisen tarpeisiin. Vesistöjä hyödynnetään myös virkistystoimintaan aiempaa enemmän.

Nykyisin jo noin puolet maapallon ihmisistä asuu kaupunkialueilla ja kaupunkien väkiluvun oletetaan vain kasvavan. Kasvava väkimäärä lisää erilaisia uhkia urbaaneja ekosysteemejä kohtaan, ja se lisää myös yhteiskunnan tarvetta hyödyntää ympäristöstä saatavia luonnonvaroja kuten puhdasta vettä (Smucker & Detenbeck, 2014). Ekologisesta näkökulmasta virtavedet ovat tärkeitä habitaatteja, joissa elää monipuolinen eliöstö. Joet kuljettavat vettä sisämaasta meriin ja prosessoivat niihin putoavaa orgaanista ja epäorgaanista materiaalia (Walsh et al., 2005). Jokien varsille rakennetut suuret kaupungit ovat vaikuttaneet virtavesiekosysteemien ekologiaan ja ympäristön tilaan jo vuosikausien ajan ennen kuin ympäristöasioihin alettiin kiinnittää enemmän huomiota. Aiemmin useita jokia käytettiin jopa kehittyvien kaupunkialueiden viemäreinä (Walsh et al., 2005). Vaikka nykyisin kaupunkialueiden virtavesiä huolletaan ja jätevesiä puhdistetaan, on muuttuneella maankäytöllä silti yhä merkittäviä vaikutuksia jokien luonnonympäristöön ja ekologiseen toimintaan.

## 2. Urbaanialueiden vaikutukset virtavesien elinympäristöön

Kaupunkialueiden aiheuttamia muutoksia jokien ekologiaan, kemiaan ja fysikaalisiin ominaisuuksiin on paljon ja ne ovat seurauksia monimutkaisista vuorovaikutuksista muun muassa kaupungin maankäytön, ihmistoiminnan aiheuttamien päästöjen ja virtavesien eliölajien välillä (Walsh et al., 2005). Eri kaupunkialueilla havaittavat muutokset vaihtelevat muun muassa alueen geologiasta tai ilmastosta sekä maankäytöstä johtuen. Esimerkiksi maaperästä riippuen jokien koko ja niiden virtauksen voimakkuus vaihtelevat, mikä aiheuttaa vaihtelua myös eroosion voimakkuudessa (Violin et al., 2011). Myös alueen aiempi käyttö maatalousmaana voi vaikuttaa urbanisoitumisen jälkeen havaittaviin muutoksiin. Usein maatalouskäytön jälkeen

kaupungistuneella alueella ei havaita yhtä radikaaleja muutoksia kuin alkuperältään luonnontilaisissa ympäristöissä, sillä maatalous on ehtinyt jo muuttaa joen tilaa esimerkiksi lisäämällä sen ravinne ja metallipitoisuuksia (Wenger et al., 2009). Tällaisten paikkakohtaisten tekijöiden vuoksi valuma-alueen urbanisoitumisen vaikutuksista jokiin on hankala tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä.

Eräitä urbaanialueiden tärkeimpiä vaikutuksia virtavesiin ovat suurentuneet vaihtelut virtauksen voimakkuudessa, kanavan muuttunut ja yksinkertaistunut rakenne sekä erilaisten saasteiden, kuten metallien ja ihmisten tuottamien kemiallisten aineiden, päätyminen jokiin. Muutokset urbaanijoissa elävien eliölajien elinympäristössä ovat johtaneet herkimpien eliöiden häviämiseen ja hyvin sopeutuvien lajien dominoivaan asemaan, mikä puolestaan on johtanut urbaanijokien biologisen monimuotoisuuden vähentymiseen (Walsh et al., 2005).

## 2.1 Maankäytön vaikutus jokiympäristöön

Kaupunkialueiden maankäyttö vaikuttaa merkittävästi niiden läpi virtaavien jokien vesimääriin. Sadevesiviemärit, jotka on rakennettu suojelemaan kaupunkia tulvilta ja ohjaamaan sadevedet pois kaduilta, kasvattavat usein jokien virtaamaa ja lisäävät erityisesti huippuvirtaamia. Sadevesiviemärit saattavat olla suoraan yhteydessä jokiin putkistoilla ja joskus viemäriverkostot tuovat ylimääräistä vettä myös joen valuma-alueen ulkopuolelta (Walsh et al., 2005). Viemäriverkoston ja jokiin valuvaa vesimäärää kasvattaa myös kaupunkialueiden vettä läpäisemätön maanpinta kuten asfaltoidut katupinnat. Lisäksi rantakasvillisuuden vähentymisen seurauksena valuva vesi ja siihen liuenneet päästöt päätyvät nopeasti virtavesiin ilman imeytymistä maaperään tai joen ympärillä kasvillisuuteen. Viemäriverkostot ja kaupunkien läpäisemättömät pinnat ovat merkittävä syy urbaanijokien virtausten lisääntymiselle (Wenger et al., 2009).

On myös tapauksia, joissa kaupunkijoessa virtaava perusvesimäärä on vähentynyt sadeveden suodattumisen vähentymisen seurauksena. Vettä voi tulla lyhyinä ryöpsähdyksinä sateiden jälkeen, mutta normaali virtaama voi pysyä matalana. Lisäksi kaupunkialueille veden säätelyn vuoksi rakennetut padot vaikuttavat jokiin välillä lisäämällä, välillä vähentämällä joen vesimäärää (Walsh et al., 2005). Huolimatta siitä lisäävätkö vai vähentävätkö kaupunkien maankäytön muutokset jokien virtaamaa, urbaaneja jokia kuvaa usein joen muuttunut perusvesimäärä (Violin et al., 2011).

Jokiuoman lisääntynyt vesimäärä ja usein tapahtuvat voimistuneet virtaukset lisäävät eroosiota, mikä näkyy joenpenkan ja kanavan kulumisena (Walsh et al., 2005). Tästä johtuen kaupunkialueiden läpi virtaavat joet ovat usein syvempiä kuin metsäjoet (Violin et al., 2011).

Kanavan syventyminen voi estää tulvimisen reunojen yli, mikä on tärkeä yhteys ravinteiden kulkeutumiselle joen ja sen rantatörmän välillä (Somers, Bernhardt, Grace, Hassett, Sudduth, Wang & Urban, 2013). Vaikka mereen virtaava kokonaisvesimäärä ei olisi kasvanut merkittävästi, pienemmätkin voimistuneet virtaukset voivat saada aikaan huomattavaa eroosiota, jos niitä tapahtuu riittävän usein. Eroosion seurauksena monet joen uomat ovat leventyneet, suoristuneet ja yksinkertaistuneet (Walsh et al., 2005).

Eroosion lisäksi myös ihmistoiminta on yksinkertaistanut jokien rakennetta ja habitaatteja. Osa joista on esimerkiksi ohjattu kulkemaan betonikanavaa pitkin, minkä tarkoituksena on estää veden virtauksen aiheuttama maaperän eroosio. Vaikka uoman vuoraus kulutusta kestäväällä sementillä tasoittaa jokiympäristössä tapahtuvia muutoksia, se myös yksinkertaistaa uomaa ja sen habitaatteja merkittävästi. Esimerkiksi vuorattujen kanavien mikrobitoiminta on usein puutteellista, sillä mikrobitoiminnalle tärkeä pohjan maaperä on korvattu huonosti läpäisevillä materiaaleilla (Wenger et al., 2009). Radikaaleimmissa tapauksissa jokiuomia on voitu jopa täyttää. Tällaiset muutokset vähentävät veden eliöstölle sopivia habitaatteja urbaaneissa virtavesissä ympäri maailmaa (Wenger et al., 2009).

Urbaniinien virtavesien rakentaminen, kuten padot, putket ja porrastukset, ovat muodostaneet liikkumisesteitä joen eliöille. Esimerkiksi jokiin asennetut putket voivat aiheuttaa pudotuksia, esteitä ja nopeampia virtauskohtia, mikä voi vaikeuttaa vesihyönteisten ja muiden pienten eliöiden liikettä joessa (Schaefer et al., 2009). Lisäksi valuma-alueen ja joen habitaattien pirstoutuminen voi haitata selkärangattomien liikkumista, mikä puolestaan voi johtaa pirstoutumisesta kärsivien lajien häviämiseen (Violin et al., 2011).

## 2.2 Urbaanialueiden lämpövaikutukset virtavesiin

Urbaanialueiden läpi virtaavien jokien lämpötila on tyypillisesti metsien ja maaseudun läpi virtaavien jokien lämpötilaa korkeampi. Eräitä syitä tälle lämpenemismiljöille ovat kaupunkialueiden lämpimämpi ilma, lämpöä keräävät pinnat kuten asfaltti, kotitalouksien ja teollisuuden lämpimät vesipäästöt ja vähentynyt kasvillisuuden varjostus rantatörmällä (Somers et al., 2013). Lämpimän ilman ja veden pulssien vuoksi, urbaanijokien lämpötilat vaihtelevat maaseutu ympäristöjä enemmän sekä ajallisesti että paikallisesti. Jopa kaupunkialueen sisällä voi havaita merkittäviä eroja jokiveden lämpötilassa riippuen valuma-alueen kaupungistumisasteesta kussakin kohdassa (Somers et al., 2013).

Somers et al. havaitsivat, että myrskyt voivat äkillisesti korottaa urbaanijokien lämpötilaa. Kaupunkien kivetyt katupinnat nostavat merkittävästi sadevesien lämpötilaa, kun vesi

virtaa kuumentuneiden kiveyksien päältä jokiin. Tehokas infrastruktuuri ja valuma-alueen vähentynyt kasvillisuus johtavat myrskyjen aikana kuumien sadevesipulssien päätymiseen suoraan jokiveteen, mikä voi nostaa lämpötilaa jopa 4 °C vain muutamassa minuutissa (Somers et al., 2013). Muutokset jokien lämpötiloissa vaikuttavat virtavesien biokemiallisiin prosesseihin, kuten hajotustoimintaan ja organismien metaboliaan, ja muuttavat habitaattien laatua. Esimerkiksi lämpötilan noustessa eliöiden kiihtyvä metabolia ja mikrobiaktiivisuus vähentävät veteen liunneen hapen määrää ja samalla lisäävät sen tarvetta (Somers et al., 2013). Jopa lyhyet muutokset jokien lämpötiloissa voivat aiheuttaa eliöstölle stressiä, joka hidastaa eliöiden kasvua ja kehitystä, ja joissain tapauksissa jopa johtaa eliön kuolemaan. Erityisen riskialttiita lämpötilojen muutoksille ovat vaatimuksiltaan herkäät lajit sekä levinneisyytensä rajaseudulla elävät lajit (Somers et al., 2013).

### 2.3 Ravinteiden kiertokulku urbaaneissa virtavesiympäristöissä

Urbaaneille joille ovat usein tyypillisiä kohonneet ravinnemäärät, jotka ovat lähtöisin muun muassa jätevesistä, teollisuudesta ja ilmakehästä. Lisääntyneet ravinteet, kuten fosfori ja typpi, voivat lisätä levien ja perifytonin kasvua ja ravinteiden hyödyntämistä. Toisaalta monissa tutkimuksissa on havaittu, kuinka valtavat typpimäärät saattavat päinvastaisesti alentaa jokien elinyhteisöjen kykyä vähentää veden typpipitoisuuksia. Sama pätee denitrifikaatioon, jonka tehokkuus laskee urbaanijoissa muun muassa nitraatin ylenpalttisesta määrästä johtuen (Wenger et al., 2009). Joissain tutkimuksissa on havaittu, että orgaanisen aineksen kasautuminen yhteen kohtaan jokea voi lisätä denitrifikaatiota merkittävästi näissä kasaumapaikoissa. Tätä on koetettu hyödyntää urbanisoituneen joen typpikierron eheyttämisessä, mutta sadevesipulssit ja muut urbaanijokien virtauksen häiriöt hajottavat kasaumat ennen kuin merkittäviä tuloksia on ollut havaittavissa (Walsh et al., 2005). Urbaanijokien lämpötilojen kasvulla on myös vaikutuksensa virtavesien alkuaineiden kierto. Mikrobiaktiivisuuden lisääntyessä orgaanisen aineksen hajotusaste kasvaa, mikä voi lisätä esimerkiksi vapautuvan hiilen määrää, mutta toisaalta vähentää liunneen hapen määrää (Somers et al., 2013).

Jokeen putoavien lehtien ja muun orgaanisen aineksen hajotustoiminta on tärkeä osa ravinteiden päätymistä virtavesiekosysteemin eliöiden hyödynnettäväksi (Schaller, Brackhage, Mkandawire, & Dudel, 2011). Valuma-alueen voimakas kaupungistuminen vaikuttaa virtavesiin kertyvän orgaanisen aineksen määrään. Joissa tapahtuva lehtien hajoaminen voi tehostua ja toisaalta orgaanisen aineksen kertyminen jokiuomaan voi olla tavallista vähäisempää (Walsh et al., 2005). Joissain tutkimuksissa on havaittu, että lisääntynyt lehtien hajoaminen on seurausta lehtien lisääntyneestä abraasiosta eli hankautumisesta esimerkiksi joessa oleviin kiviin (Wenger et al.,

2009). Se ei siis välttämättä viittaa korkeampaan hajotustoimintaan tai muihin muutoksiin biologisissa prosesseissa. Joissain tapauksissa on kuitenkin myös havaittu lisääntyntä mikrobiaktiivisuutta, mikä on voinut johtaa orgaanisen aineksen nopeampaan hajoamiseen. Heikentyneen hajoamisen syy voi puolestaan piillä urbanisoitumisen lisäämissä metallipitoisuuksissa, mikä voi vähentää joessa elävien pilkkojaselkärangattomien määrää (Walsh et al., 2005; Wenger et al., 2009). Eri tutkimusten tulokset ovat hyvin vaihtelevia riippuen tutkittavan joen yksilöllisistä ominaisuuksista.

Myös eri tutkimuksista saadut tulokset orgaanisen aineksen kertymisestä jokiin vaihtelevat paljon. Esimerkiksi eräässä australialaisessa joessa havaittiin karkean orgaanisen aineen, kuten lehtien, määrän olevan suurempi kaupunkialueella kuin maaseudulla (Miller & Boulton, 2005). Syynä voi olla mm. pilkkojaselkärangattomien pienempi määrä tai kadunvarsille istutetuista puista pudonneet lehdet, jotka kulkeutuvat jokiin sadevesiviemäreitä pitkin.

## 2.4 Kaupungistumisen vaikutus urbaanijokien eliölajistoon

Monet tutkimukset ovat osoittaneet urbanisoitumisen vaikuttavan virtavesien lajikoostumukseen vähentämällä herkkiä lajeja ja lisäämällä vahvan sietokyvyn omaavia lajeja (Walsh et al., 2005; Wenger et al., 2009). Tämä on johtanut vähentyneeseen diversiteettiin ja yksipuolisempaan lajikoostumukseen urbaanijokien levä-, selkärangaton- ja kalayhteisöissä. Erityisesti pohjan selkärangatonyhteisöt ovat monissa tutkimuksissa osoittautuneet herkiksi virtavesiekosysteemien muutoksille, mikä voi osin johtua muun muassa selkärangattomien suuresta lajimäärästä ja levien huonommasta tuntemuksesta (Wenger et al., 2009).

Urbanisoitumisen myötä tapahtunut kanavan habitaattien yksinkertaistuminen ja valuma-alueen läpäisemättömän pinnan osuuden kasvu on eräs tärkeä tekijä, joka on muuttanut urbaanin joen herkille lajeille sopimattomaksi ja häiriöalttiiksi ympäristöksi (Violin et al., 2011). Ihmistoiminta vaikuttaa myös tulokaslajien leviämiseen, ja koska ne ovat usein vaihtelevia olosuhteita kestäviä lajeja, ne voivat asettua uusiin ympäristöihin häätäen alkuperäiset lajit pois (Wenger et al., 2009). Tulokaslajit voivat levitä uusiin ympäristöihin joko tarkoituksella esimerkiksi silloin, kun jokiin istutetaan uusia kaloja kalastusmahdollisuuksien parantamiseksi, tai ne kulkeutuvat vesistöihin tarkoituksettomasti esimerkiksi rahtilaivojen mukana.

Joissain tutkimuksissa on havaittu levien biomassan kasvavan urbanisaation myötä. Merkittävin syy mahdolliseen leväbiomassan kasvuun ovat jätevesien mukana kulkeutuva ylimääräinen typpi ja fosfori. Myös leventynyt jokiuoma ja sen myötä vesimassan lisääntynyt valomäärä voivat vaikuttaa positiivisesti levien biomassaan. Leviin vaikuttavat kuitenkin

negatiivisesti samat tekijät kuin muihinkin taksonomisiin ryhmiin. Tällaisia ovat mm. lisääntyneet myrkyt ja voimakkaiden virtausten kasvanut määrä (Walsh et al., 2005). Urbanisoitumisen vaikutusta jokivarsien eläimille ei ole tutkittu kovin paljon, mutta tehdyt tutkimukset viittaavat pienentyneeseen diversiteettiin myös näissä ryhmissä (Wenger et al., 2009).

## 2.5 Sedimenttien pilaantuminen urbaaneissa virtavesissä

Yksi kaupunkijokien merkittävimmistä ongelmista on veden sekä uoman sedimentin pilaantuminen. Pilaantuminen on seurausta metallien ja muiden kemiallisten yhdisteiden vuotamisesta vesistöihin joen valuma-alueelta. Alkuaineet ja kemialliset yhdisteet, joita löytyy urbaanista virtavesiympäristöstä, ovat sekä luonnollisia aineita että ihmisen valmistamia uusia yhdisteitä. Ihmistoiminnan myötä jokiin päätyy mm. kasvava määrä myrkyllisiä jalometalleja, kuten elohopea, sekä ihmisen valmistamia, teollisuudessa ja kuluttajien tuotteissa käytettyjä kemiallisia yhdisteitä, kuten prefluoratut yhdisteet (PFC) (Zushi et al., 2008). Osa metalleista, kuten rauta, kupari, fluori ja sinkki, ovat eliöiden aineenvaihdunnan toiminnalle välttämättömiä hivenaineita, mutta ihmisten aktiivisuuden lisääntyä näiden aineiden pitoisuudet ovat kasvaneet eliöille myrkylliselle tasolle. Jokien pilaantumista ja myrkyttymistä on tutkittu paljon ja havaittu, että eri aineiden esiintymiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten maaperän sedimenttikoostumus, joessa virtaavan veden määrä sekä joessa tapahtuva biologinen toiminta, kuten bioturbaatio, eli pohjan sedimenttien sekoittuminen, ja orgaanisen aineksen hajotustoiminta. Esimerkiksi bioturbaatio siirtää happea sedimentteihin, mikä vaikuttaa metallien sedimenttiin sitoutumiseen. (Schaller et al., 2011).

Joet toimivat tärkeänä kulkuväylänä sedimentteihin, humukseen ja muihin kappaleisiin sitoutuneille metalleille, jalometalleille ja muille kemiallisille yhdisteille (Schaller et al., 2011). Jokien kautta yhdisteitä virtaa sekä järviin että meriin ja jopa maaperään joen tulvimisen yhteydessä. Metallien ja muiden aineiden käyttäytyminen joissa on yhteydessä maaperän koostumukseen ja veden kemiaan. Aineet voivat muuttaa kemiallista olomuotoaan useita kertoja niiden kulkeutuessa jokea pitkin kohti merta. Esimerkiksi liukenemisen ja erilaisten reaktioiden seurauksena metallit voivat sitoutua muihin aineisiin, mikä muuttaa niiden kemiallista rakennetta ja käyttäytymistä. Metallien ja kemiallisten yhdisteiden muuttuva käytös tekee pilaantumisen ympäristövaikutuksien arvioinnista hankalaa (Mohiuddin et al., 2010; Mohiuddin et al., 2012). Metalleja voi joen uoman sedimenttien lisäksi olla sitoutuneena joen orgaaniseen hiileen kuten pohjan debrikseen, jossa ne aiheuttavat huomattavan uhan joen pilkkojahyönteisille (Mohiuddin et al., 2010; Mohiuddin et al., 2012; Schaller et al., 2011). Usein metallien konsentraatiot ovat huomattavasti korkeammat jokiuoman sedimenteissä kuin vedessä itsessään. Metallit voivat



kiinnittyä sedimentteihin vuosikausiksi niin, ettei niistä ole suurta haittaa joen ekosysteemille, elleivät ne irtoa jälleen vapaiksi aineen kemiallisen koostumuksen muuttuessa (Mohiuddin et al., 2012; Wenger et al., 2009).

Eliöiden liiallinen altistuminen metalleille voi aiheuttaa vakavia muutoksia eliöiden aineenvaihduntaan muun muassa kehon sisällä tapahtuvien kemiallisten muutosten kautta. Liian suuret metallikonsentraatiot aiheuttavat stressiä, kuten eliön homeostaattisen tasapainon muutoksia ja voivat johtaa jopa eliön kuolemaan (Schaller et al., 2011). Eliöt voivat saada metalleja ravinnosta, kiduksien kautta tai ihon läpi (Schaller et al., 2011). Urbaanijokien suuren metallikuormituksen seurauksena joillekin vesieliöille on kehittynyt keinoja vastustaa myrkyjä erittämällä niitä voimakkaammin kehon ulkopuolelle esimerkiksi keräämällä niitä kehosta poistettaviin epiteelisoluihin, tai vähentämällä haitallisten aineiden pääsyä sisälle kehoonsa. Jotkut lajit ovat myös kehittyneet kestävämpiä suurempia metallipitoisuuksia kuin toiset ja lajeille on kehittynyt keinoja vähentää metallien myrkyllisyyttä (Schaller et al., 2011). Eri lajien sietoalueet eri metalleille vaihtelevat, mutta suurimmalla osalla ne ovat suhteellisen kapeat. Tämä johtaa herkimpien lajien vähittäiseen häviämiseen elinympäristöistä, joissa useiden metallien konsentraatiot ylittävät kyseiselle lajille sopivat elin- ja lisääntymisolosuhteet. Metallit ja jalometallit ovat tosin vain yksi syy lajiston yksipuolistumiselle urbaaneissa joissa (Walsh et al., 2005).

Virtavesien hajottajayhteisön eliöt sekä bioturbaatiota aiheuttavat eliöt ovat merkittävässä asemassa, kun metallit kiinnittyvät vesistöihin kertyneeseen orgaaniseen debriksiin ja maaperän sedimentteihin samoin kuin niiden vapautumisessa jälleen vesistöön. Virtavesien hajottajayhteisön eliöt saavat itseensä suuria määriä metalleja ja muita saasteita pilkkomansa orgaanisen aineksen kautta (Schaller et al., 2011). Orgaaniseen ainekseen kiinnittyneiden metallien vapauttamisen lisäksi nämä ravintoverkon pohjalla olevat eliöt myös rikastavat metalleja ravintoverkossa ylemmille tasoille, kun esimerkiksi petoselkärangattomat tai kalat käyttävät niitä ravintonaan (Schaefer et al., 2003; Schaller et al., 2011).

### 2.5.1 Esimerkki: Tsurumi-joki, Jokohama, Japani

Erään Japanin tiheimmin asutetun alueen läpi virtaava Tsurumi-joki on esimerkki joesta, jonka tila on heikentynyt merkittävästi urbanisoitumisen ja kasvaneiden metallipitoisuuksien seurauksena. Tsurumi-joki on suhteellisen pieni joki, jonka pituus on 42,5 km ja valuma-alueen koko on 235 km<sup>2</sup>. Joki virtaa lähtöpaikastaan Machidasta päätyen Tokyo Bayhin Namamugissa olevan teollisuusalueen läpi, ja sen varrelle on rakennettu suuria kaupunkialueita kuten Kawasaki ja

Jokohama. Joki siis virtaa koko matkaltaan voimakkaasti kaupungistuneiden alueiden läpi (Mohiuddin et al., 2010; Mohiuddin et al., 2012; Nito et al., 2003). Tsurumi-joen valuma-alue on kehittynyt kiivaaseen tahtiin 1960-luvulta lähtien ja 2000-luvun puoliväliin mennessä alueella asuvien ihmisten määrä oli jo ylittänyt 1,9 miljoonaa. Kaupungistuminen on johtanut mm. merkittävän teollisuusalueen ja jo käytöstä poistetun ulkoilma-teollisuusjätteenpolttolaitoksen rakentamiseen joen valuma-alueelle (Mohiuddin et al., 2010).

Eräs Tsurumi-joen suurimmista ja tutkituimmista ongelmista on voimistuneesta ihmistoiminnasta aiheutunut jokiveden ja joen sedimenttien pilaantuminen. Esimerkiksi sinkin, kuparin ja kromin pitoisuuksien on arvioitu olevan jopa kolme-neljä kertaa suosituksia korkeammat (Mohiuddin et al., 2012). Toisaalta joidenkin metallien, kuten raudan ja mangaanin osalta, pintavesissä on havaittu myös normaalitasoa pienempiä pitoisuuksia. Tutkimuksissa on havaittu useita metalleja, joiden pitoisuudet ylittävät keskimääräiset arvot Japanissa (mm. Zn, Cr, Cd ja Pb), mutta myös metalleja, joiden määrät ovat keskiarvopitoisuuksien alapuolella (mm. Ni ja Sr) (Mohiuddin et al., 2010).

Tsurumi-jokeen päätyvät saasteet ovat suurelta osin peräisin likavesistä sekä teollisuuden ja kotitalouksien jätteistä. Eräessä tutkimuksessa epäillään kotitalouksien käsittelemättömien likavesien olevan eräs merkittävimmistä syistä joen nykyiselle tilalle, kun taas toisessa tutkimuksessa on todettu, ettei jokeen enää nykyisin pääse juuri ollenkaan täysin käsittelemättömiä jätevesiä (Mohiuddin et al., 2012; Zushi et al., 2008). Eräessä Tsurumi-joessa tehdyssä PFC-yhdisteistä aiheutuvaa saastumista selvittäneessä tutkimuksessa tarkasteltiin hajakuormituksen merkitystä veden saastuttajana (Zushi et al., 2008). Tutkimuksessa havaittiin, kuinka sateisella säällä ulkona säilytettävät PFC:tä sisältävät tavarat toimivat merkittävänä hajalähteenä aineen kertymiselle jokeen. Ripotellusti sijoittuvat hajalähteet ovat tärkeitä veden pilaajia myös metallien ja muiden saastuttajien kuten ylenmääräisen typen tapauksessa. Koska hajakuormituksen alkuperää on vaikea määrittää, on niistä vuotavien aineiden rajoittaminen hankalampaa kuin tehtaiden ja vesienpuhdistuslaitosten ja muiden pistelähteiden tapauksessa.

Joen pilaantuminen ja eri aineiden pitoisuudet eivät kuitenkaan yleensä ole samat koko joen pituudelta, vaan vaihtelevat eri paikoissa mm. maankäytön erojen, joen virtauksen sekä pohjan sedimenttikoostumuksen mukaan. Tsurumi-joen tapauksessa voidaan yleistää, että joen alavirta on vakavammin saastunut kuin ylävirta (Mohiuddin et al., 2012). Vuonna 2003 julkaistussa tutkimuksessa, jossa mitattiin joen sedimenttien pilaantumista, havaittiin, että kaikkein merkittävimmin saastunut mittauspiste oli Namaugissa, missä joki laskee mereen (Nito et al., 2003). Tulosten syyksi arvellaan Tsurumi-joen suistoalueelle rakennetun Keihin teollisuusalueen pitkäaikaista vaikutusta joen sedimentteihin. Samassa tutkimuksessa havaittiin myös, että toiseksi

pilaantunein alue ei ollut seuraava otoskohta Namamugista ylävirtaan, vaan suurin piirtein joen puoliväliin sijoittuva piste Shin-Yokohama A ja Tsunashima. Shin-Yokohama A ja Tsunashima sijoittuvat suoraan joen valuma-alueella aiemmin toimineen teollisuusjätteenpolttolaitoksen alapuolelle, mikä voi selittää sedimenttien korkean pilaantumisasteen. Alueella oli toteutettu maaperän poistamista ja uudelleen sijoittamista ennen tutkimusta, mutta se ei tulosten mukaan näytä poistaneen alueen sedimentteihin kertyneitä metalleja. Jätteenpolttolaitoksesta hieman ylävirtaan sijoittuneen Shin-Yokohama B pisteen saastumisen todettiin olevan hieman alhaisempaa verrattuna Tsunashimaan ja Shin-Yokohama A:han.

Joen eri paikkojen lisäksi veden pilaantumisen aste voi vaihdella myös ajallisesti, esimerkiksi kesän ja talven välillä. Eroihin voivat vaikuttaa mm. muutokset joessa virtaavan veden määrässä ja veden lämpötilassa eri vuodenaikoina (Mohiuddin et al., 2012). Eräessä Tsurumi-joessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että joen keskimääräinen syvyys ja lämpötila olivat kesällä korkeammat kuin talvella. Suurempi virtaavan veden määrä voi johtaa veden laimentumiseen, ja se voi olla yksi syy miksi Tsurumi-joen pH sekä useiden mitattujen metallien, kuten sinkin ja kuparin, konsentraatiot olivat kesällä matalammat kuin talvella. Tästä huolimatta vaihtelut joen saasteiden kokonaismäärissä eivät ole kovin merkittäviä kesän ja talven välillä (Mohiuddin et al., 2012).

Tsurumi-joen tapauksessa metallien ja muiden saasteiden vaihteleviin arvoihin joen eri kohdissa saattoi vaikuttaa myös muista vesisysteemeistä sekoittuva vesi. Esimerkiksi alavirrassa havaitun korkean kationipitoisuuden voi aiheuttaa voimakkaan vuoroveden aikana jokiveteen sekoittuva merivesi (Mohiuddin et al., 2012). Myös muista joista tuleva vesi voi samalla tavoin vaikuttaa eri aineiden havaittuihin pitoisuuksiin tutkitussa ympäristössä (Mohiuddin et al., 2012). Virtavesisysteemin ulkopuolelta tulevan veden lisäksi metallien vaihteleviin pitoisuuksiin vaikuttaa myös sedimentin koostumus. Esimerkiksi Tsurumi-joessa havaittiin, että yleensä metallipitoisuudet kasvoivat savimineraaleissa, mutta vähenivät kvartsipohjaisessa maaperässä (Mohiuddin et al., 2012). Julkaisussa ei kuitenkaan kerrottu ilmiölle syytä.

Kun Tsurumi-joen vedestä mitattuja metallien ja muiden myrkkyjen arvoja verrattiin Yhdysvaltojen Environmental Protection Agencyn (EPA) antamiin suositusarvoihin, todettiin useimpien metallien pitoisuuksien ylittävän selvästi turvalliselle makealle vedelle annetut arvot (Mohiuddin et al., 2012). Eri tutkimuksista ja menetelmistä riippumatta tulokset osoittavat Tsurumi-joen sedimenttien olevan saastuneita, mikä on seurausta voimakkaasti urbanisoituneen alueen muuttuneen maankäytön pitkään kestäneestä vaikutuksesta jokeen (Mohiuddin et al., 2010; Mohiuddin et al., 2012).

### 3. Virtavesien kunnostustoimet urbaanialueilla

Urbaanijokien virtavesiä on kunnostettu ja hoidettu jo useiden vuosikymmenien ajan, mutta hoidon painopisteet ovat muuttuneet vuosien saatossa. 1900-luvulla suurimmalla osalla jokiin tehtävistä toimenpiteistä yritettiin suojella kaupunkeja tulvilta ja ihmisiä sairauksilta (Walsh et al., 2005). Vielä nykyisinkin kyseiset näkökulmat ovat havaittavissa suojeltaessa kaupungin infrastruktuuria ja veden laatua, mutta viime vuosina niiden rinnalle on otettu myös jokien ja niiden valuma-alueiden ekologiaa säilyttäviä näkökulmia sekä esteettisiä ja virkistyskäyttöä huomioivia (Kenney et al., 2012; Walsh et al., 2005). Jokien kunnostustoimien kohteena ovat usein vedenlaadun parantaminen, eroosion vähentäminen sekä habitaattien ja biodiversiteetin lisääminen (Violin et al., 2011).

#### 3.1 Näkökulmia ja menetelmiä urbaanijokien kunnostustoimiin

Urbaanijokien kunnostustoimet voidaan jakaa joen ulkopuolella tapahtuviin kunnostustoimenpiteisiin sekä joen sisäisiin kunnostustoimenpiteisiin. Joen ulkopuolella tapahtuviin kunnostusmenetelmiin kuuluvat muun muassa sadevesiä keräävät lammikot ja kosteikot sekä jokitorjän kunnostettu kasvillisuus (Smucker & Detenbeck, 2014). Joen sisäisiä kunnostustoimenpiteitä puolestaan ovat esimerkiksi joen penkan stabilointi ja uoman geomorfinen muokkaus siten, että se muistuttamaan lähemmin uoman alkuperäistä tilaa (Smucker & Detenbeck, 2014).

Urbaanien jokien kunnostustoimia suunniteltaessa oletetaan usein, että kanavan palauttaminen entiseen muotoonsa palauttaa vähitellen myös joen entiset olosuhteet samoin kuin sieltä hävinneet eliöt (Violin et al., 2011). Tämän vuoksi suuri osa kunnostustoimista on ollut geomorfista eli niissä on pyritty vähentämään eroosion aiheuttamia haittoja ja ennallistamaan joen rakennetta esimerkiksi muotoilemalla kanavaa uudelleen entisen kaltaiseksi (Walsh et al., 2005; Wenger et al., 2009). Kanaviin voidaan rakentaa kivikoita ja syvennyksiä, joiden tarkoituksena on lisätä habitaattien monimuotoisuutta (Violin et al., 2011). Geomorfisten kunnostusmenetelmien joukossa joidenkin toimenpiteiden on havaittu olevan toisia menestyksekkäämpiä. Orgaanisen materiaalin, kuten runkojen, lisäämisen on havaittu aiheuttavan enemmän selkärangatonyhteisöjen elpymistä kuin kivien asettelu tai uoman muotoilu. Tämä voi olla seurausta esimerkiksi siitä, että puuaines tarjoaa kasvualustan leville ja ravinteita monille eri eliöille, mikä antaa paremmat mahdollisuudet ekosysteemin toimintojen palautumiselle kuin pelkät kivet (Miller et al., 2010).

Tällainen lyhytaikainen ja paikallistasolle suuntautunut lähestymistapa ei kuitenkaan näyttäisi palauttavan joen selkärangaton- ja kalayhteisöjä lähemmäksi entistä tasoa (Walsh et al.,

2005). Raskaiden työkoneiden käyttäminen joen muotoilussa voi jopa aiheuttaa haittaa joen ekosysteemeille vähentämällä jokiuomaa varjostavan kasvillisuuden määrää entisestään (Violin et al., 2011). Nykytiedon perusteella geomorfisten kunnostusmenetelmien ei uskota olevan yhtä tehokkaita kuin joen luonnollisten prosessien ennallistaminen. Sen sijaan tulvatasankojen tai joen luonnollisen virtauksen ennallistamisella voidaan sekä suojella infrastruktuuria, että edistää ekosysteemipalveluita (Wenger et al., 2009).

Kaupunkialueiden laajat viemäri- ja sadevesiverkostot heikentävät merkittävästi urbaanijokien ekologista tilaa lisäämällä joissa virtaavaa vesimäärää ja kuljettamalla saasteita ja ylimääräisiä ravintoaineita suoraan jokiin. Tämän vuoksi urbaanijokien kunnostustoimien suuntaaminen viemäriverkostoihin on nähty yhtenä tärkeänä keinona parantaa jokien tilaa (Wenger et al., 2009). Perinteisesti sadevesiviemäroinnin tehtävänä on ollut kaupunkien suojeleminen tulvilta ja eroosiolta, mutta nykyisin yritetään viemäroinnin suunnittelussa ottaa yhä useammin huomioon myös saasteiden ja rehevöittävien aineiden vähentäminen (Walsh et al., 2005). Viemäriverkostoista valuvia päästöjä voisi koettaa säädellä uusilla teknisillä ratkaisuilla. Verkostojen suunnittelussa voisi myös pyrkiä siihen, että viemäreiden keräämät vedet kulkevat vaikkapa vesiä puhdistavan laitoksen tai joen rantavyöhykkeen läpi ennen jokiin päätymistä (Wenger et al., 2009).

Kaupungin tehokkaan infrastruktuurin aiheuttamia haittoja kaupungin jokiympäristölle voidaan koettaa parantaa rakentamalla sadevesilammikoita ja kosteikkoja (Smucker & Detenbeck, 2014). Näiden avulla voidaan kerätä, imeyttää ja hidastaa viemäriverkoston vesiä niin, etteivät ne pääse virtaamaan suoraan jokeen, mikä vähentää voimakkaita vesipulsseja virtavesissä. Lisäksi kosteikot ja lammikot voivat kehittyä mikrobisten prosessien tapahtumapaikoiksi, mikä vähentää lisäravinteiden ja saasteiden huuhtoutumista jokiekosysteemeihin (Smucker & Detenbeck, 2014).

Myös jokivarsien kasvillisuuden lisääminen voi toimia keinona urbaanijokien kunnostuksessa. Kasvit voivat säädellä lämpötilaa ja vähentää urbaanialueiden kuumentumista kesäisin (Wenger et al., 2009). Kasveja on istutettu myös sitomaan maaperää ja vähentämään jokiuoman eroosiota (Violin et al., 2011). Lisäksi ne voivat yhdessä jokivarsien maaperän kanssa pysäyttää osan saasteista ja hyödyntää osan lisäravinteista, joita valuu jokiin kaupunkialueilta (Wenger et al., 2009).

Wenger et al. (2009) korostivat, että urbaaneja jokia kunnostaessa täytyisi ottaa huomioon kunkin joen nykyinen tila ja suunnitella kunnostus sen mukaisesti. Resurssien turhan käytön ehkäisemiseksi kunnostuksille tulisi asettaa määränpää, joka on kyseiselle joelle mahdollinen saavuttaa sen nykyisessä tilassa. Esimerkiksi vakavasti pilaantuneessa, voimakkaasti

urbanisoituneen alueen läpi virtaavassa joessa, jonka alajuoksulla on tärkeitä hyödynnettäviä resursseja, tulisi pyrkiä ensisijaisesti ravintoaineiden ja saasteiden vähentämiseen.

### 3.2. Kunnostuksen haasteet kaupunkiympäristössä

Virtavesien kunnostusta ja sen suunnittelua hankaloittaa ympäristössä esiintyvien monien stressitekijöiden yhtäaikaisuus. Eri stressitekijät esiintyvät yhdessä ja vaikuttavat toisiinsa muodostaen monimutkaisen syiden verkon urbaanien jokien tilan heikentymiselle (Wenger et al., 2009). Vaikka joen tilan heikentymisen taustalla vaikuttaisi merkittävästi vain muutama stressitekijä, näiden tekijöiden osoittaminen ja hoidon kohdistaminen niihin on lähes mahdoton tehtävä. Lisäksi yksittäiseen stressitekijään puuttuminen voi nostaa ympäristössä esiin uusia stressilähteitä eri tekijöiden vaikutusten välisten suhteiden muuttuessa (Wenger et al., 2009).

Vaikka yksittäisten virtavesiekosysteemiin vaikuttavien stressitekijöiden tunnistaminen on hankalaa, useiden tutkimustulosten perusteella on havaittu, että pitkällä tähtäimellä suoraan stressitekijöihin ja niiden lähteisiin vaikuttavat kunnostusmenetelmät toimivat paremmin kuin ekosysteemissä näkyvien oireiden hoito (Wenger et al., 2009). Lisäksi on havaittu, että vaikka yksittäisiä virtavesiin negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä kunnostettaisiinkin, eivät kunnostustyön vaikutukset säily kauan, ellei toimia ole toteutettu koko valuma-alueella (Walsh et al., 2005).

Kaupunkialueilla jokien kunnostuksen vaikeuksia ovat kunnostukseen tarvittavan tilan puute ja alueen pirstoutunut omistajuus. Tästä johtuen kaikki joen kunnostamiseen liittyvät päätökset vaativat monien eri osapuolten hyväksymisen, mikä voi vaikeuttaa asioiden etenemistä ja pitkittää virallisia prosesseja vuosilla. Tämän vuoksi on tärkeää kommunikoida kaikkien asianomaisten kanssa eri vaihtoehdoista ja koettaa päästä sopuun joen kunnostuksen päämääristä (Violin et al., 2011; Walsh et al., 2005; Wenger et al., 2009). Urbaanialueiden kallis maanhinta, eri maanomistajilta tarvittavat luvat sekä rakennustyömaan kustantaminen tuottavat kunnostushankkeille lisäkuluja, joita metsäjokien kunnostustoimissa ei välttämättä olisi. Kunnostettavan joen alueella olevien kiinteistöjen halukkuus maksaa joen kunnostamisesta voi myös vaikuttaa toiminnan kustannuksiin (Kenney et al., 2012). Tämän vuoksi urbanisoituneella alueella tapahtuva kunnostustoiminta on yleensä kalliimpaa ja toteutuu pienemmällä alueella kuin esimerkiksi maaseudulla tapahtuva kunnostus (Violin et al., 2011).

### 3.3. Jokien kunnostuksen kustannukset

Virtavesien kunnostustoimien kustannusten arviointi on hankalaa, sillä monille ekologisille ja esteettisille näkökannoille on vaikea määrittellä rahallista arvoa. Kenney et al. (2012) arvioi erilaisten saasteiden vähentämiseen kohdistettujen jokien kunnostustoimenpiteiden kokonaiskustannuksia vertaamalla toimien kustannuksia halvimpaan päästöjä vähentävään menetelmään, jolla saatiin sama hyöty kuin kunnostustoimenpiteillä. Tulokset osoittivat kunnostustoimien olevan muita menetelmiä kalliimpia, mutta tutkimuksessa hyödynnetyissä tilastoissa ei huomioitu rantakasvillisuuden ja levien vaikutusta jokiveden typpipitoisuuden alentumiseen. Jos kunnostus lisäisi kasvien ja levien runsautta ympäristössä, se saattaisi joissain tapauksissa lisätä kunnostustoimenpiteiden kustannustehokkuutta. Halvinta menetelmää ei myöskään voida aina hyödyntää kaikissa ympäristöissä, mikä voi pakottaa valitsemaan alueen olosuhteisiin sopivamman vaihtoehdon (Kenney et al., 2012).

Aineettomien arvojen, kuten esteettisten arvojen kustannustehokkuuden arvioiminen voi olla vaikein osa joen kunnostustoimien kustannustehokkuutta arvioidessa. Eräässä tutkimuksessa esteettisen arvon määrittämisessä hyödynnettiin ”hedonic pricing” -menetelmää, jossa arvioidaan joen kunnostuksen vaikutukset alueen tonttien arvoihin vertaamalla kunnostetun joen lähellä ja kauempana olevien alueiden hintatasoja (Loomis et al., 2000). Menetelmä kuitenkin vaatii sen, että kunnostustoimet ovat jo tapahtuneet, mikä voi haitata sen hyödyntämistä. Kenney et al. (2012) arvioivat kunnostustoimenpiteiden kustannustehokkuutta tutkimusalueen asukkaille lähetetyllä kyselytutkimuksella, jossa pyydettiin muun muassa arvioimaan, paljonko asukkaat suostuisivat maksamaan, jotta kunnostustoimet suoritettaisiin. Kyselyssä tiedusteltiin myös millainen kunnostussuunnitelma vastaajia miellyttäisi eniten. Tällaisten kyselytutkimuksien ongelmana voi olla heikko vastausprosentti ja tulosten vääristyminen. Näin voi käydä esimerkiksi silloin, kun suurin osa vastaajista on kiinnostunut aiheesta tai asuu lähellä suunniteltujen toimien vaikutuspiiriä (Kenney et al., 2012).

Baltimore Cityssä, Yhdysvalloissa, virtavesien kunnostuksen on arvioitu maksavan keskimäärin 1500-4000 dollaria per metri ja kunnostuksen suuntaaminen entistä laajemmalle alalle jokea ja sen valuma-aluetta luonnollisesti nostaisi kokonaiskustannuksia. On myös arvioitu, että esimerkiksi pelkän typpikuormituksen vähentäminen tai infrastruktuurin suojeleminen on halvempaa muilla hallinnollisilla menetelmillä. Toisin sanoen virtavesien kunnostustoimet eivät välttämättä ole kaupungin hallinnolle kustannustehokkaita. Herääkin kysymys, saavutetaanko kalliilla urbaaneja virtavesiä ennallistavilla toimilla sellaisia merkittäviä etuja joen ekologiseen tilaan tai maiseman esteettisyyteen, joita halvemmilla menetelmillä ei saavuteta (Kenney et al., 2012). Kaupungistumisen aiheuttamien haittavaikutusten ennalta ehkäiseminen on kustannustehokkaampaa kuin jo pilaantuneiden jokien kunnostaminen (Wenger et al., 2009). Sekä

ihmisyhteiskunnan että virtavesiekosysteemien kannalta onkin erityisen tärkeää huomioida rakentamisen haitat jo suunnitteluvaiheessa ja koettaa estää niiden toteutumista ennalta (Smucker & Detenbeck, 2014).

### 3.4 Kunnostustoimenpiteiden vaikutus virtavesiin

Virtavesien kunnostuksen menestyksen arviointi on hankalaa (Kenney et al., 2012). Monissa tapauksissa kunnostustoimenpiteiden jälkeinen joen ekologisen tilan seuraaminen on harvinaista ja silloinkin, kun kunnostuksen vaikutuksista raportoidaan, raporteista saatu informaatio on hyvin tapauskohtaista. Tämä vaikeuttaa yleisten johtopäätösten tekemistä urbaanijokien kunnostuksen onnistumisesta (Smucker & Detenbeck, 2014). Lisäksi tutkimustiedon puute fysiogeografisesti mahdollisemman samankaltaisilta alueilta vaikeuttaa eri kunnostusprojektien tulosten vertailua (Miller et al., 2010). Yleisesti voidaan ajatella, että kunnostus on ollut onnistunutta, jos sen jälkeen joessa elävät eliöyhteisöt ja jokiympäristön habitaatit muistuttavat lähemmin metsäjokea kuin kunnostamattomia urbaaneja jokia (Violin et al., 2011). Tämä näkökulma on hyvä muistaa, sillä kunnostetun joen vertaaminen kunnostamattomaan jokeen voi antaa hieman väärän käsityksen toimenpiteiden onnistumisesta. Verrattaessa kunnostettua ja kunnostamatonta jokea saatetaan helpommin havaita parantumista joen tilassa, mikä sinänsä kertoo jotain toimenpiteiden onnistumisesta. Kun jokea puolestaan verrataan lähes luonnontilassa olevaan jokeen, havaitaan usein, ettei joki ole palautunut elinympäristönä lähelle luonnontilaista (Miller et al., 2010). Toisaalta, onko virtavesien ennallistaminen lähes luonnontilaiseksi edes mahdollista niinkin muuntuneessa ympäristössä kuin urbaanit kaupunkialueet vai pitäisikö olla tyytyväinen edes pieniin positiivisiin muutoksiin joen tilassa? Monissa tutkimuksissa on havaittu, että urbaanien virtavesien suojelu ei onnistu pelkästään joen sisäisillä paikallistason projekteilla, vaan kunnostustoimet on otettava käyttöön koko valuma-alueella (Walsh et al., 2005).

Violin et al. (2011) tarkasteli Yhdysvalloissa kunnostettuja jokia ja havaitsi, että toimenpiteistä huolimatta joet eivät muistuttaneet habitaattien kompleksisuudeltaan ja lajirikkaudeltaan metsäjokia, vaan olivat pikemminkin piirteiltään verrattavissa kunnostamattomiin urbaaneihin jokiin. Nämä tulokset viittaavat siihen, ettei ainakaan kyseessä olevassa tutkimuksessa mukana olleissa joissa oltu toteutettu kunnostustoimia, jotka olisivat vähentäneet joen tilaa heikentäviä tekijöitä. Toisaalta joen kunnostustoimenpiteet voidaan myös nähdä jälleen uutena häiriönä joen ekosysteemille. Tämän vuoksi jokiympäristölle täytyy antaa aikaa sopeutua uuteen kunnostettuun ympäristöön eikä kunnostuksen onnistumisesta voida näin ollen tehdä luotettavia



johtopäätöksiä ennen kuin toimenpiteiden loppumisesta on kulunut useampi vuosi (Violin et al., 2011).

Smucker & Detenbeck (2014) suorittivat meta-analyysin 44 kunnostetusta urbaanijokesta ja vertasivat näitä 178 kunnostamattomaan urbaanijokeen sekä 157 luonnollisemmassa tilassa olevaan jokeen. Analyysissä tarkasteltiin, kuinka valuma-alueen urbanisoituminen ja joen ulkopoliset kunnostustoimenpiteet vaikuttavat virtavesiekosysteemeihin. Smucker & Detenbeck (2014) havaitsivat, että joen ulkopuoliset kunnostustoimenpiteet paransivat kunnostettujen jokien bioottisia olosuhteita sekä jokien ekologista rakennetta ja toimintaa, kun niitä verrattiin kunnostamattomiin urbaaneihin jokiin. Esimerkiksi ravinteiden kierron havaittiin parantuneen kunnostustoimien myötä. Kunnostettuja jokia ja luonnontilaisempia jokia verrattaessa havaittiin kuitenkin, että jokien ekosysteemiominaisuudet ja biodiversiteetti eivät olleet palautuneet lähelle luonnollisemmassa ympäristössä virtaavia jokia. Esimerkiksi pohjaselkärangaton yhteisö pysyi vakavasti muuntuneena.

Kunnostettujen virtavesien pohjan selkärangaton yhteisöjen elpymistä tutkineessa meta-analyysissä havaittiin eroja eri kunnostusprojektien välillä riippuen alueen maankäytöstä. Tutkimuksessa analysoitiin 24 eri ympäristössä suoritettuja kunnostusprojekteja, joiden perusteella havaittiin, kuinka metsäympäristössä suoritetuilla projekteilla oli pääsääntöisesti positiivisia vaikutuksia alueen selkärangaton yhteisöjen kokoonpanoon (Miller et al., 2010). Sen sijaan maatalousympäristössä suoritettujen kunnostusten tulokset eivät olleet erityisen merkittäviä ja urbaanialueilla, tulokset eivät osoittaneet selkärangaton yhteisöjen elpymistä. Vaihtelun määrä oli vähäisintä metsäympäristöissä ja suurempaa maatalous- ja kaupunkiympäristöissä. Tämä meta-analyysi osoittaa kuinka monille ihmisvaikutuksille altistuneissa kaupunkijoiissa kunnostustoimenpiteitä on vaikea saada tuottamaan tulosta. Yhden ongelman korjaamien voi nostaa esille jonkun toisen ongelman ja esimerkiksi infrastruktuurin aiheuttamat virtauspulssit voivat estää geomorfisten kunnostustoimenpiteiden onnistumisen eroosion ja huuhtoutumisen kautta.

Sen sijaan, että urbaanijokien kunnostuksessa keskityttäisiin vain joen sisäisiin tai joen ulkoisiin kunnostusmenetelmiin, on havaittu, että näiden molempien näkökantojen yhdistäminen tuottaa paremmat tulokset kuin vain toisen puolen hyödyntämien. Esimerkiksi joen uoman muokkaus ja habitaattien ennallistamisen mahdolliset positiiviset vaikutukset eivät pääse näkyviin, jos jatkuvat vesipulssit hajottavat nämä ympäristöt yhtenäin (Smucker & Detenbeck, 2014). Rakennukset, ihmisyhteisöt, politiikka ja talous vaikuttavat merkittävästi urbaanialueiden hallintoon ja tuovat omat haasteensa siitä, mitä toimenpiteitä jokien kunnostamiseksi voidaan käyttää. Tästä johtuen tulevaisuuden virtavesiekologiassa ja jokien kunnostuksen suunnittelussa on otettava yhä enemmän huomioon myös muut kuin ekologiset tekijät (Walsh et al., 2005). Vaikka

itse joen palauttaminen täysin entisen kaltaiseen tilaan olisikin mahdotonta, voi urbaanijokien kunnostus olla tärkeä osa myös alavirran ekosysteemien kuten suistoalueiden ja merien suojelua (Smucker & Detenbeck, 2014).

#### 4. Kirjallisuus

- Kenney, M. A., Wilcock, P. R., Hobbs, B. F., Flores, N. E., & Martnez, D. C. (2012). Is urban stream restoration worth it? *Journal of the American Water Resources Association*, 48(3), 603-615.
- Loomis, J., Kent, P., Strange, L., Fausch, K., & Covich, A. (2000). Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: Results from a contingent valuation survey. *Ecological Economics*, 33(1), 103-117.
- Miller, S. W., Budy, P., & Schmidt, J. C. (2010). Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: Applications of meta-analysis to river restoration. *Restoration Ecology*, 18(1), 8-19.
- Miller, W., & Boulton, A. J. (2005). Managing and rehabilitating ecosystem processes in regional urban streams in australia. *Hydrobiologia*, 552(1), 121-133.
- Mohiuddin, K. M., Otomo, K., Ogawa, Y., & Shikazono, N. (2012). Seasonal and spatial distribution of trace elements in the water and sediments of the tsurumi river in japan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(1), 265-279.

- Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S., & Shikazono, N. (2010). Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1), 17-28.
- Nito, S., Kanno, Y., Muto, A., Uesugi, A., Nakahama, T., & Inouye, Y. (2003). Biological evaluation of the pollution of the tsurumi river with 7-ethoxycoumarin O-deethylase activity induced by river sediment extracts in HepG2 cells. *Journal of Health Science*, 49(1), 8-12.
- Schaefer, J. F., Marsh-Matthews, E., Spooner, D. E., Gido, K. B., & Matthews, W. J. (2003). Effects of barriers and thermal refugia on local movement of the threatened leopard darter, *percina pantherina*. *Environmental Biology of Fishes*, 66(4), 391-400.
- Schaller, J., Brackhage, C., Mkandawire, M., & Dudel, E. G. (2011). Metal/metalloid accumulation/remobilization during aquatic litter decomposition in freshwater: A review. *Science of the Total Environment*, 409(23), 4891-4898.
- Smucker, N. J., & Detenbeck, N. E. (2014). Meta-analysis of lost ecosystem attributes in urban streams and the effectiveness of out-of-channel management practices. *Restoration Ecology*, 22(6), 741-748.
- Somers, K. A., Bernhardt, E. S., Grace, J. B., Hassett, B. A., Sudduth, E. B., Wang, S., & Urban, D. L. (2013). Streams in the urban heat island: Spatial and temporal variability in temperature. *Freshwater Science*, 32(1), 309-326.
- Violin, C. R., Cada, P., Sudduth, E. B., Hassett, B. A., Penrose, D. L., & Bernhardt, E. S. (2011). Effects of urbanization and urban stream restoration on the physical and biological structure of stream ecosystems. *Ecological Applications*, 21(6), 1932-1949.

- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan II, R. P. (2005). The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Wenger, S. J., Roy, A. H., Jackson, C. R., Bernhardt, E. S., Carter, T. L., Filoso, S., . . . Walsh, C. J. (2009). Twenty-six key research questions in urban stream ecology: An assessment of the state of the science. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(4), 1080-1098.
- Zushi, Y., Takeda, T., & Masunaga, S. (2008). Existence of nonpoint source of perfluorinated compounds and their loads in the tsurumi river basin, japan. *Chemosphere*, 71(8), 1566-1573.