

Slutrapport Projekt NV-06943-20

Mikroplast i dagvatten och snö

Förekomst och avskiljning i biofilter,
sedimentationsanläggningar och från snöhögar

Heléne Österlund
Godecke Blecken
Katharina Lange
Maria Viklander

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Samhällsbyggnad och Naturresurser
Forskargruppen VA-teknik
Dag&Nät, DRIZZLE
97187 Luleå



Förord

Detta projekt har utförts under åren 2020-2021 och finansierats av Naturvårdsverket.

Projektet hade inte varit möjligt utan samarbetet med Mittsverige Vatten och Avfall i Sundsvall. Samarbetet har genomförts inom ramen för forskningsklustret Dag&Nät och Vinnova:s kompetenscentrum DRIZZLE på LTU.

Författarna tackar Kerstin Nordqvist för hjälp med analyser och diskussion av resultaten samt Peter Rosander för hjälp med det praktiska i labbet.

Resultaten från Sundsvall (kapitel 3 och 4) publiceras i en vetenskaplig artikel i tidskriften Science of the Total Environment.

Luleå i september 2021

Godecke & Heléne

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
2. Syfte	7
3. Mikroplast i vägavrinning	8
4. Mikroplast i snö och smältvatten	11
5. Rening av mikroplast: sedimentation och biofilter	15
6. Slutsatser	21

1. Introduktion

Mikroplast förekommer i vägdagvatten. Detta vatten är sannolikt en relevant källa till spridning av mikroplast till naturen (Magnusson m fl. 2016; Järskog et al. 2020). Dock saknas det fortfarande kunskap om förväntade koncentrationer, olika typer av mikroplast, variationer under olika årstider samt förekomst i snö/smältvatten.

Förekomst av mikroplast i smältvatten är i princip inte klarlagd alls. Undersökningar av detta är viktigt eftersom föroreningar ackumuleras under en längre tid i snön och frigörs sedan under en relativt kort period vilket ger anledning att befara höga halter i smältvatten.

Förekomsten av mikroplast i form av däck- och vägpartiklar i urban snö från plogvallar har visat sig vara höga vid såväl högtrafikerade (~ 20 000 fordon/dygn) som lågtrafikerade (~ 5000 fordon/dygn) vägar med förekomster på mellan 150-200000 partiklar/liter smält snö (Vijayan m fl. 2019). I vissa städer dumpas bortforslad snö direkt i ytvattenförekomster medan de på andra ställen läggs på lokala eller centrala landtippar, ibland dessutom med efterföljande sedimentationsanläggningar för rening av smältvattnet (t ex Örnsköldsvik och Sundsvall). Från tidigare studier vet man att partiklar i snö i hög grad stannar på marken där snön legat medan endast en mindre del följer med smältvattnet. I vilken utsträckning detta även gäller mikroplaster med sin lägre densitet och storlek är inte undersökt. Potential finns ändå att minska spridningen av mikroplast från trafik bara genom att välja rätt strategi för snöhantering och denna studie kan ge en första inblick.

På grund av vägdagvattens betydelse för föroreningsutsläpp är det mycket viktigt att förstå funktionen och effektiviteten av reningsanläggningar för vägavrinning. De två sannolikt vanligaste reningsteknikerna är dagvattensedimentationsanläggningar (dammar, sedimentationskammare, sandfång i brunnar) och (sedan några år tillbaka) dagvattenbiofilter (som även kallas för rain garden eller växtbäddar). Dagvattenbiofilter är en relativt ny, men numera mycket populär reningsteknik i Sverige.

Medans det finns relativt mycket information om reningseffektiviteten gällande andra föroreningar (t ex sediment, näringsämnen och metaller) kvarstår utvärderingar av rening av mikroplast. Trots att mikroplast är en partikulär förorening beter sig mikroplast sannolikt annorlunda än dagvattensediment, t ex på grund av plastens annorlunda densitet. Eftersom denna är i samma skala som vattnets densitet påverkas sannolikt rening i sedimentationsanläggningar och sannolikt i mindre utsträckning i biofilter (Liu m fl., 2019; Smyth m fl. 2021; Lange et al, 2021). Dock har rening av mikroplast i dagvattenanläggningar endast undersökts i ytterst få studier (t ex. Smyth m fl, 2021; Gilbreath m fl., 2019, Liu m fl. 2019).

2. Syfte

Syften med projektet är att

- leverera ny kvantitativ kunskap om förekomst och sammansättning av mikroplast i väg dagvatten både från regn och snösmältning,
- ge ny kunskap om reningsförmågan av en två-steps-reningsanläggning som består av en (för)sedimentationskammare och två parallella biofilter,
- ge ny kunskap om ackumulation av mikroplast i dagvattenbiofilter,
- utvärdera spridningsvägar av mikroplast vid snösmältning på land kontra dumpning i vatten.

3. Mikroplast i vägavrinning

3.1 Platsbeskrivning och provtagning

Dagvatten har provtagits från E4-bron i Sundsvall. Avrinningsområdet är totalt 4,7 ha, därav 2,8 ha trafikplats och 1,9 ha E4 med en dygnstrafik på 13250 fordon.

Prover togs under 9 regn mellan oktober 2019 och juni 2020 (Tabell 1). Alla prover har tagits på ett flödesproportionellt sätt med automatiska provtagare (ISCO6712). Proverna samlats i 25 L dunkar.

Tabell 1: Regnkaraktistika under de 9 provtagna regnen

Regn Nummer	Datum	Varaktighet [h]	Mängd [mm]	Max intensitet [mm/h]	Torr dagar innan regn
1	2019-10-09	7	20.5	5.1	5
2	2019-11-11	16	9	1.6	15
3	2019-11-16	15	9.6	1.6	4
4	2019-11-21	23	7.5	0.9	2
5	2019-12-13	45	23.6	1.5	1
6	2020-05-01	21	23.6	3.3	16
7	2020-05-08	11	6.2	1.1	5
8	2020-06-06	22	7.2	1.8	3
9*	2020-06-17	3	12.4	8.8	8

3.2 Mikroplastanalyser

Proverna filtrerades först genom ett 300µm och sedan genom ett 100 µm filter. Delprover (0,5-1,0 L beroende av initial uppskattning av TSS-halt) analyserades för mikroplast. Vissa prover där alg tillväxt observerades behandlades med enzymet Creon 25000 pankreatin (Abbott). I laboratoriet avlägsnades det organiska materialet med H₂O₂ och delvis Fenton- och enzymreaktioner vid behov.

För att erhålla mikroplast i fraktion 100-20µm filtrerades proverna genom ett 20 µm metallfilter innan partiklar analyserades med Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). För att kunna analysera svarta partiklar (som gummi- och bitumenpartiklar) kombinerades FTIR med försvagad totalreflektionsteknik (ATR).

För kvalitetssäkring/kvalitetskontroll har vid 6 provtagningshändelser (regn 1, 6, 7, 8 och 9) kranvattenprov tagits som behandlats och analyserats på samma sätt som proverna.

För att säkerställa enzymbehandlingen inte orsakat kontaminering analyserades ett 1,0 L kranvattenprov innehållande innehållet i 3 hårda kapslar Creon 25000 pankreatin.

Tabell 2: Mikroplasthalter i blankproverna

Regn	Prov-volym (ml)	Analyser med FTIR											Analyser med ATR-FTIR				Summa	
		PP	PE	PS	EVA	PUR	Poly-ester	Nylon	Poly-amid	EPDM	Vistalon EPDM	PVC	Fluorin-rika partiklar	EPDM	SBR	styren/ allyl alkohol co-polymer		
1	500	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
6	500	40	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	8	<8	<8	<8	<2	<2	<2	<2	48
7	500	32	16	<8	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<2	<2	<2	<2	56
8	500	10	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	14
9	500	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<2	<2	<2	<2	<4
Median																		14

PP Polypropylen, PE Polyeten, PS Polystyren, EVA: Etylvinylacetat, , PUR: Polyuretan, EPDM: Etylen propylen diengummi, PVC: Polyvinylklorid, SBR: Styren butadiengummi

3.3 Resultat och Diskussion

Mikroplastkoncentrationer (20-100 µm) varierade mycket i dagvattnet mellan de nio regnhändelserna. Medianpartikelkoncentration var 230 partiklar/L, den minsta partikelkoncentrationen var 42 partiklar/L och den maximala koncentrationen 8577 partiklar/L (Tabell 3).

Den mest hittade polymertypen var PP som hittades i dagvattnet under alla regnhändelser med en mediankoncentration på 141 partiklar/L (min: 20 partiklar/L, max: 2175 partiklar/L). I blankproverna hittades knappt några mikroplastpartiklar förutom för PP (max 40 partiklar/L, se Tabell 2). Därför kan de lägre PP koncentrationerna i dagvattnet (främst regn 4, 6, 7) ha orsakats av kontaminering under provtagnings- och/eller analysprocessen. Vid de resterande regnen var dock PP koncentrationen i vägavrinningen mycket högre än i blankproven.

Vid regnhändelser 1, 3, 5 och 8 var mer än 80% av alla mikroplastpartiklar PP-partiklar. Också vid regn 4, 6 och 7 var PP-partiklar dominerande med en andel mellan 48 och 75%. Endast vid regn 2 och 9 utgjorde PP-partiklar endast ca. 25% av de totala mikroplastpartiklar som hittades. Vid dessa två regn var majoriteten av mikroplastpartiklarna svarta EPDM-gummipartiklar (med en andel på 50-60%).

Svarta EPDM-partiklar var den näst vanligaste polymertypen i dagvattnet (Tabell 3), men till skillnad från PP hittades inte svarta EPDM-gummipartiklar i varje prov. Förutom PP- och EPDM-gummipartiklar, hittades i fyra av nio prover EVA (mellan 20 och 500 partiklar/L) och PE (mellan 12 och 20 partiklar/L). Resterande plaster hittades endast i enstaka prover (Tabell 3).

Plastkoncentrationerna i regn 9 sticker ut eftersom de är mycket högre än för de resterande regnen. Anledningen är sannolikt att detta var regnhändelsen med den högsta intensiteten (8,8 mm/h; Tabell 1).

Denna studie som inkluderar fraktionen 20 till 100 µm stödjer att dagvatten kan vara en viktig transportväg för mikroplastutsläpp till recipienter. Det finns inte särskilt många andra nationella eller internationella studier som undersökt 20 till 100 µm-fraktionen i dagvatten. Dessa stödjer resultaten av denna studie att koncentrationer av plast kan vara mycket varierande mellan olika regnhändelser och att delvis höga partikelantal kan uppnås. Järskog et al., 2020 mätte antalet mikroplastpartiklar ≥ 20 µm och ≥ 100 µm i dagvattenprover som togs flödesproportionellt vid 5 regnhändelser i ett urbant avrinningsområde. Baserat på visuella mikroplastanalyser med hjälp av ett stereomikroskop fann de för fraktionen ≥ 20 µm däck- och bitumen i intervallet 1500 till 6000 partiklar/L samt omkring 100 partiklar/L av andra mikroplaster. Partikelkoncentrationerna i fraktionen ≥ 100 µm var 10 till flera hundra gånger lägre än fraktionen ner till 20 µm. Liknande resultat rapporterar också Järskog et al., 2021. I båda studier verkar biltrafik vara en viktig källa för 20 till 100 µm stor mikroplast i dagvattnet. Även de dominerande polymertyperna i motorvägsavrinningen i denna studie är PP, svart EPDM-gummi och EVA. Alla dessa polymertyper är mycket vanliga i urbana miljöer, ett stort användningsområde är byggmaterial för bilar och vägar (Magnusson et al. 2016):

EPDM-gummi används t ex. på asfaltvägar som skyddslager och EVA är en del av vägmarkeringar (Magnusson et al. 2016). Inga SBR-partiklar upptäcktes i dagvattnet vilket var oväntat eftersom SBR är en vanlig komponent i bildäck (Magnusson et al. 2016).

Tidigare studier som undersöker dagvatten och/eller dagvattendammar och som använde FTIR- och/eller Rahman-spektrometri har också visat att PP var den dominerande plasten i vägavrinning (Liu et al., 2019; Ziajahromi et al., 2020; Smyth et al., 2021). Svart EPDM-gummi och EVA har dock hittats mera sällan i dessa studier. En anledning kan vara att analysmetoderna som använts i dessa studier inte kunde detektera svarta partiklar. Dessutom har dessa studier inte analyserat motorvägsavrinning utan ett dagvatten från blandade urbana områden.

Smyth et al. (2021) rapporterar i en studie om rening av mikroplast i biofilter att regnintensitet och mikroplastkoncentrationer (partiklar >100 µm) var korrelerade vid inloppet. Detta stämmer överens med resultaten i denna studie där det fanns mest mikroplast under regnhändelse 9 som hade den högsta regnintensiteten.

Tabell 3: Mikroplasthalter i vägavrinningen

Regn	Prov-volym (ml)	Analyser med FTIR											Analyser med ATR-FTIR				Summa	
		PP	PE	PS	EVA	PUR	Poly-ester	Nylon	Poly-amid	EPDM	Vistalon EPDM	PVC	Fluorin-rika partiklar	EPDM	SBR	styren/ allyl alkohol co-polymer		
1	300	67	<13	<13	<13	13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<42	<42	<42	80
2	200	141	20	<20	121	<20	<20	<20	<20	<20	<20	20	<20	316				618
3	200	505	20	<20	20	<20	<20	<20	<20	20	<20	<20	<20	<5	<5	<5		565
4	400	20	<3	3	<3	<3	<3	3	<3	<3	3	<3	3	<10	<10	10		42
5	400	210	10	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<20	<20	<20		230
6	400	61	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	<10	<10		81
7	400	34	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	20	<10	<10		54
8	350	600	12	<12	46	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	3				661
9	30	2175	<167	<167	503	335	<167	<167	<167	335	<167	<167	<167	5230				8580
Median																		230

PP Polypropylen, PE Polyeten, PS Polystyren, EVA: Etylenvinylacetat, , PUR: Polyuretan, EPDM: Etylen propylen diengummi, PVC: Polyvinylklorid, SBR: Styren butadiengummi

4. Mikroplast i snö och smältvatten

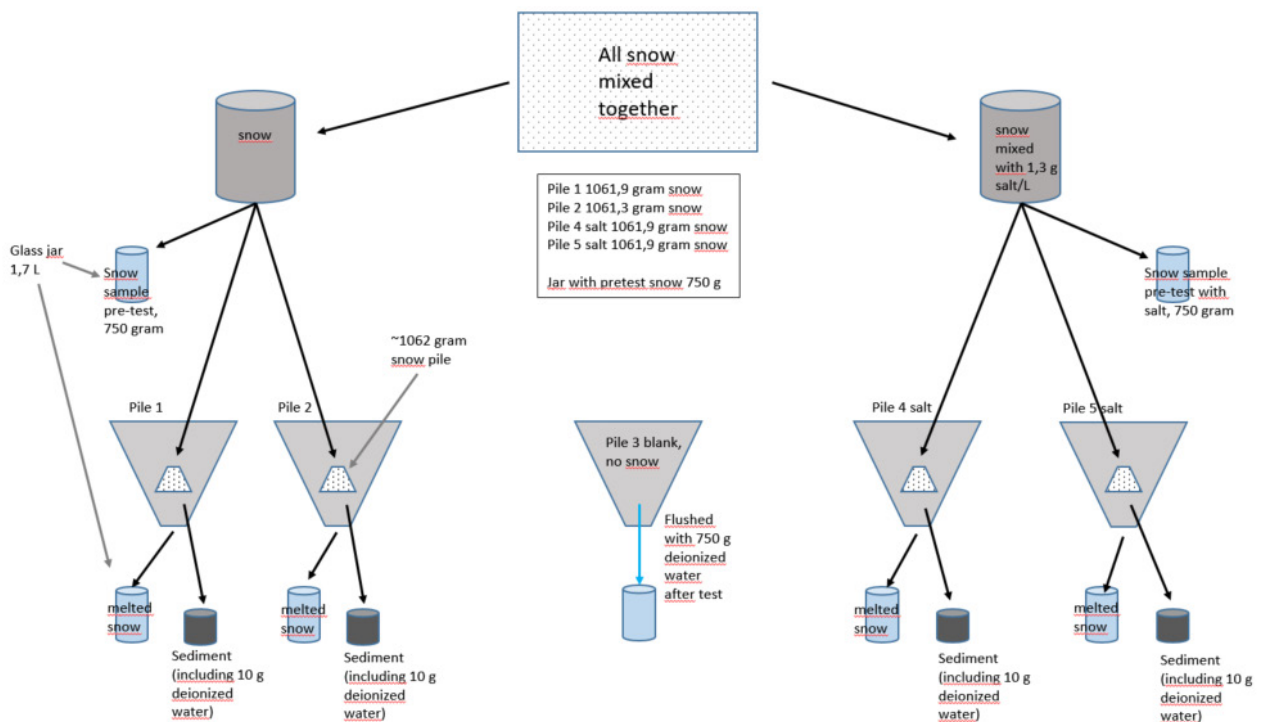
Genom provtagning undersöktes förekomsten av mikroplast från en medeltrafikerad trafikled och med laboratorieförsök studerades hur mikroplastpartiklarna fördelades mellan smältvattnet och i återstoden på marken för att bedöma huruvida landtippar för snö kontra dumpning av snö i vattenförekomster kan ha betydelse för spridning av mikroplast från trafikrelaterade källor.

4.1 Platsbeskrivning och provtagning

Snö provtogs från en plogvall längs Svartöleden i Luleå i slutet av mars, precis innan snösmältningsperioden startade för säsongen. Svartöleden är en fyrfilig trafikled (två filer i vardera riktning) genom Luleå och har en trafikbelastning på uppskattningsvis 21600 fordon per dygn i båda riktningarna (trafikmätning genomförd 2007). Halkbekämpning genomförs huvudsakligen med sand/grus och kan även innehålla små mängder salt som klumpförebyggande medel. Snö samlades in med aluminiumspade ca 1-2 meter från körfältet och överfördes till rostfria hinkar som täcktes med aluminiumfolie och förvarades fryst i väntan på genomförande av försök, provpreparering och efterföljande analys.

4.2 Försökupställning och genomförande

Snön i hinkarna blandades och homogeniserades med spade i en rostfri låda. Därefter delades snön i två högar och till den ena tillsattes salt (1,3 g NaCl per kg snö) som motsvarar en konduktivitet på 200 mS/cm. Saltet bidrar till snabbare avsmältning och avrinning vilket påverkar flödes hastighet samt kan även påverka aggregering av partiklar. Ett uttag av prov (750 g) gjordes från högen med salt samt högen utan salt för analys av mikroplast i obehandlad snö (se Figur 1). Vidare delades därefter de två snöhögarna i vardera två för att genomföra snösmältningsförsök (ca 1 kg per snöhög). Varje snöhög formades med en rostfri skål (2 liter) för att erhålla enhetliga snöhögar med en densitet på 0,5 kg snö per dm³.



Figur 1. Schematisk beskrivning av genomfört experiment och erhållna prover (Illustration av Peter Rosander).

Snösmältningsförsöken utfördes i rumstemperatur (18-19°C) på smältplåtar av rostfritt stål (Figur 2) med en lutning på 5%. Smältvattnet avleddes till rengjorda glasburkar. Bland de fyra plåtarna med snöhögar placerades en tom plåt för att mäta eventuell kontamination av mikroplaster från omgivningen. Inom ett dygn hade all snö smält. Återstoden av sediment som låg kvar på smältplåtarna sköljdes av med 10 ml avjonat och filtrerat vatten och analyserades som sediment. Blankplåten sköljdes med 750 ml vatten och analyserades som vatten. Resterande prover analyserades som förorenade vatten. Summering av antalet prover framgår av Figur 1.



Figur 2. Försökupställning för bedömning av föroreningstransport vid snösmältning (foto av Peter Rosander)

4.3 Analys

Proverna skickades till ALS Scandinavia för analys av mikroplastpartiklar större än 40 µm. Vid behov behandlades proverna med fentons reagens, väteperoxid och densitetsseparering för att extrahera mikroplastpartiklarna från provmatrisen. Proverna applicerades avslutningsvis på ett metallfilter som analyserades med mikro Fourier-transformerad infraröd spektroskopi (µFTIR; för icke-svarta partiklar) samt FTIR-ATR (för svarta partiklar). Ur resultaten erhålls antal partiklar per vikt eller volym prov.

4.4 Resultat och diskussion

I Tabell 4 redovisas uppmätta koncentrationer i snö-, smältvatten- och sedimentproverna. Frekvent förekom höga koncentrationer av svarta gummipartiklar (EPDM och SBR) i alla prover (80-2500 partiklar per liter smält snö). Dessa partiklar kan härledas till asfalt (främst EPDM) och däck (främst SBR) (se kapitel 3). Vintertid, när dubbdäck används i hög utsträckning, är det en risk att vägbanan slits hårdare. Även snöröjning och isrivning, som är en del av vintervägunderhållet, kan öka slitaget på vägbanan och öka mikroplastinnehållet i snö.

Bortsett från låga koncentrationer kolrika plaster (PP, PE och PS) i snö- och smältvattenproverna så detekterades endast svarta partiklar i proverna. De uppmätta koncentrationerna av kolrika plaster var i nivå med vad som uppmättes i blankprovet (10 partiklar/liter). Detta tyder på att en stor del av dessa plaster uppmätta i snöproverna kan härstamma från kontamination snarare än att de fanns i snön. För att överkomma detta i framtida studier kan större provmängder analyseras. När en större provmängd appliceras på ett filter ökar möjligheten att mängden partiklar i snöprovet överstiger mängden partiklar i blankprovet. Vidare, att hantera provet i mindre utsträckning än vad som gjordes i dessa försök kan ytterligare bidra till att minska mängden partiklar i blankprovet.

Tabell 4 Förekomst av mikroplast >40 µm i snö-, smältvatten- och sedimentproverna.

	Mängd analyserat prov	Enhet	µFTIR				ATR-FTIR			
			kolrika partiklar t.ex. PP, PE, PS	organiska partiklar, t.ex. PMMA, PUR, PET	organiska partiklar med kisel, t.ex. plast, gummi	organiska partiklar med klor, t.ex. PVC	organiska partiklar med fluor, t.ex. PTFE	organiska partiklar med EPDM och SBR		
Sö	Prov utan tillsatt salt	Partiklar/liter	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	340
	Prov med tillsatt salt	Partiklar/liter	20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	120
Avrinning/smältvatten	Utan tillsatt salt Prov 1	Partiklar/liter	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	2500
	Utan tillsatt salt Prov 2	Partiklar/liter	8	8	<8	<8	<8	<8	<8	112
	Med tillsatt salt Prov 1	Partiklar/liter	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	80
	Med tillsatt salt Prov 2	Partiklar/liter	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	136
Sediment/ återstod	Utan tillsatt salt Prov 1	Partiklar/liter*	<84	<84	<84	<84	<84	<84	<84	844
	Utan tillsatt salt Prov 2	Partiklar/liter*	<47	<47	<47	<47	<47	<47	<47	370
	Med tillsatt salt Prov 1	Partiklar/liter*	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	1560
	Med tillsatt salt Prov 2	Partiklar/liter*	<53	<53	<53	<53	<53	<53	<53	426
Blankprov	400 ml	Partiklar/liter*	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	

* koncentration egentligen rapporterad i partiklar per g, omräknad till partiklar per liter smältvatten och är därför direkt jämförbar med koncentrationerna i smältvattenproverna.

Varje försök utfördes i duplikat. Det framgår dock av resultaten att variationen mellan duplikaten var mycket stor. Exempelvis uppmättes 2500 gummipartiklar per liter i avrinningsprov 1 (utan tillsatt salt) och 112 gummipartiklar per liter i avrinningsprov 2 (utan tillsatt salt). Därtill uppmättes lägre halter i ursprungsprovet snö än i avrinningsproverna. Det är uppenbart att det inte kan ha tillkommit gummipartiklar i dessa mängder genom kontamination av avrinningsproverna eftersom det i blankproverna inte detekterades en enda gummipartikel och det är svårt att se varifrån denna typ av partiklar i så fall skulle härstamma. Orsaken tros istället vara att snöproverna inte var tillräckligt homogenerade inför försöken och/eller att uttag av delprov för analys inte gjordes representativt för provet.

Tabell 5. Medelvärden av totalt antal partiklar per provtyp.

Provtyp (n=antal prover)	Totalt antal svarta partiklar \pm SD
Snö före avsmältning (n=2)	244 \pm 117
Avrinning/smältvatten (n=4)	733 \pm 1075
Sediment/återstod (n=4)	799 \pm 474

I tabell 5 presenteras massbalansen av antal svarta partiklar i de olika provtyperna. På grund av de stora variationerna mellan duplikat och eftersom ingen signifikant skillnad kunde ses i mikroplasthalter mellan avrinning med och utan salt så har ett medelvärde för respektive provtyp (snö, avrinning och sediment) beräknats.

Trots att massbalansen inte går ihop (det är ju fler partiklar efter avsmältning (avrinning + sediment) än i snöprovet före avsmältning), kan vi dra slutsatsen att gummipartiklar fördelar sig mellan både avrinning och sedimentet efter avsmältning och i dessa försök uppmättes ungefär lika mycket i båda (medelvärden 733 partiklar jämfört med 799 partiklar i avrinning respektive sediment). Det går inte att dra alltför långtgående slutsatser kring hur fördelningen av mikroplast mellan smältvatten och sediment skulle se ut i fullskaliga plogvallar, snöhögar och snödeponier med snöolymer på tiotals till hundratusentals kubikmeter. Det är dock troligt att en betydande andel av mikroplasten i urban snö kan förhindras att nå en recipient genom att hålla snöhanteringen på land och undvika dumpning i vattenförekomster. En ytterligare fördel med snöhantering på land är möjligheten att sopa upp och omhänderta sediment innehållande mikroplast efter att plogvallarna och snöhögarna har smält ner.

5. Rening av mikroplast: Sedimentation och biofilter

5.1 Platsbeskrivning och provtagning

Anläggningen renar vattnet från E4 bron i Sundsvall och består av två steg:

- Sedimentationskammare/oljeavskiljare med bräddfunktion
- Två parallella biofilter/växtbäddar med olika utformningar

Reningsanläggningen består alltså av en försedimenteringsanläggning (förkortning **GPT**, *gross pollutant trap*) och tre nedströms liggande filtersektioner. Två av dessa är växtbevuxna biofilter och en sektion är ett sandfilter utan växtlighet. I denna studie har ett av de växtbevuxna biofiltren (förkortning **F1**) och sandfiltret (förkortning **F2**) utvärderats för att kunna utvärdera vegetationens betydelse på rening. Tillsammans har dessa två sektioner en total yta på 470 m². Anläggningen och provtagningspunkterna visas i Figur 3.



Figur 3. Reningsanläggning vid Sundsvallsbron

Prover har tagits under samma nio regn som för vägavrinningen (Tabell 1). Utflöde och volym från filtersektionerna visas i Tabell 6. Proverna har tagits på samma sätt som för vägavrinningen: ISCO 6712 provtagare har använts för flödesproportionell provtagning. Provtagarna har styrts av elektromagnetiska flödesmätare i utloppsledningen från respektive filter.

För tre regn (regn 1, 2, 9) har ett prov var tagits från ytvattnet i försedimenteringskammaren nära bräddpunkten för att undersöka om bräddvattnet kan innehålla höga halter av mikroplast.

Provberedning och analyser har utförts på samma sätt som för vägavrinningen (se avsnitt 3.2).

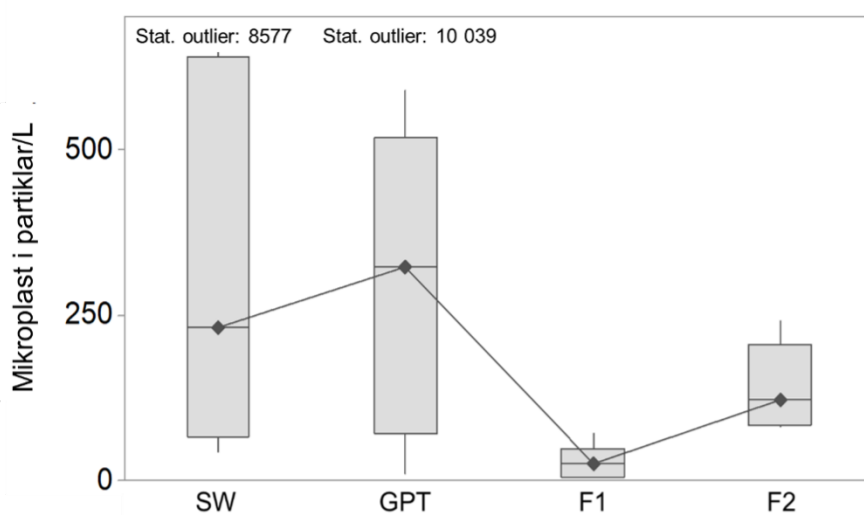
Tabell 6: Dagvattenflöde och volym under de 9 provtagna regnen

Regn Nummer	Datum	F1: biofilter med växter		F2: Sandfilter	
		Max flöde [l/s]	Volym [m ³]	Max flöde [l/s]	Volym [m ³]
1	2019-10-09	7.2	200	10	350
2	2019-11-11	0.9	36	3.5	140
3	2019-11-16	1.6	77	5.2	230
4	2019-11-21	0.3	26	1	54
5	2019-12-13	3.7	290	9.6	790
6	2020-05-01	6.1	350	10	590
7	2020-05-08	1.3	56	3.7	140
8	2020-06-06	3.2	81	4.5	92
9*	2020-06-17	7.9	140	6.7	140

5.2 Resultat

20-100 µm stora mikroplastpartiklar avlägsnades effektivt genom hela reningsanläggningen (Tabell 7, Figur 4). Partiklar reducerades från 230 partiklar/L (mediankoncentration dagvatten) till 26,5 partiklar/L (mediankoncentration i utflöde från biofilter F1). Denna skillnad var statistiskt signifikant (Wilcoxon-test för icke-normalfördelat data: p värde = 0,014 < 0,05, dvs signifikant) Medianvärdet för reningsgraden var 93%.

Jämfört med det växtbevuxna biofiltret (F1) var reningen i det icke-växtbevuxna sandfiltret mindre effektivt (Tabell 7, Figur 4). Även om mediankoncentrationerna reducerades från dagvatteninflödet (230 partiklar/L) till 121 partiklar/L i utflödet av sandfiltret var skillnaden inte statistiskt signifikant enligt Wilcoxon-testet (p-värde 0,193 > 0,05). Dessutom varierade reningen av plast i sandfiltret mer än i biofiltret (Figur 4) och urlakning av 20-100 µm stora mikroplastpartiklar observerades under vissa regnhändelser (Tabell 7).



Figur 4: Boxplot av mikropoplastkoncentration i fraktion 20-100µm. Partiklar per liter i utflöde från reningsstegen (försedimentering GPT, Biofilter F1 och Sandfilter F2) i jämförelse med dagvattnet (SW)

Tabell 7: Mikropplasthalter i utflöde från reningsanläggningen och i bräddningen

Regn	Prov- volym (ml)	Analyser med FTIR										Analyser med ATR-FTIR					
		PP	PE	PS	EVA	PUR	Poly- ester	Nylon	Poly- amid	EPDM	Vistalon EPDM	PVC	Fluorin- rika partiklar	EPDM	SBR	styren/allyl alkohol co-polymer	Summa
GPT	1	500	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	16	16	<16	96
För- sedimen- tering	2	200	465	<20	20	<20	<20	<20	<20	40	<20	<20	<20	63	63	<7	588
	3	150	242	<27	27	<27	<27	<27	<27	54	<27	<27	<27	<7	<7	<7	323
	4	400	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	5	250	178	<16	<16	<16	<16	<16	16	<16	<16	<16	253	<10	<10	<10	447
	6	400	130	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<8	<8	<8	<2	<2	<2	<2	130
	7	500	40	8	<8	<8	<8	<8	<8	<20	<20	<20	<2	<2	<2	<2	48
	8	200	303	20	40	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<2	<2	<2	<2	363
	9	30	4518	837	2175	167	<167	<167	502	<167	<167	<167	1670	<20	<20	<20	10000
	<i>Median</i>	250	178														323
F1	1	500	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	8
Bio- filter	2	400	20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	10	<10	30
	3	400	40	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	50
	4	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	5	400	20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40
	6	400	12	3	<3	<3	<3	<3	<3	5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	23
	7	350	3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	3
	8	400	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	9	400	50	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<20	<20	<20	<20	70
	<i>Median</i>	400	16														26.5
F2	1	270	195	15	<15	<15	<15	<15	15	<15	<15	<15	<4	<4	<4	<4	240
Sand- filter	2	250	81	32	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	16	16	16	16	129
	3	500	48	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	24	8	8	8	88
	4	350	69	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	11	<11	<11	<11	80
	5	200	81	<20	<20	<20	<20	<20	<20	20	<20	<20	<5	<5	<5	<5	101
	6	300	80	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	107	<27	<27	<27	187
	7	250	16	48	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<32	<32	<32	<32	80
	8	200	121	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<5	<5	<5	<5	121
	9	250	97	<16	<16	<16	<16	<16	16	<16	<16	<16	<4	<4	<4	<4	226
	<i>Median</i>	250	81														121
OP	1	250	210	32	16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	<16	101	<5	<5	<5	375
Brädd- ning	2	200	61	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<5	<5	<5	<5	61
	9	100	606	<40	162	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	126	<40	<40	<40	894
	<i>Median</i>	200	210		16												375

PP Polypropylen, PE Polyeten, PS Polystyren, EVA: Etylenvinylacetat, PUR: Polyuretan, EPDM: Etylen propylen diengummi, PVC: Polyvinylklorid, SBR: Styren butadiengummi

5.2.1 Försedimentering

Sammantaget var försedimenteringskammaren (GPT) inte effektiv för behandling av mikroplast. Mediankoncentrationen i dagvattnet var 230 partiklar/L och i utgående vattnet från försedimenteringen 323 partiklar/L (Tabell 3, Tabell 7). På grund av höga variationer (Figur 4) var skillnaden inte statistiskt signifikant (Wilcoxon-test, $p=1,00$). Av de 12 polymertyperna som hittades i dagvattnet fanns endast sju i GPT-utflödet. Dessutom hittades en polymertyp i provet från regn 1 som tidigare inte observerats i dagvattnet (SBR, Tabell 7). Liksom i dagvattnet var PP den dominerande polymertypen i GPT proverna. Vid de flesta regnhändelser var >65% av de upptäckta partiklarna PP. Svart EPDM-gummi hittades vid fyra regn. Specifikt mycket svarta EPDM-gummipartiklar fanns vid regn 5 (57% av alla upptäckta partiklar). Under de andra 3 regnhändelserna var 11-17% av partiklarna av svart EPDM-gummi. I GPT-utflödet observerades icke-svarta EPDM-partiklar oftare än i dagvattnet, nämligen vid 4 istället för 2 regnhändelser: Andelen av de totala partiklarna var 4-17%. Även EVA-partiklar fanns, likadant som i dagvattnet, vid fyra regn med en andel på 3 till 22%. Under regn 7, 8 och 9 var mellan 6% och 17% av partiklarna i GPT-utflödet PE-partiklar. Endast under regnhändelse 9 hittades även PS och polyuretan. Likadant som för vägavrinningen, hittades de högsta mikroplast-partikelkoncentrationerna vid regn 9.

Att (20 till 100 μm stora) mikroplastpartiklar inte avskiljs effektivt genom sedimenteringsprocesser indikeras redan i tidigare studier. T ex. Ziajahromi et al., 2020 utvärderade mikroplast i en dagvattendamm/våtmark under torrväder. De hittade en högre andel fina plastpartiklar i fraktion 25-100 μm) nära utloppet och drar slutsatsen att sedimentation inte kan ge tillräcklig rening av (mindre) stora mikroplastpartiklar. Även Liu et al., 2019 undersökte mikroplast i vattenfasen i 7 sedimentationsdammar under torrväder. De fann 490 och 22894 partiklar/ m^3 (median: 1409 partiklar/ m^3) ner till 20 μm vilket indikerar att dessa partiklar inte sedimenterar effektivt. Anledningen är troligtvis att mikroplast (ofta) har en lägre densitet än annat dagvatten-sediment. Eftersom densiteten är i samma skala som vattnets densitet är sedimentationsprocesser mindre effektiva. Lange m fl., 2021, har visat liknande resultat för mikroplastpartiklar >100 μm .

Försedimenteringen för den undersökta anläggningen renade dock inte heller TSS (Fahlbeck Carlsson, 2021) som har en högre densitet än mikroplast och därmed i regel sedimenterar mera effektivt. Dvs. försedimenteringen utformning/dimensionering är generellt undermålig.

5.2.2 Biofilter och sandfilter

Den överlag goda reningen i Sundsvallsanläggningen beror främst på effektiviteten av filtren nedströms försedimenteringen. I utflödet från biofilterssystemet fanns signifikant färre partiklar än i inflödet (median 26,5 partiklar/L i utflödet, Tabell 7, Figur 4). Medans 12 olika polymertyper hittades i dagvattnet, fanns endast 7 av dessa i utflödet från det växtbevuxna filtret. Även i utflödet är de flesta kvarvarande mikroplastpartiklar PP som hittades för 8 av de 9 regnhändelserna. Andelen PP var oftast över 65%, endast för regn 5 och 6 ca. 50%. Partikelantalet av PP i utflödet från biofiltret (<3-50 partiklar/L) låg ungefär på samma nivå som i blankproverna (2-40 partiklar/L) vilket indikerar att (en del av) PP i utflödet kan härstamma från kontaminering av proverna under provtagnings- och/eller analysprocesserna.

Plasthalterna i utflödet från regn 9 (70 partiklar/L i F1 och 220 partiklar/L i F2) var på samma nivå som för de andra regnen (3-50 partiklar/L i F1 och 80-240 partiklar/L i F2). Eftersom detta regn visade mycket högre plastkoncentrationerna i inflödet (8577 och 10 000 partiklar/L i dagvattnet och GPT-utflödet) tyder detta på att biofilter även kan rena dagvatten med relativt höga plasthalter.

Generellt var plasthalterna i utflödet från det växtbevuxna biofiltret (F1: median 26,5 partiklar/L) lägre än för sandfiltret (F2: median 121 partiklar/L) (Tabell 7). Denna skillnad var statistiskt signifikant (Mann-Whitney testet mellan filter F1 och F2: p -värde < 0,001). Detta understryks även av att skillnaden i partikelkoncentration mellan GPT-utflöde och F2-utflöde inte var statistiskt signifikant (P -värde = 0,155 > 0,05).

I utflödet från sandfiltret (F2) hittades 7 olika polymertyper, varav PP var den vanligaste. PP hittades i proverna från alla regn med partikelkoncentrationer från 16 till 195 partiklar/L (median 81 partiklar/L). Dessa PP-koncentrationer överskrider motsvarande blankvärden (2-40 partiklar/L) vilket tyder på att sandfiltret (i motsats till biofiltret F1) släpper igenom fler PP partiklar. Svarta EPDM-gummi- och PE-partiklar hittades i prover från 4 av 9 regnhändelser och icke-svarta EPDM-partiklar för 3 av 9 regnhändelser. Vidare hittades EVA, polyester och SBR i en del av proverna från sandfiltret (Tabell 7).

Så vitt vi vet finns hittills inga studier om rening av 20 till 100 µm stora mikroplastpartiklar i dagvattenbiofilter. De tre hittills publicerade fältstudierna om mikroplastrening i biofilter (Gilbreath et al., 2019; Smyth et al., 2021; Lange et al., 2021) undersökte partiklar >100 µm. Dessutom genomförde Kuoppamäki et al. (2021) en laboratoriestudie där de undersökte bland annat effekterna av val av filtermaterial på behandlingen av PE-partiklar mindre än 10 µm. Liksom denna studie fann alla tidigare studier att biofilter kan rena mikroplast relativt effektivt. Smyth et al. (2021 och Lange et al. (2021) undersökte 12 och 9 regn. Gilbreath et al. (2019) undersökte (endast) tre regn och rapporterar en reningseffektivitet på 100%, 81% och 55% för partiklar i storleksfraktionerna >500 µm, 355- 500 µm respektive 125-355 µm. Smyth et al. (2021) rapporterar att mediankoncentrationen av mikroplast >106 µm minskade från 186 partiklar/L i inflödet till 31 partiklar/L i utflödet. Lange et al. (2021) fann att mikroplastpartiklar i storleksintervallet 100 till 300 µm renades effektivt: de rapporterar en minskning från 12 partiklar/L i inflödet till 1,4 partiklar/L i utflödet.

Den underliggande processen för mikroplastrening av partiklar >100 µm är sannolikt filtreringsprocesser (Smyth et al., 2021). Sannolikt är det samma/liknande processer som är ansvariga för reningen av de mindre partiklar (20 till 100 µm) som undersökts i denna studie. Generellt kan biofilter rena partikulära föroreningar (t ex. suspenderat sediment, TSS) som kan vara så små som 1,6 µm (se t ex. Blecken 2016). Detta bekräffas också av laboratoriestudien av (Kuoppamäki et al., 2021) som inte hittade någon av de applicerade mikroplastpartiklarna i utflödet från deras biofilterkolonner.

Intressant nog visade sandfiltret ingen statistiskt signifikant rening av de undersökta mikroplastpartiklar. Detta är i motsats till Lange et al. (2021) som rapporterar en effektiv rening av 100 till 300 µm stora gummi och bitumenpartiklar både i det växtbevuxna biofiltret och i det icke-växtbevuxna sandfiltret (samma anläggning och samma provtagna regn som i denna studie).

Resultaten av denna studie är också i motsats till hypotesen från Kuoppamäki et al. (2021), som har visat att PE-mikroplastpartiklar <10 µm tränger djupare in i filtret längs rötterna i växtbevuxna filter jämfört med sandfilter utan vegetation.

Inflödeskoncentrationen verkar inte ha en effekt på reningseffektiviteten varken i biofiltret eller i sandfiltret. Trots att partikelkoncentrationen i dagvattnet var mycket hög vid regn 9 var koncentrationerna i det reade vattnet i samma storleksordning som för de andra regnen. Dock har endast ett regn med en så pass hög regnintensitet kunnat provtas i denna studie. Fler studier behövs för att kunna generalisera resultaten.

5.2.3 Massbalans

Eftersom många plaster var under detektionsgränsen har ingen massbalans kunna göras för de den totala mikroplastbelastningen. För att ändå kunna få en uppfattning över antalet partiklar i dagvatten och utflödet från reningsstegen har partikelkoncentrationer av PP (som detekterades i de flesta proverna, Tabell 3, Tabell 7) multiplicerats med volymen dagvatten respektive utflödet för de 9 undersökta regnen (Tabell 1, Tabell 6). För dessa regn uppskattas antalet mikroplastpartiklar i dagvattnet (SW) till 1,7 miljarder partiklar och i utflödet från försedimenteringen till 2,6 miljarder partiklar (Tabell 8). Naturligtvis kan inte försedimenteringen "producera" 1 miljard partiklar utan skillnaden beror på de relativt stora variationerna och mätosäkerheterna.

Utflödet från filtren innehöll 23 (F1) och 233 (F2) miljoner partiklar (Tabell 8). Detta antal går inte direkt att jämföra med antalet i dagvattnet eftersom endast 2 av 3 filtersektioner har utvärderats. Ändå visar resultaten tydligt att anläggningen fångar ett mycket stort antal plastpartiklar.

De 9 regnen omfattade endast 119,6 mm nederbörd (av ca. 540 mm per år) och sträckan på E4 bron är endast ca 2 km (av totalt 1590 km mellan Helsingborg och Haparanda). Detta understryker vilka stora mängder mikroplast som sköljs från vägarna om vattnet inte renas.

Tabell 8: Totalt antal PP-plastpartiklar i dagvattnet och utflödet från reningsstegen under de nio utvärderade regnen

Prov	Antal PP-partiklar
SW	1687 x 106
GPT	2583 x 106
F1	23 x 106
F2	233 x 106

5.2.4 Påverkan av bräddning

I de tre proverna som togs från ytvattnet i försedimenteringen (dvs. vattnet som vid bräddning leds förbi reningsanläggningen) var koncentrationerna på 20-100 µm stora mikroplastpartiklar 61, 375 och 894 partiklar/L. Detta indikerar att höga mikroplasmängder kan bräddas förbi anläggningen när det dimensionerande flödet överskrids. Detta sker regelbundet (ofta flera gånger per år) för dagvattenreningsanläggningar (Larm & Blecken, 2019).

I ytvattnet i försedimenteringen hittades 5 olika polymertyper (Tabell 7). Som vid de andra provtagningspunkterna var även den här den dominerande typen av polymer PP med koncentrationer av 61, 210 och 606 partiklar/L. Svarta EPDM-partiklar (101 och 126 partiklar/L) och EVA-partiklar (16 och 126 partiklar/L) hittades i 2 prover och PE (32 partiklar/L) och PS (16 partiklar/L) i ett prov.

Anledningen till att det fanns relativt höga halter mikroplast i vattnet och därmed en risk att dessa sprids till recipienten vid bräddning är sannolikt den låga densiteten av mikroplast (som diskuteras i avsnitt 5.2.1). Detta stämmer överens med resultaten från Liu et al., 2019 och Ziajehromi et al., 2020

6. Slutsatser

I det undersökta trafikdagvattnet från E4-bron i Sundsvall hittades höga mikroplastkoncentrationer (20-100 μm). Koncentrationerna varierade mycket i dagvattnet mellan de ni undersökta regnhändelserna. Medianpartikelkoncentration var 230 partiklar/L, den minsta partikelkoncentrationen var 42 partiklar/L och den maximala koncentrationen 8577 partiklar/L. De flesta partiklar var PP.

Mikroplastkoncentrationen ($>40 \mu\text{m}$) i urban snö längs en trafikerad väg och smältvatten därav uppvisade koncentrationsnivåer i samma storleksordning som från den trafikerade vägen (80-2500 partiklar/L). Dominerande plasttyper var svarta partiklar av SBR och EPDM. Låga halter PP detekterades också, men var i samma nivå som blankprovet.

Dessa resultat visar att trafikdagvatten från regn och snö kan vara en signifikant källa till mikroplast.

Reningsanläggningen vid E4-bron minskade mikroplastkoncentrationerna. Den bästa reningen observerades för det växtbevuxna biofiltret. Även sandfiltret avlägsnade en större mängd mikroplast, dock var dess effektivitet sämre än för biofiltret. Försedimenteringen bidrog inte till reningen.

Avsmältningsförsöken i laboratorieskala med snö visade att det är troligt att en andel av mikroplasten kan förhindras att nå en recipient genom att hålla snöhanteringen på land och undvika dumpning i vattenföremål. Försöken behöver skalas upp och provtagnings/analysmetod förfinas till kommande studier för att förbättra säkerheten i resultaten.

7. Referenser

- Blecken, G. 2016. Kunskapssammanställning dagvattenrening. SVU-rapport 2016-05. Svenskt Vatten Utveckling, Stockholm.
- Fahlbeck Carlsson, S. 2021. Evaluation of a gross pollutant trap-biofilter stormwater treatment train - The role of calcium carbonate, vegetation and pre-treatment facility. Examensarbete. Luleå tekniska universitet.
- Gilbreath, A., McKee, L., Shimabuku, I., Lin, D., Werbowski, L.M., Zhu, X., Grbic, J., Rochman C. 2019. Multiyear water quality performance and mass accumulation of PCBs, mercury, methylmercury, copper, and microplastics in a bioretention rain garden. *J. Sustain. Water Built Environ.* 5, 04019004–1–10,
- Järilskog, I., Strömvall, A., Magnusson, K., Gustafsson, M., Polukarova, M., Galfi, H., Aronsson, M., Andersson-Sköld, Y. 2020. Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban streets and in sweepsand and washwater. *Science of The Total Environment* 729, 138950.
- Kuoppamäki, K., Pflugmacher Lima, S., 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*, 50(2), 465-475.
- Lange, K., Magnusson, K., Viklander, M., Blecken, G. 2021. Removal of rubber, bitumen and other microplastic particles from stormwater by a gross pollutant trap - bioretention treatment train. *Water Research*. I tryck.
- Larm, T., Blecken, G. 2019. Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämnning av dagvatten. SVU-rapport 2019-20. Svenskt Vatten Utveckling, Stockholm
- Liu, F., Olesen, K. B., Borregaard, A. R., Vollertsen, J. 2019. Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of The Total Environment* 671, 992-1000.
- Järilskog, I., Strömvall, A., Magnusson, K., Galfi, H., Björklund, K., Polukarova, M., Garçãõ, R., Markiewicz, A., Aronsson, M., Gustafsson, M., Norin, M., Blom, L., Andersson-Sköld, Y. 2021. Traffic-related microplastic particles, metals, and organic pollutants in an urban area under reconstruction. *Science of The Total Environment* 774, 145503.
- Magnusson K., Eliasson K., Fråne A., Haikonen K., Hultén J., Olshammar M., Stadmark J., Voisin A., 2016. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment: A review of existing data. Report C 183, IVL, Stockholm
- Smyth, K., Drake, J., Li, Y., Rochman, C., Van Seters, T., Passeur, E. 2021. Bioretention cells remove microplastics from urban stormwater. *Water research* 191, 116785.
- Ziajahromi, S., Drapper, D., Hornbuckle, A., Rintoul, L., Leusch, F. D. L. 2020. Microplastic pollution in a stormwater floating treatment wetland: Detection of tyre particles in sediment. *Science of The Total Environment* 713, 136356.

