
Svenskt Vatten

UTVECKLING

Rapport

Nr 2020-8

Kartläggning av mikroplaster – till, inom och från avloppsreningsverk

Susanne Tumlin

Cecilia Bertholds

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

RAPPORTENS TITEL	Kartläggning av mikroplaster – till, inom och från avloppsreningsverk
TITLE OF THE REPORT	Distribution analysis of microplastics in the influent, effluent and within wastewater treatment plants
FÖRFATTARE	Susanne Tumlin, Gryaab och Cecilia Bertholds, Käppalaförbundet
RAPPORTNUMMER	2020-8
ANTAL SIDOR	70
SAMMANDRAG	Projektet har analyserat mikroplaster inklusive däckpartiklar i ett antal vatten- och slamflöden – till, inom och från avloppsreningsverk. Rapporten ska hjälpa VA-huvudmännen att ta välgrundade beslut om eventuella åtgärder för att minska mängden mikroplaster till miljön. Avloppsreningsverken är mycket effektiva när det gäller att avskilja mikroplaster. Dagvatten är en stor tillförselväg, men avloppsslam innehåller mindre mikroplaster än vad som uppskattats i tidigare studier.
ABSTRACT	Microplastics, including tire particles, in a number of water- and sludge pathways within wastewater treatment plants have been analysed for number of particles, mass and type of plastic. Comparisons with previous studies have made it possible to draw some general conclusions about the distribution and fate of microplastics.
SÖKORD	Mikroplast, däckpartiklar, hushållsspillvatten, avloppsreningsverk, slam
KEYWORDS	Microplastics, tire particles, domestic wastewater, WWTP, sludge
MÅLGRUPPER	VA-organisationer, beslutsfattare, forskare
RAPPORT	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
UTGIVNINGÅR	2020
UTGIVARE	© Svenskt Vatten AB

Om projektet

PROJEKTNUMMER	18-129 och 19-106
PROJEKTETS NAMN	Avskiljning av mikroplast inkl gummipartiklar ARV (18-129) och Massbalans för mikroplast på avloppsreningsverk (19-106)
PROJEKTETS FINANSIERING	Svenskt Vatten Utveckling
Grafisk form	Bertil Örtenstrand, Ordförrådet ab

Förord

I början av 2018 startade ett samarbete mellan Gryaab och Aalborg universitet med syfte att öka kunskapen om hur effektiva dagens avloppsreningsverk är när det gäller att avskilja mikroplast.

Svenskt Vatten har bidragit med finansiering i två olika SVU-projekt (18–129 och 19–106) vilket har utökat projektets omfattning rejält vad gäller antal prov och inkludering av analys av däckpartiklar. Käppalaförbundet initierade under 2019 en liknande kartläggning med samma partner för mikroplastanalys (Aalborg universitet) och denna slutrapport inkluderar även dessa resultat. Dessutom har resultat från Sjölundaverket, som tidigare publicerats i SVU-rapport 2018:13 (Ljung et al., 2018), inkluderats som jämförelse. Sammantaget redovisas alltså resultat från olika avloppsreningsverk, olika provtagningsår, i olika omgångar och i vissa fall i olika provtagningspunkter. Det här projektet har bidragit med ny kunskap så att beslutsfattare och VA-organisationer får möjligheten att ta välgrundade beslut om vilka åtgärder, om några, som ska genomföras på och uppströms avloppsreningsverk för att minska spridningen av mikroplaster inklusive däckpartiklar till miljön.

Projektledare har varit Susanne Tumlin, utvecklingsingenjör på Gryaab och med i projektgruppen också Safa Hadi, processingenjör på Gryaab. För Käppalaförbundets mikroplastprojekt har Cecilia Bertholds varit projektledare. Professor Jes Vollertsens forskningsgrupp vid Aalborg universitet har anlitats för alla mikroplast- och däckpartikelanalyser. De driver ett välutrustat forskningslaboratorium med 14 anställda, varav fyra postdoktorander och tio doktorander/forskningsassistenter som enbart arbetar med mikroplast. Labbet är utrustat med olika typer av GC, HPLC, ICP, ATR FTIR och två μ FTIR imaging system. De senare ger den snabbaste scanningen av mikroplast som finns tillgänglig idag och den bästa upplösningen av bilder som går att uppnå genom FTIR teknologi.

Till projektgruppen har också en referensgrupp knutits som har gett värdefull återkoppling på slutrapporten; Ann Mattsson på Gryaab, Katja Närhi på Stockholm Vatten och Avfall, Emma Fältström på Sweden Water Research (SWR), Sahar Dalahmeh på SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet, Ola Palm på RISE och Hans Bertil Wittgren på VA SYD/SWR.

Maj 2020

Susanne Tumlin, Gryaab

Cecilia Bertholds, Käppalaförbundet

Innehåll

Bibliografiska uppgifter.....	1
Förord.....	2
Sammanfattning	4
Summary	5
Förkortningar och begrepp.....	8
1 Inledning	9
2 Bakgrund	10
2.1 Definition av mikroplaster	10
2.2 Negativa effekter på miljön.....	10
2.3 Källor och spridningsvägar	10
2.4 Åtgärder	11
3 Beskrivning av avloppsreningsverk.....	13
3.1 Ryaverkets reningsprocess.....	13
3.2 Käppalaverkets reningsprocess	14
3.3 Referensområden för hushållsspillvatten	15
4 Metod	17
4.1 Provpunkter	17
4.2 Provtagning	18
4.3 Provberedningsmetod.....	21
4.4 Analysmetod	22
5 Resultat	24
5.1 Hushållsspillvatten	24
5.2 Rens	26
5.3 Inkommande avloppsvatten	26
5.4 Utgående, renat avloppsvatten	28
5.5 Fett från försedimentering.....	30
5.6 Slam	31
5.7 Massbalanser	34
5.8 Jämförelse antal partiklar och massa.....	36
5.9 Däckpartiklar	37
5.10 Resultat för partiklar 500–5 000 µm från Ryaverket	40
6 Diskussion.....	44
6.1 Hushållsspillvatten och inkommande avloppsvatten	44
6.2 Reningsprocessens påverkan på massbalansen och mängder till recipient.....	45
6.3 Mikroplaster i rens, externt organiskt material, fett och slam.....	46
6.4 Felkällor.....	47
6.5 Framtida arbete.....	48

7	Slutsatser	50
7.1	Slutsatser angående tillförsel och avskiljningsgrad	50
7.2	Slutsatser angående avloppsreningsverks påverkan på mängder i utgående strömmar	50
7.3	Slutsatser angående mikroplaster i utgående, renat avloppsvatten, dagvatten och bräddningar på ledningsnätet	51
7.4	Slutsatser angående analysmetod och felkällor	52
7.5	Slutsatser angående åtgärder	52
	Referenser.....	53
	Bilaga A – processcheman	56
	Bilaga B – information och resultat från Ryaverket	58
	Bilaga C – resultat från däckpartikelanalys Skarpnäck och Sjölundaverket	62
	Bilaga D – information och resultat från Käppalaverket.....	63

Sammanfattning

Projektet har analyserat mikroplaster inklusive däckpartiklar i ett antal vatten- och slamflöden – till, inom och från avloppsreningsverk. Rapporten ska hjälpa VA-huvudmännen att ta välgrundade beslut om eventuella åtgärder för att minska mängden mikroplaster till miljön. Avloppsreningsverken är mycket effektiva när det gäller att avskilja mikroplaster. Dagvatten är en stor tillförselväg, men avloppsslam innehåller mindre mikroplaster än vad som uppskattats i tidigare studier.

Projektet var ett samarbete mellan Gryaab i Göteborg, Käppalaförbundet i Lidingö och Aalborg universitet. Jämförelser med tidigare studier på Sjölundaverket i Malmö och en studie av tio avloppsreningsverk i Danmark har gjort det möjligt att dra en del mer generella slutsatser. Alla partiklar har i projektet analyserats med avancerade mätmetoder som ger detaljerad information om antal partiklar, massa och polymertyp.

Mikroplaster avskiljs effektivt på Ryaverket i Göteborg, med cirka 99 procent. Det stämmer väl med tidigare studier som har fastslagit att avloppsreningsverk inte är en betydande spridningsväg för mikroplaster till vattenrecipienter. Mängden mikroplaster i inkommande avloppsvatten till Ryaverket efter att vattnet passerat ett 20 mm rens-galler är 7 g per personekvivalent och år. Av den mängden kommer cirka 30 procent från spillvatten och cirka 70 procent från övrigt vatten, mest dagvatten. Hushållsspillvatten i Göteborg och Stockholm innehåller mikroplaster i en mängd av 3 respektive 10 g per person och år, i huvudsak polyeten, polyester och polypropylen. Dessa plaster är de vanligaste i alla analyserade prover.

Resultaten från Ryaverket visar att 2 mm rens-galler avskiljer cirka 30 procent av mikroplasterna. Dessa 30 procent hamnar alltså inte i slammet. Ungefär 40 procent av mikroplasterna reduceras under mesofil rötning på Ryaverket, men det är oklart om det innebär en total nedbrytning eller om partiklarna fragmenteras till en storlek som inte ger utslag i analysmetoden.

I tidigare studier har det antagits att 98 procent av mikroplasterna som tillförs reningsverket hamnar i slammet. Men det stämmer inte med resultaten från Ryaverket och inte heller med Sjölundaverkets tidigare studie. I Ryaverket återfanns 60 procent av mikroplastmängden i slammet och i Sjölundaverket 40 procent. Koncentrationen av mikroplaster i slam från Ryaverket och Käppalaverket motsvarar 5 respektive 8 g per personekvivalent och år. IVL Svenska Miljöinstitutet har tidigare uppskattat mängden mikroplast i slam till motsvarande 7–90 g per person och år. Analyserna utförda inom projektet visar att den nedre delen av spannet ligger närmast verkligheten. Fältförsök i Skåne och Danmark har visat att slam inte är den främsta källan till mikroplast i åkermark vid dessa koncentrationer. Författarnas slutsats är att insatser för att minska mängden mikroplast till mark bättre satsas på andra tillförselvägar än slam.

Beräkningar i den här studien indikerar att tillförseln av mikroplast till vattenrecipienter via dagvatten är 100 gånger högre än via utgående, renat avloppsvatten. Insatser för att spåra och minska mängden mikroplaster i vattenmiljön bör därför satsas på dagvattenhantering snarare än på att införa ytterligare reningssteg på avloppsreningsverken.

Naturvårdsverkets tidigare antaganden om däckpartiklar är cirka 100 gånger högre än resultaten i den här studien. Massbalansen av däckpartiklar över Ryaverket och Sjölundaverket visar att mycket lite av den mängd däckpartiklar som finns i inkommande avloppsvatten sedan kan detekteras i slammet eller i utgående, renat avloppsvatten. Men analysmetoderna för däckpartiklar är osäkra och under utveckling.

Summary

In a co-operation between Gryaab, Käppalaförbundet and Aalborg University, microplastics, including tire particles, have been analysed in the influent, effluent and within wastewater treatment plants (WWTPs). The purpose of this project was to increase the knowledge about how efficient today's WWTPs are in removing microplastics, including tire particles. Comparisons with previous studies at Sjölanda WWTP in Malmö and a study of 10 WWTPs in Denmark have made it possible to draw some general conclusions about microplastic pathways.

All particles in this project have been analysed with different types of FTIR or pyrolysis GC-MS. Very detailed information about the number of particles, mass and polymer type can be attained with these analytical methods.

Microplastics are efficiently removed at Rya WWTP, by approximately 99 %, which is in line with previous studies that has established that WWTPs are not a significant pathway for microplastics to water recipients. Of the amount of microplastics in the influent wastewater (after 20 mm coarse bar screens) to Rya WWTP, approximately 30 % originates from domestic wastewater (2 g/pe, year) and 70 % originates from infiltration, stormwater and other sources (5 g/pe, year). Domestic wastewater in Stockholm and in Gothenburg, contains 3-10 g microplastics/person, year and contains relatively common polymer types: mainly polyethylene, polyester and polypropylene. These types of plastics are the most abundant in all samples and reflects well the use of plastics in society.

The results from Rya WWTP indicate that the 2 mm fine bar screens remove approximately 30 % of the microplastics (after the wastewater has already passed 20 mm coarse bar screens) and hence is not transferred to the sludge. Approximately 40 % of the microplastics are reduced during mesophilic digestion at Rya WWTP. However, it cannot be determined if this reduction is due to degradation or if particles are fragmented to a size that is not detected by the analytical method used.

Previous assumptions that microplastics are mainly (98 %) transferred to sludge, is not in line with the results of this study at Rya WWTP and a study from Sjölanda WWTP where only 60 % and 40 % respectively, could be identified in the sludge. The concentration of microplastics in sludge from Rya WWTP and Käppala WWTP corresponds to 5 and 8 g/pe, year respectively. IVL has previously estimated the concentration of microplastics in sludge to 7-90 g/person, year. The results from this project indicate that typical values will be in the lower part of the interval. Field trials in Skåne and Denmark have shown that sludge is not the main source of microplastics on farmland at these concentrations. Thereby, the authors' conclusion is that actions to reduce the amount of microplastics transported to land are better directed at other pathways than sludge.

Calculations in this study indicates that the microplastic pathways to water recipients from stormwater is 100 times greater than from effluent wastewater. Actions to trace and reduce the amount of microplastics in water bodies should thereby be directed at stormwater management rather than introducing further treatment processes at WWTPs.

Previous assumptions by the Swedish EPA regarding tire particles are approximately 100 times higher than the results in this study which indicates a load to WWTPs of 1.2 g tire particles/person, year. The mass balance of tire particles at Rya and Sjölanda WWTPs showed the same results, namely that a very small fraction of the tire particles in the influent wastewater can be detected in the sludge or the effluent wastewater. However, the analytical methods are uncertain and under development.

Förkortningar och begrepp

ARV – Avloppsreningsverk

ATR – Attenuated total reflection (dämpad totalreflektion)

BOD – Biochemical oxygen demand (biokemisk syreförbrukning). Används för att mäta mängden syreförbrukande organiskt material i vattnet.

Bräddning – Mer eller mindre utspädd avloppsvatten som vid överbelastning av ledningsnätet släpps ut i vattenrecipient utan att först passera ett avloppsreningsverk. Anledning till bräddning kan vara ihållande regn eller snösmältning som ökar flödet så kraftigt att reningsverkens kapacitet inte räcker till. Bräddvattnet släpps ibland ut helt orenat men ibland passerar det ett galler innan utsläpp. Bräddning är en inbyggd systemfunktion för att kunna skydda staden mot översvämning.

Dagvatten – Vatten från hårdgjorda ytor som exempelvis vägar, parkeringsytor och tak som antingen hanteras i kombinerade avloppssystem och leds till reningsverket, eller i duplikata system där dagvattnet avleds separat och därmed inte belastar avloppsreningsverken. Kombinerade system är vanligt i äldre bebyggelse men merparten av ledningsnätet i Sverige är duplikat.

EOM – Externt organiskt material

FPA – Focal Plane Array

FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy, spektroskopisk mätmetod som mäter absorberad energi från en infraröd ljuskälla

GC – Gas Chromatography (Gaskromatografi)

HPLC – High Performance Liquid Chromatograph (Högupplösande vätskekromatografi)

ICP – Inductive Coupled Plasma (Induktivt kopplad plasma)

MBBR – Moving Bed Biofilm Reactor

Milli-Q-vatten – Ultrarent vatten

MS – Masspektrometri

Pe – Personekvivalent. Med en personekvivalent menas i denna studie den mängd BOD som motsvarar det genomsnittliga dagliga BOD-utsläppet per person. En pe motsvarar 70 g BOD₇.

Rens – Skräp som avskiljs vid den mekaniska reningen med hjälp av ett galler.

Revaq – Ett certifieringssystem som ägs av Svenskt Vatten. Revaq syftar till att minska flödet av farliga ämnen till reningsverk, skapa en hållbar återföring av växtnäring samt att hantera riskerna på vägen dit.

TS – Torrsubstans

1 Inledning

Syftet med detta projekt var att öka kunskapen om hur effektiva dagens avloppsreningsverk är när det gäller att avskilja mikroplast. Med ökad kunskap var syftet också att ge beslutsfattare och VA-organisationer möjligheten att ta välgrundade beslut om vilka åtgärder, om några, som ska genomföras på och uppströms avloppsreningsverk för att minska spridningen av mikroplaster inklusive däckpartiklar till miljön.

I ett samarbete mellan Gryaab, Käppalaförbundet och Aalborg universitet har mikroplaster i vatten- och slamflöden till, inom och från avloppsreningsverk analyserats. I detta projekt har prover också tagits på hushållspillvatten i ett bostadsområde i Askim, Göteborg samt ett i Skarpnäck, Stockholm, för att undersöka hur stor andel av mikroplasten hushållen beräknas stå för. På ett av reningsverken, Ryaverket, har en utökad provtagning utförts för att öka kunskapen om var i processerna på avloppsreningsverket som mikroplasten reduceras eller avskiljs. Bland annat har slamprover före och efter rötning analyserats. Resultaten från detta projekt har jämförts med tidigare studier utförda på Sjölundaverket, redovisat i SVU-rapport 2018:13 (Ljung et al., 2018) och en studie på 10 danska avloppsreningsverk (Simon et al., 2018).

Flera studier har kommit fram till att däckpartiklar kan vara den största, eller en av de största, källorna till mikroplast (Magnusson et al., 2016). Därför har även analys av däckpartiklar gjorts på proverna från Ryaverket samt ett urval av prover från Käppalaverket och från tidigare tagna, nedfrysta prover från Sjölundaverket, för att få en heltäckande bild av hur effektiv avskiljningen är och i vilka utgående strömmar däckpartiklarna hamnar.

Specifika mål för detta projekt har varit:

- Genom analys av mikroplaster identifiera både antal och massa samt vilka polymertyper mikroplasten består av.
- Jämföra mängden mikroplast i olika strömmar till och från Ryaverket, Sjölundaverket och Käppalaverket med de uppskattningar som tidigare gjorts på uppdrag av Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2017; Naturvårdsverket, 2019)
- Upprätta en massbalans av mikroplast för Ryaverket.
- Genom provtagning av hushållspillvatten i Göteborg och Stockholm undersöka hur stor andel av mikroplaster inklusive däckpartiklar hushållen beräknas stå för.
- Identifiera hur mycket av mikroplasten som fångas i rensgaller på Ryaverket och därmed inte hamnar i slammet.
- Undersöka om mesofil rötning på Ryaverket påverkar slammets innehåll av mikroplaster inklusive däckpartiklar.
- Identifiera hur stor del av mikroplaster inklusive däckpartiklar i slam som tillförs via mottagning av externt organiskt material och fett från försedimentering direkt till rötkamrarna på Ryaverket.

2 Bakgrund

2.1 Definition av mikroplaster

Mikroplaster består av små plastpartiklar och kan delas upp i primära och sekundära mikroplaster. De primära mikroplasterna är tillverkade för att vara av mikroskopisk storlek och används i exempelvis hygien- och städartiklar medan sekundära mikroplasterna kommer från nedbrytning av större plastföremål, till exempel slitage av bildäck, och vid tvätt av kläder tillverkade i syntetmaterial. Det finns inget bestämt storleksintervall för mikroplaster men en övre gräns på 5 mm är etablerad inom forskarvärlden och ofta betraktas 1–2 µm som en undre gräns även om de flesta studier inte inkluderar de minsta partiklarna (Magnusson et al., 2016; Moore, 2008; Thompson et al., 2004).

2.2 Negativa effekter på miljön

De flesta studier som finns är gjorda på marina organismer och där har bland annat effekter på tarmen, cellnekros och förändringar i metabolismen, fett- och energireserven kunnat påvisas vid kronisk exponering av mikroplaster. Studier har även visat att de negativa effekterna ökar med minskande partikelstorlek hos mikroplasterna (Ašmonaitė & Carney Almroth, 2019).

Naturvårdsverket har omvärderat tidigare utförda riskanalyser vilket visade att riskerna med mikroplaster är lägre än vad som tidigare befarats (Naturvårdsverket, 2019). En annan aktuell rapport slår fast att mikroplaster inte utgör någon stor risk för hälsa och miljö i nuvarande koncentrationer (SAPEA, 2019). En ny rapport från Norsk Vann, som är en översikt av publicerad vetenskaplig litteratur kring avloppsvatten, avloppsslam och jord, konkluderar att effekter av mikroplast på växter och djurliv i jord inte är påvisbara vid mikroplastkoncentrationer under 0,1 % och att normal användning av avloppsslam i jordbruksmark tillför en mikroplastmängd som är väsentligt mindre än denna. Inget upptag av mikroplast från jord till växter har påvisats (Skogerbø, 2020).

Behovet av ytterligare forskning om vilka effekter mikroplaster har på ekosystemet och hur de sprids i miljön är dock stort, även om det nu föreligger konsensus kring åsikten att riskerna förknippade med mikroplaster är lägre än tidigare befarat (Naturvårdsverket, 2019).

2.3 Källor och spridningsvägar

Produktion av plast ökar exponentiellt och plastskräp eller mikroplast hittas nu i alla miljöer från inomhusmiljöer till hav och mark och i allt från plankton till däggdjur (Ašmonaitė & Carney Almroth 2019). Tidigare studier har listat polyeten, polypropylen, polyester, polyvinylklorid (PVC), polystyren och polyuretan som vanliga polymerer som återfinns i avloppsreningsverk. (Mintenig et al., 2017; Simon et al., 2018). Dessa är också de sex vanligaste använda polymererna i Europa (Plastics Europe, 2019).

Svenska Miljöinstitutet (IVL) utredde 2017 på uppdrag av Naturvårdsverket källor och spridningsvägar för mikroplaster i miljön. I den studien ingick inte insamling av nya primärdata såsom mätningar av mikroplastmängder vid källan och i spridningsvägarna och för flera källor finns så få data att mängderna inte kvantifierades. Därför är uppskattningarna grova och behöver verifieras med fler studier, vilket bland annat föreliggande projekt syftar till. De källor som sammantaget bedömdes stå för de största utsläppen av mikroplast i Sverige var väg- och däckslitage, konstgräsplaner, industriell produktion och hantering av primärplast, tvätt av syntetfiber, båtbottnfärg och nedskräpning. Av dessa källor är det främst vid tvätt av syntetfiber samt i de fall dagvatten

och processvatten från industrier är kopplade till spillvattennätet som mikroplaster kan nå avloppsreningsverk. Däckpartiklar hamnar i stor utsträckning i dagvattnet (Naturvårdsverket, 2017). I det fall dagvatten leds till reningsverket kan det vara en källa till däckpartiklar i inkommande avloppsvatten. Ytterligare mikroplastkällor kan vara, plastskräp som spolas ner i avloppet, damm och hygienprodukter (Magnusson et al., 2016). Naturvårdsverket har i en senare rapport reviderat en del av mängduppskattningarna från IVL:s rapport (Naturvårdsverket, 2019).

Utgående strömmar från avloppsreningsverk som kan innehålla mikroplaster är rens, sand, bräddat avloppsvatten, renat avloppsvatten och slam (Naturvårdsverket, 2019). Rens är det skräp som fastnar i galler vid avloppsreningsverkens grovrening och därefter vanligtvis förbränns. Slam är den näringsrika rest som blir kvar vid rening av avloppsvatten, vanligtvis har slammet rötats och avvattnats.

Det finns ett fåtal studier som tidigare har försökt kartlägga vid vilka reningssteg mikroplast avskiljs eller reduceras. Baserat på antal partiklar har dock Murphy et al. (2016) föreslagit att de viktigaste reningsstegen är rens och fett (45 %) och försedimentering (34 %). Michielssen et al. (2016) föreslog också att första processtegen avskiljer 35–59 % och sedan försedimentering ytterligare 23–53 %. En tidig studie av Mahon et al. (2017) indikerade att mikroplaster reduceras över rötningsprocessen.

Det har i flertalet tidigare studier konstaterats att avloppsreningsverk avskiljer mikroplaster mycket väl (Mintenig et al., 2017; Ljung et al., 2018; Simon et al., 2018). Utsläpp av mikroplaster med det renade avloppsvattnet uppskattades av Magnusson et al. (2016) till 1–19 ton per år för hela Sverige, motsvarande 0,1–2 g per person och år (beräknat med 10 miljoner invånare).

Naturvårdsverket har skrivit i sin rapport från 2019 att andelen mikroplast som kommer från bräddningar utgör en betydande del av de totala utsläppen av mikroplast från avloppsvattenrening (dock utan att ange referens). IVL har tidigare uppskattat att motsvarande 0,11–1,48 g mikroplast/person, år skulle nå recipient via bräddning (Magnusson et al., 2016).

Slam som källa till mikroplast vid slamspridning på åkermark har undersökts genom analys av åkermarsjord från långliggande (mer än 35 år) försök i Skåne som gödslats med slam från Sjölundaverket. Resultaten från studien visade en viss ökning av antalet olika mikroplasttyper men däremot inte en ökning av mängden mikroplast i åkermarksjorden vid normala slamgivor (Ljung et al., 2018). Även danska Miljøstyrelsens rapport från 2017 visar att mängden mikroplaster i jord är samma oavsett om slamgödsling skett. Det innebär att andra källor, som exempelvis mikroplaster i luft, är viktiga för spridning av mikroplast till åkermark (Miljøstyrelsen, 2017). Aktuell svensk forskning pekar också på att det finns flera spridningsvägar för plastpartiklar till jordbruksmark, främst luftburna partiklar. Ursprungliga hypoteser om att avloppsslam på åkrar där skulle vara huvudkälla till mikroplastförekomster har av vissa bedömare därför ifrågasatts (Hållbar slamhantering, 2020).

Nyttjandet av plastfolie/plastfilm inom jordbruket är vanligt förekommande. En norsk studie om plastanvändning inom jordbruket och spridning av mikroplast till jord och vatten tyder på låga nivåer av mikroplast i jord, men högre i anknyttande vatten. Mikroplast från avloppsslam utgjorde inte en huvudsaklig källa till de plastpartiklar som påträffades i jordbruksmark. Ytterligare kunskap efterlystes, bland annat kring förekomsten av mikroplast från olika insatsvaror, som gödsel- och växtskyddsmedel (Norsk institutt for vannforskning, 2019).

2.4 Åtgärder

De största källorna till mikroplaster bedöms vara nedskräpning och vägtrafik och avloppsreningsverkens roll som spridningskälla är troligtvis begränsad. De stora

osäkerheterna kring både mängder och miljöpåverkan gör att avloppsreningsverkens roll trots det bör utredas vidare, vilket bland annat föreliggande studie har syftat till.

Svenskt Vatten driver en beställargrupp som finansieras av Naturvårdsverket där syftet är att minska utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk (Svenskt Vatten, 2020).

I följande kapitel beskrivs exempel på åtgärder som föreslås av Naturvårdsverket för att minska tillförseln från källan uppströms och åtgärder nedströms för att minska spridning av de mikroplaster som når avloppsreningsverket.

2.4.1 Uppströms

Åtgärder som Naturvårdsverket föreslår för att minska spridning av mikroplaster vid källan är bland annat tillsynsvägledning av konstgräsplaner, filterlösningar för tvättmaskiner, insatser för tvätterier samt att kartlägga vilka verksamheter kopplade till spillvattennätet som riskerar att innehålla höga halter mikroplaster (Naturvårdsverket, 2019). Vidare har Göteborgs, Malmös och Stockholms miljöförvaltningar tagit fram åtgärdsplaner med avseende på mikroplaster där bland annat åtgärder som utredning av möjligheter till rening av dagvatten, ökad tillsyn för mikroplaster från vägtrafiken och informationsinsatser till verksamheter som utför taktvätt, däcktvätt och blästring med plastgranulat ingår (Göteborgs stad, 2016; Miljöförvaltningen Malmö, 2018; Stockholm stad, 2019).

2.4.2 Nedströms

Åtgärder nedströms kan enligt Naturvårdsverket vara att införa ytterligare reningssteg som exempelvis ultrafiltrering och utökad rening av bräddvatten (Naturvårdsverket, 2019). Dock drar Naturvårdsverket också slutsatsen att det är: ”Tveksamt om ytterligare krav på avskiljning av mikroplast vid avloppsreningsverk kan motiveras baserat på miljöbalken eller annan lagstiftning. Detta eftersom mikroplasterna till största delen redan avskiljs i ett konventionellt avloppsreningsverk.”

Vad gäller slam presenterades i januari 2020 ”Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam” (Hållbar slamhantering, 2020). Utredningen innehåller bland annat en litteraturöversikt över risker med mikroplaster vid slamspredning på åkermark. Utredarna refererar bland annat till Ljung et al. (2018), se kap 2.3 ovan, samt till en rapport av SAPEA (2019) som slår fast att mikroplaster inte utgör någon stor risk för hälsa och miljö i nuvarande koncentrationer. Samtidigt poängterar utredarna att behovet av ytterligare forskning är stort (Hållbar slamhantering, 2020).

3 Beskrivning av avloppsreningsverk

En sammanfattande beskrivning av belastningen till de tre avloppsreningsverk som jämförs i denna rapport redovisas i Tabell 3-1.

	Käppalaverket, Stockholm (2019)	Ryaverket, Göteborg (2018)	Sjölundaverket, Malmö (2016)
Belastning (pe). Beräknat på BOD	557 000	970 000	354 000
Antal anslutna personer	543 000	779 000	333 000
Mottagande av externt organiskt material till rötning (ton/år)	0	14 000	3 340
Inkommande mängd avloppsvatten (milj. m ³ /år)	52 ¹	123	38
Varav spillvatten (milj. m ³ /år)	35 ¹	53	27
Andel hushållsavledning av spillvatten ²	74 % ¹	75 %	Uppgift saknas
Andel tillskottsvatten	33 % ¹	57 %	29 %
Externslammängd till vattenfas ³ (m ³ /år)	150 000 ¹	83 400	4 900
Avvattnat slam (ton/år)	35 000	55 000	27 000
Torrsubstans avvattnat slam (%)	25	25	22
Totalt antal dagar rötning	21	20	19
Utröttningsgrad (%)	60	60	58
Mängd gallerrens (ton/år)	570	910	440
Andel slam till åkermark	100 %	58 %	43 %
Revaq certifiering	Ja	Ja	Ja

1 Vid publicering av rapport har Käppalaförbundet inte fått fullständiga data för 2019 som var det år som mikroplastprovtagning utfördes. Därför togs ett medel för 2016–2018 för dessa data.

2 Övrigt spillvatten består mestadels från allmänna inrättningar som exempelvis skolor och kontor och har ungefär samma sammansättning som hushållsspillvatten. En liten andel av spillvattnet kommer från processvatten från exempelvis livsmedelsindustrier.

3 Exempelvis slam från enskilda avlopp och båtlatrin som tillförs till ledningsnätet via slamtömningsstationer.

Tabell 3-1
Sammanställning av belastningsdata för Käppalaverket, Ryaverket och Sjölundaverket för de år då respektive provtagning utfördes.

Nedan följer en beskrivning av Ryaverkets och Käppalaverkets reningsprocesser. För information om Sjölundaverkets reningsprocess se SVU-rapport 2018:13, "Mikroplaster i kretsloppet" (Ljung et al., 2018).

3.1 Ryaverkets reningsprocess

Gryaab ägs av 8 kommuner och driver reningsverket Ryaverket på Hisingen i Göteborg. Gryaab är certifierat enligt Revaq och ca hälften av allt slam sprids på åkermark.

Avloppsvattnet passerar först genom grovgaller, med en spaltvidd på 20–25 mm och det skräp som fastnar i gallret avskiljs. Det avskilda skräpet kallas grovrens. Grovrensen tvättas och pressas och skickas därefter till förbränning. Efter pumpning passerar avloppsvattnet ett luftat sandfång för att avskilja tunga fasta partiklar, delar av sandfånget är dock avställda. Därefter passerar avloppsvattnet tolv fingaller med spaltvidd 2 millimeter. Finrensen tvättas, pressas och skickas till förbränning. Vattnet från renstväten skickas till en uppsamlingstank där det blandas med fett från försedimenteringen och skickas därefter till rötningen. Efter fingaller leds avloppsvattnet till tolv sedimenteringsbassänger, där fasta partiklar avskiljs från vattnet som primärslam.

Vattnet pumpas vidare till aktivslambassängerna där luftning och denitrifikation sker (ej nitrifikation). Fosfor fälls ut genom simultanfällning med järnsulfat. Därefter rin- ner vattnet vidare till eftersedimenteringsbassängerna. Det aktiva slammet pumpas i retur till aktivslambassängerna och överskottsslammet pumpas normalt till inloppet av försedimenteringsbassängerna. Efternitrifikation sker i två parallella bärarprocesser biobäddar och MBBR.

Biobäddarna är fyllda med specialtillverkat korrugerat plastmaterial i PVC på vilket bakterier kan växa. Vatten som kommer i retur från eftersedimenteringsbassängerna pumpas upp till spridare som fördelar vattnet jämnt över biobäddarnas yta. Vattnet strilar sedan ner genom biobäddarna. Det nitrifierade vattnet från biobäddarna recir- kuleras till aktivslamanläggningen för denitrifikation.

De efternitrifikationsbassänger som är av typen MBBR (moving bed biofilm reactor) är fyllda med rörliga bärare i plast (polyeten high density) på vilket bakterier kan växa. Efternitrifikation har samma funktion som biobäddarna, att omvandla ammonium till nitrat, här växer dock nitrifikationsbakterierna på rörliga bärare i stället för på fasta media.

Efterdenitrifikationsbassängerna är också fyllda med bärare i plast (polyeten high density) på vilket bakterier kan växa. Metanol används som extern kolkälla. För optimal tillväxt av biofilmen tillsätts fosforsyra som näring vid behov.

Vattnet från eftersedimentering och efterdenitrifikation leds till skivfilteranlägg- ningen för slutlig avskiljning av suspenderade ämnen. Skivfiltren består av roterande filterdukar i polyester med en maskvidd på 15 µm. Ett spolningssystem med högtrycksdy- sor håller filterdukarna rena. En liten del av spolvattnet går med filterslammet som pum- pas till inkommande, medan merparten av spolvattnet följer med det filtrerade vattnet till utgående. Periodisk rengöring av dukarna sker med saltsyra eller natriumhypoklorit.

3.1.1 Slambehandling

Första steget i slambehandlingen är en förtjockning av slammet. Innan denna process kvarnas slammet. Förtjockning sker i fyra bandgravitationsförtjockare med katjonpo- lymer som förtjockar primärslammet till 4–8 % TS.

Rötkamrarna består av två 30 meter höga betongcylindrar. Den tredje rötammaren är en 20 meter hög cistern i rostfritt stål. De tre rötammarna drivs i serie och den totala uppehållstiden är ca 20 dygn. Den första rötammaren är uppvärmd till 35 °C, den andra rötammaren får sin värme från slammet från den första rötammaren. Slammet i rötammarna hålls omblandat med omrörare och cirkulationspumpar. Ingen extern uppvärmning av den tredje rötammaren sker. Slammet pumpas från den tredje röt- ammaren i biogasanläggningen, doseras med katjonpolymer och avvattnas med skruv- pressar till en TS-halt på cirka 25–30 %.

På Ryaverket finns det möjligheter att ta emot externt organiskt material som till exempel matrester, fett och dylikt från restauranger, storkök och från livsmedelsfa- brikant för att samröta det med avloppsslammet. Avfallet ska vara pumpbart och får inte påverka slamkvaliteten negativt. År 2018 togs ca 14 000 ton emot som tillfördes direkt till rötningen.

Se processschema över Ryaverket i Bilaga A.

3.2 Käppalaverkets reningsprocess

Käppalaförbundet ägs av 11 kommuner och driver reningsverket Käppalaverket på Lidingö. Käppalaverket är certifierat enligt Revaq och allt slam sprids på åkermark.

Inkommande avloppsvatten till Käppalaverket genomgår mekanisk, kemisk och biologisk rening. Grovreningen är det första steget där avloppsvatten passerar silgaller med en spaltvidd på 3 mm och rensat avskiljs. Rensat tvättas och pressas innan det

transporteras bort för förbränning. Vattnet från renstvätt och press pumpas tillbaka till inloppet, före silgaller.

Efter silgallret leds avloppsvattnet till ett luftat sandfång där tyngre partiklar sjunker till botten, avskiljs, tvättas och transporteras bort.

Efterföljande försedimentering, aktivslamprocess och eftersedimentering sker i 11 parallella bassänglinjer. I försedimenteringsbassängerna används traversskrapor för uttag av primärslam och slammet pumpas till en av Käppalaverkets två rötkammare. Primärslammet leds via gravitationsförtjockare innan det pumpas in i rötkammaren. Avloppsvattnet leds vidare till en aktivslamprocess där fördenitrifikation tillämpas för biologisk rening av kväve. Simultanfällning med järnsulfat används för att rena bort fosfor ur avloppsvattnet.

Nästa steg är eftersedimentering där slam som avskiljs med hjälp av skrapor antingen pumpas tillbaka till aktivslamprocessen eller pumpas till Käppalaverkets andra rötkammare. Det sista steget är sandfiltren där vattnet filtreras genom sand och krossad leca. Innan sandfiltret finns möjlighet till slutfällning av fosfor genom tillsats av järnsulfat. Efter att ha passerat sandfiltren pumpas det renade avloppsvattnet via utloppsledningen ut till Östersjön.

3.2.1 Slambehandling

Slammet avskiljs dels som primärslam vid försedimenteringen dels som överskottsslam från den biologiska reningen. Slammet rötas semiparallellt i de två rötkamrarna. Primärslam från försedimenteringen pumpas till den första rötkammaren och rötas där i ca 10 dagar. Från den första rötkammaren pumpas det delvis rötade primärslammet till den andra rötkammaren där också förtjockat överskottsslam från biologiska reningen tillförs. Uppehållstiden i rötkamrarna är för primärslammet ca 28 dygn och för överskottsslammet cirka 10 dygn. Utrötningsgraden är ca 60 %. Efter rötningen tillsätts polymer och därefter centrifugeras slammet så att det når en TS halt på ca 25 %. Rejektvattnet från centrifugerna leds tillbaka till inkommande vatten efter sandfång.

Se processschema över Käppalaverket i Bilaga A.

3.3 Referensområden för hushållspillvatten

Både i Stockholm och Göteborg finns referensområden för provtagning av hushållspillvatten: Askim i Göteborg som är anslutet till Gryaab, och Skarpnäck i Stockholm som är anslutet till Henriksdals avloppsreningsverk. Proverna togs i Skarpnäck eftersom de har ett väl utvecklat provtagningsprogram för hushållspillvatten och proven anses representativt för hushållspillvatten i Stockholmsområdet. Därmed har analysresultat från Skarpnäck använts vid beräkning av andel mikroplaster från spillvatten som tillförs Käppalaverket även om spillvattnet från just detta bostadsområde inte leds till Käppalaverket. Se sammanställning över prov i Tabell 4-3.

3.3.1 Askim, Göteborg

Bebyggelsen består enbart av radhus och villor. Invånarantalet var enligt SBK:s befolkningsstatistik 865 personer den 31 december 2017. Området har duplikatsystem för spill- och dagvatten. För mer information finns en rapport publicerad om denna hushållspillvattenprovtagning, Gryaabrapport 2019:5 (Press et al., 2019).

3.3.2 Skarpnäck, Stockholm

Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) har tagit prover av spillvatten från ett bostadsområde i Skarpnäck två gånger per år sedan 1995 för att undersöka bidraget från hushåll av metaller, närsalter och organiskt material till reningsverken (Eriksson & Lagerkvist, 2015). SVOA har även analyserat organiska miljöföroreningar i hushållspillvatten från Skarpnäck för att få en uppfattning om tillskottet från hushåll (Wahlberg, 2018).

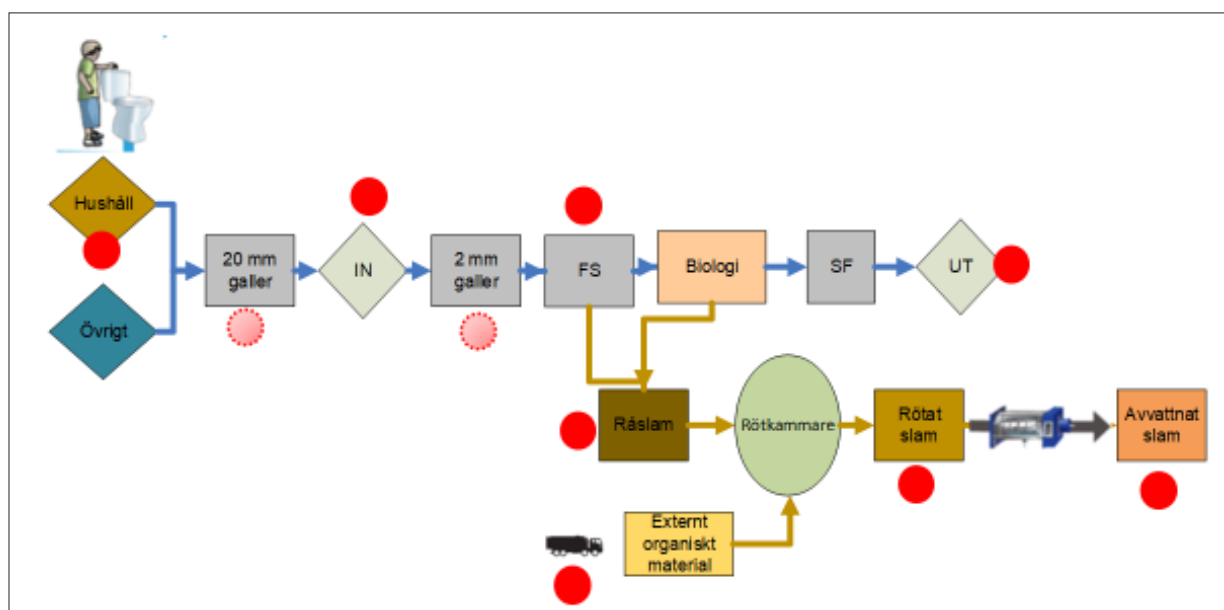
Bostadsområdet valdes dels för att det har duplicerat avloppssystem dels för att det är så lite påverkat av andra verksamheter än hushåll. Spillvatten från Skarpnäck leds till Henriksdals reningsverk. Området består av åtta kvarter kring Pilvingegatan. Inom området finns 714 lägenheter, sex daghem, en skola, ett kollektivboende, en matvarubutik och några mindre verksamheter. Antal anslutna 2019 var 2 545 invånare.

4 Metod

4.1 Provpunkter

Valet av provpunkter på Ryaverket och Käppalaverket gjordes utifrån att kunna göra en massbalans där alla inströmmar och alla utströmmar av plast kartläggs.

På Ryaverket planerades provtagningen på hushållspillvatten och inkommande vatten till samma 3 dygn. Tyvärr förlorades ett av dygnsproven på inkommande avloppsvatten och ett annat dygn med representativa flöden valdes istället. Provtagning på utgående vatten gjordes under det sista av de tre dyggen. Slam-, rens-, externt organiskt material (EOM)- och fettprover togs som stickprover vid olika tidpunkter och dessutom olika år, då projektet utökats och finansiering tillkommit i olika omgångar. Se förenklad översikt av provtagningspunkter i Figur 4-1.



Samtliga prover som togs i Stockholm var veckosamlingsprov. Provtagning planerades för att möjliggöra beräkning av massbalans. På Käppalaverket provtogs därför inkommande vatten och utgående vatten vid samma vecka och slamprover togs tre veckor efter att prov tagits på inkommande vatten eftersom slammet har tre veckors uppehållstid i röt-kammaren. I kapitel 4.2.2 finns information om provtagning av hushållspillvatten i Skarpnäck. Proverna som togs på inkommande vatten är dessvärre inte representativa och redovisas inte i denna rapport på grund av provtagningsproblem som beskrivs i kapitel 4.2.3. Käppalaförbundet kommer därför att ta om proverna på inkommande vatten under hösten 2020. Provtagningen kommer att utföras under veckor som har liknande nederbörds mängd som vid ursprungliga provtagningen av inkommande vatten. Resultaten redovisas i en separat rapport på Käppalaförbundets hemsida.

I bilagorna finns sammanfattning över provtagningsdatum och flöden vid provtagning på Ryaverket (Bilaga B) och Käppalaverket (Bilaga D). För provpunkter och förfarande kring provtagningen på Sjölundaverket i Malmö, se detaljerad beskrivning i SVU-rapport 2018:13 (Ljung et al., 2018). För prov som analyserats i detta projekt se Tabell 4-1. Mikroplastpartiklarna har analyserats med 3 olika metoder, se kapitel 4.4, partiklar 500–5000 µm med ATR-FTIR, partiklar 10–500 µm med FPA-µFTIR-imaging och däckpartiklar 10–500 µm med pyrolys GC-MS.

Figur 4-1

Översikt över provtagningspunkter på Ryaverket.

FS = försedimentering, SF = skivfilter.

Råslam innebär blandat primär-, bio- och kemslam. Fyllda röda och rosa cirklar visar provtagningspunkter. De streckade ljusare röda cirkelarna innebär att fullständig µFTIR-analys ej har genomförts.

	Partiklar 500–5 000 µm	Mikroplast 10–500 µm	Däckpartiklar 10–500 µm
Hushållsspillvatten	Ryaverket	Ryaverket + SVOA	Ryaverket + SVOA
Inkommande vatten	Ryaverket	Ryaverket	Ryaverket + Sjölundaverket
Utgående vatten	Ryaverket	Ryaverket + Käppalaverket	Ryaverket + Sjölundaverket
Rens från 20 mm galler	Ryaverket	Ryaverket (med annan metod)	-
Rens från 2 mm galler	Ryaverket	Ryaverket (med annan metod)	-
Fett/flytslam från försedimentering	Ryaverket	Ryaverket	Ryaverket
Externt organiskt material	Ryaverket	Ryaverket	Ryaverket
Orötat, förtjockat slam	Ryaverket	Ryaverket	Ryaverket
Rötat, ej avvattnat slam	Ryaverket	Ryaverket	Ryaverket
Rötat, avvattnat slam	Ryaverket	Ryaverket + Käppalaverket	Ryaverket + Käppalaverket + Sjölundaverket

4.2 Provtagning

4.2.1 Hushållsspillvattenprovtagning i Askim, Göteborg

Provtagningarna utfördes under så kallade lågflödesdygn, dvs. under dygn utan nederbörd, i mars, april och juni 2018. Detta för att undvika inblandning av regn/dagvatten som kan bära med sig föroreningar. Provtagning utfördes med ISCO 6700 provtagare, se Figur 4-2.

Vid val av provtagningsutrustning har Ryaverket så långt möjligt valt inerta material. Munstycket/sonden till provtagaren har varit i syrafast, rostfritt stål. Sugslangens insida utgjordes av teflon, ett relativt inert material. Själva pumpslangen var av silikon.

Provtagaren placerades i pumpbrunnen. Sonden placerades ca 0,5 meter ovan brunns botten. För att få flödesproportionella prover styrdes provtagaren av spillvattenpumpens tillslag. Ett delprov togs varje gång pumpen startades och delprovet sögs till provtagningskärlet.

Dygnsflödet från bostadsområdena beräknades utifrån den pumpade volymen i pumpgropen, dvs. antalet pumptillslag multiplicerat med avsänkingsvolymen i pumpbrunnen plus det flöde som rinner till pumpgropen under tiden vattennivån sänks genom pumpning.

I Oxledsvägens pumpstation, som alltså är provpunkten i referensområdet, har avsänkingsvolymen också beräknats. Nedre delen av pumpbrunnen är dock inte helt cylinderformad utan svagt konisk, se Figur 4-3, och då inga ritningar på brunnen funnits tillgängliga, är utförd beräkning inte absolut utan en bästa uppskattning.

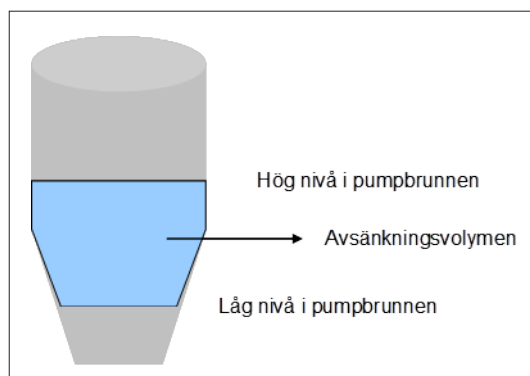
Vidare har denna pumpstation en ”städfunktion” som innebär att brunnen pumpas tom ca 15 gånger per dygn. Under dessa tömningar erhålls en annan avsänkingsvolym vilket tagits med i beräkningen av dygnsflödet genom Oxledsvägens pumpstation.

Tabell 4-1

Prover som analyserats på innehåll av partiklar 500–5 000 µm, partiklar 10–500 µm och däckpartiklar 10–500 µm på Ryaverket, SVOA, Käppalaverket och Sjölundaverket i föreliggande projekt.



Figur 4-2
Provtagningsutrustning
ISCO 6700



Figur 4-3
Schematisk bild av
avsänkingsvolymen
i Oxledsvägens pump-
station.

Plasten i uppsamlingsdunken var polyeten high density. Ingen tvättning eller rengöring av dunken gjordes innan provtagning. Vattnet överfördes till 1-liters glasflaskor, med aluminiumfolie mellan locket och glasflaskan. Proverna förvarades frysta och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.2 Hushållsspillvattenprovtagning i Skarpnäck, Stockholm

Provtagningarna genomfördes flödesproportionellt med ett provuttag per 7 m³ passerat spillvatten. Provet förvarades inte kylt under provtagningen men tömningar genomfördes var 3:e dag och förvarades därefter i kylan. Delproverna blandades proportionellt till ett veckoprov och överfördes därefter till 5 liters aluminiumflaskor. Vid provtagningarna användes vakuumprovtagare av typen AquaCell. Flödet mättes med en tillfälligt monterad flödesmätare av dopplertyp (Nivus PCM-F). Slangen som använts var av polypropylen (och ca 2m polytetrafluoreten) och ett 10 liters glaskärl för uppsamling av prov. Proverna skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.3 Inkommande vatten

Provtagning Ryaverket

Provtagningarna utfördes under samma dygn i mars och april 2018 som hushållsspillvattenprovtagningen, se 4.2.1. Proverna togs under torrväder, och flödena var representativa för normalflöde. Det tredje provet förlorades och nytt prov togs i september 2018 på samma sätt som de andra. Provtagning utfördes med ISCO 6700 provtagare och plasten i uppsamlingsdunken var polyeten high density. Vattnet överfördes sedan till 1 liters glasflaskor, med aluminiumfolie mellan locket och glasflaskan. Proverna förvarades fryst och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

Provtagning Käppalaverket

Prov på inkommande vatten togs som veckoprov under vecka 26, vecka 33 och vecka 37 under 2019. Dessa veckor inföll under perioden då förluftskanalen i silhallen renoverades och provpunkt för inkommande avloppsvatten därför temporärt flyttades. Efter en utvärdering framkom att den temporära provpunkten inte var representativ, bland annat på grund av att vattnet späddes ut av tillskottsvatten från sandtvätten. Därför har inte provtagning av inkommande avloppsvatten från Käppalaverket kunnat inkluderas i studien. Omprov på inkommande avloppsvatten kommer att tas under hösten 2020 och resultaten kommer att presenteras i en separat rapport som kommer att publiceras på Käppalaförbundets hemsida: www.kappala.se.

4.2.4 Utgående vatten

Provtagning utfördes på samma sätt på Ryaverket och Käppalaverket. Provtagning utfördes av Aalborg universitet på respektive reningsverk och utgående vatten filtrerades genom 10 µm filter i rostfritt stål. Vatten kördes igenom filtret tills trycket var uppe i ca 1,5 bar. Därefter lades filtren i MilliQ-vatten för transport till Aalborg för analys. På Ryaverket gjordes provtagningen i juni 2018 och på Käppalaverket i september 2019.

4.2.5 Rens

Provtagning av rens gjordes enbart på Ryaverket. Där finns 20 mm och 2 mm galler. Renset som provtogs var först tvättat och pressat i ordinarie processer. För respektive rensstorlek togs 3 stickprov i juni 2018. Proverna togs i glasburk, med aluminiumfolie mellan locket och glasflaskan. Proverna förvarades fryst och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.6 Orötat, förtjockat slam

Provtagning av orötat slam gjordes enbart på Ryaverket. Det örötade slammet består av en blandning mellan primärslam (ca 50 %) och överskottsslam (ca 50 %) som har förtjockats i bandgravitationsförtjockare. Vid vissa tillfällen innehåller blandslammet också

så kallat kemsлам. I bandgravitationsförtjockarna tillsätts katjonpolymer för att uppnå en TS-halt på i genomsnitt 6 %. Slammet kvarnas innan förtjockning. Proverna är tagna efter denna kvern vilket eventuellt kan ha påverkat partikelstorleksfördelningen. Totalt togs 3 stickprov ut på vardera ca 1 kg i april 2019. Proverna frystes i aluminiumflaskor och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.7 Rötat, ej avvattnat slam

Provtagning av rötat, ej avvattnat, slam gjordes enbart på Ryaverket. Proverna togs direkt efter rötkammarna, där slammet rötats mesofilt, ca 35 grader i ca 20 dagar. Detta prov innehåller också material från mottagningen av externt organiskt material som tillförs direkt till rötkammaren. Det finns en kvern mellan den sista rötkammaren och slamavvattningen. Dessa prover är tagna före kvernen. Totalt togs 3 stickprov ut, i aluminiumflaskor, på vardera ca 1 kg i april 2019. Proverna frystes i och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.8 Rötat och avvattnat slam

Provtagning Ryaverket

Proverna på rötat, avvattnat slam togs efter avvattning i skruvpressar. Vid slamavvattningen tillsätts flytande polymerer och TS-halten blir ca 25 % i det avvattnade slammet. Detta prov innehåller också material från den externa mottagningen av externt organiskt material som tillförs direkt till rötkammaren. Det finns en kvern mellan den sista rötkammaren och slamavvattningen. Dessa prover är tagna efter kvernen vilket kan ha påverkat partikelstorleksfördelningen. Totalt togs 3 stickprov ut på vardera ca 1 kg i juni 2018. Proverna togs i glasburk, med aluminiumfolie mellan locket och glasflaskan. Proverna förvarades fryst och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

Provtagning Käppalaverket

Provtagning av avvattnat slam utfördes som veckosamlingsprov vecka 29, vecka 36 och vecka 40 under 2019. Dygnsvis tog 50 g stickprov från varje centrifug som var i drift. Normalt är tre centrifuger i drift, vilket ger ett prov på 1 050 g slam på en vecka. Proverna togs med en provtagare i metall och fördes över till provtagningsburk i metall med metallock med hjälp av en glasstav. Provet förvarades kylt och skickades efter respektive avslutad provtagningsvecka med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.9 Fett från försedimentering

Totalt togs 3 stickprov ut på vardera ca 600–800 g i december 2018 och januari 2019. Fettet från försedimenteringen skickas till en uppsamlingstank där det blandas med vatten från renstvätt. Denna blandning hämtas med slambil och pumpas in i rötkammarna. Fettet från försedimenteringen är alltså en intern ström. Proverna togs ut och förvarades i aluminiumflaskor i frysen och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys.

4.2.10 Externt organiskt material

Totalt togs 8 stickprov ut på vardera ca 1 liter i juni 2019. Dessa blandades sedan till 3 blandprov om vardera ca 900 ml i kategorierna:

- Fettavskiljare restauranter
- Livsmedelsindustrier (industribageri och margarinindustri)
- Glassindustri

Proverna togs ut och förvarades i aluminiumflaskor i frysen och skickades med kyld transport till Aalborg universitet för analys. Se Tabell 4-2.

Prov	Mängd till analys	Delprov som blandades	Kategori	TS-halt
1	900 ml	4 x 225 ml	Fettavskiljare restaurang	5,5 %
2	900 ml	2 x 450 ml	Fettavskiljare livsmedelsindustri	2,4 %
3	900 ml	2 x 450 ml	Fettavskiljare glasstillverkning	15 %

Tabell 4-2
Blandning av EOM-prover och kategorier.

4.2.11 Sammanfattning av de prover som jämförs

I projektet har totalt 32 mikroplastprover 10–500 µm analyserats: 6 på hushållsspillvatten (3 från Stockholm och 3 från Göteborg), 6 från Käppalaverket (utgående avloppsvatten och slam) och 20 på Ryaverket. Utöver dessa prover har däckpartiklar 10–500 µm också analyserats: 6 på hushållsspillvatten (3 från Stockholm och 3 från Göteborg), 3 på slam från Käppalaverket, 20 från Ryaverket och 7 från Sjölundaverket (2 på inkommande avloppsvatten, 4 på utgående avloppsvatten och 1 på slam). Resultaten från Sjölundaverkets mikroplastprover 10–500 µm har tidigare presenterats i SVU-rapport 2018:13 och tas med här som jämförelse. De nya analyser som gjorts på tidigare tagna, nedfrysta prover från Sjölundaverket är alltså enbart på däckpartiklar 10–500 µm. I Tabell 4-3 presenteras enbart de provpunkter som jämförs mellan avloppsreningsverken i denna rapport.

Tabell 4-3
Sammanfattande tabell över de prov från Ryaverket, Käppalaverket och Sjölundaverket som jämförs i denna rapport.

Fraktion	Antal prover	Mängd uttaget prov per tillfälle	Mängd till analys per tillfälle	Kommentar
Hushållsspillvatten Askim, Göteborg	3 dygnsprover	30 liter	5x1 liter	Flödesproportionell provtagning.
Hushållsspillvatten Skarpnäck, Stockholm	3 veckoprov	20 liter	5x1 liter	Flödesproportionell provtagning.
Inkommande vatten Ryaverket	3 dygnsprover	30 liter	5x1 liter	Flödesproportionell provtagning.
Inkommande vatten Käppalaverket ¹	3 veckoprov	35 liter (4,5 liter per dag)	5x1 liter	Flödesproportionell provtagning.
Inkommande vatten Sjölundaverket	2 samlingsprov av 8 dygnsprov	5–10 liter	5x1 liter	Prov togs i fyra dagar i två perioder.
Utgående vatten Ryaverket	2 blandprov enligt beskrivning i kap 4.2.4	3x 100–300 liter	-	Filtrering på plats genom 10 µm stålfilter.
Utgående vatten Käppalaverket	3 blandprov enligt beskrivning i kap 4.2.4	3x 1000 liter	-	Filtrering på plats genom 10 µm stålfilter.
Utgående vatten Sjölundaverket	4 blandprov	3x 150–600 liter	-	Filtrering på plats genom 10 µm stålfilter.
Avvattnat slam Ryaverket	3 stickprover	Ca 1 kg	3x1 kg	Stickprover tagna under representativa förhållanden på årsbasis.
Avvattnat slam Käppalaverket	3 veckoprov	Ca 1 kg (150 g/dag)	3x1 kg	Stickprov tagna dygnsvis från centrifuger i drift, blandade till ett veckosamlingsprov.
Avvattnat slam Sjölundaverket	1 årsprov	0,5 liter	0,5 liter	En del av ett årsprov från 2016.

¹ Analysresultat från prov på inkommande vatten Käppalaverket har inte kunnat användas på grund av problem med provtagningspunkt, se avsnitt 4.2.3.

4.3 Provberedningsmetod

Innan ett prov analyseras med µFTIR-imaging måste irrelevant material, d.v.s. ej mikroplast, i provet tas bort och mikroplasten koncentreras. I detta SVU-projekt har samma

metoder använts som beskrivs detaljerat i SVU-rapport 2018:13 (Ljung et al., 2018), läsaren hänvisas därför till kapitel 4.3 i den rapporten. På grund av de komplicerade matriserna tar provberedningen mellan två veckor för avloppsvatten till två månader för slam.

4.4 Analysmetod

Många studier baseras på att räkna antalet mikroplastpartiklar, men ett högt antal partiklar innebär inte nödvändigtvis att mikroplast är ett signifikant bidrag av den totala mängden partiklar i avloppsvatten. Ett högt antal mikroplastpartiklar är inte direkt förknippat med en stor massa och vice versa. Resultaten i Simon et al. (2018), som jämför massa och antal partiklar på 10 danska avloppsreningsverk, illustrerar detta fenomen väl. I föreliggande studie har därför både massa och antal partiklar analyserats och därmed har massbalanser kunnat upprättats för att öka förståelsen för hur koncentrationen av mikroplaster i olika strömmar till, inom och från avloppsreningsverk fördelas.

I den här studien analyserades alla plastpartiklar med Focal Plane Array (FPA)- μ FTIR spektroskopi. För partiklar i storleksintervallet 10–500 μ m användes FPA- μ FTIR-imaging, medan för partiklar > 500 μ m användes Attenuated Total Reflectance (ATR)-FTIR. Mycket detaljerad information om mikroplastpartiklarnas antal, massa, storlek, form och vilken typ av polymer fås med dessa analysmetoder. I detta SVU-projekt har samma metoder använts som beskrivs detaljerat i SVU-rapport 2018:13, läsaren hänvisas därför till kapitel 4.3 i den rapporten (Ljung et al., 2018).

Med metoderna som har använts i detta projekt har Aalborg universitet kunnat bestämma kontamineringsgrad och återfunna mikroplaster. Med god säkerhet kan det sägas hur många falska positiva som hittas. Labbets kontamineringsgrad är liten, mindre än 1 %. Antalet falskt identifierade partiklar uppskattas till under 10 %. Men hur många plastpartiklar som finns i proverna som inte lyckas identifieras (antingen för att de är delvis nedbrutna eller delar av kompositmaterial) är mycket svårt att värdera. Uppskattningsvis ligger den totala osäkerheten på ca 30 %.

4.4.1 Däckpartikelanalys

I denna studie analyserades också däckpartiklar med hjälp av pyrolys GC-MS. Det är då mängden styren-butadien-gummi som fastställs. Detta är en del av däckmaterialet och för att få det till total mängd multipliceras den uppmätta mängden med en faktor som Aalborg universitet har fastställt till 2,5. Denna faktor är baserad på litteratordata. Andra studier kan använda en högre faktor, men det är då för att rapportera mängden däck- och vägpartiklar sammanlagt. Den här faktorn innehåller osäkerheter men det är den bästa som kan användas med dagens kunskap.

Pyrolys GC-MS mäter inte direkt på polymeren så som FTIR gör, istället mäts nedbrytningsprodukter som bildas när provet värms upp till en hög temperatur, 600 °C, i en inert atmosfär. De bildade nedbrytningsprodukterna (markörerna) analyseras sedan med GC-MS. I den processen kan provets matris störa polymeren som ska mätas och leda till att det bildas mer eller mindre av den markör som används till att kvantifiera plasten. Den kan också vara andra ämnen i matrisen som ger signal på samma markör som den polymer som undersöks eller att bakgrundssignaler från matrisen i provet är starkare än signaler från markören. För att minimera dessa problem har pyrolysproverna genomgått samma provförberedelse som FTIR-proverna. Det är dock fortfarande möjligt att det finns matriseffekter som leder till felbestämmelser. Omfattningen av dessa är hittills inte kända då det till författarnas kännedom aldrig har gjorts denna typ av analys på avloppsvatten- eller slamprover. Under tiden detta projekt har pågått har Aalborg universitet bytt markörer och utvecklat metoden att göra kalibreringskurvor på, det har blivit bättre men analysmetoderna är långt ifrån färdigutvecklade och det är svårt att värdera hur trovärdiga siffrorna är, hur stora osäkerheterna är och vilka felkällorna är.

Analysmetoden kan sägas vara på det experimentella stadiet. Metodutveckling fortsätter under 2020 på Aalborgs universitet.

Analyserna har gjorts med en Thermo Scientific ISQ LT GC-MS System ihopkopplad med Frontiers labbs Multi-Shot Pyrolizer EGA/PY-3030D och Frontier labbs Autosampler AS-1020E Auto-Shot. Kalibreringen gjordes på naturliga däckpartiklar med en markör baserad på D-Limone ion 93. Innan analys genomgick proverna samma provberedning som för μ FTIR-imaging. Ett delprov av partikelkoncentratet i 50 % etanol filtrerades på ett GF filter, därefter placerat i en pyrolysbägare och pyrolyserat under samma förhållanden som för standardkurvan för däckpartiklar.

4.4.2 Analys av rens

För analys av rensen användes ATR-FTIR för den stora fraktionen $>500\ \mu\text{m}$. I övrigt torkades och vägdes rensen. För den mindre fraktionen $10\text{--}500\ \mu\text{m}$ har inga FTIR-analyser utförts.

5 Resultat

I det här kapitlet redovisas först resultat från mikroplastanalyser i storleksfördelningen 10–500 µm i alla provpunkter i varsitt delkapitel, därefter följer massbalansberäkningar för Ryaverket och Sjölundaverket i kapitel 5.7. Sedan exemplifieras skillnaden mellan att presentera resultat i antal partiklar och massa och därefter följer ett kapitel om resultaten från analys av däckpartiklar (kapitel 5.9). Resultat för partiklar 500–5000 µm redovisas i ett eget kapitel. En överblick av antalet prov som jämförs mellan de olika avloppsreningsverken har tidigare presenterats i Tabell 4-3. För alla analysresultat i alla provpunkter samt standardavvikelser, se Bilaga B-D.

5.1 Hushållspillvatten

Koncentrationen av mikroplaster i referensområdena som har undersökts har antagits vara representativt för allt spillvatten. Den större delen av det spillvatten som inte kommer från hushåll kommer från hushållsliknande aktiviteter som genomförs av eller åt medborgarna när de inte just är i sina hushåll utan på jobbet eller skolan eller någon serviceinrättning. Det handlar om tvätt, städning, toalettbesök, duschande och matlagning för att ta de vanligaste exemplen. Vid dessa aktiviteter kan tillförseln av mikroplast antas vara densamma oavsett om aktiviteten sker hemma eller i skolan, på jobbet eller i ett storkök eller tvätteri. En uppräknings till allt spillvatten har utförts med hjälp av analysresultat av koncentrationen av mikroplaster i hushållspillvatten som multiplicerats med de totala mängderna spillvatten som kommer till respektive avloppsreningsverk. Detta har sedan dividerats med totalt antal personekvivalenter (pe) anslutna till respektive avloppsreningsverk för att ge en jämförbar siffra i gram/pe och år. En pe motsvarar 70 g BOD₅/dygn. Se Tabell 5-1.

Halten av mikroplast i hushållspillvatten var låg (40–100 µg/l) jämfört med inkommande avloppsvatten till Ryaverket, Sjölundaverket och genomsnitt för 10 danska ARV (60–350 µg/l, se Tabell 5-6). Referensområdet i Stockholm hade något högre innehåll av mikroplaster (10 g/person, år) jämfört med Göteborg (3 g/person, år), men med tanke på de stora analys- och provtagningsosäkerheterna, kring 30 %, är skillnaden ändå inte så stor.

	Flöde från ref. område (m ³ /d)	Antal partiklar per liter	µg/l från ref. område	g/person, år från ref. område	g/pe, år uppräknat till allt spillvatten
Göteborg	190	640	40	3,1	2,2
Stockholm	650	680	110	10	7,0

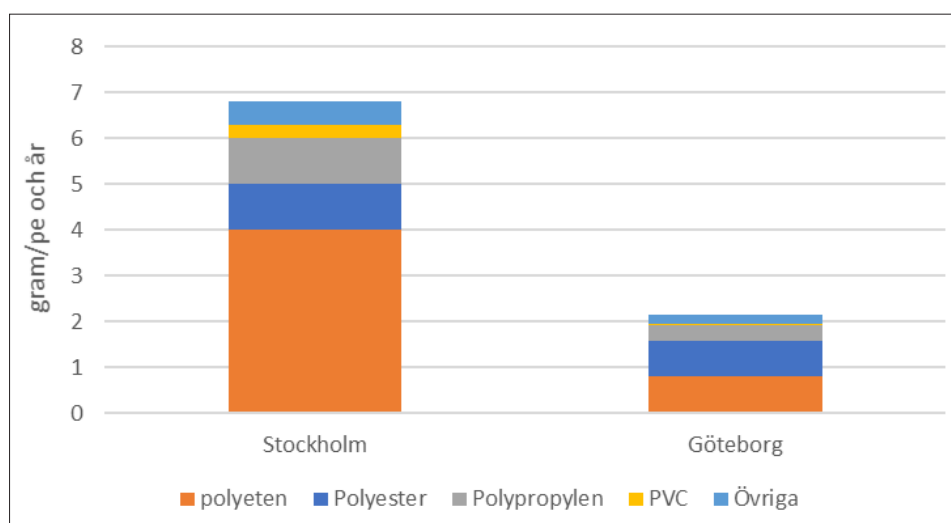
I Tabell 5-2 har mängden mikroplaster i Sverige totalt som kommer från hushåll, och därmed riskerar att nå reningsverken via spillvattnet, uppskattats. Den totala mängden uppskattades till 7–93 gram per person och år. Den analyserade mängden från Askim och Skarpnäck är 3–10 gram per person och år om det beräknas utifrån respektive områdes faktiska flöde, koncentration och folkmängd, se Tabell 5-1. Det indikerar att det är den lägre delen av intervallet som stämmer bäst överens med verkligheten.

Tabell 5-1

Analysresultat från provtagning från referensområdena Skarpnäck i Stockholm och Askim i Göteborg samt beräkning av mängd per person i referensområdet och mängd per personekvivalent (pe) uppräknat till allt spillvatten som når Ryaverket respektive Käppalaverket.

Källa	Mängd (ton/år)	Mängd (g/person, år)
Hygienprodukter	59	6
Damm	1–17	0,1–1,7
Tvätt	8–850	0,7–85
Total mängd	67–927	7–93

Både i referensområdet i Göteborg och i Stockholm var de vanligaste förekommande polymererna polyester, polyeten och polypropylen. Tidigare studier har visat att fiber av polyester, polypropylen och akryl avges vid tvätt av textilier och därmed är detta en trolig källa till bidragen från hushållen (Napper och Thompson, 2016; De Falco et al., 2018). Se Figur 5-1, Tabell 5-3 och Tabell 5-4.



Tabell 5-2

Uppskattad mängd från hushåll till spillvatten-nätet (Magnusson et al., 2016). Gram per person och år har beräknats utifrån 10 miljoner invånare i Sverige. Osäkerheten i siffrorna är stor då underlaget i huvudsak baseras på beräkningar, inte på uppmätta värden.

Figur 5-1

Fördelning av mikroplaster i spillvatten utifrån halter i Stockholms respektive Göteborgs referensområde, uppräknat till allt spillvatten till Käppalaverket respektive Ryaverket.

Polymerer	µg/l	g/pe, år	kg/d
Polyester	15	0,8	2,1
Polyeten	14	0,8	2,1
Polypropylen	6,1	0,3	0,9
PVC	0,7	0,0	0,1
Övriga	3,7	0,2	0,5
Summa	39	2,2	5,7

Tabell 5-3

Olika polymerer i hushållsspillvatten från Askim i Göteborg, uppräknat till allt spillvatten till Ryaverket.

Polymerer	µg/l	g/pe, år	kg/d
Polyester	23	1,5	2,2
Polyeten	63	3,9	6,0
Polypropylen	15	0,9	1,4
PVC	4,0	0,3	0,4
Övriga	7,8	0,5	0,7
Summa	113	7,1	10,8

Tabell 5-4

Olika polymerer i hushållsspillvatten från Skarpnäck i Stockholm, uppräknat till allt spillvatten till Käppalaverket. Observera att vattnet från Skarpnäck leds till Henriksdal men att det anses representativt även för hushållsspillvatten som leds till Käppalaverket, se kapitel 3.3.

5.2 Rens

För rens finns inga resultat från μ FTIR på storleken 10–500 μ m. Vikten av partiklar som var mindre än 500 μ m har dock uppmätts. I genomsnitt av alla partiklar som hittades i rensen från 2 mm gallren var det ca 3 % av TS som var i storleken 10–500 μ m. Därefter har det antagits att andelen av alla partiklar som är av plast är densamma i storleken 10–500 μ m som för 500–5000 μ m. Det motsvarar då 0,002 g mikroplast/g rens från 2 mm gallren. Det innebär att i genomsnitt avskildes ca 5 kg mikroplast per dygn med finrensen som skickas till förbränning, dvs. ca 30 % av inkommande total mängd mikroplast. Det går dock inte att säga vilka polymerer detta utgjordes av. Se Tabell 5-5.

Tabell 5-5

Mikroplaster som avskiljs med 2 mm rens på Ryaverket (och därefter skickas till förbränning).

	Genomsnittligt rensflöde (kg/h)	gram mikroplast/g rens	Mikroplast i rens till förbränning (kg/d)	Mikroplast i rens till förbränning (g/pe, år)	Andel av inkommande till förbränning (%)
Ryaverket	80	0,002	5,3	2,0	27 %

5.3 Inkommande avloppsvatten

Med inkommande avloppsvatten menas vatten som först gått igenom ett galler: Ryaverket 20 mm galler och Sjölundaverket 3 mm galler. En jämförelse görs också med en studie på 10 danska ARV, där inkommande vatten också innebär att det har passerat ett galler, vanligtvis 5 mm (Simon et al., 2018). Halten av mikroplaster i inkommande avloppsvatten har multiplicerats med aktuella flödena under provtagningstillfällena för att få ett massflöde. Detta massflöde har antagits vara representativt på årsbasis.

I Tabell 5-6 presenteras jämförelse mellan Ryaverket, Sjölundaverket och 10 danska ARV. Tyvärr finns inga resultat från Käppalaverket som förklarats i kap 4.2.3. Halten skiljer sig något åt mellan de olika avloppsreningsverken, där Ryaverket har lägst halt och de danska avloppsreningsverken har högst halt. När jämförelsen görs i gram per personequivallent och år, har Ryaverket en belastning på mindre än hälften av Sjölundaverkets och de danska avloppsreningsverken, med ca 7 gram per personequivallent och år. Detta trots att en del av mikroplasten potentiellt redan har avskilts på Sjölundaverket i 3 mm galler, jämfört med Ryaverket där vattnet enbart passerat 20 mm galler i provpunkten inkommande. Det finns i nuläget ingen förklaring till denna skillnad.

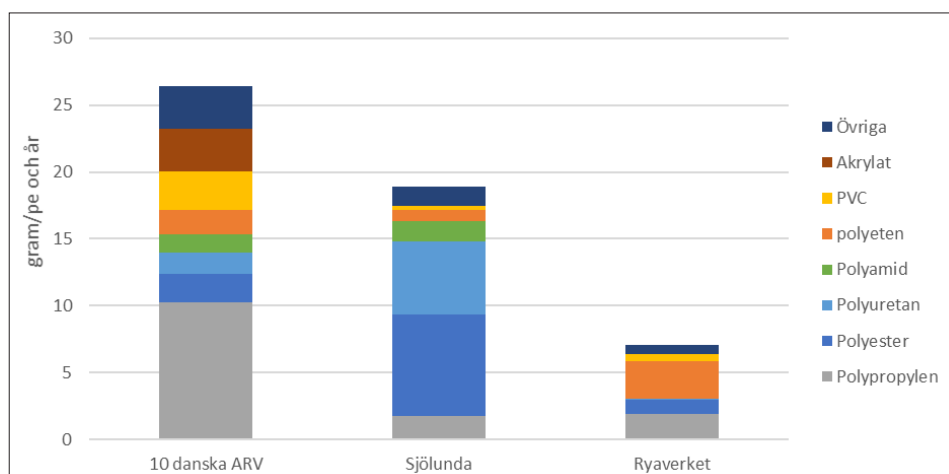
	Antal pe	Antal partiklar per liter	μ g/l	g/ansluten person, år	g/pe, år
Ryaverket (2018)	971 000	530 $\pm$ 180	60	9,0	7,1
Sjölundaverket (2016)	354 000	1880	180	20	19
10 danska ARV (Simon et al., 2018)	2 243 000	7220	350	– ¹	26

¹ Anslutningen borde motsvara ca 25 % av den danska befolkningen, men de exakta siffrorna finns inte.

Tabell 5-6

Medelvärde av alla mikroplaster i inkommande avloppsvatten, efter 20 mm galler på Ryaverket, efter 3 mm galler på Sjölundaverket, och efter vanligtvis 5 mm galler på de danska avloppsreningsverken.

De vanligaste förekommande polymererna skiljer sig en del åt mellan de olika avloppsreningsverken. Polyester utgjorde till exempel 40 % av massan i inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket och var den klart vanligaste polymertypen, medan polyester för de danska avloppsreningsverken enbart utgjorde 8 % av massan och för Ryaverket 14 %. In till Ryaverket var istället den vanligaste förekommande polymeren polyeten (40 %), medan det för de danska avloppsreningsverken var polypropylen (39 %). I inkommande vatten till Sjölundaverket var en stor andel av mikroplasten polyuretan (29 %) medan det för Ryaverket enbart utgjorde 1 % av mikroplastmassan och för de danska avloppsreningsverken enbart 6 %. I de danska avloppsreningsverken återfanns också ca 12 % av massan som akrylat, vilket inte identifierades alls på Ryaverket eller Sjölundaverket. Se Figur 5-2, Tabell 5-7 och Tabell 5-8.



Figur 5-2
Fördelning av polymer-typer i inkommande vatten (efter galler) till 10 danska ARV, Sjölanda-verket och Ryaverket.

	µg/l	g/pe, år	kg/d
Polyester	9,0	1,0	2,7
Polyeten	23	2,8	7,5
Polypropylen	16	1,9	5,2
PVC	4,2	0,6	1,5
Övriga	5,9	0,7	2,0
Summa	58	7,1	19

Tabell 5-7
Olika polymerer i inkommande vatten (efter 20 mm galler) till Ryaverket.

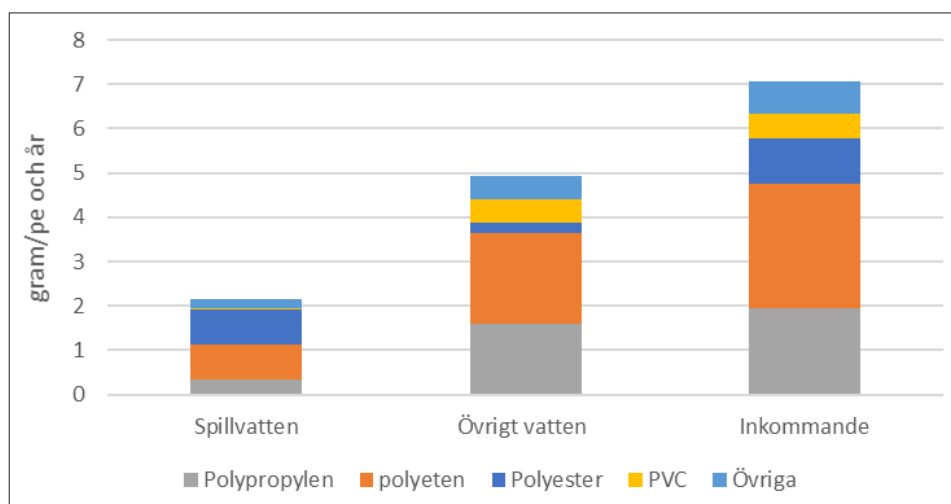
	µg/l	g/pe, år	kg/d
Polyester	72	7,6	7,4
Polyeten	7,6	0,8	0,8
Polypropylen	17	1,8	1,8
PVC	3,1	0,3	0,3
Polyuretan	53	5,5	5,5
Polyamid	15	1,5	1,5
Övriga	11	1,5	1,1
Summa	180	19	18

Tabell 5-8
Olika polymerer i inkommande vatten till Sjölundaverket (efter 3 mm galler).

På Ryaverket har provtagning av hushållspillvatten möjliggjort en kartläggning varifrån den inkommande mängden mikroplast härstammar; om det är ifrån spillvatten från hushåll och allmänna inrättningar med hushållsliknande spillvatten eller övrigt vatten. Det övriga vattnet har beräknats som inkommande avloppsvatten till reningsverket minus spillvatten. Med övrigt vatten menas, dagvatten, dränvatten, inläckande dricksvatten och eventuella marginella processvattenflöden från industrier. Av den totala massan mikroplast, kommer 30 % från spillvatten och 70 % från övrigt vatten. För varje (av de vanligaste förekommande) polymertyperna har detta illustrerats i Figur 5-3.

Av mängden polyester som kommer till Ryaverket härstammar merparten från spillvatten, för polyeten fördelar det sig jämnt mellan spillvatten och övrigt vatten. PVC kommer mest med det övriga vattnet och samma gäller för polypropylen.

I Tabell 5-9 har mängden mikroplaster från källor i Sverige uppskattats enligt angivna referenser. De flesta angivna källorna når främst avloppsreningsverket via spillvattnet. Från konstgräsplaner kan viss mängd nå avloppsreningsverket via spillvattennätet då de avges från fotbollsspelare som duschar av sig eller vid tvätt av kläder som använts på konstgräsplanen. Det har dock antagits att den största mängden mikroplaster från



Figur 5-3
Fördelning av polymerer i hushållsspillvatten, övrigt vatten och i inkommande avloppsvatten till Ryaverket.

Tabell 5-9
Uppskattad mängd mikroplaster från olika källor. Gram per person och år har beräknats utifrån 10 miljoner invånare i Sverige. Osäkerheten i siffrorna är stor då underlaget i huvudsak baseras på beräkningar, inte på uppmätta värden.

konstgräsplaner följer med dagvattnet och att 13 % av detta dagvatten når ett avloppsreningsverk (Naturvårdsverket, 2019).

I inkommande vatten till Sjölundaverket är totala mängden mikroplast 20 g/person, år och på Ryaverket är den 9 g/person, år. Det indikerar att de tidigare uppskattade mängderna enligt referenser i Tabell 5-9 troligen överskattas.

Källa till mikroplast	Mängd (ton/år)	Mängd till ARV (ton/år)	Mängd till ARV (g/person och år)	Referens
Tvätterier	2–115	2–115	0,2–12	Brodin, 2018
Konstgräsplaner	475	62	6,2	Naturvårdsverket, 2019
Konsumenttvätt	8–950	8–950	0,8–95	Magnusson et al. (2016)
Hygienprodukter	66	66	6,6	Magnusson et al. (2016)
Hushållsdamm	1–19	1–19	0,1–1,9	Magnusson et al. (2016)
Summa till ARV	552–1625	140–1210	14–121	

5.4 Utgående, renat avloppsvatten

Halten av mikroplaster i utgående avloppsvatten har multiplicerats med de flödena som var under provtagningstillfällena för att få ett massflöde. Detta massflöde har antagits vara representativt på årsbasis.

Den totala avskiljningsgraden är, som också tidigare redovisats i många studier, mycket god, ca 99 % för de reningsverk där mikroplast analyserats i vatten till och från avloppsreningsverket (Tabell 5-10).

Halten mikroplaster i utgående vatten från Käppalaverket är lägre än övriga reningsverk. En förklaring kan vara det sista reningssteget som på Käppalaverket består av sandfilter. Sandfiltret backspolas efter 90 timmars drifttid. Sandfilterspolvattnet leds antingen till steget innan försedimentering eller till biosteget. Om inkommande massflöden antas liknande per capita som för Ryaverket och Sjölundaverket kan avskiljningsgraden vid Käppalaverket alltså antas vara högre än 99 %. Ryaverkets sista reningssteg för avskiljning av partiklar består av en skivfilteranläggning där porstorleken är 15 µm och Sjölundaverkets sista reningssteg för partikelavskiljning sker i en flotationsanläggning. En tidigare studie där antal mikroplastpartiklar analyserades på bland annat Ryaverket och Henriksdal reningsverk visade dock ingen reduktion av mängden mikrokräp efter sandfiltren i Henriksdals reningsverk. I den studien användes en mindre utvecklad metod för provtagning och analys än i den aktuella studien (Magnusson & Wahlberg, 2014).

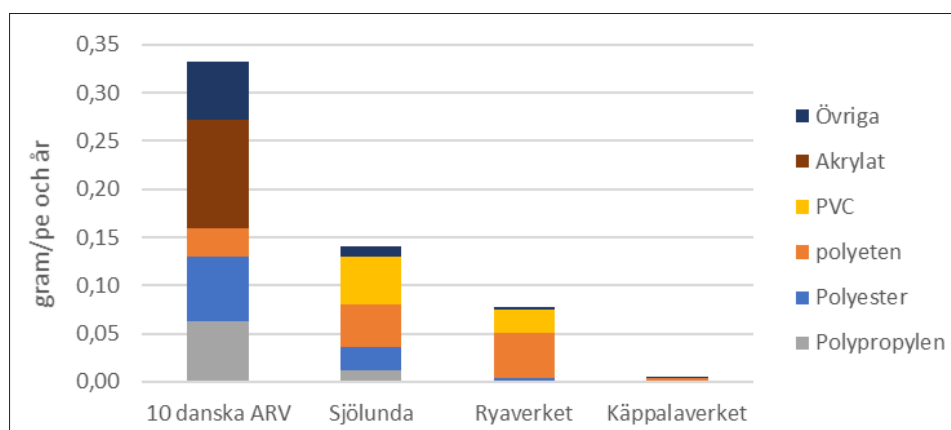
En annan möjlig förklaring till lägre utgående halter på Käppalaverket är att Ryaverket och Sjölundaverket använder MBBR- teknik med bärmaterial, medan Käppalaverket har en aktivslamprocess i biosteget. Mikroplasterna skulle eventuellt kunna adsorberas till de suspenderade aktivslampartiklarna i större utsträckning än till MBBR-slammet.

Det är viktigt att påpeka att det är väldigt få partiklar som återfinns i utgående vatten och för alla avloppsreningsverk innebär det enbart mindre än 0,5 gram per personekvivalent och år till recipient.

	Antal partiklar per liter	µg/l	g/pe, år	g/person, år	kg/d
Ryaverket	3,8	0,7	0,08	0,10	0,2
Käppalaverket	0,11	0,06	0,005	0,005	0,007
Sjölundaverket	8,7	1,4	0,14	0,15	0,1
10 danska ARV (Simon et al., 2018)	54	4,4	0,33	– ¹	2,0

¹ Anslutningen borde motsvara ca 25 % av den danska befolkningen, men de exakta siffrorna finns inte.

Av de väldigt få partiklar som återfinns i utgående vatten är de vanligaste förekommande polymererna polyeten och PVC i de svenska avloppsreningsverken, och i de danska avloppsreningsverken är det akrylat, polyester samt polypropylen. För Sjölundaverket var polyuretan och polyamid vanligt förekommande i inkommande vatten, men återfinns inte alls i utgående vatten. Se Figur 5-4 och Tabell 5-11.



Tabell 5-10

Mikroplaster totalt i utgående avloppsvatten, medelvärden. Samtliga mikroplastanalyser av utgående vatten har utförts av Aalborg universitet med metodiken som beskrivs i kapitel 4.4.

Figur 5-4

Olika polymerer i utgående vatten.

	Sjölundaverket (g/pe, år)	Ryaverket (g/pe, år)	Käppalaverket (g/pe, år)
Polyester	0,02	0,003	0,0001
Polyeten	0,04	0,05	0,004
Polypropylen	0,01	0,001	0,0002
PVC	0,05	0,02	0,00005
Övriga	0,01	0,003	0,0003
Summa	0,14	0,08	0,005

Tabell 5-11

Jämförelse olika polymerer i utgående vatten för Sjölundaverket, Ryaverket och Käppalaverket, i g/pe, år.

5.4.1 Bräddning av avloppsvatten

Bräddning sker endast i undantagsfall då flödena är så höga att reningsverkets kapacitet att rena vattnet överstigs. Detta kan ske exempelvis vid kraftigt ihållande regn eller i samband med snösmältning. Bräddning kan antingen ske på avloppsledningsnätet eller i vissa fall vid avloppsreningsverket. På Käppalaförbundet skedde bräddning vid

avloppsreningsverket senast år 2016, på Ryaverket sker ingen bräddning.¹ Däremot sker bräddning på avloppsledningsnätet. För att få en grov uppskattning om hur mycket mikroplast som kan nå recipient via bräddning på avloppsledningsnätet har det antagits att koncentrationen av mikroplast i bräddat vatten är densamma som i spillvatten respektive övrigt vatten. Vid de tillfällen som bräddning sker, är det en stor andel tillskottsvatten och liten andel spillvatten i avloppssystemen, det har antagits att det bräddade spillvattnet är 10 gånger utspädd med tillskottsvatten. Tillskottsvattnets sammansättning varierar kraftigt mellan olika områden bland annat beroende på om de har kombinerade eller duplikata system, därför blir det en mycket grov uppskattning.

Vid en jämförelse av mängd mikroplast i g/pe, år som riskerar att nå recipient vid bräddning på avloppsledningsnätet i Ryaverkets upptagningsområde, med mängd mikroplast i dagvatten direkt till recipient i Göteborgsområdet, framgår att det krävs att bräddningarna av spill- och tillskottsvatten ökar med en faktor 100–1000 för att det ska motsvara lika mycket som tillförseln med dagvatten till recipient. Jämfört med utgående, renat avloppsvatten är belastningen från bräddningar på avloppsledningsnätet av spillvatten åtta gånger lägre och av tillskottsvatten 2,5 gånger högre. Se Tabell 5-12.

Tabell 5-12

Beräknad, ej uppmätt, tillförsel av mikroplast till recipient via bräddning på ledningsnätet i Ryaverkets upptagningsområde 2018 och jämförelse med tillförsel av mikroplast till recipient med dagvatten (beräknat) samt utgående, renat avloppsvatten (uppmätt).

	Bräddat spillvatten (m ³ /år)	Bräddat tillskottsvatten (m ³ /år)	Till recipient via bräddning av spillvatten (g/pe, år)	Till recipient via bräddning av tillskottsvatten (g/pe, år)	Till recipient via utgående, renat avloppsvatten (g/pe, år)	Till recipient via dagvatten (g/pe, år)
Ryaverkets upptagningsområde (2018) ²	312 000	2 811 000	0,01	0,2	0,08	ca 10

5.5 Fett från försedimentering och externt organiskt material

Av den totala mängden mikroplast som går in till rötningen på Ryaverket står tillförseln med externt organiskt material (EOM) för 9 % av mikroplastmassan och med fett från försedimenteringen (FS) för 2 %. I belastning baserat på TS står EOM för ca 3 % och fett från FS för ca 0,6 % av den totala mängden substrat som tillförs rötkamrarna. Mikroplastbelastningen från fett från FS och EOM till slam står alltså för en större andel än motsvarande TS-belastning. Se Tabell 5-13.

Tabell 5-13

Substrat till rötning år 2018 på Ryaverket: blandslam, externt organiskt material (EOM) och fett från försedimenteringen (FS).

	Blandslam	EOM	Fett från FS	EOM andel (%)	Fett andel (%)
Volym (m ³)	411 000	14 000	1000	3,3 %	0,2 %
TS (ton/år)	26 000	700	150	2,6 %	0,6 %
VS (ton/år)	20 000	560	Ej analyserat	2,7 %	-
Mikroplaster (kg/d)	18	1,9	0,3	9,2 %	1,6 %

Resultaten från EOM- och fettproverna från FS visar på en högre koncentration (960 respektive 630 mg/kg TS) än i slam (250–300 mg/kg TS). Dessa halter har multiplicerats upp med totala mängden fett från FS och EOM per år, ca 1 000 m³ respektive ca 14 000 m³. Genomsnittlig TS-halt var 15 % i fett från FS och 8 % i EOM-proverna. VS-halten uppmättes inte, på årsbasis är dock VS-halten i EOM uppskattad till 80 %, för fett från

1 Allt utgående vatten på Ryaverket passerar provtagningspunkten för utgående vatten. Vid höga flöden behandlas en del av det inkommande vattnet med direktfällning. Ryaverkets villkor på utgående vatten är på det samlade utgående vattnet, vilket innebär att vatten som direktfälls är att betrakta som en internström. Detta gör att det inte går att tala om bräddning på Ryaverket.

2 Totala bräddade volymer enligt sammanställning från Länsstyrelsen i Västra Götalands län utifrån respektive kommuns miljörapport (exklusive Härryda kommun). Fördelning av spill- och tillskottsvatten enligt personlig kommunikation med Kretslopp och Vatten, Göteborgs Stad (2020).

FS finns ingen sådan uppskattning. Se Tabell 5-14. För de olika typerna av EOM var det högst koncentration i kategorin fettavskiljare från restauranter, se Tabell 5-15.

	Antal partiklar/g TS	mg/kg TS	mg/kg VS	g/pe, år	kg/d
Fett från FS	1200	630	-	0,1	0,3
EOM	5200	960	770	0,7	1,9

EOM	mg/kg TS	mg/kg VS
Fettavskiljare restauranter	1860	1490
Fettavskiljare livsmedelsindustrier	890	710
Fettavskiljare glassindustri	130	100

Av de olika polymererna så hittades mest polyeten i fett, med väsentligt gånger högre koncentration än de övriga polymererna. I EOM var koncentrationen av polyester och polyeten högst. Se Tabell 5-16 och Tabell 5-17.

För jämförelse av de olika polymerernas tillförselvägar till rötat slam (blandslam, EOM eller fett från FS), se kapitel 5.6.4.

	mg/kg TS	g/pe, år	kg/d
Polyester	4,2	0,0005	0,001
Polyeten	589	0,1	0,3
Polypropylen	15	0,002	0,005
PVC	Ej identifierat	Ej identifierat	Ej identifierat
Övriga	24	0,003	0,01
Summa	631	0,12	0,32

	mg/kg TS	mg/kg VS	g/pe, år	kg/d
Polyester	274	219	0,2	0,5
Polyeten	534	428	0,4	1,2
Polypropylen	46	36	0,03	0,1
PVC	1,7	1,3	0,001	0,003
Övriga	102	82	0,1	0,2
Summa	958	766	0,7	1,9

Tabell 5-14

Mikroplaster totalt i fett från försedimenteringen (FS) och externt organiskt material (EOM) på Ryaverket.

Tabell 5-15

Total mängd mikroplast i de olika kategorierna av externt organiskt material (EOM).

Tabell 5-16

Olika polymerer i fett från försedimenteringen på Ryaverket.

Tabell 5-17

Olika polymerer i externt organiskt material (EOM) som tillförs rötningen på Ryaverket.

5.6 Slam

5.6.1 Orötat, förtjockat slam

I det orötade, förtjockade slammet på Ryaverket återfanns mikroplast i en koncentration på 230 mg/kg TS, motsvarande ca 7 g/pe, år. Se Tabell 5-18.

Resultaten från slamproverna innan rötning på Ryaverket visar på en något lägre masstransport (18 kg/d) än jämfört med inkommande (20 kg/d). Detta skulle kunna bero på att slammet kvarnas innan förtjockning och eftersom de här proverna är tagna efter denna kvarn, kan det möjligtvis ha fragmenterat partiklar till mindre än 10 µm som därmed inte längre syns i analyserna. Alternativt ligger denna skillnad inom osäkerheten i analyserna.

Av de olika polymererna så hittades mest polyester och polyeten i det orötade slammet, med ca 10 gånger högre koncentration än de övriga polymererna, se Tabell 5-19.

För jämförelse före och efter rötning, se avsnitt 5.6.4.

	Antal partiklar/g TS	mg/kg TS	mg/kg VS	g/pe, år	kg/d
Ryaverket	4800	230	175	6,8	18

Tabell 5-18
Mikroplaster totalt i orötat, förtjockat slam från Ryaverket.

	mg/kg TS	g/pe, år	kg/d
Polyester	117	3,5	9,4
Polyeten	85	2,5	6,6
Polypropylen	6,7	0,2	0,5
PVC	1,6	0,05	0,1
Övriga	16	0,5	1,4
Summa	226	6,8	18

Tabell 5-19
Olika polymerer i orötat, förtjockat slam från Ryaverket.

5.6.2 Rötat, ej avvattnat slam

I rötat, ej avvattnat slam från Ryaverket återfanns mikroplast i en mängd motsvarande ca 4 g/pe, år. Av de olika plasttyperna var polyeten den mest förekommande. Se Tabell 5-20 och Tabell 5-21.

I det rötade, ej avvattnade slammet från Ryaverket återfanns en masstransport av mikroplastpartiklar på 12 kg/d, vilket är en minskning från innan rötning (18 kg/d). Halten och antalet mikroplastpartiklar har dock ökat något. För utvärdering av förändringar över rötningsprocessen, se avsnitt 5.6.4.

	Antal partiklar/g TS	mg/kg TS	mg/kg VS	g/pe, år	kg/d
Ryaverket	7200	310	170	4,4	12

Tabell 5-20
Mikroplaster totalt i rötat, ej avvattnat slam från Ryaverket.

	mg/kg TS	g/pe, år	kg/d
Polyester	81	1,1	2,9
Polyeten	154	2,0	5,5
Polypropylen	14	0,2	0,5
PVC	0,5	0,01	0,02
Övriga	65	1,0	2,7
Summa	314	4,4	12

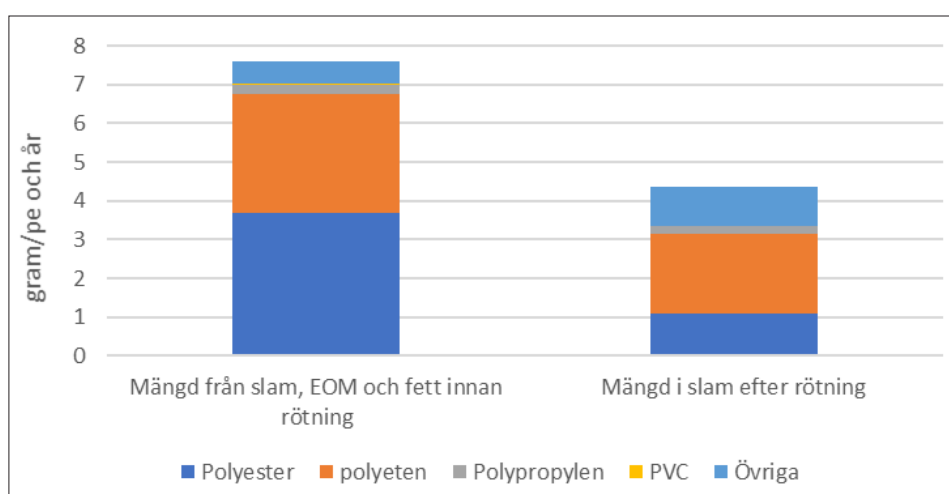
Tabell 5-21
Olika polymerer i rötat, ej avvattnat slam från Ryaverket.

5.6.3 Förändringar över rötningsprocessen på Ryaverket

Av den mängd mikroplast som återfinns i slammet efter rötning på Ryaverket kommer ca 9 % från EOM och 2 % från fett från försedimenteringen. Då har det antagits att all plast reduceras lika mycket över rötningsprocessen oavsett tillförselväg. Mikroplast från det externa organiska materialet står för en betydande andel, 9 %, jämfört med den TS-belastning det utgör, ca 3 %.

Av de prover som har tagits före och efter rötning kan ses att polyester och PVC verkar brytas ner (eller fragmenteras till mindre än 10 µm), i stor utsträckning, ca 70–90 %. Polyeten och polypropylen minskar också, 16–33 %. Totala massan av alla mikroplaster minskar med ca 40 % över rötningen. Under kategorin övriga polymerer kan en ökning ses. De polymerer som ökar är akrylmaterial och polystyren (ps). Ingen av dessa polymerer återfinns i någon stor utsträckning i EOM eller fett från försedimentering. Ökningen kan eventuellt istället bero på att enstaka stora partiklar (med mycket massa) hittats i det rötade slammet som inte hittades i det orötade slammet och får en stor slumpmässig inverkan på massan. Se Tabell 5-22 och Figur 5-5 och Figur 5-6.

	Från blandslam (g/pe, år)	Från EOM (g/pe, år)	Från fett från FS (g/pe, år)	Summa till rötning (g/pe, år)	Från EOM (%)	Från fett från FS (%)	Mängd i slam efter rötning (g/pe, år)	Reduktion över rötning
Polyester	3,5	0,2	0,0005	3,7	5,0 %	0,01 %	1,1	70 %
Polyeten	2,5	0,4	0,1	3,0	15 %	3,8 %	2,0	33 %
Polypropylen	0,2	0,03	0,002	0,2	14 %	0,9 %	0,2	16 %
PVC	0,05	0,001	Ej identifierat	0,1	2,3 %	0,0 %	0,01	86 %
Övriga	0,5	0,1	0,003	0,6	10 %	0,6 %	1,0	
Varav akrylmaterial	0,1	0,002	0,0003	0,1	1,8 %	0,3 %	0,2	
Varav ps	0,05	0,002	0,001	0,1	4,3 %	1,5 %	0,3	
Summa/medel	6,8	0,7	0,1	7,6	9,2 %	1,6 %	12	41 %

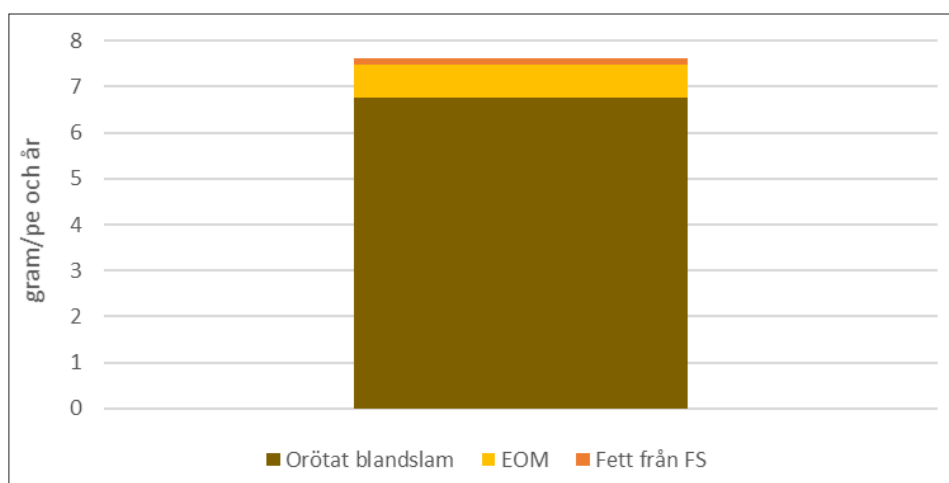


Tabell 5-22

Plasttyper, andel och reduktion vid rötning för blandslam, externt organiskt material (EOM) och fett från försedimentering (FS) som tillförs rötningen på Ryaverket.

Figur 5-5

Mängd mikroplaster innan rötning och efter rötning på Ryaverket.



Figur 5-6

Av den mikroplast som återfinns i det rötade slammet på Ryaverket kommer merparten från det orötade blandslammet, 9 % från externt organiskt material (EOM) och 2 % från fett från försedimentering (FS).

5.6.5 Rötat och avvattnat slam

För det rötade och avvattnade slammet presenteras resultat från Ryaverket, Käppalaverket och Sjölundaverket (inga slamprover analyserade i projektet för de danska avloppsreningsverken som det tidigare jämförts med). Halterna av mikroplast i slam är i samma härad för de tre avloppsreningsverken, med lägst halt på Ryaverket. Omräknat i g/pe,

år är mikroplastmängderna i slammet relativt lika mellan de tre avloppsreningsverken (5–8 g/pe, år). Med tanke på de stora osäkerheterna förknippade med mikroplastanalys i slam, ca 30 %, kan det sägas vara liknande resultat. Se Tabell 5-23.

På Ryaverket finns en kvarn mellan rötamrarna och slamavvattningen. Ryaverkets slamprover är tagna efter kvarnen och efter slamavvattningen som är i form av skruvpressar. Massflödet av mikroplaster innan Ryaverkets kvarn och skruvpressarna var 11 kg/d (Tabell 5-20) men har ökat något, till 13 kg/d i denna provpunkt. Eventuellt kan det bero på att en del stora partiklar kan ha tillförts med EOM som i denna provpunkt fragmenterats till mikroplast med hjälp av kvarnen och skruvpressarna och därför syns i intervallet 10–500 µm.

	Antal partiklar/g TS	mg/kg TS	g/pe, år	g/person, år	kg/d
Ryaverket	1 400	270	4,8	6,1	13
Käppalaverket	3 700	510	8,0	8,1	12
Sjölundaverket	3 750	420	7,1	7,5	6,8

Tabell 5-23

Antal, halt och mängd mikroplaster i rötat och avvattnat slam från Ryaverket, Käppalaverket och Sjölundaverket.

	Ryaverket	Käppalaverket	Sjölundaverket
Polyester	39	58	161
Polyeten	153	352	32
Polypropylen	45	45	46
PVC	14	1,8	14
Övriga	20	52	137
Summa	270	510	420

Tabell 5-24

Halt av olika plasttyper som återfunnits i rötat och avvattnat slam på Ryaverket, Käppalaverket och Sjölundaverket, uttryckt i mg/kg TS.

	Ryaverket	Käppalaverket	Sjölundaverket
Polyester	0,7	0,9	2,7
Polyeten	2,7	5,5	0,5
Polypropylen	0,8	0,7	0,8
PVC	0,3	0,03	0,2
Övriga	0,3	0,8	2,3
Summa	4,8	8,1	7,1

Tabell 5-25

Mängd av olika plasttyper som återfunnits i rötat och avvattnat slam på Ryaverket, Käppalaverket och Sjölundaverket, uttryckt i g/pe, år.

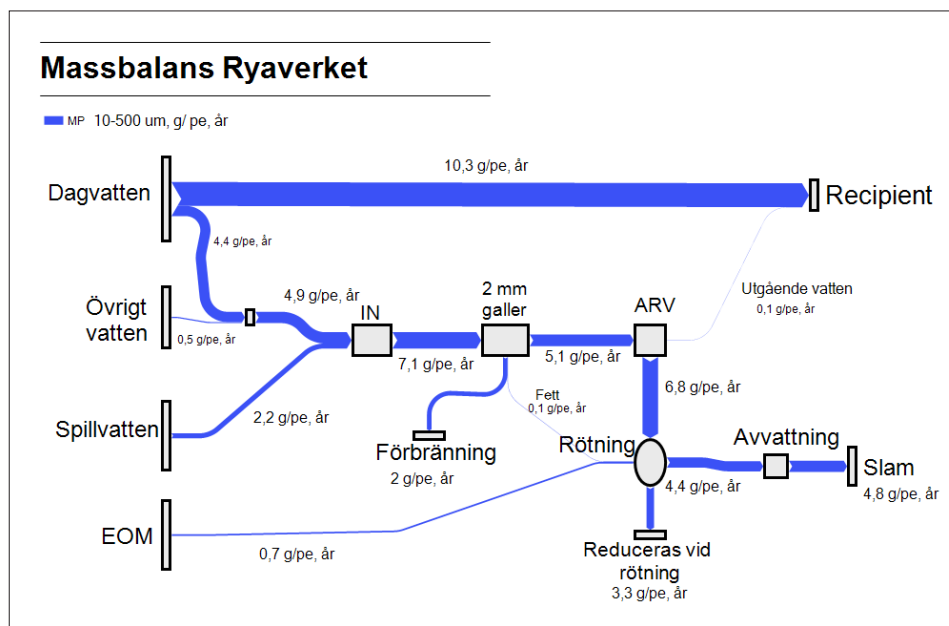
5.7 Massbalanser

5.7.1 Massbalans Ryaverket

På Ryaverket där flera provpunkter har analyserats för mikroplastinnehåll har en översiktlig massbalans gjorts över processerna och jämförts med dagvatten till recipient, se Figur 5-7.

I detta projekt har det analyserats mikroplaster i hushållspillvatten och inkommande vatten, och därefter beräknats hur mycket som tillförs med övrigt vatten. Av detta övriga vatten har det antagits att 90 % av mängden mikroplast kommer från fraktionen dagvatten och 10 % från inläckande dricksvatten och dränvatten. Dagvattenmängden som går direkt till recipient (24 miljoner m³/år) är enligt Åtgärdsplan Avloppsavledning (Göteborgs Stad, 2010). Vilket skulle innebära ca 10 g mikroplaster per pe och år från dagvatten direkt till recipient jämfört med 0,10 g mikroplaster per pe och år via Ryaverket till vattenrecipient. Se Figur 5-7.

För flera polymerer är resultaten svårtolkade och en stor osäkerhet är vilka av mikroplasterna som avskiljs med rensat, det är inte analyserat, utan enbart antagits att alla polymerer avskiljs lika mycket till rens. Till exempel identifieras polypropylen

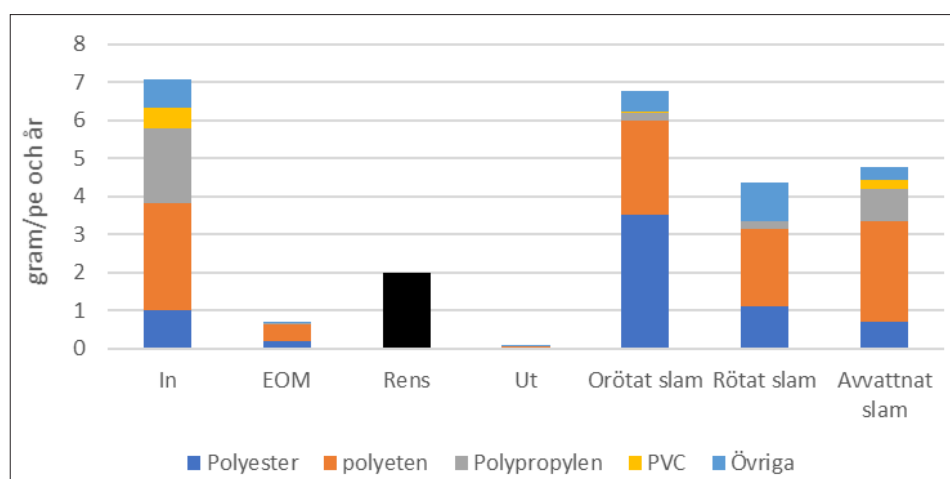


Figur 5-7
Massflöde av mikroplast (10–500 µm) i Göteborg, uttryckt i gram per personekvivalent och år (g/pe, år).

i inkommande vatten, men kan inte återfinnas i närheten av samma mängder varken i slam eller utgående vatten. En möjlighet är då att det avskiljs i större utsträckning än andra polymerer till rensat (och därmed förbränns).

Ryaverket har processer med rörliga bärare, som består av polyeten och nitrifierande biobäddar med plastmaterial i PVC, men det verkar inte som att det "läcker" polyeten eller PVC mikroplast eftersom mindre återfinns i slammet än i inkommande vatten. Se Figur 5-8.

Vad gäller polyester återfinns betydligt mer i det orötade slammet, 3,5 g/pe, år, ca tre gånger jämfört med vad som identifierades i inkommande vatten, 1,0 g/pe, år. En möjlighet är att skivfilterdukarna som består av polyester eventuellt släpper mikroplaster till filterslammet som skickas till inkommande, avskiljs med primärslam och därför ses en ökning i det orötade slammet. Dock reduceras mängden rejält, med 70 % i rötningen och över hela avloppsreningsverket går massbalansen för polyester ihop någorlunda bra. Se Figur 5-8.



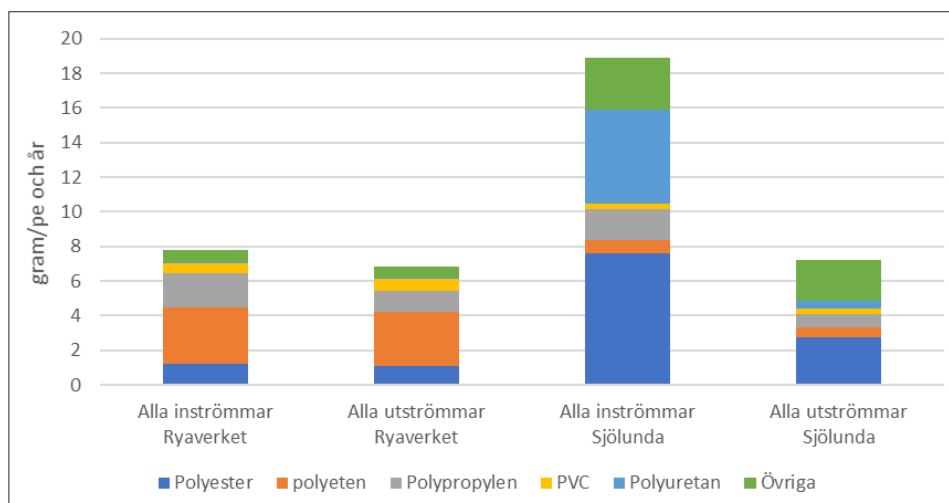
Figur 5-8
Massbalans över Ryaverket för de vanligaste polymererna. Observera att för rens är stapeln inte baserad på analysresultat från FTIR utan en uppskattning baserat på uppmätt vikt av partiklar i storleken 10–500 µm och antagandet att andelen av alla partiklar som är av plast är densamma i storleken 10–500 µm som för 500–5000 µm. Se kapitel 5.2.

5.7.2 Jämförelse massbalans Ryaverket och Sjölundaverket

Om alla inströmmar (inkommande vatten och EOM) och utströmmar (rens, utgående vatten och slam) adderas och jämförs kan det konstateras att massbalansen över Ryaverket går ihop relativt bra, alla inkommande strömmar motsvarar 7,8 g/pe, år och alla utgående strömmar motsvarar 6,8 g/pe, år. Minskningen utgörs då troligen av reducering under rötningsprocessen som tidigare nämnts.

Med rensat från 2 mm gallren avskiljs och förbränns 28 % av mikroplasterna, i slammet (rötat och avvattnat) återfinns 62 % av mikroplastmängden som kommer med inkommande vatten och EOM (EOM utgör 9 % av mikroplastbelastningen till slammet), och 1 % återfinns i utgående vatten. Det saknas alltså ca 10 % av mikroplastmassan som identifierades i inkommande vatten till Ryaverket.

För Sjölundaverket går inte massbalansen ihop lika bra, med ca 20 g/pe och år i inkommande vatten och enbart ca 7 g/pe och år i alla utströmmar (utgående vatten och slam). Knappt 40 % av mikroplasterna i inkommande vatten återfanns i slammet. Det analyserades alltså mer mikroplast i inkommande än i de samlade utflödena och också mer per person och år än vid Ryaverket. Detta kan enligt SVU-rapport 2018:13 till exempel ha berott på: fragmentering av mikroplaster till under detektionsgräns i Sjölundaverkets reningsprocesser, inte representativa prover (enbart 1 slamprov), mikroplast kan ha följt med vid slamsugning av flytslam (som skickas till förbränning), mikroplasten kan ha avskilts med primärslammets slamsil (2 mm). Eftersom det i detta projekt har beräknats att ca 30 % av mikroplasterna avskiljs i 2 mm galler är det inte helt orimligt att slamsilen på Sjölundaverket som också är 2 mm skulle avskilja en betydande del av mikroplasterna som sedan skickas till förbränning och alltså är en "utgående ström" som inte syns. För jämförelse mellan Ryaverkets och Sjölundaverkets totala massbalans, se Figur 5-9.

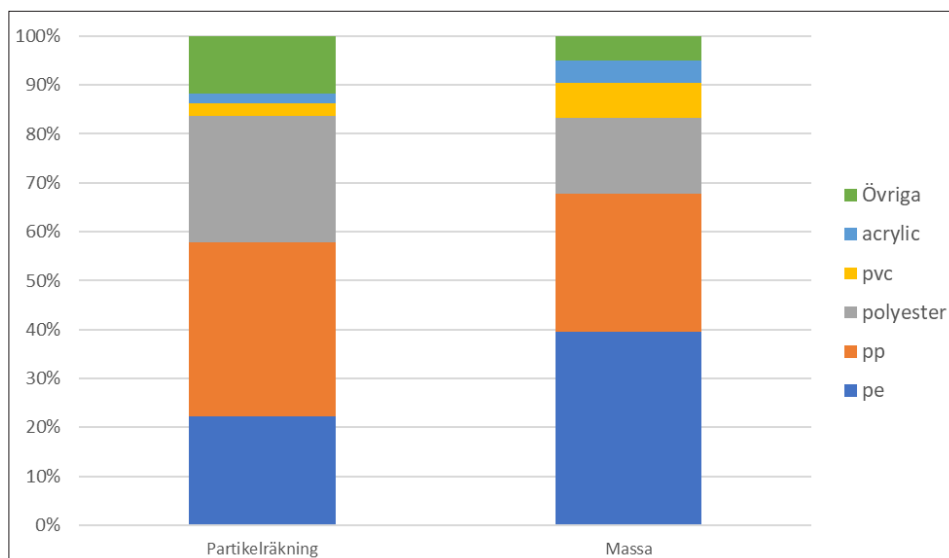


Figur 5-9
Jämförelse av massbalansen totalt över Ryaverket respektive Sjölundaverket.

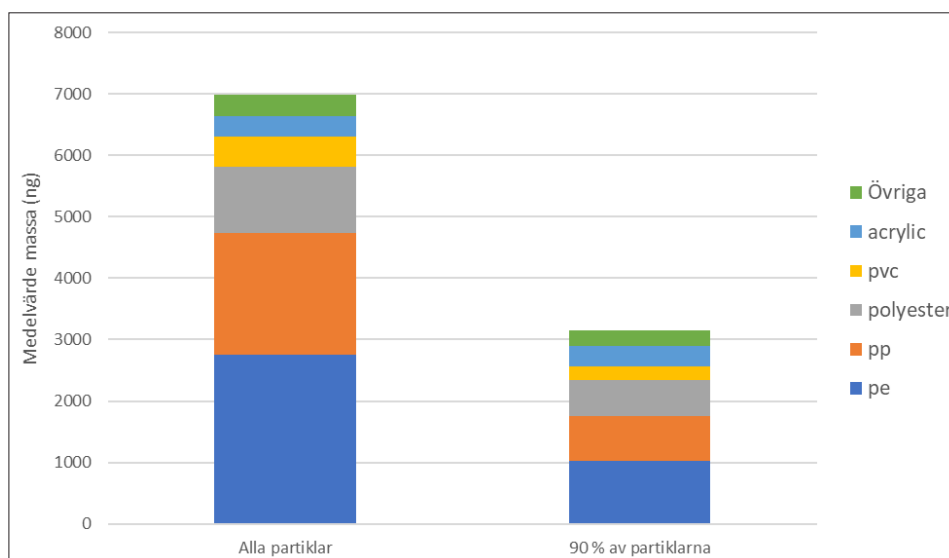
5.8 Jämförelse antal partiklar och massa

I detta projekt har både antalet partiklar räknats och massan analyserats. För en illustration av hur stor skillnad det gör har fördelningen av polymerer i prov från inkommande vatten på Ryaverket använts och visats med både partikelräkning och massanalys. Till exempel utgör polyester hälften så stor andel om det anges som massa och polyeten dubbelt så stor jämfört med partikelräkning. Se Figur 5-10.

En del partiklar utgör väldigt stor del av massan, vilket illustreras för inkommande vatten till Ryaverket i Figur 5-11, där 10 % av antalet partiklar utgör mer än hälften av totala massan.



Figur 5-10
Fördelning av mikroplaster i inkommande vatten till Ryaverket; partikelräkning jämfört med massanalys.



Figur 5-11
Illustration av skillnaden för Ryaverket, i massa när alla partiklars massa summeras respektive om 90 % av partiklarnas massa summeras. Dvs. 10 % av partiklarna står för mer än hälften av massan.

5.9 Däckpartiklar

Som tidigare nämnts råder det stora osäkerheter angående däckpartikelanalyserna, metoden som används är på det experimentella stadiet och långt ifrån färdigutvecklad. På grund av utveckling under projektiden har metodiken förändrats och resultaten är därför inte jämförbara mellan de olika avloppsreningsverken. I två av tre blankprover från Ryaverket som analyserades först indikerade analysresultaten en del däckpartiklar även i de så kallade blankproven, vilket i sig är ett problem. Detta kan möjligtvis förklaras av att det varit korskontaminering mellan proverna i pyrolysenheten eller i GC-kolonnen. Resultaten från de flesta av själva proverna från Ryaverket låg dock högre än blankproverna. I det externa organiska materialet och det orötade slammet på Ryaverket identifierades inga däckpartiklar alls och i fett från försedimenteringen (FS) identifierades enbart däckpartiklar i ett av tre prover. De resultat som har erhållits från Ryaverket är ifrån 2018–2019, därefter har också däckpartiklar analyserats i hushållsspillvatten från Skarpnäck, i inkommande och utgående avloppsvatten från Sjölundaverket samt i rötat och avvattnat slam från Käppalaverket och Sjölundaverket. Dessa senare analyser har genomförts under 2020 och en viss metodutveckling har gjorts och andra markörer har

använts vid analysen. Resultat från de senare analyserna bedöms vara mer tillförlitliga än de tidigare.

5.9.1 Hushållsspillvatten och inkommande avloppsvatten

Innehållet av däckpartiklar i hushållsspillvatten i referensområdet i Göteborg enligt analysresultaten bedöms vara orimligt högt då det inte borde vara några däckpartiklar i hushållsspillvatten. Analysresultat från hushållsspillvatten i Göteborg indikerade 300 gånger högre halt däckpartiklar jämfört med i Stockholm, vilket anses vara orimligt och dessa resultat presenteras inte här. Detsamma gäller för inkommande avloppsvatten till Ryaverket. Den fortsatta redovisningen avseende däckpartiklar baseras därför på inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket och hushållsspillvatten från referensområdet Skarpnäck i Stockholm, se Tabell 5-26.

	Däckpartiklar (µg/L)	Däckpartiklar (g/pe, år)
Inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket	12	1,3
Hushållsspillvatten från Skarpnäck	1,1	0,07

Tabell 5-26

Koncentration och mängd däckpartiklar 10–500 µm i hushållsspillvatten från Skarpnäck och inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket.

5.9.2 Rötat och avvattnat slam

I det rötade och avvattnade slammet från Sjölundaverket återfinns en väldigt liten andel av den mängd däckpartiklar som analyserats i inkommande avloppsvatten, enbart ca 4 %. Jämfört med övriga analyserade mikroplaster är mängderna av däckpartiklar i slam oerhört små, se Tabell 5-27.

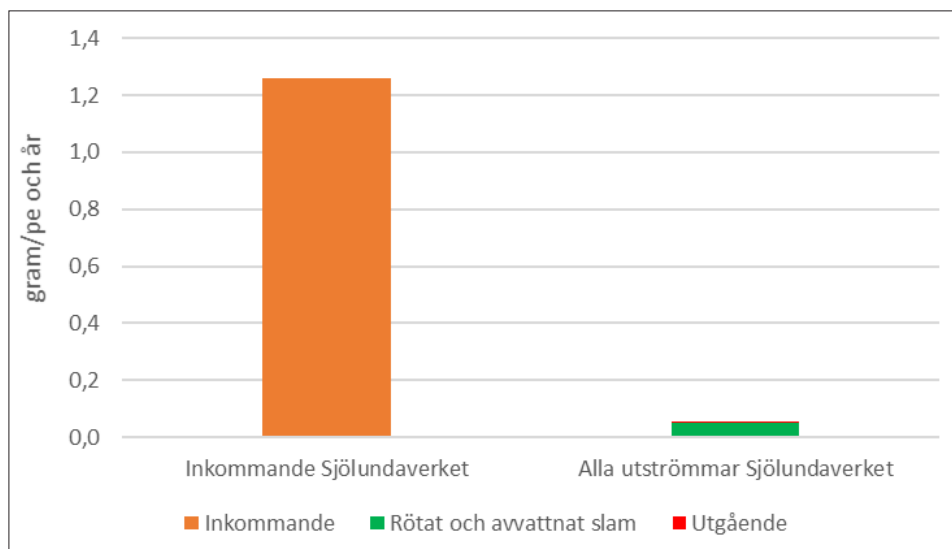
	Däckpartiklar (mg/kg TS)	Däckpartiklar (g/pe, år)	Mikroplast (mg/kg TS)	Mikroplast (g/pe, år)
Sjölundaverket	3,1	0,05	510	8,0
Käppalaverket	10	0,16	420	7,1

Tabell 5-27

Koncentration och mängd däckpartiklar, respektive övriga mikroplaster 10–500 µm i rötat och avvattnat slam.

5.9.3 Utgående, renat avloppsvatten

I det utgående, renade avloppsvattnet från Sjölundaverket återfinns en ännu mindre mängd däckpartiklar än vad som återfanns i slammet, enbart ca 0,15 %. Jämfört med övriga analyserade mikroplaster på Sjölundaverket är halterna och mängderna av däckpartiklar i utgående, renat avloppsvatten oerhört små. Se Tabell 5-28 och Figur 5-12.



Figur 5-12

Däckpartiklarna som identifierats i inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket återfinns varken i några betydelsefulla mängder i slammet eller utgående vatten.

Däckpartiklar i utgående vatten	Däckpartiklar (µg/L)	Däckpartiklar (g/pe, år)	Mikroplast (µg/L)	Mikroplast (g/pe, år)
Sjölundaverket	0,023	0,002	1,4	0,14

Tabell 5-28

Koncentration och mängd däckpartiklar, respektive övriga mikroplaster 10–500 µm i utgående, renat avloppsvatten.

5.9.4 Massbalanser för avloppsreningsverk

Även om den absoluta nivån av däckpartiklar vid de analyser som utfördes på Ryaverket måste betraktas som mycket osäker har arbetet med dessa prov bidragit till utvecklingen av analysmetoden och därmed till resultaten som redovisats ovan. Ett möjligt värde av kampanjens genomförande är att massbalansen ger samma resultat som vid analys av avloppsvatten och slam vid Sjölundaverket, nämligen att mycket lite av den mängd partiklar som återfinns i inkommande avloppsvatten kan sedan analyseras i slammet eller i utgående, renat avloppsvatten. I Tabell 5-29 relateras massflödet för respektive avloppsreningsverk till inkommande mängd till avloppsreningsverket. För spillvatten har det antagits att analysresultaten från hushållspillvatten i Skarpnäck är representativa även för Sjölundaverket. Det är tydligt att det antingen sker någon form av nedbrytning i avloppsreningsverken eller att det är väldigt svårt att analysera de däckpartiklar som finns i slam. Huruvida resultaten kan tas som intäkt för att partiklarna ändå avskiljs från vattenfasen är för tidigt att säga.

	Ryaverket	Sjölundaverket
Hushållspillvatten	?	5 % ¹
Inkommande avloppsvatten	100 %	100 %
Utgående, renat avloppsvatten	0,1 %	0,2 %
Fett från FS	0,001 %	EA
EOM	EI	EA
Orötat, förtjockat slam	EI	EA
Rötat, ej avvattnat slam	1 %	EA
Rötat och avvattnat slam	1 %	4 %

Tabell 5-29

Massflöden procentuellt av däckpartiklar. EI = ej identifierat, EA = ej analyserat.

¹ Baserat på analysresultaten av däckpartiklar från hushållspillvatten i Skarpnäck, Stockholm.

Några potentiella förklaringar till att de däckpartiklar som identifierats i inkommande avloppsvatten på Sjölundaverket varken återfinns i utgående vatten eller i slammet kan vara att:

- Däckpartiklarna bryts ner under rötningen.
- Däckpartiklarna fragmenteras ner till mindre än 10 µm och fångas därmed inte i analysen.
- Provberedningen påverkar innehållet av däckpartiklar.
- Däckpartiklar avskiljs med finrenset (2 mm galler).
- Hög analysosäkerhet.

5.9.4 Jämförelse mellan mikroplast och däckpartiklar

För Sjölundaverket där analysmetoden får anses ge som bäst resultat återfanns en tiondel av däckpartiklar i inkommande avloppsvatten, 1,3 g däckpartiklar/pe, år jämfört med mikroplast, 19 g mikroplast/pe, år. Tidigare grova uppskattningar av Magnusson et al. (2016) angav partiklar från däck- och vägslitage som den största källan med ca 8 200 ton/år i Sverige, motsvarande 820 g/person, år (beräknat med 10 miljoner invånare). Om det antas, enligt Naturvårdsverket (2019), att det mesta av partiklarna från däck- och vägslitage följer med dagvattnet till recipient och att 13 % avleds till avloppsreningsverk, skulle det motsvara en belastning på avloppsreningsverken med ca 110 g/person, år. Naturvårdsverkets antagande ger betydligt högre mängd däckpartiklar till ARV än resultaten från Sjölundaverket, vilka indikerar en belastning av däckpartiklar till

avloppsreningsverk på 1,2 g/person, år, dvs. en hundradel av tidigare uppskattningar. Som tidigare nämnts är dessa analysmetoder osäkra och under utveckling.

Om det antas att förhållandet mellan mikroplast i dagvatten och inkommande avloppsvatten för Ryaverket (kvoten 0,63) även gäller för däckpartiklar (baserat på mängderna i inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket), borde det i dagvattnet transporteras ca 0,7 g däckpartiklar/person, år till recipient. Det är 10–100 gånger högre jämfört med 0,002–0,09 g däckpartiklar/person, år från utgående, renat avloppsvatten till recipient uppmätt i detta projekt. Se Tabell 5-30.

	Total mängd till miljön enligt Magnusson et al. (2016) (g/person och år)	Uppmätt mängd i inkommande avloppsvatten Sjölundaverket (g/person och år)	Beräknad mängd i dagvatten till recipient (g/pe, år)	Uppmätt mängd i utgående avloppsvatten till recipient (g/person, år)
Partiklar från däck	820	1,2	0,7	0,002–0,09

1 Osäkerheten i siffrorna från Magnusson et al. (2016) är stor då underlaget i huvudsak baseras på beräkningar, inte på uppmätta värden.

5.10 Resultat för partiklar 500–5 000 µm från Ryaverket

Generellt kan sägas att ett fåtal partiklar större än 500 µm har identifierats i de analyserade proverna på Ryaverket.

5.10.1 Hushållspillvatten och inkommande avloppsvatten

Hushållspillvattnet innehöll ett fåtal stora partiklar, som mest 5 partiklar i ett dygnsprov (2 i det andra och inga alls i det tredje). Inkommande vatten innehöll också enbart ett fåtal stora partiklar 3–10, men denna provpunkt är då alltså efter att vattnet gått igenom 20 mm galler och en del kan antas ha fångats upp i grovrenset. En hel del partiklar i hushållspillvatten och inkommande vatten kunde inte identifieras, vilket beskrivs som ”inget id” i Tabell 5-31.

	Hushålls-spillvatten 1	Hushålls-spillvatten 2	Hushålls-spillvatten 3	Inkommande avloppsvatten 1	Inkommande avloppsvatten 2	Inkommande avloppsvatten 3
Inget id	3	2	0	3	4	7
Naturlig	0	0	0	0	1	0
Polyeten	1	0	0	0	0	1
PET	1	0	0	0	0	2
Totalt	5	2	0	3	5	10

5.10.2 Rens

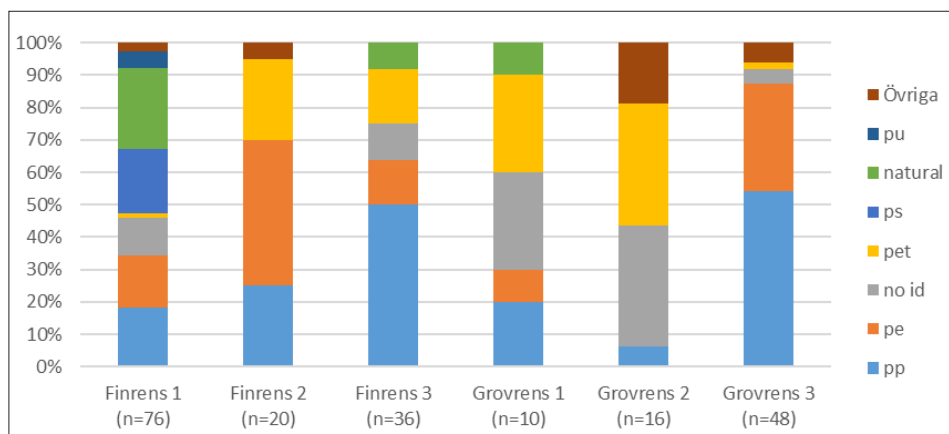
Finrens (2 mm) och grovrens (20 mm) innehöll näst flest antal stora partiklar, 20–76 partiklar per stickprov finrens och 10–48 partiklar per stickprov grovrens. Eftersom gallren är till för att avskilja stora partiklar är detta också förväntat. Vilka typer av plaster och andra material partiklarna bestod av, skiljde sig mycket åt mellan de olika stickproven, se Figur 5-13.

Tabell 5-30

Uppskattad total mängd däckpartiklar till miljön enligt Magnusson et al. (2016)¹ jämfört med resultaten i detta projekt. Gram per person och år har beräknats utifrån 10 miljoner invånare i Sverige.

Tabell 5-31

Antal partiklar i varje kategori av plaster och andra material som partiklar 500–5000 µm bestod av i de 3 dygnsproven på hushållspillvatten och inkommande avloppsvatten.



Figur 5-13
Fördelning av olika plaster och andra material som partiklar 500–5000 µm bestod av i de 3 stickproven på finrens (från 2 mm galler) och 3 stickproven på grovrens (från 20 mm galler) på Ryaverket. Antal partiklar större än 500 µm i varje prov anges som n = x. Både finrens och grovrens skickas till förbränning.

5.10.3 Utgående avloppsvatten

Utgående avloppsvatten innehöll 13–16 partiklar, många som inte kunde identifieras, men också en större andel som var ”naturliga” (ca 40 %) jämfört med andra prover. Det återfanns också en del partiklar av syntetiskt gummi, epdm (ethylene propylene diene monomer) i det ena provet på utgående vatten som inte påträffats någon annanstans. Någon förklaring till detta finns inte i dagsläget. Se Tabell 5-32.

	Utgående vatten 1	Utgående vatten 2
Inget id	6	3
Naturlig	5	6
PVC	2	0
epdm	0	7
Totalt	13	16

Tabell 5-32
Antal partiklar i varje kategori av plaster och andra material som partiklar 500–5000 µm bestod av i de 2 samlingsproven på utgående avloppsvatten.

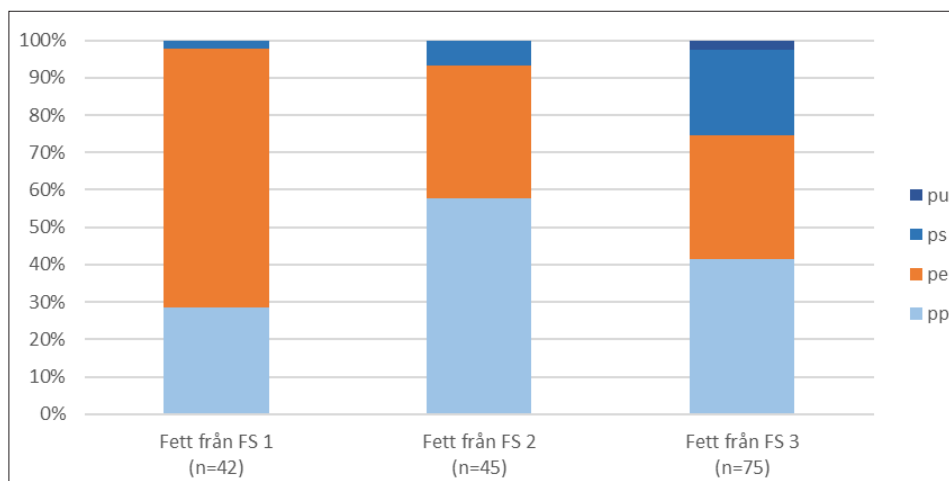
5.10.4 Fett från försedimentering och externt organiskt material

I fett från försedimenteringen hittades flest antal partiklar större än 500 µm, 42–75 st., där de allra flesta bestod av polypropylen eller polyeten. I medeltal motsvarar det 2000 partiklar per kg fett. Se Tabell 5-33 och Figur 5-14.

	Fett från FS 1	Fett från FS 2	Fett från FS 3	Medelvärde antal partiklar per kg TS fett
Polyeten	29	16	25	865
Polystyren	1	3	17	245
Polypropylen	12	26	31	862
Polyuretan	0	0	2	22
Totalt	42	45	75	1994

Tabell 5-33
Antal partiklar i varje kategori av plaster 500–5000 µm i de 3 stickproven på fett från FS som tillförs rötningen på Ryaverket. Även medelvärde uppräknat till antal partiklar per varje kg TS fett.

I externt organiskt material återfanns ett fåtal partiklar 500–5000 µm, 2–6 st. och de bestod av ett fåtal polymerer. Omräknat motsvarar dessa få partiklar i medeltal 10 partiklar per liter EOM eller 170 partiklar per kg TS. Detta är 10 gånger lägre värde än motsvarande i fett från FS. Se Tabell 5-34.



Figur 5-14
Fördelning av olika plaster och andra material som partiklar 500–5000 µm bestod av i de 3 stickproven på fett från försedimenteringen (FS) på Ryaverket. Antal partiklar större än 500 µm i varje prov anges som n = x.

	EOM 1	EOM 2	EOM 3	Medelvärde antal partiklar per kg TS EOM
Polyeten	3	1	1	78
Polypropylen	1	0	0	14
Polyester	1	1	3	60
Poly (vinyl stearate)	1	0	0	14
Totalt	6	2	4	166

Tabell 5-34
Antal partiklar som identifierats i varje kategori av plaster 500–5000 µm i de 3 samlingsproven på externt organiskt material (EOM) som tillförs rötningen på Ryaverket. Även medelvärde uppräknat till antal partiklar per varje kg TS EOM.

5.10.5 Slam

Lägst antal stora partiklar av alla prover återfanns i förtjockat, örötat slam och i rötat, ej avvattnat slam, dvs provpunkterna precis före och efter rötning. Det identifierades 0–2 stora partiklar i de tre stickproverna på örötat slam och 1–4 stora partiklar i de tre stickproverna på det rötade, ej avvattnade slammet. Det finns ingen uppenbar förklaring till varför det är så få antal stora partiklar i det rötade slammet innan avvattning när det är många fler efter avvattning. Eventuellt är det riktigt stora partiklar >5 000 µm som tillförs med EOM som kan ha fragmenterats till storleken 500–5 000 µm under rötningen. Denna studie kan dock inte fastställa orsaken. Se Tabell 5-35.

I alla tre stickprov på rötat och avvattnat slam återfanns i princip lika många stora partiklar, 24–28 st. Däremot gick det inte att fastställa vilken plasttyp eller annat material partiklarna bestod av i 70–90 % av partiklarna. Se Tabell 5-35.

	För- tjockat, orötat slam 1	För- tjockat, orötat slam 2	För- tjockat, orötat slam 3	Rötat, ej av- vattnat slam 1	Rötat, ej av- vattnat slam 2	Rötat, ej av- vattnat slam 3	Rötat, av- vattnat slam 1	Rötat, av- vattnat slam 2	Rötat, av- vattnat slam 3
Inget id	0	0	0	0	0	0	19	19	26
Naturlig	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Polyeten	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Polystyren	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Polypropylen	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Polyuretan	0	0	1	1	0	0	1	0	0
PET	0	0	0	0	0	0	1	3	0
epdm	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Akryl-material	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Polyester	0	0	1	3	1	0	0	0	0
Totalt	1	1	2	4	1	1	26	24	28
% inget id	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	73 %	79 %	93 %

Tabell 5-35

Antal partiklar i varje kategori av plaster och andra material som partiklar 500–5000 µm bestod av i de 3 stickproven vardera på förtjockat, orötat slam, rötat ej avvattnat slam och rötat, avvattnat slam från Ryaverket.

6 Diskussion

Med metoderna som har använts i detta projekt har Aalborg universitet kunnat bestämma kontamineringsgrad och återfunna mikroplaster. Men hur många plastpartiklar som finns i proverna som inte lyckas identifieras (antingen för att de är delvis nedbrutna eller delar av kompositmaterial) är mycket svårt att värdera. Uppskattningsvis ligger den totala osäkerheten på ca 30 %. Som tidigare nämnts råder det stora osäkerheter angående däckpartikelanalyserna och metoden som används är på det experimentella stadiet och långt ifrån färdigutvecklad. Det är viktigt att ha detta i åtanke så att inte alltför långtgående slutsatser dras av dessa resultat.

6.1 Hushållspillvatten och inkommande avloppsvatten

I Sverige har den årliga mängden mikroplast från hushåll tidigare uppskattats till ca 7–90 g/person, år (Magnusson et al., 2016). Resultaten i detta projekt på 3–10 g/person, år från referensområdena i Stockholm och Göteborg indikerar att mängden mikroplast från hushåll överskattats i tidigare studier och att det är den lägre delen av intervallet som angavs i Magnusson et al. (2016) som ligger närmast verkligheten. Det skulle eventuellt också kunna vara så att mängden mikroplaster i hushållspillvatten har minskat, även om tidigare uppskattningar inte baserades på faktiskt uppmätta mängder. Kemikalieinspektionen publicerade i början av år 2016 en rapport om mikroplast i kosmetika och föreslog ett förbud mot mikroplaster i kosmetika. Förbudet infördes i juli 2018 och skulle kunna ha inneburit en minskning av mikroplaster från hushållen (Kemikalieinspektionen, 2016).

Andelen mikroplaster som tillförs avloppsreningsverket via spillvatten uppgår till ca 30 % av det totala innehållet i avloppsvattnet. Detta resultat är baserat på provtagning av inkommande avloppsvatten till Ryaverket samt provtagning av hushållspillvatten från ett bostadsområde i Göteborg vid lågflöde. Det skulle kunna innebära att på årsbasis är det en ännu lägre andel mikroplast som tillförs med spillvattnet och en större andel med det övriga vattnet, som bland annat inkluderar dag- och dränvatten.

Hushållspillvatten, såväl i Stockholm som Göteborg har relativt liknande sammansättning avseende mikroplast och innehåller i huvudsak polyeten, polyester och polypropylen med spår av PVC. Dessa plaster är också de vanligaste förekommande i alla prover som har analyserats i detta projekt och speglar användningen i samhället väl.

Den totala tillförseln av mikroplaster med inkommande vatten (efter rensgaller) till Ryaverket och Sjölundaverket motsvarar ca 7–20 g/pe, år. Tidigare studier av framförallt Naturvårdsverket och IVL har grovt uppskattat att ca 14–121 g mikroplast/person, år tillförs avloppsreningsverk, alltså via både tillskottsvatten och spillvatten. Resultaten från denna studie indikerar alltså att det är den lägre delen av det angivna intervallet som ligger närmast verkligheten.

Mängden däckpartiklar var endast en tiondel av mängden mikroplast i inkommande avloppsvatten till Sjölundaverket. Tidigare grova uppskattningar av Magnusson et al. (2016) angav partiklar från däck- och vägslitage som den största källan med ca 8 200 ton/år i Sverige, motsvarande 820 g/person, år (beräknat med 10 miljoner invånare). Om det antas, enligt Naturvårdsverket (2019), att det mesta av partiklarna från däck- och vägslitage följer med dagvattnet till recipient och att 13 % avleds till avloppsreningsverk, skulle det motsvara en belastning på avloppsreningsverken med ca 110 g/person, år. Resultaten från Sjölundaverket indikerar en belastning av däckpartiklar till avloppsreningsverk på 1,2 g/person, år, dvs. ca 100 gånger lägre än tidigare uppskattningar. Som tidigare nämnts är dessa analysmetoder under utveckling och resultaten bör tolkas med

stor försiktighet. Osäkerheten förstärks av att enbart en bråkdel av den mängd däckpartiklar som analysmetoderna indikerar i inkommande avloppsvatten till reningsverken kunde detekteras i vatten eller slam ut från reningsverken.

Ett fåtal större partiklar, 500–5 000 µm, har identifierats i hushållspillvatten och inkommande avloppsvatten till Ryaverket; 0–5 partiklar per prov respektive 3–10 partiklar per prov. Dessa resultat är förväntade då hushållspillvatten inte bör innehålla så stora partiklar samt att provpunkten inkommande avloppsvatten på Ryaverket var efter grovgaller på 20 mm som bör fånga upp majoriteten av de stora partiklarna. Av dessa kunde dock ca 80 % inte identifieras vare sig som plast eller naturliga partiklar. Det har inte gjorts någon ytterligare utredning kring vad dessa partiklar skulle kunna bestå av.

6.2 Reningsprocessens påverkan på massbalansen och mängder till recipient

Resultaten från Ryaverket visar att rensgaller med 2 mm spaltvidd uppskattningsvis avskiljer 30 % av mikroplasten, efter att avloppsvattnet redan passerat 20 mm galler, vilket bekräftar resultat från tidigare studier som pekar på att de första reningsstegen i avloppsreningsverk är viktiga för att avskilja mikroplaster (Murphy et al. 2016; Michielssen et al. 2016).

En tidig studie av Mahon et al. (2017) indikerade att mikroplaster reduceras över rötningsprocessen. Föreliggande studie bekräftar det antagandet då det totalt sett var en reduktion av massan av mikroplast på ca 40 % över rötningen på Ryaverket. Vissa polymerer reduceras i stor utsträckning till exempel polyester och PVC, med 70–90 %, medan andra inte reducerades alls. Fler jämförande studier på andra avloppsreningsverk med mesofil rötning bör göras för att kunna dra slutsatser kring denna observation.

Det har i flertalet tidigare studier konstaterats att avloppsreningsverk avskiljer mikroplaster mycket väl. Så även i detta projekt där avskiljningsgraden för Ryaverket är 99 %. Utsläpp av mikroplaster med det renade avloppsvattnet uppskattades av Magnusson et al. (2016) till 1–19 ton/år för hela Sverige, motsvarande 0,1–2 g/person, år (beräknat med 10 miljoner invånare). Resultaten från detta projekt indikerar, precis som i Mintenig et al. (2017), Simon et al. (2018) och Ljung et al. (2018), att detta är en överskattning. Avloppsreningsverkens bidrag i denna studie ligger i den nedre delen av spannet som angavs i Magnusson et al. (2016) med utsläpp på 0,005–0,15 g/person, år.

IVL har tidigare uppskattat att motsvarande 0,11–1,48 g mikroplast/person, år skulle nå recipient via bräddning (Magnusson et al., 2016). Naturvårdsverket (2019) konstaterade att andelen mikroplast som kommer från bräddningar utgör en betydande del av de totala utsläppen av mikroplast från avloppsvattenrening. Beräkningar i denna studie visar att tillförsel av mikroplast till recipient via bräddning på avloppsledningsnätet i Ryaverkets upptagningsområde motsvarar 0,01–0,2 g/pe, år. Enligt dessa beräkningar tillför alltså dagvatten 100–1000 gånger mer mikroplast än bräddningar på avloppsledningsnätet till vattenrecipient. Däremot, eftersom avskiljningsgraden för mikroplast är så hög i avloppsreningsverken, tillförs mer än dubbelt så mycket mikroplast via bräddning på avloppsledningsnätet än via det renade avloppsvattnet för Ryaverket (baserat på år 2018).

I denna studie har inte bräddvatten analyserats för innehåll av mikroplaster. Därför behövs fler studier för att klargöra vilken påverkan bräddvatten, både vid avloppsreningsverk och på avloppsledningsnätet, har jämfört med andra tillförselvägar till vattenrecipient. Resultaten från Ryaverket indikerar dock att bräddningar på avloppsledningsnätet inte utgör en betydande andel av de totala utsläppen av mikroplast till vattenrecipienten.

De däckpartiklar som identifierats i inkommande avloppsvatten på Sjölundaverket och Ryaverket återfinns inte någon större utsträckning vare sig i utgående vatten eller i slammet. Potentiella förklaringar till detta kan vara att:

- Däckpartiklarna bryts ner under rötningen.
- Däckpartiklarna fragmenteras ner till mindre än 10 µm och fångas därmed inte i analysen.
- Provberedningen påverkar innehållet av däckpartiklar.
- Däckpartiklar avskiljs med finrenset (2 mm galler).
- Hög analysosäkerhet.

Det finns ett behov av ytterligare metodutveckling för att med större säkerhet kunna identifiera mängden däckpartiklar i avloppsvatten och slam.

Om det *antas* att förhållandet mellan mikroplast i dagvatten och inkommande avloppsvatten även gäller för däckpartiklar borde det i dagvattnet transporteras ca 0,7 g däckpartiklar/person, år till recipient. Det är 10–100 gånger högre jämfört med 0,002–0,09 g däckpartiklar/person, år från utgående, renat avloppsvatten till recipient uppmätt i detta projekt. Här bör också noteras att det är relativ stor andel av Ryaverkets avrinningsområde som utgörs av kombinerat system, där dagvatten och spillvatten avleds i samma avloppsledning. I orter med mindre andel kombinerat system når givetvis ännu mindre andel av däckpartiklarna avloppsreningsverket. Ytterligare analyser behövs för att undersöka samband mellan andel dagvatten till olika avloppsreningsverk och halt däckpartiklar i inkommande avloppsvatten.

Utgående avloppsvatten innehöll 13–16 stora partiklar, 500–5 000 µm, per prov, varav en större andel av partiklarna, jämfört med övriga prover, var ”naturliga” (ca 40 %). Det återfanns också en del partiklar av syntetiskt gummi, epdm (ethylene propylene diene monomer) i det ena provet på utgående vatten som inte påträffats någon annanstans. Någon förklaring till detta finns inte i dagsläget.

6.3 Mikroplaster i rens, externt organiskt material, fett och slam

I tidigare studier har utgångspunkten varit att den mikroplast som avskiljs i avloppsreningsverkens processer till övervägande del (98 %) hamnar i slammet (Naturvårdsverket, 2017). Resultaten från Sjölundaverket och Ryaverket indikerar att det är en överskattning och att snarare 40–60 % av mikroplasterna i inkommande vatten efter rensgaller återfinns i slammet. På Ryaverket har det också beräknats att 30 % avskiljs med finrenset (2 mm galler) och skickas till förbränning. Dessutom indikerar denna studie att ca 40 % av mängden mikroplast reduceras vid mesofil rötning på Ryaverket. Dock kan det i denna studie inte avgöras om plasten finfördelats till allt mindre partiklar eller brutits ned fullständigt.

Externt organiskt material som tas emot direkt till rötkamrarna på Ryaverket visade sig i denna studie stå för en större tillförsel av mikroplaster (9 %) än motsvarande TS-belastning (2,6 %). Mikroplastmängderna, och halterna, är dock lägre i Ryaverkets och Sjölundaverkets slam jämfört med mikroplastmängderna i slam från Käppalaverket, som inte tar emot något externt organiskt material. Vad detta beror på går inte att fastställa i denna studie.

Fett från försedimenteringen på Ryaverket står enbart för 0,6 % av TS-belastningen till rötkamrarna men utgör 2 % av tillförseln av mikroplaster. I fett från försedimenteringen hittades många partiklar 500–5 000 µm. I medeltal motsvarar det 2000 partiklar per kg fett.

Den mikroplasten som avskiljs till slam i Ryaverket, Sjölundaverket och Käppalaverket återfinns i en halt på 250–500 mg/kg TS, motsvarande 6–8 g/person, år. Denna halt ligger i samma nivå som koppar och zink i slam. Magnusson et al. (2016) uppskattade mängden mikroplast i slam till ca 70–900 ton/år för Sverige, motsvarande 7–90 g/person, år (beräknat på 10 miljoner invånare). Även i detta fall pekar resultaten från

föreliggande projekt på att det är den nedre delen av spannet som angavs i Magnusson et al. (2016) som ligger närmst verkligheten.

Som tidigare presenterats i Ljung et al. (2018) och i danska Miljøstyrelsen (2017) är det samma mängd mikroplaster i jord oavsett om slamgödsling skett. Det innebär att andra källor är viktiga för spridning av mikroplast till jord vilket också styrks i SOU 2020:3 "Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam" som menar att aktuell svensk forskning visar att det finns fler spridningsvägar som exempelvis luftburna partiklar. Utredarna hänvisar vidare till en rapport av SAPEA (2019) som slår fast att mikroplaster inte utgör någon stor risk för hälsa och miljö i nuvarande koncentrationer. Samtidigt poängterar utredarna att behovet av ytterligare forskning är stort (Hållbar Slamhantering, 2020). En ny rapport från Norsk Vann konkluderar att effekter av mikroplast på växter och djurliv i jord inte är påvisbara vid mikroplastkoncentrationer under 0,1 % och att normal användning av avloppsslam i jordbruksmark tillför en mikroplasmängd som är väsentligt mindre än denna. Inget upptag av mikroplast från jord till växter har påvisats (Skogerbo, 2020).

Ett fåtal stora partiklar, 500–5 000 µm, har identifierats i örötat slam och rötat, ej avvattat slam på Ryaverket: 0–2 partiklar respektive 1–4 partiklar per prov. Efter avvattning av slammet återfanns fler stora partiklar, 24–28 st. Av dessa kunde dock ca 80 % inte identifieras varken som plast eller naturliga partiklar. Det finns ingen uppenbar förklaring till varför det är så få antal stora partiklar i det rötade slammet *innan* avvattning när det är många fler *efter* avvattning. Eventuellt är det riktigt stora partiklar, större än 5000 µm som inte syns i analysen, som tillförs med EOM som kan ha fragmenterats till storleken 500–5 000 µm under rötningen. Denna studie kan dock inte fastställa orsaken.

I fett från försedimenteringen hittades flest antal partiklar större än 500 µm, motsvarande 2 000 partiklar per kg fett där de allra flesta bestod av polypropylen eller polyeten. Detta gör fettet till den största tillförselvägen av stora partiklar med 10 gånger fler stora partiklar än i externt organiskt material (2–6 st.).

6.4 Felkällor

Eftersom mikroplasten i proven både kvantifierades genom partikelräkning och massbestämning av varje enskild partikel kunde den totala massan av de olika typerna av plast beräknas liksom antalet partiklar av respektive plasttyp. Vid en jämförelse är det tydligt att räkning av antalet partiklar riskerar att ange en fördelning mellan plasttyper som skiljer sig väsentligt från massfördelningen. För inkommande vatten till Ryaverket var den dominerande plasten polypropylen avseende antalet partiklar men polyeten avseende massan. Detta förklaras av att proven ofta innehåller ett fåtal stora partiklar som innehåller mycket av den totala massan, medan ett stort antal små partiklar endast svarar för en bråkdel av den totala massan.

Nedan listas och diskuteras möjliga felkällor:

- Proverna är inte representativa för den genomsnittliga belastningen: Exempelvis är rens mycket svårt att provta så att det blir representativt då det är ett heterogent material med blandade stora och små partiklar. Antagandet att ett begränsat område med hushåll är representativt för samtliga anslutna hushåll är också osäkert.
- Provtagning utfördes inte på samma sätt för de deltagande reningsverken. Exempelvis togs veckosamlingsprov på Käppalaverket för inkommande vatten och tre dygnsprov på Ryaverket och detta dessutom under olika år och årstider. Troligtvis är mängd nederbörd den mest relevanta faktorn som kan påverka mikroplastkoncentrationen och därför har samtliga prover tagits då nederbörds-påverkan var låg. Prov på inkommande vatten togs innan finrengaller (2 mm)

på Ryaverket och efter finrensgaller på Sjölundaverket (3 mm) vilket också kan ha betydelse då ca 30 % av mikroplasterna visade sig avskiljas med finrenset på Ryaverket. Detta är viktigt att ta i beaktande när avloppsreningsverken jämförs med varandra.

- Vid provtagning användes vid vissa tillfällen plastslang, plastdunkar mm, vilket kan ha inneburit visst läckage av mikroplast från provtagningsutrustningen till provet.
- Analysmetoderna och upparbetningen skiljer sig åt mellan de olika substraten och det är lättare att analysera relativt rena prover som utgående vatten än exempelvis slam som består av så mycket annat organiskt material. Dessutom är metoden för analys av mikroplaster i slam relativt nyutvecklad. Därmed finns en viss risk att halten mikroplaster underskattas eller överskattas för vissa substrat, vilket kan få stor effekt när de jämförs med varandra i en massbalans.
- Analysosäkerheten för däckpartiklar i avloppsvatten och slam är mycket stor och det finns ett behov av ytterligare metodutveckling.
- Vad gäller mikroplaster i rens har resultaten i denna studie baserats på vikten av partiklar som var mindre än 500 µm och antagandet att andelen av alla partiklar som var av plast är densamma i storleken 10–500 µm som för 500–5 000 µm. Detta kan naturligtvis leda till en under- eller överskattning av hur mycket av mikroplasten som avskiljs med rens.
- I rapporten anges minskning mikroplaster som reduktion. Denna studie kan dock inte svara på hur reduktionen har skett, det kan vara nedbrytning eller fragmentering till under detektionsgräns.

6.5 Framtida arbete

- På grund av felaktig provtagning kunde inte målet att ta fram en massbalans för Käppalaverket nås. Därför planerar Käppalaförbundet att i samarbete med Aalborg universitet analysera nya prover på inkommande vatten under hösten 2020. Käppalaförbundet planerar även att analysera däckpartiklar i flera provpunkter för att kunna göra en jämförelse med Ryaverkets och Sjölundaverkets analysresultat.
- För att utreda varför antalet mikroplastpartiklar var lägre i utgående vatten från Käppalaverket jämfört med övriga reningsverk vore det även intressant att utföra provtagning och analys av avloppsvattnet före och efter aktivslamprocessen, före och efter sandfiltren samt av sandfilterspolvattnet.
- Provtagning och analys av bräddvatten från olika områden och vid olika årstider behövs för att klargöra vilken påverkan bräddvatten, både vid avloppsreningsverk och på avloppsledningsnätet, har jämfört med andra tillförselvägar till vattenrecipient. Det vore även intressant att ta prover före och efter högflödesreningsanläggningar.
- Mer ingående provtagning och analys av processer på avloppsreningsverk:
 - Fler analyser av rens och tvättvattnet från rens behövs för att verifiera hur stor andel mikroplaster som förs bort med rens till förbränning.
 - För att förstå bättre vad som händer i rötningsprocessen bör fler prover tas på slam och även inkludera rejektvattnet.
 - Fler prover på externt organiskt material och fett från försedimentering skulle ge en bättre bild av hur representativa de stickprover som tagits i denna studie är på årsbasis och hur stor andel av mikroplastbelastningen det utgör.
 - Processer med bärarmaterial i plast skulle eventuellt kunna ge ett litet bidrag till mängden mikroplast i utgående vatten eller slam. Detta skulle behöva verifieras med provtagning och analys före och efter sådana processer.

-
- Provtagning och analys på samma reningsverk bör upprepas för att öka kunskaperna om eventuella års- och årstidsvariationer.
 - Det finns ett stort behov av standardiserad metodik för provtagning, provberedning och analys av mikroplaster. Dagens analyser är osäkra, särskilt för mer heterogena material som slam och rens och dessutom är kostnaden för analyser mycket hög jämfört med analys av exempelvis metaller och organiska föreningar. Standardiserade analysresultat behövs bland annat för att möjliggöra jämförelse av olika källor med varandra och följa upp uppströmsåtgärder riktade mot mikroplaster.
 - Som ett led i att uppnå förbättrad analyssäkerhet för mikroplaster deltar Käppalaförbundet i projektet "Metodutveckling för kvantifiering och identifiering av mikroplast i slam och screening av olika avloppsslam" som drivs av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och som ska rapporteras 2021. Slam från samma provtagningsveckor som i detta projekt kommer att analyseras genom termogravimetrisk analys (TGA) för att identifiera massa och polymertyp. På detta sätt kommer överensstämmelsen mellan de två olika analysmetoderna FTIR och TGA att kunna undersökas.
 - De tre verk som är med i studien är alla certifierade enligt Revaq och bedriver därmed ett aktivt uppströmsarbete för att minska mängden föroreningar vid källan. I det arbetet ingår att verka för att minska mängden dagvatten som kommer in till reningsverket vilket troligtvis är en av de viktigaste åtgärderna för att minska mängden mikroplaster i inkommande avloppsvatten (då hushållspillvatten enligt massbalansen över Ryaverket endast stod för 30 % av totala mängden mikroplaster i inkommande vatten medan övrigt vatten där dagvatten ingår stod för resten). Därmed bör åtgärder för att minska spridning av mikroplaster till miljön främst inriktas på förbättrad dagvattenhantering, exempelvis med hjälp av gröna filter (som beskrivs i Formasprojektet nedan), förbättrad hantering av konstgräsplaner, samt minskad nedskräpning (Naturvårdsverket, 2019).
 - Ett annat projekt som SLU ansvarar för är Formas projektet "Städer med mindre mikroplast: gröna filter för avlägsning av mikroplast från dagvatten i urbana miljöer." Projektet har fått en finansiering på 8 miljoner och ska slutredovisas 2023 och kommer bland annat identifiera och kvantifiera hur mikroplast transporteras via dagvatten och hur de sprids till akvatiska miljöer.
 - Naturvårdsverket finansierar 5 projekt 2019–2021 som kommer bidra med mer kunskap om mikroplaster:
 - Utveckling av analysmetoder för mikroplast för forskning och miljöövervakning. Göteborgs universitet
 - Miljöpåverkan av nanoplaster från nedbrutna vanliga plastartiklar. Lunds universitet
 - Mikroplaster i Människa och Miljö – utrönande av påverkan och effekter. Stockholms universitet.
 - Mikroplast i vattendrag: egenskaper och påverkan från organism till ekosystem. SLU
 - Urban Plastics: Källor, sänkor och flöden av mikroplaster i den urbana miljön. Luleå Tekniska Högskola

7 Slutsatser

De slutsatser som dras baserat på analysresultaten ifrån detta projekt och jämförelser med tidigare projekt går igenom nedan.

7.1 Slutsatser angående tillförsel och avskiljningsgrad

- Mikroplaster (10–500 µm) avskiljs effektivt på Ryaverket, med ca 99 %, vilket överensstämmer väl med tidigare studier som fastslagit att avloppsreningsverk inte är en betydande spridningsväg för mikroplaster till vattenrecipient.
- Av mängden mikroplast i inkommande avloppsvatten till Ryaverket kommer ca 30 % från spillvatten (2 g/pe, år) och ca 70 % från övrigt vatten (5 g/pe, år). Jämfört med tidigare angivna mängder av Naturvårdsverket och IVL överskattas mängden mikroplast som tillförs avloppsreningsverk med upp till 10 gånger enligt resultaten i denna studie.
- Hushållsspillvatten, såväl i Stockholm som Göteborg, innehåller 3–10 g mikroplast/person, år och har relativt liknande sammansättning avseende mikroplast. Det innehåller i huvudsak polyeten, polyester och polypropylen med spår av PVC. Dessa plaster är också de vanligaste förekommande i alla prover som har analyserats i detta projekt och speglar användningen i samhället väl. Resultaten från denna studie indikerar att tidigare rapporterade resultat enligt angivna referenser överskattar mängden mikroplast från hushåll med upp till en faktor 10.
- Naturvårdsverkets tidigare antaganden om däckpartiklar är betydligt högre, ca 100 gånger högre än resultaten från Sjölundaverket, vilka indikerar en belastning av däckpartiklar till avloppsreningsverk på 1,2 g/person, år.
- Massbalansen av däckpartiklar över Ryaverket och Sjölundaverket ger samma resultat, nämligen att mycket lite av den mängd partiklar som återfinns i inkommande avloppsvatten kan sedan detekteras i slammet eller i utgående, renat avloppsvatten. Dock är analysmetoderna för däckpartiklar osäkra och under utveckling.
- Generellt kan sägas att ett fåtal partiklar 500–5 000 µm har identifierats i de analyserade proverna på Ryaverket. Fett från försedimenteringen identifierades som den största tillförselvägen av stora partiklar till slam, motsvarande 2 000 partiklar per kg fett. Finrens (2 mm) och grovrens (20 mm) innehöll, som förväntat, fler stora partiklar än övriga prover. Vilka typer av plaster och andra material partiklarna bestod av, skiljde sig mycket åt mellan de olika proverna.

7.2 Slutsatser angående avloppsreningsverks påverkan på mängder i utgående strömmar

- Resultaten från Ryaverket visar att rensgaller med 2 mm spaltvidd uppskattningsvis avskiljer 30 % av mikroplasten (efter att avloppsvattnet redan passerat 20 mm galler) och avskiljs således inte till slam. Detta bekräftar resultat från tidigare studier som pekar på att de första reningsstegen i avloppsreningsverk är viktiga för att avskilja mikroplaster.
- Ungefär 40 % av mikroplasterna reduceras i samband med mesofil rötning på Ryaverket. Det går inte med dessa analyser att avgöra om denna reduktion utgör en total nedbrytning eller om partiklarna delats upp i mindre partiklar som inte ger utslag vid den använda analysmetoden.

- Tidigare antaganden att den mikroplast som avskiljs i avloppsreningsverkens processer till övervägande del (98 %) hamnar i slammet, stämmer inte med resultaten från Ryaverket i denna studie och Sjölundaverkets tidigare studie där 60 % respektive 40 % av mikroplastmängden som tillförts (antingen via inkommande avloppsvatten eller med det externa organiska materialet direkt till rötning) återfinns i slammet.
- Koncentrationen av mikroplast i slam från Ryaverket respektive Käppalaverket uppgick till 250 respektive 500 mg/kg TS, motsvarande 5 respektive 8 g/pe, år. Magnusson et al. (2016) uppskattade mängden mikroplast i slam till motsvarande 7–90 g/person, år. Resultaten från föreliggande projekt visar att det är den nedre delen av spannet som angavs i Magnusson et al. (2016) som ligger närmst verkligheten. Fältförsök i Skåne och Danmark har visat att slam inte är den främsta källan till mikroplast i åkermark vid dessa koncentrationer. Författarnas slutsats är därför att insatser för att minska mängden mikroplast till mark bättre satsas på andra tillförselvägar än slam.
- En inte oväsentlig källa till mikroplast i slam är det externa organiska materialet som tillförs direkt till rötkamrarna på Ryaverket. Fett från försedimentering har också identifierats som en, om liten, tillförselväg av mikroplast till slam på Ryaverket.

7.3 Slutsatser angående mikroplaster i utgående, renat avloppsvatten, dagvatten och bräddningar på ledningsnätet

- Det har i flertalet tidigare studier konstaterats att avloppsreningsverk avskiljer mikroplaster mycket väl. Så även i detta projekt där avskiljningsgraden för Ryaverket är 99 %. Resultaten från detta projekt indikerar, precis som i Mintenig et al. (2017), Simon et al. (2018) och Ljung et al. (2018), att avloppsreningsverkens bidrag i denna studie ligger i den nedre delen av spannet som angavs i Magnusson et al. (2016) med utsläpp på 0,005–0,15 g/person, år.
- Den goda avskiljningen på Ryaverket innebär att utsläppen av mikroplast till vattenrecipient via utgående avloppsvatten utgör något hundra delar gram per pe och år eller mindre, att jämföra med i storleksordningen 10 gram per pe och år som kan finnas i dagvatten. Enligt givna antaganden tillförs alltså mer än 100 gånger mer till recipient via dagvatten än via utgående renat avloppsvatten.
- Beräkningar i denna studie visar att tillförsel av mikroplast till recipient via bräddning på avloppsledningsnätet i Ryaverkets upptagningsområde motsvarar 0,01–0,2 g/pe, år, vilket är upp till 100 gånger färre än tidigare uppskattningar av Magnusson et al., (2016). Enligt dessa beräkningar tillför alltså dagvatten 100–1000 gånger mer mikroplast till vattenrecipient än bräddningar på avloppsledningsnätet. Däremot, eftersom avskiljningsgraden för mikroplast är så hög i avloppsreningsverken, tillförs mer än dubbelt så mycket mikroplast via bräddning på avloppsledningsnätet än via det renade, utgående avloppsvattnet för Ryaverket.
- Mängden mikroplaster i utgående vatten från Käppalaverket är betydligt lägre, 0,005 g/pe, år, än övriga avloppsreningsverk, 0,08–0,14 g/pe, år i denna studie. En förklaring kan vara det sista reningssteget som på Käppalaverket består av sandfilter vilket ger en bättre rening än övriga avloppsreningsverk. Tidigare uppskattade mängder enligt angivna referenser överskattar mängden mikroplast som tillförs vattenrecipient från avloppsreningsverk med upp till 10 gånger jämfört med resultaten i denna studie.

7.4 Slutsatser angående analysmetod och felkällor

- Eftersom mikroplasten i proven både kvantifierades genom partikelräkning och massbestämning av varje enskild partikel kunde den totala massan av de olika typerna av plast beräknas liksom totala antalet partiklar av respektive plasttyp. Det är tydligt att räkning av antalet partiklar riskerar att ange en fördelning mellan plasttyper som skiljer sig väsentligt från massfördelningen.
- Analysmetoderna och upparbetningen skiljer sig åt mellan de olika substraten och det är lättare att analysera relativt rena prover som utgående vatten än exempelvis slam som består av så mycket annat organiskt material. Dessutom är metoden för analys av mikroplaster i slam relativt nyutvecklad. Därmed finns en viss risk att halten mikroplaster underskattas eller överskattas för vissa substrat, vilket kan få stor effekt när de jämförs med varandra i en massbalans.
- Uppskattningsvis ligger den totala analysosäkerheten för mikroplastanalyser med FTIR på ca 30 %. Som tidigare nämnts råder det stora osäkerheter angående däckpartikelanalyserna med pyrolys GC-MS och metoden som används är på det experimentella stadiet och långt ifrån färdigutvecklad. Det finns alltså ett behov av ytterligare metodutveckling.

7.5 Slutsatser angående åtgärder

- Eftersom avskiljningsgraden på reningsverken är så hög bör insatser för att spåra och minska mängden mikroplast i vattenmiljön satsas på dagvattenhantering snarare än på att införa ytterligare reningssteg på avloppsreningsverk.
- Förslag på uppströmsåtgärder som VA-organisationer kan vidta för att minska mängden mikroplast vid källan är att minska mängden tillskottsvatten, framförallt dagvatten, göra vidare utredningar för att identifiera eventuella punktkällor från verksamheter och att informera hushåll om mikroplaster från tvätt av textilier.

Referenser

Ašmonaitė G., Carney Almroth B. (2019). Effects of microplastics on organisms and impacts on the environment: Balancing the known and unknown. Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs Universitet.

Brodin, M., Norin H., Hanning A-C., Persson C., Okcabol S., (2018). Microplastics from industrial laundries – A study of laundry effluents. EnviroPlanning AB och RISE. På uppdrag av Naturvårdsverket.

De Falco, F., Gullo, M., Gentile, G., Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., Avella, M. (2017). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*. 236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.057>

Eriksson, M., & Lagerkvist, R. (2015). Hushållsspillvatten från Skarpnäck – en sammanställning 1995-2013. Stockholm Vatten och Avfall.

Göteborgs Stad (2010). Åtgärdsplan Avloppsavledning. Kretsloppskontoret och Göteborg Vatten.

Göteborgs Stad, (2016). Mikroplast i Göteborg – kunskapssammanställning och förslag till åtgärder för att minska spridning till miljön. Miljöförvaltningen. R 2016:12

Hållbar slamhantering (2020). Betänkande av utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam. (SOU 2020:3). Stockholm: Miljödepartementet.

Kemikalieinspektionen (2016). Förslag till nationellt förbud mot mikrokorn av plast i kosmetiska produkter. Rapport från ett regeringsuppdrag. Rapport 2/16.

Kretslopp och Vatten, Göteborgs Stad (2020). Personlig kommunikation Glen Nivert.

Ljung, E., Olesen, K.B., Andersson, P.-G., Fältström, E., Vollertsen, J., Wittgren, H.B., Hagman, M., (2018). Mikroplaster i kretsloppet. Rapport Nr 2018–13. Svenskt Vatten Utveckling

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. (Reviderad mars 2017). Rapport C 183. IVL svenska miljöinstitutet.

Magnusson. K & Wahlberg. C. (2014). Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk. NR B 2208. IVL Svenska Miljöinstitutet

Mahon, A.M., O'Connell, B., Healy, M.G., O'Connor, I., Officer, R., Nash, R., Morrison, L. Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment. *Environ. Sci. Technol.*, (2017), 51, 2, pp 810-818. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04048>

Michielssen, M., Michielssen, E., Ni, J., Duhaime, M., (2016). Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2016, 2, 1064-1073 <https://doi.org/10.1039/C6EW00207B>

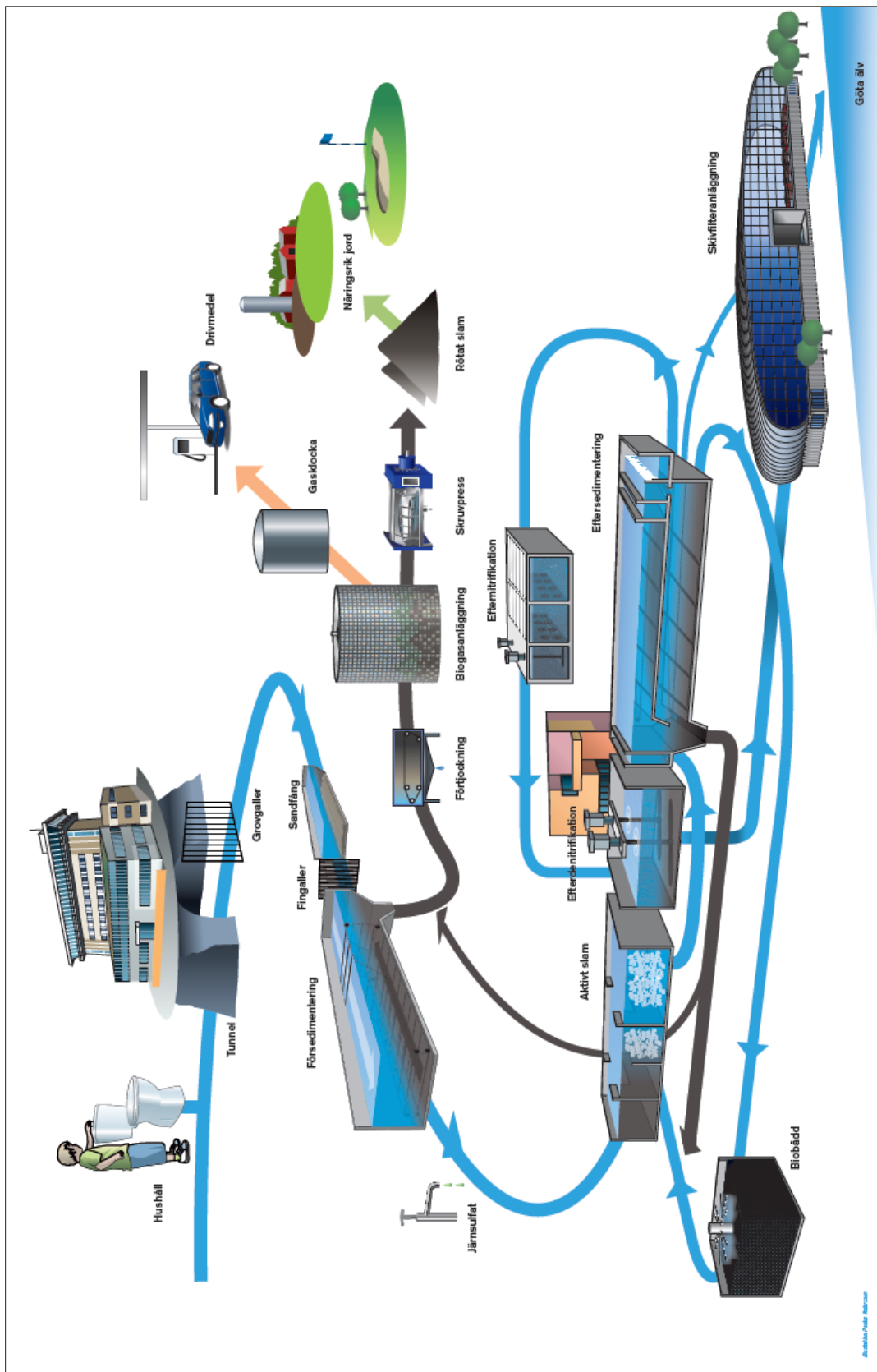
Miljøstyrelsen (2017). Microplastic in Danish wastewater – Sources, occurrences and fate. Miljøprojekt nr. 1906.

Miljöförvaltningen, Malmö (2018). Mikroplast i Malmö – förslag till åtgärder för minskade utsläpp till miljön.

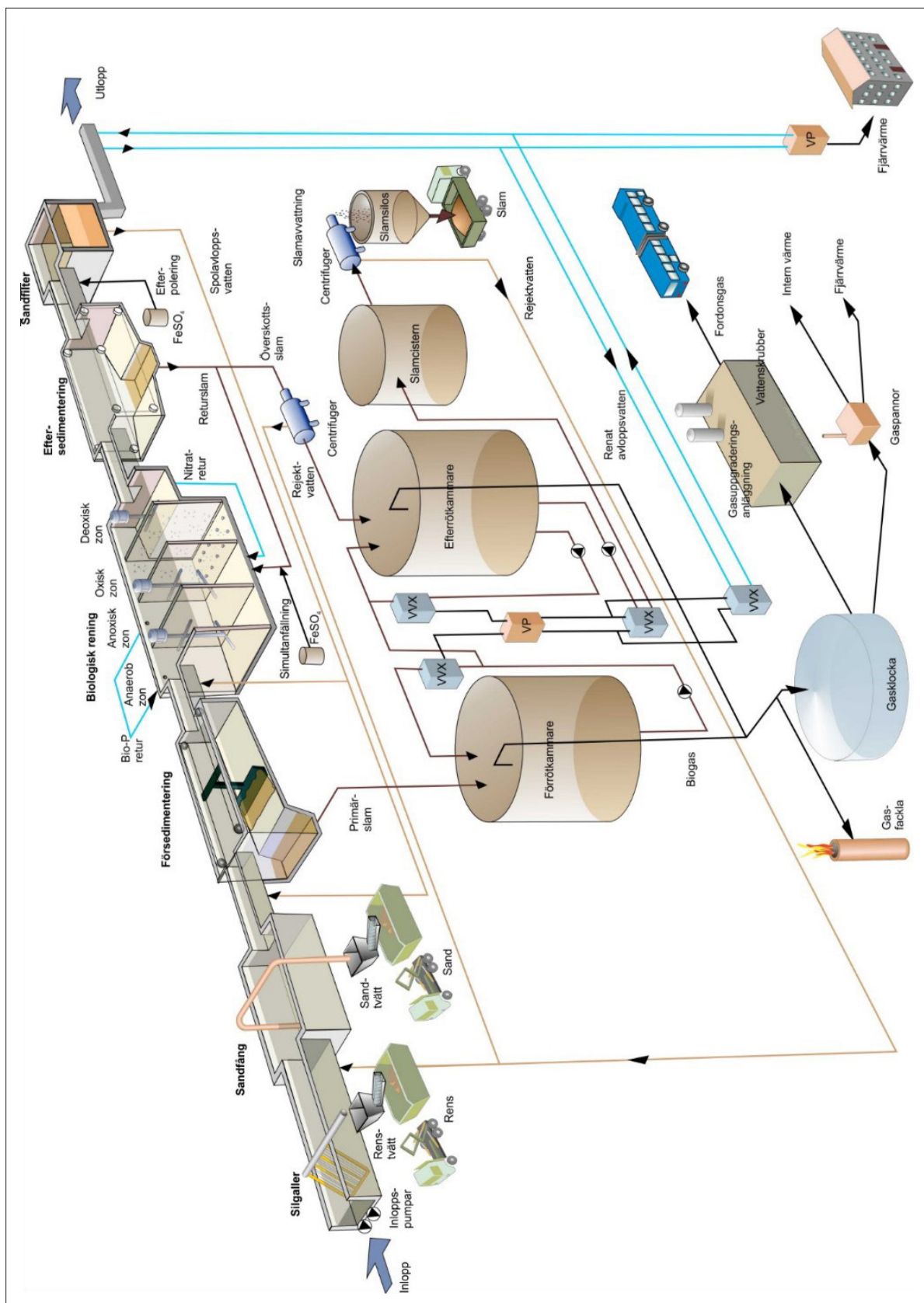
-
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108, 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environ. Sci. Technol.* 50, 5800–5808. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- Napper, I.E., Thompson, R.C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin* 112, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
- Naturvårdsverket (2017). Mikroplaster - Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige. Rapport 6772, Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2019). Mikroplaster i miljön år 2019 – Redovisning av ett regeringsuppdrag. Ärendenr NV-8867-17. Stockholm
- Norsk institutt for vannforskning (2019). Plast i landbruket: kilder, massebalanse og spredning til lokale vannforekomster (Plastland). Ranneklev, S. B. m.fl., NIVA Rapport 7418–2019.
- Plastics Europe (2019). Plastics - the Facts 2019. Brussels. https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- Press, C., Davidsson, F., Wellsjö L., Grubbström, E., Ridelius A. (2019). Hushållspillvattenundersökning. Provtagningar i referensområden 2017/2018. Grynabrapport 2019:5.
- SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2019). A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society. Berlin: SAPEA. <https://doi.org/10.26356/microplastics>
- Simon, M., van Alst, N., Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Res.* 142, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>
- Skogerbø, G. (2020). Mikroplast i avløpsvann, avløpsslam og jord – en litteraturgjennomgang. Norsk Vann rapport 253/2020.
- Stockholms stad (2019). Stockholms stads handlingsplan för minskad spridning av mikroplast 2020–2024.
- Svenskt Vatten (2020). Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/reningsverk-och-reningsprocesser/bestallargrupp-lakemedelsrester-mikroplaster-och-andra-foro-reningar/>
- SWECO (2014). Mätdataanalys av spillvattenflöden och hydraulisk modellering av tunnelsystemet. Sweco Environment AB
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., Russell, A.E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
-

Wahlberg, C. (2018). Organiska miljöföroreningar från hushåll till reningsverk.
Stockholm Vatten och Avfall.

Bilaga A – processscheman



Figur A-1 Förenklat processschema över Ryaverket.



Bilaga B – information och resultat från Ryaverket

Tabell B-1 Information och resultat från alla vattenprover tagna på Ryaverket. Resultaten för mikroplaster 10–500 µm är ett medelvärde av tre analyser för varje prov.

Prov	Flöde (m³/s)	Provtagningsdatum	Antal mikro- plaster 10–500 µm (antal/L)	Halt mikroplaster 10–500 µm (µg/L)	Halt däckpartiklar 10–500 µm (µg/L)
Oxledsvägen, Askim 1	0,0027	2018-03-03	619	41	72
Oxledsvägen, Askim 2	0,0022	2018-04-17	325	24	196
Oxledsvägen, Askim 3	0,0017	2018-06-19	989	53	816
Medel	0,0022		644	39	361
Standardavvikelse	0,0005		333	14	398
Inkommande vatten (efter 20 mm galler) 1	3,3	2018-04-17	650	25	69
Inkommande vatten (efter 20 mm galler) 2	3,4	2018-06-19	667	70	761
Inkommande vatten (efter 20 mm galler) 3	4,2	2018-09-20	283	81	799
Medel	3,6		533	58	543
Standardavvikelse	0,51		217	30	411
Utgående vatten 1	3,5	2018-06-19 08:15	2,3	0,46	0,65
Utgående vatten 2	3,4	2018-06-19 13:40	5,3	0,92	0,62
Medel	3,5		3,8	0,69	0,64
Standardavvikelse	0,08		2,1	0,32	0,02

Tabell B-2 Information och resultat från alla prover på rens tagna på Ryaverket.
Resultaten för mikroplaster 10–500 µm är ett medelvärde av tre analyser för varje prov.

Prov	Flöde (kg/h)	Plastpartiklar (% av TS)	Partiklar 10–500 µm (% av TS)	Provtagnings- datum	Halt mikroplaster 10–500 µm (mg/kg TS)
Grovrens (från 20 mm galler) 1	125	1,9 %	EA	2018-06-15	EA
Grovrens (från 20 mm galler) 2	10	0,78 %	EA	2018-06-18	EA
Grovrens (från 20 mm galler) 3	136	15 %	EA	2018-06-19	EA
Medel	91	5,8 %			
Standardavvikelse	70	7,8 %			
Finrens (från 2 mm galler) 1	117	11 %	4,5 %	2018-06-15	4 906
Finrens (från 2 mm galler) 2	19	0,77 %	2,8 %	2018-06-18	211
Finrens (från 2 mm galler) 3	108	3,1 %	2,4 %	2018-06-19	745
Medel	81	4,9 %	3,2 %		1954
Standardavvikelse	54	5,3 %	1,1 %		2 570

Tabell B-3 Information och resultat från alla fett, slam och prover på externt organiskt material tagna på Ryaverket. Resultaten för mikroplaster 10–500 µm är ett medelvärde av tre analyser för varje prov. EA = ej analyserat, EI = ej identifierat.

Prov	Flöde	Enhet	TS-halt	VS-halt	Provtagningsdatum	Antal mikroplaster 10–500 µm (antal/g TS)	Halt mikroplaster 10–500 µm (mg/kg TS)	Halt däckpartiklar 10–500 µm (µg/L)
Fett från försedimentering 1	1 000	m ³ /år	19 %	EA	2018-12-20 15:45	637	1 731	EI
Fett från försedimentering 2	1 000	m ³ /år	18 %	EA	2018-12-20 10:20	339	23	1,9
Fett från försedimentering 3	1 000	m ³ /år	7,3 %	EA	2019-01-11 12:30	2 749	140	EI
Medel	1 000	m ³ /år	12 %			1 242	631	1,9
Standardavvikelse	0,0	m ³ /år	7,2 %			1 314	954	-
Örötat slam 1	54	m ³ /år	6,5 %	73 %	2019-04-12	5 661	225	EI
Örötat slam 2	50	m ³ /år	6,6 %	80 %	2019-04-15	4 260	178	EI
Örötat slam 3	47	m ³ /år	6,8 %	80 %	2019-04-16	4 460	274	EI
Medel	50	m ³ /år	6,6 %	78 %		4 794	226	
Standardavvikelse	3,7	m ³ /år	0,2 %	4,0 %		758	48	
Rötat ej avvattnat slam 1	54	m ³ /år	3,0 %	54 %	2019-04-12	8 916	391	6,1
Rötat ej avvattnat slam 2	50	m ³ /år	3,0 %	55 %	2019-04-15	6 515	250	3,4
Rötat ej avvattnat slam 3	47	m ³ /år	3,1 %	55 %	2019-04-16	6 083	302	81
Medel	50	m ³ /år	3,0 %	55 %		7 171	314	30
Standardavvikelse	3,7	m ³ /år	0,06 %	0,6 %		1 527	71	44
Rötat och avvattnat slam 1	8,1	m ³ /år	75 %	54 %	2018-06-15 11:15	1363	185	57
Rötat och avvattnat slam 2	6,8	m ³ /år	76 %	55 %	2018-06-18 13:40	2 001	277	27
Rötat och avvattnat slam 3	9,0	m ³ /år	76 %	55 %	2018-06-18 17:10	837	348	70
Medel	8,0	m ³ /år	76 %	55 %		1 401	270	51
Standardavvikelse	1,1	m ³ /år	0,4 %	0,6 %		583	82	22
EOM 1 (Fettavskiljare restauranger)	5 000	m ³ /år	5,5	EA	juni 2019	8 974	1859	EI
EOM 2 (Livsmedelsindustrier)	9 000	m ³ /år	2,4	EA	juni 2019	6 538	887	EI
EOM 3 (Glasstillverkningsindustri)	9 000	m ³ /år	15	EA	juni 2019	207	127	EI
Medel	-		7,8			5 240	958	
Standardavvikelse	-		6,8			4 526	868	

Tabell B-4 Plastpartikelmassa i procent. Resultaten är ett medelvärde av tre prover (två prover på utgående vatten). EI = ej identifierat.

Polymer	Hushålls-spillvatten	Inkommande avloppsvatten	Utgående	Orötat, förtjockat slam	Rötat, ej avvattnat slam	Rötat, avvattnat slam	Fett från försedimentering	Externt organiskt material
polyester	37 %	15 %	4,4 %	52 %	26 %	14 %	0,6 %	27 %
pe	37 %	39 %	65 %	38 %	49 %	56 %	93 %	60 %
pp	15 %	28 %	0,8 %	3,0 %	4,3 %	17 %	2,2 %	4,3 %
ps	3,1 %	2,1 %	3,2 %	0,7 %	9,2 %	1,6 %	1,5 %	0,3 %
pu	3,1 %	0,9 %	0,5 %	1,7 %	0,6 %	2,1 %	1,8 %	0,3 %
pvc	1,8 %	7,2 %	26 %	0,7 %	0,2 %	5,2 %	EI	0,2 %
eva	1,5 %	0,3 %	0,01 %	EI	EI	0,2 %	EI	EI
acrylic	0,4 %	4,6 %	0,01 %	1,7 %	5,3 %	1,1 %	0,3 %	0,3 %
pva	0,4 %	EI	0,04 %	EI	EI	0,002 %	EI	EI
polycarbonate	0,3 %	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
abs	0,2 %	0,8 %	EI	EI	3,0 %	0,3 %	0,1 %	EI
acrylic paints	0,1 %	0,8 %	0,005 %	EI	EI	0,3 %	EI	EI
pa	0,1 %	EI	0,1 %	2,8 %	1,7 %	0,6 %	0,1 %	7,4 %
vinyl copolymer	0,1 %	EI	EI	EI	EI	0,03 %	EI	EI
cellulose_acetate	EI	EI	EI	0,1 %	0,7 %	EI	EI	0,02 %
pvac	0,01 %	EI	0,03 %	EI	0,1 %	0,03 %	EI	EI
alkyd	EI	0,04 %	0,1 %	EI	EI	1,1 %	EI	EI
epoxy	EI	0,01 %	EI	EI	EI	0,1 %	EI	EI
pan_acrylic fibre	EI	EI	0,1 %	EI	0,1 %	EI	EI	EI
pu paints	EI	EI	0,04 %	EI	EI	EI	EI	EI
san	EI	EI	EI	EI	EI	0,1 %	EI	EI
phenoxy resin	EI	EI	EI	EI	EI	0,01 %	EI	EI
pla	EI	EI	EI	EI	EI	0,01 %	EI	EI

Bilaga C – resultat från däckpartikelanalys Skarpnäck och Sjölundaverket

Prov	Halt	Enhet
Hushållspillvatten 1	1,5	µg/L
Hushållspillvatten 2	1,1	µg/L
Hushållspillvatten 3	0,64	µg/L
Medel	1,1	µg/L
Standardavvikelse	0,4	µg/L

Tabell C-1

Analysresultat för däckpartiklar i hushållspillvatten från Skarpnäck.

Prov	Halt	Enhet
Inkommande avloppsvatten 1	14	µg/L
Inkommande avloppsvatten 2	9,5	µg/L
Medel	12	µg/L
Standardavvikelse	3,5	µg/L
Utgående, renat avloppsvatten 1	0,008	µg/L
Utgående, renat avloppsvatten 2	0,005	µg/L
Utgående, renat avloppsvatten 3	0,06	µg/L
Utgående, renat avloppsvatten 4	0,02	µg/L
Medel	0,02	µg/L
Standardavvikelse	0,02	µg/L
Rötat och avvattnat slam	3,1	mg/kg TS

Tabell C-2

Analysresultat för däckpartiklar i inkommande och utgående avloppsvatten samt slam på Sjölundaverket.

Prov	Halt	Enhet
Rötat och avvattnat slam 1	8,9	mg/kg TS
Rötat och avvattnat slam 2	7,9	mg/kg TS
Rötat och avvattnat slam 3	14	mg/kg TS
Medel	10	mg/kg TS
Standardavvikelse	3,2	mg/kg TS

Tabell C-3

Analysresultat för däckpartiklar i slam från Käppalaverket.

Bilaga D – information och resultat från Käppalaverket

Provtagningspunkt	Flöde	Enhet	Provtagningsdatum
Skarpnäck 1	0,0070	m ³ /s	3–9 juni 2019
Skarpnäck 2	0,0081	m ³ /s	10–16 juni 2019
Skarpnäck 3	0,0074	m ³ /s	17–23 juni 2019
Medel	0,0075	m ³ /s	
Standardavvikelse	0,0006		
Utgående vatten Käppalaverket prov 1–3	1,4	m ³ /s	13 september 2019
Avvattnat slam Käppalaverket 1	0,9	Kg avv/s	13–19 juli 2019
Avvattnat slam Käppalaverket 2	1,1	Kg avv/s	31 augusti–6 september
Avvattnat slam Käppalaverket 3	1,0	Kg avv/s	28 september–4 oktober
Medel	1,0	Kg avv/s	
Standardavvikelse	0,08		

Tabell D-1

Flöden under respektive provtagningsvecka för hushållspillvatten, utgående vatten och avvattnat (avv) slam från Käppalaverket samt medelvärde och standardavvikelse. Provtagning på utgående vatten togs under ca fyra timmar under en dag och flödet bedömdes vara konstant under hela provtagningen.

Tabell D-2 Analysresultat, medelvärde och standardavvikelse för prov på hushållsspillvatten i Skarpnäck, massa per polymergrupp (µg/l) samt antal plastpartiklar per liter.

Polymergrupp	Skarpnäck 1 (µg/l)	Skarpnäck 2 (µg/l)	Skarpnäck 3 (µg/l)	Medel	Standard- avvikelse	Skarpnäck 1 antal mikro- plaster per liter	Skarpnäck 2 antal mikro- plaster per liter	Skarpnäck 3 antal mikro- plaster per liter	Medel	Standard- avvikelse
Polyeten	45	11	131	63	62	50	187,5	62,5	100	76
Polypropylen	14	24	7	15	8	50	87,5	37,5	58	26
Polyester	23	24	23	23	0,7	175	437,5	375	329	137
Polyamid	0,6	0,3	1	1	0,2	37,5	25	25	29	7
Polyuretan	0,2	4,1	0	2	2,2	25	100	0	42	52
Polystyren	0,5	1,1	7	3	3,3	12,5	37,5	37,5	29	14
Acrylic	3,1	3,7	1	3	1,3	50	25	87,5	54	31
Pan_acrylic fibre	0,1	0,0	0	0	0,1	12,5	0	0	4	7
PVC	0	10,9	1	4	6,0	0	62,5	25	29	31
Abs	0	0,5	0	0	0,3	0	12,5	0	4	7
Cellulose acetate	0	0,2	0	0	0,1	0	12,5	0	4	7
SUMMA	87	80	171	113		413	988	650	683	

Tabell D-3 Analysresultat, medelvärde och standardavvikelse för prov på renat utgående avloppsvatten från Käppalaverket, massa per polymergrupp µg/l) samt antal plastpartiklar per liter.

Polymer- grupp	Utgående vatten Käppalaverket 1 (µg/l)	Utgående vatten Käppalaverket 2 (µg/l)	Utgående vatten Käppalaverket 3 (µg/l)	Medel	Standard- avvikelse	Utgående vatten 1 antal mikro- plaster per liter	Utgående vatten 2 antal mikro- plaster per liter	Utgående vatten 3 antal mikro- plaster per liter	Medel	Standard- avvikelse
pe	0,1384	0,0040	0,0013	0,0479	0,0784	0,0347	0,0250	0,0062	0,0220	0,0145
pp	0,0022	0,0010	0,0052	0,0028	0,0022	0,0397	0,0299	0,0310	0,0335	0,0054
polyester	0,0007	0,0013	0,0018	0,0013	0,0006	0,0099	0,0250	0,0186	0,0178	0,0075
pa	0,0041	0,0002	0,0016	0,0020	0,0020	0,0198	0,0100	0,0434	0,0244	0,0172
pvc	0,0001	0,0002	0	0,0001	0,0001	0,0050	0,0150	0	0,0066	0,0076
ps	0,0015	0,0001	0,0002	0,0006	0,0008	0,0099	0,0050	0,0062	0,0070	0,0026
abs	0	0	0,0047	0,0016	0,0027	0	0	0,0062	0,0021	0,0036
SUMMA	0,1470	0,0067	0,0147	0,0561		0,1190	0,1098	0,1115	0,1135	

Tabell D-4 Analysresultat, medelvärde och standardavvikelse för prov på avvattnat slam från Käppalaverket, massa per polymergrupp g/kg TS) samt antal plastpartiklar per kg TS.

Polymergrupp	Avvattnat slam Käppalaverket 1 (mg/kg TS)	Avvattnat slam Käppalaverket 2 (mg/kg TS)	Avvattnat slam Käppalaverket 3 (mg/kg TS)	Medel	Standard- avvikelse	Avvattnat slam Käppalaverket 1 Antal mikropulster 10–500 µm (antal/g TS)	Avvattnat slam Käppalaverket 2 Antal mikropulster 10–500 µm (antal/g TS)	Avvattnat slam Käppalaverket 3 Antal mikropulster 10–500 µm (antal/g TS)	Medel	Standard- avvikelse
pe	111	620	327	353	255	1050	1470	1270	1263	210
pp	34	67	36	45	19	530	1000	650	727	244
polyester	61	39	73	58	17	570	830	440	613	199
pa	5	3	6	5	2	230	120	120	157	63
acrylic	25	38	16	27	11	340	510	480	443	91
pvc	0	5	0	2	3	10	80	0	30	44
pvac	0	0	0	0	0	0	10	0	3	6
pu	9	2	24	12	11	150	180	210	180	30
ps	4	3	1	3	2	220	360	140	240	111
abs	0	0	2	1	1	10	20	10	13	6
cellulose_acetate	3	0	1	1	1	40	20	40	33	12
aramid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alkyd	0	0	11	4	7	0	0	10	3	6
pan_acrylic fibre	0	0	1	0	0	10	10	10	10	0
total	254	778	499	510	262	3159	4610	3380	3716	782

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se