

Mikroplast i avløpsvann fra gjenvinningsanlegg for plast

Av Sissel Brit Ranneklev og Cecilie Singdahl-Larsen

Sissel Brit Ranneklev (Ph.D) er seniorforsker ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).
Cecilie Singdahl-Larsen (M.Sc) er overingeniør ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Summary

Microplastics in wastewaters from plastic recycling plants. Wastewaters from two plastic recycling plants were analyzed for microplastics. In both plants microplastics were detected, and the concentrations varied from 7-51 particles per litres and mass from 8-316 µg per litres. Polypropylene and polyethylene were most frequently detected, which also were the dominating plastic polymers recycled in the plants. Fluxes (kg/year) could not be calculated as water consumption is not measured.

The concentrations and masses detected were significantly lower than findings from other countries. Comparing measured concentrations and masses with each other are challenging, as no standardised methods are developed, and very different sampling and analysis methods for detection of microplastics are used. Information on the content of microplastics in wastewater from plastic recycling plants are insufficient in Norway and other countries, and more knowledge is needed. When microplastics are discharged into the aquatic environment, measures should be considered, due to great concern about the effects on the aquatic environment.

Sammendrag

Avløpsvann fra to gjenvinningsanlegg for plast ble analysert for mikroplast. I begge anleggene ble mikroplast påvist, og konsentrasjonene varierte fra 7-51 partikler pr. liter og masse fra 8-316 µg pr. liter. Polypropylen og polyetylen var de dominerende plastpartiklene som ble påvist, som også utgjorde hovedpart av plastpolymerene som ble gjenvunnet. Tilførsler (kg/år) kunne ikke beregnes da vannforbruk ikke måles.

Konsentrasjonene og massene som ble påvist var betydelig lavere enn funn i avløpsvann fra gjenvinningsbedrifter fra andre land. Sammenligning av målte konsentrasjoner og masser av mikroplast fra ulike studier er derimot utfordrende, da standardiserte metoder mangler, og svært ulike prøvetakningsmetoder og analysemetoder for påvisning av mikroplast benyttes. Informasjon om innhold av mikroplast i avløpsvann fra gjenvinningsanlegg for plast er mangelfullt i Norge og andre land, og det er behov for mer kunnskap. Ved utslipp av mikroplast bør rensiltak vurderes, da det er store bekymringer knyttet til effekter av mikroplast på vannmiljøet.

Innledning

Plast er rimelig å produsere, egenvekten er lav, materialet er anvendelig og slitesterkt og dagens samfunn har gjort seg avhengig av plast. Plastproduksjonen i EU har økt betydelige det siste tiårene (www.plasticseurope.org). Det er ønskelig å øke gjenvinningen av plast for å begrense plast på avveie, redusere forbruk av olje og gass til plastproduksjon, forhindre dumping av plast til utviklingsland og ikke minst inkludere plast i den sirkulære økonomien. I dag gjenvinnes om lag 30 % av plastavfallet i EU, og det er iverksatt reguleringer og insentiver for å øke gjenvinningen av plast. Framover forventes det at flere anlegg for gjenvinning av plast etableres i Europa ([Fakta og tall om plast i EU](#)). I dag gjenvinnes plast i hovedsak mekanisk, men kjemisk gjenvinning er under utvikling (Ragaert, Delva, og Van Geem 2017); Lase mfl. 2023). Mekanisk gjenvinning går i korthet ut på at innsamlet plast sorteres, males opp, vaskes og nedsmeltes til såkalte plastpellets (også kalt plastgranulater). Disse selges videre til plastbearbeidende industrier som omformer materialene til ulike produkter. Plastpellets har blitt funnet i det marine vannmiljøet, og utslipp fra industri og uhell under transport antas å være de viktigste kildene (Sundt, Schulze, og Syversen 2014); Boucher og Friot 2017). Det har vært lite oppmerksomhet knyttet til plast i avløpsvann fra bedrifter som gjenvinner plast. Under prosessen males platen som skal gjenvinnes opp til mindre fraksjoner og vann benyttes i ulike prosesser i anlegget, blant annet til vasking, separering av plastmaterialet og nedkjøling av ekstrudert plast (Hunink 2021). Håndtering av platen i industrianleggene vil medføre at mikroplastpartikler (under 5 mm) og makroplast (større enn 5 mm) dannes som følge av de mekaniske prosessene som plastmaterialet utsettes for. I litteraturen er det nylig publisert noen artikler om funn av høye konsentrasjoner av mikroplast i avløpsvann fra mekaniske gjenvinningsanlegg for plast i EU (Brown mfl. 2023), Asia (Guo mfl. 2022; Suzuki mfl. 2022), Australia (Stapleton mfl. 2023) og i elvedeponer nedstrøms ett gjenvinningsanlegg for plast i Norge (Kallenbach mfl. 2022).

I denne artikkelen undersøkes konsentrasjoner av mikroplast i avløpsvann fra to bedrifter, en Norsk og en Nederlandsk, som gjenvinner plast mekanisk. Bedriften fra Nederland gjenvinner plast fra husholdninger, og de har påslipp av avløpsvann på kommunalt ledningsnett. Den Norske bedriften gjenvinner plast fra fiskerinæringen. Avløpsvann fra den Norske bedriften ledes ut til et sandfilter, som videre føres ut til en mindre bekk og videre ut til kystvann. Blåskjell ble samlet inn fra en gradient med økende avstand fra utslippspunkt til kystvann og konsentrasjoner av mikroplast ble bestemt i blåskjellene.

Materiale og metode

Prøvetaking av avløpsvann fra bedriftene og blåskjell fra norsk marin vannforekomst som mottar rensert avløpsvann fra den ene bedriften

Glødede (550°C i 60 min.) glassflasker (3 L) ble sendt til bedriftene fra NIVA. Etter instruksjoner fra NIVA gjennomførte bedriftene selv prøvetakingen av avløpsvannet (2020). Prøvene med avløpsvann ble sendt til NIVA i romtemperatur og analysert omgående for mikroplast. Blåskjell ble plukket fra båt (2020), frosset ned og sendt til NIVA med ekspress over natten. Fram til analyse av mikroplast ble blåskjellene oppbevart nedfrosset.

Bedrift fra Nederland: Den Nederlandske bedriften mottar og gjenvinner plast fra private husholdninger, som hovedsakelig består av polypropylen og polyetylen (Hunink 2021). Platen de mottar gjenvinnes mekanisk. Avløpsvannet som ble analysert for mikroplast ble tatt fra en DAF-enhet (dissolved air flotation) i anlegget. Her blir oppløst luft i avløpsvannet benyttet til å fjerne større plastfragmenter som samler seg i skummet på toppen DAF-enheten. Skummet med plastfragmentene øses av med en roterende arm som beveger seg over skummet. Uttak av avløpsvann ble utført ved hjelp av en blå polyetylenflaske montert til et kosteskaft. Ti vannprøver ble samlet opp fra DAF-enheten i løpet av ett døgn. Avløpsvannet fra DAF-enheten resirkuleres, inntil det er for skittent (hovedsakelig utfordringer med fett), og det ledes da ut

på kommunalt ledningsnett. Under resirkuleringen av avløpsvannet vil derfor konsentrasjonene av mikroplast i DAF-enheten variere, fra tilnærmet rent vann til høye konsentrasjoner. Informasjon om hvor langt i resirkuleringsprosessen avløpsvannet som ble samlet inn fra DAF-enheten var i, ble ikke oppgitt. Flaskene med avløpsvann ble fraktet til Norge på trailer i romtemperatur, og analysert for mikroplast rett etter ankomst.

Bedrift fra Norge: Den Norske bedriften mottar og gjenvinner plast fra fiskeri og havbruksnæringen, som i hovedsak er av typen polyetylen og polypropylen. I bedriften er det utviklet linjer for resirkulering av forskjellige typer plast som gjenvinnes til plastgranulater. Avløpsvann fra bedriften ledes ut av anlegget til et sandfilter som også mottar overvann fra utearealene (oljefilter er koblet på ledningsnett for overvann fra utearealene). Størrelsen på sandfilteret er ca. 3 m x 20 m x 1,7 m dypt (0,5 m med overdekning, 0,5 m med naturgrus 6 mm, 0,5 m x 2 med singel 8-15 mm, samt to lag med sepearasjonssperrer). Avrenning fra sandfilteret ledes ut i en bekk, som videre renner ut (ca. 450 m i luftlinje) til kystvann. Vannforekomsten hvor bekken renner ut i sjøen er et basseng med trang åpning ut til åpent kyst. Avløpsvannsvannprøver ble samlet inn fra utløpet av sandfilteret og analysert for mikroplast.

Blåskjell (10 stykker pr. stasjon) ble samlet inn fra tre stasjoner i bassenget, med økende avstand fra bekk til åpent kystvann. Stasjon 1 var om lag 200 m fra utløp av bekk, stasjon 2 ca. 1,2 km fra utløp av bekk og stasjon 3 ca. 3,2 km fra utløp av bekk, og på innsiden av bassenget, men rett ved utløp til åpent hav. Blåskjellenes gjennomsnittlige lengde og vekt av bløtvev var henholdsvis 70 cm og 12 gram.

Analyse av mikroplast i avløpsvann og blåskjell

Forbehandling av avløpsvann: Avløpsvannene var turbide, og for å forhindre tilstopping av filtre, ble de størrelsesfraksjonert ved bruk av metallsikter med porestørrelser på 1 mm, 500 µm, 355 µm, 250 µm, 125 µm og 53 µm. Mate-

rialet som var igjen på siktene ble skylt med filtrert (0,22 µm) omvendt osmosevann (RO-vann) og overført til Erlenmeyerkolber. For å fjerne organisk material ble 10 % KOH tilsatt før inkubasjon ved 40°C (100 rpm) i 24 timer. Påfølgende dag ble prøvene filtrert gjennom et glassfiberfilter (GF/A, porestørrelse 1,6 µm, 47 mm diameter).

Alle filtre ble undersøkt i mikroskop (x20 forstørrelse) før bruk, og alt utstyr ble skylt med filtrert RO-vann for å unngå forurensning av mikroplast. Det ble tatt blindprøver under klargjøring og filtrering for å undersøke eventuell kontaminering fra luft, utstyr, klær, RO-vann og kjemikalier. Under filtrering ble tre blankprøver bestående av filtrert RO-vann filtrert i begynnelsen, halvveis og på slutten. I tillegg ble det også tatt en blindprøve for å undersøke eventuell mikroplastforurensning fra KOH som ble benyttet.

To fibre av bomull ble påvist i tre blindprøver. I blindprøve fra KOH ble en fiber av viskose påvist. Ved påvisning av viskose i avløpsvannet, ble en viskosepartikkel trukket fra i analysene.

Visuell analyse og kjemisk karakterisering med FTIR-spektroskopi (Fourier Transform Infrared)

Materialet på glassfiberfiltrene (1,6 µm) ble undersøkt visuelt ved bruk av et stereomikroskop (Nikon SMZ745T, forstørrelse x20). Lengde og bredde (µm) av de antatte plastpartiklene ble målt med programvaren Infinity Analyze Capture 6.5, og morfologi (fragment, fiber, etc.) og farge ble notert. Dybden (µm) av partiklene ble estimert for å beregne massen til hver partikkel. Etter den visuelle analysen ble type plastpolymer bestemt ved bruk av µFTIR (Spotlight 400 µFTIR spektrometer, Perkin-Elmer). FTIR-spektroskopi ble utført på 93 % av partiklene. De resterende 7 % av partiklene gikk enten tapt før eller under FTIR-analysen. Disse ble ikke inkludert i antall talte mikroplastpartikler, da det er ukjent om partiklene var av plast eller ikke. Nedre deteksjonsgrense for analysen er 50 µm og partikler større enn 5 mm ble ikke vurdert i analysene. Størrelsene på

partiklene som omtales her er da fra 50 µm (0,05 mm) til 5 mm.

Beregning av masse til hver plastpartikkel

Etter at type plastpolymer ble identifisert, ble masse beregnet ut fra kjente tettheter (g/cm³) til de ulike polymertypene og volum (cm³) av partiklene. Det ble antatt at alle fragmenter av plastfilmer hadde samme dybde, og at alle fibre hadde rund diameter og dermed samme dybde og bredde.

Analyse av mikroplast i blåskjell

Blåskjellene ble åpnet med en skalpell, bløtvevet fjernet og overført til Erlenmeyerkolber. For å løse opp bløtvevet ble 10 % KOH tilsatt til hver kolbe som ble inkubert ved 40 °C (100 rpm) i 24 timer. Påfølgende dag ble prøver filtrert på glassfiberfilter (GF/A, porestørrelse 1,6 µm, 47 mm diameter). Filtrene ble deretter behandlet som beskrevet for avløpsvann (se tekst ovenfor) med hensyn til blind, blank, visuell analyse, FTIR-spektroskopi og beregning av masse. En fiber ble påvist i to av tre blindprøver, og alle påviste fibre ble karakterisert som bomull, og ingen korreksjoner ble gjort i videre analyser.

For ytterligere beskrivelse av metode se (van Bavel mfl. 2022).

Resultater og diskusjon

Avløpsvann fra Nederland

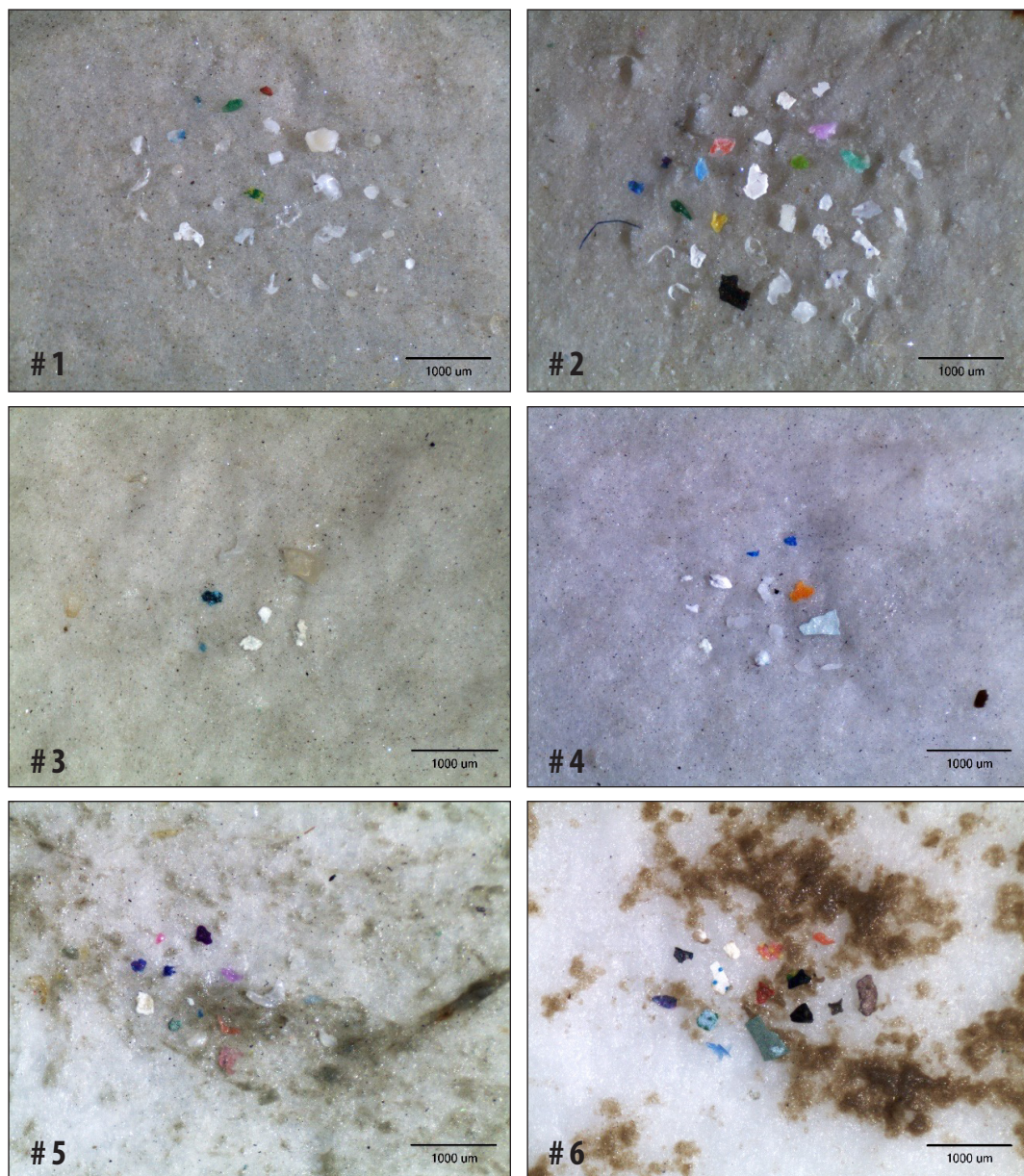
Konsentrasjoner av mikroplast fra 50 µm (0,05 mm) til 5 mm ble bestemt i avløpsvannprøvene. De målte konsentrasjonene og morfologien til mikroplastpartiklene i avløpsvann fra Nederland er gitt i **Tabell 1**. I de 10 avløpsvannprøvene varierte konsentrasjonene av mikroplast fra 7 til 37 partikler pr. liter avløpsvann. Fragmenter var den dominerende morfologien, og utgjorde fra 96 % til 100 % av plastpartiklene som ble identifisert, mens fibre utgjorde 0-4 %. Det ble ikke påvist noen sirkulære partikler. Lengden på mikroplasten varierte fra 50 µm til 2416 µm (data ikke vist). Som vist i **Figur 1** var det store variasjoner i farger og typer fragmenter i avløpsprøvene.

Typer plastpolymerer og antall som ble påvist i de Nederlandske avløpsvannprøvene er vist i Tabell 2.

Polypropylen (PP) ble påvist hyppigst, og utgjorde 7 til 45 % av mikroplastpartiklene. Polyetylen (PE) ble påvist nest hyppigst, i 6 av 10

Tabell 1. Antall plastpartikler med tilhørende morfologi i avløpsvann fra Nederlandsk bedrift.

Avløpsvann nr.	Volum avløpsvann analysert (L)	Antall plastpartikler karakterisert ved FTIR			
		Antall fibre	Antall fragmenter	Totalt antall partikler	Antall mikroplast pr. L avløpsvann
1	2,7	0	28	28	10
2	2,5	4	88	92	37
3	2,8	0	18	18	7
4	2,7	0	24	24	9
5	2,5	2	51	53	21
6	2,8	0	39	39	14
7	2,8	0	46	46	16
8	2,7	0	73	73	27
9	2,5	0	33	33	13
10	2,8	0	36	36	13
Gjennomsnitt		1	44	44	17
Standardavvik		1	22	23	9



Figur 1. Eksempler på mikroplastpartikler fra fraksjon 125-250 µm i de Nederlandske avløpsprøvene (#1-#6).

prøver, og utgjorde 0 til 29 % av mikroplastpartiklene. Noen av mikroplastpartikler var av en syntetisk polymertype som var vanskelig å spesifisere. Disse partiklene hadde en flassende form og var ikke elastiske som polyetylen eller polypropylen og ble kategorisert som «antatt maling/lakk». Andelen av disse partiklene varierte fra 22 % til 47 % i 9 av prøvene. I prøve nr. 7

var 74 % av partiklene «antatt maling». De resterende plastpolymertypene utgjorde under 6 % av de påviste polymererne. Ekspandert polystyren (isopor), ble påvist i noen få prøver, og i lave konsentrasjoner.

Tettheten til polymertypene varierte fra 0,86 til 1,53 g/cm³. Ved estimering av masse ble tettheten av «antatt maling/lakk» satt til 1,2 g/cm³

Tabell 2. Antall mikroplastpartikler av hver polymertype påvist i avløpsvann fra Nederland. PP, polypropylen; PE, polyetylen; ABS, akrylnitril butadien styren; PMMA, polymetymetakrylat; EVOH, etylenvinylalkohol; EVA, etylen vinylacetat; EPS, ekspandert polystyren; PUR, polyuretan; EPDM, etylen propylen diene monomer og CA, cellulose acetat. Antatt maling/lakk inkluderer akrylmaling, polyuretanlakk og andre partikler.

Avløpsvann nr.	PP	PE	AKryl	ABS	PMMA	EVOH	EVA	EPS	Polyester	PUR	EPDM/silikon	Viskose / CA	Antatt maling/lakk*
1	12	4	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	10
2	41	14	2	0	0	0	0	1	3	0	1	1	29
3	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5
4	6	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10
5	19	3	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	27
6	6	7	0	2	0	0	1	1	0	0	0	2	20
7	3	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	39
8	15	6	0	1	4	3	0	0	0	0	0	0	44
9	9	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	21
10	11	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	22

*Karakteristisk morfologi for partikler av maling og lakk med størrelse mindre enn 5 mm.

som et gjennomsnitt av ulike malingstyper. Masse mikroplast varierte fra 8 µg til 313 µg mikroplast per liter avløpsvann (Tabell 3). Tetthet til de ulike polymererne ble hentet fra [Density of Polymers \(by density\) – scipoly.com](https://www.scipoly.com) og [Polymer Density \(polymerdatabase.com\)](https://polymerdatabase.com).

Tabell 3. Beregnet masse mikroplast (µg) pr. liter avløpsvann.

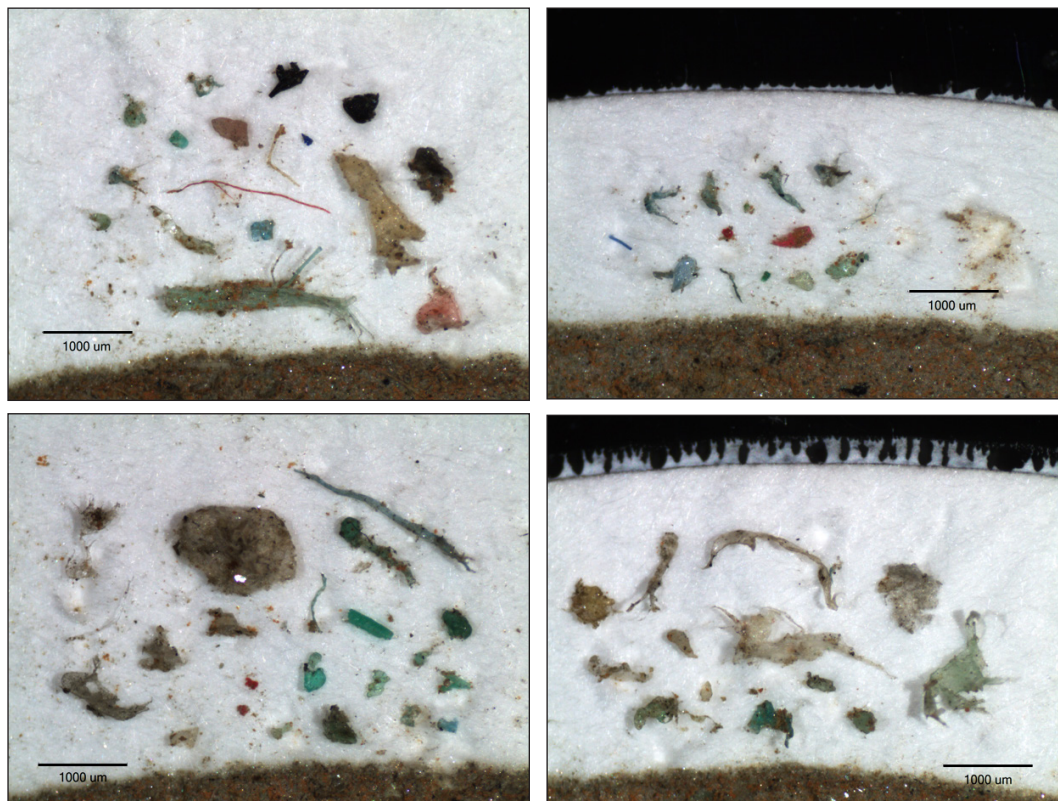
Avløpsvann nr.	Beregnet masse (µg) pr. L avløpsvann
1	18
2	97
3	313
4	8
5	32
6	286
7	123
8	43
9	14
10	15
Gjennomsnitt	95
Standardavvik	115

Avløpsvann fra Norge

Konsentrasjoner og morfologi av mikroplast funnet i avløpsvann fra Norsk bedrift er gitt i **Tabell 4**. Prøven ble tatt etter at avløpsvannet hadde passert sandfilteret. Kun en prøve ble analysert. Konsentrasjoner av mikroplast i denne prøven var 51 pr. liter, og fragmenter var den dominerende morfologien. Det ble ikke påvist noen sirkulære partikler. Som vist i **Figur 2** var det stor variasjon i farger og typer fragmenter i avløpsprøvene. Polypropylen (50 %), polyetylen (36 %) og ekspandert polystyren (7 %, «isopor») var de dominerende plastpolymerene (**Tabell 5**). Fraksjonen «maling/lakk» utgjorde også en andel av partiklene som ble påvist (6 %). Dessverre ble kun en prøve av avløpsvann analysert i dette studiet, da det meste av

Tabell 4. Antall plastpartikler med tilhørende morfologi i avløpsvann fra Norsk bedrift etter sandfilter.

Etter sandfilter	Volum avløpsvann analysert (L)	Antall plastpartikler karakterisert ved FTIR			
		Antall fibre	Antall fragmenter	Total Antall partikler	Antall mikroplast pr. L avløpsvann
	2,4	12	111	123	51



Figur 2. Eksempler på mikroplastpartikler fra den Norske avløpsprøven (50 µm-5 mm).

Tabell 5. Antall mikroplastpartikler av hver polymertype påvist i avløpsvann fra Nederland. PP, polypropylen; PE, polyetylen; PMMA, polymetylmetakrylat; EPS, ekspandert polystyren. Antatt maling/lakk inkluderer akrylmaling, polyuretanlakk og andre partikler.

Etter sandfilter	PP	PE	Akryl	PMMA	EPS	Polyester	Antatt maling/lakk
	62	44	1	1	8	1	6

*Karakteristisk morfologi for partikler av maling og lakk med størrelse mindre enn 5 mm.

vannet som ble samlet inn gikk til et større forsøk, hvor sandfilter ble testet ut som rensemetode for avløpsvann fra bedriften (Umar, Singdahl-Larsen, og Ranneklev 2023). En avløpsvannprøve (etter sandfilter) fra dette forsøket ble analysert på samme måte som

beskrevet ovenfor. I denne prøven var konsentrasjonen av mikroplast 21 partikler pr. liter avløpsvann. Polypropylen, polyetylen og ekspandert polystyren var de dominerende plastpolymerene i denne vannprøven.

Tabell 6. Beregnet masse mikroplast (μg) pr. liter avløpsvann.

Etter sandfilter	Beregnet masse (μg) pr. L avløpsvann
	316

Tabell 7. Totalt antall plastpartikler og viskose funnet i 10 blåskjell fra hver stasjon. Morfologi til plastpartiklene og polymererene som ble funnet i blåskjellene er beskrevet.

Lokasjon	Polypropylen	Viskose	Antall individer hvor mikroplast/viskose ble påvist	Total
Stasjon 1 (0,2 km fra bekk)	0	0	0	0
Stasjon 2 (1,2 km fra bekk)	0	2 (fibre)	2	2
Stasjon 3 (3,2 km fra bekk)	2 (fragmenter)	3 (fibre)	3	5

Masse mikroplast per liter avløpsvann var 316 μg (Tabell 6). Tetthet til de ulike polymererene ble hentet fra [Density of Polymers \(by density\) – scipoly.com](https://www.scipoly.com) og [Polymer Density \(polymerdatabase.com\)](https://polymerdatabase.com).

Konsentrasjoner av mikroplast i blåskjell

Konsentrasjoner av mikroplast i blåskjell ble målt i tre stasjoner med økende avstand fra bekk hvor avløpsvann fra sandfilter ledes. Resultatene er vist i Tabell 7. **Totalt antall plastpartikler og viskose funnet i 10 blåskjell fra hver stasjon. Morfologi til plastpartiklene og polymererene som ble funnet i blåskjellene er beskrevet..**

I blåskjell fra Stasjon 1, nærmest den Norske bedriften, ble det ikke påvist plastpartikler i blåskjellene. Ett fragment av polypropylen ble påvist i to blåskjell ved utløp mot åpen sjø, Stasjon 3. Ved Stasjonene 2 og 3 ble det påvist fibre av viskose i blåskjellene.

Oppsummering

Det er bekymring knyttet til effekter av mikroplast på vannmiljøet, både mikroplast i seg selv, samt tilsetningsstoffene (additivene) i platen (Guzzetti mfl. 2018; Xu mfl. 2020; Ahmed mfl. 2023), og kilder til mikroplast i vannmiljøet bør stoppes.

Mikroplast ble påvist i avløpsvann fra to bedrifter som gjenvinner plast mekanisk. Konsentrasjonene av mikroplast varierte fra 7-51 partikler pr. liter avløpsvann. Masse mikroplast i avløpsvannene varierte fra 8-316 μg pr. liter. I

begge avløpsvannene var det høyest konsentrasjoner av plastpolymerene polypropylen og polyetylen, som også er de dominerende plastmaterialene som gjenvinnes i bedriftene (Hunink 2021). I anlegget som gjenvinner plast fra fiskerinæringen ble isopor påvist i avløpsvannet. Isopor som ble påvist kan muligens ha sitt opphav fra gjenvinning av flyteringer fra oppdrettsnæringen, da de har isopor som innmat. Den norske bedriften benyttet sandfilter for fjerning av plast, men resultater viste at sandfilteret ikke var gunstig utformet, men sandfilter i seg selv vil kunne fjerne mikroplast i avløpsvann fra bedriften (Umar 2023). Vannforbruk i bedriftene måles ikke, og utslipp av masse (kg) mikroplast pr. år kunne ikke beregnes.

Konsentrasjonene av mikroplast som ble målt i dette studiet, ble sammenlignet med funn fra litteraturen fra anlegg som gjenvinner plast. Dette byr på flere utfordringer, da det i dag ikke er utviklet standardiserte prøvetakningsmetoder og analysemetoder for mikroplast i avløpsvann. Faktorer som prøvetakingsutstyr, volum avløpsvann som prøvetas, opparbeiding av prøvene i laboratorium (f.eks. bruk av kjemikalier for å fjerne organisk materiale), instrumentering for identifikasjon av plastpolymerene og kvalitetskontroll under prøvetakning og i laboratoriet vil påvirke resultatene. For ytterligere informasjon om dette se (Lusher mfl. 2021; Sol mfl. 2023). Resultater kan derfor ikke sammenlignes direkte med hverandre.

I en Kinesisk bedrift som gjenvinner PET-flasker varierte konsentrasjonene fra 967 til 24 798 mikroplastpartikler pr. liter avløpsvann (Guo mfl. 2022). I et nytt plastgjenvinnings-anlegg i Storbritannia som mottar 22 680 tonn blandet plastavfall årlig, ble konsentrasjoner av mikroplast i avløpsvannet målt i konsentrasjoner som varierte fra 5×10^8 til 10×10^9 pr. m^3 (Brown mfl. 2023). I et Koreansk anlegg som i hovedsak mottar PET-avfall ble 6×10^5 pr mikroplastpartikler per m^3 avløpsvann påvist (Duong mfl. 2023). Fra tre gjenvinnings-anlegg i Vietnam varierte mikroplast konsentrasjonene i avløpsvannet fra 9×10^3 til 2×10^8 per m^3 (Suzuki mfl. 2022). Masse mikroplast per liter avløpsvann varierte fra 8-316 μg i våre prøver. Masse mikroplast i avløpsvannet i de utenlandske bedriftene var betydelig større enn våre målinger, og i størrelsesorden mg pr. liter avløpsvann. Det nye plastgjenvinningsanlegget i Storbritannia hadde om lag 4.3×10^3 mg mikroplast per liter avløpsvann (Brown mfl. 2023). I anlegget fra Storbritannia ble volumstrømmer av avløpsvann målt, og de hadde utslipp på 4-1 366 tonn mikroplast pr. år etter rensing (Brown mfl. 2023). Inkluderes det som fjernes i rensesprosessen, utgjorde tapet 13 % av plastavfall som ble tatt imot årlig til anlegget. I de tre Vietnamesiske plastgjenvinningsanleggene var utslippene av mikroplast fra 0,014 tonn per år til 5,8 tonn per år (Suzuki mfl. 2022). Den mekaniske nedmalingsprosessen i gjenvinningsanlegget antas å være største kilde til mikroplast i avløpsvannet (Stapleton mfl. 2023).

Konsentrasjoner som ble målt i avløpsvann fra våre to anlegg som gjenvinner plast var betydelig lavere enn det som ble funnet i litteraturen (Guo mfl. 2022; Suzuki mfl. 2022; Brown mfl. 2023; Duong mfl. 2023). Som beskrevet i teksten overfor er det utfordrende å sammenligne resultater da det mangler standardiserte metoder fra prøvetakning av avløpsvann til analyse av mikroplast, og ikke minst hvordan resultater rapporteres. Fagfeltet mikroplast er i stor utvikling og instrumentering og analysemetoder forbedres stadig. Resultatet fra anlegget i Storbritannia anses å være toppmoderne og designet

for å håndtere 22 680 tonn blandet plastavfall årlig (Brown mfl. 2023), og er nok best egnet for vurdering i forhold til hvordan en Norske gjenvinningsbedrift for plast ville være utformet. Analysene av mikroplast ble her utført med en metode som avviker betydelig fra vår. Her ble bla. ikke forfiltrering benyttet, H_2O_2 ble benyttet som oksidasjonsmiddel framfor KOH for å fjerne organisk materiale i avløpsvannet. Plastpartiklene ble farget med nilblått før analyse, og FT-IR ble ikke benyttet i studiet fra Storbritannia for å påvise plastpolymerene. Analysemetoden deres påviser mikroplastpartikler ned til $1,6 \mu m$, i motsetning til vår metode hvor nedre grense for påvisning var $50 \mu m$. I avløpsvannet fra Storbritannia var 93-96 % av plastpartiklene under $10 \mu m$. Med analysemetoden som vi benyttet kunne ikke denne mindre fraksjonen påvises. Informasjon om konsentrasjon av plastpartikler mindre enn $50 \mu m$ er da manglede i vårt studium.

I fem av 30 blåskjell ble det påvist fibre av viskose og fragmenter av polypropylen (to fragmenter i to av ti blåskjell fra stasjon 3). I stasjon 1 nærmest utløpet av bekk som mottar avløpsvann fra gjenvinningsanlegget ble det ikke påvist mikroplast. Resultater fra blåskjell langs Norges kyst som er analysert på tilsvarende måte som blåskjell i dette studiet viser tilsvarende resultater, i gjennomsnitt under en mikroplastpartikkel pr. individ (van Bavel mfl. 2022). Plastpartiklene i blåskjellene fra vårt studium kan være fra ulike kilder, og vi kan ikke si om de har sitt opphav fra den Norske bedriften som gjenvinner plast.

Konklusjon

Avløpsvann fra bedrifter som gjenvinner plast kan være en betydelig kilde til mikroplast i vannmiljøet. I dag er det manglende kunnskap om utslipp av mikroplast fra bedrifter som gjenvinner plast, og mer kunnskap bør hentes inn. Konsentrasjonsmålinger og masseberegninger av mikroplast fra ulike avløpsvann kan ikke sammenlignes direkte med hverandre, da standardiserte metoder fra prøvetakning fram til analyse av mikroplast mangler. Ved utslipp av

mikroplast til vannmiljøet bør rensetiltak vurderes.

Takk

Arbeidet ble finansiert av Forskningsrådsprosjektet PacKnoPlast (299326) og NIVAs grunnbevilgningsmidler.

Referanser

Ahmed, A.S. Shafuddin, Md Masum Billah, Mir Mohammad Ali, Md Khurshid Alam Bhuiyan, Laodong Guo, Mohammad Mohinuzzaman, M. Belal Hossain, mfl. 2023. «Microplastics in Aquatic Environments: A Comprehensive Review of Toxicity, Removal, and Remediation Strategies». *Science of The Total Environment* 876 (juni): 162414. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162414>.

Bavel, Bert van, Amy Lusher, Chiara Consolaro, Sverre Hjelset, Cecilie Singdahl-Larsen, Nina Buenaventura, Laura Röhler, mfl. 2022. «Microplastics in Norwegian coastal areas, rivers, lakes and air (MIKRONOR1)». NIVA-rapport 7811, 81 s.

Boucher, J., og D. Friot. 2017. *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. IUCN International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>.

Brown, Erina, Anna MacDonald, Steve Allen, og Deonie Allen. 2023. «The Potential for a Plastic Recycling Facility to Release Microplastic Pollution and Possible Filtration Remediation Effectiveness». *Journal of Hazardous Materials Advances* 10 (mai): 100309. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100309>.

Duong, Thi Huyen, Sang-Yeob Kim, Sang-Yeop Chung, Heejong Son, Seungdae Oh, og Sung Kyu Maeng. 2023. «Biomass Formation and Organic Carbon Migration Potential of Microplastics from a PET Recycling Plant: Implication of Biostability». *Journal of Hazardous Materials* 455 (august): 131645. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131645>.

Guo, Yuwen, Xinyue Xia, Jiuli Ruan, Yibo Wang, Jinyu Zhang, Gerald A. LeBlanc, og Lihui An. 2022. «Ignored Microplastic Sources from Plastic Bottle Recycling». *Science of The Total Environment* 838 (september): 156038. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156038>.

Guzzetti, Eleonora, Antoni Sureda, Silvia Tejada, og Caterina Faggio. 2018. «Microplastic in Marine Organism: Environmental and Toxicological Effects». *Environmental Toxicology and Pharmacology* 64 (desember): 164–71. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>.

Hunink, P. 2021. *Microplastic Leakage during Mechanical Plastic Recycling*. Master thesis. Radboud University

Nijmegen, Science, Management & Innovation master specialisation Faculty of Science, Nederland.

Kallenbach, Emilie M. F., Tor Erik Eriksen, Rachel R. Hurley, Dean Jacobsen, Cecilie Singdahl-Larsen, og Nikolai Friberg. 2022. «Plastic Recycling Plant as a Point Source of Microplastics to Sediment and Macroinvertebrates in a Remote Stream». *Microplastics and Nanoplastics* 2 (1): 26. <https://doi.org/10.1186/s43591-022-00045-z>.

Lusher, Amy L., Rachel Hurley, Hans Peter H. Arp, Andy M. Booth, Inger Lise N. Bråte, Geir W. Gabrielsen, Alessio Gomiero, mfl. 2021. «Moving Forward in Microplastic Research: A Norwegian Perspective». *Environment International* 157 (desember): 106794. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106794>.

Ragaert, Kim, Laurens Delva, og Kevin Van Geem. 2017. «Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste». *Waste Management* 69 (november): 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>.

Sol, Daniel, Carmen Solís-Balbín, Amanda Laca, Adriana Laca, og Mario Díaz. 2023. «A Standard Analytical Approach and Establishing Criteria for Microplastic Concentrations in Wastewater, Drinking Water and Tap Water». *Science of The Total Environment* 899 (november): 165356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165356>.

Stapleton, Michael J., Ashley J. Ansari, Aziz Ahmed, og Faisal I. Hai. 2023. «Evaluating the Generation of Microplastics from an Unlikely Source: The Unintentional Consequence of the Current Plastic Recycling Process». *Science of The Total Environment* 902 (desember): 166090. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166090>.

Sundt, P., P.E. Schulze, og F. Syversen. 2014. «Sources of microplastic-pollution to the marine environment». *Rapport fra Miljødirektoratet, M-321, 108 s.*

Suzuki, Go, Natsuyo Uchida, Le Huu Tuyen, Kosuke Tanaka, Hidenori Matsukami, Tatsuya Kunisue, Shin Takahashi, Pham Hung Viet, Hidetoshi Kuramochi, og Masahiro Osako. 2022. «Mechanical Recycling of Plastic Waste as a Point Source of Microplastic Pollution». *Environmental Pollution* 303 (juni): 119114. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119114>.

Umar, Muhammad, Cecilie Singdahl-Larsen, og Sissel Brit Rannekleiv. 2023. «Microplastics Removal from a Plastic Recycling Industrial Wastewater Using Sand Filtration». *Water* 15 (5): 896. <https://doi.org/10.3390/w15050896>.

Xu, Shen, Jie Ma, Rong Ji, Ke Pan, og Ai-Jun Miao. 2020. «Microplastics in Aquatic Environments: Occurrence, Accumulation, and Biological Effects». *Science of The Total Environment* 703 (februar): 134699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>.