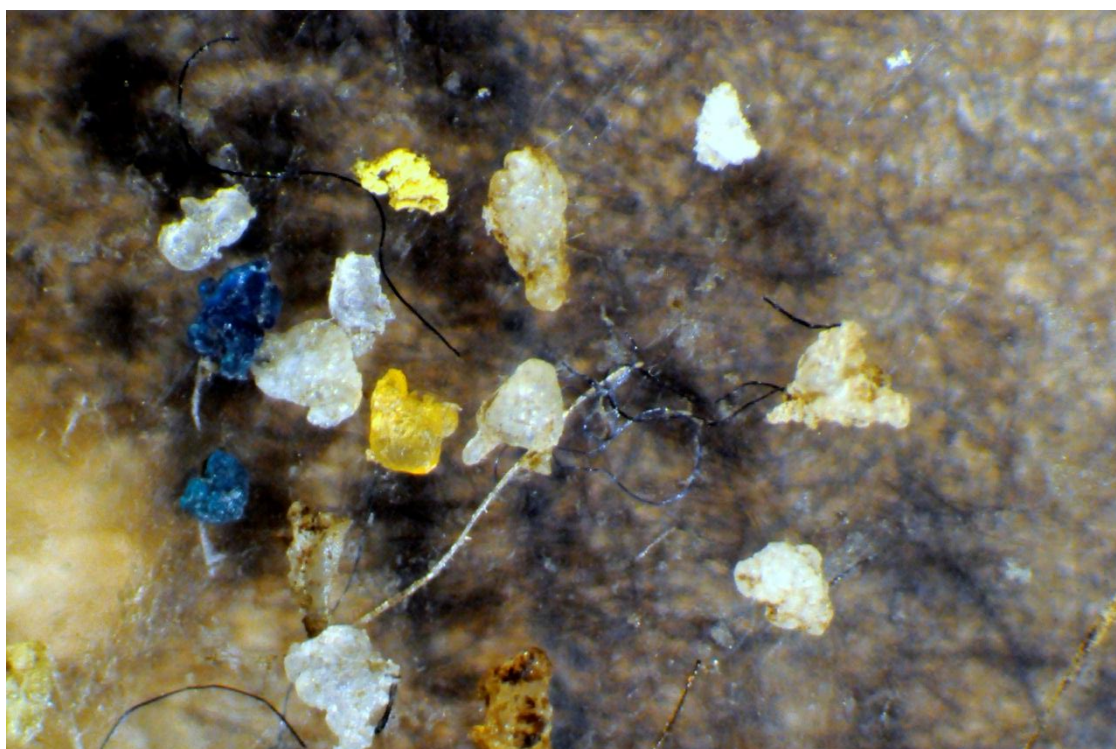


Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk



Kerstin Magnusson, Cajsa Wahlberg

Författare: Kerstin Magnusson IVL Svenska Miljöinstitutet AB & Cajsa Wahlberg Stockholm
Vatten AB

Medel från: Svenskt Vatten Utveckling (SVU), Gryaab AB och Stiftelsen IVL

Fotograf: Kerstin Magnusson

Rapportnummer: B 2208

Upplaga: Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2014

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90

www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Summary	5
1 Inledning.....	6
1.1 Syfte med studien.....	6
1.2 Bakgrund.....	6
2 Kort beskrivning av reningsverk som ingått i studien	8
3 Metoder.....	9
3.1 Provtagning av mikroskräp i inkommande och utgående vatten	9
3.1.1 Val av storlek på analyserade partiklar.....	9
3.1.2 Provtagningsmetodik.....	9
3.2 Analys av prover	12
4 Resultat	13
4.1 Halten mikroskräp i inkommande jämfört med utgående vatten	13
4.2 Mikroskräp till och från avloppsreningsverken, flödesanpassad data	15
4.3 Fördelning mellan olika grupper av mikroplastskräp	19
4.4 Sandfilters betydelse för reduktion av mikroskräp i utgående vatten	21
4.5 Mikroskräp i utgående vatten från MBR-filteranläggning	23
4.6 FTIR-analys av mikroskräp i in- och utgående vatten.....	24
5 Diskussion.....	26
6 Konklusion av resultaten	28
7 Referenser	29
Appendix.....	30
Data från Långeviksverket, Lysekil.....	30

Författarnas förord

Denna rapport har sin upprinnelse i en oro för att mikroskopiska skräppartiklar som finns i haven ska ha en störande effekt på de marina ekosystemen. Mikroskräppartiklar kan ha olika ursprung; de kan vara fragment av större skräpbitar men de kan också utgöras av avsiktligt tillverkade mikropartiklar, t.ex. mikroplastpellets som används som råvara i plastindustrin eller som ingrediens i hygienprodukter.

Mikroskräp kan nå haven genom avsiktlig eller oavsiktlig dumpning till havs, men materialet kan också komma via både punktkällor och diffus avrinning från land. En av flera potentiella tillförselvägar är avloppsreningsverken. Det ursprungliga syftet med denna undersökning var just att studera hur mycket, och vilken typ av mikroskräppartiklar som förs ut med avloppsreningsverkens utgående vatten.

Mikroskräp som återfinns i avloppsreningsverken har sitt ursprung i de hushåll och annan verksamhet som är inkopplade på svenska avloppsledningsnät. För att öka möjligheten att komma åt verkliga källor var vi därför tvungna att även analysera mikroskräpet i det inkommande vattnet. Vi skulle då dels kunna få en inblick i vilken sorts skräp som hamnar i avloppen, dels vilken betydelse avloppsreningsverken har för att avskilja detta skräp, och slutligen även hur mycket som förs ut i recipienten. Sammantaget skulle detta ge ny kunskap som kan användas i såväl marin miljöforskning, som i reningsverken för arbete med nya och bättre reningstekniker. Eftersom det hitintills gjorts mycket få undersökningar av ursprunget till marint mikroskräp har vi i denna rapport inte kunna besvara frågan om hur betydelsefullt tillskottet från avloppsreningsverken är jämfört med andra tillförselvägar. Men förhoppningsvis är detta en länk på väg mot en större förståelse av problemet.

Ett antal personer har varit till ovärderlig hjälp i det praktiska arbetet med provtagningarna, ett särskilt stort tack riktas till Peter Lindström och Bert Helgén på Henriksdals reningsverk, Linnea Lundh på Långeviksverket och Lars Nordén på Ryaverket. Vi vill också tacka Annika Boss på Swerea IVF som gjort FTIR-analyserna.

Vi vill också tacka Svenskt Vatten för att vi fått förtroendet att genomföra denna studie och Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning för att man samfinansierat projektet.

Kerstin Magnusson,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Cajsa Wahlberg
Stockholm Vatten AB

Sammanfattning

Förekomst av mikroskopiska skräppartiklar undersöktes i inkommande och utgående vatten från tre svenska avloppsreningsverk, Henriksdals reningsverk i Stockholm med 750 000 personenheter (pe), Ryaverket i Göteborg, (740 000 pe) och Långeviksverket i Lysekil (12 000 pe). Provtagningar gjordes vid tre tillfällen vid varje avloppsreningsverk och partiklarna fångades upp på filter med två olika maskstorlekar, 300 µm och 20 µm. Prover togs också efter passage genom membranbioreaktor (MBR) i pilotanläggningen Hammarby Sjöstadsverket. Filtren analyseras under stereolupp vilket gav tillräckligt god upplösning för att kunna skilja mellan naturliga och antropogena partiklar. Med ytterligare hjälp av smälttester var det möjligt att i de flesta fall dela upp partiklarna i två huvudgrupper: syntetiska (plast) och icke-syntetiska men ändå antropogena (d.v.s. mänskligt tillverkade) partiklar. Den senare gruppen utgjordes nästan uteslutande av textilfibrer av naturmaterial som t.ex. bomull. Ett antal av de vanligast förekommande partikeltyperna analyserades även med FTIR-spektroskopi, vilket gav information om exakt vilka material de bestod av. Cellulosafibrer, t.ex. från toalettpapper, betraktades i den här studien inte som mikrokräp.

De viktigaste resultaten från studien var följande:

- Antalet uppmätta mikrokräppartiklar uppgick till mellan tiotusen och flera hundra tusen per kubikmeter inkommande vatten. Med de vattenflöden som rådde vid provtagningstillfällena var tillflödet av partiklar i storleksordningen 10^8 mikroplastpartiklar och 10^{10} icke-syntetiska antropogena fibrer per timme till de två stora verken Henriksdal och Ryaverket, och 10^6 mikroplastpartiklar och 10^7 icke-syntetiska antropogena fibrer till det mindre Långeviksverket.
- Merparten av mikrokräppartiklar i inkommande vatten, 70 -100%, avskildes i avloppsreningsverken, men utgående vatten innehöll trots detta substantiella halter.
- Större partiklar, >300 µm kvarhölls i avloppsreningsverken i större utsträckning än de partiklar som var <300 µm. Detta gällde både mikroplast och icke-syntetiska antropogena fibrer.
- Icke-syntetiska antropogena fibrer hölls kvar i avloppsreningsverken i större utsträckning än mikroplastpartiklar.
- Mängden mikrokräppartiklar >300 µm i utgående vatten var kraftigt reducerad efter passage genom Ryaverkets skivfilter med en porstorlek på 15 µm jämfört med de övriga två reningsverken. Däremot såg man ingen skillnad mellan verken för partiklar <300 µm.
- Ingen reduktion av mängden mikrokräp kunde uppmätas efter Henriksdals sandfilter.
- MBR-anläggningen i Hammarby Sjöstadsverket reducerade mängden mikrokräppartiklar >20 µm till en tiondel av vad man detekterade i utgående vatten från de övriga avloppsreningsverken.
- FTIR-analyser av mikrokräpet visade att vanliga förekommande material var bl.a. polypropen, polyeten, polyamid och akrylatplast. Partiklar i form av fibrer bestod av material som polyamid (nylon), polyetylentereftalat (PET), polypropen och bomull.

Summary

The occurrence of microscopic litter particles was studied in influent and effluent water from three Swedish waste water treatment plants (WWTPs), Henriksdal in Stockholm with 750 000 population equivalent (pe), Ryaverket in Gothenburg (740 000 pe) and Långeviksverket in Lysekil (12 000 pe). Sampling was done at three occasions at each WWTP and particles were collected on filters with two mesh sizes, 300 µm and 20 µm. Effluent wastewater from the membrane bioreactor (MBR) at the pilot plant Hammarby Sjöstadverket, was also sampled. The filters were analysed with stereo microscopy which had an acceptable resolution to distinguish between natural and anthropogenic particles. By also using melting tests it was generally also possible to distinguish between synthetic (plastic) and non-synthetic anthropogenic (man-made) particles. The latter group consisted almost entirely of textile fibres made of natural materials such as cotton. A selection of commonly occurring particles were analysed with FTIR spectrometry to get in-depth information on what material they consisted of. Cellulose fibres, e.g. from toilet paper, were not considered as microlitter in this study.

The most important results were as follows:

- The number of microlitter particles in incoming water was in the order of 10^4 to 10^5 per cubicmeter. With the flow rates occurring at the time the inflow of particles was in the order of 10^8 microplastics and 10^{10} non-synthetic anthropogenic fibres per hour to the two larger WWTPs, Henriksdal and Ryaverket, and $1 \cdot 10^6$ microplastics and $10 \cdot 10^6$ non-synthetic anthropogenic fibres to the smaller Långeviksverket.
- The majority of the microlitter particles in the incoming water, 70-100 %, were retained in the WWTPs, but the effluent water still contained substantial amounts.
- Larger particles, >300 µm, were retained in the WWTPs to a larger extent than particles <300 µm. This is valid for both microplastics and non-synthetic anthropogenic fibres.
- Non-synthetic anthropogenic fibres were retained in the WWTPs to a larger extent than microplastics.
- The number of particles >300 µm in effluent water was substantially reduced after passage through the 15 µm disc filter at Ryaverket compared to the two other WWTPs. However, no such difference for particles <300 µm could be observed.
- No reduction of the number of microparticles could be observed after passage of waste water through the sand filter at Henriksdal.
- The MBR at the test plant at Hammarby Sjöstadverket reduced the number of particles >20 µm to around ten percent of what was found in effluent water from the other WWTPs.
- FTIR analyses of the microlitter revealed that commonly occurring materials were e.g. polypropylene, polyethylene, polyamide and acrylic plastic. The litter fibres consisted of materials like polyamide (nylon), polyethylene terephthalate (PET), polypropylene and cotton.

1 Inledning

1.1 Syfte med studien

De övergripande målen med undersökningen har varit följande:

- Undersöka mängden och beskaffenheten av mikroskopiska skräppartiklar i inkommande vatten till avloppsreningsverk.
- Utredda om utgående vatten från avloppsreningsverk utgör en betydande tillförselväg för mikroskopiska skräppartiklar till havet.
- Bedöma hur stor andel av mikrokräpet som avskiljs i avloppsreningsverk.
- Utredda betydelsen av olika slutsteg i reningsprocessen (sandfilter, skivfilter, MBR), för avskiljning av mikrokräp.
- Utveckla tekniker för provtagning av mikrokräp i avloppsreningsverk.

Tre avloppsreningsverk med olika slutsteg i reningsprocessen har ingått i studien, Henriksdals reningsverk i Stockholm, Ryaverket i Göteborg och Långeviksverket i Lysekil. I Henriksdal passerar vattnet genom ett sandfilter innan det förs ut i recipienten och i Ryaverket leds det genom ett skivfilter med maskstorlek 15 µm. Långeviksverket saknar motsvarande slutsteg. Analyser har även gjorts på utgående vatten från forsknings- och utvecklingsanläggningen Hammarby Sjöstadsverket efter passage genom en membranbioreaktor (MBR).

1.2 Bakgrund

Under det senaste decenniet har förekomst av mikroskopiska skräppartiklar i havet fått stor uppmärksamhet, både i media och inom miljöforskningen (Claessens *et al.*, 2011; Magnusson & Norén, 2011; Vianello *et al.*, 2013). Källorna till marint mikrokräp är långtifrån kartlagda, men det finns en misstanke att avloppsreningsverken skulle kunna vara en viktig tillförselväg. Allt partikulärt material som avsiktligt eller oavsiktligt släpps ut i handfat och toaletter hamnar i avloppsvattnet, och utgör därmed potentiella mikrokräpskällor. Exempel på detta är de mikroplastpartiklar som förekommer i många av hushållens hygien- och rengöringsprodukter med syfte att ha en slipande effekt, och som kommit att ersätta tidigare använda material som t.ex. salter, malda aprikoskärnor och havregryn (Fendall & Sewell, 2009). Naturskyddsföreningen har visat att det på svenska marknaden förekommer mikropartiklar av polyeten, polymetylmetakrylat, och polytetrafluoretylen ("teflon") i produkter som tandkräm, hudkräm, duschkrämer, puder m.m. (Naturskyddsföreningen, 2013). Sannolikheten att mikroplaster i dessa produkter hamnar i avloppsvattnet får anses vara stor. Många avloppsreningsverk tar även emot dagvatten vilket kan misstänkas vara en betydande källa till skräppartiklar.

Mikroskräppartiklar i havet kan sväljas av djur, oavsiktligt eller för att de misstas för födopartiklar, och orsaka olika former av problem. Många plastpartiklar är inerta, d.v.s. de är inte direkt toxiska men kan ändå orsaka mekaniska problem för djur om de fastnar i gälar, tarmväggar eller på andra delar av kroppen. Men det finns också plaster som visserligen är ofgiftiga i sin polymera form men från vilka giftiga monomerer (de byggstenar som bygger upp plasten) kan frigöras. Exempel på detta är polykarbonat som frigör det hormonstörande ämnet bisfenol A och polystyren som läcker det cancerogena ämnet styren (Sajiki & Yonekubo, 2003; Saido *et al.*, 2012). Många plaster innehåller också toxiska additiv som är tillsatta för att ge plasten olika önskvärda egenskaper, t.ex. flamskyddsmedel, mjukgörare eller UV-filter, och som kan läcka ut i omgivningen. Slutligen, plastpartiklar och även andra organiska skräppartiklar kan adsorbera olika miljögifter till sin yta och därmed fungera som vektorer för dessa gifter i miljön (Zarfl & M, 2010). Även naturliga organiska partiklar kan förstås fungera som bärare av miljöfarliga ämnen, men eftersom de i allmänhet är betydligt mer lättnedbrutna än skräppartiklar går adsorptionsförmågan snabbare förlorad. Många plaster har en livslängd på decennier eller t.o.m. sekler. Denna sistnämnda effekt, mikroskräppartiklarna som vektorer för miljögifter, är kanske den mest oroande risken med mikroskräp som når haven via avloppsreningsverket. Avloppsvattnet med dess innehåll av miljöfarliga ämnen är en miljö där mikroskräppartiklar löper särskilt stor risk att attrahera denna typ av substanser till sin yta.

2 Kort beskrivning av reningsverk som ingått i studien

Tre reningsverk av olika storlek och med något olika utformning ingick i studien, Henriksdals reningsverk i Stockholm (ca 750 000 personequivaler, pe), Ryaverket i Göteborg (ca 740 000 pe) och Långeviksverket i Lysekil (dimensionerat för 45 000 pe, men med en faktisk belastning på 12 000 pe). Dessutom togs prov från pilotanläggningen Hammarby Sjöstadsverket som ligger i anslutning till Henriksdals reningsverk.

Henriksdalsverket tar emot avloppsvatten från större delen av Stockholmsområdet. Det finns två inloppstunnlar, Henriksdalsinloppet (HIN) med upptagsområde Stockholms innerstad och Sicklainloppet (SIN) med södra Stockholm samt fyra grannkommuner som upptagsområde. Här renas vattnet först mekaniskt med galler och sandfång. Därefter tillsätts järnsulfat för att fälla ut fosfor. Efter sedimentering leds vattnet till det biologiska steget där organiskt material och kväve renas bort. Som ett sista steg i reningsprocessen passerar vattnet genom ett sandfilter som har som syfte att avskilja partiklar framför allt för att minska utsläppet av fosfor. Det renade avloppsvattnet leds ut i Saltsjön.

Ryaverket tar emot avloppsvatten från sju kommuner i Göteborgstrakten. Reningen går i princip till på samma sätt som i Henriksdal förutom att verket drivs med simultanfällning, det vill säga kemisk och biologisk rening sker i samma bassänger, och slutsteget utgörs av ett skivfilter i stället för ett sandfilter. Skivfilter består av en duk perforerad med hål av en definierad storlek, i Ryaverkets fall 15 µm stora.

Även Långeviksverket renar avloppsvattnet mekaniskt, kemiskt och biologiskt, men saknar ett sista filtreringssteg.

I Hammarby Sjöstadsverket, som är en pilotanläggning för forskning och utveckling, används inkommande vatten från Henriksdals reningsverk. Det vatten som analyserades i denna studie hade renats enligt samma typ av process som i Henriksdal med den skillnaden att en MBR användes i slutsteget för att filtrera bort slam och partiklar. Membranet har en porstorlek på 0,2 µm.

3 Metoder

3.1 Provtagning av mikrokräp i inkommande och utgående vatten

3.1.1 Val av storlek på analyserade partiklar

Mikrokräp brukar definieras som skräppartiklar <5 mm. Någon generell konsensus om en nedre gräns för hur små partiklar begreppet ”mikrokräp” ska inkludera finns dock inte, och i praktiken skulle man kunna inkludera hur små partiklar som helst. När man som i denna studie fångar upp partiklar som finns i vattnet måste man dock använda sig av någon form av filter och den maskstorlek som väljs vid provtagningen avgör hur små partiklar som kommer att analyseras. De första uppmärksammade fynden av mikropaster i havsvatten gjordes i djurplanktonprover som hade tagits med planktonhåvar med en maskstorlek på $330\text{ }\mu\text{m}$. Detta har därefter kommit att bli en vanligt förekommande filterstorlek för provtagning av mikrokräp i havsvatten (Galgani *et al.*, 2010), men det betyder inte att partiklar mindre än $330\text{ }\mu\text{m}$ är av mindre intresse.

I denna studie har provtagning gjorts med filter med två olika maskstorlekar, 300 och $20\text{ }\mu\text{m}$. $300\text{ }\mu\text{m}$ -filtret valdes för att kunna jämföra resultaten med de fältstudier som gjorts av mikrokräppartiklar i havsvatten, medan $20\text{ }\mu\text{m}$ valdes för att materialet som fångas upp här är i princip den minsta storlek av partiklar som kan studeras med stereomikroskop, vilket är en stor analytisk fördel.

3.1.2 Provtagningsmetodik

Provtagning gjordes genom att filtrera in- och utgående vatten från de tre avloppsreningsverken genom filter med maskstorlek 300 respektive $20\text{ }\mu\text{m}$. När avloppsvattnet når reningsverket innehåller det stora mängder suspenderat material av olika ursprung (organiskt material, toalettpapper etc.) vilket sätter igen filtren och därmed begränsar den vattenvolym som kan passera. Eftersom mängden organiskt material och partiklar reduceras kraftigt i reningsprocessen kan man med samma arbetsinsats filtrera en betydligt större volym utgående än inkommande vatten. Den volym som kan filtreras genom ett finmaskigare filter är dessutom mindre än vad som kan filtreras genom ett grövre, eftersom det förra täpps till betydligt snabbare av det filtrerade materialet. En fördel med att i denna studie inte enbart använda det finmaskiga $20\text{ }\mu\text{m}$ -filtret var alltså att en avsevärt större vattenvolym kunde filtreras genom det grovmaskiga ($300\text{ }\mu\text{m}$).

Provtagning av inkommande vatten gjordes uppströms grovgallret i samtliga tre verken. Provtagning av utgående vatten gjordes efter alla slutsteg i reningsprocessen, vilket i Henriksdal innebar efter sandfilter och i Ryaverket ett hundratal meter nedströms skivfiltret.

I samtliga tre avloppsreningsverk gjordes filtrering av utgående vatten med $300\text{ }\mu\text{m}$ -filter genom att sänka ner filterhållaren och suga igenom ca en kubikmeter vattnet med hjälp av en vacuum pump. Denna metod kunde dock inte användas för provtagning av

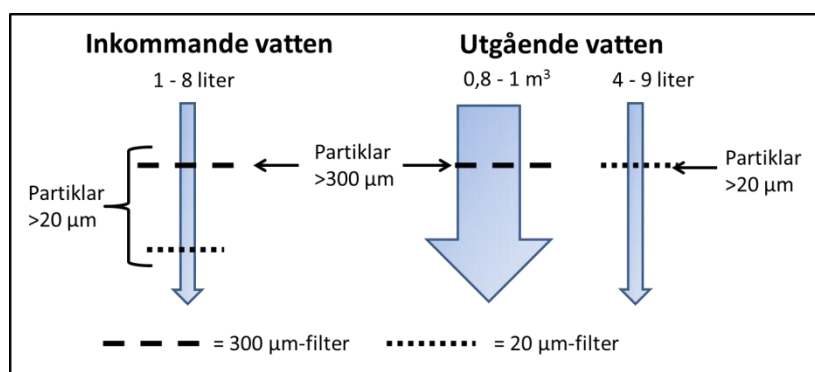
de relativt sett små volymer av utgående vatten som kunde filtreras genom ett 20 µm-filter eller av inkommande vatten (storleksordning någon till några liter). Här samlades i stället vattnet upp med en hink eller vattenhämtare (en s.k. Ruttnerhämtare) och hälldes över ett filter i en filterhållare som kopplats till en vattensug. Tabell 3.1 visar en sammanställning av de provtagningsmetoder som användes.

Filtrering av inkommande vatten gjordes sekventiellt, så att samma vatten först filtrerades genom ett 300 µm-filter och därefter genom ett 20 µm-filter (Fig. 1). Det innebar att medan mängden partiklar >300 µm i inkommande vatten helt enkelt utgjordes av det material som samlats upp på 300 µm-filtret så har partikelmängderna på 300 µm-filtret och 20 µm-filtret adderats för att få fram den totala mängden partiklar >20 µm. Utgående vatten filtrerades i två helt separata steg.

Tabell 3.1. Provtagningsvolymer och provtagningsmetod för analys av mikroskräp i inkommande och utgående vatten från avloppsreningsverk.

Maskstorlek på filter	Inkommande vatten		Utgående vatten	
	Volym avloppsvatten (m ³)	Provtagningsmetod	Volym avloppsvatten (m ³)	Provtagningsmetod
300 µm	0,001 – 0,008	Vattnet taget med hink, filtrering med vattensug	0,8 – 1,0	Nedsänkt filter kopplat till elektrisk pump
20 µm	0,001 – 0,005	Vattnet taget med hink, filtrering med vattensug	0,004 – 0,009	Vatten hämtat med Ruttnerhämtare*, filtrering med vattensug

* Ruttnerhämtare är en vanligt förekommande vattenprovtagare som utgörs av en cylinder som sänks ned i vattnet till önskat djup och därefter stängs igen med hjälp av ett lod.



Figur 3.1 Filtrering av inkommande vatten gjordes först genom 300 µm-filter och därefter genom 20 µm-filter. Filtrering av utgående vatten gjordes i separata steg genom de två olika filterstorlekarna.

Filtren med det uppsamlade materialet förvarades i petriskålar tills de analyserades. Från samtliga 300 µm-filter analyserades tre replikat per prov, och från 20 µm-filtren två replikat. Både vid provtagning och vid analysarbete användes kläder som inte gav ifrån sig fibrer eller annat material som kunde kontaminera proverna. Stor vikt lades också vid att minimera filtrens exponering för omgivande luft.

Vid Henriksdals reningsverk gjordes provtagningar vid fyra tillfällen (Henriksdal 0, 1, 2 och 3). Verket har två inloppstunnlar, Henriksdalsinloppet (HIN) och Sicklainloppet (SIN), och vid första tillfället (Henriksdal 0) togs prover på inkommande vatten enbart från HIN och enbart med 300 µm -filter. Även utgående vatten vid Henriksdal 0 togs enbart med 300 µm-filter. Vid senare tillfällen (Henriksdal 1, 2, och 3) togs prover från både HIN och SIN, samt på vattnet före passage genom sandfiltret. Prover togs också på utgående vatten med både 300 och 20 µm-filter. Problem med provtagningsmetodiken gjorde dock att 20 µm-prover på vatten före sandfilter och på utgående vatten från Henriksdal 1 inte kunde analyseras. Vid Ryaverket gjordes provtagning vid tre tillfällen (Rya 1, 2 och 3). Vid Rya 1 tillstötte praktiska problem med påföljd att endast prover på utgående vatten kunde tas på ett tillfredställande vis och då bara med 300 µm-filter. Övriga prover (300 µm-filter inkommande vatten och 20 µm-filter inkommande och utgående vatten) saknas därför från detta mättillfälle. Vid provtagning Rya 2 och Rya 3 togs samtliga prover som planerats. I Långeviksverket gjordes tre provtagningar (Långevik 1, 2 och 3) med både 300 µm - och 20 µm-filter och samtliga provtagningar fungerade tillfredställande.

Vid Hammarby Sjöstadsverket togs prov på avloppsvatten efter passage genom membranbioreaktor (MBR). Provtagning gjordes vid ett tillfälle och tre replikat om vardera 8 liter utgående vatten från MBR-reaktorn samlades då upp i väl rengjorda plastdunkar och filtrerades genom 20 µm-filter.

Beräkningar av vilka kvantiteter av mikroskräp som nådde reningsverken via inkommande vatten och lämnade via utgående vatten gjordes med hjälp av den genomsnittliga flödes hastigheten under den tidsperiod provtagningen skedde, (kl. 9:00 till 15:00) under de aktuella provtagningsdagarna. Samtliga provtagningsdatum och flödes hastigheter finns listade i tabell 3.2.

Tabell 3.2. Datum och flödesvolmer vid provtagningstillfällen. Volymerna är angivna som ett medelvärde för flödet mellan kl. 9:00 och 15:00 de aktuella provtagningsdagarna. HIN=Henriksdalsinloppet, SIN=Sicklainloppet.

Anläggning	Provtagnings ID	Provtagningsdatum	Flödes hastighet (m ³ /s)
Henriksdal	Henriksdal 0	2013-11-28	HIN=1,6; SIN= 1,6; HIN+SIN=3,2
Henriksdal	Henriksdal 1	2014-01-13	HIN=1,7; SIN= 2,3; HIN+SIN=4,0
Henriksdal	Henriksdal 2	2014-03-14	HIN=1,7; SIN=1,6; HIN+SIN=3,3
Henriksdal	Henriksdal 3	2014-05-07	HIN=1,4; SIN=1,2; HIN+SIN=2,6
Ryaverket	Rya 1	2013-11-25	2,9
Ryaverket	Rya 2	2014-02-28	4,3
Ryaverket	Rya 3	2014-03-31	3,6
Långeviksverket	Långevik 1	2013-11-05	0,13
Långeviksverket	Långevik 2	2014-02-13	0,12
Långeviksverket	Långevik 3	2014-04-10	0,09
Hammarby Sjöstadsverket	MBR	2014-04-10	Pilotanläggning, ej applicerbart

3.2 Analys av prover

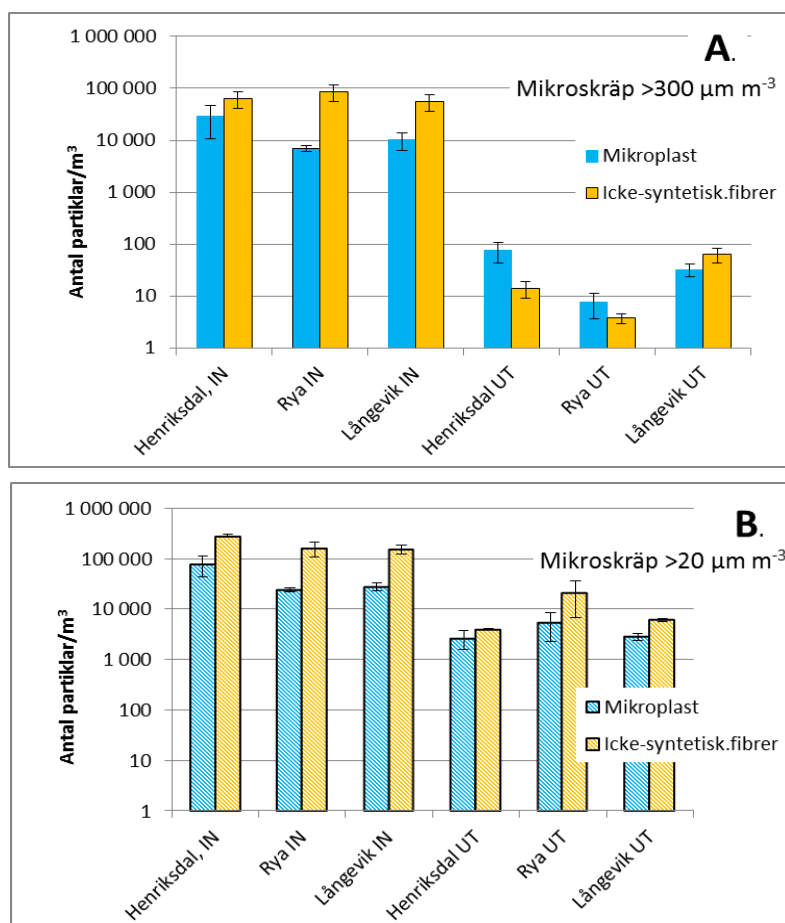
Filtren med det uppsamlade materialet granskades under stereomikroskop (50 gånger förstoring) och alla observerade antropogena partiklar, d.v.s. alla observerade *mikroskräppartiklar*, plockades ut och placerades i utkanten av filtret för närmare analys. En grov indelning av partiklar i syntetiska respektive icke-syntetiska polymerer gjordes genom att observera karakteristiska morfologiska drag. Vid tveksamhet om en viss partikel bestod av syntetiskt eller icke-syntetiskt material plockades den upp med en pincett och lades på ett objektglas som hölls över lågan från en spritlampa. Antropogena partiklar som smälte bedömdes vara av syntetiskt material, och partiklar som inte smälte av icke-syntetiskt material (t.ex. bomull eller cellulosa). Partiklarna delades även upp efter form; i fibrer, plastfragment och plastflagor. Till plastflagor räknades de partiklar som var mycket tunna.

För att få mer specifik information om vilka material det uppsamlade mikroskräpet bestod av analyserades ett tjugotal partiklar från samtliga fyra grupper av mikroskräp (plastfibrer, plastfragment, plastflagor och antropogena icke-syntetiska fibrer) med Fourier Transform Infraröd Spektroskopi (FTIR). FTIR är en teknik där man belyser det undersökta material med infraröd strålning och får fram ett spektrum där karaktäristiska toppar erhålls för olika bindningar mellan atomer. Analysen gör det möjligt att bestämma vilka specifika ämnen det undersökta materialet består av. Analyserna gjordes på Swerea IVF med FTIR-mikroskop av modell Lumos från Bruker. Partiklarna som valts ut för analys bedömdes vara representativa för olika grupper av mikroskräp som var vanligt förekommande i avloppsvattenproverna.

4 Resultat

4.1 Halten mikrokräp i inkommande jämfört med utgående vatten

Koncentrationen mikroplaster, både >300 och >20 μm , var högre i Henriksdals inkommande vatten än i vatten till Ryaverket och Långeviksverket, medan koncentrationen av icke-syntetiska antropogena fibrer var i samma storleksordning i alla tre verkens inkommande vatten (Fig.4.1A och B; observera y-axelns log-skala). Halten mikrokräppartiklar >300 μm i inkommande vatten till de tre reningsverken var i storleksordningen $7\text{--}30 \cdot 10^3$ plastpartiklar m^{-3} och $60\text{--}80 \cdot 10^3$ icke-syntetiska fibrer m^{-3} . Partiklar >20 μm förelåg i koncentrationer på $20\text{--}80 \cdot 10^3$ plastpartiklar m^{-3} och $15\text{--}30 \cdot 10^3$ icke syntetiska fibrer m^{-3} .



Figur 4.1 Antal mikrokräppartiklar per m^3 i inkommande och utgående vatten från de tre reningsverken. A: Partiklar >300 μm ; B: partiklar >20 μm . Beräkningarna baseras på mätningar vid två till tre tillfällen vid varje reningsverk. Staplarna anger medelvärde $\pm$ SE (300 μm : $n=3$; 20 μm : $n=2$). OBS y-axelns log-skala!

I utgående vatten var koncentrationen mikrokräp $>300\text{ }\mu\text{m}$ lägre i vatten från Ryaverket jämfört med de två övriga verken (Fig. 4.1A). För partiklar $>20\text{ }\mu\text{m}$ rådde ingen skillnad i mikroplastkoncentration mellan de tre verken medan koncentrationen icke-syntetiska antropogena fibrer var högre i Ryaverkets utgående vatten än i utvattnet från övriga två (Fig.4.1B).

Betydligt mer icke-syntetiska antropogena fibrer än mikroplastpartiklar fördes in till de tre avloppsreningsverken vid samtliga mätningar. Däremot var det inte någon större skillnad mellan plastpartiklar och icke-syntetiska fibrer i utgående vatten. Kvarhållningen i reningsverket var alltså mer effektiv för icke-syntetiska fibrer än för mikroplasterna.

Eftersom partiklar $>300\text{ }\mu\text{m}$ kunnat fångas upp med både 300- och 20 μm -filtret var det alltid fler partiklar i fraktionen $>20\text{ }\mu\text{m}$. Skillnaden mellan partiklar $>300\text{ }\mu\text{m}$ och partiklar $>20\text{ }\mu\text{m}$ var dock betydligt större i utgående än i inkommande vatten, vilket innebär att partiklar $>300\text{ }\mu\text{m}$ hållits kvar i reningsverken i större utsträckning än partiklar $<300\text{ }\mu\text{m}$. Största skillnaden återfanns i Ryaverket, d.v.s. här hade avskiljningen av partiklar $>300\text{ }\mu\text{m}$ varit effektivare än vid de övriga verken.

Den största delen av det mikrokräp som återfanns i inkommande vatten fördes inte ut i recipienten med utgående vatten. Koncentrationerna i inkommande vatten var i storleksordningen 10^4 - 10^5 m^{-3} , medan de i utgående vatten var i storleksordningen 10^0 - 10^3 (Fig.4.1). I den grövre fraktionen, de partiklar som samlades upp på 300 μm -filtret, var retentionen i reningsverket över 90 % för alla skräpfraktioner (Tabell 4.1). En retention under 95 % återfanns bara vid två tillfällen, för plastfragment vid Henriksdal vid mättillfälle 1 och 2, (94,1 respektive 90,3 %).

Retentionen var lägre för den finare fraktionen av mikrokräp, den som samlades upp på 20 μm -filtret. Vid tredje mättillfället vid Ryaverket (Rya 3) var retentionen låg för såväl plastflagor som icke-syntetiska antropogena fibrer. Vid samma tillfälle var också koncentrationen av plastfibrer drygt 30 % högre i utgående vatten än i inkommande vilket är svårt att finna en förklaring till.

Tabell 4.1 Procent mikrokräp på 300 µm-respektive 20 µm-filtret som hölls kvar i reningsverken och inte fördes ut med utgående vatten. Siffrorna baseras på medelvärden från alla mättillfällen $\pm$ SE.

300 µm (%)	Plastfibrer	Plastfragment	Plastflagor	ΣMikroplast	Icke-synt. fibrer
Henriksdal	99,4 $\pm$ 0,16	95,2 $\pm$ 1,95	99,9 $\pm$ 0,04	98,9 $\pm$ 0,30	100,0 $\pm$ 0,01
Rya	100,0 $\pm$ 0,02	98,5 $\pm$ 1,53	100,0 $\pm$ 0,01	99,9 $\pm$ 0,11	100,0 $\pm$ 0,00
Långevik	99,8 $\pm$ 0,09	98,5 $\pm$ 0,53	99,8 $\pm$ 0,10	99,5 $\pm$ 0,20	99,8 $\pm$ 0,09

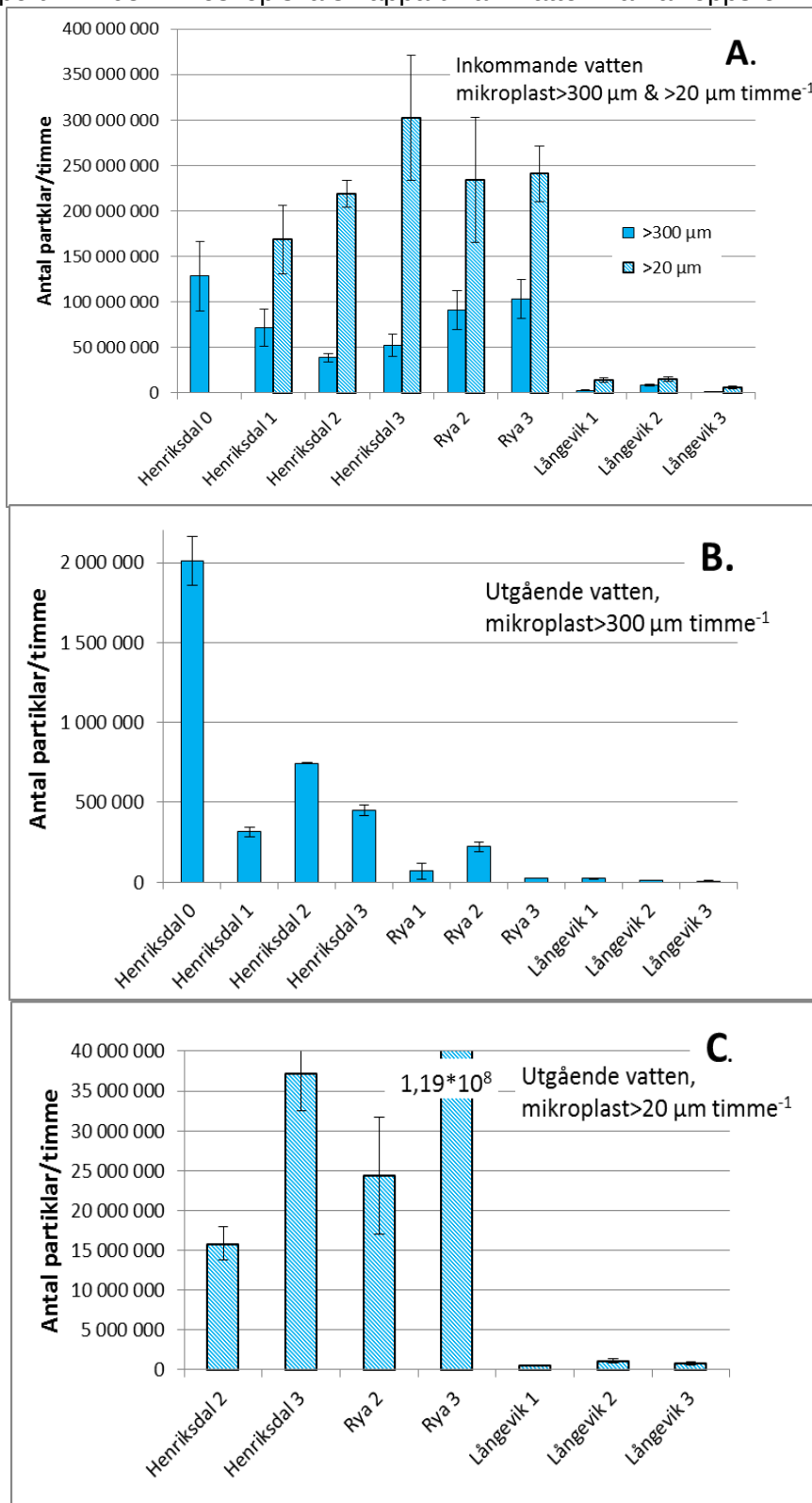
20 µm (%)	Plastfibrer	Plastfragment	Plastflagor	ΣMikroplast	Icke-synt. fibrer
Henriksdal	89,4 $\pm$ 7,6	74,0 $\pm$ 2,0	99,2 $\pm$ 0,8	90,3 $\pm$ 2,6	96,0 $\pm$ 0,6
Rya	64,4 $\pm$ 1,0	88,6 $\pm$ 5,0	69,9 $\pm$ 19,1	69,9 $\pm$ 16,1	77,8 $\pm$ 12,2
Långevik	86,4 $\pm$ 6,7	89,3 $\pm$ 2,9	82,9 $\pm$ 1,5	87,0 $\pm$ 4,1	93,0 $\pm$ 2,1

4.2 Mikrokräp till och från avloppsreningsverken, flödesanpassad data

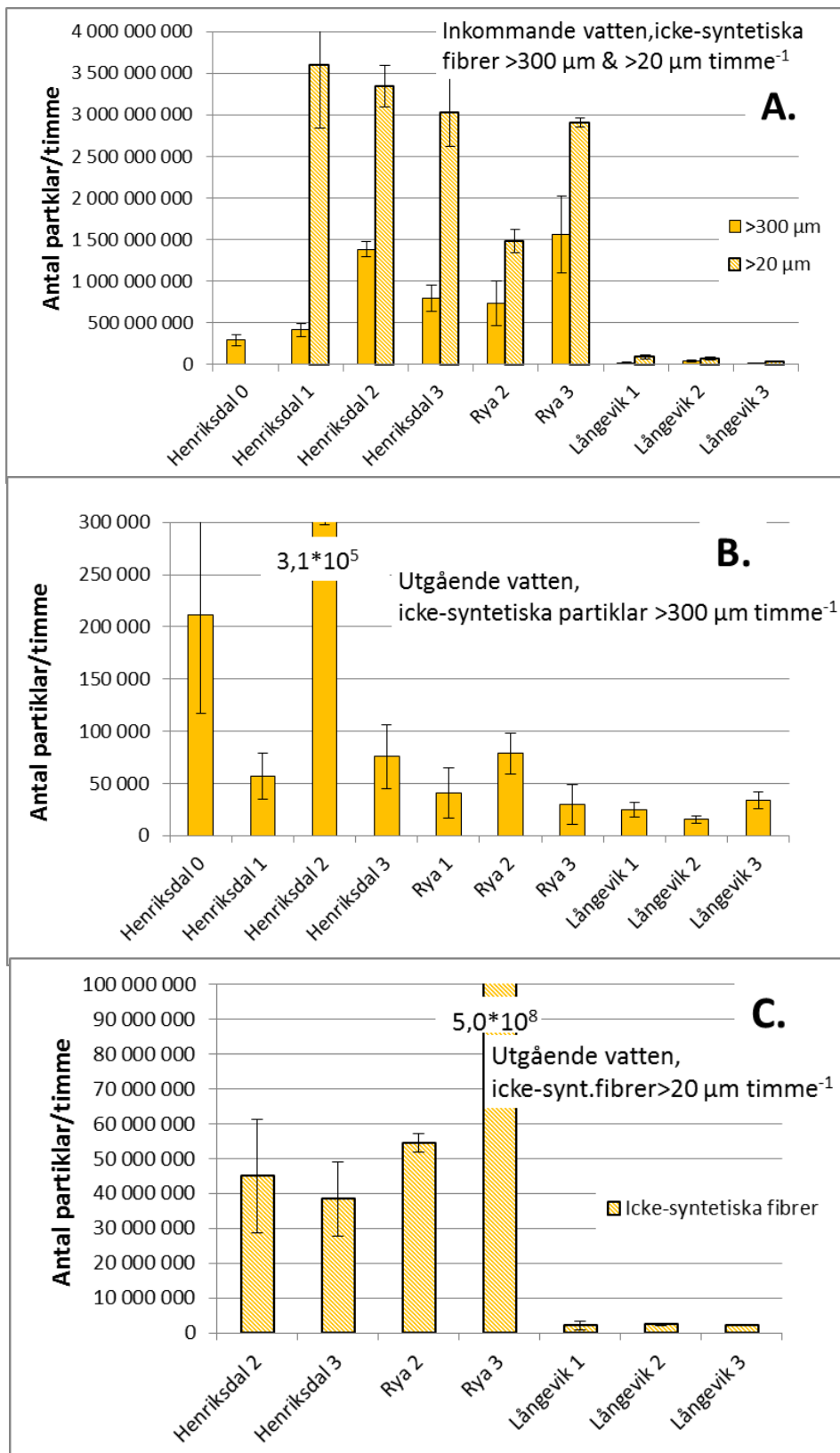
In-och utflöde av mikrokräpet uttryckt som antal partiklar per timme visas i figurerna 4.2 (mikroplast) och 4.3 (icke-syntetiska fibrer). Inkommande vatten förde med sig 40-130 $\cdot$ 10⁶ mikroplastpartiklar >300 µm timme⁻¹ till Henriksdal och Ryaverket, och till Långeviksverket ~5 $\cdot$ 10⁶ mikroplastpartiklar timme⁻¹ (Fig. 4.2A och B). Mikroplastpartiklar >20 µm uppgick till 170-300 $\cdot$ 10⁶ timme⁻¹ till Henriksdal och Ryaverket, och ~10 $\cdot$ 10⁶ timme⁻¹ till Långeviksverket (Fig.4.2A och C). Mängden icke-syntetiska fibrer >300 µm var 0,3-1,6 $\cdot$ 10⁹ till Henriksdal och Ryaverket och 10-45 $\cdot$ 10⁶ till Långeviksverket, och fibrer >20 µm var 1,5-3,6 $\cdot$ 10⁹ till Henriksdal och Ryaverket, och 0,03-0,09 $\cdot$ 10⁹ till Långeviksverket (Fig.4.3A och B).

Mängden mikroplastpartiklar >300 µm som fördes ut från Henriksdal per timme varierade mellan 0,3 och 2 $\cdot$ 10⁶ vid de olika mättillfällena och var vid samtliga tillfällen högre än från de övriga två verken. Utgående vatten från Ryaverket och Långeviksverket förde med sig likartade mängder mikroplast och icke-syntetiska fibrer >300 µm, i storleksordningen 10³-10⁴ timme⁻¹, med undantag för mättillfället Rya 2 då mängden av bägge partikeltyperna var högre (Fig. 4.2B och 4.3B). Mängden mikrokräp >20 µm per timme i Ryaverks utgående vatten låg dock på samma nivå som Henriksdal, d.v.s. avsevärt högre än Långeviksverket (Fig. 4.2B och C, och 4.3B och C).

Skalan på y-axeln i figurerna 4.2 och 4.3 ger en dålig representation av uppmätta mängder från Långeviksverket. Dessa data finns därför även presenterade i ett separat appendix.

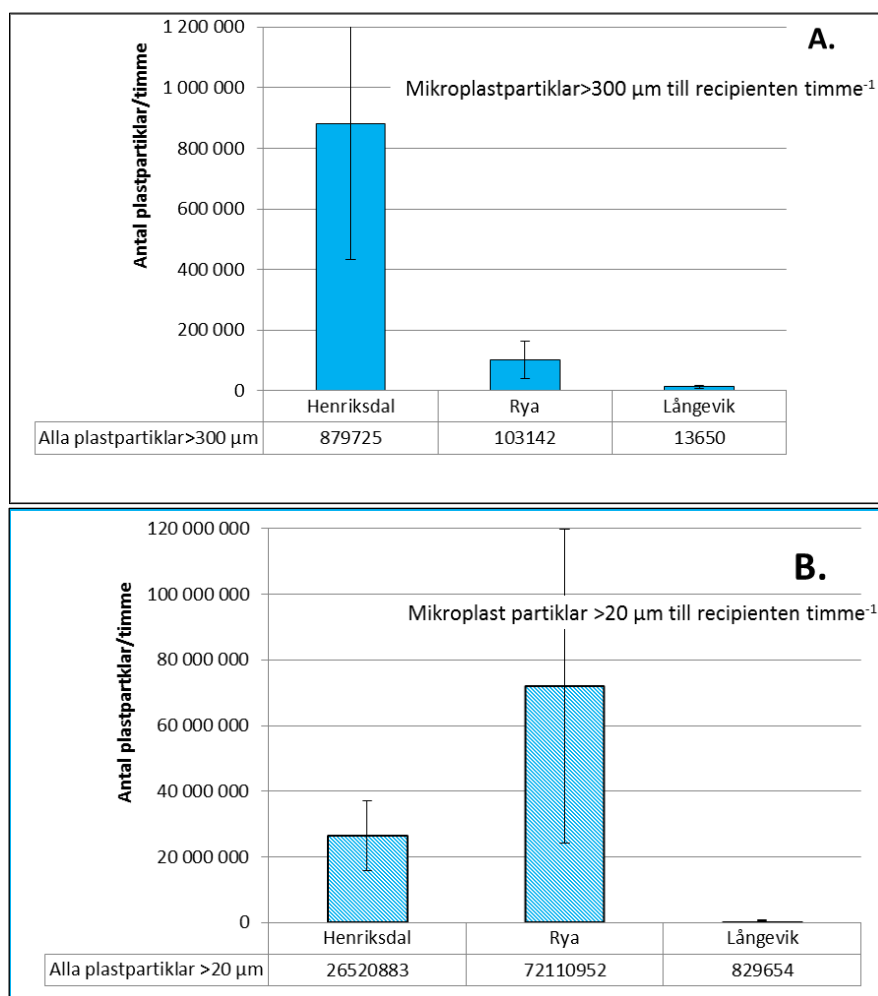


Figur 4.2 Mängden inkommande och utgående mikroskräp (mikroplast och antropogena icke-syntetiska fibrer) per timme. A: inkommande partiklar uppsamlade på 300 μm - och 20 μm -filter, B: utgående partiklar uppsamlade på 300 μm -filter, och C: utgående partiklar uppsamlade på 20 μm -filter. Beräkningarna baseras på mätningar vid två till tre tillfällen vid varje reningsverk. Staplarna anger medelvärde $\pm$ SE (300 μm : n=3; 20 μm : n=2).



Figur 4.3 Icke-syntetiska antropogena fibrer i reningsverkens inkommande (A) och utgående (B och C) vatten per timme. Observera att partiklar >300 μm dels finns som egna staplar, men även utgör en del av partiklar >20 μm. Medelvärde ±SE (300 μm: n=3; 20 μm: n=2)

Den genomsnittliga mängden mikroplastpartiklar som fördes ut till recipienten per timme från respektive avloppsreningsverket, baserat på samtliga mätningar, redovisas i figur 4.4. Från Henriksdal kom tio gånger så många plastpartiklar $>300\ \mu\text{m}$ ut som från Ryaverket, och hundra gånger så många som från Långeviksverket. Utflödet var i storleksordningen $\sim 10^6$ timme $^{-1}$ från Henriksdal jämfört med 10^5 respektive 10^4 plastpartiklar timme $^{-1}$ från de övriga (Fig. 4.4A). Mängden mikroplastpartiklar $>20\ \mu\text{m}$ i utgående vatten var högst i Ryaverket ($72 \cdot 10^6$), drygt dubbelt så hög som från Henriksdal och nästan hundra gånger så hög som från Långeviksverket (Fig. 4.4B). Variationen i prover från Ryaverket var dock mycket hög så skillnaden mellan Ryaverket och Henriksdal kan inte anses vara signifikant. Notera som tidigare att $20\ \mu\text{m}$ -filtret fångar upp även partiklar $>300\ \mu\text{m}$.

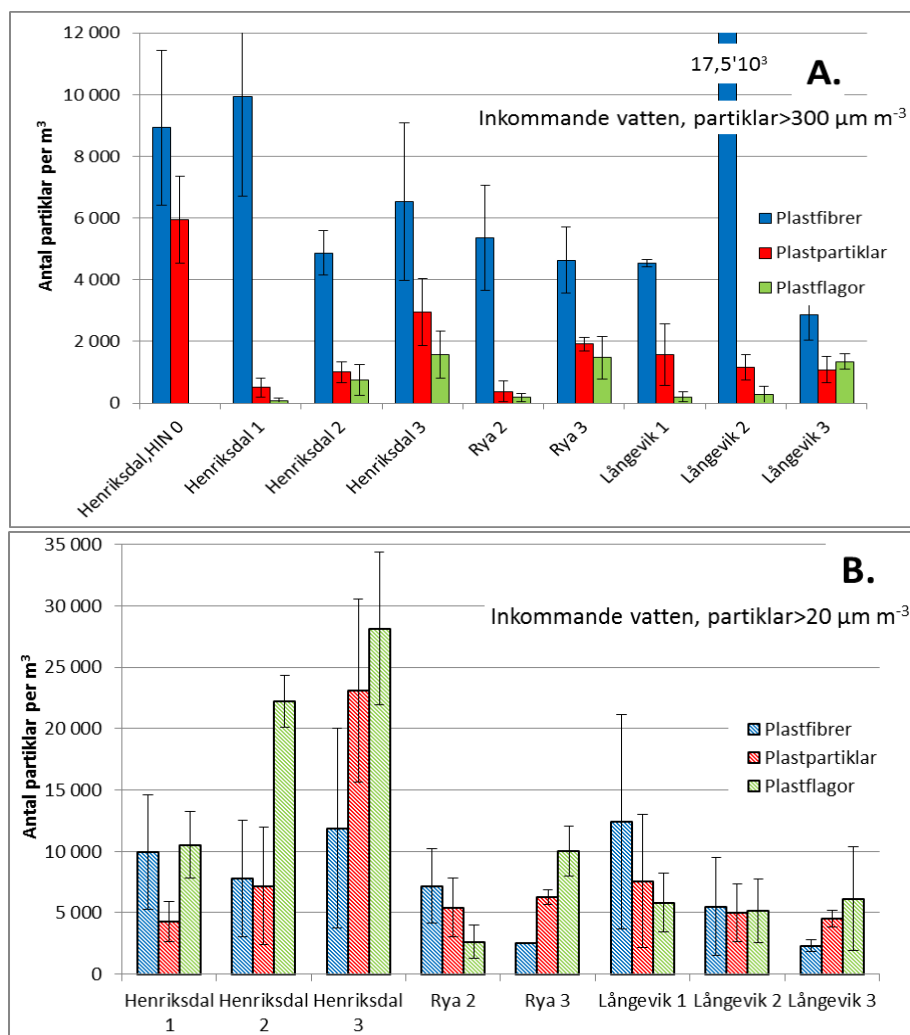


Figur 4.4 Antal mikroplastpartiklar som går ut till recipienten per timme; A: partiklar $>300\ \mu\text{m}$ och B: partiklar $>20\ \mu\text{m}$. Medelvärde från samtliga mättilfällen $\pm \text{SE}$ ($n=2-4$).

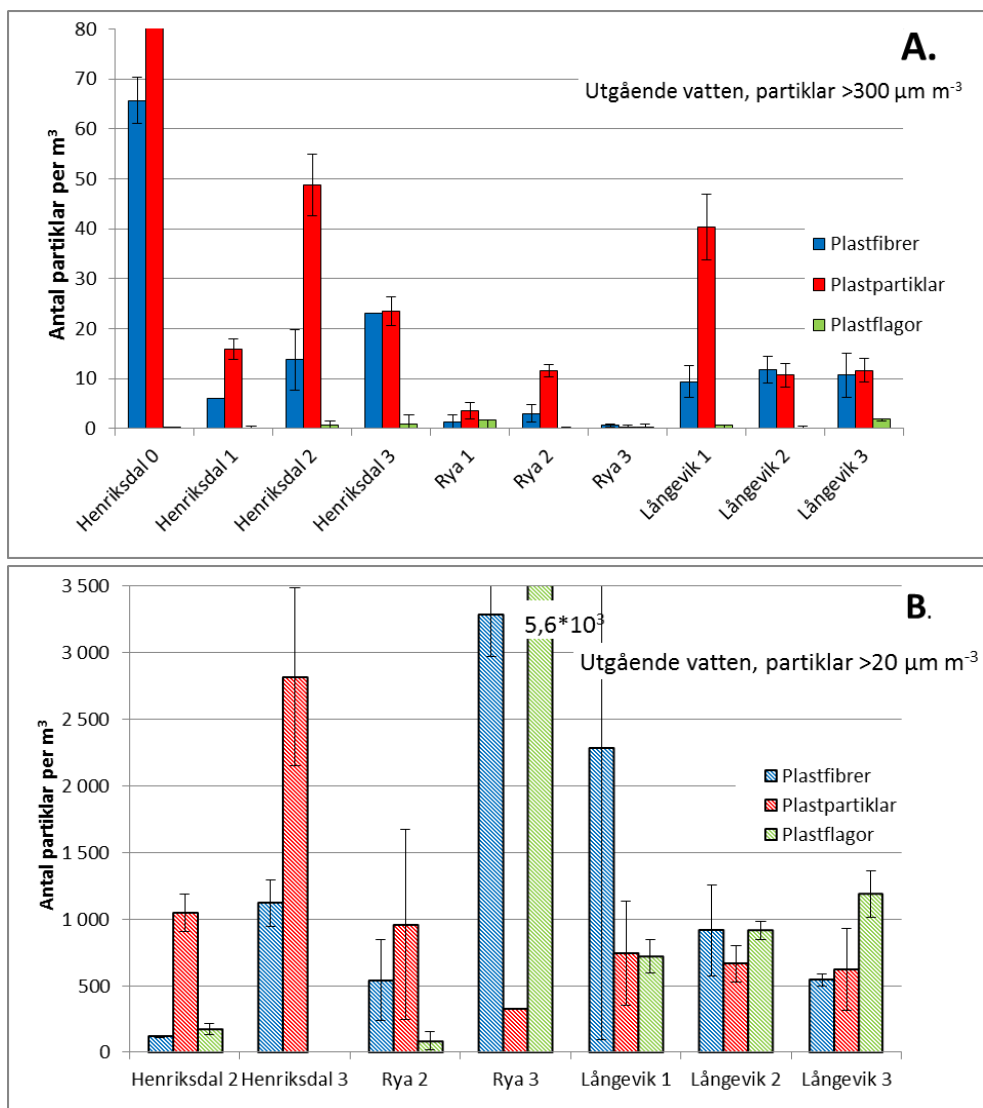
4.3 Fördelning mellan olika grupper av mikroplastskräp

Vid analys delades partiklarna upp i fyra grupper efter form och material, tre grupper av plastmaterial: plastfibrer, plastfragment, plastflagor, och en fjärde kategori som utgjordes av icke-syntetiska antropogena fibrer. Fördelningen av plastpartiklar i inkommande vatten visas i figur 4.5 och i utgående vatten i figur 4.6.

Bland mikroplastpartiklar $>300\text{ }\mu\text{m}$ i inkommande vatten var koncentrationen av plastfibrer högre än andra plastfraktioner, medan det inte var någon skillnad mellan plastfibrer och plastpartiklar i utgående vatten (Fig.4.5A och 4.6A). Det visar att plastfibrer och plastflagor hölls kvar i större grad än plastpartiklar. Bland mikroplaster $>20\text{ }\mu\text{m}$ fanns ingen markant skillnad mellan fraktionerna i inkommande vatten, och detsamma gällde även utgående vatten från Ryaverket och Långeviksverket (Fig.4.5B och 4.6B). I utgående vatten från Henriksdal var dock mängden plastflagor betydligt lägre än i inkommande vatten, vilket indikerar att denna fraktion kvarhållits i högre grad än andra fraktioner.



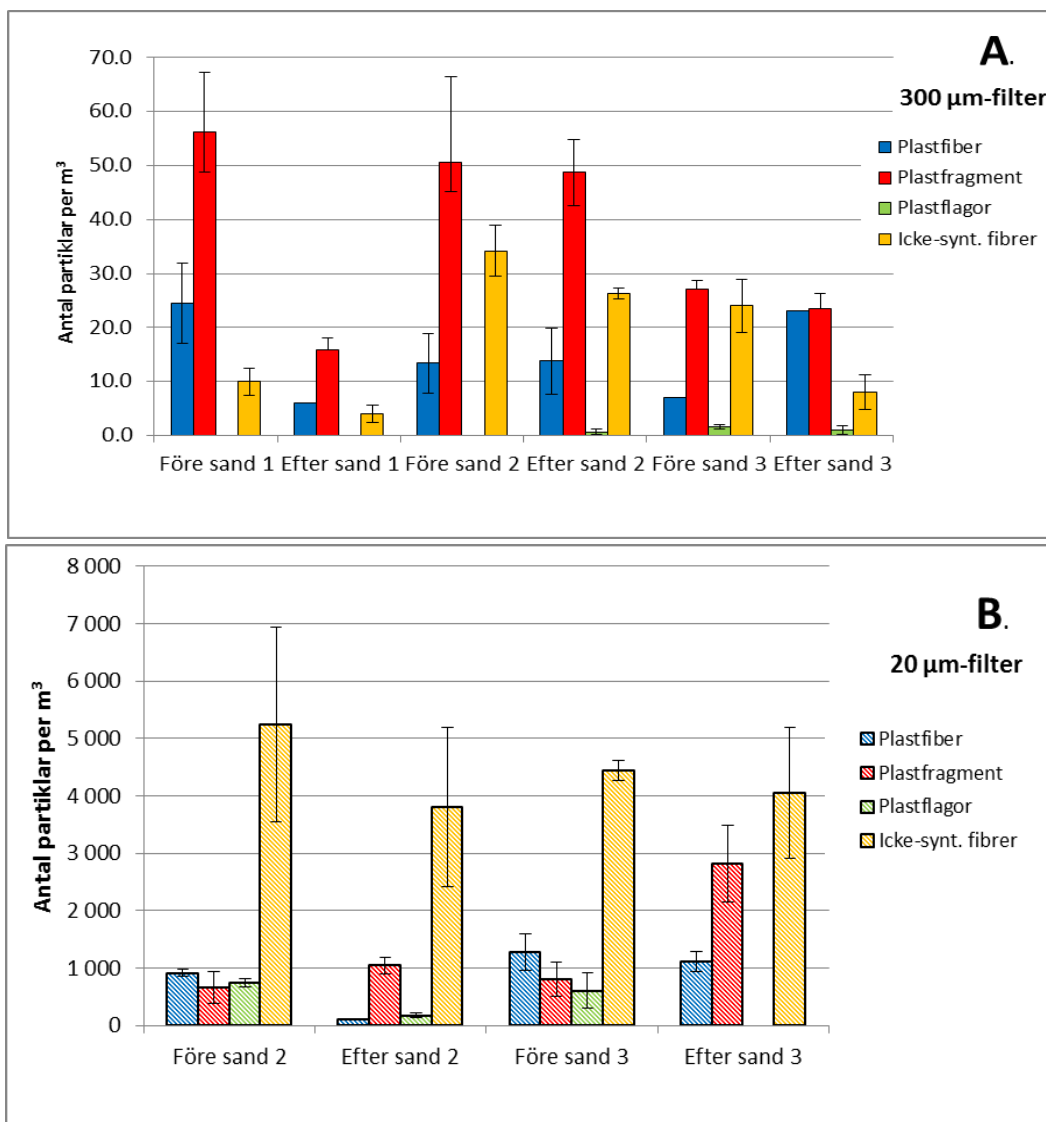
Figur 4.5 Koncentration av olika grupper av mikroplastskräp (plastfibrer, plastfragment och plastflagor) i inkommande vatten till de tre reningsverken. A: partiklar uppsamlade på $>300\text{ }\mu\text{m}$ -filter och B: partiklar uppsamlade på $20\text{ }\mu\text{m}$ -filter. Siffrorna 0-3 avser olika mättilfällen. Koncentrationerna anges som ett medelvärde $\pm$ SE ($300\text{ }\mu\text{m}$: $n=3$, $20\text{ }\mu\text{m}$: $n=2$).



Figur 4.6 Koncentrationen av mikroplast i utgående vatten från de tre reningsverken fördelad på de tre grupper: plastfibrer, plastpartiklar och plastflagor. A: partiklar uppsamlade på $>300 \mu\text{m}$ -filter och B: partiklar uppsamlade på $20 \mu\text{m}$ -filter. Siffrorna 0-3 avser olika mättillfällen. Koncentrationerna anges som ett medelvärde $\pm$ SE ($300 \mu\text{m}$: $n=3$, $20 \mu\text{m}$: $n=2$). Observera skillnad i värden på y-axeln mellan A och B.

4.4 Sandfilters betydelse för reduktion av mikrokräp i utgående vatten

I Henriksdal gjordes mätningar före och efter avloppsvattnets passage genom sandfiltret, vilket är det sista steget i reningsprocessen innan vattnet leds ut i recipienten. Data visar att ingen påtaglig reduktion av mängden mikrokräp skedde i sandfiltret, varken av den större ($>300\text{ }\mu\text{m}$) eller den mindre ($>20\text{ }\mu\text{m}$) fraktionen (Fig. 4.7A och B). Vid första mättillfället skedde en 25-40% reduktion av alla fraktioner utom plastfragment och icke-syntetiska fibrer $>20\text{ }\mu\text{m}$. Men vid de två senare tillfällena var skillnaden avsevärt mindre och i vissa fall var koncentrationen högre efter sandfiltret än före. Det fanns en tendens till reduktion av icke-syntetiska fibrer $>300\text{ }\mu\text{m}$ vid alla tre tillfällen, men den i särklass största reduktionen av mängden mikrokräp hade skett redan innan vattnet nådde fram till sandfiltret. I Henriksdal mäts halten suspenderad substans (SS) före och efter sandfiltren varje tisdagsdygn. Halten mäts i mg/L och kan alltså inte direkt jämföras med antal partiklar i den här undersökningen. En kontroll av SS-halterna för de tisdagar som låg närmast provtagningstillfällena för mikrokräp visar inte på något onormalt i reningsprocessen. SS-halterna var ca 15-18 mg/L innan sandfiltren och 2 eller <2 efter. Reduktionen av SS över sandfiltren ligger normalt över 90%. Varför sandfiltren inte haft någon större effekt på mikrokräpet är svårt att förklara. Fler provtagningar skulle behöva göras för att bekräfta resultaten från den här undersökningen

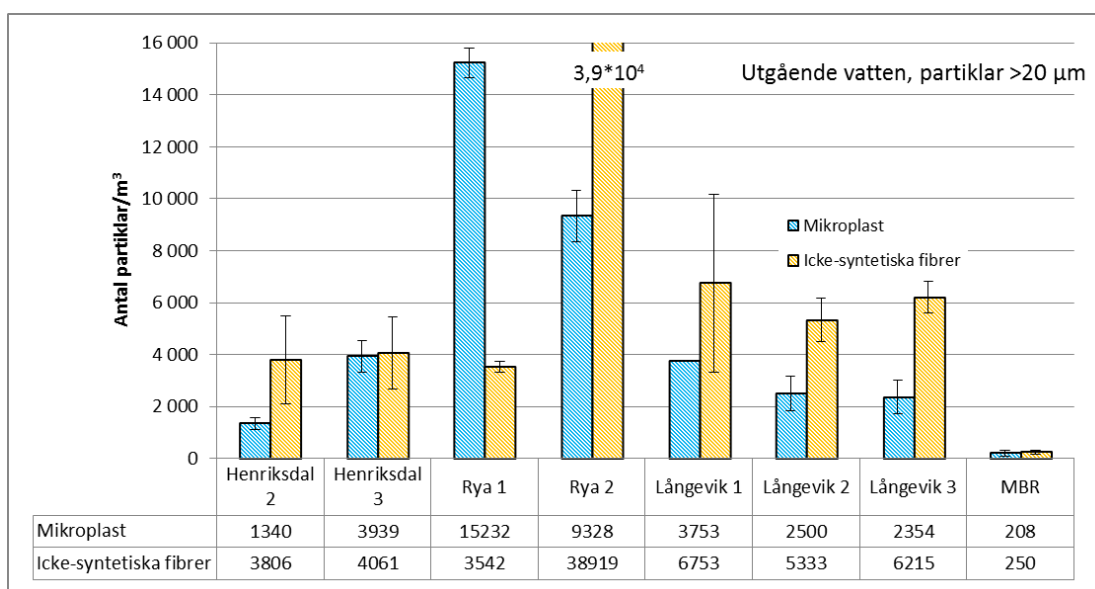


Figur 4.7 Koncentration av mikrokräppartiklar per m³ avloppsvatten före och efter vattnet passerat sandfiltret i Henriksdal. Medelvärde ±SE (300 µm: n=3, 20 µm: n=2).

4.5 Mikrokräp i utgående vatten från MBR-filteranläggning

Provtagning av utgående vatten från Sjöstadsvverkets MBR-anläggning gjordes enbart med 20 µm-filter och jämfördes därför med denna fraktion från de övriga verkens utgående vatten (Fig.4.8). MBR-reaktorn är under utprovning och flödet igenom den kan inte jämföras med flödet genom de "aktiva" avloppsreningsverken. Det är därför inte möjligt att uttrycka partikelhalten per tidsenhet, utan det får i stället göras per volym.

MBR-vattnet hade signifikant lägre koncentration av både mikroplastpartiklar och icke-syntetiska antropogena fibrer än utgående vatten från alla övriga reningsverk. Eftersom Hammarby Sjöstadsvverket tar emot samma ingående vatten som Henriksdal är jämförelsen mellan dessa två av störst relevans. Koncentrationen mikrokräp i utgående MBR-vatten var 15 % (mikroplast) och 6,6 % (icke-syntetiska fibrer) av koncentrationen i utgående Henriksdalsvatten (Fig. 4.8).



Figur 4.8 Antal partiklar >20 µm i utgående vatten från MBR-reaktorn jämfört med övriga reningsverk. MBR-reaktorn tar emot samma vatten som kommer in till Henriksdals reningsverk. Medelvärde +/-SE (MBR: n=3; övriga: n=2)

4.6 FTIR-analys av mikrokräp i in- och utgående vatten

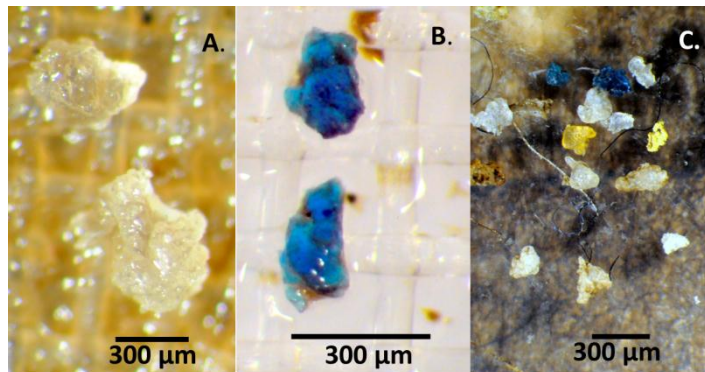
Syftet med att analysera utvalda mikrokräppartiklar med FTIR var att undersöka vilka material vissa typiska, ofta återkommande, partiklar bestod av. Men det var även ett sätt att få ett mått på säkerheten i den bedömning som gjorts av partiklarna under stereomikroskopet, d.v.s. om analys med stereomikroskop är en acceptabel metod för att skilja antropogena partiklar från naturliga, och att skilja plastpartiklar från antropogena icke-syntetiska partiklar. Mikrokräppartiklarna var i många fall slitna vilket i vissa fall ledde till att de uppvisade FTIR-spektrum som var svåra att tolka. Ett urval av resultaten från FTIR-analysen presenteras i tabell 4.2. Bilder av de FTIR-analyserade objekten finns i figurerna 4.9. och 4.10.

En sorts halvtransparenta oregelbundna partiklar som enligt FTIR-analys utgjordes av polyeten eller akrylatplast återfanns i de flesta prover från utgående vatten uppsamlade med 300 µm-filter (Fig. 4.9A). Koncentrationen varierade från några enstaka och upp till ett tjugotal partiklar per kubikmeter vatten. Vid enstaka tillfällen återfanns de även i inkommande vatten. Enstaka partiklarna av denna typ fanns även i utgående vatten från Ryaverket som annars innehöll mycket lite partikulärt material som fastnade på 300 µm-filter. Blå partiklar av polypropen var också regelbundet återkommande i koncentrationer om några partiklar per kubikmeter utgående vatten (Fig. 4.9B). De syntetiska antropogena fibrer som valdes ut för FTIR-analys för att de bedömdes representera vanligt förekommande typer visade sig bestå av polyamid, PET och polypropen (Fig.4.10A och C), medan icke-syntetiska fibrer bestod av bomull/cellulosa (Fig.4.10B).

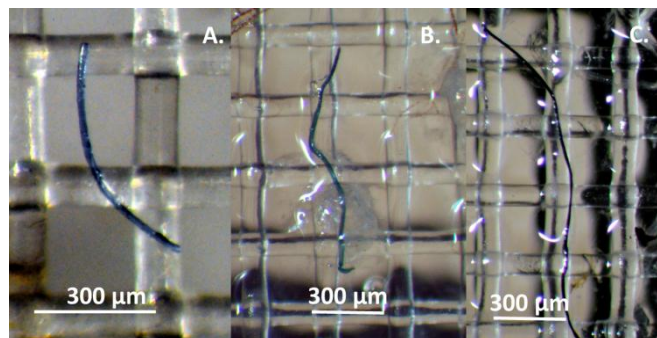
Tabell 4.2 Resultat från FTIR-analys av utvalda mikrokräppartiklar från vatten från avloppsreningsverk. Fotografier av några av partiklarna finns i figur 4.9 och 4.10.

Beskrivning av analyserad partikel	Källa	Resultat från FTIR
Halvtransparent, oregelbunden partikel (Fig 4.8A)	Långevik, UT 300 µm-filter	Oxiderad partikel, kan vara PE eller akrylatplast
Intensivt blå partikel, (Fig. 4.8B)	Henriksdal, UT 300 µm-filter	PP, ev. copolymer med PE
Röd flaga	Henriksdal, IN, 20 µm	PMMA (akrylatplast)
Blå slät, rund fiber (Fig.4.9A)	Henriksdal, före sandfilter, 300 µm-filter	Polyamid (nylon)
Blå, platt fiber (Fig.4.9B)	Ryaverket, IN, 300 µm-filter	Bomull
Svart, rund fiber (Fig.4.9C)	Henriksdal IN, 300 µm-filter	PET

Förkortningar: IN = ingående vatten; UT=Utgående vatten: PE=polyeten, PP=polypropen; PET=polyetentereftalat; PMMA=Polymetylmetakrylat



Figur 4.9 Partiklar från utgående vatten från Långeviksverket och Henriksdalsverket.
A: Sannolikt polyeten eller akrylatplast; B: Polypropen ev. copolymer med polyeten.
C: En blandning av olika plastpartiklar.



Figur 4.10 Antropogena fibrer i inkommande och utgående vatten från Ryaverket och Henriksdalsverket. A: Polyamidfiber; B: Bomullsfiber; C: Polyetylentereftalatfiber (PET).

5 Diskussion

Samtliga reningsverk visade sig ta emot höga halter antropogena mikroskräppartiklar bestående av mikroplaster och icke-syntetiska fibrer via inkommande vatten. Merparten av dessa, 70-100 %, avskildes i reningsverken medan en mindre andel följde med utgående vatten ut i recipienten. Men eftersom antalet partiklar i inkommande vatten var mycket högt, upp till $3 \cdot 10^8$ mikroplastpartiklar och $3,5 \cdot 10^9$ icke-syntetiska fibrer per timme (Fig.4.2A och 4.3A), utgjorde även bråkdelar av procent relativt stora mängder. Från de stora reningsverken Henriksdal och Ryaverket fördes ut i storleksordningen $30\text{--}70 \cdot 10^6$ mikroplastpartiklar $>20 \mu\text{m}$ per timme, från Långeviksverket ca $0,8 \cdot 10^6$ per timme (Fig.4.4B). Mängden icke-syntetiska fibrer i utgående vatten var något större.

Storleken och formen på skräppartiklarna förefaller ha haft betydelse för i vilken utsträckning de hölls kvar i reningsverken. Partiklar $>300 \mu\text{m}$ hölls kvar i större utsträckning än partiklar $<300 \mu\text{m}$. I storleksfraktionen $>300 \mu\text{m}$ kvarhölls dessutom icke-syntetiska antropogena fibrer och plastfibrer i större utsträckning än plastpartiklar och plastflagor (Fig.4.5 och 4.6). För partiklar som samlades upp på $20 \mu\text{m}$ -filter var skillnader mellan olika grupper inte lika markant.

Ett av studiens syften var att utreda hur olika filterslutsteg påverkar utflödet av mikroskräp till recipienten. Henriksdals sandfilter hade ingen mätbar effekt (Fig.4.7), medan Ryaverkets skivfilter tycks ha varit effektivt när det gäller att sortera bort de större partiklarna (Fig.4.2, och 4.3). Men eftersom det i projektet inte gjordes någon provtagning direkt före skivfiltren så kan vi inte säkert veta hur stor betydelse skivfiltren haft för avskiljningen. Mängden mikroplastpartiklar $>300 \mu\text{m}$ i utgående vatten från Ryaverket var vid två av tre mättillfällen nästan i nivå med Långeviksverket vars pe är mindre än 2 % av Ryaverkets. Däremot kunde inte någon nämnvärd effekt av skivfiltret på partiklar $<300 \mu\text{m}$ påvisas.

Den mest effektiva avskiljningen av mikroskräppartiklar gav Hammarby Sjöstads MBR-anläggning (Fig.4.8). Provtagning av vattnet gjordes enbart med det finare $20 \mu\text{m}$ -filtret och det visade sig innehålla väldigt få partiklar, ca en tiondel av koncentrationen i övriga anläggningar. Jämförelsen mellan verken baserades dock på mängden partiklar per m^3 utan hänsyn tagen till vattenflöde. Men om allt Henriksdalsvatten leddes igenom en MBR som fungerade med samma höga prestanda i ett fullskaligt reningsverk, skulle mängden mikroplastpartiklar i utgående vatten vara ca en tiondel av vad som visas i figur 4.4B, eller ca $3 \cdot 10^6$ mikroplastpartiklar per timme.

Studien visar dock att den största reduktionen av alla typer av analyserade partiklar skedde i reningsverkens sedimentationsbassänger, före eventuella slutfilter. Vad som händer med de avskilda mikroskräppartiklarna i reningsverken är inte studerat i denna undersökning men åtminstone plastpartiklarna torde inte vara lätt nedbrytbara utan lär finnas kvar i det färdigrötade slammet.

Val av filtren vid provtagning har en stor betydelse för resultaten. I denna studie fångades ca 3-6 gånger så många mikroplastpartiklar upp i inkommande vatten med $20 \mu\text{m}$ -filtret än med $300 \mu\text{m}$ -filtret, och i utgående vatten kunde skillnaden vara upp till 100 gånger. Men trots att *fler* partiklar fångades upp med det finmaskigare filtret var det många typer av partiklar som enbart fångades med det grovmaskiga. En

betyddigt större volym vatten kunde filtreras genom 300 µm-filtret, framför allt i utgående vatten, och därmed kunde även partiklar som förekom i lägre koncentrationer fångas upp. I denna undersökning filtrerades ca en kubikmeter utgående vatten genom ett 300 µm-filter jämfört med några liter som kunde filtreras genom ett 20 µm-filter.

De antropogena fibrer som återfanns i avloppsvattnet bestod av material som polyamid (nylon), polyetentereftalat (PET), polypropen och bomull. Vanliga material i andra antropogena partiklar utgjordes av bl.a. polypropen, polyeten, polyamid och akrylatplast. Både polyeten, polymetylmetakrylat är material som används i olika kosmetikaprodukter, men det gjordes ingen analys med syftet att bedöma om plastpartiklar som återfanns i avloppsvattnet verkligen utgjordes av kosmetikapartiklar. I några prover förekom en sorts genomskinliga icke-syntetiska partiklar som skulle kunna bestå av latex (d.v.s. naturgummi), men dessa har inte redovisats i analysresultaten.

Studien väcker åtskilliga frågeställningar som det skulle vara värdefullt att gå vidare med. Det skulle bl.a. vara av stort ekotoxikologiskt intresse att undersöka mikroskräpets, och då i synnerhet mikroplasternas, förmåga att fungera som bärare av miljögifter. I avloppsvatten finns många olika typer av miljögifter närvarande och många, särskilt de lipofila eller positivt laddade, kan sitta adsorberade på partiklar. Olika plastmaterial är också olika benägna att adsorbera organiska miljögifter på ytan.

6 Konklusion av resultaten

De viktigaste slutsatserna från denna undersökning är:

- Reningsverken tar emot stora mängder mikrokräp, och trots att merparten, ofta över 90 %, avskiljs är utsläppen i recipienten ansevärt.
- Ungefär en tiondel av mikrokräpet i inkommande vatten består av olika sorters plaster medan resten är icke-syntetiska antropogena fibrer, t ex bomull.
- Reningsverken avskiljer större partiklar mer effektivt än mindre.
- Reningsverken avskiljer icke-syntetiska fibrer mer effektivt än plastpartiklar
- Sandfilter som slutsteg har liten effekt på reduktionen av mikrokräp i reningsverket medan skivfilter tycks fungera bättre, åtminstone för de större partiklarna ($>300\text{ }\mu\text{m}$).
- MBR avskiljer partiklar mycket effektivt. Koncentrationen av mikrokräp var bara en tiondel så stor efter passage genom MBR jämfört med Henriksdals ordinarie process.
- FTIR-analys visar att plastpartiklarna består av bl. a. polypropen, polyeten, polyamid och akrylatplast.
- Metoder för provtagning av avloppsvattnet fungerade tillfredställande.

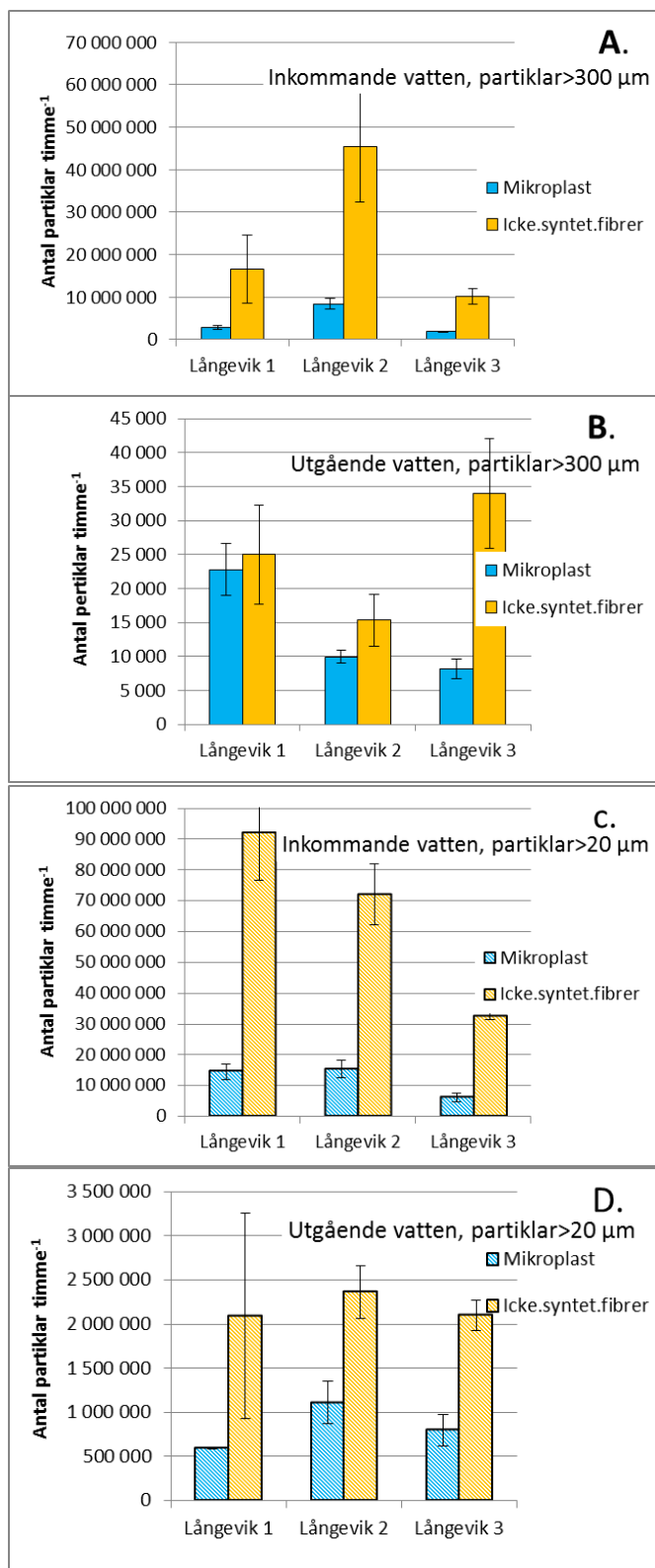
7 Referenser

- Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K. & Janssen, C.R., 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2199-2204.
- Fendall, L.S. & Sewell, M.A., 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1225-1228.
- Galgani, F., Fleet, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A. & Janssen, C., 2010. Marine Strategy Framework Directive, Task Group 10 Report, Marine litter. JRC Scientific and Technical Reports.
- Magnusson, K. & Norén, F., 2011. Mikroskopiskt skräp i havet - metodutveckling för miljöövervakning. In: Rapport till Naturvårdsverket (Ed.). Swedish Environmental Protection Agency, p. 22.
- Naturskyddsföreningen, 2013. Raklödder till fiskarna. Om skräp i havet -källor, problem och lösningar. p. 32.
- Saido, K., Amamiya, K., Sato, H., Okabe, A., Ogawa, N., Kamaya, Y., Kogure, K., Nishimura, M., Okukawa, K. & Kusui, T., 2012. Analysis of styrene oligomer contaminants generated from marine debris polystyrene on the coast of Okinawa. *Bunseki Kagaku*, in Japanese (abstract in English) 61, 629-636.
- Sajiki, J. & Yonekubo, J., 2003. Leaching of bisphenol A (BPA) to seawater from polycarbonate plastic and its degradation by reactive oxygen species. *Chemosphere* 51, 55-62.
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A. & Da Ros, L., 2013. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 130, 54-61.
- Zarfl, C. & M, M., 2010. Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin* 60, 1810-1814.

Appendix

Data från Långeviksverket, Lysekil.

Långeviksverket är avsevärt mindre än de två övriga avloppsreningsverk som ingick i studien. Här är belastningen ca 12 000 pe, vilket ska jämföras med Henriksdal med som har 750 000 pe och Ryaverket som har 740 000 per. Det innebär att en betydligt mindre mängd mikroskräp passerar genom Långeviksverket vilket ger mycket låga staplar i de figurer i rapporten som visar antal partiklar per timme i inkommande och utgående vatten. Data från Långeviksverket presenteras därför här i separata figurer för att tydligare åskådliggöra vilka partikelmängder som passerar (se figurer nästa sida).



Figur Appendix 1: Antal mikroskräppartiklar (mikroplast och icke-syntetiska antropogena fibrer) >300 μm och >20 μm som kommer in till och som lämnar Långeviksverket per timme. Staplarna anger medelvärde $\pm$ SE (300 μm : n=3, 20 μm : n=2).



IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60,100 31 Stockholm
Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90
www.ivl.se