

**KUNTA
LIITTO** | Kommun-
förbundet



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

VESIENSUOJELUN
TEHOSTAMIS-
OHJELMA

Marjo Valtanen, Päivi Paavilainen, Johanna Jalonen,
Sanna Sopanen, Sari Suvanto & Julia Haapalainen

SELVITYS HULEVESIEN LAADUSTA



<https://www.kuntaliitto.fi/kayttoehdot>

Kuvat: Ramboll
ISBN 978-952-293-876-3 (pdf)
Kustantaja: Suomen Kuntaliitto ry

Helsinki 2023

Suomen Kuntaliitto ry
Toinen linja 14
PL 200, 00101 Helsinki
Puhelin 09 7711
www.kuntaliitto.fi

Sisältö

Tiivistelmä	5
Määritelmiä	6
1 Johdanto	10
2 Hulevesien laatu ja kuormitus	12
2.1 Huleveden yleisimmät haitta-aineet sekä muut vaaralliset ja haitalliset aineet	12
2.2 Päästölähteet	15
2.2.1 Maankäytön ja toimintojen vaikutukset hulevesien laatuun ja määrään	15
2.2.2 Hulevesien laatu maaperältään ja ilmastoltaan erilaisilta muodostumisalueilta	16
2.3 Pitoisuudet ja kuormitukset huleveden laadun mittareina	18
2.4 Yleisimpien haitta-aineiden ominaisuuskuormitusarvot ja ominaispitoisuudet	21
2.5 Työmaavedet	25
2.6 Talviolosuhteiden vaikutukset hulevesien laatuun ja laadun vuodenaikaisvaihtelu	30
3 Hulevesien kuormituksen aiheuttamat vaikutukset	32
3.1 Purkuvesistöjen kyky vastaanottaa kuormitusta	32
3.2 Akuutit ja krooniset vesistövaikutukset	34
3.3 Huleveden sisältämien aineiden vaikutukset vesiympäristössä	35
3.3.1 Ravinne- ja kiintoainekuormitus ja hygieeninen laatu	35
3.3.2 Haitallisten ja vaarallisten aineiden vaikutukset	37
3.4 Määrälliset vaikutukset	39
3.5 Pohjavesivaikutukset	39
4 Hulevesien laadunhallinta	41
4.1 Laadunhallinnan tarpeen arviointi	41
4.1.1 Valuma-alue selvitys laadunhallinnan tarpeen arvioinnissa	41
4.1.2 Laatutavoitteiden määrittely	42
4.1.3 Laadunhallinnan mallinnus	43
4.2 Hajautetut järjestelmät laadunhallinnassa	43
4.2.1 Maankäytön suunnittelu ja menetelmien edellyttämät tilavaraukset	44
4.2.2 Laadun ja määrän sidonnaisuus käsittelyssä	46
4.3 Käsittelymenetelmät ja -prosessit	47
4.3.1 Fysikaalis-kemialliset menetelmät	47
4.3.2 Biologiset menetelmät	49
4.3.3 Erityismenetelmät	51
4.4 Käsittelyrakenteet	51
4.4.1 Sinivihreä katuinfra	52
4.4.2 Biosuodatus	55

4.4.3	Suodatusrakenteet ja läpäisevät päällysteet	58
4.4.4	Suotopadot	60
4.4.5	Laskeutusallas	63
4.4.6	Kosteikko	65
4.4.7	Avouomat ja viherpainanteet	67
4.4.8	Erityisrakenteet, kuten roskanpoistorakenteet, kaivosuodattimet, öljynerottimet, geomatot, geotuubit, suodatinarkut	69
4.5	Hulevesien käsittelyn erityiskysymyksiä	70
4.5.1	Työmaavesien hallinta	70
4.5.2	Mikromuovien poistaminen hulevesistä	73
4.6	Käsittelyrakenteiden mitoitus ja suunnitteluperusteet	73
4.6.1	Mitoitussade	73
4.6.2	Muita suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä	74
4.7	Saavutettuja tuloksia	75
4.8	Laadun käsittelyrakenteiden kunnossapito	80

Lähteet

85

Tiivistelmä

Hulevedet on menneinä vuosikymmeninä mielletty puhtaiksi vesiksi, mutta tutkimustulosten lisääntyminen hulevesien laadusta sekä tietoisuuden lisääntyminen ympäristön tilan heikkenemisestä ovat nostaneet hulevesien laadunhallinnan tarpeen viime vuosina tärkeäksi aiheeksi. Lisäksi taajama-alueiden tiivistyminen ja laajeneminen yhdistettynä ilmastomuutoksen tuomiin haasteisiin pakottavat tarkastelemaan hulevesiä myös laadunhallinnan näkökulmasta.

Huleveden laatuun vaikuttavat monet kaupunkialueen ominaisuudet, kuten valuma-alueen maanpinnan veden läpäisemättömyys, maaperä, pinnan muodot, maankäyttömuoto ja rakennustyömaat. Lisäksi Suomen olosuhteissa hulevesien muodostuminen ja laatu vaihtelevat vuodenajan mukaan. Kiintoaine, ravinteet, raskasmetallit, öljyt ja PAH-yhdisteet sekä kloridi ovat jo yleisesti tunnistettu hulevesien mukana kulkeutuviksi haitta-aineiksi, mutta näiden lisäksi hulevesistä on tunnistettu mikromuoveja ja muita vesiympäristölle haitallisia aineita. Osa näistä aineista, kuten ravinteet ja ulosteperäiset bakteerit vaikuttavat vedenlaatuun ja veden käyttökelpoisuuteen esimerkiksi virkistyskäyttöön. Osalla aineista, esimerkiksi raskasmetalleilla tai orgaanisilla haitta-aineilla voi puolestaan olla ekotoksikologisia vaikutuksia vesielistöön, minkä vuoksi monille haitallisille ja vaarallisille aineille on asetettu ympäristölaatonormeja tai vastaavia suosituksia.

Useat hulevesien haitta-aineista ovat sitoutuneet kiintoaineeseen. Tällöin kiintoainesta hallitsemalla voidaan hallita myös siihen sitoutuneiden aineiden kulkeutumista ja kertymistä ympäristöön. Hulevesikuormituksen pintavesivaikutusten arvioinnissa ja hulevesien hallinnan suunnittelussa on huomioitava kohdevesistön herkyyteen vaikuttavat tekijät, joita ovat mm. valuma-alueen ja vesistön hydrologiset ominaisuudet, vesistön luonnonsuojeluun liittyvät näkökohdat sekä vesien- ja merenhoito.

Selvityksen lähtökohtana on ollut edistää kokonaisvaltaista hulevesien hallinnan suunnittelua, jolloin hulevesien laatuun liittyvät ratkaisut huomioidaan läpi koko suunnitteluprosessin strategisesta suunnittelusta toteutussuunnitteluun sekä kunnossapidon huomioimiseen. Hulevesien laadunhallinnan tarpeen arvioiminen aina maankäytön suunnittelusta alkaen on oleellista menestyksekkäästi toteutuvalla hallinnalla. Huleveden laadunhallinta ja määrän hallinta ovat sidoksissa toisiinsa, ja huleveden laatua parantavilla toimenpiteillä voidaan yhtäaikaaisesti helpottaa myös kaupunkien sopeutumista tulviin ja kuivuuteen sekä ylläpitää kaupunkialueiden viihtyisyyttä ja luonnon monimuotoisuutta. Myös työmaavesien hallinnalla on merkittävä vaikutus hulevesien laatuun. Hajautetut ja luontopohjaiset hallintaratkaisut ovat pääroolissa hulevesien laadun hallinnassa.

Selvitys on laadittu perustuen viimeaikaiseen tutkimustietoon, asiantuntija-arvioihin sekä suunnittelun ja vihervälvönnon kautta kertyneisiin kokemuksiin. Selvityksen yhteydessä järjestettiin työpaja, johon osallistui edustajia kunnilta, konsulteilta ja oppilaitoksista.

Määritelmiä

Abioottinen	Abioottiset ympäristötekijät ovat elottoman luonnon asettamia ympäristön ominaisuuksia, kuten lämpötila, veden ja valon määrä ja maaperän laatu
Asemakaava	Alueiden käytön yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten laaditaan asemakaava, jonka tarkoituksena on osoittaa tarpeelliset alueet eri tarkoituksia varten ja ohjata rakentamista ja muuta maankäyttöä paikallisten olosuhteiden, kaupunki- ja maisemakuvan, hyvän rakentamistavan, olemassa olevan rakennuskannan käytön edistämisen ja kaavan muun ohjaustavoitteen edellyttämällä tavalla
Avo-oja	Maahan kaivettu, peittämätön uoma, jonka tarkoitus on tietyn maa-alueen kuivattaminen tai kasteleminen tai muu veden johtaminen
Avouoma	Avoin veden kulkureitti
Bioottinen	Bioottiset ympäristötekijät ovat elollisen luonnon ominaisuuksia, jotka vaikuttavat eliöihin, kuten saatavilla oleva ravinto, pedot, loiset, kilpailijat ja lisääntymiskumppanit
Bioremediaatio	Huleveden puhdistaminen mikrobiologisen (bakteerit, alkueläimet, sienet) toiminnan avulla
Biosuodatus	Veden suodattaminen ja puhdistaminen orgaanisissa maakerroksissa
EMC-arvo (mg/l, µg/l)	Keskimääräinen tapahtumapitoisuus (engl. Event Mean Concentration), joka voidaan määrittää esimerkiksi yksittäistä valuntatapahtumaa edustavasta kokoomanäytteestä tai valunnan määrällä painotettuna keskiarvona tapahtuman eri ajanhetkiltä kerätyistä analyysituloksista
Erosio	Kallioperän, maaperän ja maa-aineksen kuluminen tuulen veden taikka muun mekaanisen kuluttavan tekijän vaikutuksesta
Fytoremediaatio	Huleveden puhdistaminen kasvien avulla
Hapan sulfaattimaa	Rikkipitoinen sedimentti, joka aiheuttaa hapettuessaan happamuusongelmia ympäristössä

Huleveden käsittely	Esimerkiksi kiintoaineen sekä ympäristöä pilaavien aineiden kuten ravinteiden ja esimerkiksi katu- ja pysäköintialueilta kertyvien öljyjen poistaminen hulevesistä
Huleveden viemärointi	Huleveden ja perustusten kuivatusveden poisjohtaminen hulevesiviemäriissä.
Hulevesi	Maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettava sade- tai sulamisvesi
Hulevesien laadullinen hallinta	Rakenne, jolla pyritään parantamaan huleveden laatua
Hulevesijärjestelmä	Hulevesien hallintaan tarkoitettujen rakenteiden kokonaisuus
Hulevesikosteikko	Vesirakenne, johon hulevedet ohjataan joko pintavaluntana tai imeytys- ja suodatinrakenteen kautta ja jonka tarkoituksena on toimia hulevesien kerääjänä, viivyttäjänä ja puhdistajana sekä maisemallisena aiheena
Hulevesiviemäri	Avo-oja tai viemäri, joka on tarkoitettu pelkästään hulevesien johtamiseen
Imeyttäminen	(Huleveden) tarkoituksellinen imeyttäminen maaperään
Kiintoaines	Vedessä kulkeva partikkelimuotoinen aines
Kosteikko	Vesirakenne, johon hulevedet ohjataan joko pintavaluntana tai imeytys- ja suodatinrakenteen kautta ja jonka tarkoituksena on toimia hulevesien kerääjänä, viivyttäjänä ja puhdistajana sekä maisemallisena aiheena
Laminaarinen virtaus	Laminaarisessa virtauksessa neste virtaa ns. virtaviivojen suuntaisesti
Laskeutusallas	Hulevesiallas, jossa vedenvirtaus hidastuu (tasaantuu) niin paljon, että kiintoaineen laskeutumista ehtii tapahtua
Luonnonmukainen hulevesien hallinta	Luonnon omien veden kiertoon ja veden laatuun vaikuttavien tekijöiden hyödyntäminen ja tukeminen taajamien hulevesien hallinnassa
Läpäisemätön pinta	Tiivis pinta, joka ehkäisee huleveden imeytymisen maaperään ja lisää pintavaluntaa
Läpäisevä päällyste	Rakentamaton tai rakennettu pinta, missä hulevesien imeytymistä tapahtuu
Mikromuovi	Mikromuoveja ovat 1 µm - 5 mm kokoiset kiinteät muovihiukkaset, jotka koostuvat polymeerien ja funktionaalisten lisäaineiden seoksista

Mitoitussade	Mitoitussade määritetään valuma-alueen kertymisajan (mitoitussateen kesto), todennäköisyyden (toistuvuuden ja rankkuuden/sademäärän avulla (mitoitussadetta suurempi sade aiheuttaa tulvimista)														
Ominaiskuormitusarvo	Tietyltä maankäyttömuodolta aikayksikössä (esim. vuosi) aiheutuva ainehuuhtouma pinta-alayksikköä kohden														
PAH-yhdisteet	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt														
Painanne	Ympäröivää maanpintaa alempi maaston kohta														
pH	pH ilmaisee veden happamuuden														
Pintakerrosvalunta	Maaperän imeytynyttä sade- tai sulamisvettä, joka kulkeutuu maan pintakerroksessa vesiuomiin														
Pintavalunta	Maan pinnalla valuva sadannan osa														
Pohjavalunta	Pohjavalunta on perusvaluntaa, joka muodostuu pohjavesivalunnasta ja pintakerrosvalunnasta														
Pohjavesi	Maanalainen vesikerros, jossa kaikki maa- ja kallioperän huokokset ovat veden kyllästämiä														
Purkuvesistö	Vesistö tai yksittäinen pintavesimuodostuma, johon hulevedet johdetaan														
Rankkasade	Sade, joka on kyseiselle alueelle poikkeuksellinen; Ilmatieteen laitoksen määrittelemät rankkasateet sateen keston ja sademäärän avulla maan etelä- ja keskiosassa: <table> <thead> <tr> <th>Aika</th> <th>Sademäärä (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 min</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>30 min</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>60 min</td> <td>7,0</td> </tr> <tr> <td>4 h</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>12 h</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>24 h</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	Aika	Sademäärä (mm)	5 min	2,5	30 min	5,5	60 min	7,0	4 h	10	12 h	15	24 h	20
Aika	Sademäärä (mm)														
5 min	2,5														
30 min	5,5														
60 min	7,0														
4 h	10														
12 h	15														
24 h	20														
Sadanta (mm), sademäärä	Tietylle alueelle tietyssä aikana sataneen vesimäärän paksuus														
Sadetapahtuma	Yhtäjaksoinen sadanta, jota edeltää ja seuraa kuiva jakso, joka voi olla kestoaltaan muutamasta tunnista useihin viikkoihin														
Sateen intensiteetti (mm/h, l/s/ha)	Tietyn aikavälin (esimerkiksi tunnin tai minuutin) keskimääräinen sadanta														
Sateen kesto	Ajanjakso sateen alkamisesta sen päättymiseen tai ajanjakso, jonka aikana sitä havainnoidaan														

Sekaviemäröinti	Putkijärjestelmä, jossa sekä jätevedet että hulevedet johdetaan samassa viemärissä; järjestelmä on mitoitettu molemmille vesille ja mitoitussadetta suurempi sade aiheuttaa tulvimista. Sekaviemäröinti on lainsäädännön mukaan jäteveden viemäröintiä
SMC-arvo	SMC (site mean concentration) tarkoittaa tietyllä alueella, esim. tietyllä maankäyttömuodolla, esiintyvää keskimääräistä pitoisuutta. SMC voidaan määrittää esimerkiksi kattavasta määrästä alueelta mitattuja EMC-arvoja.
Sulanta (mm)	Sen vesikerroksen paksuus, joka tietyssä ajassa vapautuu lumipeitteestä
Suotopato	Matala murskepato, josta hulevedet pääsevät suotautumaan läpi
Toistuvuus	Aikaväli, jonka aikana tietty ilmiö, esimerkiksi tulva, keskimäärin toistuu (toistuvuuden arviointi perustuu pitkän aikavälin havaintoihin ja niistä johdettuihin tilastollisiin todennäköisyyksiin)
Tulvareitti	Maanpinnalla oleva huleveden virtausreitti, johon hulevedet johdetaan hallitusti silloin, kun hulevesiviemäröinnin kapasiteetti ylittyy
Tulvariski	Tulvan todennäköisyyden ja tulvasta mahdollisesti aiheutuvien vahinkojen yhdistelmä (riski = tulvan todennäköisyys x mahdollinen vahinko)
Turbulenttinen virtaus	Turbulenttisessa virtauksessa nesteosat liikkuvat epämääräisesti, kuitenkin keskimääräisellä nopeudella virtaussuuntaan
Työmaavesi	Rakentamisen aikana työmaalla muodostuva valunta
Valuma-alue	Maaston korkeimpien kohtien (vedenjakajien) rajaama alue, jolta (hule)vedet virtaavat samaan puroon, jokeen, järveen tai mereen (taajamissa hulevesiverkostolla valuma-alueiden rajoja on voitu muuttaa maaston muodosta poikkeaviksi)
Valunta (mm)	Se sadannan osa, joka valuu kohti uomaa maan pinnalla tai sisällä

1 Johdanto

Kuntaliiton julkaiseman ja varsin kattavan [hulevesioppaan](#) ilmestymisestä on kulunut kymmenen vuotta, jonka jälkeen erityisesti hulevesien laadusta ja erilaisista hulevesien käsittelymenetelmistä on ilmestynyt sekä uutta tutkimustietoa että kertynyt kokemuspohjaista tietoa rakennetuista kohteista. Hulevesien laadunhallinta on kehittynyt viimeisen vuosikymmenen aikana huimaa vauhtia, ja kehitystyö jatkuu edelleen. Uusien vedenlaadun selvitysten myötä myös tarve käsittelymenetelmien kehittämiseksi ja tutkimiseksi kasvaa, minkä vuoksi jatkossakin tietojen päivitys aika ajoin on tärkeää. Lisäksi Euroopan komissio on julkaissut 26.10.2022 lainsäädäntöehdotuksen yhdyskuntajätevesidirektiivin muuttamisesta. Uudessa direktiivissä voi olla vaatimuksia myös kaupunkien hulevesien hallintaan, minkä vuoksi direktiivin etenemistä on seurattava ja reagoitava jatkossa.

Tämä selvitys rajautuu taajama-alueiden valumavesiin, pois lukien teollisuus-alueiden hulevedet. Selvitykseen eivät siten lukeudu maa- ja metsätalousalueet eivätkä maantiet, vaikka näiden valumavedet voivat myös olla haitallisia ympäristölleen ja esimerkiksi maanviljely ja tiet voi olla osa kaupunkirakennetta. Teollisuusalueilla on usein puolestaan omat hulevesien käsittelyjärjestelmänsä ja ympäristölupien mukaiset toimet, tai vedet johdetaan jopa jäteveden puhdistamolle. Tämän selvityksen avulla eri toimijat, kuten kuntien työntekijät ja suunnittelijat, voivat huomioida huleveden laatuun vaikuttavia tekijöitä, jotta vedenlaatua voidaan yleisellä tasolla arvioida tai valita sopivat mitattavat suureet, ja edelleen tämän pohjalta kartoittaa tarpeita ja mahdollisuuksia huleveden laadunhallintaan. Hulevesien laadun hallinta alkaa kunnissa jo strategiselta tasolta. Hulevesien laadun arviointia ja laadunhallinnan tarvetta on tärkeä tarkastella jo maankäytön suunnittelusta alkaen, joten selvityksessä kuvataan huleveden laadunhallintaa maankäytön suunnittelusta rakennussuunnitteluun sekä nostetaan esiin myös rakentamisen aikaisia toimia ja kunnossapitoa.

Hulevesien laadunhallintaan linkittyy vahvasti myös hulevesien määrän hallinta, sillä lähes aina vesiä hallittaessa hallitaan myös jonkin verran vesien määrää. Tällöin virtaamia tasataan viivyttämällä tai alajuoksulle johtuvan huleveden määrää voidaan vähentää, kun veden imeytyminen ja haihtuminen mahdollistetaan laadunhallinnan ratkaisuissa. Laadunhallinnan rakenteet ovat mitoitettu vastaanottamaan keskivirtaamat tai usein toistuvat rankkasateet, eikä niiden ole tarkoitus toimia tulvan hallinnan rakenteina. Osa laadunhallinnan rakenteista kuitenkin lisää imeyttävän pinnan määrää valuma-alueella ja voi erityisesti siten vähentää tulvariskien määrää. Laadunhallinta tulee olla hajautettua, koska hulevesien laadunhallinnan ratkaisut vaativat riittävästi tilaa valuma-alueeseensa nähden ja koska erityyppisiltä alueilta muodostuu laadultaan erilaisia vesiä, joita kustannustehokkuuden vuoksi ei ole suositeltavaa johtaa samoihin laadunhallinta rakenteisiin.

Hulevesien laatua hallittaessa voidaan parhaimmillaan vaikuttaa yhtäaikaaisesti useisiin elinympäristöä parantaviin tekijöihin. Tähän pyritään erityisesti luonnonmukaisissa hallintamenetelmissä, jotka ovat viime vuosina lisänneet suosiotaan kaupunkiympäristössä. Näillä menetelmillä voidaan menetelmästä riippuen pitää yllä tai parantaa luonnon monimuotoisuutta, vaikuttaa ilmanlaatuun tai ilman lämpötilaan, vähentää tulvimista ja luoda viihtyisyyttä ja virkistysmahdollisuuksia. Hulevesien laadunhallinta on siten myös osa laajaa kokonaisuutta, johon liittyy muukin kaupunkisuunnittelu, kuten maankäytön suunnittelu, vihersuunnittelu ja katujen suunnittelu. Hulevettä voidaan käyttää myös resurssina esimerkiksi viherrakenteiden osalta, jolloin vedenlaatu, kuten ravinteet, voivat olla etu. Kokonaisuutena hulevesien laadunhallinnan ratkaisuja voidaan parhaimmillaan toteuttaa luonnonmukaisesti sekä ylläpitää veden ja aineiden kiertoa.

Selvitys on toteutettu vuoden 2022 aikana. Selvityksen on tilannut ja rahoittanut Ympäristöministeriö osana vesiensuojelun tehostamisohjelman teemaa ”Kaupunkien vesien hallinta ja haitallisten aineiden vähentäminen”.

Selvityksen työryhmään kuuluivat:

- Ari Kangas, Ympäristöministeriö
- Sini Olin, Ympäristöministeriö
- Tuulia Innala, Kuntaliitto
- Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy
- Marjo Valtanen, Ramboll Finland Oy
- Päivi Paavilainen, Ramboll Finland Oy
- Johanna Jalonen, Ramboll Finland Oy
- Sanna Sopanen, Ramboll Finland Oy
- Julia Haapalainen, Ramboll Finland Oy

Selvitystyön aikana kuultiin myös työryhmän ulkopuolisia näkemyksiä ja kokemuksia hulevesien hallinnan kanssa työskenteleviltä asiantuntijoilta. Tämä toteutettiin järjestämällä selvitystyön yhteydessä työpaja (Liite 1), johon osallistui edustajia kunnista, oppilaitoksista ja konsulteilta. Työpajassa pohdittiin, miten hulevesien laadunhallinta tulisi huomioida aina ylätasen suunnittelusta kunnossapitoon asti. Työpajassa esille tulleet keskeiset näkökulmat on otettu huomioon selvityksessä.

2 Hulevesien laatu ja kuormitus

Huleveden laadun tarkastelu käsittää tässä selvityksessä taajama-alueiden hulevedet, pois lukien teollisuusalueiden hulevedet. Myöskään toisinaan kaupunkirakentamisen yhteyteen kuuluvat maa- ja metsätalouden valumavedet eivät kuulu tämän selvityksen sisältöön. Huomionarvoista on myös, ettei maanteiden hulevesien laatua tarkastella tässä selvityksessä. On hyvä kuitenkin muistaa, että liikenne heikentää hulevesien laatua merkittävästi, kuten tässä selvityksessä tullaan katu- ja pysäköintialueiden osalta esittämään. Samoja näkökulmia voidaan hyödyntää maanteiden hulevesien laadunhallinnan suunnitteluun

2.1 Huleveden yleisimmät haitta-aineet sekä muut vaaralliset ja haitalliset aineet

Hulevesissä voi esiintyä lukuisia haitta-aineita tai jopa vaarallisia aineita, joista kaikista ei ole toistaiseksi kattavasti tutkimustietoa. Hulevesissä voi esiintyä myös aineita, joita ei ole vielä tutkittu ja tunnistettu lainkaan.

Kaupunkirakentaminen ja toiminnot kattavat suurella osaa taajama-alueista tavanomaisia ja samankaltaisia aineiden päästölähteitä. Nämä aineet ovat harvoin vaarallisia, mutta saattavat olla haitallisia ympäristölleen, kuten pinta- ja pohjavesille ja siten niitä käsitellään haitta-aineina. Haitallisuudella tarkoitetaan mahdollisia vesistö- ja eliöstövaikutuksia tai pohjaveden ja maaperän pilaantumista. Yleisimpien haitta-aineiden vaikutukset ovat siis tunnistettuja ja niitä käsitellään luvussa 3. Kyseisten aineiden osalta on olemassa tutkittua tietoa pitoisuuksista ja ominaiskuormitusarvoista sekä suomalaisilta ja pohjoismaisilta kaupunki-alueilta että kattavasti eri puolelta maailmaa. Tässä selvityksessä viitataan erityisesti kotimaisiin ja pohjoismaisiin tutkimustuloksiin niiden sovellettavuuden kannalta.

Yleisimpiä hulevesien haitta-aineita on esitetty taulukossa 1. Näiden lisäksi vedenlaatuun vaikuttavat pH, sähkönjohtokyky ja sameus. Kun tarkoituksena on tarkastella, hallita tai mitata hulevesien laatua, on suositeltavaa kiinnittää huomiota erityisesti taulukon 1 aineisiin ja tarkastella esiintyykö kyseisellä alueella näihin aineisiin liittyviä päästölähteitä ja maankäyttömuotoja, sekä mikä on vastaanottavan vesistön herkkyys aineille. Maankäytön ja päästölähteiden vaikutuksia hulevesien laatuun käsitellään luvussa 2.2.1.

Taulukko 1. Hulevesien yleisimmät haitta-aineet ja tyypillisimmät päästölähteet sekä maankäyttömuodot, joiden johdosta aineita todennäköisesti esiintyy hulevesissä (House ym., 1993; Massachusetts Department of Environmental Protection and Massachusetts Office of Coastal Zone Management, 1997; D’Arcy ym., 2000; Moy ym., 2003; Ellis ja Mitchell, 2006; McKenzie ym., 2009; Björklund, 2010; Filipovic ym., 2013; Sillanpää, 2013; Roinas, 2015; Valtanen, 2015; Markiewicz ym., 2017; Liu ym., 2019; Müller ym., 2020; Werowski ym., 2021; Gasperi ym., 2022; Lange ym., 2022).

Haitta-aine	Päästölähteet	Maankäyttömuoto
Typen yhdisteet	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio, lannoitus	Asutusalue, keskusta-alue, viheralue, työmaa
Fosforin yhdisteet	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio, lannoitus	Asutusalue, keskusta-alue, viheralue, työmaa
Kiintoainne	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio	Asutusalue, keskusta-alue, viheralue, työmaa
Kloridi	Ilmalaskeuma, liikenne	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa
Sulfaatti	Ilmalaskeuma, liikenne	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa
BOD	Liikenne	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue
COD	Liikenne	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue
Zn	Ilmalaskeuma, liikenne, katot, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Cu	Ilmalaskeuma, liikenne, katot, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Ni	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Pb	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Cd	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Cr	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Al	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Fe	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
V	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Mn	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, työmaa, teollisuusalue
Koliformit bakteerit	Viemärikuodot, eläinten ja ihmisten ulosteet	Asutusalue, viheralue, keskusta-alue
PAH-yhdisteet	Liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue, työmaa
Öljyt ja hiilivedyt	Liikenne, teollisuus	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue, työmaa

Haitta-aine	Päästölähteet	Maankäyttömuoto
Mikromuovit	Liikenne, roskat, kenkien ja vaatteiden kuluminen, rakennusmateriaalit	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue, työmaa
PFAS-yhdisteet	Ilmalaskeuma, roskat, rakennusmateriaalit	Asutusalue, keskusta-alue, teollisuusalue, työmaa, paloharjoitusalue, kaatopaikka

Edellä mainittujen haitta-aineiden lisäksi hulevesistä on tunnistettu tutkimuksissa kirjo erilaisia yhdisteitä, jotka ovat listattuna taulukossa 2. Näiden osalta ei voida suppeiden tutkimusten vuoksi tarkentaa pitoisuuksia tai ominaiskuormitusarvoja, mutta aineiden mahdollinen esiintyminen hulevesissä on hyvä huomioida. Viime vuosina huolenaiheeksi ovat pysyvyytensä ja haitallisuutensa vuoksi nousseet erityisesti mikromuovit ja PFAS-yhdisteet.

Mikromuoveiksi luokitellaan yleisesti 1 µm - 5 mm kokoiset kiinteät muovihiukkaset, jotka koostuvat polymeerien ja funktionaalisten lisäaineiden seoksista (ECHA 2022). Mikromuoveja on ilmassa, maaperässä ja vesistöissä, joihin suuri osa maaperän ja ilman mikromuoveista lopulta kulkeutuu.

Suomen yleisesti puhtaana pidetyistä vesistöistä on löydetty mikromuovia (Uurasjärvi ym., 2020), ja hulevesiä pidetään merkittävänä vesistöjen mikromuovien kuljettajana (Werbowski ym., 2021). Eräs tutkimus arvioi Itämeren mikromuovipäästöjen olevan 62 % hulevesistä, 25 % käsitellystä jätevedestä jätevedenpuhdistamoilta ja 13 % puhdistamattomasta jätevedestä viemärylivuodoista ja puhdistamo-ohituksissa johtuvia (Schernewski ym., 2021).

Huleveden yleisimpiä mikromuoveja ovat polyeteeni (PE), polypropyleeni (PP), autonrenkaiden kumipöly (SBR), polyvinyylidikloridi (PVC), polystyreeni (PS) ja polyesteri (PES), mutta myös muita muovilaatuja (esim. etyleenipropyleenidienikumi EPDM ja etyleenivinyylisetaatti EVA) esiintyy (esim. Liu ym., 2019; Lange ym., 2022). Muoveissa on lisäksi lukuisia lisäaineita, kuten väriaineita ja täyteaineita. Myös per- ja polyfluoratut alkyylidihdisteet, eli PFAS-yhdisteet, ovat nousseet nopeasti suureksi huolenaiheeksi ympäristö- ja terveysriskinä. PFAS-yhdisteet ovat kemiallisesti erittäin stabiileja ja suurin osa PFAS-yhdisteistä ei käytännössä hajoa luonnossa ollenkaan, tai ne pilkkoutuvat vain toisiksi PFAS-yhdisteiksi, jotka eivät enää hajoa (Cousins ym., 2020).

Taulukko 2. Hulevesissä mahdollisesti esiintyviä yhdisteitä. (Pitt ym., 2012; Setälä ym., 2017; Liu ym., 2019; Müller ym., 2019; Gasperi 2022; Lange ym., 2022)

Yhdiste	Päästölähde
VOC-yhdisteet	liikenne, teollisuus
Mikromuoveja: Polyeteeni (PE): HDPE, LDPE, LLDPE polypropyleeni (PP) polyvinyylikloridi (PVC) polystyreeni (PS) polyesteri (PES) etyleenipropyleenidieenikumi (EPDM) etyleenivinyylisetaatti (EVA) Kumipolymeerit: styreenibutadieenikumi (SBR)A	liikenne, roskat, kenkien pohjat, muovipussit, erilaiset pakkausmateriaalit ja säilytysastiat, muoviputket, styroksi, rakennustyömaiden eristelevyt sekä muovin käsittely työmailla ja teollisuudessa
PFAS-yhdisteitä: perfluorioktaanisulfonihappo (PFOS) perfluorioktaanihappo (PFOA)	teollisuus kaatopaikat paloharjoitusalueet
Alkyyliifenoleita: Bisfenoli A (BPA) Nonyyliifenoli (NP)	pysäköintialueet
Perfluorikarboksylihapot: Perfluoriheksaanihappo (PFHxA)	
Heksabromisyklododekaani	
Polybromatut difenyylietterit	
Perfluorisulfonihapot	
Fluoritelomeerit	
Bentsotriatsolit	
Torjunta-aineet	katot, pysäköintialueet, varastoalueet, kadut, lastausalueet, teollisuus
PAH-yhdisteet	
Ftalaatit: di-isonyyliftalaatti (DINP) di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP)	

2.2 Päästölähteet

2.2.1 Maankäytön ja toimintojen vaikutukset hulevesien laatuun ja määrään

Hulevesiin päätyy erilaisia aineita ilmalaskeuman mukana, erilaisten toimintojen (esim. liikenne, liukkauden torjunta, rakentaminen, lannoitus) seurauksena sekä erilaisista kaupunki-infrastruktuurin rakenteista (esim. rakennusten materiaalit ja asfaltti), kuten taulukot 1 ja 2 kertovat. Erilaisille maankäyttömuodoille ja toiminnoille on tyypillistä, että niiden päästölähteet ja läpäisemättömän pinnan määrä ovat samantyyppisiä. Sen vuoksi hulevesien laatua on tutkittu ja voidaan arvioida esimerkiksi maankäyttömuodoittain.

Läpäisemättömän pinnan määrä vaikuttaa siihen, kuinka paljon sekä hulevettä että haitta-aineiden päästöjä muodostuu ja millainen on alueelta muodostuva kokonaiskuormitus, jossa huomioidaan sekä pitoisuudet että vesimäärät. Hulevesien määrällä on siis myös olennainen vaikutus hulevesien laatuun erityisesti, kun tarkastellaan hulevesien haitta-aineiden kokonaiskuormitusta. Rakentamisen aste ja siten muodostuvien hulevesien määrä vaihtelee maankäyttömuodoittain. Esimerkiksi pientaloalueella muodostuu tyypillisesti vähemmän hulevesiä kuin kaupunkien keskusta-alueilla tai kerrostaloalueilla.

Oma lukunsa ovat työmaat, joiden valumavedet voivat olla hyvin haitta-ainepitoisia. Työmaavesiä käsitellään erikseen luvussa 2.5. Ihmisen aiheuttamien maankäytön muutosten myötä hulevesiin voi päätyä haitta-aineita myös kunkin alueen luonnollisista olosuhteista johtuen. Nämä hulevesien laadun vaihteluun vaikuttavat luonnolliset erot on hyvä huomioida hulevesien laatua arvioitaessa.

2.2.2 Hulevesien laatu maaperältään ja ilmastoltaan erilaisilta muodostumisalueilta

Valumavesien laatu voi poiketa myös kunkin alueen luonnollisista ominaisuuksista ja olosuhteista johtuen. Vesien laatuun vaikuttavat kallio- ja maaperän kivilaji- ja raekoostumus, maaperän vedenjohtavuus, alueen topografia ja kasvilisuus sekä sää ja ilmasto-olosuhteet (Rantala, 2019), jotka sinällään eivät pilaa valumavesiä, vaan kuuluvat kunkin alueen ominaisuuksiin. Kuitenkin kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen myötä hulevesien määrä sekä eroosio ja sen johdosta ainehuhtouma voivat kasvaa luonnollisistakin päästölähteistä. Myös veden ominaisuudet, kuten pH ja sameus, voivat muuttua merkittävästi. Lisäksi valuma-alueita, vedenkiertoa ja virtausreittejä muuttamalla ihminen voi ohjata kuormituksen alueille, jonne se ei luonnollisesti kuuluisi. Tämä on yksi asia, jonka vuoksi on tärkeää laatia alueellisia hulevesisuunnitelmia (ks. luku 4), joissa huomioidaan paikallisen ympäristön ominaisuudet.

Yksi merkittävimmistä alueellisista luonnollisista päästölähteistä on kallio- ja maaperä. Maaperän ainesosat voivat joko itsessään päätyä hulevesiin tai aiheuttaa vesissä muutoksia, kuten pH:n ja veden värin muutosta. Maaperästä aineet päätyvät hulevesiin erityisesti eroosion, kasvillisuuden vähenemisen ja ojituksen myötä. Haitta-aineita voi päästä myös suoraan maaperästä hulevesiverkostoon, sillä mm. maaperän huokosvettä voi suotautua liitosten ja halkeamien kautta hulevesiviemäriin (Belhadj ym., 1995).

Maalajien rapautumiseen vaikuttavat ilmasto-olosuhteet. Kivennäismaiden rapautumiseen vaikuttaa etenkin lämpötila ja siten rapautumisesta aiheutuva ainehuhtouma pienenee Pohjois-Suomea kohti siirryttäessä (Sillanpää ym., 2006). Etelä-Suomessa maaperä on keskimääräistä ravinteikkaampaa (Sillanpää ym., 2006). Turvemaiden määrä lisää hulevesiin huuhtoutuvan hiilen, kokonaistypen, ammoniumtypen, orgaanisen typen ja kokonaisfosforin määrää (Sillan-

pää ym., 2006). Typen huuhtoutumisen osalta on kuitenkin paljon aluekohtaista vaihtelua, sillä typen huuhtoumaan vaikuttavat vahvasti useat tekijät maaperän topografiasta ja ominaisuuksista kasvillisuuteen ja ilmastoon (Kenttämies ja Saukkonen, 1996). Fosforista suurin osa kulkeutuu saviaineksen sekä alumiini- ja rautahydroksidisaostumien pinnalle kiinnittyneenä (Rekolainen 1993). Luonnontilaisilla alueilla fosforin huuhtoumaan vaikuttaa suuresti maaperän ominaisuudet ja sedimentoituneiden fosfaattien määrä (Sillanpää ym., 2006).

Kiintoaineen huuhtoutumisessa esiintyy sään mukaista ajallista vaihtelua niin, että huuhtouma kasvaa sateisina vuosina suurten valuntojen aikaan (Kenttämies ja Saukkonen, 1996). Toki myös maaperän koostumus ja kasvillisuus vaikuttavat merkittävästi kiintoaineen huuhtoutumiseen (Sillanpää ym., 2006). Kiintoaineen kasvava huuhtoutuminen lisää lähes aina myös kokonaisfosforin huuhtoutumista (Kenttämies ja Saukkonen, 1996) ja kokonaisfosforin määrän on puolestaan havaittu korreloivan positiivisesti kokonaisorgaanisen hiilen kanssa valumavesissä (Mattsson ym., 2003).

Kasvillisuuden määrä ja lajisuhteet vaikuttavat molemmat eri aineiden huuhtoumiin ja huuhtoumien vuodenaikaisuuteen. Ravinnehuuhtoumiin kasvillisuus vaikuttaa erityisesti kasvukaudella, kun kasvit hyödyntävät pääosan nitraatista ja ammoniumista, ja siten vähentävät näiden määriä valumavesissä (Geologian tutkimuskeskus 1996). Puulajisuhteet vaikuttavat hiilen ja kokonaistypen huuhtoumiin. Esimerkiksi kuusivaltaisista metsistä huuhtoutuu enemmän hiiltä ja typeä kuin mäntyvaltaisista (Sillanpää ym., 2006). Häiriintymättömistä metsistä typen huuhtoutuminen on kuitenkin vähäistä (Mattsson ym., 2003). Kasvillisuuteen on kytkeytynyt myös maaperän mikrobien kirjo ja määrä. Mikrobeilla on vaikutusta maaperän mineraaleihin ja metalleihin, joiden fyysistä ja kemiallista tilaa mikrobit voivat muuttaa (Ehrlich, 1996; Gadd ja Raven, 2010). Mikrobeilla onkin merkittävä rooli maaperän prosesseissa; kasvillisuuden juuristoilla voidaan puolestaan vaikuttaa mikrobien määrään.

Ilmastossamme peruskalliosta rapautuu ja liukenee kalsium-mineraaleja ja siten luonnonvedet voivat olla kalsiumkarbonaattivaltaisia (Rantala, 2019). Luonnonvedet ovat usein myös humuspitoisia. Eroja vesien ainesuhteisiin ja liuenneiden aineiden määrään tuo mm. sijainti; rannikkoalueilla vesiin voi olla liuenneena moninkertainen määrä aineita sisämaahan verraten (Laaksonen ja Malin, 1985).

Purovesissä sähkönjohtavuuteen, joka kuvaa veteen liuenneiden suolojen määrää, vaikuttaa erityisesti maaperän ominaisuudet, mutta myös valuma-alueen hydrografinen luonne ja topografia. Ne säätelevät veteen liuenneiden aineiden määrää valumavesien ja pohjavalunnan kautta (Rantala, 2019).

Valumavesien happamuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten sademäärä ja alueen kasvillisuus (Rantala, 2019). Alueellista vaihtelua happamuuteen tuo kallio- ja maaperä. Keski- ja Itä-Suomessa karkearakeiset ja niukasti kalsium- ja

magnesiumioneja sisältävät mineraalimaat laskevat alueiden vesien pH-arvoa. Rannikkoalueilla esiintyy puolestaan entisen merenpohjan savikerrostumia, jotka nostavat pH-arvoa (Rantala, 2019). Pohjois-Suomessa esiintyy maaperästä johtuen hieman muuta maata korkeammat pH-arvot, ja Pohjois-Lapissa turvekerrokset ovat ohuita sekä pohjavalunnan määrä suuri, mikä vaikuttaa veden pH-arvoon laskevasti (Geologian tutkimuskeskus, 1996).

Happamat sulfaattimaat vaikuttavat valumavesien laatuun etenkin kaivu- ja kuivatustoimenpiteiden yhteydessä. Happamia sulfaattimaita sijaitsee Suomessa pääasiassa rannikkoalueilla. Happamat sulfaattimaat ovat jääkauden jälkeisen Litorina-meren pohjaan sedimentoituneita rikkipitoisia sedimenttejä. Myös orgaaniset materiaalit ja moreenit, joista aiheutuu happamuutta, luetaan happamiksi sulfaattimaiksi. Happamoitumisen seurauksena muodostuu rikkihappoa, joka liuottaa maaperän tavanomaisia metalleja haitallisina pitoisuuksina vesistöihin heikentäen niiden laatua. Happamalla sulfaattimailla voi olla siis merkitystä myös hulevesien laatuun.

Kaivuutöiden tai kuivatustoimenpiteiden yhteydessä altistetaan pohjavesipinnan alapuolella olevat potentiaaliset happamat sulfaattimaat hapelle, jolloin syntyy happamia ja metallipitoisia valuntoja, jotka heikentävät hulevesien laatua, etenkin pH-arvo laskee ja rikkipitoisuus kasvaa. Lisäksi happamalla olosuhteilla on vaikutusta erinäisten materiaalien, kuten betonin ja teräksen kestävyyskykyyn. (Autiola ym., 2022) Potentiaalisen maakerroksen hapettumista voi aiheutua ihan luonnollisista pohjavesipinnan vaihteluista johtuen, mutta ihmistoiminnalla tätä voidaan edesauttaa voimakkaammin.

Veden alkaliteetti, joka kuvastaa sen puskurikykyä happamoitumista vastaan, on riippuvainen sähkönjohtavuudesta ja siten näiden tekijöiden alueellinen esiintyminen on samankaltaista (Rantala, 2019). Happamia ja heikosti puskuroituneita valuma-alueita löytyy erityisesti Sisä-Suomesta, Pohjois-Karjalasta ja Kainuusta.

2.3 Pitoisuudet ja kuormitukset huleveden laadun mittareina

Hulevesien laatua voidaan tarkastella aineiden pitoisuuksina ja parametrien (esim. pH, sähkönjohtokyky, sameus) arvoina tai aineiden kokonaiskuormana. Pitoisuudella voidaan tarkoittaa hetkellistä pitoisuutta, joka kertoo vedenlaadusta juuri kyseisellä ajanottohetkellä. Tämä on tyypillisin mitattu suure esimerkiksi hulevesien tarkkailuohjelmissa, vaikka se kertoo vain hetkellisestä vedenlaadusta.

Yhden sade- tai sulamistapahtuman keskimääräinen pitoisuus eli EMC (event mean concentration) puolestaan kertoo yhden tapahtuman aikana mitattujen

pitoisuuksien virtaamalla painotetun keskimääräisen pitoisuuden. Yhdenkin sade- tai sulamistapahtuman aikana vedenlaatu voi vaihdella moninkertaisesti, joten EMC on luotettavampi arvo hulevesien laadun tarkastelulle kuin hetkellinen pitoisuus. Kirjallisuudessa on esitetty keskimääräisiä EMC-arvoja erilaisille alueille ja maankäyttömuodoille.

SMC (site mean concentration) tarkoittaa tietyllä alueella, esimerkiksi tietyllä maankäyttömuodolla, esiintyvää keskimääräistä pitoisuutta. SMC voidaan määrittää esimerkiksi kattavasta määrästä alueelta mitattuja EMC-arvoja. SMC-arvoja voidaan hyödyntää esimerkiksi kuormitusarvojen määrittämiseen, mikäli huleveden määrä voidaan määrittää laskennallisesti tai mittaamalla.

Kuormitusarvoissa huomioidaan aina pitoisuuden lisäksi vesimäärä ja se kertoo varsinaisen ympäristöön johtuvan haitta-aineen määrän tietyllä ajanjaksolla pinta-alaa kohden, esimerkiksi kg/a/km². Tämä on usein tärkeä arvo hulevesien laatuvaikutusten tarkastelussa. Yksittäiset pitoisuudet voivat vaihdella suuresti ja useiden aineiden osalta pidemmän tarkastelujakson kokonaismäärällä on suurempi merkitys kroonisten vaikutusten näkökulmasta (ks. luku 3). Vedenlaadun pitoisuus voi toki olla myös merkittävä akuuttien vaikutusten näkökulmasta vastaanottavan vesistön kannalta, vaikka pitoisuus olisi vain hetkellisesti korkea (ks. luku 3).

Mikäli huleveden laatua seurataan, on hyvä laatia kattava mittausohjelma ja seurata pitoisuuden lisäksi myös virtaamaa sekä virtaaman ja laadun ajallista muutosta. Muutoin huleveden laatua voidaan arvioida muodostumisalueisiin, päästölähteisiin ja maankäyttömuotoihin pohjautuen, mikäli tarkasteltavan tyyppiseltä alueelta on saatavissa kirjallisuudesta ominaiskuormitusarvoja. Kuormitus- ja pitoisuusarvoihin vaikuttavat paikalliset olosuhteet, kuten ilmasto, maaperä, kasvillisuus, liikenteen ajoneuvokanta, liikenteen määrä ja raskaan liikenteen osuus, liikenneväylien kunnossapidon toimenpiteet, rakennusten materiaalit, ja siten haitta-ainekuormituksen tarkastelussa on suositeltavaa soveltaa samoissa olosuhteissa mitattuja arvoja, esimerkiksi Suomessa pohjoismaisia arvoja.

Haitta-aineiden pitoisuuksien ja huleveden määrän seuraamisessa on toisinaan hyvä mitata pintakerrosvaluntaa, jota tapahtuu myös sade- ja sulamistapahtumien välillä. Pintakerrosvalunnalla tarkoitetaan maaperään imeytynyttä sadevettä, joka kulkee maaperässä ja mahdollisesti purkautuu maaperästä esimerkiksi vastaanottavaan puroon. Usein pintakerrosvalunta on puhtaampaa kuin hulevesivalunta, sillä se on suodattanut maaperän läpi. Pintakerrosvalunta tai pohjavesivalunta voi päätyä suoraan hulevesiverkostonkin sisäänpäin vuotavien epätiivien paineettomien putkien lävitse erityisesti keväällä, jolloin maaperä saattaa olla kyllästynyt lumen sulamisvesistä. Joskus myös pintakerrosvalunta voi sisältää suuria haitta-ainepitoisuuksia esimerkiksi jätevesiverkoston vuodoista johtuen tai esimerkiksi metallien liuetessa maaperästä veteen.

Huleveden pitoisuuksiin ja kokonaiskuorman suureen vaihteluun vaikuttavat useat tekijät. Merkittävimpiä ovat sää sekä sade- tai sulamistapahtuman ominaisuudet (Melanen 1981; LeBoutillier ym., 2000; Brezonik ja Stadelman, 2002; Kayhanian 2007; Brodie ja Dunn, 2010; Valtanen ym., 2015). Pitkän sateettoman ja sulamattoman jakson jälkeen hulevesissä esiintyvien haitta-aineiden pitoisuudet tai kokonaiskuormat ovat usein korkeat. Sadetapahtuman suuri vesimäärä voi laimentaa huleveden haitta-ainepitoisuuksia, mutta sadetapahtuman kokonaiskuorma voi suuren vesimäärän vuoksi olla silti merkittävä. Pienillä sateilla pitoisuudet voivat päinvastoin olla suuria. Sadetapahtuman rankkuus puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka hyvin ja missä vaiheessa sadetta partikkelimuotoinen aines huuhtoutuu tai vettyy ja irtoaa pinnoilta (Uusitalo, 2018). Liuenneessa muodossa olevat aineet huuhtoutuvat helpommin sateen tai sulamisveden mukaan jo tapahtuman alkuvaiheessa (Uusitalo, 2018), mutta varsinainen alkuhuuhtouma on harvinainen ja haitta-ainekohtainen ilmiö, ja siten hulevesien laadunhallinnassa on syytä käsitellä valuntatapahtumien vedet kokonaisuudessaan. Sulamistapahtumat ovat intensiteetiltään pieniä, mutta pitkäkestoisia. Talven vaikutuksista huleveden laatuun kerrotaan tarkemmin luvussa 2.6.

Hulevesien haitta-aineista useat ovat sitoutuneet kiintoaineeseen. Tällöin kiintoainesta hallitsemalla voidaan hallita myös siihen sitoutuneiden aineiden pääsyä ympäristöön.

Suurin osa fosforista ja metalleista (Valtanen ym., 2014a; River ja Richardson, 2018; Gasperi, 2022) ovat yleensä sitoutuneina partikkeleihin, joskin osa on myös liuenneessa muodossa. Roinasin (2022) tutkimuksessa havaittiin, että osa hulevesien PAH-yhdisteistä (erityisesti naftaleeni, pyreeni, fluoranteeni, fenantreeni ja antraseeni) olivat hulevesissä lähes 100 % sitoutuneet kiintoainekseen. Gasperin ym. (2022) katualueiden hulevesien mikropollutanttien tutkimuksessa laaja kirjo orgaanisia haitta-aineita, kuten PAH-yhdisteet, PBDE-yhdisteet, HBCDD ja PFAS-yhdisteet, olivat pääosin sitoutuneet kiintoainekseen. BPA ja alkyylifenoelit olivat kuitenkin suurelta osin liuenneessa muodossa. Mikromuovit itsessään voivat toimia kiintoaineena, joka sitoo haitta-aineita, mutta myös liuenneen haitta-aineen, kiintoainekseen ja mikromuovien välillä voi tapahtua heteroaggregaatiota, jolloin kiintoainekseen sitoo mikromuoveja. Liuenneiden aineiden määrä voi kuitenkin vaihdella alueittain tai maankäyttömuodoittain. Esimerkiksi Valtasen ym. (2014a) tutkimuksessa pientaloalueella suurempi prosenttiosuus metalleista esiintyi liuenneessa muodossa kuin keskusta-alueilla.

2.4 Yleisimpien haitta-aineiden ominaisuuskuormitusarvot ja ominaispitoisuudet

Tähän selvitykseen on koottu eri maankäyttömuotojen haitta-aineiden pitoisuuksia ja kuormitusarvoja 2000- ja 2010-luvuilla Suomessa tehdyistä useamman vuoden kestäneistä tieteellisistä tutkimuksista (taulukko 3 ja 5). Suomessa on tutkittu erityisesti kokonaisten valuma-alueiden vedenlaatua, mikä edustaa tiettyä maankäyttömuotoa. Erilaisista toiminnoista johtuvia päästöjä on kansainvälisesti tutkittu erityisesti liikenteen osalta, sillä se on merkittävimpiä hulevesien laadun heikentäjiä. Liikenteen päästöt kattavat sekä kulkuneuvoista että katujen materiaaleista, kulumisesta ja kunnossapidosta johtuvat päästöt. Yksittäisiä lähteitä on lukuisia, kuten autojen renkaat, pesunesteet, jarrupalat ja pakokaasut. Ruotsalaisilla katualueilla esiintyviä hulevesien pitoisuuksia on koostettu taulukkoon 4. Myös työmaavedet aiheuttavat paljon haitta-ainekuormitusta ja niihin paneudutaan luvussa 2.5.

Taulukko 3. Lahdessa, Espoossa ja Helsingissä 2000–2010-luvuilla kullakin maankäyttömuodolla valuma-alueella useamman vuoden ajalta ympärivuotisesti mitattuja pitoisuuksia (Sillanpää, 2013; Valtanen ym., 2014a; Taka ym., 2017; Taka ym., 2022). Kunkin maankäyttömuodon kohdalla %-luku tarkoittaa vettä läpäisemättömän pinnan osuutta. Osa kokonaismetallien pitoisuuksista on keskiarvoja samalla alueella kahdella eri tavalla eri vuosina mitatuista keskimääräisistä pitoisuuksista (Valtanen ym., 2014a; Taka ym., 2022).

	Yksikkö	Pientalo-alue 19 %	Pientalo-alue 20 %	Pientalo-alue 36 %	Kerrostalo-alue 50 %	Kerrostalo-alue 52 %	Asuin- ja keskusta-alue 60 %	Asuin- ja keskusta-alue 66 %	Keskusta-alue 89 %	
Kokonaistyyppi	µg/l	1270	1600		2400		1700		2050	
Kokonaisfosfori	µg/l	58	82		122		98		98	
Kiintoainese	mg/l	21	40		65		103		185	
NO ₃	µg/l			6,0		7,0		11		
NH ₄	µg/l			24		15		33		
Kloridi	mg/l			9,6		22		76		
TOC	mg/l	3,4					4,2		6,7	
COD	mg/l		7,7		8,5					
Kokonaismetallit	Zn	µg/l	49		20		40	190	45	230
	Cu	µg/l	12,5		8,0		20	19	30	38
	Ni	µg/l	3,2					5,1		6,9
	Pb	µg/l	1,2		3,0		1,5	4,85	1,5	4,4
	Cd	µg/l	0,1					0,1		0,2
	Cr	µg/l	2,2					13		16
	Al	µg/l	905		500		600	4150	100	8290
	Fe	µg/l	600		500		700	4000	500	
	V	µg/l	2,0		1,0		2,5	6,0	4,0	
	Mn	µg/l	16		12		12	55	10	125
Liuenneet metallit	Co	µg/l	0,8					3,0		5,2
	Zn	µg/l			12		22		32	
	Cu	µg/l			6,0		15		28	
	Ni	µg/l								
	Pb	µg/l			0,5		0,1		0,1	
	Cd	µg/l								
	Cr	µg/l			0,5		0,6		0,8	
	Al	µg/l			50		60		45	
	Fe	µg/l			60		70		20	
	V	µg/l			3,0		1,2		2,2	
Mn	µg/l			4,5		1,0		2,0		

Taulukko 4. Ruotsalaisilta katualueilta tehtyjen tieteellisten tutkimusten tuloksia haitta-aineiden pitoisuuksista. (Westerlund ym., 2003; Hallberg ym., 2007; Müller ym., 2022)

	Haitta-aine	Liikennemäärä 120 000 ajoneuvoa/päivä			Liikennemäärä 10 000 ajoneuvoa/päivä			Liikennemäärä 7 400 ajoneuvoa/päivä		
		min	max	keskiarvo / EMC**	min	max	keskiarvo	min	max	EMC
Liukoinen* pitoisuus	TSS			218	190	9800				
	Al	23	30	27	5970	253000				
	As				0,88	60				
	Ba				74	3640				
	Cd	0,09	0,13	0,11	0,05	2,44		0,01	0,07	0,02
	Cr	3,80	7,04	5,42	11,9	800				
	Cu	16,08	23	20	30	1150		2,40	16	3,90
	Fe	13,17	37	25	6,98	480				
	Ni	3,38	4,24	3,81	5,39	370		0,6	2,9	0,77
	Pb	0,09	0,18	0,135	5,38	194		0,1	0,6	0,13
	V				17,6	1140				
	Zn	77	120	98	64	2840		7,1	117	10,46
	Pd				0,30	7,45				
	Rh				0,021	2,00				
	Sb				2,39	33				
	W				41	1860				
	Co	7,10	9,39	8,24						
Mn	65	87	76							
Kokonaispitoisuus**	TSS									325
	Cd							0,07	1,9	0,21
	Cu							14	465	41
	Ni							3,3	177	13,34
	Pb							5,1	168	16,50
	Zn							42	1680	153

*TSS mg/l, muut µg/l

** TSS EMC, muut keskiarvoja

Taulukko 5. Lahdessa, Espoossa ja Helsingissä 2000–2010-luvuilla kullakin maankäyttömuodolla useamman vuoden ajalta ympärivuotisesti mitattuja pitoisuuksia (Sillanpää, 2013; Valtanen, 2015; Taka ym., 2022). Kunkin maankäyttömuodon kohdalla %-luku tarkoittaa vettä läpäisemättömän pinnan osuutta. Osa kokonaismetallien kuormituksista on keskiarvoja samalla alueella kahdella eri tavalla eri vuosina mitatuista keskimääräisistä pitoisuuksista (Valtanen ym., 2014a; Taka ym., 2022).

Kuormitus kg/km ² /a									
		Pien- talo- alue 19 %	Pien- talo- alue 20 %	Pien- talo- alue 36 %	Kerros- talo- alue 50 %	Kerros- talo- alue 52 %	Asuin- ja kes- kusta- alue 60 %	Asuin- ja kes- kusta- alue 60 %	Kes- kusta- alue 89 %
Kokonaistyyppi		260	560		1010		240		380
Kokonaisfosfori		8,1	26		50		47		38
kiintoaines		5300	12900		26700		41000		58000
TOC		770					680		2100
COD			2670		3570				
Kokonaismetallit	Zn	6,75		3,5		11	37,5	20	55
	Cu	1,5		0,8		5,0	3,9	14,2	10
	Ni	0,4					2,0		2,4
	Pb	0,2		0,5		0,6	1,35	0,4	2,0
	Cd			0					
	Cr	0,6		0,2		0,7	2,2	1,1	3,7
	Al	255		80		300	1000	230	1890
	Fe	110		80		380	710	380	
	V	0,3		0,2		1,0	10,8	1,3	30
	Mn	4,0		1,5		5,0	9,0	6,0	
	Co	0,2					0,9		1,4

Maailmanlaajuisesti löytyy tutkittuja pitoisuuksia muistakin haitta-aineista, mutta vaihtelua on paljon mm. aluekohtaisesti. Esimerkiksi kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimuksissa hulevesien ja pintavesien mikromuovipitoisuudet ovat vaihdelleet alle yhdestä hiukkasesta per litra yli 8000 hiukkaseen per litra (esim. Dris ym., 2018; Lange ym., 2022; Liu ym., 2019). Yleisesti tutkimuksissa on todettu, että mitä pienempiä mikromuoveja tutkitaan, sitä korkeampia pitoisuuksia havaitaan. Todelliset määrät voivat olla esitettyjä paljon suurempia, sillä pienimpien mikromuovien havainnointi ja analysointi on vielä haastavaa. Hulevesitutkimuksissa PFAS-yhteispitoisuudeksi on mm. mitattu 14,3–96,0 ng/l (Page ym., 2019), PFOS-pitoisuudeksi 42,5 ng/l ja PFOA-pitoisuudeksi 30,6 ng/l (Houtz ja Sedlak, 2012). Hulevesissä pitoisuudet voivat siis olla Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (Vn 1022/2006) määritettyjä vuosikeskiarvoja (AA-EQS) monikymmenkertaisesti suuremmat. Jo pelkän

sadeveden sisältämät PFAS-pitoisuudet voivat olla merkittäviä, ja itsessään jo ympäristölaatonormit ylittäviä.

2.5 Työmaavedet

Rakennustyömaiden kesto on ajallisesti lyhyt, mutta kuormitus on erittäin intensiivistä. Kiintoainekuormitus muutaman kuukauden rakennusvaiheen ajalta voi olla yhtä suuri kuin 10 vuoden kuormitus rakennetulta alueelta (Leskinen, 2020) tai vähintäänkin moninkertainen verrattuna rakennetun alueen aiheuttamaan kuormitukseen (Koivusalo ja Sillanpää, 2015).

Työmaalla pintamaan poistamisen takia paljastuvan maa-aineksen mukana huuhtoutuu huomattavia määriä kiintoainesta ja siihen sitoutuneita haitta-aineita, kuten ravinteita, ellei työmaalla kiinnitetä asiaan huomiota (kuva 1 ja kuva 2).



Kuva 1. Tyypillistä aluerakentamisen työmaa-aluetta, jossa sulamisvedet pääsevät esteettä huuhtelemaan mukaansa maa-ainesta paljaalta ja löyhtyneeltä maanpinnalta. Valokuva Ramboll / Päivi Paavilainen 2021.

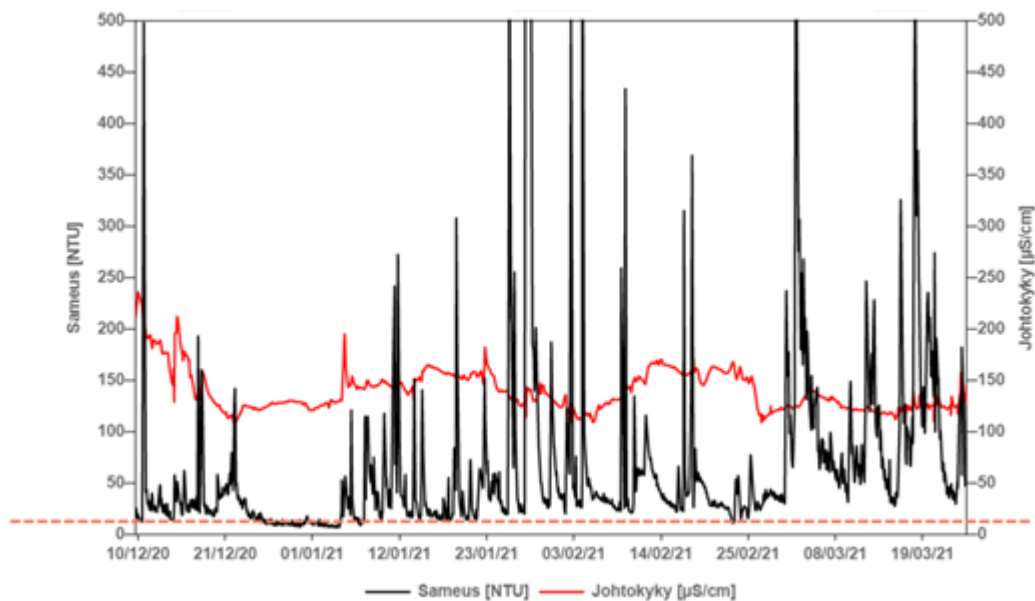


Kuva 2. Myös työmaaliikenne aiheuttaa kiintoaineskuormitusta levittämällä maa-ainesta päällystetyille kaduille, joista se huuhtoutuu hulevesiviemäriin. Työmaaliikenteen aiheuttamaa kuormitusta on mahdollista vähentää antamalla veloitteita työmaaliittymien rakentamisesta karkeasta materiaalista ja katujen säännöllisestä puhdistamisesta kiintoaineksen keräävällä kalustolla. Menetelmiä on kuvattu tarkemmin luvussa 4.5.1. Valokuva Ramboll / Päivi Paavilainen 2022.

Työmaavesistä aiheutuvan kuormituksen erityispiirre on veden erittäin suuri kiintoainespitoisuus. Kiintoaines aiheuttaa alapuolisissa hulevesijärjestelmissä ja lopulta puroissa ja vesistöissä voimakasta samentumista ja liettymistä (kuva 3 ja kuva 4).



Kuva 3. Työmaan alapuolisessa ojassa on talven mittaan kertynyt jääkannen päälle pak-
su kerros lietettä, joka lähtee kevätsulannan mukana liikkeelle alapuolisiin vesistöihin.
Valokuva Ramboll / Lassi Lahti 2022.



Kuva 4. Sameuden ja johtokyvyn jatkuvatoimiset mittaustulokset laajan työmaakohteen
alapuolisessa purossa. Työmaan tauko joulun ja uudenvuoden välisenä aikana näkyy
selvästi sameuden palautumisena luonnollisen taustapitoisuuden, noin 20 NTU tasolle.
Työmaan käynnistyttyä lomakauden jälkeen purovedessä havaitaan jatkuvasti sameus-
piikkejä, joista suurimmat ovat olleet jopa 1200 NTU eli 60-kertaisia perustasoon nähden
(kuvan skaalan ulkopuolella).

Kiintoaines on peräisin sekä rakennustyömaa-alueiden pintamaan poistamisen takia paljastuneesta pohjamaasta että alueilla varastoitavista maa-aineksista ja keskeneräisistä ja valmiista maarakenteista, esimerkiksi pitkäksi aikaa kesken-eräisiksi jätetyistä katu/ojaluiskista sekä valmiista luiskatäytteistä ja kasvualus-toista, joiden eroosiosuojaus on ollut puutteellista.

Paljastuneella, kasvittomalla ja häirityllä maalla, erityisesti kaltevilla pinnoilla ja luiskissa vesi aiheuttaa jatkuvasti eroosiota. Lisäksi valmiissa luiskissa, joille on levitetty löyhä, ravinteikas kasvualusta ja siemenkylvö ilman eroosiosuojausta, voi sadekuuro huuhtoa pahimmillaan koko kasvualustan mennessään (kuva 5). Kiintoaineksen huuhtoutumisen ja eroosion ehkäisyä sekä muita työmaavesien hallintakeinoja on käsitelty luvussa 4.5.1.



Kuva 5. Sadekuuron aiheuttama eroosio on huuhtonut luiskaan levitetyn kasvualustan siemenineen hulevesien imeytys- ja viivytyspainanteen pohjalle. Valokuva Ramboll / Päivi Paavilainen 2012

Huleveden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamia vesistövaikutuksia on käsitelty laajemmin luvussa 3. Alla esitellään lyhyesti erityisesti työmaavesiin liittyviä ongelmia.

Tyypillisesti vaikutuksiltaan selvästi merkittävin työmaavesien sisältämä haitta-aine on kiintoaine, joka on useimmiten peräisin puhtaista maa-aineksista. Kiintoaines aiheuttaa vesistöissä liettymistä ja samentumista, joka jo sellaisenaan haittaa huomattavasti vesistöjen käyttöä sekä ekologista ja virkistysarvoja. Luonnon maa-aineksessa on kiintoainekseen sitoutuneena paikasta ja mineraalikoostumuksesta riippuen myös vaihtelevia määriä fosforia, metalleja ja happamoittavia sedimenttejä tai mineraaleja, kuten sulfidia/sulfaatteja.

Kiintoaineksesta vapautuva fosfori voi aiheuttaa vastaanottavissa vesistöissä rehevöitymistä. Edellytyksenä on, että kiintoaine pääsee liettymään hapettomiin oloihin (esim. järven pohjasedimenttiin), mikä vapauttaa fosforin liukoiseen eli kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Fosforia voi työmaalta huuhtoutua myös suoraan liukoisessa muodossa, jolloin se on usein peräisin esimerkiksi viherrakentamisessa käytetyistä kasvualustoista.

Fosforin lisäksi työmaavesiin voi huuhtoutua myös typpeä, joka on peräisin esimerkiksi louhintatöissä käytettyjen räjähdysaineiden jäämistä. Typpeä voi huuhtoutua myös rakentamisessa käytettävistä kasvualustoista. Typpi esiintyy käytännössä aina liukoisessa muodossa.

Metallien vapautuminen kiintoaineksesta edellyttää useimmiten pH:n muuttumista happamaan suuntaan, mikä voi tapahtua kiintoaineksen joutuessa luonnostaan happamiin olosuhteisiin esimerkiksi suoalueilla tai työmaakuormituksen happamoittaessa vettä.

Happamilla sulfaattimailla sisältävillä alueilla liukoista sulfaattia voi huuhtoutua työmaavesiin. Tällaisissa kohteissa on joissain tapauksissa havaittu työmaavesien aiheuttaneen alapuolisissa järvissä happamoitumista tai sulfaatista aiheutuvan veden tiheyden kasvuun liittyvää pysyvää kerrostuneisuutta. Happamoituminen on johtanut kiintoaineksessa luonnostaan olevien metallien vapautumiseen liukoiseen muotoon eli metallikuormituksen kasvuun vesistöissä, ja pysyvän kerrostumisen muodostuminen on puolestaan aiheuttanut alusveden happikatoa ja siihen liittyvää fosforin vapautumista järven pohjasedimentistä (ns. sisäinen kuormitus). Lopputuloksena on järven rehevöityminen.

Etenkin happamilla sulfaattimailla työmaiden hulevesien käsittelyyn tulee kiinnittää huomiota. Yleensä savi- ja silttimailla maaperän hapettuminen ei ole kovin nopeaa, jolloin lyhytaikaiset kaivannot tai kuivatukset eivät ehdi vaikuttaa maaperän hapettumisolosuhteisiin merkittävästi. Tällöin vesien pH:n seuranta riittää haittojen estämiseksi. Työmaavesien neutralointi tulee tarpeelliseksi pidempiaikaisissa kuivatus- ja kaivuutöissä pH:n säätämiseksi ja metallikuormituksen estämiseksi työmaan alapuolisissa vesistöissä. Mikäli kyseessä on harvinaisempi rantahiekkaesiintymä, jolla on happamoittava vaikutus, voi alhainen pH-arvo esiintyä vesissä välittömästi.

Työmaavesiin liittyy myös erityiskysymyksiä, joihin ei ole toistaiseksi kiinnitetty juurikaan huomiota. Työmailla käsitellään runsaasti betonia, joka pitää työvuo-ron päätteeksi pestä pois koneista ja työkaluista. Pesuvesiä tulee myös esimerkiksi pintakäsittelytöistä. Sementtipitoiset pesuvedet ovat erittäin emäksisiä, ja ympäristölainsäädäntö sääteleekin betonituotetehtaiden ja betoniasemien jätevesiä. Työmailla pienimuotoisemmin tapahtuvaa pesutoimintaa ei tyypillisesti valvota tai säädellä lukuun ottamatta joidenkin kuntien työmaavesiohjeisiin sisältyviä määräyksiä valumavesien pH-rajoista. Työmaat aiheuttavat myös roskien kulkeutumista alapuolisiin vesistöihin, esimerkiksi louhintatöissä louheeseen jäävät räjähdelankojen pätkät ovat aiheuttaneet ongelmia vesistötäytöissä.

Työmaavesien käsittelyä on tarkasteltu lähemmin luvussa 4.5.1. Erityispiirteenä korostuu ennaltaehkäisyn aivan ensisijainen rooli ja varsinaisten käsittelyraken- teiden viimesijaisuus hallintaratkaisuna. Lähtökohtana tulisi ehdottomasti olla likaisten hulevesien syntymisen ehkäisy ja määrän minimointi työmaan menet- telyihin vaikuttamalla.

2.6 Talviolosuhteiden vaikutukset hulevesien laatuun ja laadun vuodenaikaisvaihtelu

Talviolosuhteissa sekä haitta-aineiden pitoisuudet, niiden lähteet ja pitoisuuk- siin vaikuttavat tekijät voivat vaihdella lämpimämpiin vuodenaikoihin nähden. Esimerkiksi polttoaineiden päästöt kasvavat talviaikaan, liukkauden torjunta tuo talven hulevesille mm. kloridin päästölähteen ja lisäksi katujen suolaus lisää ajoneuvojen päästöjä, kun suolauksen ja korroosion myötä ajoneuvoista irtoaa runsaammin metalleja kuin kesäaikaan (Hautala ym., 1995; Bäckström ym., 2003; Hallberg ym., 2007; Marsalek 2003; Reinosdotter, 2007). Lumen auraus ja talvi- renkaat lisäävät puolestaan katujen kulumista ja katumateriaalien johtumista hulevesiin (Armhein ym., 1992; Hallberg ym., 2007). Hiekoitushiekka itsessään lisää kiintoainemääriä vesissä.

Huleveden yksittäisten valuntatapahtumien haitta-aineiden pitoisuuksiin ja kuormiin vaikuttaa Valtasen ym. (2015) mukaan talvella voimakkaimmin valunnan kesto (vrt. kesällä vastaavasti huippuvirtaama), mikä on loogista, sillä talvella sulamisen virtaamat ovat pieniä kesän rankkasadevirtaamiin verraten, ja pitkä- kestoinen sulaminen tarkoittaa usein myös suurempaa valunnan määrää. Kyl- mien vuodenaikojen eli talven ja kevään merkitys hulevesien laadulle on kuitenkin kokonaisuudessaan alue-, haitta-aine- ja vuosikohtaista, mutta tutkimusten pohjalta voidaan yleisesti todeta, että erityisesti kiintoaines, metalli-, typpi- ja kloridipäästöt kasvavat talviaikaan kaupungistuneilla alueilla (Brezonik ja Stadel- mann, 2002; Bäckström ym., 2003; Westerlund ym., 2003; Westerlund ja Viklan- der, 2006; Helmreich ym., 2010; Valtanen 2014a, 2015). Lisäksi erityisesti hule- vesien haitta-aineiden kokonaiskuormitusta tarkasteltaessa on kevätsulannalla kaikenlaisilla kaupunkialueilla suuri merkitys vuosittaisessa haitta-ainekuormas- sa. Kuitenkin mitä kaupungistuneemmalle alueelle siirrytään, sitä merkitykselli-

semäksi kasvaa myös kasvukauden rooli ja sitä enemmän haitta-ainekuormitus jakaantuu koko vuodelle. Tämä ilmiö liittyy hulevesien määrän vaihteluun vuodenaikojen välillä.

Kuten aiemmissa luvuissa on jo kerrottu, hulevesien määrä ja laatu linkittyvät vahvasti toisiinsa. Myös hulevesien määrä vaihtelee vuodenajan mukaan ja sen myötä hulevesien haitta-ainekuorma. Kylmien vuodenaikojen aiheuttamat muutokset huleveden määrässä puolestaan vaihtelevat alueen mukaan. Pientaloalueella, jossa läpäisemättömän pinnan määrä on vähäinen, on luonnontilaisia alueita mukailleen pitkään kestävä kevätvalunta merkittävässä asemassa. Tällöin pitoisuudet saattavat olla pieniä suuren vesimäärän aiheuttamasta laimenemisestä johtuen, mutta alueelta muutaman viikon sisään purkautuva kokonaiskuorma suuri. Esimerkiksi Valtasen (2015) tutkimuksessa suurin osa vuosittaisesta haitta-aineiden kokonaiskuormasta tapahtui pientaloalueella keväällä. Hyvin paljon läpäisemätöntä pintaa sisältävillä keskusta-alueilla sulamisvesiä voi puolestaan muodostua pitkin talvea ja kevättä aika ajoin pieniä määriä. Tämä johtuu keskustojen lämpösaarekeilmiöstä ja katujen suolauksesta. Siten keskustan sulamisvedet esiintyvät lyhyempinä ja pienempinä tapahtumina ja pidemmällä ajanjaksolla kuin pientaloalueella.

Tiiviisti rakennetuilla alueilla sulamisvesien määrään ja siten haitta-ainekuormaan voi lumisina talvina lisäksi vaikuttaa olennaisesti lumen poiskuljetus alueelta. Esimerkiksi Valtasen ym. (2014b) tutkimuksessa havaittiin, että lumenkuljetuksesta johtuen tiiviillä keskusta-alueella valunta/sadantasuhde pienehi kylminä kuukausina kasvukauteen verraten. Samalla kuitenkin havaittiin, että vesien käsittely olisi korkeiden talviaikaisten pitoisuuksien vuoksi tärkeää.

Edellä mainitut alueelliset tekijät vaikuttavat hulevesien laadunhallinnan menetelmien valintaan ja mitoittamiseen (esim. pitkäkestoinen kevät sulanta) sekä laadunhallinnan vuodenaikaiseen kohdentamiseen kylmässä ilmastossa. Myös auratun lumen käsittelyyn esimerkiksi lumen vastaanotto paikoilla kannattaa kiinnittää huomiota, sillä lumi on usein aurattu likaisimmilta alueilta, kuten kaduilta ja pysäköintialueilta sekä erityisesti tiiviisti rakennetuilta alueilta tai vilkkaasti liikennöidyiltä kaduilta, joissa haitta-aineita esiintyy runsaasti. Lumeen on suomalaisissa tutkimuksissa havaittu kertyneen mm. kiintoainetta, ravinteita, metalleja, PAH-yhdisteitä, PCB-yhdisteitä, mikromuoveja sekä laaja kirjo roskia, kuten asfalttipäällysteistä ja tiemerkin t ä m ä a a l e i s t a i r r o n n e i t a p a r t i k k e l e i t a j a p a p e r i - , m u o v i - j a k u m i r o s k i a (H a u t a l a y m . , 1 9 9 5 ; S a m p o s a l o , 2 0 0 7 ; S i l l a n p ä ä j a K o i v u s a l o , 2 0 1 3 ; K u o p p a m ä k i y m . , 2 0 1 4 ; P i k k a r a i n e n , 2 0 1 7) . L u m i o n h u l e v e s i i n p ä ä t y v i e n h a i t t a - a i n e i d e n v a r a s t o j a m i k ä l i n ä m ä v a r a s t o t k e r ä t ä ä n k e s k i t e t t y i h i n p a i k k o i h i n , o n s u l a m i s v e s i ä m a h d o l l i s u u s k ä s i t e l l ä k e s k i t e t y s t i .

3 Hulevesien kuormituksen aiheuttamat vaikutukset

3.1 Purkuvesistöjen kyky vastaanottaa kuormitusta

Hulevesikuormituksen pintavesivaikutusten arvioinnissa ja hulevesien hallinnan suunnittelussa on huomioitava kohdevesistön herkkyyteen vaikuttavat tekijät, joita ovat mm. valuma-alueen ja vesistön hydrologiset ominaisuudet, vesistön luonnonsuojeluun liittyvät näkökohdat sekä vesien- ja merenhoito. Herkkyyden määrittely edellyttää riittävää tietoa vesistön nykytilasta.

Hulevesikuormituksen pintavesivaikutuksia arvioitaessa on huomioitava vaikutuskohteen herkkyys. Herkkyyteen vaikuttaa mm. se, kuinka altis vaikutuskohde on muutoksille, miten vesistö sietää kuormitusta, minkälainen yhteiskunnallinen merkitys kohteella on (esim. luonto- ja virkistyskäyttöarvot) tai liittyykö kohteeseen lainsäädännöllistä ohjausta (esim. vesilain mukaiset eräät vesiluontotyyppit). Muita herkkyyteen vaikuttavia asioita ovat mm. vesistön hydrologiset ja biologiset ominaisuudet. Herkkyyteen vaikuttavia tekijöitä on koottu seuraavaan kuvaan (kuva 6).

Hulevesien hallinnan suunnittelussa tulee huomioida lähivesistöjen ominaisuudet ja herkkyys sekä mitoittaa käsittely siten, ettei merkittäviä vesistövaikutuksia muodostu. Suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon vesien- ja merenhoidon suunnitelmissa esitetyt tavoitteet vesimuodostumille.

Valuma-alueen pinta-alan pieneneminen lisää herkkyttä

Vesistön koko: suuret vesistöt (suuret järvet, joet, merialue) ovat usein vähemmän herkkiä kuin pienet vesistöt (mm. norot, purot, pienet järvet, lammet)

Veden viipymä: pitkäviipymäiset vesistöt ovat lyhytviipymäisiä herkempiä. Pitkä viipymä heikentää veden vaihtuvuutta ja sekoitusolosuhteita

Avoimuus ja topografia: vesistön suojaisuus ja topografiset erityisominaisuudet (esim. syvä ja kapea vesistö, jossa tuulen sekoittava vaikutus on heikko) lisäävät kohteen herkkyttä

Suojeluarvot: kohteen suojelliset arvot (Natura 2000 -alueet, luonnon-suojelualueet, suojeluohjelma-alueet, kansallispuistot, suojeltujen lajien esiintyminen) lisäävät herkkyttä

Lainsäädäntö: mm. vesilain 2 luvun 11 §:n vesiluontotyyppien (flada, kluuvijärvi, lähde, muualla kuin Lapin maakunnassa esiintyvä noro, enintään 1 ha suuruinen lampi/järvi) esiintyminen lisää herkkyttä

Vesien- ja merienhoito: luokitellun pintavesiluodostuman ekologinen ja kemiallinen tila ei suoraan kuvaa vesistön herkkyttä. Lisäkuormitukselle herkiksi voidaan kuitenkin katsoa vesimuodostumat, jotka eivät ole saavuttaneet hyvää ekologista tilaa tai joiden tila on vaarassa heikentyä. Lisäkuormitus ei saa olla tasolla, mikä voisi heikentää vesimuodostuman tilaa tai estää/vaarantaa hyvän tilan saavuttamisen

Biologiset näkökohdat: rehevyytason pieneneminen lisää herkkyttä (karut, luonnontilaiset vesistöt)

Vesistön käyttö: suuri virkistyskäyttöarvo tai vedenotto ovat herkkyttä lisääviä tekijöitä

Kuva 6. Kohdevesistön herkkyteen vaikuttavia yleisiä kriteereitä, joiden perusteella voidaan arvioida kohteen sietokykyä muutoksille sekä sitä minkälaisia hulevesien hallintamenetelmiä tulisi suunnitella, jotta vaikutukset eivät nouse liian suuriksi kulloisenkin kohteen sietokyvylle.

Vesistön sietokykyä ja herkkyyttä arvioitaessa on tunnettava riittävän hyvin vesistön nykytila. Erityisesti on huomioitava seikkoja, joita on koottu yllä olevaan kuvaan (kuva 6). Tietyin vesistön herkkyuden arvioimiseksi tulee myös etsiä tietoa vesistön kemiallisesta tilasta ja tarvittaessa kartoittaa purkuvesistön nykytila vedenlaadun perusmuuttujien (esim. ravinteet, kiintoaine, sameus, sähkönjohtavuus, pH ja alkaliteetti, happi) sekä mm. haitta-aineiden osalta.

3.2 Akuutit ja krooniset vesistövaikutukset

Hulevesikuormituksen vaikutukset voidaan jakaa lyhytaikaisiin akuutteihin vaikutuksiin, joita ovat esimerkiksi vesistön hygieenisen tilan nopea heikkeneminen rankkasateen aiheuttaman sekaviemärin ylivuototilanteen seurauksesta ja kroonisiin vaikutuksiin, jotka ilmenevät pitkällä aikavälillä. Esimerkkinä kroonisesta vaikutuksesta on hiljalleen etenevä vesistön rehevöityminen.

Hulevesikuormituksesta aiheutuvat pintavesiin kohdistuvat laadulliset vaikutukset voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, akuutteihin ja kroonisiin (Harremoës, 1988). Akuutit laatuvaikutukset ovat lyhytaikaisia ja kestävät tyypillisesti muutamista tunneista päiviin. Ne ovat seurausta hetkellisistä kuormituspiikeistä, jotka voivat vesistöä riippuen aiheuttaa havaittavan pitoisuusnousun kohdevesistössä. Vaikutuksen intensiivisyys riippuu hulevesien muodostumisalueen ja sadetapahtuman ominaisuuksista, sekä osaltaan myös vastaanottavan vesistön piirteistä (ks. kuva 6). Esimerkiksi pienessä kaupunkipurossa tai pitkäviipymäisessä pienessä vesistössä hetkellinen pitoisuusnousu on suurempi ja siten merkittävämpi ja helpommin havaittavissa verrattuna vesistöön, jonka virtaama tai tilavuus on suuri. Tyypillisesti pitoisuudet laimenevat suhteellisen nopeasti kuormituksen palauduttua piikkiä edeltäneelle tasolle. Akuutteja vaikutuksia voivat olla esimerkiksi rankkasateen aiheuttama ylivuoto sekaviemäröidyltä alueelta, joka kulkeutuessaan lähipuroon tai muuhun vesistöön, saattaa aiheuttaa äkillisen kalakuoleman tai veden hygieenisen tilan heikentymisen, mikä uimarannalla voi johtaa uintikieltoon. Haitta-aineen esiintymismuodolla on myös yhteys mahdollisen vesistövaikutuksen muodostumiseen. Merkittävä liukoisessa muodossa olevan aineen kuormituspiikki voi aiheuttaa akuutteja vaikutuksia, mutta toisaalta kiintoaineessa sitoutuneena olevien aineiden vaikutusten arvioidaan olevan lähinnä kroonisia.

Krooniset vaikutukset ovat seurausta pitkällä aikavälillä tapahtuvasta kuormituksesta ja kesto voi vaihdella kuukausista vuosikymmeniin. Kroonisia vesistövaikutuksia ovat mm. liiallisen ravinnekuormituksen aiheuttama vähitellen etenevä rehevöityminen tai haitta-aineiden kertyminen pohjasedimentteihin. Hulevesien ainepitoisuudet (mm. ravinteet, kiintoaine, haitalliset aineet) ovat tyypillisesti pieniä, mutta määrällisesti vettä voi muodostua paljon, jolloin kuor-

mitus saattaa pitkällä aikavälillä ylittää vastaanottavan vesistön sietokyvyn, mikä nähdään muutoksena vesistön tilassa. Tyypillistä tällaisille vaikutuksille on, että syy-seuraussuhteet ovat hankalia todentaa. Tällä tarkoitetaan, että huleveden hetkellisen laadunvaihtelun, sadetapahtuman ja ympäristövaikutuksen suoran yhteyden osoittaminen ei usein ole mahdollista.

Tutkimuksissa hulevesien haitta-ainepitoisuuksien on usein havaittu olevan pieniä. Hulevesien haitalliset vaikutukset ovatkin siten enimmäkseen kroonisia ja haittavaikutukset havaitaan mm. purkuvesistön pohjasedimentin haitta-aineiden kohonneina pitoisuuksina tai jonkin kriittisen vedenlaatutekijän raja-arvon/suosituksen ylittymisenä. Hulevesien laatua ja hulevesissä olevien haitallisten aineiden päästölähteitä on käsitelty luvussa 2.

3.3 Huleveden sisältämien aineiden vaikutukset vesiympäristössä

Hulevedet sisältävät laajan kirjon erilaisia aineita. Osa näistä aineista, kuten ravinteet ja ulosteperäiset bakteerit vaikuttavat vedenlaatuun (rehvöityminen) ja veden käyttökelpoisuuteen esimerkiksi uimiseen (hygieeninen laatu), kun taas osalla aineista, esimerkiksi raskasmetalleilla tai orgaanisilla haitta-aineilla voi olla ekotoksikologisia vaikutuksia vesieliöstöön, minkä vuoksi monille haitallisille ja vaarallisille aineille on asetettu ympäristölaatumormeja tai vastaavia suosituksia.

3.3.1 Ravinne- ja kiintoainekuormitus ja hygieeninen laatu

Hulevesi sisältää laajan kirjon erilaisia aineita, joista kaikilla ei varsinaisesti ole suoria ekotoksikologisia vaikutuksia, mutta joiden liiallinen kuormitus pitkällä aikavälillä aiheuttaa vesiympäristön tilan heikentymistä. Tällaisia ovat esimerkiksi kiintoaine ja ravinteet (taulukko 6).

Taulukko 6. Esimerkkejä veden fysikaaliskemiallisen laadun vaikutuksista pintavesiin.

Haitallinen aine	Esimerkkejä vaikutusmekanismeista ja mahdollisista vesistöihin kohdistuvista abioottisista ja bioottisista vaikutuksista
Kiintoaine	<p>Alkuperältään orgaanista ja/tai epäorgaanista</p> <p>Pitoisuusnousu aiheuttaa veden samenemista ja valon tunkeutumissyvyyden pienenemistä</p> <ul style="list-style-type: none"> - rannikkoalueilla makrofytytien (makrolevät ja vesikasvit) elinolosuhteiden heikentyminen - voimakas kiintoainekuormitus saattaa mataloittaa esim. puroissa olevia syvänteitä - valon määrän vähenemisen vaikutus näön varassa saalistavien kalojen ja poikasvaiheiden ravinnonhankintaan - kiintoainehiukkaset saattavat vahingoittaa kalojen kiduksia ja limapeitettä aiheuttaen hengityksen vaikeutumista ja stressiä <p>Sedimentoitumisen aiheuttama pohjien liettyminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - heikentää pohjaeläinyhteisöiden tilaa (virtavesissä esim. simpukoiden herkäät nuoruusvaiheet voivat kärsiä soraikon liettymisestä, pohjaeläinyhteisön muutokset) - kalojen kutusoraikkojen tukkeutuminen, mikä lisää mädin kuolleisuutta hapensaannin heikentyessä <p>Orgaanisen aineen kuormitus lisää vesistössä hapenkulutusta</p> <ul style="list-style-type: none"> - sisäinen ravinnekuormitus - happivajeen aiheuttamat mahdolliset kalakuolemat ja lisääntymisalueiden taantuminen - pohjaeläimistön tilan heikentyminen
Fosfori- ja typpiravinteet (osa ravinteista on sitoutuneena kiintoainekseen ja osa liukoisessa muodossa, joka on suoraan käytettävissä perustuotantoon)	<p>Vaikutukset osittain samankaltaisia kuin on kuvattu kiintoaineen osalta</p> <p>Rehevöitymisellä on moninaisia vaikutuksia mm. sameustason kohoaminen, umpeenkasvu, leväkukinnat, hapenkulutuksen kasvu orgaanisen hajotustoiminnan lisääntyessä ja siitä seuraava happivaje sekä sisäinen kuormitus, yhteisöjen lajistomuutokset, joista esimerkkinä alhaisia happipitoisuuksia sietävien lajien runsastuminen</p> <p>Lajistomuutokset voivat heijastua ravintoverkon eri tasoille (ravintoverkon toiminnallisuuden heikentyminen) ja pienentää vesiympäristön monimuotoisuutta</p>
Koliformit bakteerit, virukset	<p>Veden hygieenisen laadun heikentyminen</p> <p>Veden välityksellä leviävät sairaudet</p>
pH	<p>Rakentamis- tai maanmuokkaustoimet happamilla sulfaattimailloilla voivat aiheuttaa maaperän happamoitumista ja happaman valunnan muodostumista, mikäli asiaa ei tunnusteta ja huomioida suunnittelussa ja toteutuksessa</p> <p>Hapan valunta lisää purkuvesistön happamuutta sekä metallien kulkeutumista vesistöön, mistä voi aiheutua yksipuolistumista kasvien ja eliöstöjen osalta ja pahimmillaan laajoja kalakuolemia</p> <p>Alhaisella pH:lla on myös vaikutuksia infrarakenteisiin, kuten betoni- ja teräsmateriaalien kestävyys</p>

3.3.2 Haitallisten ja vaarallisten aineiden vaikutukset

Osa huleveden sisältämistä aineista on haitallisia ja voi päätyä huleveden mukana purkuvesistöön. Osalle näistä aineista on saatavilla luonnonvesille määritellyjä raja-arvoja tai laatusuosituksia, joista osa on lainsäädännön piirissä.

Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (Vn 1022/2006) on tietyille haitta-aineille asetettu ympäristölaatu­normit (vuosikeskiarvo, AA-EQS ja sallittu enimmäispitoisuus, MAC-EQS), jotka eivät saa ylittyä pintavesissä. Asetuksen tavoitteena on suojella pinta- ja pohjavesiä sekä merivesiä ja parantaa niiden laatua ehkäisemällä vaarallisista ja haitallisista aineista aiheutuvaa pilaantumista. Asetusta sovelletaan vesilaissa (587/2011) tarkoitettuun vesistöön, noroon, ojaan ja pohjaveteen sekä Suomen aluevesiin ja talousvyöhykkeeseen. Vesilaissa vesistöllä tarkoitetaan järveä, lampea, jokea, puroa ja muuta luonnollista vesialuetta sekä tekojärveä, kanavaa ja muuta vastaavaa keinotekoisista vesialuetta. Asetuksen raja-arvoja ei voida soveltaa hulevesiin, mutta niitä voidaan käyttää vertailevasti, kun arvioidaan hulevesikuormituksen potentiaalisia vaikutuksia vesistöön. Lisäksi monille hulevesissä esiintyville aineille on saatavissa muita viitearvoja, joiden perusteella riskiä vesieliöstölle koituville haittavaikutuksille voidaan arvioida. Mikäli ympäristölaatu­normit ja muut sovellettavissa olevat viitearvot alittuvat selvästi hulevedessä, arvioidaan pintavesien pilaantumisriskin olevan vähäinen.

Aineiden ekotoksisuudesta ja mm. aineiden arvioiduista haitattomista pitoisuuksista (PNEC), havaituista haitattomista pitoisuuksista (NOEC) ja alhaisimmista pitoisuuksista, joiden on testeissä havaittu aiheuttavan vaikutuksia (LOEC) voidaan hakea tietoa yleisesti käytetyistä tietokannoista. Tietokantoja ovat mm. Euroopan kemikaaliviraston rekisteri (ECHA Registration Dossier), United States Environmental Protection Agency (USEPA) haitta-aineita koskeva rekisteri ja ohjeet, Hazardous Substance Data Bank (HSBD) rekisteri sekä Canadian Council of Ministers of the Environment ohjeet (ECHA, USEPA, HSBD, CCME).

Seuraavaan taulukkoon (taulukko 7) on kerätty yleisesti hulevesissä esiintyviä alkuaineita tai kemikaaleja, joilla on vesiympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia.

Taulukko 7. Esimerkkejä haitallisten aineiden mahdollisista vesistöihin tai vesieliöstöön kohdistuvista vaikutuksista.

Haitallinen aine	Esimerkkejä mahdollisista vesistöihin kohdistuvista abioottisista ja biotiisista vaikutuksista
Suolat, mm. sulfaatti ja kloridi	Liian suurina pitoisuuksina esiintyessään ovat erityisesti makean veden eliöstölle haitallisia, koska suolat vaikuttavat mm. eliöiden kykyyn säädellä nestetasapainoa Makean veden eliöstölle on olemassa sulfaattipitoisuuden suositusraja-arvoja Suolaisen veden kertyminen voi aiheuttaa luontaista voimakkaampaa tiheyskerrostuneisuutta (erityisesti pienissä makeavetisissä vesistöissä), mikä voi johtaa alusveden happivajeen muodostumiseen sekä lisätä vesistön herkkyyttä muille haitta-aineille sekoittumisolojen heikentyessä
Metallit (mm. Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Al, Fe, V, Mn)	Myrkyllisiä vesieliöstölle, ekotoksisuuden aste ja vaikutustapa vaihtelevat, osa metalleista kertyy ravintoverkossa Metallien biosaataavuuteen vaikuttaa niiden reaktiivisuus ja kyky muodostaa sidoksia epäorgaanisten ja orgaanisten aineiden kanssa. Biosaataavuuteen vaikuttavat lisäksi monet vedenlaadun tekijät, mm. metallin liuennut pitoisuus vesistöissä, liunneen orgaanisen hiilen pitoisuus (DOC), kalsiumpitoisuus ja pH. Erityisesti liukoiset, biosaataavassa muodossa olevat metallit voivat aiheuttaa akuutteja/kroonisia vaikutuksia, jotka ilmenevät mm. solutasolla ja vaikuttavat esim. vesieliöiden kasvuun ja kehitykseen Nikkelille, kadmiumille, lyijylle ja elohopealle on asetettu pintaveden ympäristönlaatunormit (Vn 1022/2006), jotka eivät saa ylittyä
Öljyt ja rasvat, polyaromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet)	Vesiympäristössä bentso(a)pyreeniä voidaan pitää muiden PAH-yhdisteiden indikaattorina ja sille on säädetty ympäristönlaatunormi (ahven/silakka). Myös muutamille muille PAH-yhdisteille on asetettu ympäristönlaatunormi. Bioakkumulaatio (kertyminen) ravintoverkossa ja siitä johtuvat seuraukset Myrkyllisiä kaloille ja muille vesieliöille. Solutason haittavaikutuksia mm. karsinogeeniset ja genotoksiset vaikutukset (esim. yksilönkehityksessä tapahtuvat mutaatiot)
PFAS-yhdisteet (per- ja polyfluoratut alkylyyhdisteet)	Toksisuuteen vaikuttaa yhdisteiden kemiallisten sidosten pituus ja rakenne, sekä pitoisuudet vedessä. Yhdisteet ovat erittäin pysyviä ympäristössä. Yhdisteille on asetettu ympäristönlaatunormi Vaikutuksia voivat olla lisääntymis- ja kehityshäiriöt, sukupuoli- ja kilpirauhashormonitoiminnan häiriöt, immuunijärjestelmän häiriöt sekä muut solutaso vaikutukset
Mikromuovit	Esiintyvät laajasti vesistöissä ja hajoavat hitaasti Mikromuovit kertyvät biosaataavuutensa vuoksi ravintoverkossa Haitallisia vaikutuksia aiheutuu partikkelien fysikaalisista vaikutuksista, mutta myös muovin sisältämistä lisäaineiden kemiallisista vaikutuksista Akuutit haittavaikutukset vesieliöissä epätodennäköisiä, koska mikromuovipitoisuudet ovat suhteellisen alhaisia Kroonisia vaikutuksia mm. kaloille, joita voivat olla käyttäytymismuutokset, neurotoksisuus, poikastuotannon vähentyminen, hidastunut kasvu Mikromuovihiukkaset aiheuttavat myös haitallisia epäsuoria yhteisvaikutuksia sitomalla itseensä ympäristön muita haitallisia yhdisteitä, kuten raskasmetalleja

Suolat (sulfaatti): Meays ja Nordin, 2013; Sahlin ja Ågerstrand, 2018

Metallit: Ecotox Knowledgebase -tietokanta; ECHA; Reinikainen, 2007; Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000

PAH-yhdisteet: Honda ja Suzuki, 2020

Mikromuovit: Issac ja Kandasubramanian, 2021; Guilhermino ym., 2021; THL 2022a

PFAS: Lewis ym., 2022; Costello ym., 2022; Coperchini ym., 2021; Margolis ym., 2021; Tarapore ym., 2021

Lisäksi hulevesissä voi esiintyä laajasti erilaisia muita yhdisteitä. Tällaisia ovat mm. haihtuvat hiilivedyt (VOC-yhdisteet), alkyylifenolit, perfluorokarboksylaatit, polybromatut difeenyylietterit (PBDE-aineet) ja torjunta-aineet. Hulevesissä mahdollisesti esiintyvät aineet on esitetty taulukossa 2. Näistä mm. PBDE-aineet ovat hyvin pysyviä ja kertyvät ravintoverkossa. Vesienhoidon 3. suunnittelukauden kemiallisen tilan luokittelussa kaikkien Suomen pintavesien tila on arvioitu hyvää huonommaksi PBDE-aineiden tiukentuneen ympäristölaatunormin takia.

3.4 Määrälliset vaikutukset

Laatuvaikutusten lisäksi kaupunkialueilta tulevalla hulevesivalunnalla voi myös olla määrällisiä vaikutuksia purkuvesistössä. Vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alan kasvu lisää hulevesivaluntaa ja virtaamaa, joka päättyy lähialueen vesistöihin. Purovesistöissä hulevedet voivat kasvattaa ylivirtaamaa ja äärevöittää virtaamia, jolloin eroosio lisääntyy. Tästä aiheutuu kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista purouomaan, mikä heikentää vedenlaatua. Läpäisemättömien pintojen lisääntyminen pienentää pohjaveden muodostumista, millä saattaa olla purovirtaamia pienentävä vaikutus kesällä kuivina aikoina. (esim. Chithra ym., 2015)

3.5 Pohjavesivaikutukset

Rakentaminen voi vaikuttaa pohjaveden laatuun ja muodostuvan pohjaveden määrään. Muodostuvan pohjaveden määrä voi vähentyä, kun rakennetun pinta-alan kasvaessa pienempi osa sade- ja sulamisvesistä imeytyy vettä johtavien maalajien alueilla maaperään muodostaen pohjavettä. Merkittävimmät vaikutukset pohjaveden määrään aiheutuvat silloin, jos hulevesiä kerätään ja johdetaan pois pohjavesialueilta. Pohjavedenpinnan vaihtelut voivat myös vaikuttaa esimerkiksi pohjaveden virtaussuuntiin ja pohjaveden laatuun. Vaikutusta voidaan pienentää imeyttämällä hulevesiä suunnitelmallisesti maaperään. Pohjaveden laatu voi kuitenkin heikentyä, mikäli imeytettävät hulevedet ovat epäpuhtaita, eli ne esimerkiksi sisältävät haitta-aineita korkeina pitoisuuksina. Luokitellulla pohjavesialueella suositellaan imeytettäväksi ainoastaan puhtaita hulevesiä, ja likaantuneet hulevedet tulisi puhdistaa tai johtaa pohjavesialueen ulkopuolelle ennen niiden imeyttämistä maaperään. Mikäli maaperä ei mahdollista hulevesien imeyttämistä, voi hulevedet viivyttaa painanteissa, kosteikoissa, (biosuodatus-) altaissa, viherkatoilla tai muissa hulevesien hallintarakenteissa ennen johtamista eteenpäin.

Mahdollisten pohjaveden laatua heikentävien aineiden kulkeutumiseen pohjavesikerrokseen vaikuttavat haitta-aineen ominaisuudet, maaperän ominaisuudet ja ilmastotekijät, kuten sadanta ja lämpötila. Useista kulkeutumiseen vaikuttavista tekijöistä johtuen hulevesien imeyttämisen riskiä pohjaveden laadulle on suositeltavaa tarkastella tapaus- ja kohdekohtaisesti suunnittelun yhteydessä.

Tyypillisesti haitta-aineet liikkuvat parhaiten hyvin vettä johtavissa maalajeissa, kuten sorassa ja hiekassa, joissa pohjaveden virtaus on nopeampaa ja haitta-aineiden vuorovaikutus maaperän kanssa vähäisempää, kuin heikommin vettä johtavien maalajien alueilla (GTK, 2000). Joillakin haitta-aineilla voi kuitenkin esimerkiksi olla toista haitta-ainetta suurempi taipumus pidäytyä maakerrokseen tai hajota biologisesti maaperässä. Jo valmiiksi haitta-aineilla pilaantuneessa maaperässä hulevesien imeyttäminen voi aiheuttaa lisääntyvää haitta-aineiden kulkeutumista pohjavesikerrokseen. Hulevesisuunnittelussa tulisi huomioida myös mahdollinen pintavesiin johdettavien epäpuhtaiden hulevesien vaikutus pohjaveteen erityisesti pohjavesialueilla tai niiden välittömässä läheisyydessä, jos rantaimetyminen on mahdollista, eli pintaveden vedenpinta on pohjavettä korkeammalla. Myös ojiin johdettavista hulevesistä voi imeytyä haitta-aineita pohjaveteen.

Yleinen hulevesien kautta pohjaveteen kulkeutuva pohjaveden laatua heikentävä aine on kloridi, joka usein on peräisin liukkaudentorjunnassa käytettävästä tiesuolasta. Kloridi liukenee hyvin veteen ja kulkeutuu tehokkaasti pohjavesikerrokseen, minkä vuoksi pohjavesialueilla on suositeltavaa korvata natriumkloridi vähemmän haitallisella aineella, kuten kaliumformiaatilla.

Happamien sulfaattimaiden alueilla mahdollisten happamien hulevesien imeyttäminen voi lisätä metallien liukenemista maaperästä pohjaveteen. Useimmat raskasmetallit, kuten kadmium, koboltti, kromi, kupari, sinkki, nikkeli ja lyijy pidäytyvät maaperään tehokkaimmin neutraaleissa tai emäksisissä oloissa ja muuttuvat liukoiseen muotoon pH:n laskiessa (GTK, 2000). Happamat hulevedet voivat myös jo ennen imeyttämistä sisältää kohonneita raskasmetallipitoisuuksia. Myös PFAS-yhdisteitä löytyy pohjavesistä, sillä useat PFAS-yhdisteet voivat läpäistä maaperän ja päätyä pohjavesiin sadeveden mukana. Pohjavesissä voi esiintyä hyvinkin suuria, jopa 80 000 ng/l pitoisuuksia, jos maaperä on saastunut PFAS-yhdisteistä. Tämä voi olla mahdollista esimerkiksi paloharjoitusalueella, jos sammutusvedet pääsevät imeytymään pohjaveteen.

4 Hulevesien laadunhallinta

4.1 Laadunhallinnan tarpeen arviointi

4.1.1 Valuma-alue selvitys laadunhallinnan tarpeen arvioinnissa

Hulevesien laadunhallinnan tarpeen arviointi tulee tehdä maankäytön suunnittelun yhteydessä, jolloin tarkastellaan:

- Nykyinen maankäyttö ja maankäytön muutokset
- Vastaanottavan vesistön erityispiirteet ja herkkyys
- Pohjavesialueet ja vedenotto
- Alueen maaperä ja topografia
- Laadun tavoitteiden määrittely
- Laadunhallinnan mallinnus tarvittaessa

Valuma-alueen selvityksessä kartoitetaan laadunhallinnan tarpeet maankäyttöön, läpäisemättömän pinnan määrään, alueen olosuhteisiin (maaperä ym.), vedenlaadun seurantaan ja vastaanottavan vesistön tietoihin perustuen. Tällöin saadaan kohdennettua kustannustehokkaasti oikeanlaiset toimenpiteet soveltuvaan paikkaan ja määritettyä laadunhallinnan tavoitetaso suhteessa paikkaan ja käytettävissä olevaan tilaan. Selvityksen perusteella nähdään, missä laadunhallinnan tarve on suurin ja toisaalta, millä alueilla rakenteiden vaikuttavuus on suurin. Valuma-alueen selvityksen tarve maankäytön suunnittelun ohjaamiseen nousi myös esille selvityksen yhteydessä pidetyssä työpajassa. Suunnittelukohteen sijaitessa sulfidimaa-alueella, tulee aina pohtia tarve tehdä tutkimuksia happamien sulfaattimaiden esiintymisen selvittämiseksi (Autiola ym., 2022). Maankäytön suunnittelusta ja erilaisten menetelmien vaatimista tilavarauksista on kerrottu luvussa 4.2.1.

Maankäytön ja alueen ominaisuuksien, kuten maaperän ja eroosioherkkyyden perusteella arvioidaan vastaanottavaan vesistöön kulkeutuvien hulevesien laatua. Erilaisilta alueilta muodostuvien hulevesien laatua on käsitelty luvussa 2.2. Alueelta voidaan valumavesien laadun nykytilasta ottaa myös näytteitä, mutta samalla on muistettava, että yksittäiset näytteet antavat suppean kuvan vedenlaadusta. Siten maankäyttöön perustuva vedenlaadun arviointi on lisänä usein tarpeen ja sen avulla voidaan arvioida myös rakentamisen jälkeen alueelta muodostuvaa hulevesien laatua.

Hulevesimäärän vähentäminen ja suunniteltavan alueen vettä läpäisevien pintojen maksimointi vaikuttavat suoraan alueelta tulevaan kuormitukseen ja hulevesien laadunhallinnan tarpeeseen. Tärkeintä on vähentää hulevesien muodostumista syntypaikallaan, sillä hulevesivalunnan vähentäminen on pääsääntöisesti edullisempaa ja ekotehokkaampaa kuin hulevesien hallintarakenteiden rakentaminen (hajautetut hulevesien hallintarakenteet luvussa 4.2.). Veden määrän vähentämisen lisäksi on hyvä tarkastella, voidaanko hulevesien haitta-aineiden päästölähteitä vähentää (esim. materiaaliratkaisut) tai estää aineiden huuhtoutuminen (esim. katettu varastointi) tai kulkeutuminen (esim. roskien ja hiekoi-tushiekan kerääminen) hulevesiin.

Arvioinnissa selvitetään vastaanottavan vesistön erityispiirteet ja valuma-alueet, joissa sijaitsee herkkiä vesistöjä esimerkiksi pienvesistöjä: purot, lammet, norot, lähteet sekä pienet kluuvijärvet ja fladat, (ks. luku 3.1 kuva 6 vesistön herkkyyden arvioinnista) tai luokiteltuja pohjavesialueita ja pohjaveden muodostumis-alueita. Lisäksi arvioinnissa huomioidaan mm. vedenotto tai erityistä suojelua vaativat ekosysteemit tai lajit. Tämän perusteella arvioidaan hulevesien laadun tavoitteet.

Laadunhallinnan tarve riippuu myös etäisyydestä vastaanottavaan vesistöön ja siitä, valuvatko vedet alueelta suoraan vesistöön esimerkiksi hulevesiverkostoa pitkin vai avouoman kautta.

4.1.2 Laadutavoitteiden määrittely

Suomessa ei ole toistaiseksi omia hulevesien laadulle tavoitearvoja, vaan tavoitteen asettelu tehdään kohdekohtaisesti. Tavoitteena voi olla esimerkiksi vain pyrkiä hulevesien mahdollisimman hyvään laatuun käytettävissä olevan tilan mukaan. Usein käytettyjä tavoitearvoja ovat ympäristölaatonormit (Vna 1022/2006) sekä Tukholman ohjeavot (Riktvärdesgruppen 2009), joita on käsitelty alla. Tavoitteeksi voidaan myös asettaa alueen luonnontilaisen huleveden laadun tavoittelu.

Laadutavoitteiden määrittelyssä voidaan hyödyntää esimerkiksi vastaanottavasta vesistöstä mitattuja pitoisuuksia siten, että pitoisuudet hulevesissä eivät ole vastaanottavan vesistön pitoisuuksia korkeampia. Mikäli vastaanottava vesistö on ennestään kuormittunut, siihen päätyvien hulevesien laatuun on kiinnitettävä tarkempaa huomiota ja tavoitetaso voi olla tätä tiukempikin. Pitoisuuden lisäksi voidaan tarkastella haitta-aineiden kokonaiskuormaa esim. vuositasolla tai kroonista kuormitusta ajatellen esimerkiksi kymmenen vuoden ajanjaksolla.

Tukholman lääninhallitus on laatinut ohjeavot, jotka riippuvat vastaanottavan vesistön tyypistä, ja siitä purkautuvatko mitatut tapahtuman keskipitoisuudet vesistöön välillisesti vai suoraan (Riktvärdesgruppen 2009). Sallitut pitoisuudet riippuvat vesistön herkkyydestä haitta-ainekuormille; pienten järvien ja jokien

raja-arvot ovat tiukempia kuin suurten järvien ja meren, ja suoraan vesistöön päätyvät tiukempia kuin valuma-alueen yläosissa mitatut. Ruotsissa eri kaupungeilla on lisäksi esitettyinä omia ohjearvojaan johtuen mm. vesistöjen herkkyydestä, jotka voivat poiketa Tukholman ohjearvoista.

4.1.3 Laadunhallinnan mallinnus

Hulevesien laadunhallinnan tarvetta, eli valuma-alueelta tulevaa kuormitusta, voidaan arvioida erilaisten valuma-alueita mallien avulla. Malleja on yksinkertaisia maankäyttöön perustuvia kuormitusmalleja sekä monimutkaisempia virtausmallien päälle rakennettuja aineiden liukenemis- ja kulkeutumismalleja. Jälkimmäiset tarvitsevat yleensä lähtötiedokseen tarkempaa aineistoa, esimerkiksi jatkuvatoimisia mittauksia, mutta mahdollistavat tarkemman hulevesien laadun laskennallisen arvioinnin kuin yksinkertaiset kuormitusmallit (Kahva 2022). Malleissa käytetään lähtötietoina eri maankäyttömuodoille saatuja hulevesien laadun tutkimustuloksia. Mallinnettavan alueen vedenlaadun mittauksia käytetään apuna mallinnuksessa, mikäli niitä on saatavilla.

4.2 Hajautetut järjestelmät laadunhallinnassa

Hulevesien laadunhallinnan järjestelmät on tyypillisesti helpompi toteuttaa ns. hajautettuina järjestelminä, eli yhden suuren rakenteen (keskitetty järjestelmä) sijasta toteutetaan hulevesien hallinta useina pieninä rakenteina osana alueen katu- ja viherrakentamisen infraa. Hajautettujen rakenteiden merkitys hulevesien laadunhallinnassa korostui myös hankkeen yhteydessä järjestetyn työpaikan keskusteluissa. Mitä lähemmäs hallintarakenteet voidaan tuoda hulevesien syntypaikkaa, sitä pienemmän tilavarauksen ne vaativat ja sitä parempaan käsittelytulokseen päästään. Tämä johtuu siitä, että lähellä syntypaikkaa järjestelmään ei päädy ulkopuolisia vesiä, jotka kasvattaisivat turhaan virtaamaa ja sitä kautta rakenteen kokoa ja laimentaisivat käsiteltävää vettä. Lisäksi keskitettyihin järjestelmiin voi johtua laadultaan hyvin erilaisia vesiä, jolloin tarvitaan kattava määrä eri aineille toimivia puhdistusmenetelmiä, tai järjestelmissä painotetaan puhdistamista vain tiettyihin aineisiin, kuten fosforiin. Hajautetuissa ratkaisuissa voidaan haitta-aineiden pidättämistä toteuttaa aluekohtaisemmin ja valita esimerkiksi suodatusmateriaalit tarkemmin alueen haitta-aineiden mukaan. Useiden pienten rakenteiden yhdistelmä on usein helpompi istuttaa ympäröivään maisemaan ja infraan kuin laajan, alavan alueen vaativa keskitetty järjestelmä. Keskitetyssä järjestelmässä hallintarakenteen toteutus- ja huoltokustannuksien jyvittäminen rakennetta kuormittaville tahoille voi myös olla hallinnollisesti hankalaa, koska kuormittajien määrä kasvaa, kuormitus voi tulla hyvin erityyppisistä kohteista ja useilta maanomistajilta (kiinteistöt, kunnan ja valtion liikennealueet, suuret liikekeskukset jne.).

Keskitettyjä järjestelmiä voidaan käyttää esimerkiksi jo ennestään tiiviisti rakennetuilla alueilla, joilla halutaan jälkikäteen parantaa hulevesien laatua lisäämäl-

lä hallintarakenteita viheralueille hulevesiverkostojen alapäähän. Usein näissä kohteissa hulevesien laadunhallinnan ratkaisuisissa ja järjestelmien mitoituksessa joudutaan laajan valuma-alueen vuoksi tyytymään pelkkään karkeiden kiintoainesjakeiden poistoon.

Hulevesien laadunhallinnan hajauttaminen huleveden muodostumispaikoille tarkoittaa järjestelmäratkaisujen huomioimista muussa aluesuunnittelussa, esimerkiksi huomioimalla hulevesien laadunhallintarakenteen vaatima tila katupoikkileikkauksessa koko kadun mitalla sen sijaan, että hulevedet kerätään hulevesiviemäriin tai ojaan, jonka päähän viheralueelle toteutetaan hallintarakenne.

Monialaisen hulevesisuunnittelutiimin tarve korostui selvityksen yhteydessä järjestetyssä työpajassa. Monialainen suunnittelu lisää myös tiedon ja kokemusten jakoa toimivista ratkaisuista, ja tietotaidon katsottiin työpajassa osaltaan ohjaavan hulevesien laadunhallinnan suunnittelua. Ratkaisujen tilavarouksia on tarkemmin käsitelty luvussa 4.2.1.

Pidemmälle vietyinä ajatus tarkoittaa likaisten hulevesien syntymisen ehkäisemistä hajautetusti koko valuma-alueella. Hulevesien määrän vähentämiseen soveltuvat, kasvipeitteisyyteen ja imeytykseen perustuvat menetelmät eivät vain vähennä huleveden kokonaismäärää, vaan myös parantavat käsiteltäväksi jäävän huleveden laatua. Hulevesien laatuun voidaan ensi sijassa vaikuttaa myös vähentämällä hulevesiin johtuvia päästöjä esimerkiksi vähentämällä roskaamista, miettimällä materiaalivalintoja (esim. peltikatto, tiilikatto vai viherkatto) tai vaikkapa vähentämällä liukkauden torjunnasta aiheutuvia päästöjä.

4.2.1 Maankäytön suunnittelu ja menetelmien edellyttämät tilavaraukset

Hulevesien hallinnan suunnittelussa lähtökohtana tulee olla suunnittelukohteen sijainti valuma-alueella, sekä alueen läpi kulkevat luontaiset pintavalunnan virtausreitit.

Suunnittelun alkuvaiheessa tunnistetaan luontaiset vedenjakajat ja päävirtausreitit haaroineen, ja huleveden laadunhallintarakenteet sijoitetaan valuma-alueen sisään virtausreittien latvoille ja haaroihin siten, että viheralueilla muodostuvat puhtaammat hulevedet on mahdollista johtaa rakenteiden ohitse. Tavoitteena on minimoida hallintarakenteille kohdistuva puhtaamman veden taustakuormitus, jotta rakenteen mitoitus voidaan pitää kohtuullisena.

Laadunhallinnan tilavarausten suunnittelussa käytetään suunnittelutasosta riippuen erityyppisiä perusteita. Osayleiskaavatasolla viher- ja korttelialuei-

den sijoittelu on vielä hyvin karkeapiirteistä, eikä tulevia laadunhallinta-alueita ole useinkaan mahdollista osoittaa kuin viitteellisesti. Suunnittelussa pyritään muodostamaan käsitys merkittävistä valuntareiteistä ja ohjaamaan maankäyttöä siten, että luontaiset valuntareitit voidaan säilyttää. Laadunhallinnan osalta voidaan osoittaa laskeutusallas- ja kosteikkotyypisten rakenteiden sijoituksia ja tilavarauksia esimerkiksi prosentiosuuksina valuma-alueen pinta-alasta.

Osayleiskaavatasolla hulevesien laadunhallinnan suunnittelussa aluerajauksien osoittamista oleellisempaa on hulevesien laadunhallinnan tarpeen arviointi. Sen pohjalta annetaan suositukset ja ohjeistukset, jotka ohjaavat hulevesien laadun huomioimista asemakaavatyössä. Laadunhallinnan tarpeen arviointia on kuvattu tarkemmin luvussa 4.1.

Asemakaavatasolla esitetään hulevesien hallintaa koskevat määräykset ja määritellään tarvittavat tilavaraukset. Tilavarauksia on syytä osoittaa sekä viheralueille että varautua hulevesien käsittelyyn myös kaavan katualueiden leveyden mitoituksessa (kuva 7).



Kuva 7. Esimerkkipoikkileikkaus katualueella muodostuvien hulevesien laadullisesta käsittelystä syntyäpaikalla.

Yksinkertaisissa kohteissa apuna tilavarauksien mitoituksen arvioinnissa voidaan käyttää esimerkiksi arviota käsiteltävästä kokonaisvesimäärästä vuorokausitasolla, jolloin tilavarauksen pinta-ala saadaan jakamalla vesimäärä rakenteen alustavalla keskisyvyydellä. Monimutkaisemmissa ja laajemmissa hankkeissa voi olla perusteltua jo asemakaavavaiheessa tutkia hulevesijärjestelmän toimintaa esimerkiksi toiminnallisen mallintamisen ja simuloinnin keinoin, ja mitoittaa tarvittavat aluevaraukset tältä pohjalta.

Tilavarauksia käsittelyrakenteille osoitettaessa on huomioitava myös maaperän aiheuttamat rajoitukset. Kallio- ja pehmeikköalueilla rakentamiskustannukset voivat olla moninkertaiset verrattuna helpommin rakennettaviin maihin. Pohjaveden pinnan taso voi aiheuttaa ongelmia – liian korkealla oleva pohjavesi voi esimerkiksi tunkeutua suodatinrakenteisiin, liian matalalla oleva pohjavesi aiheut-

taa puolestaan esimerkiksi kosteikoksi tarkoitetun alueen liiallista kuivumista. Maalajin erodoituvuus on paikoin merkittävä huomioitava tekijä rakenteiden sijoittelussa, joskin sitä voidaan kompensoida tarvittaessa eroosiosuojarakenteisiin. Happamien sulfaattimaiden alueilla voi olla perusteltua tutkia jo asemakaavavaiheessa hulevesirakenteiden sijaintia ja korkeusasemia tavallista tarkemmalta tasolla, jotta voidaan minimoida pohjaveden alenemisesta tai kaivumassojen läjityksistä aiheutuvat happamat valumat.

4.2.2 Laadun ja määrän sidonnaisuus käsittelyssä

Hulevesien määrällinen hallinta tukee laadunhallintaa tasaten valuntaa ja mahdollisesti parantaen veden laatua esimerkiksi kiintoaineen laskeutuessa viivytysjärjestelmiin. Vastavuoroisesti hulevesien laadunhallinnalla vähennetään myös huleveden määrää ja/tai tasataan virtaamia. Tulvien hallintaan tarvitaan yleensä erilliset ratkaisunsa. Laadun ja määrän hallinta ovat siis aina sidoksissa toisiinsa. Hulevesien hajautetun hallinnan keinoin (luku 4.2.) osoitetaan toimenpiteet paikallisesti oikeaan paikkaan, esimerkiksi katualueilla vedet ohjataan suoraan kadun varren viherkaistoille.

Määrän hallinnan ratkaisujen yhteyteen voi toteuttaa laadunhallinnan ratkaisuja. Näissä pitää kuitenkin huomioida mahdollinen huuhtoutuminen tulvatilanteissa. Keinoja estää huuhtoutuminen ylivirtaamilla on esimerkiksi riittävä määrällinen hallinta ennen käsittelyrakennetta (hajautettu hallinta, luku 4.2.), ylivuotovesien ohjaaminen käsittelyrakenteen ohi ja tulvatasanteet virtausnopeuksien pienentämiseksi ja virtaamien tasaamiseksi. Tulvareittien ei tulisi kulkea hulevesien laadunhallintarakenteiden läpi huuhtoutumisen estämiseksi.

Rakenteiden eri osat voivat toimia laadunhallinnassa erilaisten sadetapahtumien aikana. Ojaan tai omaan voidaan toteuttaa syvennyksiä, levennyksiä ja kosteikko-osuuksia laskeuttamaan kiintoainesta keskivirtaamilla ja sitä pienemmillä virtaamilla. Tulvatasanteet taas hidastavat virtausnopeuksia vähentäen huuhtoutumista pääuomasta ja edistävät kiintoaineen laskeutumista keskivirtaaman ylittävillä tilanteilla. Tasanteiden ja luiskien kasvillisuus sitoo kiintoainesta ja ravinteita ja vähentää niiden huuhtoutumista eteenpäin. Kasvillisuuden niiton avulla voidaan poistaa ravinteita tasanteelta tai uomasta. Kasvittuneita uomia ei suositella niitettäväksi koko laajuudeltaan vedenjohtokyvyn parantamiseksi, jotta virtausnopeudet eivät kasva liian suuriksi eikä tapahdu uomaeroosiota (Kalinoska ym., 2022).

Biosuodatusrakenteet voidaan mitoittaa vastaanottamaan esimerkiksi keskimääräiset tai usein toistuvat rankkasadetilanteet, jolloin tätä ylittävät virtaamat eivät joko ohjaudu rakenteeseen tai menevät ylivuotokaivoon rakenteen tulopäässä. Usein laadunhallinnassa pyritään hallitsemaan keskimääräiset sadetapahtumat, koska näistä koostuu suurin osa vuotuisesta valunnasta. Mitoitusta on kuvattu tarkemmin luvussa 4.6. Biosuodatusrakenteen lammikoitumistila on tarkoitettu-

tu veden hetkelliseen varastoitumiseen ennen suotautumista. Pitkäkestoisilla sadetapahtumilla, joilla sademäärä on iso, vettä ehtii suotautua rakenteen läpi sadetapahtuman aikana.

Sekä hulevesien laadunhallinnassa että määränhallinnassa huomioidaan virtaamien suuri vaihtelu ja rakenteen monitoiminnallisuus silloin, kun vesitilanteet vaihtelevat. Parhaimmillaan ratkaisut ovat monitavoitteisia, jolloin niillä parannetaan luonnon monimuotoisuutta, viihtyisyyttä ja luodaan yhteisöllisiä tiloja. Laadunhallinnan rakenteet voivat olla hyvinkin reheviä ja monimuotoisia ratkaisuja, jotka luovat vaihtelevuutta kaupunkiympäristöön.

4.3 Käsittelymenetelmät ja -prosessit

Hulevesien laadunhallinnassa pyritään ensisijaisesti ennaltaehkäisemään likaisen hulevesien muodostumista. Ensisijainen keino parantaa huleveden laatua on valuma-alueen maankäyttöön ja toimintoihin vaikuttaminen. Jos näiden toimenpiteiden jälkeen hulevesien laatu ei ole hyväksyttävällä tasolla, sitä parannetaan erilaisin käsittelymenetelmin.

Toimintaperiaatteeltaan käsittelymenetelmät voidaan jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Karkeasti ottaen fysikaaliset menetelmät ovat mekaanisia menetelmiä, joilla kiintoainesta ja siihen sitoutuneita haitta-aineita erotellaan hulevedestä. Kemiallisissa menetelmissä aineet reagoivat keskenään, jolloin syntyy mm. uusia yhdisteitä, jotka sitoutuvat käsittelyrakenteisiin tai hajoavat biologisesti tai kemiallisissa reaktioissa. Biologiset menetelmät puolestaan ovat tehokkaita veteen liuenneille ravinteille ja muille aineille, joita kasvit ja organismit pystyvät joko hajottamaan tai käyttämään kasvuprosessissa, tai hyvin hienojakoiselle kiintoainekselle. Biologiset menetelmät pohjautuvat pitkälti kasvien, sienten ja mikrobien biologiseen aktiivisuuteen.

Samassa hulevesien käsittelyrakenteessa on mahdollista yhdistää useita erilaisia fysikaalisia ja biologisia käsittelymenetelmiä. Menetelmistä voidaan muodostaa myös erityyppisten rakenteiden käsittelyketjuja ("treatment train"), jolloin esikäsittelyä seuraa varsinainen käsittelyrakenne ja mahdollinen jälkikäsittely.

4.3.1 Fysikaalis-kemialliset menetelmät

Suodatus

Suodatuksen perustana on kiintoaineksen fysikaalinen tarttuminen suodatinmateriaaliin tai kemiallisten sidosten ja yhdisteiden muodostuminen suodatinmateriaalin ja veden aineiden välillä. Tarttuminen voi aiheutua yksinkertaisesta

mekaanisesta ahtaudesta (suodattimen aukkokoko on pienempi kuin kiintoaineksen partikkelikoko), mutta myös aukkokokoa pienemmän kiintoaineksen tai liuenneiden aineiden adsorboitumisesta suodatinmateriaaliin.

Suodatuksen hulevesisovellutuksissa haasteena on rakenteen toimivuuden säilyttäminen pitkällä aikavälillä. Rakennerratkaisut eivät yleensä suurten kunnossapitokustannusten vuoksi voi perustua usein tehtävään suodatinmateriaalin vaihtoon tai huuhteluun. Usein suodatuksen sovellutukset onkin suunnattu liukoisen aineen tai kolloidikokoluokan kiintoaineksen keräämiseen aktiivi- tai biohiilen tms. erittäin suuren huokospinta-alan omaavan suodatinmateriaalin avulla. Suodatukseen yhdistetään usein myös biologista toimintaa (biosuodatus), jossa suodattimen pinnalle istutettu kasvillisuus ylläpitää suodattimen läpäisykykyä, ehkäisee rakenteen pinnan tukkeutumista ja ottaa ravinteita suodatinmateriaalista, jolloin sen toimintakyky pidentyy.

Suodatuksen etuna on sen toimivuuden vähäinen riippuvuus ulkoisista olosuhteista kuten lämpötilasta ja valosta, toisin kuin biologisilla prosesseilla. Ongelmana hulevesikäytössä on kuitenkin suodatinrakenteiden tukkeutuminen ja suodatinmateriaalin vaihdon hankaluus. Erityiskohteissa – esimerkiksi kerättäessä tekonurmipintaisilta pelikentiltä huuhtoutuvaa kumirouhetta hulevesikaivoihin asennettavilla suodattimilla – tiheä huoltoväli saattaa kuitenkin olla perusteltua ja hyväksyttävissä.

Suodatukseen voidaan laskea kuuluvan myös mekaanista suodattumista esimerkiksi kosteikoissa ja tulvatasanteilla veden virratessa hitaasti tiheään kasvillisuuden läpi. Tällöin suodatinmateriaalina on kosteikon elävä ja kuollut biomassa, ja mekanismina on haitta-aineiden tarttuminen itse kasvillisuuteen sekä elävän ja kuolleen kasviaineksen pinnoilla kasvavaan biofilmiin.

Laskeutus

Veteen suspendoitunut kiintoainekas laskeutuu painovoiman vaikutuksesta alaspäin, jos virtauksen nopeusvektorin ylöspäin suuntautuva komponentti on pienempi kuin kiintoainepartikkelin laskeutumisnopeus. Hiukkasen ominaisuuksista laskeutumisnopeuteen vaikuttavat eniten partikkelin koko, muoto ja tiheys. Laskeutumiseen vaikuttavista olosuhteista tärkein on virtausolot: laminaarisessa virtauksessa laskeutuminen on tehokkainta ja turbulenssin lisääntyessä hiukasten laskeutuminen heikkenee sitä enemmän, mitä pienempiä hiukkaset ovat. Myös veden lämpötilalla on jonkin verran vaikutusta laskeutuvuuteen. Laskeutuminen on siis puhtaasti fysikaalinen prosessi. Laskeutumisesta saattaa edistää kiintoaineksen koaguloituminen tai flokkautuminen vesimassassa esimerkiksi biologisen toiminnan seurauksena, jolloin partikkelit takertuvat toisiinsa muodostaen suurempia, helpommin laskeutuvia hiukkasia.

Hulevesien käsittelyssä laskeutus toteutetaan allasmaisissa rakenteissa, joissa sopivat olosuhteet saadaan aikaan riittävän suurella allaspinta-alalla ja sopival-

la altaan muodolla. Laskeutus on melko yksinkertainen mitoittaa ja suunnitella esimerkiksi pintakuormateorian pohjalta, ja suodatuksen tavoin laskeutusprosessi toimii ympäri vuoden riippumatta merkittävästi lämpötilasta, valosta tai aiemmista kosteusoloista.

Laskeutus soveltuu parhaiten kohtuullisen karkeiden kiintoainesjakeiden poistamiseen, koska hienompien jakeiden poistamiseen vaadittavat allaspinta-alat kohoavat nopeasti epärealistisen suuriksi. Hulevesien haitta-aineiden poistamisen kannalta tämä on ongelma, koska haitta-aineet ovat tyypillisesti sitoutuneet kiintoaineksen pinnalle, ja mitä hienojakoisempaa kiintoainesta on, sitä suurempi yhteispinta-ala partikkeleilla on. Laskeutuksessa helpoimmin poistuvassa karkeassa kiintoainesjakeessa on siis vain suhteellisen pieni osa huleveden haitta-aineista. Laskeutus on menetelmänä siten käyttökelpoisimmillaan yhdistettynä muihin menetelmiin, jolloin laskeutuksella pyritään lähinnä esikäsittelytyyppisesti vähentämään haitallista lietteen kertymistä seuraavissa käsittelyvaiheissa.

Laskeutukseen liittyvä haaste hulevesisovellutuksissa on, että laskeutuslaitteille on riittävän pinta-alan lisäksi harvoin mahdollista toteuttaa optimaalista muotoakaan. Jos tulo- ja poistovirtaamia ei pystytä rauhoittamaan riittävästi ja virtaukselle järjestämään riittävän pitkää kulkumatkaa, voi altaaseen muodostua oikovirtauksia ja turbulenssia, jotka heikentävät merkittävästi rakenteen toimintaa.

Hulevesisovellutuksissa laskeutuksen käyttökelpoisuutta heikentää myös hulevesille tyypillinen virtaaman voimakas vaihtelu, joka voi aiheuttaa altaaseen jo kertyneen sedimentin huuhtoutumista pois altaasta, ellei virtaamahuippuja kyetä viivyttämään riittävästi.

Kelluvan aineksen erottelu

Muutamit hulevesien haitta-aineista ovat vettä kevyempiä ja nousevat siten veden pinnalle, tyypillisimpänä roskat ja öljy. Näiden erottelu on mahdollista hoitaa erilaisilla vesilukkotyyppisillä ratkaisuilla, jotka soveltuvat lähinnä roskille. Järeämpänä, ns. I luokan öljynerottimissa käytettynä ratkaisuna on haitta-aineen pinnalle nousemisen tehostaminen lamelleilla. Varsinkin sellaiset aineet, joiden tiheys on lähellä veden tiheyttä tai jotka ovat hajonneena vesifaasiin hyvin pieninä pisaroina, vaativat poistukseen erittäin hidasta virtausnopeutta.

4.3.2 Biologiset menetelmät

Fyto- ja bioremediaatio

Fytoremediaatio -käsitteellä viitataan kasvien käyttämiseen huleveden (tai tyypillisemmin maaperän) puhdistamisessa. Fytoremediaation lisäksi käytetään

myös termiä bioremediaatio tai biopuhdistus, jotka korostavat myös muun mikrobiologisen toiminnan (bakteerit, alkueläimet, sienet) roolia haitta-aineita poistavassa prosessissa.

Fytoremediaatiossa makrofytyt eli silmin nähtävä kasvillisuus poistavat haitta-aineita hulevedestä monin mekanismein. Haitta-aineita pidättyy kasvillisuuden biomassaan, mistä ne ovat ihmistoimin poistettavissa. Kasvien aineenvaihdunnassa haitta-ainemolekyylit voivat muuttua ja pilkkoutua vähemmän haitalliseen tai kokonaan vaarattomaan muotoon. Osa haitta-aineista voi myös kulkeutua kasvin läpi ja haihtua ilmakehään, ja kasvit voivat myös sitoa haitta-aineita tiukemmin maapartikkeleihin ja siten vähentää niiden kulkeutumista hulevedessä.

Bioremediaatiossa pidättyy haitta-aineita vastaavan tyyppisissä reaktioissa fytoremediaation osana tai itsenäisenä prosessina maaperän bakteerien, sienten ja alkueläinten toiminnassa. Bioremediaatioon voidaan lukea myös mikrobiologinen predaatio, jossa ihmisen kannalta haitallisia mikrobeja (esim. taudinaiheuttajia) poistuu mikrobien ravintoketjussa. Mikrobitoiminta vaikuttaa merkittävästi makrofytytien toimintaan esimerkiksi sienijuurten kautta, ja toisaalta monet mikrobeista tarvitsevat makrofytyttikasvillisuutta menestyäkseen.

Tyypillisiä bioremediaatiolla poistettavia ja käsiteltäviä haitta-aineita ovat ravinteet, orgaaniset yhdisteet ja metallit. Biologiset menetelmät ovat erityisen käytökelpoisia liukoisille tai kolloidikoon haitta-aineille, joita on erittäin vaikeaa tai mahdotonta poistaa fysikaalisilla menetelmillä.

Huleveden bioremediaatiota voi tapahtua niin maaperässä kuin vapaassa vedessäkin. Bioremediaatio on kuitenkin tyypillisesti kantoaineen – esimerkiksi maaperän, hulevetteen suspendoituneen maa-aineksen, suodatinmateriaalin tai kasvien juuriston – pinnoilla kasvavassa biofilmissä tapahtuva prosessi.

Biologisen toiminnan edellytyksenä on sopivat olosuhteet eli riittävän korkea lämpötila, riittävä veden ja ravinnon saanti ja kasvien osalta myös riittävä valon määrä. Fytoremediaation toiminta-aika rajoittuu siten lähinnä kasvukaudelle. Bioremediaation mikrobiologiset prosessit sen sijaan jatkuvat myös talvikaudella jää- ja lumipeitteen suojassa sulassa vedessä ja maaperässä. Viileämissä oloissa prosessit jäävät kesäkautta hitaammiksi, mutta tasaiset olosuhteet mahdollistavat prosessien jatkumisen myös kylmään vuodenaikaan.

Biologiset menetelmät ovat jossain määrin vaikeasti hallittavia, ”luonnon armoilla” tapahtuvia prosesseja, joita on hankalaa luotettavasti mitoittaa. Toisaalta bio- ja fytoremediaation osaprosessien moninaisuuden vuoksi biologisilla menetelmillä on mukautuvuutta vaihteleviin olosuhteisiin.

4.3.3 Erityismenetelmät

Hulevesiä on mahdollista käsitellä myös ”raskailla” järjestelmillä, jolloin hulevedestä on mahdollista poistaa muuten hankalasti poistettavia haitta-aineita kuten patogeenejä ja PFAS-yhdisteitä. Patogeenejä voidaan tuhota esimerkiksi UV-käsittelyllä ja kemiallisella desinfioinnilla, ja PFAS-yhdisteitä poistaa esimerkiksi ioninvaihtojärjestelmillä tai korkean paineen kalvoprosesseilla (ks. tarkemmin kohta 4.5.3).

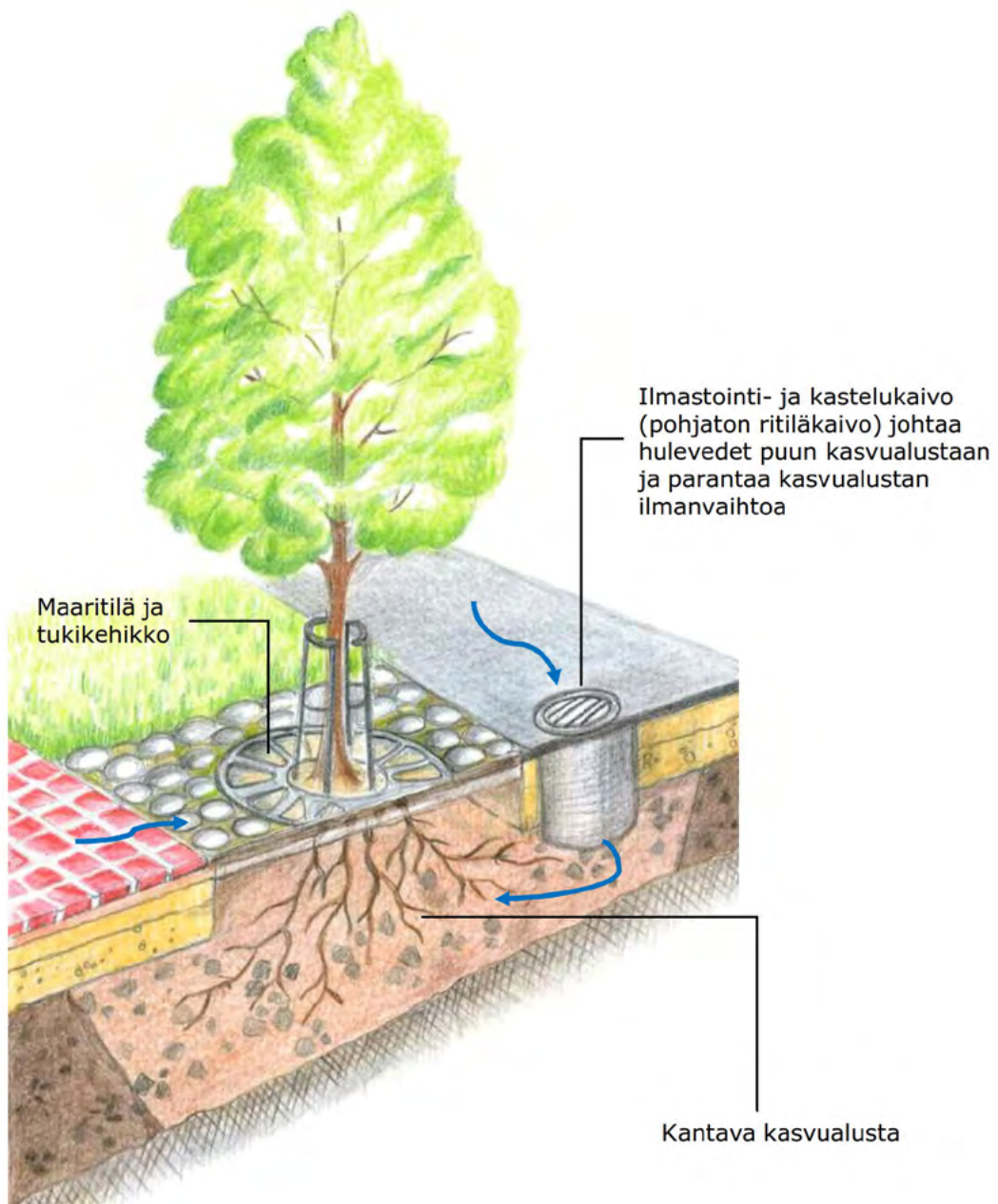
Näitä korkean teknologian laitteistoihin perustuvia menetelmiä on hyödynnetty Suomessa erittäin vähän, koska ne ovat energiaintensiivisiä ja vaativat paljon huoltoa ja seurainta, eli käyttökustannukset ovat korkeat. Myös laitteistojen hankintakustannus on usein mittava. Vastaavia laitteita ei useinkaan ole käytössä edes yhdyskuntajätevesien puhdistuksessa, jossa olosuhteet ovat selvästi vakaammat ja paremmin hallittavissa kuin hulevesien käsittelyssä ja haitta-ainemäärien määrät eri luokkaa.

4.4 Käsittelyrakenteet

Hulevesien laadunhallinnan rakenteet ovat yleisimmin passiivisia rakenteita, joiden puhdistusprosessit perustuvat luonnollisiin fysikaaliskemiallisiin ja biologisiin menetelmiin, ja jotka eivät vaadi jatkuvaa ylläpitoa, huoltoa, sähköä tai kemikaaleja. Seuraavissa tietokorteissa on esitetty tyypillisiä hulevesien laadunhallintaan käytettyjä rakenteita. Tietokorteissa on kuvattu rakenteen toiminta, edut, mahdolliset ongelmat ja niiden ratkaisut sekä huolto.

4.4.1 Sinivihreä katuinfra

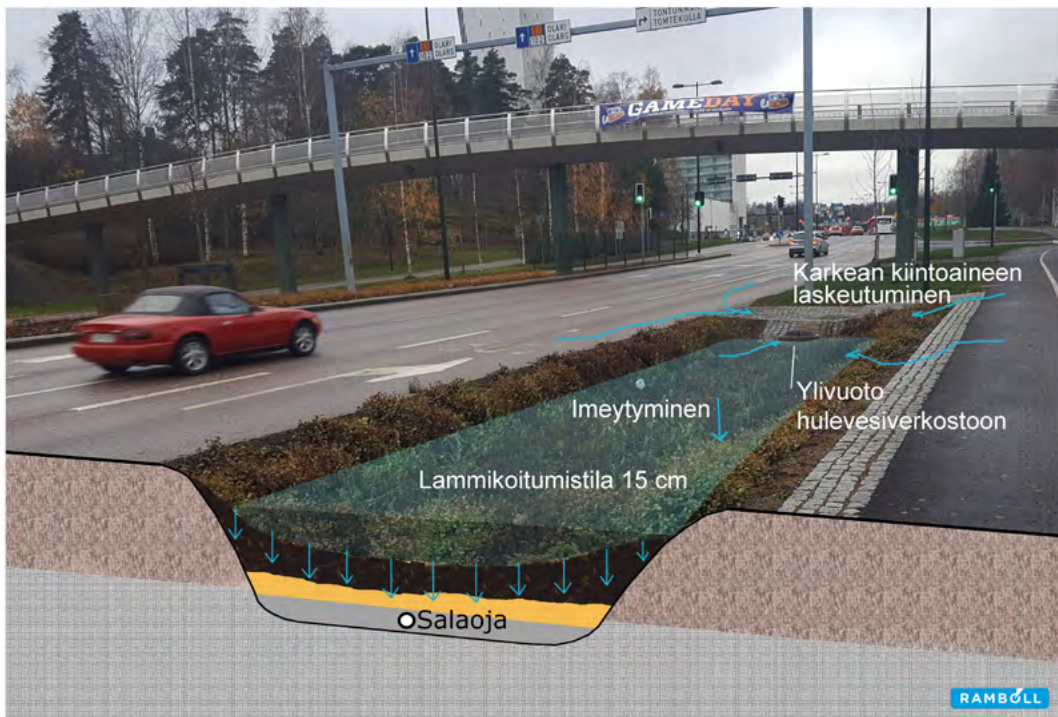
Kuvaus	<p>Sinivihreän katuinfran sateenvarjokäsitteen alle voidaan lukea useita erilaisia hulevesien käsittelyn ja hyödyntämisen sovelluksia katutilassa. Käytännön sovelluksia voivat olla esimerkiksi hulevesien käsittely katupuiden kasvualustassa, viherkaistoilla ja -painanteissa, sivuojien varrella tai katutilaan sijoittuvassa biosuodatusrakenteessa.</p> <p>Kaduilla muodostuvat hulevedet on mahdollista hyödyntää katupuiden kasteluvetenä. Samalla hulevesien haitta-aineita pidättyy puun kasvualustaan ja poistuu bioremediaatioprosesseissa. Kasvualustan laadullista käsittelytehoa ja vedenpidättävyyttä on mahdollista parantaa lisäaineilla, esimerkiksi biohiilellä.</p> <p>Biosuodattimia on toteutettu sekä nauhamaisesti kadun pituussuunnassa viherkaistalle että pistemäisesti kadun varrelle esimerkiksi kadun hidastekavennuksiin. Lämpäisevillä päällysteillä on suodattavana rakenteena samoin vaikutusta myös huleveden laatuun. Biosuodatusrakenteita ja lämpäiseviä päällysteitä on kuvattu vielä tarkemmin jäljempänä.</p> <p>Sovelluksia:</p> <p>Hulevesien johtaminen katupuille</p> <p>Katupoikkileikkaukseen integroidut biosuodatusrakenteet esim. viherkaistalla tai liikenteen hidastuskavennuksissa</p> <p>Muut suodattavat rakenteet ja lämpäisevät päällysteet</p> <p>Muut hulevesien hallinnassa katuvihreää hyödyntävät ratkaisut esim. viherpainanteet</p> <p>Kaksikerrosajat (huleveden imeyttäminen ojan/painanteen pohjan alla kulkevaan salaojaan)</p>
Etuja	<p>Hulevesien laadun parantamisen lisäksi katutilaan integroidut rakenteet vähentävät johdettavien hulevesien kokonaismäärää sekä vähentävät kadun viherrakenteiden kastelutarvetta ja parantavat kasvillisuuden kuntoa.</p> <p>Sinivihreä katuinfra vaikuttaa hulevesien laatuun ja määrään mahdollisimman lähellä hulevesien syntyapaikkaa, mikä vähentää käsittelyrakenteiden tarvetta alempana varrella.</p>
Ongelmia ja ratkaisuja	<p>Aurauslumi ja hiekoitushiekka voivat kasautua rakenteisiin ja tukkia kuivatus- ja ylivuotoreittejä. Hiekan kertymistä voidaan ehkäistä ja vähentää suunnitteleamalla rakenteen pinta helposti kunnossapidettäväksi. Suunnittelussa tulisi huomioida lumen ja hiekan sekä kasvillisuudesta muodostuvan lehtikarikkeen kertyminen jättämällä painanteisiin ylimääräistä syvyyttä ja käyttämällä hiekan potentiaalisissa kertymiskohdissa (mm. kohdat, joista käsittelemätön hulevesi ohjataan rakenteeseen) helposti puhdistettavia kiveytyksiä. Ylivuodoissa tulee käyttää mieluiten kupukantaisia kaivoja, jotka mahdollisesti vielä ympäröidään kiveyksellä.</p> <p>Mahdollinen reunakivien pois jättäminen voi hankaloittaa kadun talvikunnossapitoa. Ratkaisuna voi olla esimerkiksi läpivirtaustyyppisen kitakaivon käyttäminen hulevesien johtamisessa käsittelyalueelle (kuva 9).</p> <p>Kasvualustojen, kuivatus- ja ylivuotorakenteiden vaatima tila voi olla vaikea sovitaa olemassa olevaan katurakenteeseen. Uusilla kaduilla tilantarve on huomioitava katutilan suunnittelussa ja mitoituksessa. Ratkaisuisa tulee huomioida, että ne eivät saa heikentää kadun rakennekerrosten kuivatusta tai aiheuttaa riskiä hulevesien kulkeutumisesta esimerkiksi kaivantotäyttöjen karkeissa materiaaleissa katualueelta kiinteistöille.</p> <p>Sinivihreän infran ratkaisujen käyttöä voi rajoittaa kohteen sijaitseminen pohjavesialueella tai esimerkiksi alueella, joilla on pilaantunutta maaperää. Tällaisissa tapauksissa voi olla tarpeen estää hulevesien imeytyminen pohjamaahan.</p>
Sovellusalue	Katualueiden hulevesien käsittely, taajama-alueiden hulevedet
Huolto	<p>Hiekan puhdistus rakenteen pinnalta ja kaivoista.</p> <p>Kasvillisuuden huolto kuten muillakin viheralueilla, mutta niittojätettä ei saa jättää viheralueelle.</p>



Kuva 8. Hulevesien johtaminen katupuille. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



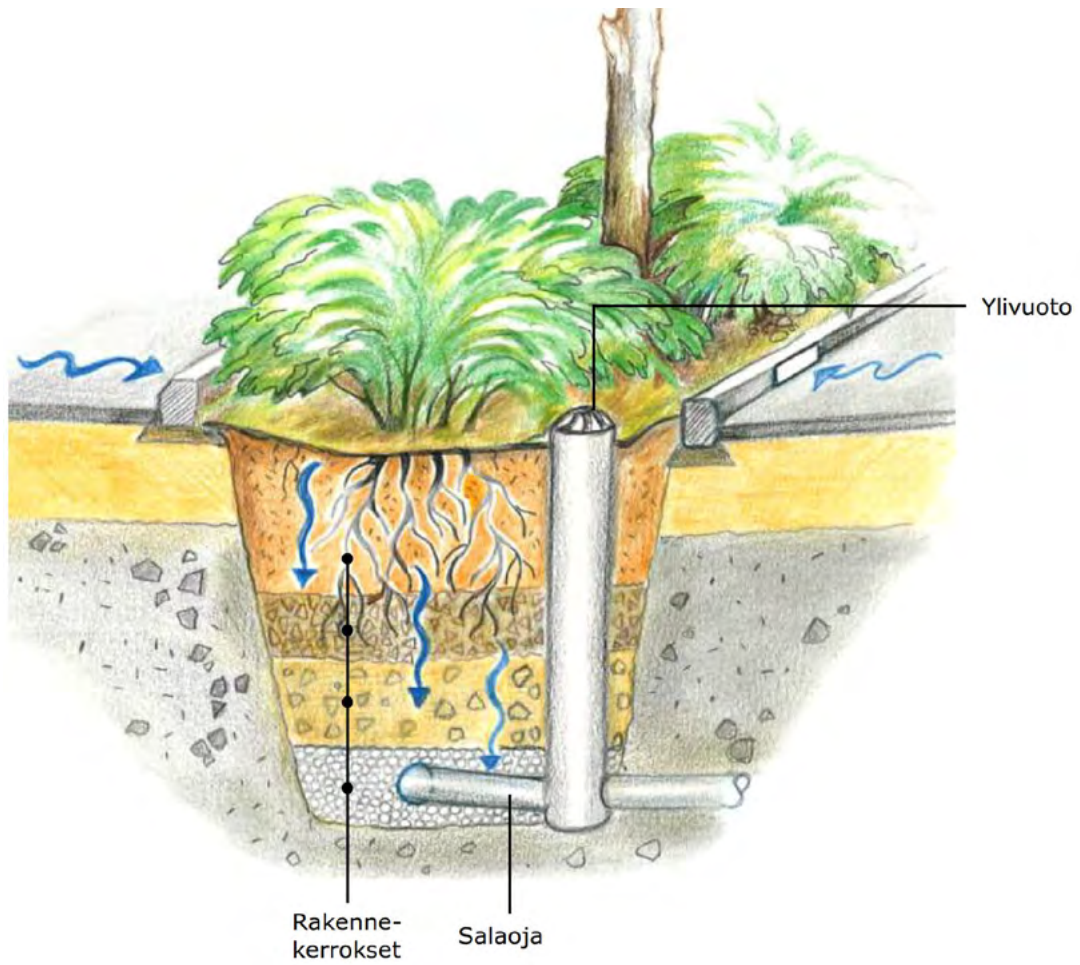
Kuva 9. Hulevedet on mahdollista ohjata viherkaistalle ilman katkoa reunakivilinjassa, kun käytetään tarkoitukseen suunniteltua kitakaivoa. Valokuva Ramboll / Päivi Paavilainen 2022.



Kuva 10. Kadun viherkaistalle toteutettu biosuodatusrakenne ei vie ylimääräistä tilaa. Valokuva ja muokkaukset Ramboll / Johanna Jalonen & Bhavna Mishra 2018.

4.4.2 Biosuodatus

<p>Kuvaus</p>	<p>Biosuodatus on rakenne, jossa hulevesi imeytetään kerroksittain kootun, erilaisista kerroksista koostuvan suodatinmateriaalin läpi. Suodattimen kerroksissa hulevedestä poistuu haitta-aineita sekä sitoutumalla suodatinmateriaaliin että mikrobiologisen toiminnan ja kasvien aineiden käytön myötä. Suodattimen pohjalle päätyneet, käsitelty hulevesi poistetaan joko imeyttämällä pohjamaahan tai tavallisemmin keräämällä se pois salaojaviemäriellä tai -kerroksella. Suodattimen oleellisena osana on siinä tapahtuva biologinen toiminta sekä silmin nähtävän kasvillisuuden että mikrobiologisen toiminnan tasolla. Biologista toimintaa edesauttavat suodattimeen oikein valittu kasvillisuus sekä tarkoituksenmukaiset ja suunniteltuun kasvillisuuteen sopivat kasvualusta- ja suodatinmateriaalit. Kasvillisuuden tulee sietää hyvin vaihtelevia vesioloja – sekä lammikoitumista että suodattimen täydellistä kuivumista kesähelteillä – ja tarvittaessa myös kadulta muodostuvissa hulevesissä mahdollisesti talvisin olevaa suolaa. Suodatinmateriaaleissa mikrobiologista toimintaa edistää mm. puumateriaalin tai biohiilen käyttö, mikä usein parantaa myös kasvillisuuden olosuhteita. Suodatinkerroksien karkeuden tulisi vaihteittain muuttua hienosta karkeammaksi syvemmälle mentäessä, jotta rakenteessa välttyttäisiin suodatinkankaan käytöltä. Rakennekerrosten väliin sijoitetut suodatinkankaat hankaloittavat kasvien juurien kasvua ja tukkeutuvat nopeasti, jolloin rakenteen vedenläpäisevyys ja huleveden käsittelyteho heikkenee. Biosuodattimeen kuuluu lammikoitumistila, joka riittää kokonaisuudessaan rakenteen suunnitellulle mitoitusasteelle, esim. 2...10 mm/vrk. Lammikoitumistilan täyttyessä hulevesien tulee ohjautua rakenteelle suunniteltuun ylivuotoon, joka voi olla esimerkiksi kupukantinen, korotettu ritiläkaivo.</p>
<p>Etuja</p>	<p>Biosuodatin on useissa tutkimuksissa havaittu toimivaksi ratkaisuksi sekä kiintoainekseen sitoutuneille että liukoisille aineille. Suodatin toimii ympäri vuoden, koska pidättymisen mekanismit ovat sekä fysikaaliskemiallisia että biologisia. Mikrobiologinen toiminta jatkuu useimpina vuosina ainakin Etelä-Suomessa myös melko pitkälle alkutalven maaperän lämmön vuoksi.</p> <p>Kaduilla muodostuvien hulevesien käsittelyssä biosuodatin on mahdollista rakentaa suoraan hulevesien synty paikalle, jos katupoikkileikkauksessa on varattu tilaa viherkaistalle (ks. luku 4.2.1). Tällöin hulevesien käsittelyyn ei ole tarpeen varata erillistä tilaa muilta alueilta.</p>
<p>Ongelmia ja ratkaisuja</p>	<p>Kohteissa, joissa hulevesi sisältää runsaasti kiintoainesta, voi biosuodattimen painannetila täytyä nopeasti lietteestä ja suodatinmateriaali tukkeutua. Vastava tilanne voi tapahtua myös, jos biosuodattimelle kasataan hiekoitusshiekkaa sisältävää lunta. Tarvittaessa kiintoainespitoiset vedet vaativat esikäsitteilyn, tai vaihtoehtoisesti kiintoaineksen kertymiseen ja poistoon varaudutaan biosuodattimen hoitosuunnitelmassa. Huoltoväliä voidaan pidentää suunnittelussa varaimalla suodattimelle ylimääräistä lammikoitumissyvyyttä. Kohtaan, johon karkein hiekka kertyy, kannattaa suunnitella pintamateriaaleja, joilta hiekan voi poistaa koneellisesti.</p> <p>Talvisaikaan biosuodattimen pinta voi jäättyä ja vedenläpäisevyys heiketä, vaikka täysin umpeen jäätyminen onkin harvinaista. Ylivuoto pitäisi sijoittaa siten, että sulamisvedet pääsevät sinne tarvittaessa talvellakin, ts. ylivuodon päälle ei pidä läjittää lunta.</p> <p>Rakennekerrosten täydellinen tukkeutuminen on harvinaista, koska kiintoaines tyypillisesti pidättyy rakenteen pinnalle, ja aktiivinen biologinen toiminta ylläpitää rakenteen vedenläpäisevyyttä. Suodatinkankaiden tukkeutumisriskin vuoksi suositellaan niiden korvaamista suodatinmateriaalin raekoon vaihettumiskerroksilla.</p> <p>Biosuodatuksen käyttöä voi rajoittaa kohteen sijaitseminen pohjavesialueella tai esimerkiksi alueella, joilla on pilaantunutta maaperää. Tällaisissa tapauksissa voi olla tarpeen estää hulevesien imeytyminen pohjamaahan.</p> <p>Jos tilaa on käytössä vähän, biosuodattimen sijoittaminen vaatii tarkkaa suunnittelua. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon mm. läheisten rakennusten sijainti ja pohjaveden taso.</p>
<p>Sovellusalue</p>	<p>Biosuodatin soveltuu monentyyppisille hulevesille, parhaiten kuitenkin melko vähän kiintoainetta sisältäville vesille. Erityisesti liukoisten haitta-aineiden käsittelyssä biosuodatin on suositeltava ratkaisu.</p>
<p>Huolto</p>	<p>Kiintoaines poistetaan biosuodattimesta tarpeen mukaan kohteeseen sopivalla kalustolla. Kasvillisuutta hoidetaan muiden viheralueiden tapaan.</p>



Kuva 11. Biosuodatuksen toimintaperiaate. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



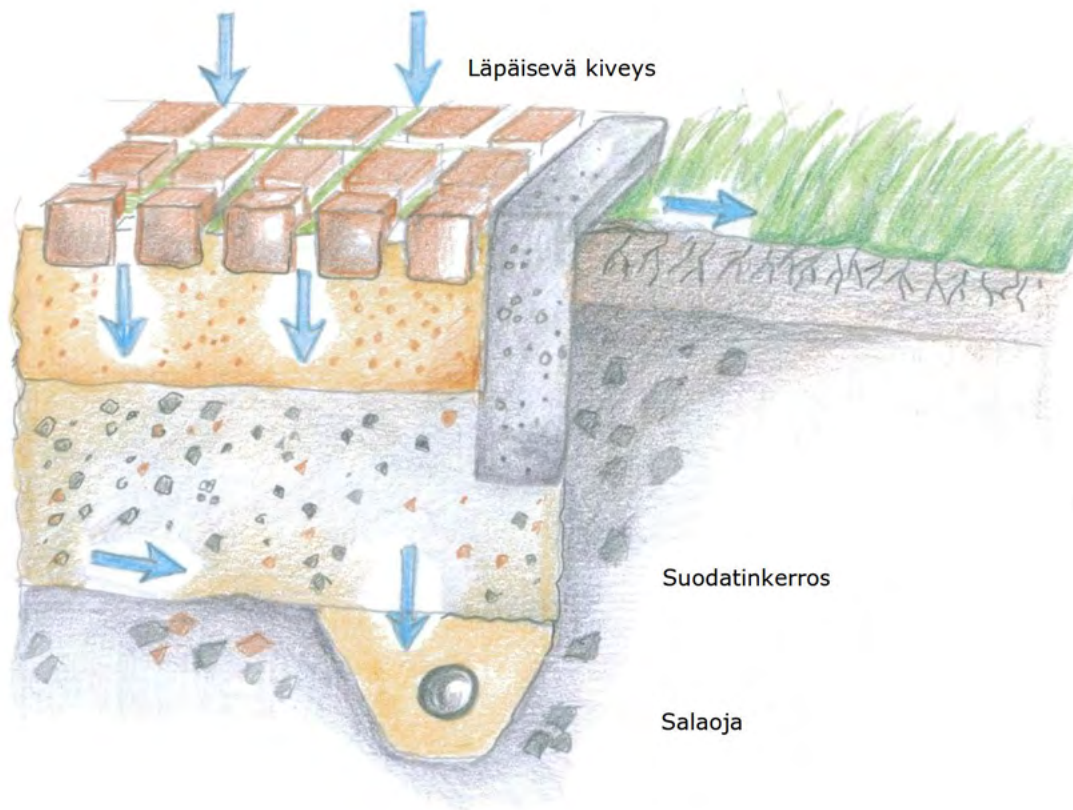
Kuva 12. Katutilaan integroitu hulevesien käsittely biosuodattimella. Valokuva Ramboll/Heta-Maija Seppälä 2022.



**Kuva 13. Biosuodattimen huolto on huomioitu rakentamalla suodattimen pohjalle kiveys-
alue, josta kiintoainesta on helpompi poistaa kuin kasvillisuuden keskeltä. Valokuva
Ramboll / Päivi Paavilainen 2015.**

4.4.3 Suodatusrakenteet ja läpäisevät päällysteet

Kuvaus	<p>Suodatusta voidaan hyödyntää hulevesien laadun parantamiseen myös rakenteissa, joissa ei ole merkittävästi kasvillisuutta. Tällöin käsittelyprosessi pohjautuu lähinnä fysikaalisiin suodatusprosesseihin ja kemiallisiin reaktioihin. Myös mikrobistoa voi kasvaa suodatinmateriaalin pinnalle.</p> <p>Suodattavat rakenteet voidaan toteuttaa läpäisevinä päällysteinä, jolloin ne ovat käyttökelpoisia esimerkiksi pysäköintialueilla muodostuvien hulevesien käsittelyssä. Läpäisevä päällyste ja sen alapuolinen suodatinrakenne voi muodostua esimerkiksi vettä läpäisevästä kiveyksestä tai sorapinnasta ja päällysteen alla olevista suodattavista kiviaineskerroksista. Tarvittaessa suodatinrakenne kuivatetaan pohjalle asennettavalla salaojalla. Imeytymättä jäävä pintavalunta kerätään rutiläkaivoilla.</p> <p>Jos suodatinrakenne toteutetaan viheralueelle, se kannattaa useimmiten käytännössä toteuttaa biosuodattimena paremman käsittelytehon ja vähäisemmän tukkeutuvuuden vuoksi, ks. luku 4.4.2. Yksittäisissä kohteissa on toteutettu myös kasvittomia suodattimia.</p> <p>Horizontaalisuuntaiseen virtaukseen perustuvaa suotopatorakennetta on käsitelty luvussa 4.4.4.</p>
Etuja	<p>Läpäisevä päällyste voidaan toteuttaa suoraan huleveden muodostumisalueelle, joten se ei tarvitse ”ylimääräistä” tilavaarausta.</p>
Ongelmia ja ratkaisuja	<p>Läpäisevien päällysteiden tyypillisin ongelma on suodatinmateriaalin tukkeutuminen hiekoitushiekasta. Ongelmaa on vaikea kokonaan ehkäistä, koska materiaalin läpäisevyyttä juuristollaan ylläpitävä kasvillisuus puuttuu rakenteesta. Säännöllinen huolto eli hiekoitushiekan poisto on tärkeää. Läpäisevien päällysteiden käyttöä on järkevää kohdistaa pysäköintialueille, joissa hiekka ei talven mittaan jauhaudu yhtä pieneksi kuin ajoradoilla.</p> <p>Suodatinkankaita ei tukkeutumisriskin vuoksi pidä koskaan käyttää rakenteessa, vaan ne tulee korvata suodatinmateriaalin raekoon vaihetumiskerroksilla.</p> <p>Läpäisevien päällysteiden ja suodatusrakenteiden käyttöä voi rajoittaa kohteen sijaitseminen pohjavesialueella tai esimerkiksi alueella, joilla on pilaantunutta maaperää. Tällaisissa tapauksissa voi olla tarpeen estää hulevesien imeytyminen pohjamaahan.</p>
Sovellusalue	<p>Pysäköintialueiden hulevesien käsittely</p>
Huolto	<p>Hiekan puhdistus rakenteen pinnalta</p>



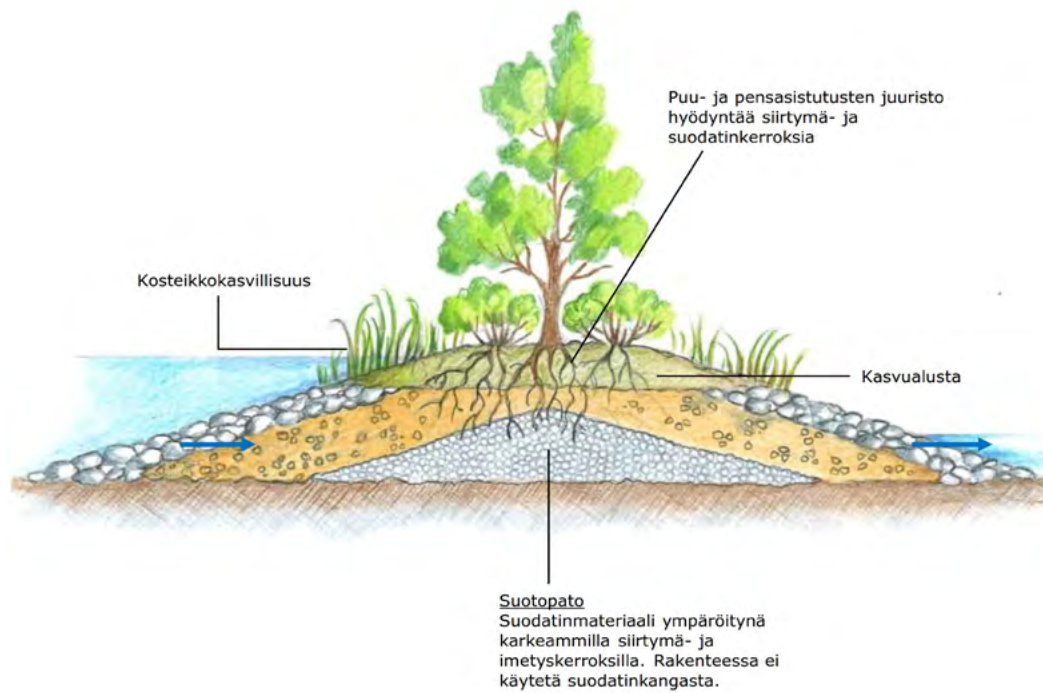
Kuva 14. Läpäisevän päällysteen toimintaperiaate. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2019.



Kuva 15. Läpäisevä päällyste pysäköintialueen hulevesien käsittelyssä. Kiveyksien välissä olevasta kasvillisuudesta voi olla hyötyä veden imeytymisen kannalta, kun juuristo pitää maaperän vesireitit auki ja estää maaperän tiivistymistä. Valokuva Ramboll / Päivi Paavilainen 2015.

4.4.4 Suotopadot

Kuvaus	<p>Suotopadot ovat useimmiten erilaisista kivimateriaaleista koottuja patoja, joiden läpi käsiteltävä vesi johdetaan. Suotopatoja käytetään hulevesien käsittelyssä useimmiten silloin, kun tilaa on vähän tai käsittely-rakenne joudutaan sijoittamaan suoraan hulevesien virtausuomaan.</p> <p>Suotopatojen käsittelyteho jää usein vaatimattomaksi, koska patojen tukkeutumisherkkyden ja niille kohdistettujen korkeiden virtaamien vuoksi niissä joudutaan käyttämään varsin karkeaa ainesta. Suurin osa kiintoaineksesta ja haitta-aineista johtuu tällöin padon lävitse, ja patoon pidättyy vain kaikkein karkein aines. Padot toimivatkin parhaiten partikkelimuotoisen aineksen pidättämisessä, mutta erilaisilla suodatinmateriaaleilla ja kasvillisuudella padon puhdistustehokkuutta eri aineille voidaan tehostaa. Myös padon purkupuolella voidaan käyttää jälkikäsitelystä patosydäntä matalampaa hiekkasuodatuspatjaa, johon voidaan istuttaa tukkeutumista vähentävää kasvillisuutta.</p> <p>Suotopadot ovat käyttökelpoisimmillaan pienten (< 0,5 ha) valuma-alueiden hulevesien esikäsitelyssä (Broz ym., 2017). Suotopatoa voidaan hyödyntää myös laskeutusaltaan purkurakenteena, jolloin virtaama saadaan ohjattua laskeutusaltaalta pois koko altaan leveydeltä eikä merkittäviä oikovirtauksia synny. Tällöin suotopatoon olisi hyvä kuitenkin rakentaa tiivis patosydän, jotta laskeutusaltaan pohjalle ei synny virtausta, vaan vesi poistuu laskeutusaltaan pinnalta.</p> <p>Suotopatoja on mahdollista käyttää pelkän esikäsitelyn sijaan myös varsinaisena huleveden käsittelyjärjestelmänä, kun läpivirtauksen nopeus ja virtauskuormitus per patometri pidetään mahdollisimman alhaisena (riittävä padon pituus esim. toteuttamalla pato altaan keskelle), padolle toteutetaan toimivat ylivuotoratkaisut ja padon rakenteeseen kiinnitetään huomiota (suodatinmateriaalin valinta, kasvipeitteisyys). Patoja voidaan rakentaa uomaan myös sarjana, jolloin yhteisvaikutus on suurempi kuin yksittäisen padon.</p> <p>Suotopatoja ei tule sijoittaa purovesistöihin, koska ne estävät kalojen ja vesieliöiden kulun.</p> <p>Jos suotopato toteutetaan tilapäisenä (esim. työmaavesien käsittely), on padon yläpuolelle kertynyt liete poistettava ennen padon purkamista, jotta liete ei lähde liikkeelle virtausnopeuksien palatuessa ennalleen. Lietteen poisto voi olla hankalaa, jos sitä on kertynyt pitkälle matkalle yläpuolisiin uomiin.</p>
Etuja	Vähäinen tilantarve, yksinkertainen rakenne, edullinen hinta. Viivyttävät myös veden virtaamia.
Ongelmia ja ratkaisuja	Useimmiten heikko puhdistustulos, tukkeutumisherkkyys, ylivuoto- ja eroosioriski, lietteenpoiston käytännön ongelmat
Sovellusalue	Erityisesti huleveden esikäsitely (kelluvan roskan ja karkean aineksen poistaminen). Käyttö laskeutusaltaiden purkurakenteena.
Huolto	Suotopadon tukkeutuessa padon massat on tyypillisesti vaihdettava kokonaan. Yläpuolisesta ojustosta poistetaan kertynyt liete ja roskat esim. imuautolla.



Kuva 16. Suotopadon toimintaperiaate. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



Kuva 17. Kasvipeitteinen suotopato hulevesien käsittelyssä. Kuva padon purkupuolelta. Valokuva Ramboll / Marko Ahola 2020.



Kuva 18. Karkeasta aineksesta toteutettu suotopato hulevesien esikäsittelyssä (kelluvan roskan ja karkean kiintoaineksen poisto) ketjutetussa järjestelmässä. Patoon on yhdistetty pieni laskeutustila yläpuolisessa ojastossa. Valokuva Mikkeli, Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö-investointihanke.

4.4.5 Laskeutusallas

Kuvaus	Laskeutusallasta käytetään kiintoaineksen poistoon vedestä. Hulevesien hallinnassa laskeutusallasta käytetään erityisesti esikäsitteilymenetelmänä sekä erityisen kiintoainespitoisten hulevesien, kuten työmaavesien, käsittelyyn. Laskeutusaltaassa veden virtaus hidastuu ja rauhoittuu altaan suuren pinta-alan ja vesitilavuuden vuoksi niin paljon, että vesifaasissa turbulenssin vuoksi leijuneet kiintoaineshiukkaset ehtivät laskeutua altaan pohjalle. Mitä suurempi allas on, sitä hienompaa ainesta sillä saadaan poistettua. Laskeutusaltaan suunnittelussa huomioitavia asioita on mm. kaikkien tulovirtaamien keskittäminen mahdollisimman kauas altaan poistovirtauksen lähtöpisteestä, virtaus-ten rauhoittaminen rakenteellisin keinoin (erilaiset tulo- ja poistovirtaaman jakorakenteet), altaan riittävä pinta-ala, syvyys sekä muut sopivat mittasuhteet. Suunnittelussa tulee varautua myös altaan huoltoon eli säännölliseen ja useinkin tapahtuvaan lietteen poistoon.
Etuja	Laskeutusaltaan periaate perustuu fysikaaliseen prosessiin, joka toimii niin kauan kuin vesi säilyy nestemäisenä. Kylmä vuodenaika ei siis vaikuta käsittelytulokseen yhtä helposti kuin biologisilla menetelmillä. Koska laskeutusaltaan toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, se on käsittelyrakenteista myös yksinkertaisimpia ja yksiselitteisimpiä mitoittaa, ja sen toimintavarmuus on hyvä. Laskeutusaltaan huolto on yksinkertaista.
Ongelmia ja ratkaisuja	<p>Laskeutusaltaan toiminnan ongelmat aiheutuvat tyypillisesti oikovirtauksista, pyörteisyydestä ja liian suuresta kuormituksesta.</p> <p>Oikovirtaukset johtavat käsiteltävän veden nopeasti altaan läpi ilman, että virtaus ehtii rauhoittua. Turbulenssi eli pyörteisyys estää virtauksen rauhoittumisen ja pyörteet voivat myös nostaa pohjaan laskeutunutta ainesta takaisin vesifaasiin. Sekä oikovirtaukset että turbulenssi liittyvät usein huonosti sijoiteltuihin virtaaman tulo- ja poistopisteisiin tai altaan epäedulliseen muotoon. Ongelman ratkaisemiseksi virtaaman tulo- ja poistopisteet tulee sijoittaa altaan vastakkaisiin päihin. Altaan edullisin muoto on pitkänomainen, leveys/pituussuhteeltaan luokkaa 1:5...1:10. Tarvittaessa edullisinta muotoa voidaan mittasuhteiltaan neliömäisessä altaassa tavoitella lisäämällä rakenteeseen virtaamaa ohjaavia ns. suisteita, joilla virtaus käännetään mutkittelemaan S-kirjaimen tavoin.</p> <p>Liian suuri kuormitus heikentää altaan puhdistustulosta, kun vain kaikkein karkeimmat kiintoainejakeet ehtivät laskeutua käsittelyssä. Jos ylikuormitusta tapahtuu vain ajoittain, allas saattaa toimia normaalioloissa hyvin, mutta voimakkaat ylivirtaamat huuhtovat mukanaan altaaseen jo kertyneen lietteen. Ylikuormituksen välttämiseksi altaan tulorakenteissa tulee olla ylivuotoreitti, joka ohjaa virtaamahuiput altaan ohitse.</p> <p>Altaan pinnan jäätyminen voi aiheuttaa oikovirtauksia esimerkiksi jään päällä, jolloin kiintoainekset ei pääse laskeutumaan. Suunnittelussa tulee tarvittaessa huomioida jäätyminen ratkaisuilla, jotka mahdollistavat veden pääsyn ja varsinkin poistumisen altaalta, vaikka sen pinta olisikin jäässä.</p> <p>Jos laskeutusallasta käytetään ainoana huleveden käsittelymenetelmänä, se joudutaan mitoittamaan melko suureksi hienoaineksen poistamisen varmistamiseksi. Riittävän suuren tilan löytäminen ja altaan maisemaan sovittaminen voi olla tällöin vaikeaa. Yleensä laskeutusallasta suositaan esikäsitteilymenetelmänä, jolloin hienompi kiintoainekset poistetaan esimerkiksi kosteikossa tai suodattavilla menetelmillä.</p>
Sovellusalue	Kiintoainespitoiset hulevedet kaikkialla, missä on riittävästi tilaa rakentaa allas
Huolto	Tyhjentämällä allas ja kaivinkoneella lietteen poisto tai pelkästään imuautolla lietteen poisto säännöllisesti



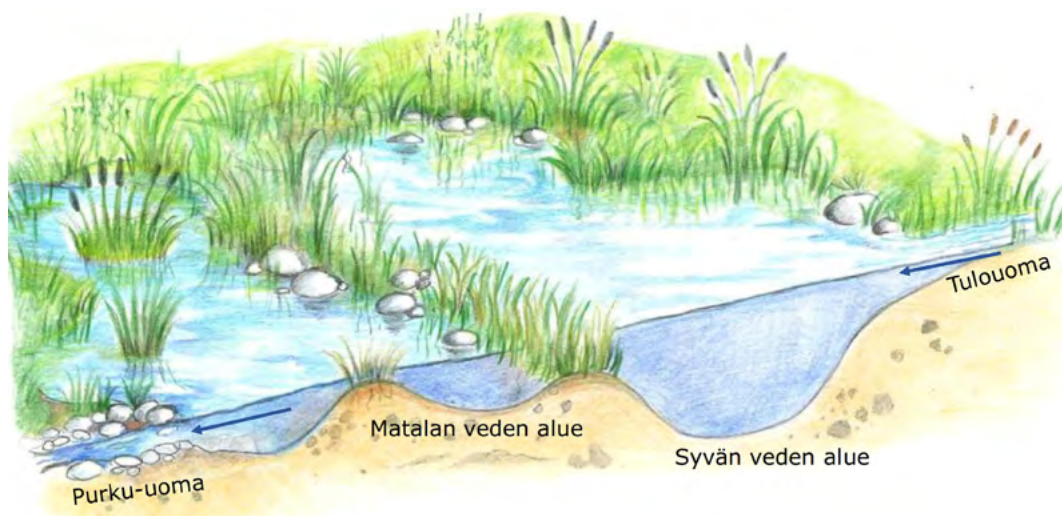
Kuva 19. Laskeutusaltan periaatekuva. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



Kuva 20. Luonnonmukainen uoman levennyksenä toteutettu laskeutusallas, jota ympäröivä tulvaniitty tasoittaa virtaamia ja parantaa altaan toimintaa tulvatilanteissa. Valokuva Ramboll / Johanna Jalonen 2018.

4.4.6 Kosteikko

Kuvaus	<p>Yksinkertaistaen kosteikkoa voidaan ajatella laskeutusaltaana, jossa on mahdollistettu myös monipuolinen biologinen toiminta. Kosteikon biologinen toiminta ulottuu mikrobitasolta makrofytyteihin eli silmin nähtävään, kookkaaseen kasvillisuuteen. Monipuolisen biologisen toiminnan aikaansaaminen vaatii kosteikossa useiden erityyppisten olosuhteiden luomista: kosteikosta tulisi löytyä sekä syvän avoveden että matalan veden alueita ja myös ajoittain kuivuvia tulvaniittyjä. Vaihtelevia olosuhteita voidaan luoda myös kosteikon rakennusmateriaaleilla käyttämällä rakenteissa monipuolisesti maa-, kivi- ja puuainesta sekä esimerkiksi biohiiltä tai kevytsoraa.</p>
Etuja	<p>Laskeutusprosessin ansiosta kosteikko poistaa hulevedestä kiintoainesta ympäri vuoden, ja biologisesti aktiiviseen vuodenaikaan vedestä poistuu lisäksi liukoisia haitta-aineita. Erittäin tiiviin kasvillisuuden alueilla kosteikossa voi toimia myös suodatusprosesseja, ja kosteikossa tapahtuvan mikrobiologisen predaation ansiosta veden mikrobiologinen laatu saattaa parantua.</p> <p>Kosteikko on monipuolisen kasvillisuutensa ansiosta kiitollinen maisemoitava ja usein helpommin sovitettavissa pysyväisluonteiseen hulevesien käsittelyyn kuin laskeutusallas. Kosteikko lisää merkittävästi myös luonnon monimuotoisuutta.</p>
Ongelmia ja ratkaisuja	<p>Kosteikkoihin voi liittyä samat ongelmat kuin laskeutusaltaidenkin toimintaan: oikovirtaukset, pyörteet ja ylikuormitus/alimitoitus sekä jäätymisestä aiheutuvat ongelmat. Näitä on käsitelty tarkemmin laskeutusaltaiden kohdalla.</p> <p>Kosteikon matalan vesisyvyyden alueilta kiintoainesta saattaa helposti lähteä ylivirtaamalla virtauksen mukaan. Kosteikon mittasuhteiden suunnittelussa tulee pyrkiä siihen, että virtausnopeus säilyy riittävän matalana myös korkeilla virtaamilla. Usein tämä tarkoittaa tulvaniittytyypisiä ratkaisuja, joissa virtauspinta-ala kasvaa voimakkaasti vedenpinnan noustessa.</p> <p>Lisäksi kosteikolle ominaisena ongelmana on usein sen ”sosiaalinen hyväksyttävyyttä” tai sen puute: kosteikon pelätään haisevan tai lisäävän hyttysten määrää lähiympäristössään. Suunnittelulla voidaan vaikuttaa molempiin varmistamalla, että vesi vaihtuu kosteikossa jatkuvasti, eikä seisovan veden lammikkoja pääse muodostumaan alivirtaamakaudellakaan.</p> <p>Kosteikon hoito saattaa olla hankalaa ja vaatia paljon käsityötä, koska maapohja on kosteikossa pehmeää ja liejuista. Ongelmaan voidaan vaikuttaa ennakoivasti suunnittelemalla kosteikkoon koneellisen ajon kestäviä vahvistettuja huoltoreittejä, jos se on maisemallisesti suinkin mahdollista. Lietteen poistokohdat tulee suunnitella siten, että paikalle pääsee imuautolla tai kai-vinkoneella vahingoittamatta kosteikon kasvillisuutta tai rakenteita.</p>
Sovellusalue	<p>Hulevedet kaikkiialla, missä on riittävästi tilaa rakenteelle</p>
Huolto	<p>Lietettä poistetaan kosteikon allasmaisista osista tarpeen mukaan esimerkiksi kaivinkoneella tai imuautolla.</p> <p>Kasvillisuuden hoitotarve tulee huomioida kosteikon suunnittelussa. Ravinteet ja haitta-aineet pidättyvät osittain kosteikon biomassaan, joten niiden poistaminen kokonaan rakenteesta edellyttää biomassan poistoa. Niitto ja kasvillisuuden poisto aiheuttaa kuitenkin rakenteen käsittelytehossa pitkäaikaista heikentymistä, kunnes kasvillisuus on jälleen vakiintunut, joten jokavuotisia vesikasvuston poistoja ei vesienkäsittelyn näkökulmasta voi suositella. Käytännössä kosteikon hoitona voi olla esimerkiksi tulvaniittyjen niittäminen vuosittain, puuvartisten kasvien raivaus kosteikosta 3–5 vuoden välein ja vesikasvien poisto tarpeen mukaan.</p> <p>Usein maisema- ja monimuotoisuusarvojen vuoksi kosteikoista joudutaan poistamaan säännöllisesti esimerkiksi tiheitä osmankäämikasvustoja, vaikka hulevesien käsittelyn kannalta hoitotoimenpiteet eivät varsinaisesti olisi tarpeen.</p>



Kuva 21. Kosteikon toimintaperiaate. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



Kuva 22. Hulevesikosteikko. Valokuva Ramboll.

4.4.7 Avouomat ja viherpainanteet

Kuvaus	Avouomissa hulevedet johdetaan maanalaisen putkiverkoston sijaan maan pinnalla näkyvissä viherpainanteissa, uomissa, ojissa ja puroissa
Etuja	<p>Huleveden johtaminen luonnonmukaisissa avouomissa ja kasvipeitteisissä painanteissa on huleveden laadun kannalta parempi vaihtoehto kuin huleveden johtaminen hulevesiviemäreissä, jos uomat ja painanteet on mitoitettu riittäviksi virtaamaan nähden.</p> <p>Avouomat mahdollistavat huleveden imeytymisen ja haihtumisen sekä kiintoaineksen pidättymisen uoman hitaammin virtaaviin osiin. Uoman muotoiluilla, pohjapadoilla ja kasvillisuudella voidaan hidastaa virtaamaa ja mahdollistaa enemmän puhdistusprosesseja. Kasvillisuuspin- taisissa uomissa kasvillisuus voi kasvukautena pidättää jossain määrin esim. ravinteita. Maisemallisesti purot ja uomat ovat mielenkiintoisia, ja ne ovat myös biologisesti monipuolisia ympäristöjä. Varsinkin kaupunkiympäristössä uomaverkostot ovat erittäin merkittäviä ekologisia yhteyksiä sekä vesi- että maaeliöstölle.</p>
Ongelmia ja ratkaisuja	<p>Toisinaan avouomat toimivat itse asiassa huleveden laatua huonontavana tekijänä, kun uomiin kohdistuu niin voimakasta virtaamakuormitusta, että eroosio alkaa syövyttää uoman törmä ja pohjaa. Tällöin uoman maapohjasta kuluva kiintoainekes liettyy uomassa virtaavaan veteen ja päätyy alapuolisiin vesistöihin.</p> <p>Avouomien suunnittelussa tulee siksi ottaa huomioon virtaamaolojen vaihtelu ja maaperän eroosioherkkyys, ja varata tilaa riittävän loiville luiskille ja tarpeeksi laajalle virtauspoikkileikkaukselle, jotta virtausnopeus uomassa ei kasva liaksi ylivirtaamatilanteessakaan. Myös vedenpinnan nostaminen pohjapadoilla hidastaa virtausnopeutta kasvattamalla vesipoikkileikkauksen pinta-alaa; toisaalta ratkaisu myös kasvattaa virtauksen kulutukselle alttiina olevaa vesipoikkileikkausta, joten pohjapatojen käyttö eroosion hallinnassa vaatii huolellisuutta mitoituksessa.</p> <p>Jos uomalle käytävissä oleva tila jää riittämättömäksi, voi eroosioherkimmillä alueilla putkessa johtaminen olla vedenlaadun kannalta parempi ratkaisu.</p>
Sovellusalue	Hulevesien johtaminen kaikkialla, missä on käytävissä riittävästi tilaa sekä alueille, joissa on riittävästi korkeuseroja
Huolto	Lietymien poisto ja kasvillisuuden poistaminen tarpeen mukaan



Kuva 23. Avouoma, jossa on varattu tilaa myös tulvavesien johtamiselle. Piirros Ramboll / Taru Mäkiranta 2022.



Kuva 24. Avouoma asuinalueella. Avouomaan on toteutettu virtausta hidastavia ja vedenlaatua parantavia elementtejä. Valokuva Ramboll.

4.4.8 Erityisrakenteet, kuten roskanpoistorakenteet, kaivosuodattimet, öljynerottimet, geomatot, geotuubit, suodatinarkut

<p>Kuvaus</p>	<p>Huleveden laadun parantamiseksi on kehitetty useita erityisrakenteita. Kelluvan roskan poistoon tarkoitettut rakenteet voivat yksinkertaisimmillaan olla sakkapesällisiin kaivoihin yhdistettyjä vesilukkoputkia, joilla kaivosta poistuva vesi otetaan vedenpinnan alta ja kelluvat isokokoiset roskat jäävät kaivoon. Kaivojen sakkapesiin pidättyy uppoavaa ainesta, esimerkiksi karkea kiintoaines. Roskaa voidaan poistaa hulevedestä myös erilaisilla verkostoon asennettavilla siivilöillä ja välillä. Useimmiten välppärakenteet sijaitsevat avouomissa rumpujen imupäissä.</p> <p>Kaivosuodattimet ovat ritiläkaivojen kansiston alle roikkumaan asennettavia geotekstiilistä valmistettuja ”suodatinpusseja”, joissa kiintoaines sekä roskat jäävät pussiin. Pussiin kertyvä vesi suodattuu omalla paineellaan hitaasti suodatintekstiilin läpi. Pussin täytyessä siihen kertyvä hiekka parantaa edelleen rakenteen käsittelytehoa. Kaivosuodattimilla voidaan poistaa kiintoainesta sekä roskaa ja isokokoista mikromuovia.</p> <p>Öljynerottimessa huleveteen sekoittuneet vettä kevyemmät nesteet, kuten öljyt, erottuvat säiliön pinnalle. Erottumista tehostavat säiliössä olevat lamellirakenteet. Öljyn poistamiseen hulevesistä on kehitetty myös oleofiilisista polymeereista valmistettu maahan asennettava geomatto, jossa maton läpi imeytyvän huleveden hiilivedyt kiinnittyvät mattoon ja hajoavat mikrobitoiminnan avulla.</p> <p>Geotuubit ovat jo pitkään käytössä ollut menetelmä erittäin kiintoainepitoisten vesien käsittelyssä esim. imuruoppauksen yhteydessä. Geotuubeja on hyödynnetty myös työmaavesien käsittelyssä.</p> <p>Yksittäisissä kohteissa on kokeiltu hulevesien puhdistamisessa ns. suodatinarkkua, jossa hulevedet puhdistuvat virratessaan maanalaiseen säiliöön sijoitettujen erilaisten suodatinmateriaalien läpi. Helsingin Mechelininkadun pilotissa suodatinarkun puhdistusteho mikromuoveille on ollut korkea, jopa 95–100 %, ja arkkuun pidättyy myös muita kiintoaineita (Pankkonen 2020). Suodatinarkkujen huoltotarpeesta ja käytöstä ei ole vielä kattavasti kokemuksia.</p>
<p>Etuja</p>	<p>Näillä erityisjärjestelmillä on mahdollista poistaa hulevesistä kiintoainoksen lisäksi spesifisiä haitta-aineita kuten öljyjä (öljynerotin, geomatto) tai mikromuoveja (roskan poisto, kaivosuodattimet, suodatinarkku). Useimmat erikoisjärjestelmät ovat maanalaisina lähes täysin näkymättömissä eivätkä ne siten vie tilaa maankäytöltä. Koska useimmat järjestelmistä eivät hyödynnä biologisia prosesseja merkittävässä määrin ja ne sijaitsevat suojassa maan alla, ne toimivat vähintään kohtuullisesti myös kylmään vuodenaikaan.</p>
<p>Ongelmia ja ratkaisuja</p>	<p>Maanalaisten rakenteiden rakentamiskustannukset ovat tyypillisesti korkeat. Järjestelmät vaativat myös intensiivistä, säännöllistä huoltoa, koska maanalaisten rakenteiden lietetilavuus jää kustannussyistä useimmiten varsin pieneksi.</p> <p>Useimmat näistä järjestelmistä vaativat toimiakseen riittävää korkeuseroa, mistä syystä niille voi olla vaikeaa löytää sopivaa sijoituskohtaa, jossa järjestelmä saataisiin toimimaan painovoimaisesti. Toisinaan rakenteiden käyttö edellyttää hulevesien pumppausta.</p>
<p>Sovellusalue</p>	<p>Maanalaiset rakenteet soveltuvat hulevesien hallintaan alueilla, joissa edullisemmat maanpäälliset ratkaisut eivät ole mahdollisia, kuten tiiviissä kaupunkikeskuksissa.</p> <p>Erityisrakenteilla on käyttöä myös esimerkiksi työmaavesien käsittelyssä sekä spesifien haitta-aineiden poistamisessa.</p>
<p>Huolto</p>	<p>Lietteen poisto järjestelmästä säännöllisesti sekä laitetoimittajan määrittämän huolto-ohjelman noudattaminen</p>

4.5 Hulevesien käsittelyn erityiskysymyksiä

4.5.1 Työmaavesien hallinta

Usein työmaavesien hallinnassa keskitytään jo muodostuneiden hulevesien puhdistamiseen. Työmaavesien puhdistusmenetelmiä on ohjeistettu mm. RT-kortistoissa. Selkeästi parempiin lopputuloksiin on kuitenkin mahdollista päästä ennaltaehkäisemällä likaisten hulevesien muodostumista, mikä korostui myös selvityksen yhteydessä pidetyssä työpajassa. Esimerkiksi Kaarinan Rauhalinnan alueella rakennustyömaa-alueen kuormitus vastaanottavaan vesistöön käytännössä loppui, kun työmaa-alueella kiinnitettiin huomiota työmaa-ajoneuvojen kulkureitteihin, maamassojen läjitykseen ja olemassa olevan kasvillisuuden säästämiseen. Sen sijaan viereinen vertailualue, jossa työmaa toteutettiin ilman eroosionhallinnan ohjeistusta ja hulevesiä käsiteltiin suotopadolla, aiheutti vesistöön huomattavaa kiintoaineskuormitusta. (Leskinen ja Vilminko, 2019)

Urakoitsijalle erityisesti ennaltaehkäisevät hallintakeinot eivät välttämättä merkitse merkittävää lisätyötä, ja niitä olisi mahdollista huomioida jo urakkasopimuksessa (Leskinen ja Vilminko, 2019). Käytännössä olisi mahdollista esimerkiksi edellyttää, että urakoitsija laatii kohteelle työmaavesien hallintasuunnitelman, jossa esitetään likaisten hulevesien muodostumisen ennaltaehkäisy, määrän vähentäminen ja käsittely kyseisessä työkohteessa. Työmaavesien hallintasuunnitelmien vaatiminen ja niiden tärkeys korostui myös selvityksen yhteydessä järjestetyn työpajan keskusteluissa.

Ennaltaehkäisy

Ennaltaehkäisyn tavoitteena on estää likaisten hulevesien muodostuminen. Ennaltaehkäisyn keinot ovat hyvin yksinkertaisia ja liittyvät työmaiden käytäntöihin. Keinoina ennaltaehkäisyssä ovat

- kasvillisuuden säästäminen ja säilyttäminen mahdollisimman pitkään
- maaperän suojaaminen häiriintymiseltä ja tiivistymiseltä työkoneiden ajoreittejä järkeistämällä sekä
- varastoitavien ja läjitettävien maa-ainesten sijoittelu riittävän etäälle hulevesikaivoista, ojista, puroista ja vesistöistä.

Paljastettua maata ei saisi työmailla jättää sateelle alttiiksi, vaan maapinnan käsittelyssä tulisi noudattaa seuraavaa prioriteettijärjestystä:

- 1) säilytetään toistaiseksi nykyinen kasvipeite
- 2) jos säilyttäminen ei ole mahdollista, niin rakennetaan pinta suoraan valmiiksi (esim. kiveykset, asfaltoinnit, kasvipeitteiset viheralueet)
- 3) jos suoraan valmiiksi rakentaminen ei ole mahdollista, suojataan paljas pinta tilapäisratkaisuilla (katteet, suojamatot ja -verkot)

Rakennettavilla viheralueilla kasvualustat tulee kasvukaudella levittää mahdollisimman pian ja siemenkylvöjen ja istutusten kastelusta huolehtia, jotta kasvilisuu alkaisi sitoa pintamaata mahdollisimman pian. Kylvetyt alueet suojataan esimerkiksi harsolla, kunnes siemenet ovat kunnolla itäneet. Istutettavat alueet suojataan esimerkiksi kuorikatteella. Kasvukauden ulkopuolella pinnat tulee peittää sopivalla tilapäisellä katteella tai suojamatolla/verkolla ja levittää kasvualustat kylvöineen vasta kasvukauden alkaessa.

Ojiin, puroihin tai vesistöihin rajoittuvilla alueilla suositetaan aina käytettäväksi kokonaan maatuivia eroosiosuojamattoja tai -verkkoja. Mikromuovikuormituksen välttämiseksi tulee varmistua, että käytettävä materiaali on 100 % muovitonta.

Syvät kaivannot kuivatetaan työmailla usein pienellä uppopumpulla. Kaivantopumppua ei tule sijoittaa kaivannon paljaalle maapohjalle, vaan yksinkertaisimmillaan esimerkiksi laastipaljuun, jolloin pumppu ei pääse imemään kaivannosta poistettavan veden sekaan ylimääräistä maa-ainesta.

Työmaiden siisteys on merkittävä tekijä vesistöjen mikromuovikuormituksen hallinnassa, mikä nousi esille myös selvityksen yhteydessä pidetyssä työpajassa. Ympäristöön joutuvat muovikappaleet – esimerkiksi työmailla käytettävien materiaalien muovikäareet, pressut tai eristelevyt – pilkkoutuvat hitaasti vuosien kuluessa ja tuottavat vesistöön pilkkoutuessaan jatkuvaa mikromuovikuormitusta. Yksittäisten roskien poistaminen on huomattavasti helpompaa kuin mikromuovin puhdistus vesistöstä.

Likaisten hulevesien määrän vähentäminen

Työmaavesien käsittelyssä veden määrän vähentämisellä tähdätään tarvittavien käsittelyrakenteiden virtaamakuormituksen pienentämiseen, jolloin rakenteet toimivat tehokkaammin.

Määrän vähentämisessä oleellisin keino on säilyttää puhtaat valumavedet erillään likaisista ohjaamalla työmaan ulkopuolelta virtaavat vedet työmaan ohitse. Rakennustyömaat ovat pinta-alaltaan varsin rajallisia, joten jos niillä muodostuvia hulevesiä ei laimenneta ympäristön puhtailla valumavesillä, jäävät tarvittavat käsittelyjärjestelmät kohtuullisen kokoisiksi.

Ohivirtausratkaisut tulee suunnitella siten, että mahdolliset uudet niskaojat tms. eivät aiheuta itsessään kiintoaineskuormitusta. Uusien ojien luiskat ja pohja tulee siis suojata tehokkaasti eroosiolta. Vesi voidaan myös johtaa ojan pohjalle asennettavassa putkessa tai käyttää ohipumppausta.

Työmaalta käsittelyyn johdettavien hulevesien määrää on mahdollista vähentää jonkin verran myös maahan imeyttämällä, joskin huleveden korkea kiintoainepitoisuus voi aiheuttaa ongelmia.

Likaisten hulevesien käsittely

Likaisten hulevesien pääsy käsittelemättömänä vesistöön tulee estää. Jos ennaltaehkäisy- ja vähentämistoimenpiteiden jälkeen työmaalta joudutaan vielä johtamaan pois hulevettä, se tulee käsitellä. Puhdistusratkaisut nojaavat luvuissa 4.3. ja 4.4. esiteltyihin käsittelymenetelmiin ja -rakenteisiin. Tyypillisiä työmailla käytettyjä puhdistusrakenteita ovat laskeutusaltaat, suodattimet sekä näiden yhdistelmät, jossa hulevesi ohjautuu laskeutusaltaalta pois esimerkiksi suodattavan patorakenteen läpi.

Kokemus on osoittanut, että pelkät kiviaineksesta vastaanottaviin ojiin ja puroihin rakennetut suotopadot työmaavesien käsittelyssä eivät ole toimivia ratkaisuja. Huleveden sisältämät erittäin runsaat kiintoainemäärät tukkivat suotopadon hyvin nopeasti ja nostavat padon yläpuolella vedenpintaa. Pahimmassa tapauksessa ylivuodot voivat aiheuttaa merkittävää eroosiota ja lisäkuormitusta sen lisäksi, että rakenteesta yli vuotava vesi jää käsittelemättä. Suotopatoihin pitäisikin aina yhdistää riittävän laajaksi mitoitettu laskeutusallas, jolloin suotopato toimii lähinnä laskeutusaltaan vettä nostavana elementtinä, purkureittinä ja jälkikäsitteilynä (esim. kelluvan muoviroskan poisto).

Työmaavesille tarkoitettujen laskeutusaltaiden suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota kiintoaineksen poiston mahdollisuuteen ja altaan lopputilanteen käyttöön. Työnaikainen laskeutusallas on usein järkevää suunnitella hyödynnettäväksi myös lopputilanteen huleveden hallinnassa. Siinä tapauksessa laskeutusallas tulisi työmaan valmistuttua aina tyhjentää lietteestä, kunnostaa ja huoltaa. Tarvittaessa purkurakenteet uusitaan lopputilanteen tarpeita ja mitoitusta vastaavaksi ja maisemoidaan allas. Jos jatkokäyttö ei ole mahdollista, allas voidaan esimerkiksi lopuksi tyhjentää vedestä ja lietteestä imuautolla ja täyttää.

Tilapäisten suotopatojen ja laskeutusaltaiden rakentamista luonnonvesiin, esimerkiksi purojen latvoille, tulisi välttää. Syynä on se, että kun tilapäinen rakenne puretaan, sen yläpuolelle puron pohjalle laskeutunut kiintoaines pääsee rakenteen poistuttua lähtemään taas liikkeelle, kun virtausnopeus puron pohjalla kasvaa. Jos patorakenteet jätetään vesistöihin, ne voivat myöhemmin osoittautua vesieliöiden kulkuesteeksi. Käsittelyrakenteet pitäisikin lähtökohtaisesti toteuttaa työmaa-alueen sisällä, ei alapuolisissa vesistöissä.

Laskeutusaltaiden ja suotopatojen lisäksi varsinkin sulan maan aikaan on mahdollista käsitellä työmaavesiä pintavalutuksella. Pintavalutuksessa työmaavedet jaetaan esimerkiksi salaojaviemärillä maastoon kasvipeitteiselle alueelle. Vesi imeytyy karikkeeseen ja maan pintakerrokseen, ja kiintoaines jää maan pinnalle. Työmaavesien käsittelyssä voidaan hyödyntää esimerkiksi myös geotuubeja.

4.5.2 Mikromuovien poistaminen hulevesistä

Vesistöjen mikromuoveista noin 69–81 % arvioidaan olevan sekundaarista mikromuovia (Euroopan parlamentti 2018), tämän vuoksi tärkeänä ennaltaehkäisevänä toimenä tulisi myös vähentää makromuovin päätymistä vesistöihin.

Mikromuovien määrää hulevesissä voidaan vähentää erilaisilla menetelmillä. Suurin osa nykyisin käytetyistä menetelmistä perustuu suodatukseseen. Suodatuksessa mikromuovi joko sitoutuu kemiallisesti, tai jää mekaanisesti kiinni suodatinmateriaaliin. Suodatus voidaan toteuttaa sitä varten suunnitelluilla suodattimilla, joissa voidaan käyttää eri materiaaleja, kuten suodatushiekkaa, betonimurskaa, biohiiltä tai kevytsoraa, tai hulevesi voidaan suodattaa maaperän avulla imeyttämällä tai pidätysmenetelmillä. Käytännössä tämän voi toteuttaa mm. suodatusarkulla, joka suodattaa huleveden ennen sen pääsemistä vesistöön.

Mikromuoveista liukenevien lisäaineiden poistaminen on haastavampaa ja voi vaatia erilaisia suodattimia ja kemiallisia menetelmiä mikromuovipartikkeleihin verrattuna.

4.6 Käsittelyrakenteiden mitoitus ja suunnitteluperusteet

4.6.1 Mitoitussade

Vallitsevan käsityksen mukaan hulevesien laadullista hallintaa ei ole järkevää mitoittaa harvinaisille sadetapahtumille, koska ne kattavat vähäisen osuuden vuotuisesta kokonaissademäärästä. Pienempien sademäärien aiheuttaman hulevesivirtaaman käsittely riittää, mutta hulevesien laadulliseen käsittelyyn tulee liittää aina ylivuotoratkaisut ja määrällinen hallinta.

Esimerkiksi Kuntaliiton Hulevesioppaassa (2012) esitetään, että imeytyspainanteen mitoitus voidaan pienentää 80 %, kun tavoitteena on pelkästään hulevesien laadullinen hallinta määrällisen hallinnan sijaan. Imeytyspainanteen määrällisen hallinnan mitoitus on samassa kohdassa ohjeistettu noin 10 mm sademäärälle, eli laadullisessa hallinnassa riittäisi 2 mm mitoitussade. Tilastollisesti 2 mm sademäärä vastaa kesäkauden sadepäivän mediaania, eli 50 % kesäsadepäivistä sataa 2 mm tai alle. Hieman suurempana mitoitusarvona on toisinaan käytetty 4 mm sademäärää, joka vastaa kesäkauden sadepäivän vuorokausisademäärän keskiarvoa. (Aaltonen ym., 2008). Seuraavassa kappaleessa esitettyjen havaintojen perusteella voidaan kuitenkin pohtia, olisiko nykyistä nyrkkisääntöä melko pienten sademäärien käsittelyn riittävydestä syytä tarkistaa ylöspäin.

Sadetapahtuman sademäärien vaikutusta huleveden laadulliseen kokonaiskuorimitukseen on hiljattain selvittänyt diplomityössään mm. Tuomela (2017), joka on

selvitellyt Espoon Vallikallion kerrostaloalueella kesäajan sadetapahtumien kooka ja yleisyyttä sekä niiden osuutta hulevesien virtaaman ja haitta-aineiden kokonaiskuormitukseen. Tuomelan mukaan alle 5 mm sateet kattavat vain 5...6 % osuuden vuotuisesta kokonaiskuormasta (Taulukko 8) kyseisellä alueella. Myös Kahvan (2022) opinnäytetyössä on havaittu vastaava ilmiö, jossa hulevesien haitta-ainekuormituksen pääosa aiheutuu keskisuurista sateista. Toisaalta kyseiset työt käsittelevät vain kesäsateita, eivätkä huomioi sateen kestoa ja intensiteettiä, joilla on oleellinen merkitys käsittelyrakenteiden mitoituksessa. Esimerkiksi 10 mm sade voi olla pitkäkestoinen, jolloin käsittelyrakenteen tulovirtaama on pieni. Lisäksi kuormituksen muodostumisessa voi esiintyä alueellista vaihtelua. Esimerkiksi hyvin tiiviisti rakennetuilla valuma-alueilla valuntaa syntyy jo hyvin pienellä sateilla, kun puolestaan väljästi rakennetuilla alueilla tarvitaan suurempi tai intensiivisempi sade valunnan muodostumiseksi (Valtanen ym., 2014b). Lisäksi kevätkuormituksella on suuri merkitys vuosittaisen haitta-ainekuorman muodostumisessa alueesta riippumatta, erityisesti väljästi rakennetuilla alueilla (Valtanen, 2015). Sulamisvesien virtaamat ovat usein pieniä, mutta pitkäkestoisia, mikä on hyvä huomioida käsittelyrakenteiden suunnittelussa (Valtanen ym., 2014b). Ihanteellista olisi pystyä käsittelemään noin 80 % vuosittaisesta valunnasta, vaikka tähän ei kaikissa kohteissa ole mahdollisuutta.

Taulukko 8. Esimerkki kuormituksen muodostumisesta erikokoisilla sateilla: Espoon Vallikallion kerrostaloalueen (läpäisemätöntä pintaa 50 %) kesäajan sadetapahtumien yleisyys ja erikokoisten sadetapahtumien osuudet kokonaisvalunnasta ja haitta-ainekuormituksesta (Tuomela, 2017). Huom. käsittelyrakenteiden mitoitukseseen vaikuttavat myös sateen intensiteetti, joka vaikuttaa rakenteen tulovirtaamaan, sekä rakenteen poistovirtaama, joita taulukossa ei ole esitetty. Eri rakennetyypeille voidaan käyttää erilaisia mitoitusperusteita.

Sadetapahtuman sademäärä	alle 5 mm	5...26 mm	yli 26 mm
Osuus sadetapahtumista	60 %	38 %	2 %
Osuus kokonaisvalunnasta	8 %	76 %	16 %
Osuus haitta-ainekuormituksesta	5...6 %	75...77 %	17...20 %

4.6.2 Muita suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä

Suunnittelun lähtökohtana on lähes aina rakenteen valuma-alueen laajuus ja läpäisemättömän pinta-alan määrä, jotka pitkälti määrittävät käytettävän mitoitusvirtaaman. Hulevesimäärään vaikuttavat lisäksi haihdunta, vuodenaika, maaperä jne. Mitoitusvirtaaman lisäksi muita suunnittelussa huomioitavia mitoitusparametreja ovat rakenteesta riippuen mm. tavoiteltava virtausnopeus, suotautuminen, hydraulinen gradientti ja paine-ero, viipymä, lietetilavuus ja pinta-kuorma.

Huleveden laadunhallintarakenteiden suunnittelussa on aina syytä huomioida ohivirtaus- ja ylivuotojärjestelyt. Edellä todettiin, että mitoitusasteiden kasvat-

tamiseen voi olla jatkossa tarvetta, mutta tästä huolimatta rakenteissa tulee vastakin olla riittävä varautuminen poikkeusolojen virtaamiin. Erityisenä huolena on rakenteisiin kertyneiden haitta-aineiden huuhtoutuminen virtaamapiikkien mukana vastaanottaviin vesistöihin. Tulvahuippuihin voidaan varautua ylivuotorakenteiden lisäksi myös suunnittelemalla laadullisen hallinnan rakenteiden yhteyteen virtaamaa viivyttäviä ja tasaavia osia. Viivytyrakenteet tulee sijoittaa ylävirran puolelle ennen laadullisen hallinnan rakenteita.

Suunnittelussa on huomioitava paikalliset maaperäolot sovittamalla rakenteiden luiskakaltevuudet maaperän eroosioherkkyyden mukaisiksi. Useimmiten jyrkät luiskat ja virtaaman pyörteiset kohdat, kuten uoman mutkat ja rumpujen ja putkien suut, on lisäksi suojattava eroosiolta sopivalla suojaverhouksella kuten kiveyksellä tai maatuvalle eroosiosuojamatolla. Mikromuovikuormituksen välttämiseksi eroosiosuojauksissa ei tule käyttää materiaaleja, jotka sisältävät esimerkiksi muoviverkkoa.

Rakenteiden kunnossapidon vaatimukset tulee ehdottomasti huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Kunnossapidettävyyden kannalta rakenteen tulee olla saavutettavissa, eli rakenteella tulee olla mahdollisuuksien mukaan selkeä huoltokohde (esim. lietteen poistoalue) ja reitti huoltokohteelle pääsyä varten. Reitin tulee olla kyllin kantava ja geometrialtaan riittävä käytössä olevalle huoltokalustolle. Suodatinkankaita tulisi käyttää kunnossapidettävissä hulevesirakenteissa harkiten, ja hakea mahdollisuuksien mukaan vaihtoehtoisia ratkaisuja, koska rakenteissa olevat suodatinkankaat hankaloittavat huomattavasti rakennekerrosten ja verhoilujen myöhempää kunnossapitoa. Kiviverhouksien huollettavuudessa on huomioitava riittävän suuri aineskoko verrattuna loka-auton imuputken halkaisijaan. Yleisesti ottaen laajat kiviverhoukset voivat usein olla hankalasti kunnossapidettäviä, koska ne keräävät helposti lehtikariketta ja roskaa ja myöhemmin rikkakasveja.

Rakenteiden talvitoiminnallisuudessa tulee huomioida sekä jäätyminen aiheuttamat ongelmat rakenteiden toiminnassa että mahdollinen aurauslumien kasaaminen. Sulamisvedet ovat erittäin huonolaatuisia, joten laadullisen käsittelyn rakenteet tulisi suunnitella niin, että ne keräisivät ja käsittelisivät mahdollisimman paljon sulamisvesiä. Toisaalta sulamiskaudella kylmät sulamisvedet jäätyvät nopeasti lyhyilläkin pakkasjaksoilla, jolloin seuraavaa sulantapiikkiä varten on rakenteessa hyvä olla lumesta ja jäätystä vapaana säilyvä ylivuotojärjestely.

4.7 Saavutettuja tuloksia

Viimeisten vuosien aikana hulevesien laadunhallinta on noussut määrän hallinnan rinnalle tavoitteiden näkökulmasta. Samalla on tehty tutkimusta toteutetuista rakenteista. Tutkimus on keskittynyt suurelta osin erilaisten suodatusmateriaalien ja biosuodatuksen tutkimukseen, toisaalta mm. kosteikoista ja laskeutusaltaista löytyy paljon tutkimustietoa maatalousalueilta. Tässä katsauksessa on keskitytty pääosin suomalaiseen tutkimukseen.

Kosteikot, laskeutusaltaat ja avouomat

Rakennetuissa kosteikoissa kasvillisuuspeitteisyyden on havaittu olevan tärkein tekijä valumavesien käsittelyssä, sillä se lisää veden viipymää ja laskee virtausnopeutta vähentäen täten myös huuhtoutumista ylivirtaamilla (Kill ym., 2022). Samalla kosteikon toiminnallisuuden on havaittu paranevan ajan myötä ja olevan paikoin riippuvainen vuodenaajoista, sillä kylmän ajanjakson ja kevätvalunnan aikaan viipymä on pienempää (Wahlroos ym., 2015). Ilmastonmuutos lisää poikkeuksellisen kuivia ajanjaksoja sekä rankkasateita ja syystulvia. Tällöin kasvukauden aikaisten prosessien merkitys kasvaa. Toisaalta kevätvalunnan aikaan pitoisuudet voivat olla kesää suurempia, jolloin kiintoaineksen ja fosforikuormituksen pidättyminen on tällöin kg-määräisesti suurinta (Wahlroos ym., 2015), vaikka vaikutus pitoisuuksiin onkin vähäisempää kuin kesäaikaan. Kaupunkialueilla kasvukauden aikaiset prosessit ovat tärkeitä, sillä kevätvalunta voi olla vähäisempää lumen auruksen ja kuljetuksen vuoksi.

Kosteikolla tehdyt jatkuvatoimiset mittaukset (Wahlroos ym., 2015) osoittivat, että laskeutusaltaiden tai kosteikkojen mitoituksissa yleisesti käytettyä mitoituseriaa 0,5–2 % rakenteen pinta-alan suhteesta valuma-alueeseen pienempikin rakenne pidätti n. 10 % vuotuisesta kokonaisfosforista. Mitoitus riippuu kuitenkin mm. valuma-alueen ominaisuuksista ja myös kunnossapito pitää huomioida.

Avo-ojiin ja uomiin pätee samoja huomioita kasvipeitteisyydestä kuin rakennettuihin kosteikkoihin. Erona avo-ojissa ja uomissa on, että pysyvää vesipintaa ei välttämättä ole kuten kosteikoissa. Pohjan ja luiskien muotoilut, pituuskaltevuus ja tulvatasanteet sekä kasvillisuuden määrä vaikuttavat eniten virtausnopeuteen. Virtausnopeus taas vaikuttaa eroosio- ja sedimentaatioprosesseihin (Västilä ja Järvelä, 2015), eli uoman kykyyn pidättää kiintoainesta, ravinteita ja haitta-aineita.

Laskeutusaltaat ovat ongelmallisia savimailla, sillä savipartikkelit, joihin on kiinnittyneenä fosforia, tarvitsevat niin pitkän laskeutumisaajan, että sitä on vaikea saavuttaa laskeutusaltaalla. Tulvatasanteellisten tiheän kasvillisuuden peittämien uomien on kuitenkin havaittu pidättävän kiintoainesta myös savimailla (Västilä ja Järvelä, 2015; Kalinowska ym., 2022). Estääkseen eroosiota tulvatasanteen kasvillisuuden pituudeksi riitti 10 cm ja toisaalta pidättämään kiintoainesta 30 cm (Västilä ja Järvelä, 2015). Kaksitasouomien on havaittu vähentävän fosforikuormitusta ulkomailla tehdyissä tutkimuksissa (Västilä ja Järvelä, 2019). Myös typenpoisto voi tehostua, jos vesi nousee tasanteelle riittävän usein, mutta toistaiseksi näitä ei ole selvitetty Suomessa.

Oikein suunnitellulla ja ajoitetulla luonnonmukaisten uomien ja tulvatasanteiden kasvillisuuden hoidolla parannetaan kiintoaineksen laskeutumista ja pidättymistä ylläpitäen kuitenkin riittävää vedenjohtavuutta (Kalinowska ym., 2022). Usein

kokonaistaloudellisesti edullisinta on perustaa kunnostustoimet kasvillisuuden kehittämiseen ja luonnonprosesseihin massiivisten rakentamistoimien sijaan (Rowinski ym., 2018). Uoman luiskat ja tulvatasanne säilytetään kasvipeitteisinä. Kasvillisuuden ajoittaisen niiton avulla poistetaan biomassaa ja ravinteita uomasta. Niitossa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että uoman kyky hidastaa virtausnopeutta ja pidättää kiintoainesta ei häiriinny. Uomien niitto mahdollistetaan rakenteeltaan kantavien huoltoteiden avulla.

Myös kosteikkojen ja laskeutusaltaiden toiminnallisuuden tehostamiseksi on kokeiltu erilaisia materiaaleja. Uusia tutkimuskysymyksiä on esimerkiksi uppopuuston hyödyntäminen kosteikoissa, laskeutusaltaissa tai avouomissa (Vuorio ym., 2021). Uppopuurakenteen pinnalle kehittyy päällyskasvustoa ja sitä hyödyntävää pohjaeläimistöä. Tämä suodattaa vedestä ravinteita, humusta ja metalleja. Laskeutusaltaissa tehdyssä tutkimuksessa (Vuorio ym., 2021) puukäsittely alensi systemaattisesti kiintoaineksen, kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisravinteiden ja orgaanisen hiilen pitoisuuksia purkupäässä. Päällyskasvustoa muodostui voimakkaammin havupuun pinnalle kuin koivun pinnalle.

Lappeenrannassa Sammonlahden hulevesikosteikolla on kokeiltu EM-tekniikan eli nk. mutapallojen toimivuutta ravinteiden pidättäjinä sekä shungiittimateriaalia suodatinmateriaalina (LUT) (Haapala ja Aura, 2021). Mutapallojen ansiosta vesi kirkastui ja kosteikon fosforipidätys tehostui.

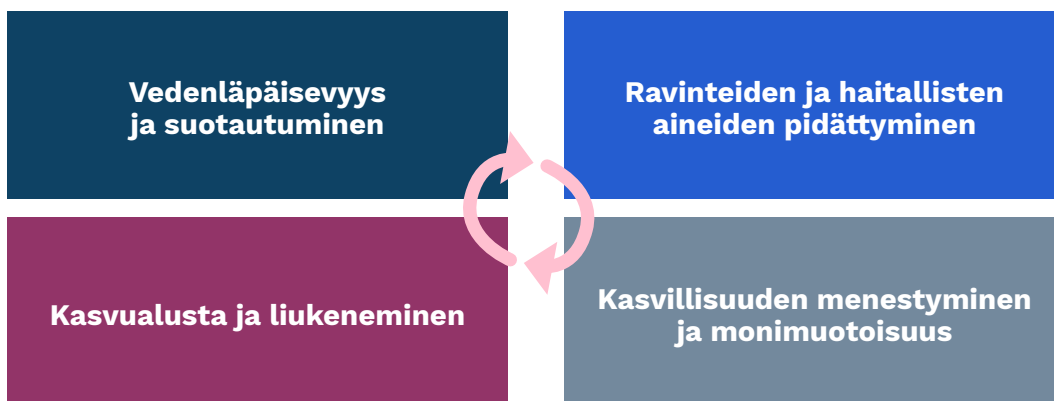


Kuva 25. Kuva uppopuuston käytöstä avo-ojassa (Vuorio ym., 2021).

Biosuodatus ja suodatus

Biosuodatusrakenteiden puhdistuskyky riippuu erityisesti biosuodattimen rakennekerroksista, mutta myös kasvillisuuden lajistolla voi olla merkityksensä eten-

kin maaperän vedenjohtavuuteen ja mikrobistoon sekä ravinteiden puhdistamisessa. Puhdistustehokkuudessa voi esiintyä myös vuodenaikaista vaihtelua. Alla esitetyissä biosuodatustutkimusten tuloksissa on rakennekerroksissa, tutkittavissa aineissa ja kasvillisuudessa vaihtelua, mutta tulokset antavat yleiskatsauksen biosuodatuksen monipuolisesta toiminnasta. Biosuodatusrakenteet pidättävät hyvin kiintoainesta ja siihen sitoutuneita partikkeleita, kuten raskasmetalleja ja fosforia sekä mikromuoveja. Hulevesissä raskasmetallit ovat pääosin sitoutuneina kiintoaineeseen (esim. Valtanen ym., 2014a). Laboratorio-olosuhteissa biosuodatuksen on havaittu pidättävän sulatetusta tienvarsilumesta hyvin (96–100 %) kiintoainetta ja siihen sitoutunutta fosforia ja metalleja (Kuoppamäki ym., 2021). Kadunvarren biosuodatusrakenteet puhdistivat hyvin (66–97 % pitoisuuksien muutoksena) kiintoainetta, kokonaisfosforia ja raskasmetalleja (Kerkkäinen ym., 2019). Toisaalta Kerkkäinen ym. (2019) havaitsivat, että liukoisten metallien pitoisuudet olivat korkeammat läpisuotautuneessa vedessä kadunvarren biosuodatusrakenteessa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että metallikuormitus lisääntyisi, sillä rakenteeseen johdetussa hulevedessä metalleista noin 90 % oli sitoutuneena kiintoaineeseen ja rakenteen läpisuotautuneessa vedessä noin 50 %.



Kuva 26. Suodatusrakenteisiin liittyviä tutkimusnäkökulmia

Myös mikromuovipartikkelit jäivät laboratoriokokeessa kasvien juurikanaviin (Kuoppamäki ym., 2021). Rakennetuilta alueilta huuhtoutuvien mikromuovien vaikutuksia pidemmällä aikajaksolla biosuodatusrakenteiden elinkaareen ja toiminnallisuuteen ei tiedetä. Mikromuovi saattaa esimerkiksi kertyä juuristoon ja tukahduttaa juuristoa.

Ulkona eri vuodenaikoina tehdyissä lysimetrikokeissa (Valtanen ym., 2011, 2017) havaittiin, että liukoinen fosfaattifosfori, sinkki ja kupari pidättyivät rakenteisiin hyvin kaikkina tarkastelluilla vuodenaikoina (kesällä, syksyllä ja keväällä). Tiesuola kuitenkin heikensi biosuodatusrakenteiden toiminnallisuutta ja aineiden pidättymistä rakenteeseen ja tutkimuksessa se heikensi erityisesti alumiinin ja kuparin pidättymistä (Valtanen ym., 2017). Nitraattia sekä pidättyi, että vuoti bio-

suodatusrakenteista, mutta pidättyminen tehostui kasvillisuuden kehittymisen myötä. Kasvillisuudella havaittiin olevan merkitystä erityisesti rakenteiden vedenjohtavuuteen, joka parani huomattavasti juuriston kehittyessä. Juuristo esti myös maaperän tiivistymisen.

Kasvillisuus parantaa rakenteen elinkaarta estäen pintarakenteen tukkeutumista ja parantaen suodatuksen vedenläpäisevyyttä (Valtanen ym., 2017; Kuoppamäki ym., 2021). Toisaalta kasvillisuuspeitteisessä rakenteessa kenttäolosuhteissa tehtyjen kokeiden perusteella viipymän ja vedenpidätyskyvyn todettiin lisääntyneen verrattuna hiekkasuodattimeen (Tahvonen, 2018). Tutkimukset erosivat kuitenkin toisistaan, sillä Valtanen ym. (2017) lammikoittivat vettä kerralla noin 20 cm rakenteen pinnalle, ja Tahvonen (2018) kasteli 5,5 mm 30 minuutin aikana. Lisäksi eroja oli hiekkasuodattimen ja kasvillisuuspeitteisen rakenteen rakennekerroksissa. Kasvillisuuden nopea kehittyminen on kuitenkin oleellista vedenläpäisevyyden kehittymiseksi (Tahvonen, 2018), minkä vuoksi kasvu- ja suodatuskerrokseen on kiinnitettävä huomiota myös tästä näkökulmasta aineiden pidättymisen lisäksi.

Muutamissa tutkimuksissa on tutkittu erilaisten suodatusmateriaalien vaikutusta (Holt ym., 2018; Kuoppamäki ym., 2019; Kuoppamäki ym., 2021; Tahvonen, 2018) suodatustehoon joko laboratoriossa (Holt ym., 2018; Järveläinen ym., 2019) tai kenttäolosuhteissa (Tahvonen, 2018). Tutkimuksissa on havaittu jonkin verran eroa eri suodatinmateriaalien (mm. erilaiset kierrätysmateriaalit, hiekkasuodatin, biohiilisuodatin) välillä riippuen haitta-aineesta. Hiekkasuodattimen on havaittu olevan tehokas sekä ravinteiden että metallien pidättämiseen (Kuoppamäki ym., 2021; Holt ym., 2018). Biohiili saattaa edistää typen ja metallien sitoutumista (Assmuth, 2018; Kuoppamäki ym., 2021). Toisaalta eri suodatinmateriaaleista saattaa myös irrota aineita, ja joistain biohiilityypeistä on havaittu irtoavan fosforia (Holt ym., 2018; Kuoppamäki ym., 2021). Biohiilen ominaisuuksilla ja laadulla on suuri merkitys sen toimivuuteen.

Kasvualustoissa on huomioitava kasvillisuuden menestyminen erilaisissa kasvuolosuhteissa (Tahvonen, 2018; Kuoppamäki ym., 2021). Kasvillisuuden menestymisen näkökulmasta osa suodatusmateriaaleista voivat esimerkiksi olla pH:ltaan liian emäksisiä, jolloin kaikki kasvit eivät menesty niissä (Kuoppamäki ym., 2021). Kasvualustassa tulee pidättyä riittävästi vettä ja ravinteita, että kasvillisuus menestyy siinä.

Tutkimuksissa on havaittu jonkin verran eroa eri suodatusmateriaalien välillä. Kasvillisuus vaikuttaa tutkimusten mukaan vedenläpäisevyyteen ja vähentää pintakerroksen tukkeutumista, mutta sen vaikutusta ravinteiden tai haitta-aineiden pidättämiseen ei ole vielä tutkittu yhtä tarkkaan. Kasvillisuuden on kuitenkin havaittu edistävän typen pidättymistä biosuodatusrakenteissa (Kuoppamäki ym., 2021). Pitkäaikaista tutkimusta tarvittaisiin sekä kasvillisuuden vaikutuksesta aineiden pidättämiseen että kasvualustoista huuhtoutuvien aineiden liukenemi-

seen. Kasvillisuuden vaikutuksia haitta-aineiden pidättymiseen on tutkittu fyto-remediaatiotutkimuksissa, joiden perusteella on havaittu eri kasvilajien, kuten pajujen, hyödyntävän ravinteita ja haitta-aineita maaperästä.

4.8 Laadun käsittelyrakenteiden kunnossapito

Hulevesirakenteiden kuvauksissa (luku 4.4) on esitetty huomioitavat pääasiat eri käsittelyrakenteiden kunnossapitoon. Kunnossapito on aina kohde- ja ratkaisukohtaista ja siinä on huomioitava paikalliset olosuhteet, maaperä jne. Tässä luvussa on esitetty yksityiskohtaisemmin yleisesti kunnossapidossa huomioitavia asioita. Tässä esitetyt kunnossapitoasiat pätevät osittain sekä määrällisen että laadullisen hallinnan hulevesirakenteisiin. Viherympäristöliitto on myös julkaisemassa syksyllä 2022 Viheralueiden luonnonmukaisten hulevesirakenteiden kunnossapito LHK 2022 – julkaisun.

Useat kunnat hyödyntävät nykyisin kohdekohtaisia kunnossapitokortteja, joihin suunnittelijat kirjaavat kunnossapitotarpeet ja niiden toistuvuuden. Tämän selvityksen yhteydessä pidetyssä työpajassa kiinnitettiin huomiota kunnossapitokorttien tiedonhallintaan. Työpajassa todettiin, että olisi hyödyllistä, jos kortit yhdistettäisiin kaupunkien sisäiseen karttapalveluun, jolloin ne olisivat paikkatietopohjaisia ja helposti saatavilla. Lisäksi Viherympäristöliitolta (VYL) on tulossa yhtenäiset kunnossapitokortit hulevesirakenteille syksyllä 2022 (LHK 2022).

Käsittelyrakenteisiin liittyviä yleisiä kunnossapitotoimenpiteitä:

- Niitto
- Roskien poisto
- Hiekoitushiekan poisto
- Kiintoaineksen poisto
- Kasvillisuuden hoitotoimenpiteet
- Kasvillisuuden kasvuun lähdön varmistaminen kastelulla/takuuajan hoito
- Salaojien toimivuuden varmistaminen ja huuhtelu
- Rakennekerrosten uusiminen
- Ylivuotoreitin toimivuuden varmistaminen

Kunnossapidon tarve- ja mahdollisuudet

Kunnossapidon tarve ja mahdollisuudet tarkastellaan heti suunnittelun alkuvaiheessa ja rakenteen sijoittelussa. Kunnossapidosta vastaavan organisaation kommentit rakenteesta ja kunnossapidossa käytettävistä työkoneista ovat tärkeää lähtötietoa suunnitteluun. Selvityksen yhteydessä pidetyssä työpajassa nousi esille esimerkiksi se, että rakenteiden kunnossapitoa saatetaan tehdä vain koneellisesti, mikä vaikuttaa rakenteen suunnitteluun. Rakenteiden ympärille

suunnitellaan huoltoyhteydet/huoltotie. Lisäksi luiskakaltevuudet määritellään niin, että niillä pääsee kulkemaan koneella. Esimerkiksi tulvaniitylle ei välttämättä pääse koneellisesti, mutta sen luiskien yläreunaan voidaan tehdä vahvistettu rakenne, josta tulvaniitytä voi koneellisesti niittää. Uusien rakenteiden kasvillisuuden kasvuun lähtö on hyvä varmistaa kahden vuoden takuuajan intensiivihoidolla.

Erilaisissa pysyvän vesipinnan rakenteissa on toiveena, että rakenne saataisiin tyhjennettyä huoltotoimia varten, jotta kiintoaineksen poisto on helpompaa. Tämä tulee huomioida suunnittelussa esimerkiksi tyhjennysputken ja -venttiilin avulla.

Vieraslajit ja aggressiivisesti leviävät kasvit

Vieraslajit tulee huomioida hulevesien käsittelyrakenteiden hoitosuunnitelmassa ja varautua niiden tehostettuun kitkemiseen heti rakentamisen jälkeen. Alueella kasvavat vieraslajit tulee selvittää suunnittelun aikana ja ne tulee huomioida suunnitteluratkaisuissa. Esimerkiksi juuri rakennetun uoman tai kosteikon reunaan kulkeutuu helposti yläjuoksulta tai ympäriltä jättipalsamin siemeniä. Jättipalsami leviää tehokkaasti paljaassa maassa, johon uusi kasvillisuus ei ole vielä kehittynyt. Jättipalsami aiheuttaa uomien eroosiota heikentäen vedenlaatua, koska sillä itsellään on kokoonsa nähden vain pieni pintajuuristo ja se estää tehokkaasti luiskia ankkuroivan kasvillisuuden kehittymisen.

Vieraslajien lisäksi on olemassa aggressiivisesti leviäviä kasvilajeja, joiden ei haluta yksipuolistavan rakennetta tai jotka voivat tukkia rakenteen. Tällaisia kasveja ovat esimerkiksi osmankäämit, vaikka toisaalta ne pidättävät hyvin kiintoainetta ja hyödyntävät ravinteita. Osmankäämin leviämistä on vaikea estää ja sitä joudutaan ajoittain niittämään tai poistamaan muilla tavoin laskeutusalueilta. Huomioitavaa on kuitenkin, että osmankäämi pärjää parhaiten valoisassa ja ravinteikkaassa paikassa ja se myös ottaa ravinteita itseensä. Lisäksi se pärjää erityisesti happamissa olosuhteissa, missä muut kasvit eivät pärjää, ja voi levitä näillä alueilla hyvinkin aggressiivisesti.

Osmankäämin lisäksi jotkin puuvartiset lajit, kuten pajut ja tervaleppä voivat levitä hyvinkin aggressiivisesti rakenteiden ympärille. Pajut kuitenkin puhdistavat vesiä, ja niitä alas leikkaamalla muutaman vuoden välein saadaan poistettua ravinteita ja haitallisia aineita. Tervaleppä sitoo ilmasta typpeä, jota se sitten vapauttaa hulevesirakenteisiin syksyllä lehtien pudotessa.

Suodatinkankaat

Suodatinkankaita tulee välttää hulevesirakenteissa niiden sisältämän mikromuovin sekä niiden aiheuttaman rakenteiden tukkeutumisen vuoksi. Lisäksi ne voivat aiheuttaa hankaluuksia kunnossapidolle, esimerkiksi ne voivat tulla esiin patora-

kenteiden tai kynnysten reunoilta tai kaivettaessa ne voivat tarttua kaivinkoneen kauhaan ja repeytyä. Suodatinkankaat voivat myös tarttua niittokoneeseen, joka vetää niitä esille. Nykyisin löytyy myös biohajoavia suodatinkankaita.

Eroosiosuojaukset

Kasvillisuus on tehokas eroosiosuoja rakenteiden luiskissa ja pohjalla. Tulvatasanteilla noin 10 cm korkuisen niittykasvillisuuden on havaittu riittävän eroosiosuojaksi (Västilä ja Järvelä, 2015). Kuivana kesänä on varauduttava alkuvaiheen kasteluun, jottei sade huuhto siemeniä ja kasveja. Kasvien kasvuun lähtö varmistetaan tarvittaessa kastelulla. Siemenseoksissa voidaan hyödyntää mukana yksivuotista raiheinää, joka itää nopeasti. Lisäksi esimerkiksi paikalta kuorituissa pintamaissa oleva siemenpankki itää nopeasti. Pintamaiden hyödyntämisessä tulee huomioida vieraslajit. Kivetyt eroosiosuojaukset, kuten murske, kenttäkiveys ja kiviheitokkeet, voivat olla kunnossapidollisesti hankalia, sillä ne keräävät lehtikariketta ja niissä kasvaa rikkakasveja, joita on hankala poistaa ja ne saattavat tehdä rakenteesta epäsiistin näköisen.

Lisäksi kohteesta riippuen voidaan hyödyntää kokonaan maatuvia eroosiosuojamattoja. Eroosiosuojamattoja, joissa on uv-hajoava verkko, ei tulisi hyödyntää sillä sen hajoaminen kestää kauan ja vihreä verkko on epäsiisti. Luiskiin asennetun eroosiosuojamaton osalta tarkistetaan, että matto on kiinnittynyt maanpintaan ja että puutapit ovat kunnolla kiinni.

Lammikoitumistilat ja painanteet, uomat

Hiekoitushiekka poistetaan painanteiden reunoista normaalin kunnossapidon yhteydessä. Kadunvarsilla aurauslumet joudutaan läjittämään hulevesirakenteiden päälle, josta voi kertyä hiekoitushiekkaa rakenteisiin. Hiekoitushiekkaa kuitenkin kerrostuu kadulle ja kadunvarsille, josta sitä kulkeutuu lumensulannan yhteydessä rakenteisiin. Mikäli vedet ohjataan reunakivilinjaa pitkin kadun varren painanteisiin tai biosuodatukseen, voidaan reunakiven aukon kohdalle tehdä esimerkiksi erillinen kiveys, johon hiekka suurimmaksi osaksi jää. Hiekat puhdistetaan normaalin kunnossapidon yhteydessä.

Hulevesi ja siinä kulkeutuva kiintoainne voivat liettää ja kerrostaa lammikoitumistilan pintaan tiiviin kuorettumakerroksen, joka läpäisee huonosti vettä. Rakenteen lammikoitumistilan tulisi pääosin tyhjentyä 24–48 tunnin aikana; kiintoainneen poistoon ja kuorettuman vähentämiseen tulisi ryhtyä, mikäli vesi viipty rakenteessa sadetapahtumien jälkeen yli 3 vuorokautta.

Kuorettumakerros rikotaan kevyesti esimerkiksi haraamalla. Rakenteen pohjalle kertynyttä hiekkaa/karkeaa kiintoainesta poistetaan tarvittaessa, jotta lammikoitumistila ei pienene. Mikäli tämä ei auta, syy voi olla esimerkiksi rakennekerroksissa mahdollisesti käytetyn suodatinkankaan tukkeutuminen.

Vuosittaisen kuntotarkastuksen yhteydessä uoman reunat, luiskat, pohja ja kasvillisuus tarkistetaan silmämääräisesti. Vuoden aikana tapahtuneet sortumat korjataan ja pohjalla mahdollisesti sijaitsevat virtausesteet (esim. roskat) poistetaan. Pohjalla saa olla kasvillisuutta, mutta virtausreitti ei saa olla tukossa. Uomaan kaatunutta puuainesta voidaan säilyttää, mikäli se ei tuki uomaa liaksi. Uppopuusto monimuotoistaa virtausolosuhteita ja parantaa eliöstön olosuhteita sekä vedenlaatua (Vuorio ym., 2011).

Suodatuskerroston vaihto

Suotorakenteiden suodatuskerroksia joudutaan vaihtamaan, mikäli ne tukkeutuvat tai rakenteista alkaa liueta suotovesiin niihin pidättyneitä haitallisia aineita tai ravinteita.

Biosuodatus perustuu kasvillisuuden ja maaperän mikrobiston muodostamaan biologisiin prosesseihin, minkä vuoksi rakennekerrosten vaihtoa ei pääsääntöisesti suositella biosuodatuksessa, vaan hoito tapahtuu kasvillisuuden hoitona ja pintakerroksen huoltona. Kunnossapitotarvetta voi osittain vähentää huolellisella suunnittelulla. Monikerroksellinen kasvillisuus ja juuristo ylläpitävät rakenteen huokoisuutta sekä mikrobiologisia prosesseja. Tiheä istutus estää rakenteen pinnan lajittumisen ja rikkakasvien kasvamisen.

Kasvillisuuden poisto ja niitto

Kunnossapidossa on seurattava kasvillisuuden tilaa, jotta hulevesien laadullinen hallinta pysyy toimivana. Kasvillisuus vaatii säännöllistä niittämistä ja kunnossapitusta ruoppausta rehevöitymisen hallintaan. Ruoppauksissa on kuitenkin huomioidava eliöstön olosuhteiden ylläpito. Liialliset hoitotoimenpiteet voivat myös heikentää rakenteiden toimivuutta vesienpuhdistajana.

Pensasistutukset leikataan alas esimerkiksi viiden vuoden välein. Rikkaruohot kitketään. Haitallisten vieraslajien muodostumista tarkkaillaan erityisesti heti rakentamisen jälkeen ja ne poistetaan heti.

Typensitojakasvien kuten tervalepän (*Alnus glutinosa*) ja lupiinien (*Lupinus polyphyllus*) poisto vähentää ravinnekuormaa estämällä typen kertymistä maaperään.

Kasvillisuuden ajoittaisen niiton avulla poistetaan biomassaa ja ravinteita painanteista, uomista, kosteikoista tai laskeutusaltaista sekä parannetaan vedenjohtokykyä. Niitossa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että rakenteen kyky lisätä viipymää, hidastaa virtausnopeutta ja pidättää kiintoainesta ei häiriinny. Rakenteita ei suositella niitettäväksi kauttaaltaan samalla kertaa, vaan niitto voidaan tehdä esimerkiksi laikkuina vuorovuosina. Hoitotoimenpiteet suoritetaan elokuussa, kun kukkiminen on ohi. Niittotoimenpiteet voi ajoittaa esimerkiksi

noin 3 vuoden välein. Niittojäte kerätään, jotta poistetaan biomassaa ja ravinteita rakenteesta.

Hulevesiviemärit ja rummut, pohjakynnykset

Hulevesiviemärin suun edusta tarkastetaan ja mahdolliset virtausesteet poistetaan. Tasanteiden väliset rummut tarkistetaan ja mahdolliset tukkeutumat poistetaan. Myös purku-uoman puoleinen pää tarkistetaan. Rummun ympärillä olevien luonnonkivien paikallaan pysyminen varmistetaan. Tarkastukset ajoitetaan kasvukauden alkuun.

Pohjakynnysten edustat imuruopataan tai kaivetaan tarvittaessa, esimerkiksi noin 3 vuoden välein tai useammin, jos pohjakynnyksillä käsitellään työmaavesiä.

Lähteet

- Armhein C., Strong J. E., Mosher P. A., 1992. Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils. *Environmental Science & Technology*, 26(4): 703–709.
- Aaltonen J., Hohti H., Jylhä K., Karvonen T., Kilpeläinen T., Koistinen J., Kotro J., Kuitunen T., Ollila M., Parvio A., Pulkkinen S., Silander J., Tiihonen T., Tuomenvirta H. & Vajda A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31 / 2008.
- ANZECC & ARMCANZ 2000. Water quality guidelines. <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000> (17.20.2022)
- Assmuth E. 2018. Performance of roadside filtration systems in the treatment of stormwater. M.Sc.thesis. Espoo: Aalto University School of Engineering
- Autiola M., Suonperä E., Suvanto S., Napari M., Nylund M., Kupiainen V., Vienonen S., Forsman J., Suikkainen T., Auri J., Boman A., Mattbäck S. 2022. Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin. Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Belhadj N., Joannis C., Raimbault G., 1995. Modelling of rainfall induced infiltration into separate sewerage. *Water Sci. Technol.* 1995, 32: 161–168.
- Björklund K., 2010. Substance flow analyses of phthalates and nonylphenols in stormwater. *Water Science & Technology*, 62(5): 1154–1160.
- Brezonik L. P., Stadelmann T. 2002. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. *Water Research*, 36, 1743–1757.
- Brodie I.M., Dunn P.K., 2010. Commonality of rainfall variables influencing suspended solids concentrations in storm runoff in three different urban impervious surfaces. *Journal of Hydrology*, 387(3–4): 202–211.
- Bäckström M., Nilsson U., Håkansson K., Allard B., Karlsson S., 2003. Speciation of heavy metals in road runoff and roadside total deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 147(1–4): 343–366.
- Chithra S.V., Harindranathan Nair, M.V., Amarnath, A., Anjana N.S. 2015. Impacts of Imperious Surfaces on the Environment. *International Journal of Engineering Science Invention*. 4(5):2319–6734.
- Coperchini F., Croce L., Ricci G., Magri F., Rotondi M., Imbriani M. & Chiovato L. 2021. Thyroid Disrupting Effects of Old and New Generation PFAS. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2021.
- Cousins I.T., DeWitt J.C., Glüge J., Goldenman G., Herzke D., Lohmann R., Ng C.A., Scheringer M. & Wang, Z. 2020. The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2020, Issue 12.
- Costello E., Rock S., Stratakis N., Eckel S.P., Walker D.I., Valvi D., Cserbik D., Jenkins T., Xanthakos S.A., Kohli R., Sisley S., Vasiliou V., La Merrill M.A., Rosen H., Conti D.V., McConnell R. & Chatzi L. 2022. Exposure to per- and Polyfluoroalkyl Substances and Markers of Liver Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*, 2022.
- D'Arcy B.J., Ellis J.B., Ferrier R.C., Jenkins A., Dils R. (toim.) 2000. Diffuse Pollution Impacts: The Environmental and Economic Effects of Diffuse Pollution in the UK. Terence Dalton Publ. Ltd. (CIWEM), Lavenham.

Dris R., Gasperi J., Tassin B. 2018. Sources and Fate of Microplastics in Urban Areas: A Focus on Paris Megacity. In: Wagner, M., Lambert, S. (eds) *Freshwater Microplastics . The Handbook of Environmental Chemistry*, 2018, vol 58.

ECHA 2022

<https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/microplastics>

Ehrlich H. 1996. How microbes influence mineral growth and dissolution. *Chemical Geology*, 132: 5-9.

Ellis J.P., Mitchell G. 2006. Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework Directive. *Water and Environment Journal*, 20: 19-26.

Euroopan parlamentti 2018.

<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181116STO19217/microplastics-sources-effects-and-solutions>

Filipovic M., Berger U., McLachlan M.S. 2013. Mass balance of perfluoroalkyl acids in the Baltic Sea. *Environ Sci Technol*, 47(9), 4088-4095.

Gadd G.M., Raven J.A. 2010. Geomicrobiology of eukaryotic micro-organisms. *Geomicrobiology J* (in press) *Geomicrobiology Journal*, 27(6-7): 491-519,

Gasperi J., Le Roux J., Deshayes S., Ayrault S., Bordier L., Boudahmane L., Budzinski H., Caupos E., Caubrière N., Flanagan K., Guillon M., Huynh N., Labadie P., Meffray L., Neveu P., Partibane C., Paupardin J., Saad M., Varnede L., and Marie-Christine Gromaire M-A. 2022. Micropollutants in Urban Runoff from Traffic Areas: Target and Non-Target Screening on Four Contrasted Sites. *Water* 2022, 14.

Geologian tutkimuskeskus. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit.

Geologian tutkimuskeskus. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä.

Guilhermino L., Martins A., Cunha S. & Fernandes J.O. 2021. Long-term adverse effects of microplastics on *Daphnia magna* reproduction and population growth rate at increased water temperature and light intensity: Combined effects of stressors and interactions. *Science of The Total Environment*, 2021, Volume 784.

Haapala A. & Aura R. (2021). Vesiensuojelukosteikot tarvitsevat nykyistä suuremman vesitalous. *Vesitalous*, 4/2021.

Hallberg M., Renman G., Lundbom T. 2007. Seasonal Variation of Ten Metals in Highway Runoff and their Partition between Dissolved and Particulate Matter. *Water Air and Soil Pollution*, 181(1-4): 183-191.

Harremoës P. 1988. Stochastic models for estimation of extreme pollution from urban runoff. *Water Research* 22:1017-1026.

Hautala E. L., Rekilä R., Tarhanen J., Ruuskanen J. 1995. Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analyses. *Environmental Pollution*, 87(1): 45-49.

Helmreich B., Hilliges R., Schriewer A., Horn H. 2010. Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences. *Chemosphere*, 80(9): 991-997.

Holt E., Koivusalo H., Korkealaakso J., Sillanpää N. & Wendling L. 2018. Filtration systems for stormwater quantity and quality management - Guideline for Finnish implementation, VTT Technology 338. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T338.pdf>

- Honda M. & Suzuki N. 2020. Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17(4): 1363
- House M. A., Ellis J. B., Herricks E. E., Hvitved-Jacobsen T., Seager J., Lijklema L., Aalderink H., Clifford I. T. 1993. Urban Drainage: Impacts on Receiving Water Quality. *Water Science and Technology*, 27(12): 117–158.
- Houtz E.F. & Sedlak D.L. 2012. Oxidative Conversion as a Means of Detecting Precursors to Perfluoroalkyl Acids in Urban Runoff. *Environ. Sci. Technol*, 2012, 46, 17, 9342–9349.
- Issac M.N. & Kandasubramanian B. 2021. Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environ Sci Pollut Res* 2021, 28, 19544–19562.
- Järveläinen J., Kuoppamäki K. & Pöysti M., 2019. Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa. *Vesitalous*, 2/2019: 6-11
- Kahva, V. 2022 (keskeneräinen). Event-based stormwater quantity and quality modelling in urban sub-catchment in Tampere. Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Kayhanian M., Suverkropp C., Ruby A., Tsay K. 2007. Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of Environmental Management*, 85(2): 279–295
- Kalinowska M., Västilä K., Nones M., Kiczko A., Karamuz E., Brandyk A., Koziół A., Krukowski M. 2022. Influence of vegetation maintenance on flow and mixing: case study comparing full cut with high-coverage conditions. 10.5194/hess-2022-208.
- Kill K., Grinberga L., Koskiaho J., Mander Ü., Wahlroos O., Lauva D., Pärn J., & Kasak K. 2022. Phosphorus removal efficiency by in-stream constructed wetlands treating agricultural runoff: Influence of vegetation and design. *Ecological Engineering*, 180, 106664.
- Kenttämies K., Saukkonen S. 1996. Metsätalous ja vesistöt. Yhteistutkimusprojektin “Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta” (METVE) yhteenveto. Helsinki. MMM:n julkaisu 4/1996. ISBN 951-53-0869-0.
- Kerkkänen J., Sillanpää N., Lehtikoinen E., Laurila T., Kuoppamäki K., Kalliala E., Valtanen M. & Jalonen J. 2019. Hajautettua hulevesien hallintaa Espoon Niittykummussa. *Vesitalous*, 2/2019: 17- 23.
- Koivusalo H. & Sillanpää N. 2015. Rakennustyömaiden hajakuormitus haltuun hulevesien hallintaa kehittämällä. *Vesitalous* 4/2015.
- Kuntaliitto 2012. Hulevesiopus. [Verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen kuntaliitto. Saatavissa: http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=2714
- Kuoppamäki K., Hagner M., Valtanen M. & Setälä H. 2019. Using biochar to purify runoff in road verges of urbanised watersheds: A large-scale field lysimeter study. *Watershed ecology and the environment*.
- Kuoppamäki K., Pflugmacher Lima P., Scopetani C., Setälä H. 2021. The ability of selected filter materials in removing nutrients, metals, and microplastics from stormwater in biofilter structures. *Journal of Environmental Quality*, J. 2021;1–11.
- Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A-L., Kotze D. J. 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environmental Pollution*, 195: 56-63.
- Laaksonen R., Malin V., 1985. Regional water quality of Finland 1965-1985. *Aqua Fennica* 15, ss. 201-209.
- Lange K., Österlund H., Viklander M. & Blecken G-T. 2022. Occurrence and concentration of 20–100 µm sized microplastic in highway runoff and its removal in a gross pollutant trap – Bioretention and sand filter stormwater treatment train. *Science of The Total Environment*, 2022, Volume 809.

- Leboutillier D. W., Kells J. A., Putz G. J. 2000. Prediction of Pollutant Load in Stormwater Runoff from an Urban Residential Area. *Canadian Water Resources Journal*, 25(4): 343–359.
- Leskinen, P. 2020. Rakennustyömaiden vesienhallinta savimailla – case Rauhalinna. Esitys Hulevesi2020 -seminaarissa 23.9.2020.
- Leskinen P. & Vilminko H. 2019. Rakennustyömaiden vesienhallinnan keinoja savimailla. *Vesitalous* 2/2019.
- Lewis A. J., Xiaoyan Y., Spooner D. E., Kurzd M. J., McKenzie E. R., Sales C. M. 2022. Exposure pathways and bioaccumulation of per- and polyfluoroalkyl substances in freshwater aquatic ecosystems: Key considerations. *Science of the Total Environment*. 822
- LHK. 2022. Viheralueiden luonnonmukaisten hulevesirakenteiden kunnossapito.
- Liu F., Olesen K.B., Borregaard A.R. & Vollertsen J. 2019. Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds, *Science of The Total Environment*, 2019, Volume 671, Pages 992-1000.
- Margolis R. & Sant K.E. 2021. Associations between Exposures to Perfluoroalkyl Substances and Diabetes, Hyperglycemia, or Insulin Resistance: A Scoping Review. *J Xenobiot*, 2021, 11(3), 115-129.
- Markiewicz A., Björklund K., Eriksson E., Kalmykova Y., Strömvall A., Siopi A. 2017. Emissions of organic pollutants from traffic and roads: priority pollutants selection and substance flow analysis. *Sci. Total Environment*, 580: 1162-1174.
- Marsalek J. 2003. Road salts in urban storm water: An emerging issue in storm water management in cold climates. *Water Science and Technology*, 48(9): 61–70.
- Massachusetts Department of Environmental Protection and Massachusetts Office of Coastal Zone Management 1997. Stormwater Management. Volume Two: Stormwater Technical Handbook.
- Mattsson T., Finér L., Kortelainen P., Sallantausta T. 2003. Brook water quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. *Water, Air and Soil Pollution*, 147: 275-297.
- McKenzie E.R., Money J.E., Green P.G., Young T.M. 2009. Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples. *Sci. Total Environment*, 407(22): 5855-5860.
- Meays C. & Nordin R. 2013. Ambient water quality guidelines for sulphate. technical Appendix. Update April 2013. Ministry of Environment. Province of British Columbia. 47 s.
- Melanen M. 1981. Quality of runoff water in urban areas. Publications of the Water Research Institute 42. pp. 123-188. National Board of Waters, Helsinki, Finland. ISBN: 951-46-6066-8
- Moy F., Crabtree R., Simms T. 2003. Long term monitoring of pollution from highway runoff. Environment Agency R&D Report No. P2-038, WRC, Swindon.
- Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. 2022. Exploiting urban roadside snowbanks as passive samplers of organic micropollutants and metals generated by traffic. *Environmental Pollution* (1987), 208(2022):119723–119723.
- Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. 2020. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Sci. Total Environment* 2020, 709.
- Page D., Vanderzalm J., Kumar A., Cheng K.Y., Kaksonen Anna H. & Simpson Stuart. 2019. Risk of Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl Substances (PFAS) for Sustainable Water Recycling via Aquifers. *Water* 2019, 11, 1737.

- Pankkonen P. 2020. Urban Stormwater Microplastics - Characteristics and Removal Using a Developed Filtration System. Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Pikkarainen K. 2017. Puhdas kuin lumi? Lumi mikromuovien ja muun roskan reittinä kaupunkialueelta mereen. Ympäristömuutos ja -politiikka Pro gradu-tutkielma Ympäristötieteiden laitos. Helsingin yliopisto.
- Pitt R., Field R., Lalor M., Brown M. 2012 Urban Stormwater Toxic Pollutants: Assessment, Sources, and Treatability. *Water Environment Research*, 67(3): 260-275.
- Rantala N. 2019. Maaperän vaikutus puron rantavyöhykkeen mikrobeihin. Pro Gradu. Teknillinen Tiedekunta. Oulun yliopisto, 2019.
- Reinikainen J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007.
- Reinosdotter K. 2007. Sustainable snow handling. Doctoral thesis, Division of Architecture and Infrastructure, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden
- Rekolainen S. 1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. Publications of the Water and Environment Research Institute 12. National Board of Waters and the Environment, Helsinki, Finland. 34 s.
- Riktvärdesgruppen. 2009: Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län. Regionplane- och trafikkontoret. Stockholms läns landsting. 20 s.
- River M., Richardson C.J. 2018. Particle size distribution predicts particulate phosphorus removal. *Ambio*, 47(1): 124-133.
- Roinas G. 2015. Sources, occurrence and fate of hydrocarbon pollutants in sustainable drainage systems. Väitöskirja. University of Portsmouth.
- Rowinski P.M, Västilä K., Aberle J., Järvelä J., Kalinowska M.B. 2018. How vegetation can aid in coping with river management challenges: A brief review. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 18(4), pf. 345-354
- Sahlin S. & Ågerstrand M. 2018. Sulfate EQS data overview. ACES report number 14. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry, Stockholm University.
- Samposalo S., 2007. Lumen ominaisuudet taajama-alueilla. *Vesitalous*, 2/2007: 27-31
- Schernewski G., Radtke H., Hauk R., Baresel C., Olshammar M. & Oberbeckmann S. 2021. Urban Microplastics Emissions: Effectiveness of Retention Measures and Consequences for the Baltic Sea. *Front. Mar. Sci.*, 2021. Sec. Marine Pollution.
- Setälä O., Fjäder P., Hakala O., Kautto P., Lehtiniemi M., Raitanen E., Sillanpää M., Talvitie J. & Äystö L. 2017. Microplastics – a growing environmental risk. SYKE Policy Brief 21.3.2017, Views on Environmental Policy.
- Sillanpää N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Väitöskirja. Aalto University, Doctoral Dissertations 160/2013. 226 s. ISBN: 978-952-60-5373-8.
- Sillanpää P., Bilaltdin Ä., Kaipainen H., Frisk T., Sallantausta, T. 2006. Metsätalouden aiheuttaman kuormituksen laskentamenetelmä. Suomen Ympäristö, 817. Tampereen yliopistopaino Oy. Tampere 2006. ISBN 952-11-2173-4
- Sillanpää N., Koivusalo H. 2013. Catchment-scale evaluation of pollution potential of urban snow at two residential catchments in southern Finland. *Water Science and Technology* 68(10): 2164–2170

- Tahvonen, O. 2018. Adapting bioretention construction details to local practices in Finland. *Sustainability*, 10: 276.
- Taka T., Kokkonen T., Kuoppamäki K., Niemi T., Sillanpää N., Valtanen M., Warsta L., Setälä H. 2017. Spatio temporal patterns of major ions in urban stormwater under cold climate. *Hydrological Processes*, 31:1564-1577.
- Taka M., Sillanpää N., Niemi T., Warsta L., Kokkonen T., Setälä H. 2022. Heavy metals from heavy land use? Spatio-temporal patterns of urban runoff metal loads. *Science of the Total Environment*, 817.
- Tarapore P. & Ouyang B. 2021. Perfluoroalkyl Chemicals and Male Reproductive Health: Do PFOA and PFOS Increase Risk for Male Infertility? *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(7), 3794.
- THL 2022a.
<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/mikromuovit>
- Tuomela C. 2017. Modelling Source Area Contributions of Stormwater Pollutants for Stormwater Quality Management. Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Broz B., Pfos D., Thompson A. 2017. Controlling Runoff and Erosion at Urban Construction Sites. University of Missouri.
- Uurasjärvi E., Hartikainen S., Setälä O., Lehtiniemi M. & Koistinen A. 2019. Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a norther European lake. *Water Environment Research* 2020, 92, 149-156.
- Uusitalo K. 2018. Hulevesien laadullisen käsittelyn optimointi kaupungistuneilla alueilla. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Valtanen M., Sillanpää N. & Setälä H. 2017. A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic conditions. *Ecological Engineering*, 100: 89-98.
- Valtanen M. 2015. Effects of urbanization on seasonal runoff generation and pollutant transport under cold climate. Väitöskirja. Reports from the Department of Environmental Sciences, Lahti. No. 25. Faculty of Biological and Environmental Sciences. University of Helsinki. ISBN: 978-951-51-0861-6.
- Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. 2014a. The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate. *Water, Air, & Soil Pollution* volume 2014, 225.
- Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. 2014b. Effects of land use intensity on stormwater runoff and its temporal occurrence in cold climate. *Hydrological Processes*, 28: 2639-2650.
- Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. 2015. Key runoff event factors affecting urban runoff pollution under cold climatic conditions. *Journal of Hydrology* 2015, 529(3): 1578-1589.
- Valtanen M., Sillanpää N. & Setälä H. 2011. Tutkimustietoa keskustojen hulevesistä ja biosuodatuksesta. *Vesitalous*, 6/2011: 6-10.
- Vuorio K-M., Leppänen M., Koljonen S., Jämsen J., Vaso A., Keskinen E., Hämäläinen H., Nieminen M., Huotari E., Soimasuo J. 2021. Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin, PuuMavesihankkeen loppuraportti
- Västilä ja Järvelä. 2019. Luontopohjaisia ratkaisuja tulvien ja hulevesien hallintaan. *RIL, Rakennustekniikka*, 27.2.2019

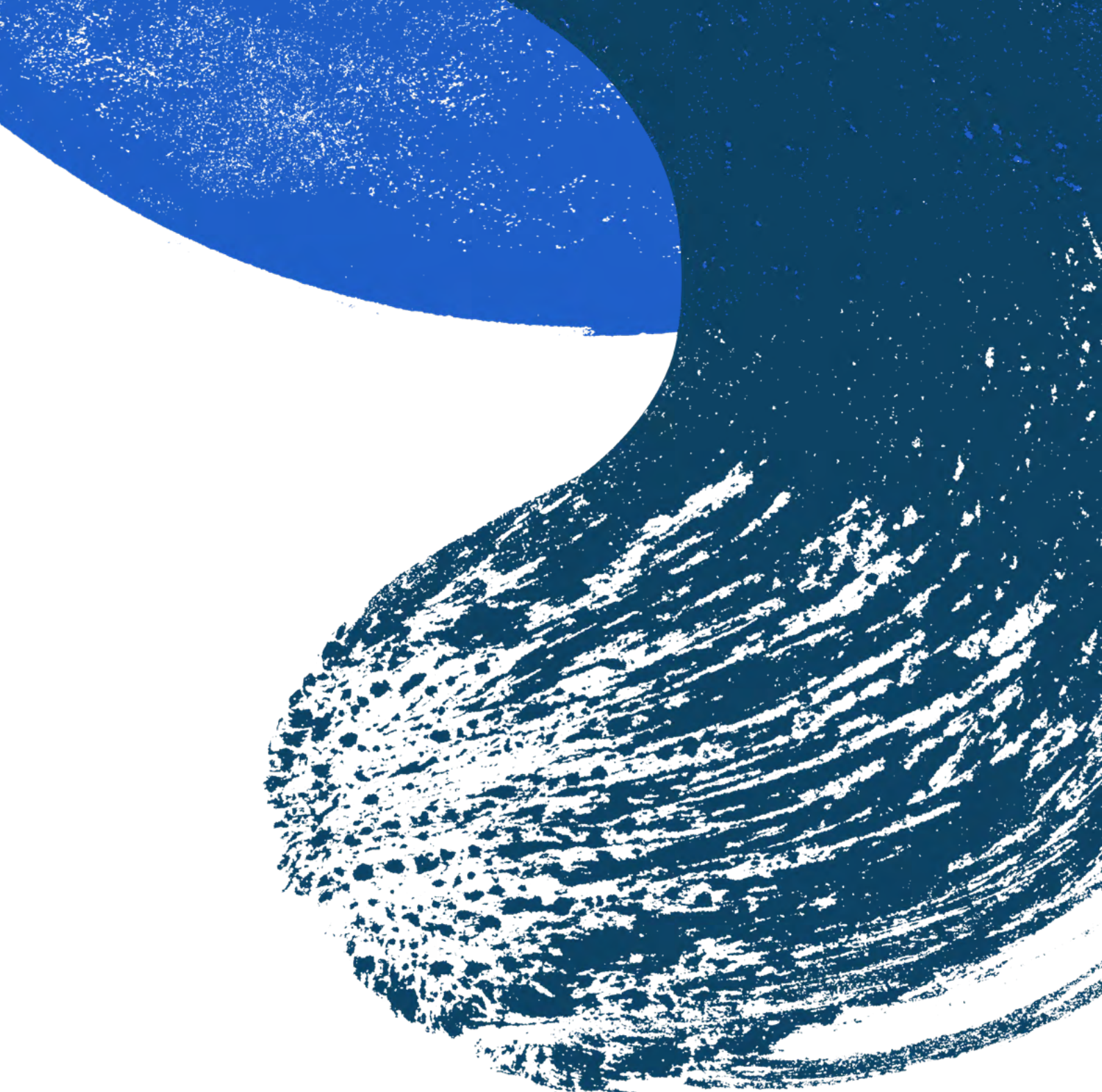
Västilä ja Järvelä. 2015. Kaksitasouomien mahdollisuudet pyrittäessä ympäristöystävällisempään maankuivatukseen. *Vesitalous* 56(6), 27-31.

Wahlroos O., Valkama P., Mäkinen E., Ojala A., Vasander H., Väänänen V-M. 2015. Urban wetland parks in Finland: improving water quality and creating endangered habitats, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11:1, 46-60

Werbowski L.M., Gilbreath A.N., Munno K., Zhu X., Grbic J., Wu T., Sutton R., Sedlak M.D., Deshpande A.D. & Rochman C.M. 2021. Urban Stormwater Runoff: A Major Pathway for Anthropogenic Particles, Black Rubbery Fragments, and Other Types of Microplastics to Urban Receiving Waters *ACS ES&T Water* 2021, 1 (6), 1420-1428.

Westerlund C., Viklander M., Bäckström M. 2003. Seasonal variations in road runoff quality in Luleå, Sweden. *Water Science and Technology*, 48(9): 93-101.

Westerlund C., Viklander M. 2006. Particles and associated metals in road runoff during snow-melt and rainfall. *Science of the total environment*, 362(1-3): 143-156.



Selvitys hulevesien laadusta

Helsinki 2023

**KUNTA
LIITTO** | Kommun-
förbundet



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment