

Huolta aiheuttavien aineiden esiintyminen Tukholmassa Hulevesi Liite 5B

Tukholman kaupunki

Kirjoittajat:

Lisa Öborn, Tukholman kaupunki

Osallistujina myös

GoA 2.1 -työryhmä

Tarkastanut:

Jennifer Eklöf ja Arne Jamtrot, Tukholman kaupunki

NHC3 GoA2.1. Tuotos D.2.1

Kesäkuu 2024



Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union



SUSTAINABLE WATERS

NonHazCity 3



NonHazCity

Aineisto on laadittu osana NonHazCity 3 -hanketta (nro C014) Euroopan unionin Interreg Baltic Sea Region -ohjelman tuella. Sisältö edustaa yksinomaan kirjoittajien, ei Euroopan komission mielipidettä.

Sisältö

Lyhenteet.....	4
Johdanto	5
Haitta-aineseulonta	5
Tutkimusmenetelmä.....	6
Näytteenottopaikat.....	6
Näytteiden kerääminen	10
Tulokset ja pohdinta	11
PFAS-yhdisteet	11
Organofosfaatit.....	13
Biosidit/torjunta-aineet	14
Klooratut parafiinit	14
Ftalaatit.....	15
Muut seurannan aikana analysoitavat aineryhmät (SVOA 2024).....	15
Johtopäätökset	17
Viitteet	18
Liite I	19

Lyhenteet

Kaikkien raportissa käytettyjen tai mainittujen lyhenteiden, kuten erilaisten kemiallisten aineiden, määritelmät

6:2 FTS (6:2 fluorotelomer sulfonate)

DEHP (Diethylhexyl phthalate)

DEHT (Diethylhexyl terephthalate)

DEP (Diethyl phthalate)

DiBP (Diisobutyl phthalate)

DiDP (Diisodecyl phthalate)

DINCH (Diisononylcyclohexane-1,2-dicarboxylate)

DiNP (Diisononyl phthalate)

DMP (Dimethyl phthalate)

DnBP (Dibutyl phthalate)

DPHP (Di(2-propylhexyl) phthalate)

HVAC Heating, Ventilation, and Air Conditioning

PFBA (perfluorobutanoic acid)

PFBS (perfluorobutanesulfonic acid)

PFCA (perfluorocarboxylic acid)

PFHxA (perfluorohexanoic acid)

PFHxS (perfluorohexanesulfonic acid)

PFHpA (perfluoroheptanoic acid)

PFNA (perfluorononanoic acid)

PFOA (perfluorooctanoic acid)

PFOS (perfluorooctanesulfonic acid)

PFPeA (perfluoropentanoic acid)

PFSA (perfluorosulfonic acid)

Johdanto

Sekä sisä- että ulkotiloissa käytettävät rakennusmateriaalit saattavat sisältää kemiallisia aineita, jotka voivat vaarantaa ihmisten terveyden ja ympäristön. Ulkotilojen materiaaleissa olevat vaaralliset yhdisteet voivat huuhtoutua sadeveteen ja päätyä lopulta valumavesien kautta vesistöihin tai maaperään. Sateiden ja lumen sulamisen aikana pintavalumasta muodostuva hulevesi on laajalti tunnistettu kaupunkialueilta peräisin olevien haitta-aineiden kulkeutumisreitiksi vesistöihin (Müller ym. 2020). Esimerkiksi Müller ym. (2019 ja 2023) tutkivat yleisiä rakennusten pintamateriaaleja ja havaitsivat, että kun ne altistuvat sadevedelle tai sulavasta lumesta muodostuvalle vedelle, niistä vapautuu metallien, nonyylifenolien ja ftalaattien kaltaisia aineita, jotka saattavat kulkeutua hulevesien mukana eteenpäin. Hulevesissä on havaittu myös Euroopassa useita biosideja, kloorattuja parafiineja ja palonestoaineita (Birch ym. 2011, Mertens ym. 2018, Paijens ym. 2020). Hulevedessä olevista rakennusmateriaaleihin liittyvistä vaarallisista yhdisteistä tarvitaan kuitenkin lisää tietoa.

Analysoimme erilaisia ulkotilojen rakennusmateriaaleihin liittyviä kemikaaliryhmiä hulevesinäytteistä seitsemästä eri kohteesta (lammikoista ja ojista), jotka kaikki sijaitsevat Tukholman kaupungin alueella. Tavoitteenamme oli tutkia huolta aiheuttavien aineiden esiintymistä hulevesissä.

Haitta-aineseulonta

Tässä tutkimuksessa tutkittiin rakennusmateriaaleista peräisin olevien vaarallisten kemiallisten aineiden esiintymistä hulevesissä. Työryhmä valitsi analysoitavat haitta-aineet yhdessä. Hulevesinäytteet otettiin kaupungin omistaman vesi- ja jäteyhtiö Stockholm Vatten och Avfall AB:n (SVOA) säännöllisen seurantaohjelman yhteydessä. NonHazCity 3 -hankkeessa tehdyt ylimääräiset aineanalyysit täydensivät seuranta-analyyseja; lisätietoja rutiiniseurannasta ja sen tuloksista on SVOA:n julkaisussa (2024). Analysoituja aineita olivat muun muassa biosidit, ftalaatit, orgaanisia fosforyhdisteitä sisältävät palonestoaineet, klooratut parafiinit ja PFAS-yhdisteet, ja niille tehtiin myös TOP-analyysi (Total Oxidizable Precursor).

Biosideja käytetään pääasiassa rakennusten ulkopinnoilla estämään mikrobikasvustojen aiheuttamia vaurioita, ja niitä saatetaan sisällyttää myös maaleihin mikrobikasvustojen estämiseksi maalin ollessa vielä purkissa. Niitä esiintyy maaleissa ja käytetään usein puunsuoja-aineena rakennusten ulko-osissa. Esimerkiksi Müller ym. (2022) havaitsivat, että bitumipohjaiset katteet lisäävät biosidien määrää valumavesissä. Biosidit voidaan joko sekoittaa materiaaliin tai lisätä pintakäsittelynä (Paijens ym. 2020). Monilla biosideilla ei ole mitään tiettyä kohdelajia, joten ne vaikuttavat myös muihin ympäristön lajeihin. Vaikutus riippuu yhdisteen koostumuksesta. Monet rakennusmateriaaleissa käytettävät biosidit ovat myrkyllisiä vesieliöille, ja jotkin niistä ovat lisäksi syöpää aiheuttavia, mutageenisia ja lisääntymiselle vaarallisia (NHC3 2023).

Muovinpehmentiminä käytettäviä ftalaatteja on eniten erilaisissa PVC-materiaaleissa. Hulevesien kannalta merkityksellisiä käyttöpaikkoja ovat esimerkiksi katot, terassikatteet ja erilaiset putket. Esimerkiksi Müller ym. (2019) havaitsivat, että PVC-katemateriaalit vaikuttivat DNOP:n, DEHP:n, DIDP:n ja DINP:n esiintymiseen valumavedessä. Vaikka ftalaatit hajoavat helposti ympäristössä, niitä käytetään ja vapautuu suuria määriä, mikä pitää niiden pitoisuudet ympäristössä suurina. Siksi niitä

kutsutaan joskus *pseudopysyviksi*. Monilla ftalaateilla on hormonitoimintaa häiritseviä ominaisuuksia, ja jotkut niistä ovat myrkyllisiä vesieliöille (NHC3 2023).

Organofosfaatteja (OPE) lisätään tuotteisiin syttyvyyden vähentämiseksi, ja niitä käytetään myös korvaamaan bromattuja palonestoaineita, joiden käyttöä on rajoitettu. Niitä voidaan käyttää myös muovinpehmentiminä. Ne eivät muodosta kemiallista sidettä niiden tuotteiden kanssa, joihin ne lisätään, joten niitä leviää ympäristöön tuotteen käytön aikana. Organofosfaateilla on todettu olevan neurotoksisuuden, kehitystoksisuuden, lisääntymistoimintojen ja hormonitoiminnan häiritsemisen sekä karsinogeenisuuden kaltaisia haitallisia vaikutuksia. Organofosfaatit ovat vähemmän hitaasti hajoavia kuin bromatut palonestoaineet, joiden korvaajina niitä käytetään, mutta niitä esiintyy ympäristössä usein suurempina pitoisuuksina kuin bromattuja palonestoaineita (NHC3 2023).

Kloorattuja parafiineja, joita käytetään muovinpehmentiminä ja palonestoaineina, esiintyy muoveissa (enimmäkseen PVC-muovissa), kumeissa, maaleissa, tiivistysaineissa ja polyuretaanivaahdoissa (Miljøstyrelsen 2014, Brandsma ym. 2021). Klooratut parafiinit ovat pysyviä ja myrkyllisiä (NHC3 2023). Lyhytketjuiset klooratut parafiinit (SCCP) kuuluvat Tukholman yleissopimuksen luetteloon asteittain poistettavista aineista. Lyhytkestoisten kloorattujen parafiinien käyttökielto on johtanut niiden korvaamiseen keskipitkäketjuisilla klooratuilla parafiineilla (MCCP). Keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja on ehdotettu sisällytettäväksi Tukholman yleissopimukseen. Kloorattujen parafiinien huuhtoutumista hulevesiin ei ole juurikaan tutkittu.

Per- ja polyfluoratut alkyylilyhdisteet (PFAS-yhdisteet) ovat suuri ja monimutkainen aineryhmä. PFAS-yhdisteet ovat erittäin pysyviä ympäristössä, ja ne joko eivät hajoa tai hajoavat pysyviksi PFAS-yhdisteiksi. Lisäksi jotkin PFAS-yhdisteet ovat biologisesti kertyviä. Monien PFAS-yhdisteiden haitallisia vaikutuksia ei ole juurikaan tutkittu, mutta tiettyjen PFAS-yhdisteiden tiedetään olevan esimerkiksi lisääntymiselle vaarallisia tai syöpää aiheuttavia (NHC3 2023). PFAS-yhdisteitä käytetään yleisesti niiden rasvaa, vettä ja likaa hylkivien ominaisuuksien vuoksi. Niitä voidaan käyttää monenlaisissa tuotteissa, kuten rakennusmateriaaleissa, tekstiileissä (esim. matoissa ja verhoiluissa), puulevyissä, lastulevyissä, eristysmateriaaleissa, sähkölaitteissa, lattiapäällysteissä (esim. kestävä linoleumi ja laminoidut muoviset lattiapäällysteet), muoviputkissa, asennusvaahdoissa, sisä- ja ulkomaaleissa, laasteissa, pinnoitteissa, tiivistysaineissa, rakennuskalvoissa ja LVI-järjestelmissä (NHC3 2023).

Tutkimusmenetelmä

Näytteenottopaikat

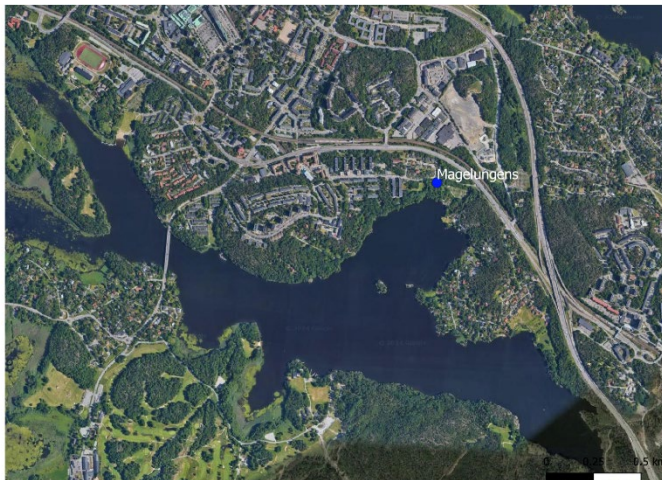
Hulevesi on tunnetusti reitti, jonka kautta kaduille ja muille kaupunkialueiden pinnoille kuivalla säällä kertyneet hiukkaset ja haitta-aineet pääsevät vesistöihin. Hulevesissä olevat epäpuhtaudet voivat olla peräisin useista eri lähteistä ja kaupunkiympäristön toiminnoista, kuten rakennuksista ja rakennusmateriaaleista.

Hulevesinäytteitä kerättiin seitsemästä paikasta Tukholman kaupungissa (taulukko 1 ja kuvat 1–7) marras- ja joulukuussa 2023. Yleensä hulevesijärjestelmät on suunniteltu käsittelemään hulevesiä suhteellisen laajoilta valuma-alueilta, joilla on vaihtelevaa maankäyttöä, ja niissä käsitellään monenlaisia eri lähteistä peräisin olevia haitta-aineita. Tällaisten kaupunkialueilla olevien valuma-

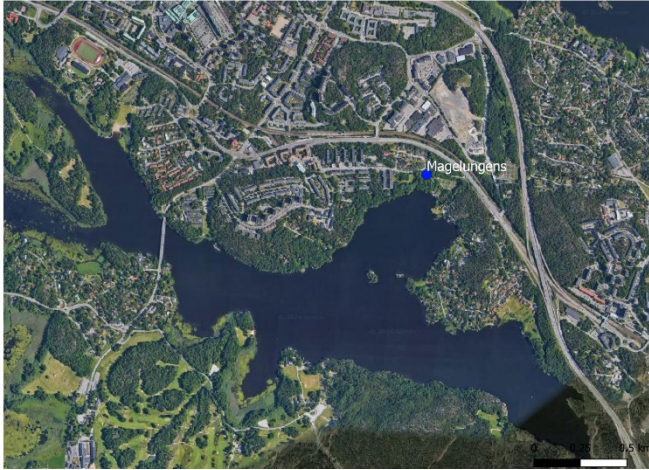
alueiden vaihteleva maankäyttö tarkoittaa, että alueet sisältävät erilaisia ympäristöjä, kuten liikennemäärältään erilaisia teitä, asukastiheydeltään erilaisia asuinalueita, kaupallisia alueita ja alueita, joilla harjoitetaan kevyttä teollisuustoimintaa.

Taulukko 1. Näytteenottopaikkaluettelo ja kustakin näytteenottopaikasta kerättyjen näytteiden lukumäärä.

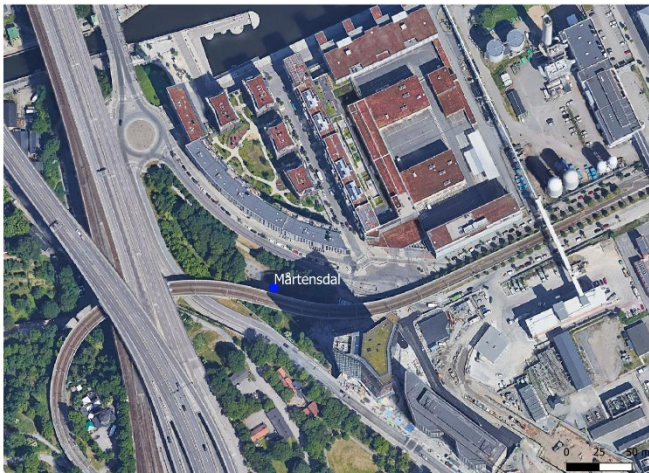
Sampling location	Area characteristics	No. of samples	Sample collected from	Coordinates (Sweref 99 TM N, E)	
Magelungen	Mixed urban land-use incl. e.g. residential areas and green/nature areas	2	Outlet	6570336	677643
Mårtensdal	Mixed urban land-use incl. e.g. roads, relatively densely built-up area (recently built high-rise building).	2	Stormwater basin	6577711	675475
Sundbydammen	Mixed urban land-use incl. e.g. residential areas	2	Pond outlet	6584838	666236
Bergslagsdammen	Mixed urban land-use incl. e.g. lighter industries, commercial activities and residential areas	1	Pond outlet	6584182	662561
Kräppladiket	Mixed urban land-use incl. e.g. residential areas, local roads and green areas	2	Culvert/channel outlet	6571915	672621
Hjulstadammen	Mixed urban land-use incl. e.g. residential areas.	1	Pond outlet	6588048	663501
Flatendiket	Mixed urban land-use incl. e.g. residential area and roads.	2	Ditch/swale	6573067	678897



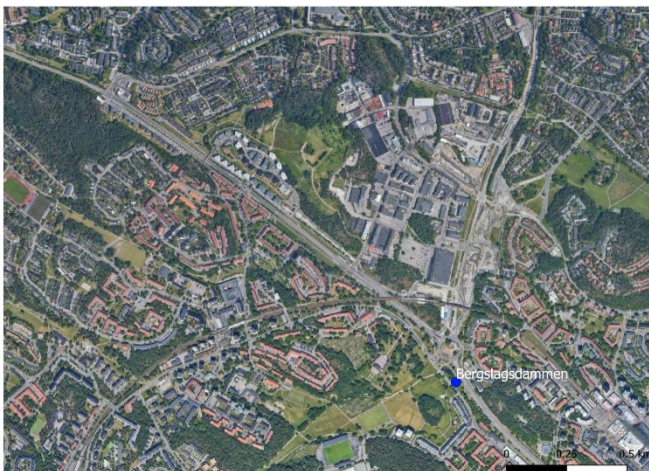
Kuva 1. Ortokuva, jossa esitetään Magelungenin näytteenottopaikka (näytteet MA1 ja MA2). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista vaihteleva kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu esimerkiksi pientalovaltaisia asuinalueita sekä viher- ja luontoalueita.



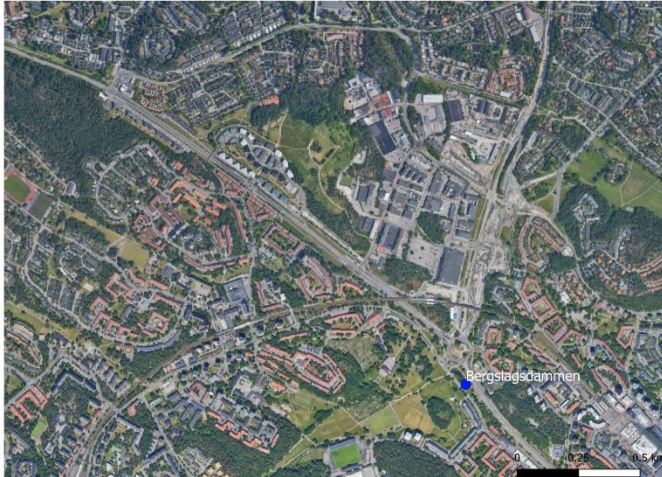
Kuva 2. Ortokuva, jossa esitetään Mårtensdalin näytteenottoaikka (näytteet MD1 ja MD2). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu teitä, suhteellisen tiheästi rakennettu alue, jossa on esimerkiksi hiljattain rakennettu kerrostalo, sekä pienempiä viheralueita.



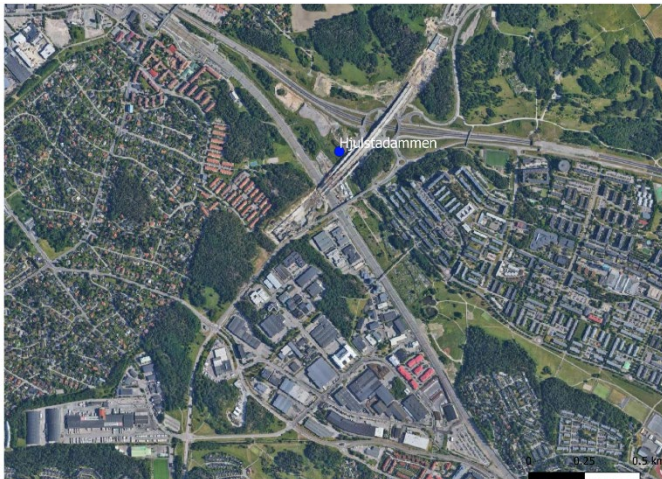
Kuva 3. Ortokuva, jossa esitetään Sundbydammenin näytteenottoaikka (näytteet SU1 ja SU2). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista vaihteleva kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu asuinalueita.



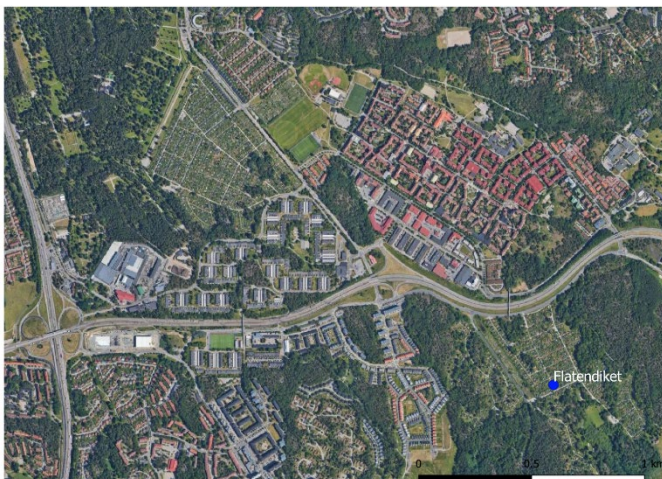
Kuva 4. Ortokuva, jossa esitetään Bergslagsdammenin näytteenottoaikka (näyte BE1). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista vaihteleva kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu alue, jossa harjoitetaan kevyttä pienteollisuutta ja kaupallista toimintaa, sekä toinen alue, jossa on asuinalueita, kerrostaloja ja alueellinen keskus.



Kuva 5. Ortokuva, jossa esitetään Kräppladiketin näytteenottopaikka (näytteet KR1 ja KR2). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu pääasiassa asuinalueita sekä paikallisia teitä ja viheralueita.



Kuva 6. Ortokuva, jossa esitetään Hjulstadammenin näytteenottopaikka (näyte HJ1). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista vaihteleva kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu muun muassa asuinalueita.



Kuva 7. Ortokuva, jossa esitetään Flatendiketin näytteenottopaikka (näytteet FL1 ja FL2). Ympäröivälle valuma-alueelle on ominaista vaihteleva kaupunkialueen maankäyttö, johon kuuluu pääasiassa asuinalueita, mutta myös melko vilkkaasti liikennöity tie. Näytteenottopaikka on lähellä siirtolapuutarhaa, jossa tonteilla on pieniä mökkejä.

Näytteiden kerääminen

Hulevedestä otettiin näytteitä manuaalisesti, ja tulokset kuvaavat huleveden laatua näytteenottoajankohtana. Tämä on käytännöllinen ja kustannustehokas huleveden laadunarviointimenetelmä. Vesinäytteitä otettiin suoraan näytteenottopaikoista. Analysoimalla näytteitä on mahdollista saada jonkinlainen käsitys hulevesien sisältämistä aineista, mutta hulevesien kautta tapahtuvan haitta-aineiden kulkeutumisen arvioimiseen tarvitaan kehittyneempi näytteenottomenetelmä. Yhteensä 12 hulevesinäytettä otettiin seitsemästä eri paikasta, ja kustakin paikasta otettiin näytteet yhdellä tai kahdella kerralla, kuten taulukossa 1 esitetään. Kahdesta näytteenottopaikasta, Bergslagsdammenista ja Hjulstadammenista, voitiin ottaa vain yksi näyte, koska vesi jäätynyt talvien sääolosuhteiden vuoksi, mikä esti toisen näytteenottokierroksen toteuttamisen.

Näytteenotossa käytettiin jatkovarteen kiinnitettyä dekanterilasia, joka mahdollisti vesinäytteiden turvallisen ottamisen mahdollisesti vaikeakulkuisilla alueilla. Näytteenottojärjestely on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Esimerkkejä näytteenottopaikoista ja hulevesinäytteenotossa käytetyistä laitteista.

Taulukossa 2 on tietoja analysoiduista aineista, näytemääristä ja kussakin analyysissä käytetyistä pullotyypeistä. Kunkin luetellun aineen kaikki näytteet sijoitettiin nimettyihin laboratoriopulloihin. Näin varmistettiin, että kutakin ainetta säilytettäisiin asianmukaisessa astiassa ennen analysointia.

Taulukko 2. Aineiden analysoinnissa käytetyt astiat

Substance analysis package	Analysed from	Bottle volume (ml)	Bottle material
Phtalates	All samples	1000	Glass
Chlorinated paraffins	All samples	1000	Glass
Organophosphates	All samples	1000	Glass
PFAS 22 (including TOP)	All samples	2 * 100	Plastic
Biocides/pesticides	All samples	250	Plastic (special bottle for biocide and pesticide analysis)

Hulevesinäytteet otettiin kaupungin omistaman vesi- ja jäteyhtiö Stockholm Vatten och Avfall AB:n (SVOA) säännöllisen seurantaohjelman yhteydessä. Taulukossa 2 esitetyt aineiden analysointipaketit täydensivät seurantaan sisältyviä analyysseja. Seurannan yhteydessä tehtyjen analyysien muita tuloksia arvioidaan ja käsitellään tässä raportissa.

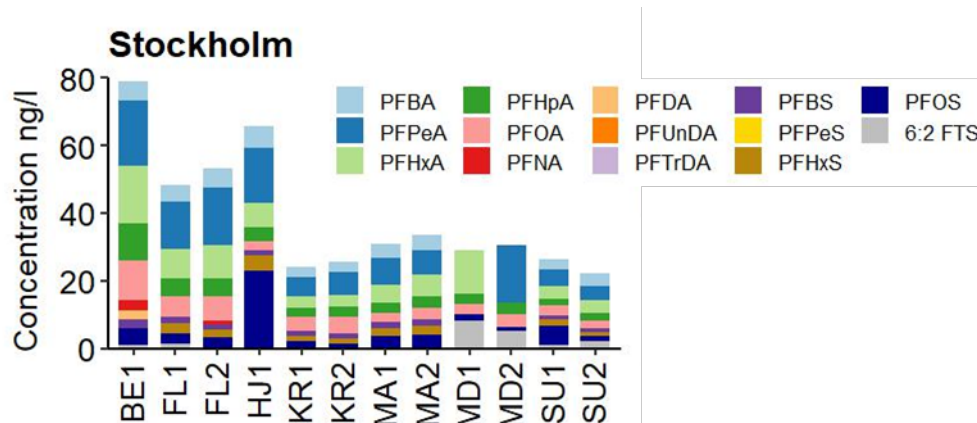
Tulokset ja pohdinta

PFAS-yhdisteet

Kaikissa hulevesinäytteissä havaittiin PFAS-yhdisteitä. Yleisimmät yhdisteet olivat PFOS, PFOA ja PFHpA, joita löytyi kaikista näytteistä, ja seuraavaksi yleisimmät yhdisteet olivat PFPeA ja PFHxA, joita löytyi 11 näytteestä 12:sta (kuva 9 ja taulukko 3). PFAS-yhdisteiden yhteenlasketut pitoisuudet vaihtelivat näytteiden ja näytteenottoaikojen välillä, ja PFAS 22:n pitoisuudet vaihtelivat välillä 22–79 ng/l (taulukko 3). Kolmessa näytteenottoaikassa (Bergslagsdammen, Flatendiket ja Hjulstadammen) havaittiin suurempia kokonaispitoisuuksia: pitoisuudet vaihtelivat välillä 48–79 ng/l, kun taas neljässä muussa paikassa pitoisuudet vaihtelivat välillä 22–34 ng/l. Näitä pitoisuuksia ei kuitenkaan voitu yhdistää mihinkään erityisiin lähteisiin näillä valuma-alueilla.

Yksi suurimmista yksittäisistä PFAS-pitoisuuksia oli 23 ng/l PFOS:ää Hjulstadammenissa (HJ1), mikä on suurempi pitoisuus kuin aiemmin Tukholman vesi- ja jäteseurannassa kyseisessä paikassa havaitut PFOS-pitoisuudet (4,3–8,9 ng/l). Syytä tähän korkeampaan pitoisuuteen ei tiedetä. Tämäkin PFOS-pitoisuus oli kuitenkin vesipuitedirektiivissä (direktiivi 2000/60/EY) sisäpintavesille määritettyä suurinta sallitun pitoisuuden ympäristölaatu normia (MAC-EQS) 36 µg/l pienempi. Kaikki PFOS-pitoisuudet ylittivät vesipuitedirektiivissä annetun vuosikeskiarvon ympäristölaatu normin 0,65 ng/l.

Seuraavien PFAS-yhdisteiden pitoisuudet alittivat laboratorion raportointirajan kaikissa näytteissä: PFDoA, PFDoS, PFDS, PFHpS, PFNS, PFPeS, PFTrDA, PFTrDS, PFUDa ja PFUnDS.



Kuva 9. PFAS-pitoisuudet Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyssä hulevedessä.

Taulukko 3. Yhdestä tai useammasta näytteestä löydetty PFAS-yhdisteet, joiden havaitut pitoisuudet on lihavoitu. PFAS-yhdisteiden nimet on värikoodattu kuvassa 9 esitetyn värikoodausjärjestelmän mukaisesti. Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyt näytteet. Huom.: joidenkin PFAS-yhdisteiden raportointiraja on suurempi Mårtensdalista kerätyille näytteille (MD1 ja MD2).

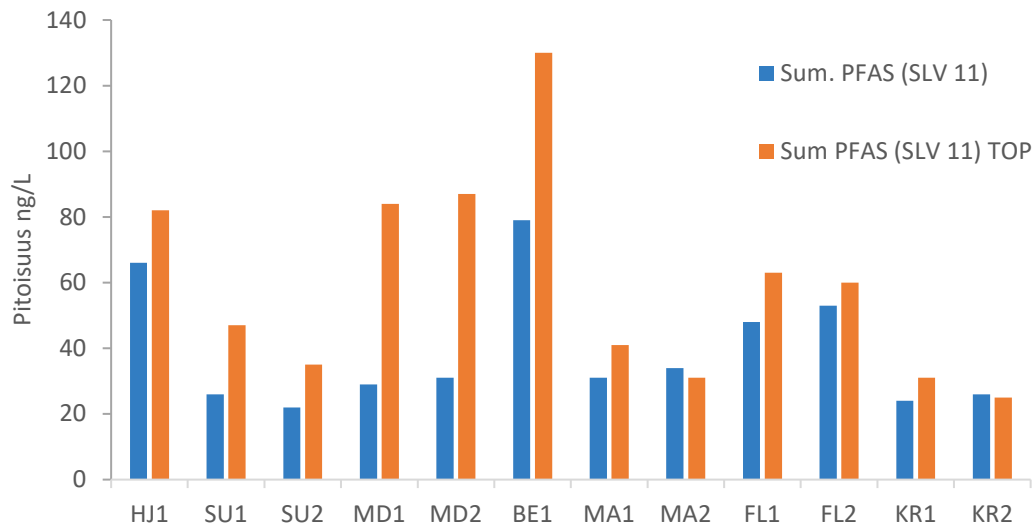
	Unit	HJ 1	SU 1	SU 2	MD 1	MD 2	BE 1	MA 1	MA 2	FL 1	FL 2	KR 1	KR 2
6:2 FTS	ng/l	<1.0	1.2	2.1	8.3	5.1	1.2	<1.0	<1.0	1.5	<1.0	<1.0	<1.0
PFBA	ng/l	6.6	3.0	3.5	<20	<20	5.9	4.1	4.4	5.1	5.6	3.1	3.2
PFBS	ng/l	1.4	1.1	1.1	<10	<1.0	2.4	1.6	1.9	1.9	1.7	1.5	1.6
PFDA	ng/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	2.9	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFHpA	ng/l	4.2	2.1	2.3	2.7	3.4	11	2.9	3.3	5.2	5.3	2.7	3.0
PFHxA	ng/l	7.2	3.5	3.6	13	<10	17	5.3	6.4	8.6	9.9	3.2	3.4
PFHxS	ng/l	4.5	1.9	1.2	<1.0	<1.0	<1.0	2.4	2.9	2.7	2.2	1.5	1.6
PFNA	ng/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	2.7	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	<1.0	<1.0
PFOA	ng/l	2.8	2.9	2.3	3.1	3.6	12	2.9	3.3	6.3	7.1	4.2	4.9
PFOS	ng/l	23	5.6	1.5	1.9	1.4	4.9	3.7	3.9	3.1	3.3	2.3	1.4
PFPeA	ng/l	16	5.0	4.5	<10	17	19	8.0	7.4	14	17	5.6	6.7
Sum PFAS 4	ng/l	30	10	5.0	5.0	5.0	20	9.0	10	12	14	8.0	7.9
Sum PFAS 11	ng/l	66	26	22	29	31	79	31	34	48	53	24	26
Sum PFAS20 (EU) 2020/2184	ng/l	66	25	20	21	25	78	31	34	47	53	24	26
Sum PFAS (22)	ng/l	66	26	22	29	31	79	31	34	48	53	24	26

Toinen PFAS-analyseissä käytetty menetelmä on TOP (Total Oxidizable Precursor Assay). TOP-menetelmä kehitettiin vuonna 2012 tarkoituksena tunnistaa muut kuin kohteena olevat PFAS-yhdisteet. PFAS-analyysin ja PFAS-yhdisteiden TOP-määrittelyn tulosten vertailu voi antaa laajemman käsityksen PFAS-yhdisteiden aiheuttaman saastumisen laajuudesta. On kuitenkin tärkeää huomata, että TOP-menetelmä ei ennusta abioottista ja bioottista hajoamista kentällä. Tämän vuoksi näiden tulosten vertailua tulee tarkastella konservatiivisesti ottaen huomioon kunkin menetelmän rajoitukset.

Kuten taulukosta 4 käy ilmi, TOP-menetelmällä analysoitujen PFAS-yhdisteiden summat verrattuna tavanomaiseen analyysiin osoittavat, että hapetuksen jälkeen PFAS-yhdisteiden määrä kasvoi useimmissa näytteissä, mikä tarkoittaa, että näytteissä on enemmän PFAS-yhdisteitä kuin PFAS 22 -analyysi kattaa. Kuvassa 11 on käytetty PFAS 11 -summaa (PFBS, PFHxS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA ja PFOS) havainnollistamaan näiden kahden menetelmän summapitoisuuksien eroa.

Taulukko 4. Vakio menetelmällä analysoitujen PFAS 22 -summapitoisuuksien ja TOP-menetelmällä analysoitujen PFAS-yhdisteiden summapitoisuuksien vertailu. Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyt näytteet.

	Unit	HJ1	SU1	SU2	MD1	MD2	BE1	MA1	MA2	FL1	FL2	KR1	KR2
Sum PFAS 22 (standard)	ng/l	66	26	22	29	31	79	31	34	48	53	24	26
Sum PFAS 22 (TOP)	ng/l	82	47	35	84	87	130	41	31	63	60	31	25



Kuva 10. PFAS 11 (SLV) -summa, joka sisältää seuraavat: PFBS, PFHxS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA ja PFOS:n analysoituna vakiomenetelmällä (siniset pylväät) ja TOP -menetelmällä (oranssit pylväät). Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyt näytteet.

Organofosfaatit

Analyysiin otettiin mukaan yhdeksän organofosfaattia eli 2-etyyliheksyyliidifenyylifosfaatti (Octicizer), TDCPP, TBEP, tris(2-etyyliheksyyli)fosfaatti, TCEP, TCPP, TBP, TPhP ja TCPP. Näistä kahta ainetta havaittiin yhdessä tai useammassa näytteessä (lisätietoja on taulukossa 5). Yleisimmin havaittu yhdiste oli TCPP eli tris(2-kloori-1-metyylietyyli)fosfaatti, jota löytyi viidestä näytteestä (HJ1, SU1, BE1, MD1 ja MD2). Suurimmat pitoisuudet havaittiin Mårtensdalissa (MD), noin 0,4 µg/l molemmilla näytteenottokerroilla. Yhdessä näytteessä (SU1) havaittiin tributyylifosfaattia (TBP), jonka pitoisuus oli 0,17 µg/l.

TCPP on yksi organofosfaateista, joita esiintyy suurimpina pitoisuuksina sisäympäristöissä (Langer ym. 2020, Zhou. ym. 2017) sekä Tukholman kotitalouksien jätevesissä (liite 5C, Kotitalouksien jätevedet – orgaaniset mikrosäasteet).

Taulukko 5. Organofosfaatteja TCPP ja TBP havaittiin yhdessä tai useammassa näytteessä. Määrittämisraja oli < 0,10 µg/l. Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyt näytteet.

	Unit	HJ1	SU1	SU2	MD1	MD2	BE1	MA1	MA2	FL1	FL2	KR1	KR2
TCPP	µg/L	0.15	0.29	<LOQ	0.4	0.44	0.25	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
TBP	µg/L	<LOQ	0.17	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

Biosidit/torjunta-aineet

Hulevesinäytteistä analysoitiin 51 eri biosidia/torjunta-ainetta, jotka kaikki on lueteltu liitteessä I. Näistä viittä havaittiin yhdessä tai useammassa näytteessä (taulukko 6). Korkein havaittu yksittäinen biosidipitoisuus oli 0,06 µg/l mekopropia, joka havaittiin Bergslagsplanista (BE1) otetussa näytteessä. Havaituista aineista yleisin oli diklooribentsamidi (BAM), jota havaittiin neljässä näytteessä, ja seuraavaksi yleisin kolmessa näytteessä havaittu terbutyyliatsiini-2-hydroksi. BAM:ia (diklooribentsamidi) havaittiin kolmesta eri paikasta otetuissa näytteissä: Sundbydammenista (SU2), Flatendiketistä (FL1) and Kräppladiketistä (KR1 ja KR2), ja sen korkein havaittu pitoisuus oli 0,02 µg/l. Terbutyyliatsiini-2-hydroksia havaittiin kahdesta eri paikasta otetuissa näytteissä: Sundbydammenista (SU1) ja Mårtensdalista (MD1 and MD2). Diklooribentsamidin tavoin myös terbutyyliatsiini-2-hydroksin korkein havaittu pitoisuus oli 0,02 µg/l.

Diuroni ja mekopropi ovat tunnetusti rakennusmateriaaleissa käytettäviä lisäaineita, mikä mahdollisesti tarkoittaa, että niiden esiintyminen hulevedessä liittyy kaupunki-infrastruktuuriin. Diuroni- ja mekopropipitoisuudet olivat suurempia sekajärjestelmän viemärien ylivuotovesissä kuin jätevesissä, mikä viittaa siihen, että hulevesien vaikutus niiden pitoisuuksiin on merkittävä, koska rakennukset on todettu niiden mahdolliseksi ensisijaiseksi lähteeksi (Paijens ym. 2020).

Havaintoja tehtiin myös sellaisten torjunta-aineiden hajoamistuotteista, joita ei yleisesti käytetä rakennusmateriaaleissa: BAM (diklooribentsamidi), sienitautien torjunta-aine fluopikolidin (PFAS-yhdiste) johdannainen, ja terbutyyliatsiini-2-hydroksi, terbutylatsiinin johdannainen.

Taulukko 6. Yhdessä tai useammassa näytteessä havaitut biosidit/torjunta-aineet, määrittäminen < 0,10 µg/l. Hjulstadammenista (HJ1), Sundbydammenista (SU1 ja SU2), Mårtensdalista (MD1 ja MD2), Bergslagsdammenista (BE1), Magelungenista (MA1 ja MA2), Flatendiketistä (FL1 ja FL2) ja Kräppladiketistä (KR1 ja KR2) kerätyt näytteet.

	Unit	HJ1	SU1	SU2	MD1	MD2	BE1	MA1	MA2	FL1	FL2	KR1	KR2
Diuron	µg/L	<LOQ	0.01	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Mecoprop	µg/L	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Metamitron	µg/L	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.02	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Dichloro-benzoamide	µg/L	<LOQ	<LOQ	0.01	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.01	<LOQ	0.02	0.01
Terbutylazin-2-hydroxy	µg/L	<LOQ	0.02	<LOQ	0.02	0.02	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

Klooratut parafiinit

Hulevesinäytteistä analysoitiin kloorattuja parafiineja (SCCP ja MCCP). Pitoisuudet olivat kuitenkin alle määrittämissä kaikissa näytteissä.

Ftalaatit

Ftalaattien (BBP, DEEP, DEHP, DMEP, DBEP, DMPP, DBP, DCHP, DEP, DHXP, DIBP, DIDP, DINP, DMP, DNOP, DPeP, dipropyylftalaatti ja heksyyli-2-etyyliheksyyliftalaatti) pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle laboratorion raportointirajan.

Vastoin odotuksia ftalaatteja ei havaittu yhdessäkään näytteessä. Aiemmissa tutkimuksissa Tukholmasta ja Göteborgista kerätyissä hulevesinäytteissä on havaittu ftalaatteja, kuten DEHP:tä, DIDP:tä ja DINP:tä (Björklund ym. 2007). Aiemmassa tutkimuksessa löydettiin ftalaatteja hulevesilammikoiden sedimenteistä Tukholmassa (mukaan lukien Bergslagsdammen, Mårtensdal ja Kräppladiketin lammikot; Flanagan ym. 2021). Esimerkiksi Flanagan ym. (2021) havaitsivat, että DEHP oli yleisimmin havaittu ftalaatti hulevesien sedimenttinäytteissä. DiNP:tä esiintyi harvemmin, mutta sen pitoisuudet olivat suurempia kuin DEHP:n. Tämä viittaa siihen, että ftalaatteja esiintyy ainakin joissakin hulevesilammikoissa, joista näytteitä otettiin, vaikka niitä ei havaittukaan hulevesivaiheessa tämän tutkimuksen näytteenoton yhteydessä.

Muut seurannan aikana analysoitavat aineryhmät (SVOA 2024)

PCB-yhdisteet: PCB-yhdisteitä (PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180, PCB 28 ja PCB 52) analysoitiin yhteensä 12 näytteestä vuosien 2022 ja 2023 aikana (neljä näytteenottokertaa, joista kullakin otettiin näytteitä Hjulstadammenin, Sundbydammenin ja Mårtensdalin lammikoista). Yhdessäkään näytteessä ei todettu havaittavia pitoisuuksia.

Bromatut palonestoaineet: Myös bromattuja palonestoaineita analysoitiin 12 näytteestä (neljä näytteenottokertaa, joista kullakin otettiin näytteitä Hjulstadammenin, Sundbydammenin ja Mårtensdalin lammikoista). Määritysrajan ylittävä pitoisuus todettiin vain yhdessä näytteessä (Hjulstadammen, kesäkuu 2023), jossa havaittiin 0,209 ng/l PBDE 28:aa.

Organotinayhdisteet: Myös tributyyliinää (TBT) analysoitiin 12 näytteestä (neljä näytteenottokertaa, joista kullakin otettiin näytteitä Hjulstadammenin, Sundbydammenin ja Mårtensdalin lammikoista). Kaikkien näytteiden pitoisuudet olivat alle laboratorion raportointirajan. Kahdelle Hjulstadammenista ja Sundbydammenista joulukuussa 2022 kerätyille näytteelle tehtiin laajennettu analyysi (joka kattoi seuraavat aineet: TPhT, MBT, DBT, DPhT, TTBT, TCHT, MPhT, MOT, DOT ja TBT). Yhdessä näistä (Sundbydammenissa) MBT-, DBT- ja MOT-pitoisuudet olivat 6,9, 1,2 ja 1,3 ng/l.

Metallit: Metallit analysoidaan kuukausittain seuraavista lammikoista otetuista näytteistä: Hjulstadammen (HJ1), Mårtensdal (MD1 ja MD2) sekä Sundbydammen (SU1 ja SU2). Taulukossa 7 ja kuvassa 11 on esitetty metallianalyysien tulokset näytteille, jotka osuvat samaan aikaan NonHazCity 3 -hankkeen laajennetun näytteenoton kanssa. Kaikissa näytteissä havaittiin metalleja. Esimerkiksi sinkkiä, kuparia, nikkeliä, kromia ja lyijyä on havaittu huuhtoutuvan metallisista ulkorakennusmateriaaleista (Müller ym. 2020, 2019). Hulevesinäytteistä löydettyjen metallien pääasiallisia lähteitä ei kuitenkaan ole voitu määrittää, ja kyse voi olla muista kuin rakennusmateriaaleista (esimerkiksi liikenteestä) peräisin olevista päästöistä.

Taulukko 7. Metallianalyysin tulokset Hjulstadammenissa (HJ1), Mårtensdalissa (MD1 ja MD2) sekä Sundbydammenissa (SU1 ja SU2)

Element	unit	HJ1	SU1	SU2	MD1	MD2
Arsenic, As	µg/L	0.6	0.64	< 0.50	3.5	3.2
Barium, Ba	µg/L	50	19	22	24	25
Lead, Pb	µg/L	1.8	1.2	< 0.50	0.65	0.53
Cobalt, Co	µg/L	0.83	0.57	< 0.50	2.3	2.4
Copper, Cu	µg/L	17	5.7	2.2	13	14
Chrome, Cr	µg/L	2.1	1.2	< 0.50	2	2.1
Nickel, Ni	µg/L	2.7	2.2	2.8	6.8	6.1
Vanadium, V	µg/L	2.3	1.6	< 0.50	17	14
Zinc, Zn	µg/L	48	31	13	30	25

Johtopäätökset

Tukholman hulevesien huolta aiheuttavien aineiden seulonta paljasti, että per- ja polyfluorattuja alkyyliyhdisteitä (PFAS-yhdisteitä) esiintyy kaikkialla. Yleisimmin havaittuja yhdisteitä olivat PFOS, PFOA ja PFHpA, ja niitä esiintyi kaikissa analysoiduissa näytteissä. PFAS-yhdisteiden TOP-analyysi (Total Oxidizable Precursor Assay) osoitti PFAS-yhdisteiden kokonaispitoisuuksien nousevan hapettumisen jälkeen useimmissa näytteissä, mikä viittaa sellaisten PFAS-yhdisteiden esiintymiseen, joita ei tavanomaisilla analyysimenetelmillä havaita.

Lisäksi hulevesien seulonnan yhteydessä määritettiin biosidipitoisuudet. Diuronia ja mekopropiaa havaittiin kumpaakin yhdessä näytteessä. Nämä aineet ovat tunnettuja rakennusmateriaalien lisäaineita, mikä viittaa mahdolliseen yhteyteen niiden esiintymisen välillä hulevesissä ja kaupunki-infrastruktuurissa. Tämä havainto korostaa rakennusmateriaalien mahdollista vaikutusta vedenlaatuun kaupunkialueilla. Lisäksi hulevedessä havaittiin organofosfaatteja, jotka ovat ryhmä pääasiassa palonestoaineina ja muovinpehmentiminä käytettäviä aineita. Organofosfaatti TCPP:tä havaittiin viidessä hulevesinäytteessä, mikä osoittaa sen olevan yleinen aine kaupunkiympäristössä. Ftalaatteja tai kloorattuja parafiineja ei havaittu missään hulevesinäytteessä. Tämä viittaa siihen, että kyseiset haitta-aineet eivät ehkä ole niin yleisiä tai havaittavissa tämän tutkimuksen hulevesinäytteissä ja olosuhteissa.

Kaiken kaikkiaan tulokset osoittavat, että rakennusmateriaaleista voi vapautua huleveteen aineita, joilla on haitallisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Nämä havainnot osoittavat, että materiaalivalinnat voivat vaikuttaa hulevesiin huuhtoutuvien ja siitä vesistöihin kulkeutuvien vaarallisten aineiden määriin. Seurantaa ja lähteiden jäljittämistä pitää jatkaa, jotta kaupunkien hulevesien sisältämien haitta-aineiden kirjoa voitaisiin täysin ymmärtää.

Viitteet

Birch, H. ym. 2011. Micropollutants in stormwater runoff and combined sewer overflow in the Copenhagen area, Denmark. *Water Science & Technology*. DOI: 10.2166/wst.2011.687

Björklund, K., Malmqvist, P-A. ja Strömvall, A-M. 2007. Källor till och flöden av ftalater och nonylfenoler i Stockholms dagvatten. Tukholman kaupunki.

Brandsma, S. H. ym. 2021. Chlorinated paraffins and tris(1-chloro-2-propyl)phosphate in spray polyurethane foams – A source for indoor exposure? *Journal of Hazardous Materials*. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125758

Tanskan ympäristöministeriö Miljøstyrelsen 2014. Survey of short-chain and medium-chain chlorinated paraffins. Part of the LOUS-review. Environmental Project no. 1614.

Flanagan, K. ym. 2021. Contamination of urban stormwater pond sediments: A study of 259 legacy and contemporary organic substances. *Environ Sci Technol* 55, s. 3009–3020.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07782>

Langer S. ym. 2020. Kemikaliebelastning i tre förskolors innemiljö. Report C 550 from IVL.

Mertens, F. M. ym. 2018. Micropollutants in stormwater discharge in the Swist river basin. *International Journal of Environmental Impacts*. DOI: 10.2495/EI-V1-N3-288-297

Müller, A. ym. 2023. Releases of micropollutants from building surface materials into rainwater and snowmelt induced runoff. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138730>

Müller, A. 2022. Mot hållbara val av byggnadsmaterial - Bidraget av föroreningar till avrinning vid regn och snösmältning. *Ny forskning och teknik*, Nr 13.

Müller, A. ym. 2020. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125>

Müller, A. ym. 2019. Building surface materials as sources of micropollutants in building runoff: A pilot study. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.088>

NHC3 2023. Building material catalogue for tox-free construction. [NHC3catalogue E1_5_small.pdf \(interreg-baltic.eu\)](#)

Paijens, C. ym. 2020. Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanisms or release and transfer to the aquatic environment. *Environmental Science and Pollution Research* 27, s. 3768–3791.

SVOA 2024. Stockholm Vatten och Avfall – Verksamhetsår för Stockholm Vatten och Avfalls dagvattenrenings-anläggningar 2023.

Zhou L. ym. 2017. Occurrence and human exposure assessment of organophosphate flame retardants in indoor dust from various microenvironments of the Rhine/Main region, Germany. *Indoor Air*, Volume 27, s. 1113 –1127.

Liite I

Torjunta-aineiden/biosidien analyysipakettiin sisältyvien aineiden luettelo

D -2,4	Simazin-2-hydroxy
Diclorprop	Metribuzin-diketo
2,6-Diklorbenzamid	Metribuzin-desamino-diketo
Atrazine	Iprodione
Atrazine-desisopropyl	Imazalil
Atrazine-desethyl	DMST
Bentazone	Carbendazim
Cyanazine	Boscalid
Dimethoate	Bitertanol
Ethofumesate	Azoxystrobin
Fenoxaprop	Terbutylazin-desetyl
Fluroxypyr	Tifensulfuron-metyl
Imazapyr	Imidacloprid
Isoproturon	Prochloraz
Klopyralid	
Klorsulfuron	
Kvinmerac	
MCPA	
Mekoprop	
Metamitron	
Metazaklor	
Metribuzin	
Metsulfuron-metyl	
Simazine	
Terbutylazine	
Atrazin-2-hydroxy	
Hexazinone	
Kloridazon	
Pirimicarb	
Propiconazole	
Diuron	
2,4,5-T	
2(4-Klorfenoxy)propionsyra (4-CPP)	
Fenhexamid	
1-(3,4-Diklorfenyl)urea	
1-(3,4-Diklorfenyl)-3-metylurea	
Terbutylazin-2-hydroxy	



Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union



SUSTAINABLE WATERS

NonHazCity 3



NonHazCity