

Mikroskräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk



Provtagning av avloppsvatten vid VEAS avloppsreningsverk

Kerstin Magnusson

Författare: Kerstin Magnusson, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: Miljødirektoratet, Norge

Fotograf: Terje Farestveit

Rapportnummer: C 71

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.....	3
Summary	5
1 Bakgrund.....	7
2 Avloppsreningsverk som ingick i studien	7
3 Metoder för provtagning och analys.....	8
4 Resultat	9
4.1.1 Definition av partikelstorlekar.....	9
4.1.2 Koncentration av mikrokröp i inkommande och utgående avloppsvatten.....	9
4.1.3 Fördelning mellan olika kategorier av mikroplastpartiklar	11
4.1.4 Antalet partiklar i inkommande och utgående vatten per timme	12
4.1.5 Antal mikrokröppartiklar uttryckt per personekvivalent	14
4.1.6 Mängden mikrokröp före och efter biologisk rening, VEAS.....	15
5 Diskussion.....	16
6 Referenser	18

Sammanfattning

Mikroskopiska skräppartiklar analyserades i avloppsvatten från tre avloppsreningsverk, VEAS (700 000 personekvivalenter, pe), Tönsberg (185 000 pe) och Fuglevik (85 000 pe). Prover togs genom att filtrera inkommande och utgående vatten, samt vatten före det biologiska reningssteget på VEAS. Filtren analyserades under stereolupp, och mikrokräppartiklar räknades och kategoriserades. Genom att använda filter med två olika maskstorlekar, 300 µm och 20 µm, kunde skillnader mellan olika storleksfraktioner av skräp undersökas. Det bör poängteras att partiklar som kan fångas på 20 µm-filter förstås även inkluderar partiklar som fångas med ett 300 µm-filter.

De analyserade partiklarna delades upp i huvudkategorierna *mikroplaster* och *icke-syntetiska antropogena fibrer* (i rapporten refererade till som *icke-syntetiska fibrer*). I den senare gruppen fanns t.ex. bomullsfibrer från kläder. Studien byggde på ett litet antal provtagningar, endast två prov av in-respektive utvatten från de tre avloppsreningsverken, vilket innebär att data bör tolkas med en viss försiktighet. Trots detta erhöles viktig information om avloppsreningsverkens betydelse som inkörsport för mikrokräp till miljön. De viktigaste resultaten från studien kan sammanfattas i följande punkter:

- Mängden mikroplastpartiklar som lämnade med utgående vatten var högst från VEAS; ca 35 miljoner mikroplastpartiklar ≥ 20 µm och 350 000 plastpartiklar ≥ 300 µm per timme vid provtagningstillfällena. Utgående vatten från Fuglevik transporterade ut ca 3 miljoner plastpartiklar ≥ 20 µm och ca 25 000 plastpartiklar ≥ 300 µm per timme, och utgående vatten från Tönsberg 3 miljoner plastpartiklar ≥ 20 och 350 000 plastpartiklar ≥ 300 µm per timme.
- Mängden icke-syntetiska fibrer ≥ 20 µm som gick ut med utgående vatten var högst från VEAS, ~500 miljoner fibrer per timme. Från Tönsberg och Fuglevik transporterades ut ca 20 miljoner fibrer ≥ 20 µm per timme. Icke syntetiska fibrer ≥ 300 µm var flest i utgående vatten från Tönsberg, nära 2 miljoner fibrer per timme. Från VEAS transporterades ut ca 700 000, och från Fuglevik ca 300 000 icke-syntetiska fibrer ≥ 300 µm per timme.
- Trots det relativt stora antal mikrokräppartiklar i utgående vatten utgjorde dessa ändå bara en bråkdel av vad som kom in till verken med inkommande vatten. Retentionsgraden (=andelen inkommande skräppartiklar som hölls kvar i reningsverken) i VEAS och Fuglevik var 99 % för partiklar ≥ 300 µm, och 90-97 % för partiklar ≥ 20 µm. Retentionsgraden var något lägre i Tönsberg; ca 97 % för partiklar ≥ 300 µm och ca 87 % för partiklar ≥ 20 µm.
- I VEAS och Fuglevik fann man att retentionen av partiklar ≥ 300 µm var högre än för partiklar < 300 µm, men i Tönsberg kunde ingen sådan skillnad observeras.

- Det fanns indikationer från samtliga verk på att formen på plastpartiklarna hade betydelse för retentionen. I storleksfraktionen $\geq 300 \mu\text{m}$ hölls fibrer kvar i större utsträckning än fragment och flagor. För plastpartiklar $< 300 \mu\text{m}$ kunde dock inte en sådan skillnad noteras.
- Analyser av vattnet före och efter passage genom det biologiska reningssteget i VEAS visade att 90 % av plastpartiklarna $\geq 300 \mu\text{m}$ och 97 % av de icke syntetiska fibrerna $\geq 300 \mu\text{m}$ fastnade i den biologiska bädden. Ingen signifikant effekt av den biologiska reningen kunde dock observeras för partiklar $< 300 \mu\text{m}$.
- Då data normaliserades till de tre avloppsreningsverkens storlek, d.v.s. till deras respektive pe, fann man att det kom in 2 respektive 15 gånger mer mikrokräp per pe och timme till VEAS jämfört med Tönsberg och Fuglevik. Däremot gick det ut färre partiklar per pe från VEAS än från de övriga två verken.
- Mängden mikrokräp normaliserad till pe i utgående vatten från VEAS och Fuglevik låg i nivå med vad man funnit i tidigare studier på utgående vatten från svenska och finska avloppsreningsverk, medan utsläppen från Tönsberg var betydligt högre (Magnusson och Wahlberg, 2014; Setälä och Talvitie, opublicerad data).

Summary

Microscopic litter particles in waste water from three waste water treatment plants (WWTPs), VEAS (700 000 population equivalents, pe), Tönsberg (185 000 pe) and Fuglevik (85 000 pe) were studied. Samples were taken by filtration of influent and effluent waste water, and also from the water right before the biological treatment at VEAS. The filters were analysed with stereomicroscopy, and the microlitter particles counted and categorized. To compare particles of different size classes, filters with two different mesh sizes were applied: 300 μm and 20 μm . It should be emphasized that particles that are collected on a 20 μm -filter will of course include also the size of particles that are collected on a particles $\geq 300 \mu\text{m}$ filter.

The analysed particles were divided into two main categories: *microplastics* and *non-synthetic anthropogenic fibres* (in the report referred to as *non-synthetic fibres*). The latter category included e.g. cotton fibres from clothes. The study was based on a limited amount of data; only two samples were taken from influent and two from effluent water at each WWTP. So caution should be taken when interpreting the results. Still, valuable information on the importance of the WWTPs as gateways for microlitter to the environment has been obtained. The most important results from the study are:

- The amount of microplastic particles leaving with effluent water was highest from VEAS; ~35 million plastic particles $\geq 20 \mu\text{m}$ and 350 000 plastic particles $\geq 300 \mu\text{m}$ per hour. Effluent water from Fuglevik transported out ~3 million plastic particles $\geq 20 \mu\text{m}$ and ~ 25 000 plastic particles $\geq 300 \mu\text{m}$ per hour, and effluents from Tönsberg, 3 million plastic particles ≥ 20 and 350 000 plastic particles $\geq 300 \mu\text{m}$ per hour.
- The number of non-synthetic fibres $\geq 20 \mu\text{m}$ leaving with the effluent water was highest from VEAS, ~500 million fibres per hour. From Tönsberg and Fuglevik ~20 million fibres $\geq 20 \mu\text{m}$ were transported out per hour. Non-synthetic fibres $\geq 300 \mu\text{m}$ were most numerous in effluent water from Tönsberg, close to 2 million fibres per hour. From VEAS 700 000, and from Fuglevik 300 000 non-synthetic fibres $\geq 300 \mu\text{m}$ were transported out with effluent water per hour.
- In spite of the fact that a fairly large number of microlitter particles were found leaving the WWTPs with effluent water, they still made up only a fraction of what was coming in with the influent water. The retention efficiency (= the percentage of litter particles in incoming water being retained in the WWTPs) at VEAS and Fuglevik was 99% for particles $\geq 300 \mu\text{m}$, and 90-97 % for particles $\geq 20 \mu\text{m}$. The retention efficiency was lower at Tönsberg, 97% for litter particles $\geq 300 \mu\text{m}$ and 87% of particles $\geq 20 \mu\text{m}$.
- At VEAS and Fuglevik the retention efficiency was higher for particles $\geq 300 \mu\text{m}$ than for particles $< 300 \mu\text{m}$, but at Tönsberg no such difference was observed.
- At all WWTPs there were indications that the shape of the plastic particles had an effect on the retention efficiency. In the size fraction $\geq 300 \mu\text{m}$, fibres seemed

to be retained to a higher degree than fragments and flakes. However, no such difference in retention could be observed for microplastics <300 µm.

- Analyses of the water before and after passing through the biological treatment at VEAS revealed that 90% of the plastic particles ≥ 300 µm and 97 % of the non-synthetic fibres ≥ 300 µm were retained here. No significant reduction by the biological treatment could be observed for litter particles <300 µm.
- When data were normalised to the size of the WWTPs by dividing the concentrations of microlitter in influent and effluent water with their pe, it was revealed that two times more microlitter per pe and hour was coming into VEAS than to Tönsberg and 15 times more than to Fuglevik. However, fewer particles per pe and hour were leaving from VEAS with effluent water than from the other two WWTPs.
- The pe normalised amounts of microlitter in effluent water from VEAS and Fuglevik were in the same range as what was found in a studies of Swedish and Finnish WWTPs, while levels in effluent water from Tönsberg were considerably higher (Magnusson and Wahlberg, 2014; Setälä and Talvitie, unpublished data).

1 Bakgrund

Förekomst av mikroskopiska skräppartiklar i havet har fått stor uppmärksamhet de senaste åren. Problemet har orsakat åtskilliga rubriker i media och en rad forskningsprojekt har initierats. Marint skräp har olika ursprung och det finns starka indikationer på att tillförsel till havet via utgående vatten från avloppsreningsverken kan vara av betydelse (Magnusson & Norén, 2014; Magnusson & Wahlberg, 2014). Andra källor och tillförselvägar är t.ex. strandskräp som fragmenteras till mindre partiklar, eller tillförsel av skräppartiklar via dagvattenavrinning. Mikrokräpet i havet misstänks kunna ha en toxisk påverkan på marina organismer. Fragment av polykarbonat, epoxi och polystyren ger i från sig hormonstörande och cancerogena ämnen som bisfenol A och styren. Skadliga plastadditiv som flamskyddsmedel och mjukgörare kan också diffundera ut från plastpartiklar. Mikroplast och andra skräppartiklar som t.ex. bomullsfiber som passerar genom reningsverk kan dessutom adsorbera andra hydrofoba miljöfarliga ämnen i avloppsvattnet, såsom nonylfenol, ftalater eller PCB, till sin yta (Klečka *et al.*, 2010; Pettersson & Wahlberg, 2010 [ENREF 4](#)). Marina organismer som får i sig mikrokräppartiklar riskerar därmed att utsättas för förhöjda halter av en rad olika miljöfarliga ämnen.

Det är viktigt att poängtera att avloppsreningsverken är att betrakta som en inkörsport snarare än en källa för mikrokräp till miljön, medan det är de hushåll och industrier som är anslutna till verken som är de egentliga källorna. Hushållens bidrag till mikrokräp utgörs t.ex. av textilfibrer i sköljvattenvatten från tvättmaskiner, mikroplastpartiklar i hygienprodukter, skräppartiklar i skurvatten som hålls ut i vasken eller saker som medvetet slängs i toaletter eller släpps ut med disk- och duschvatten. Det finns dock fall där avloppsreningsverken själva är en källa till plastskräp. Man har noterat att de plastbitar som tillsätts för att ge en tillväxtyta för mikroorganismer i avloppsreningsverkens biologiska reningssteg kan hamna i recipientvattnet, framför allt i samband med bräddning av avloppsvatten.

Syftet med denna studie har varit att undersöka hur mycket mikrokräppartiklar som förs ut i vattenrecipienter via avloppsreningsverkens utgående vatten. För att få ett mått på hur stor andel inkommande partiklarna som hålls kvar i verken, och alltså inte förs ut i recipienten, har även jämförelser gjorts mellan koncentrationerna av mikrokräp i inkommande och utgående vatten. Slutligen har man med undersökningen velat ge information till reningsverken om hur mycket och vilken sorts skräppartiklar som tillförs avloppsvattnet så att de kan bedriva ett mer effektivt uppströmsarbete.

2 Avloppsreningsverk som ingick i studien

Tre norska avloppsreningsverk ingick i studien, Fuglevik, Tönsberg och VEAS. Fuglevik och Tönsberg har enbart kemisk rening där man faller ut fosfater i avloppsvattnet, medan VEAS dessutom har ett biologiskt steg där kvävet renas bort med hjälp av mikroorganismer. Vilka reningstekniker som används vid respektive verk, antalet

personer som är anslutna till dem uttryckt som personekvivalenter (pe), samt flödes hastigheter under provtagningstillfällena finns listade i tabell 1.

Tabell 1. Kortfattad information om de tre reningsverk som ingick i studien. Med flödes hastighet avses de flöden som rådde vid tiden för provtagning av avloppsvattnet.

Avloppsreningsverk	Behandlingsteknik	Personekvivalent (pe)	Flödes hastighet ($\text{m}^3 \text{timme}^{-1}$)
VEAS	Kemisk/biologisk	700 000	14700 -18100
Tönsberg	Kemisk	185 000	1080
Fuglevik	Kemisk	85 000	540

3 Metoder för provtagning och analys

Inkommande och utgående avloppsvatten filtrerades genom filter med 300 resp. 20 μm maskstorlek, och mängden mikrokräp i det material som fångades upp på filtren analyserades. Från VEAS filtrerades dessutom avloppsvattnet innan det nådde den biologiska reningen för att undersöka om det i detta steg skedde någon reduktion av mikrokräpkoncentrationen. Det inkommande vattnet innehöll avsevärt mycket mer organiskt material än det utgående, vilket gjorde att vid provtagning av inkommande vatten satte filtren igen snabbare och den filtrerade volymen blev mindre än vid provtagning av utgående vatten. Av samma skäl (igensättning av filter) filtrerades en mindre vattenvolym med det finmaskigare 20 μm -filtret än med det grövre 300 μm -filtret. Mängden vatten som filtrerades med de olika filtertyperna visas i tabell 2. Alla filtreringar av inkommande vatten samt filtreringar av utgående vatten med 20 μm -filter gjordes genom att vattenprov samlades i dunkar och hölls över ett filter i en filterhållare kopplad till en vakuumsug. Filtrering av utgående vatten med 300 μm -filter gjordes genom att sänka ner en filterhållare i vattenströmmen och pumpa vattnet igenom filtret.

Tabell 2. Provtagningsvolymerna för de olika fraktionerna av avloppsvatten som analyserades i studien.

	300 μm -filter	20 μm -filter
Inkommande avloppsvatten	0,7 – 2,5 liter	0,25 – 0,5 liter
Avloppsvattnet innan det passerat det biologiska steget	37 – 165 liter	3,3 – 42,5
Utgående avloppsvatten	37 -230 liter	2,0 – 18 liter

Två prover togs från varje vattenpaket. Från Fuglevik och Tönsberg togs alla prover mitt på dagen, och eftersom de togs i omedelbar anslutning till varandra kan de betraktas som äkta replikat. Från VEAS togs integrerade dygnsprover på inkommande vatten under två dygn i rad. De är därmed inte replikat i egentlig mening, utan kan sägas representera ett genomsnitt av den partikelkoncentration som fanns under de två

provtagningsdygnet. Prover på utgående vatten från VEAS och på vatten före det biologiska steget, togs vid två tillfällen, kl. 19:30 samma dygn som inkommande vatten samlades in. Denna skillnad i provtagningsförfarande vid de tre verken kommer dock inte att ligga till grund för några vidare tolkningar i rapporten.

All provtagning och filtrering av vattnet gjordes av personal vid respektive verk. Filterproverna skickades sedan för analys till IVL Svenska Miljöinstitutet.

Material som samlats upp på filtren analyserades med hjälp av stereomikroskop (50 gångers förstoring). Alla antropogena partiklar, d.v.s. alla *mikrokräppartiklar*, räknades och delades in i *mikroplast* eller *icke-syntetiska antropogena fibrer* (i fortsättningen benämnda "*icke-syntetiska fibrer*"). Till den senare gruppen hör t.ex. fibrer av bomull, ull, eller andra material som uppenbarligen har sitt ursprung i produkter tillverkade av människan. Cellulosafibrer som härrörde från toalettpapper räknades dock inte. Om det vid analysen rädde någon tvekan om en viss fiber eller partikel var av plast eller inte gjordes ett smälttest där den placerades på ett objektsglas som hölls över en spritlåga. Partiklar som smälte bedömdes vara av plast. Plastpartiklarna delades in i tre undergrupper baserade på form: fibrer, fragment och flagor. Plastflagor inkluderade färgflagor samt mycket tunna plastpartiklar.

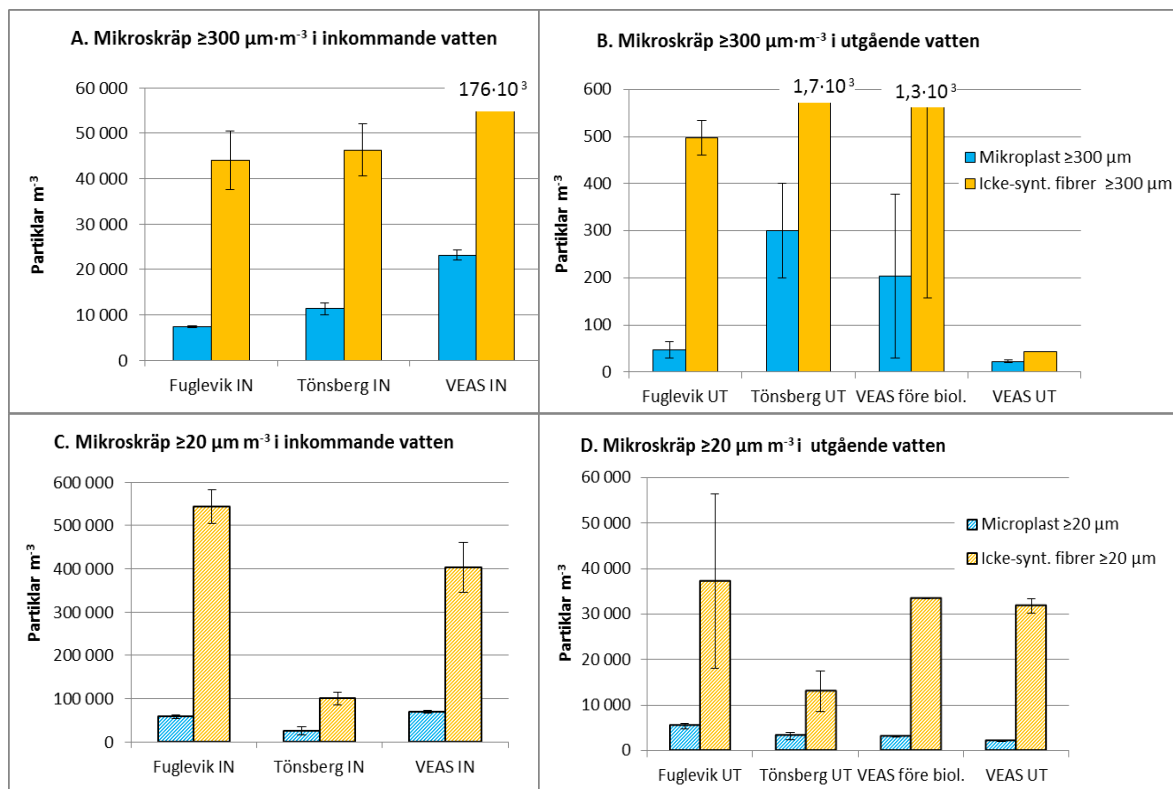
4 Resultat

4.1.1 Definition av partikelstorlekar

I texten benämns det analyserade mikrokräpet oftast som partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ eller partiklar $\geq 20 \mu\text{m}$. I realiteten är det dock mer korrekt att säga att det rör sig om *partiklar som fångats upp på ett 300 μm - resp. 20 μm -filter*. Många av de fibrer som fastnar på 300 μm -filtret, både plastfibrer, och bomullsfibrer och andra icke-syntetiska fibrer, har en diameter som är avsevärt mindre än 300 μm , ofta ca 20 μm . Det är dessutom värt att notera att partiklarna $\geq 300 \mu\text{m}$ ingår som en del av gruppen partiklar $\geq 20 \mu\text{m}$.

4.1.2 Koncentration av mikrokräp i inkommande och utgående avloppsvatten

VEAS hade de högsta koncentrationen (antal m^{-3}) av alla fraktioner av mikrokräp i inkommande vatten och de lägsta i utgående vatten. Enda undantaget var icke-syntetiska fibrer $\geq 20 \mu\text{m}$ där koncentrationen i inkommande vatten var högst för Fuglevik och lägst i utgående vatten från Tönsberg (Fig. 1). Skillnaden i partikelkoncentration mellan inkommande och utgående vatten var mycket stor, vilket innebär att den absoluta majoriteten av partiklarna som kom in till verken stannade kvar i dem och fördes inte ut i recipienten med utgående vatten. Graden av kvarhållning (=retention) av den större storleksfraktionen (mikrokräp $\geq 300 \mu\text{m}$) var ca 99 % för VEAS och Fuglevik, och något lägre för Tönsberg (Tabell 2). Av den finare fraktionen (20-300 μm) släpptes något mer igenom till utgående vatten. För mikroplasterna hade VEAS den högsta retentionsgraden även här, medan Tönsberg hade den lägsta.



Figur 1 Koncentrationen mikrokräppartiklar (antal m^{-3}) i inkommande och utgående till och från avloppsreningsverken. Fig. A och B visar partiklar uppsamlade på 300 μm -filter och de fig. C och D partiklar som samlats upp på 20 μm -filter. "VEAS före biol." är vatten före det biologiska reningssteget. Staplarna anger medelvärde av medelvärde \pm SE (n=2 utom för VEAS före biologisk rening där n=1). Notera olika skalor på y-axlar.

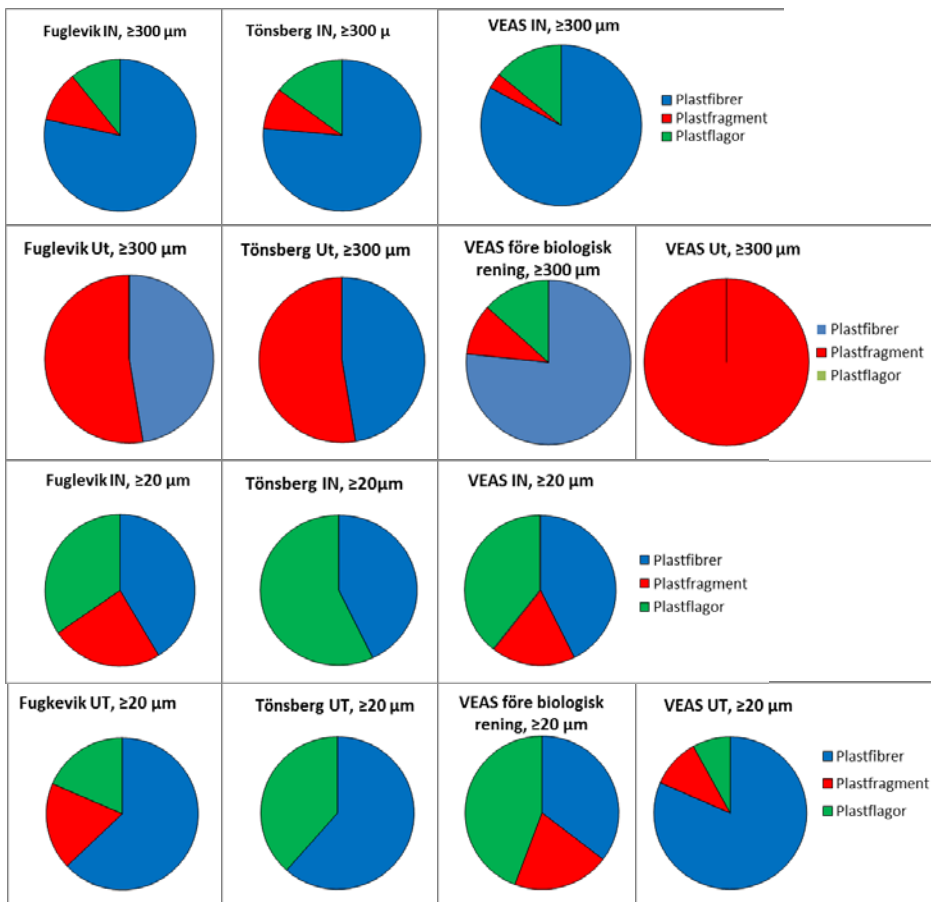
Tabell 2. Retention av mikrokräp i de tre avloppsreningsverken, d.v.s. andelen mikrokräp (%) i inkommande vatten och som inte fördes ut med utgående vatten. Siffrorna är medelvärden av två mätningar på in-resp. utvatten.

	Retentionseffektivitet (%)			
	Skräppartiklar $\geq 300 \mu m$		Skräppartiklar $\geq 20 \mu m$	
	Mikroplast	Icke-synt.fibrer	Mikroplast	Icke-synt.fibrer
Fuglevik	99,36	98,87	90,69	93,16
Tönsberg	97,35	96,24	87,62	87,00
VEAS	99,90	99,98	97,00	92,11

4.1.3 Fördelning mellan olika kategorier av mikroplastpartiklar

De plastpartiklar som observerades i proverna delades in i undergrupperna plastfibrer, plastfragment och plastflagor. Fördelningen mellan dessa tre grupper av partiklar i inkommande och utgående vatten visas i figur 2. Eftersom det var få prover som analyserades kan man inte dra alltför långtgående slutsatser. Men resultaten indikerar att i inkommande vatten till samtliga tre verk var det fibrer som var den dominerande plasttypen i storleken $\geq 300 \mu\text{m}$ (Fig.2, översta raden). Andelen plastfibrer var dock lägre i utgående vatten vilket betyder att plastfibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ hållits kvar i reningsverken i större utsträckning än plastfragment och plastflagor $\geq 300 \mu\text{m}$ (Fig.2, andra raden).

När filtreringen gjordes med det finare $20 \mu\text{m}$ -filtret, och därmed många fler plastpartiklar fångades upp (se Fig.1), var andelen plastfibrer högre i utgående vatten än i inkommande (Fig.2, de två nedre raderna). Det indikerar att det i storleksfraktionen $\geq 20 \mu\text{m}$ var en större kvarhållning i reningsverken av plastfragment och plastflagor än av plastfibrer.



Figur 2. Relativ fördelning mellan olika kategorier av mikroplast: plastfibrer, plastfragment och plastflagor i inkommande vatten (de två övre raderna) och utgående vatten (de två undre raderna) från de tre avloppsreningsverken. Siffrorna baseras på *antal* partiklar.

4.1.4 Antalet partiklar i inkommande och utgående vatten per timme

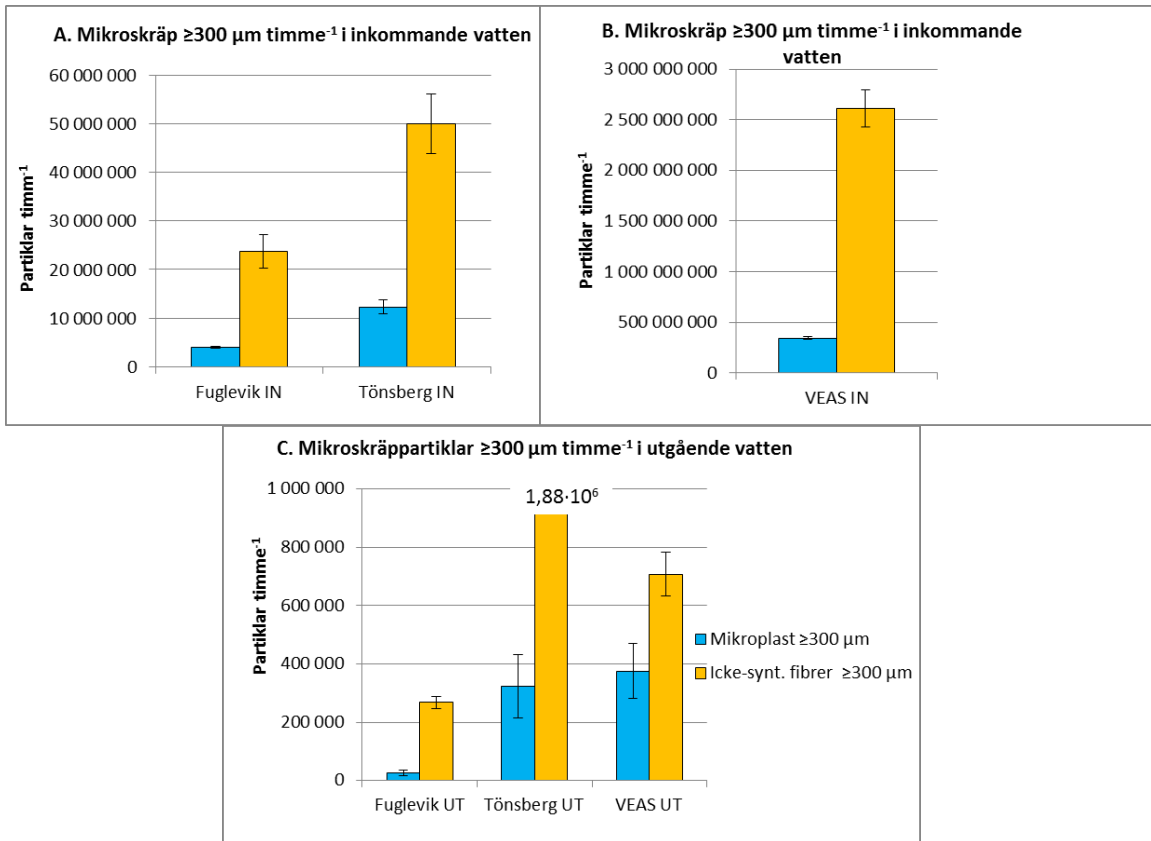
Genom att multiplicera koncentrationen av partiklar i vattnet (Fig. 1) med flödes hastigheten (Tabell 1) erhöles ett mått på hur många mikroskräppartiklar som nådde avloppsreningsverken med inkommande vatten och hur många som lämnade med utgående vatten under en viss tid.

Man fann att det till VEAS gick in $350 \cdot 10^6$ mikroplastpartiklar och $2,61 \cdot 10^9$ icke-syntetiska fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ per timme, vilket var ca 30 respektive 50 gånger fler än vad som kom in till Tönsberg, och ca 100 gånger fler av bägge kategorier än vad som kom in till Fuglevik (Fig. 3, notera olika skala på y-axlar). Inkommande partiklar $\geq 20 \mu\text{m}$ uppgick till $1,05 \cdot 10^9$ plastpartiklar och $5,97 \cdot 10^9$ icke-syntetiska fibrer till VEAS, vilket var 20 respektive 50 gånger fler än till de övriga två verken (Fig. 4).

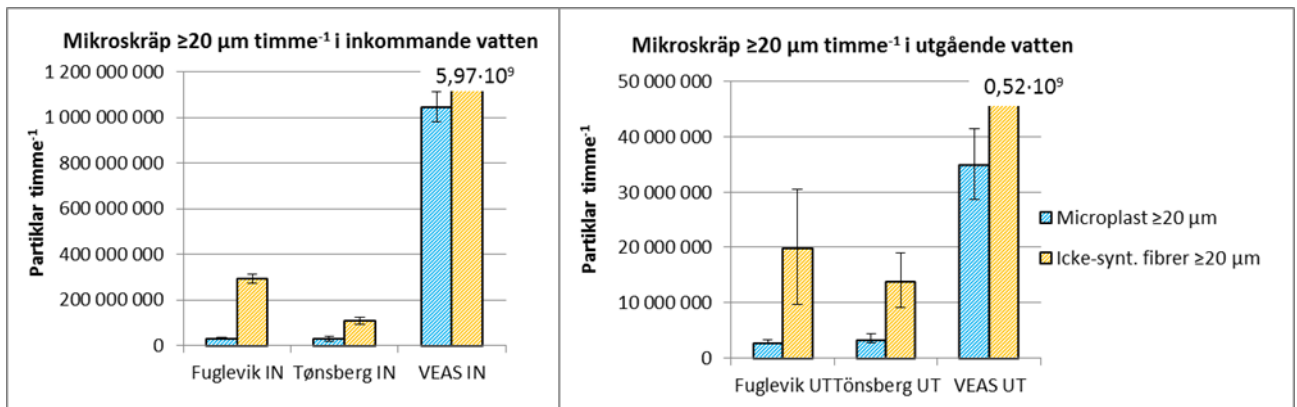
Antalet mikroplastpartiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ som lämnade de tre avloppsreningsverken med utgående vatten var ungefär detsamma från VEAS och Tönsberg, 375 000 resp. 325 000 mikroplastpartiklar per timme, medan utgående vatten från Fuglevik förde med sig en tiondel så många, ca 25 000 mikroplastpartiklar per timme (Fig. 3). Mängden icke-syntetiska fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ som lämnade med utgående vatten var högst från Tönsberg, $1,88 \cdot 10^6$ fibrer per timme. Från VEAS var det $0,71 \cdot 10^6$ och från Fuglevik $0,27 \cdot 10^6$ icke-syntetiska fibrer per timme i utgående vatten.

Antalet plastpartiklar $\geq 20 \mu\text{m}$ som lämnade verken var ca tio gånger högre från VEAS än från de två andra verken, $35,0 \cdot 10^6$ mikroplastpartiklar per timme från VEAS jämfört med $3,51 \cdot 10^6$ från Tönsberg och $2,91 \cdot 10^6$ från Fuglevik (Fig. 4). Utflödet av icke-syntetiska fibrer $\geq 20 \mu\text{m}$ var högst från VEAS, $523 \cdot 10^6$ fibrer per timme, medan det uppgick till $14,0 \cdot 10^6$ fibrer per timme från Tönsberg och $20,1 \cdot 10^6$ från Fuglevik (Fig. 4).

IVL-rapport C 71 Mikrokräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk



Figur 3 Mängden mikroplastpartiklar och icke-syntetiska antropogena fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ som kommer in till avloppsreningsverken (fig. A och B) och som lämnar med utgående vatten (undre figurer) per timme. Staplarna anger medelvärde av medelvärde \pm SE (n=2). Notera olika skalor på y-axlar.



Figur 4 Mängden mikroplastpartiklar och icke-syntetiska antropogena fibrer $\geq 20 \mu\text{m}$ som kommer in till avloppsreningsverken (A) och som lämnar med utgående vatten (B) per timme. Staplarna anger medelvärde av medelvärde \pm SE (n=2). Notera olika skalor på v-axlar.

4.1.5 Antal mikrokräppartiklar uttryckt per personekvivalent

Det är stor skillnad i belastning på de tre avloppsreningsverken (se siffror för pe i tabell 1) vilket förstås påverkar flödet av mikrokräppartiklar. För att få ett mått som var normaliserat till belastningen dividerades mängden mikrokräppartiklar i inkommande och utgående vatten med personekvivalenten (pe) för respektive verk. Tabell 3, innehåller pe-normaliserad data för inkommande vatten och visar enbart resultat från de tre avloppsreningsverken som ingick i denna studie. I tabell 4, som visar pe-normaliserad data för utgående vatten, inkluderas även resultat från andra avloppsreningsverk i Sverige och Finland.

Siffrorna bör tolkas med viss försiktighet eftersom de baseras på få prover. Men resultaten från analyserna visade att det till VEAS kom in 2 respektive 15 gånger mer mikrokräp per pe och timme med inkommande vatten än till Tönsberg och Fuglevik (Tabell 3). Däremot gick det ut färre partiklar per pe och timme från VEAS än från de övriga Tönsberg och Fuglevik (Tabell 4).

Den pe-normaliserade mängden mikrokräp i utgående vatten från VEAS och Fuglevik låg i nivå med flertalet andra undersökta avloppsreningsverk i Sverige och Finland, medan utsläppen från Tönsberg var betydligt högre (Tabell 4).

Tabell 3. Mängden mikrokräp i inkommande vatten, normaliserat till personekvivalenten (pe), till de tre avloppsreningsverken som ingick i studien.

INKOMMANDE VATTEN	Mikrokräp $\geq 300 \mu\text{m}$ per timme och pe		Mikrokräp $\geq 20 \mu\text{m}$ per timme och pe	
	Mikroplast	Icke-synt. fibrer	Mikroplast	Icke-synt. fibrer
VEAS, Oslo, 700 000 pe	491	3733	1496	8533
Tönsberg, 185 000 pe	66	270	153	584
Fuglevik, 85 000 pe	47	279	368	3450

Tabell 4. Mängden mikrokräp i utgående vatten, normaliserat till personekvivalenten (pe), från ett antal nordiska avloppsreningsverk. Understrukna värden är från föreliggande studie.

UTGÅENDE VATTEN	Mikrokräp $\geq 300 \mu\text{m}$ per timme och pe		Mikrokräp $\geq 20 \mu\text{m}$ per timme och pe	
	Mikroplast	Icke-synt. fibrer	Mikroplast	Icke-synt. fibrer
Viikinmäki, Helsingfors ¹ 800 000 pe	0,6	0,4	Ej analyserat	Ej analyserat
Henriksdal, Stockholm ² 750 000 pe	1,2	0,2	35	76
Ryaverket, Göteborg ² 740 000 pe	0,2	0,07	90	350
<u>VEAS, Oslo</u> <u>700 000 pe</u>	<u>0,5</u>	<u>0,9</u>	<u>10</u>	<u>69</u>
<u>Tönsberg</u> <u>185 000 pe</u>	<u>1,75</u>	<u>10,2</u>	<u>189</u>	<u>2830</u>
<u>Fuglevik</u> <u>85 000 pe</u>	<u>0,3</u>	<u>3,2</u>	<u>41</u>	<u>165</u>
Hyvinkää 40 500 pe	0,3	0,4	Ej analyserat	Ej analyserat
Långeviksverket, Lysekil ¹ ; 12 500 pe	0,8	2,1	69	182

¹ Data från en ännu opublicerad studie av nordiska avloppsreningsverk.

² Data från Magnusson och Wahlberg, 2014.

4.1.6 Mängden mikrokräp före och efter biologisk rening, VEAS

Ett av proven tagna före biologisk rening med $20 \mu\text{m}$ -filter innehöll en orimligt stor mängd plast och icke-syntetiska fibrer. Det finns anledning att misstänka att det blivit kontaminerat och därför uteslöt det från analysen.

Resultaten visar att koncentrationen av partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ sjönk markant efter det biologiska steget (Tabell 5). Koncentrationen av mikroplast $\geq 300 \mu\text{m}$ var tio gånger högre och koncentrationen av icke-syntetiska fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ var 30 gånger högre i vattnet före biologisk rening än i utgående vatten. Däremot var det inte någon mätbar skillnad i koncentration av mikrokräp $\geq 20 \mu\text{m}$ i vattnet före och efter biologisk rening.

Tabell 5. Koncentrationen av de olika mikrokräpfraktionerna (mikroplast $\geq 300 \mu\text{m}$ och $\geq 20 \mu\text{m}$) och icke-syntetiska fibrer ($\geq 300 \mu\text{m}$ och $\geq 20 \mu\text{m}$) i inkommande vatten, vatten före biologisk rening och i utgående vatten från VEAS. Värdena anger medelvärde \pm SE. Antal replikat är 2, utom för prov $\geq 20 \mu\text{m}$ före biologisk rening där endast ett prov analyserades.

	$\geq 300 \mu\text{m}$		$\geq 20 \mu\text{m}$	
	Mikroplast (antal m^{-3})	Icke-syntetiska fibrer (antal m^{-3})	Mikroplast (antal m^{-3})	Icke-syntetiska fibrer (antal m^{-3})
VEAS inkommande vatten	$23,1 \pm 1,1 \cdot 10^3$	$176 \pm 14,4 \cdot 10^3$	$47,3 \pm 4,7 \cdot 10^3$	$226,8 \pm 42,8 \cdot 10^3$
VEAS före biologisk rening	204 ± 174	$1\ 268 \pm 1\ 110$	$2,69 \cdot 10^3$	$31,0 \cdot 10^3$
VEAS utgående vatten	$22,6 \pm 3,5$	$43,2 \pm 0,3$	$2,10 \pm 0,17 \cdot 10^3$	$31,7 \pm 1,6 \cdot 10^3$

5 Diskussion

De tre avloppsreningsverken är olika stora och inflödet av mikrokräppartiklar via inkommande vatten skiljde sig också väsentligt mellan dem. VEAS med 700 000 pe är störst och tog emot 30 till 100 gånger fler mikroplastpartiklar och icke-syntetiska fibrer (t.ex. bomullsfibrer från kläder) per timme än de övriga två verken. Även om inflödet av skräppartiklar normaliserades till verkens pe kom det in fler mikrokräppartiklar till VEAS än till övriga två verk. Proverna på inkommande vatten från VEAS utgjordes av integrerade dygnsvattenprover, medan prover från Tönsberg och Fuglevik togs vid en tidpunkt mitt på dagen. Man kan inte utesluta att man i prover från VEAS därmed fångat dygnets högsta toppar av mikrokräptillförsel till avloppsvatten från hushållen medan man inte gjort det i Tönsberg och Fuglevik. Men den högre partikelhalten i inkommande vatten skulle också kunna vara orsakad av ett högre tillskott av dagvatten med höga mikrokräpphalter till VEAS än till de övriga verken vid de tillfällen då proverna togs.

Provtagning av avloppsvattnet gjordes med filter med två olika maskstorlekar för att fånga upp olika storleksfraktioner av skräppartiklar. Filter med maskstorlek på 20 respektive 300 μm valdes för att kunna göra jämförelser med andra studier. 300 eller 330 μm -filter är storlekar som ofta använts i studier av mikrokräp i havet (Collignon et al., 2012; Eriksen et al., 2013; Magnusson & Norén, 2011). Filter med 20 μm -

maskstorlek har använts i andra studier av avloppsreningsverk (Magnusson och Wahlberg, 2014; Magnusson och Norén, 2014)..

Den absoluta merparten av mikroskräpet i inkommande vatten stannade kvar i verken och följde inte med utgående vatten ut i recipienten. Retentionen i reningsverken var mellan 87 och 97 % för storleksfraktionen $\geq 20 \mu\text{m}$, och något högre, 96-99,9 %, för partikelfraktionen $\geq 300 \mu\text{m}$. VEAS hade den högsta retentionen av mikroplaster och icke-syntetiska fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$ och av mikroplaster $\geq 20 \mu\text{m}$, medan Fuglevik hade den högsta retention av icke-syntetiska fibrer $\geq 20 \mu\text{m}$.

Eftersom partiklar av en storlek som fastnar på ett $300 \mu\text{m}$ -filter även kommer att fastna på ett $20 \mu\text{m}$ -filter kommer antalet partiklar på det senare alltid att vara högre. I inkommande vatten till VEAS och Fuglevik var det 3 respektive 8 gånger fler mikroplastpartiklar på $20 \mu\text{m}$ -filtren jämfört med $300 \mu\text{m}$ -filtren. I utgående vatten var skillnaden dock ca 100 gånger. Det innebär att partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ hölls kvar verken i betydligt större utsträckning än partiklar $< 300 \mu\text{m}$.

För Tönsberg var skillnaden mellan vad som fångades på $20 \mu\text{m}$ - och på $300 \mu\text{m}$ -filter i inkommande vatten detsamma som för de övriga två verken. Däremot var relationen mellan antal partiklar på $300 \mu\text{m}$ - och $20 \mu\text{m}$ -filtren nästan densamma i inkommande som i utgående vatten (2 gånger fler partiklar $\geq 20 \mu\text{m}$ i inkommande vatten och 7 gånger fler i utgående). Kvarhållning av partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ var alltså avsevärt lägre i Tönsberg än i VEAS och Fuglevik.

Genom att jämföra den relativa fördelningen av olika kategorier av mikroplast (plastfibrer, plastfragment och plastflagor) i inkommande vatten med fördelningen i utgående vatten, fick man ett mått på om någon kategori hölls kvar i reningsverken i större utsträckning än övriga. Resultaten visade att andelen plastfragment $\geq 300 \mu\text{m}$ utgjorde en större andel i utgående vatten än i inkommande, vilket innebar att det varit fler plastfibrer och plastflagor som hållits kvar i reningsverken.

I storleksfraktionen $\geq 20 \mu\text{m}$ fanns det i stället en viss ökning av andelen plastfibrer i utgående vatten, vilket antyder att bland de mindre plastpartiklarna var det plastfragment och plastflagor som hölls kvar i störst utsträckning.

Till skillnad från de övriga två verken har VEAS ett biologiskt reningssteg för att reducera mängden kväve i avloppsvattnet. Analyserna visade att här skedde en effektiv reduktion av partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ då vattnet passerade. Koncentrationen av plastpartiklar och icke-syntetiska fibrer $\geq 300 \mu\text{m}$, var 10 respektive 30 gånger lägre efter passage genom det biologiska steget än före. För partiklar mellan 20 och $300 \mu\text{m}$ verkade dock det biologiska steget inte ha någon kvarhållande effekt.

Trots den höga kvarhållningen av partiklar i avloppsreningsverken var det stora mängder som fördes ut med utgående vatten till recipienten. Från Tönsberg och Fuglevik var det ca 3 miljoner mikroplastpartiklar $\geq 20 \mu\text{m}$ per timme som lämnade verken med utgående vatten och från VEAS tio gånger fler, ca 35 miljoner per timme. Av partiklar $\geq 300 \mu\text{m}$ var det ca 350 000 per som lämnade med utgående vatten per timme från VEAS och Tönsberg och 25 000 från Fuglevik. Icke syntetiska fibrer $\geq 20 \mu\text{m}$ i utgående vatten uppgick till 500 miljoner från VEAS och 14 resp. 20 miljoner från Tönsberg och Fuglevik.

Om man ställer siffrorna i relation till mängden människor som utnyttjar respektive verk, uttryckt som pe, hade VEAS de lägsta utsläppen och Tönsberg de högsta. Mängden mikrokräp i utgående vatten från VEAS och Fuglevik låg i nivå med andra undersökta avloppsreningsverk i Sverige och Finland, medan utsläppen från Tönsberg var betydligt högre. Det pågick ganska omfattande byggnadsarbeten vid Tönsberg vid tiden för provtagning så risken att det skett en kontaminering av proverna kan inte helt uteslutas.

Studien av de tre norska avloppsreningsverken visade att trots att 90 % eller mer av mikrokräppartiklarna i inkommande vatten hölls kvar i verken, var det ett betydande antal mikroplastpartiklar och icke-syntetiska fibrer (t.ex. bomullsfibrer) som transporterades ut med utgående vatten. Hur stor betydelse avloppsreningsverken har som inkörsport för mikrokräp till vattenrecipienter i relation till andra källor går dock inte att uttala sig om i dagsläget eftersom den kvantitativa betydelsen av andra tillförselvägar fortfarande inte studerats i någon större utsträckning.

Tack

Ett stort tack riktas till personal från de reningsverk som deltagit i studien. Framför allt tackas Karoline Návik Hval vid VEAS, Gard Jacobsen vid Tönsbergs rensanläggning och Hans Ricard Wold vid Fuglevik för det arbete de lagt ner på provtagning av och filtrering av avloppsvattnet.

6 Referenser

- Collignon, A., Hecq, J.H., Galgani, F., Voisin, P., Collard, F. & Goffart, A., 2012. Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 64, 861-864.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Boxa, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H. & Amatoa, S., 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77, 177–182.
- Klečka, G.M., Naylor, C.G., Staples, C.A. & Losey, B., 2010. Occurrence of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in municipal wastewater treatment plants and receiving waters. *Water Environment Research* 82, 447-454.
- Magnusson, K. & Norén, F., 2011. Mikroskopiskt skräp i havet - metodutveckling för miljöövervakning. Rapport till Naturvårdsverket, p. 22.
- Magnusson, K. & Norén, F., 2014. Screening of microplastics in and down-stream a wastewater treatment plant. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C 55 p. 22.
- Magnusson, K. & Wahlberg, C., 2014. Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk (Microscopic litter particles in water from WWTPs, in Swedish) IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B 2208 p. 30.

Pettersson, M & Wahlberg, C., 2010. Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. Rapport nr. 2010-02. Svenskt Vatten AB

- Klečka, G.M., Naylor, C.G., Staples, C.A. & Losey, B., 2010. Occurrence of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in municipal wastewater treatment plants and receiving waters. *Water Environment Research* 82, 447-454.
- Magnusson, K. & Norén, F., 2014. Screening of microplastics in and down-stream a wastewater treatment plant. p. 22.
- Magnusson, K. & Wahlberg, C., 2014. Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk (Microscopic litter particles in water from WWTPs, *in Swedish*) IVL Swedish Environmental Research Institute, p. 30.
- Pettersson, M & Wahlberg, C., 2010. Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. In: Utveckling, S.V. (Ed.).

