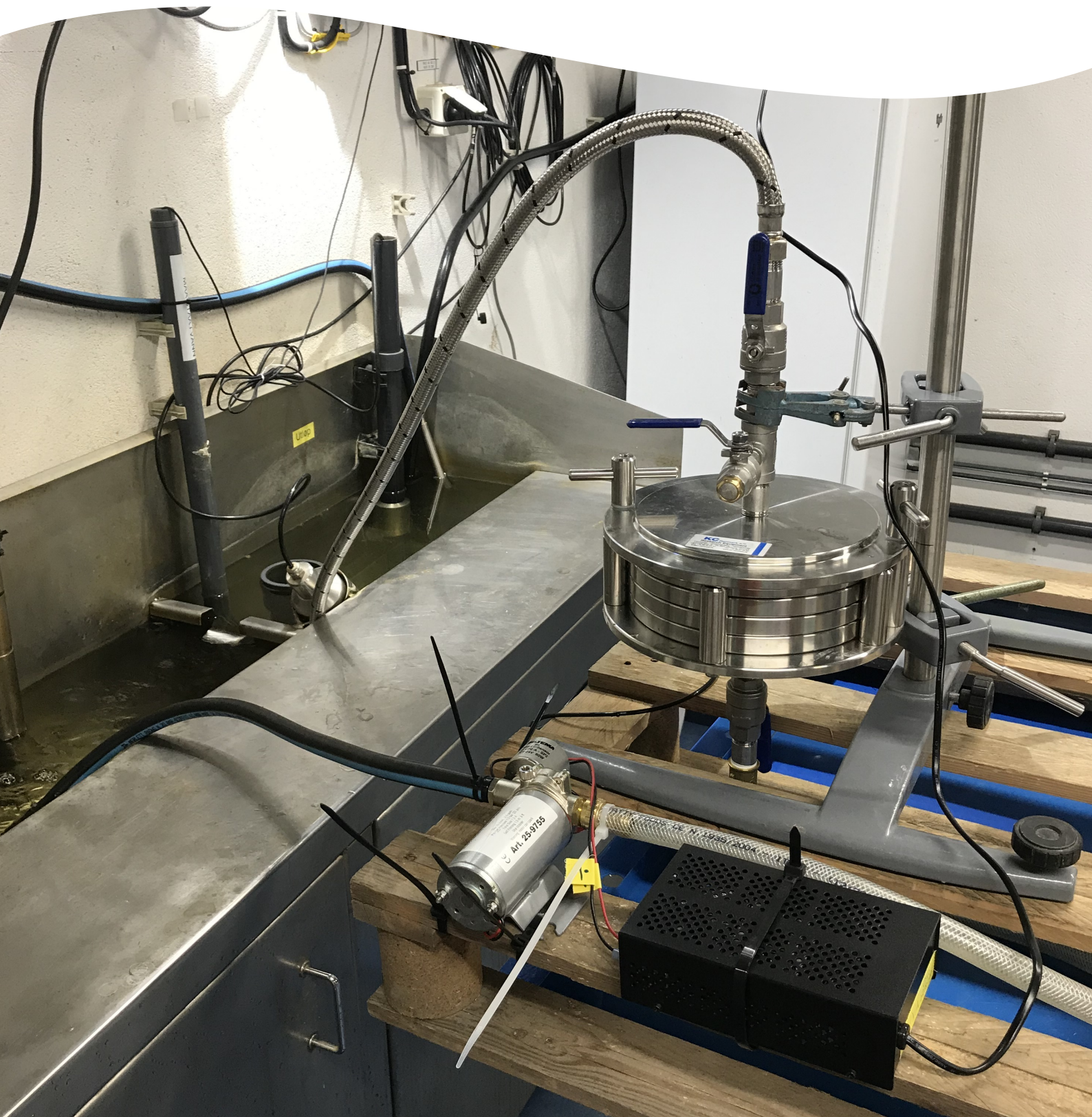


# Mikroplastpartikler inn til og ut fra Bekkelaget renseanlegg gjennom ett år



# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Sør**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Vest**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Danmark**

Njalsgade 76, 4. sal  
2300 København S, Danmark  
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: [www.niva.no](http://www.niva.no)

Tittel Mikroplastpartikler inn til og ut fra Bekkelaget renseanlegg gjennom ett år	Løpenummer 7541-2020	Dato 14.10.2020
Forfatter(e) Christian Vogelsang, Trond Kristiansen, Cecilie Singdahl-Larsen, Nina Buenaventura, Svetlana Pakhomova, David Pettersen Eidsvoll, André Staalstrøm og Bjørnar André Beylich	Fagområde Vann og avløp	Distribusjon Fritt
	Geografisk område Oslo	Sider 158

Oppdragsgiver(e) Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune	Oppdragsreferanse Helge Eliassen 111/2018
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 180320

Sammendrag På oppdrag for Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune er det gjennomført en detaljert kartlegging av partikler av mikroplast i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under ulike forhold i løpet av et helt år, og hvor det blir av disse partiklene. Det er også gjort en første kartlegging av den videre spredningen av mikroplast i fjorden ved utslipp av rensset avløpsvann på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget.
---

Fire emneord 1. Mikroplast 2. Kommunalt avløpsvann 3. Massebalanse 4. Renseanlegg	Four keywords 1. Microplastics 2. Municipal wastewater 3. Mass balance 4. Wastewater treatment plant
---	--

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

*Christian Vogelsang*  
Prosjektleder

*Marianne Olsen*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7276-5  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Mikroplastpartikler inn til og ut fra Bekkelaget  
renseanlegg gjennom ett år**

# Forord

20. mars 2018 møttes VAV, BEVAS og NIVA på Bekkelaget renseanlegg for å diskutere et mulig fremtidig prosjekt knyttet til kartlegging av mikroplast inn og ut fra Bekkelaget renseanlegg. Et første tilbud ble sendt VAV 1. juni 2018, men på grunn av prosjektets omfang måtte prosjektet ut på anbud. 13. september 2018 ble et nytt tilbud sendt inn, og etter noen mindre revideringer ble et endelig tilbud sendt inn 5. oktober 2018 og deretter akseptert. VAV, BEVAS og NIVA har hatt flere møter underveis i prosjektet med diskusjon av resultater og videre fremdriftsplan. Det har vært et krevende prosjekt hvor det har vært behov for å videreutvikle metoder parallelt med gjennomføringen av prosjektet. Dette har vært metoder for prøvetaking og størrelsesfraksjonering av mikroplast fra store prøvevolum, samt metode for å optimalisere fjerningen av cellulose uten at mikroplastpartiklene blir påvirket. Dette utviklingsarbeidet har ikke blitt belastet prosjektet, men har gjort at gjennomføringen har tatt lenger tid enn først planlagt. Det var opprinnelig tenkt at mikroplastpartiklene i den minste partikkelstørrelsesfraksjonen (20-300 µm) skulle vært bestemt med et på det aktuelle tidspunktet nytt og mer automatisert µFT-IR-instrument. Dette viste seg ikke mulig å få gjennomført i løpet av prosjektperioden på grunn av instrumentsvikt utenfor NIVAs kontroll, men utvalgte prøver er analysert med pyrolyse-GC/MS hos Eurofins avdeling Bergen.

Følgende har vært involvert i prosjektet:

#### *Prosjektleder*

- Christian Vogelsang

#### *Prøvetaking*

- Christian Vogelsang (hovedansvarlig for gjennomføring)
- Erik & Tom hos Utengen og Kjell hos Norsk Gjenvinning (ristgods- og sandkjøring)
- Hilde, Tommy, Jessica & Morten hos BEVAS (innløp, utløp, slam)
- Bert van Bavel (koordinering opp mot aktivitetene på NIVA)

#### *Prøveopparbeiding*

- Christian Vogelsang (hovedansvarlig for gjennomføring)
- Nina Buenaventura og Digambari (Divya) Latcheman hos NIVA (fjerning organisk stoff)

#### *Partikkelkarakterisering*

- Christian Vogelsang (hovedansvarlig for gjennomføring)
- Cecilie Singdahl-Larsen og Nina Buenaventura hos NIVA (identifisering, fysisk karakterisering)

#### *FT-IR-analyse*

- Cecilie Singdahl-Larsen, Nina Buenaventura, Svetlana Pakhomova og David Pettersen Eidsvoll hos NIVA (ATR FT-IR, MicroNIR/Cary ATR FT-IR)

#### *Modellering*

- Trond Kristiansen og André Staalstrøm hos NIVA

#### *Rapportering*

- Christian Vogelsang (hovedforfatter), Trond Kristiansen (fjordmodelleringsdelen)

#### *Kvalitetssikring*

- Bert van Bavel og Marianne Olsen hos NIVA
- Rachel Hurley og Amy Lusher hos NIVA (tips og diskusjoner underveis)

Vi takker Oslo Vann og Avløpsetaten (Oslo VAV) ved Helge Eliassen for godt og hyggelig samarbeid gjennom hele prosjektperioden.

Oslo, 14.10.2020  
Christian Vogelsang

---



# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>7</b>
<b>Summary</b> .....	<b>13</b>
<b>Forkortelser</b> .....	<b>19</b>
<b>1 Målsettingen med studien</b> .....	<b>23</b>
<b>2 Hvordan studien ble gjennomført</b> .....	<b>24</b>
2.1 Det store bildet .....	24
2.2 Prøvetakingen og partikkelstørrelsesfraksjoneringen ved Bekkelaget renseanlegg.....	25
2.2.1 Prøvetaking av innløpsvann .....	28
2.2.2 Prøvetaking av partikler >300 µm i utløpsvann .....	29
2.2.3 Prøvetaking av partikler i størrelsesområdet 20-300 µm i utløpsvann.....	30
2.2.4 Prøvetaking av flytende partikler i utgående rensset vann .....	30
2.2.5 Prøvetaking av ristgods og sand .....	32
2.2.6 Prøvetaking av materiale fra fettfanget .....	34
2.2.7 Prøvetaking av innløpet til forsedimenteringen .....	35
2.2.8 Prøvetaking av slam.....	36
2.3 Modellering av spredning av mikroplastpartikler >300 µm .....	36
2.3.1 Beregning av innlagingsdypet .....	36
2.3.2 Simulering av drift og utsynking av mikroplastpartikler .....	37
2.4 Prøvetaking og partikkelstørrelsesfraksjonering av sedimentprøver fra Indre Oslofjord .....	38
2.4.1 Uttak av toppsedimentprøver .....	38
2.4.2 Størrelsesfraksjonering.....	39
2.5 Bestemmelse av tørrstoffinnhold og innhold av organisk stoff .....	39
2.6 Klargjøring av prøver for karakterisering og analyse av mikroplast .....	39
2.6.1 Frysetørring og utveiling av delprøver .....	39
2.6.2 Fjerning av organisk stoff med H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> og/eller H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	40
2.6.3 Tetthetsfraksjonering .....	42
2.6.4 Filtrering .....	42
2.6.5 Kontroll av hvor mye av MPP i uttatt vannprøve som blir gjenfunnet på filteret .....	42
2.7 Identifisering og fysisk karakterisering av presumptive mikroplastpartikler .....	44
2.7.1 Identifisering og kategorisering av presumptive mikroplastpartikler (p-MPP) .....	44
2.7.2 Måling av partiklenes størrelse .....	46
2.8 Verifisering av syntetiske polymere med FT-IR .....	46
2.9 Analyse av syntetiske polymere med pyrolyse-GC/MS .....	46
2.10 Hvordan beregningene er gjort .....	47
2.10.1 Beregning av antall MPP per m <sup>3</sup> , per døgn og per kg SS.....	47
2.10.2 Beregninger av partikkelvolum .....	48

2.10.3	Beregninger av vekten til MPP .....	51
2.10.4	Beregninger av tilførte mengder mikroplast til Bekkelaget renseanlegg.....	52
<b>3</b>	<b>Resultater og diskusjon.....</b>	<b>54</b>
3.1	Vurderinger av metodene som er brukt.....	54
3.1.1	Representativ prøvetaking er en utfordring.....	54
3.1.2	De fleste p-MPP inneholdt plastpolymere .....	59
3.1.3	Pyrolyse-GC/MS-analysen med kun indikativ delvis konfirmasjon av FT-IR-resultatene .....	62
3.1.4	Gjennomsnittsvolum til de enkelte partikkeltypene.....	64
3.1.5	Gjennomsnittsvekt til de enkelte partikkeltypene .....	65
3.2	Mikroplast i innløpet til Bekkelaget renseanlegg .....	67
3.2.1	Tilførsler av mikroplast under tørrvær .....	67
3.2.2	Tilførsler av mikroplast under normale vær- og driftsforhold .....	74
3.2.3	Tilførsler under kraftig nedbør .....	78
3.2.4	Tilførsler ved tømning av Midgardsormen.....	88
3.2.5	Estimert samlet tilførsel av mikroplast over året.....	91
3.2.6	Konsentrasjonen av polymere i 20-300 µm-fraksjonen målt med pyrolyse-GC/MS.....	95
3.2.7	Sammenligning med rapporterte tall for innløpet til andre avløpsrenseanlegg .....	96
3.3	Utslipp av mikroplast til fjorden via rensed avløpsvann .....	100
3.3.1	Utslipp under fullverdig avløpsvannbehandling.....	100
3.3.2	Utslipp under omstilt avløpsvannbehandling og under driftsforstyrrelser .....	101
3.3.3	Estimert årlig utslipp til fjorden via rensed avløpsvann og via overløp .....	105
3.3.4	Estimerte utslipp av polymere i 20-300 µm-fraksjonen basert på pyrolyse-GC/MS.....	107
3.3.5	Sammenligning med rapporterte tall for utslippet fra andre avløpsrenseanlegg .....	108
3.4	Samlet renseeffekt over anlegget.....	111
3.4.1	Renseeffekt for MPP i størrelsesområdet 300-5000 µm.....	111
3.4.2	Renseeffekt for MPP i størrelsesområdet 20-300 µm.....	111
3.4.3	Sammenligning med rapporterte rensegrader ved andre renseanlegg.....	113
3.5	Uttak av mikroplast via mekanisk forbehandling .....	114
3.5.1	Uttak via ristgods.....	114
3.5.2	Uttak via sand fra sandfang .....	115
3.6	Uttak av mikroplast via slam.....	117
3.6.2	Sammenligning med rapporterte mengder MPP i slam ved andre renseanlegg .....	120
3.7	Foreløpig massebalanse over Bekkelaget renseanlegg .....	122
3.7.1	Massebalanse for fibre – tilsynelatende mer inn enn ut .....	123
3.7.2	Massebalanse for fibernøster – mer ut enn inn.....	125
3.7.3	Massebalanse for fragmenter – betydelig mer inn enn ut.....	126
3.7.4	Massebalanse for flak – en stor del ser ut til å ende i sandfanget.....	128
3.7.5	Massebalanse for dekkslitasjepartikler – tilsynelatende ender det meste i slammet .....	129
3.7.6	Massebalanse for tykke fibre, kuler og skum .....	130
3.7.7	Massebalanse for 20-300 µm-fraksjonen basert på pyrolyse-GC/MS .....	133

3.8	Spredningen av mikroplast i fjorden.....	135
3.8.1	Forventet omfang av spredningen basert på modellsimulert drift og utsynking av mikroplastpartikler .....	135
3.8.2	Observert spredning basert på prøvetaking og analyse av mikroplast i fjordsediment fra området.....	137
<b>4</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>140</b>
Vedlegg A.	Værstasjoner brukt til å vurdere betydning av nedbør for vannføringen inn til Bekkelaget renseanlegg .....	142
Vedlegg B.	Innløpsdata og nedbør under hele prøvetakingsperioden .....	143
Vedlegg C.	Polymerkategorier og polymertettheter .....	145
Vedlegg D.	Innløpsdata Bekkelaget renseanlegg.....	147
Vedlegg E.	Beskrivelse av renseanlegg, prøvetaking og analyse i tidligere refererte studier .....	148
Vedlegg F.	p-MPP i innløpet.....	152
Vedlegg G.	Vurdering av usikkerheten knyttet til bestemmelsen av partikkelvolum .....	153
Vedlegg H.	Vurdering av usikkerheten knyttet til bestemmelsen av partikkelvekt .....	156
Vedlegg I.	Samlet vurdering av angitt usikkerhet .....	158

# Sammendrag

På oppdrag for Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune er det gjennomført en detaljert kartlegging av partikler av mikroplast i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under ulike forhold i løpet av et helt år, og hvor det blir av disse partiklene. Det er også gjort en første kartlegging av den videre spredningen av mikroplast i fjorden ved utslipp av rensed avløpsvann på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget.

## Metoder

Det ble gjennomført 13 runder med prøvetaking i løpet av perioden 1.12.2018-30.11.2019. Det ble samlet inn og undersøkt ulike typer prøver (fra ulike prøvepunkter i prosessen); av innløpsvann (8-27 L), rensed utløpsvann (1,1-3,5 m<sup>3</sup>), ristgods fra grovrusten (50-217 g våtvekt), sand fra sandfanget (32-213 g våtvekt) og ferdige avvannet slam (14-36 g våtvekt). Prøvene ble fraksjonert i tre ulike partikkelstørrelser (20-300 µm, 300-1000 µm og 1-5 mm). Det viste seg viktig å benytte laurylsulfat (SDS) under størrelsesfraksjoneringen for å lette siktingen/fraksjoneringen, ikke minst for å få en effektiv utvasking av partikler fra ristgodsprøvene. Hver fraksjon ble rensed for primært å fjerne så mye som mulig av organisk materiale og spesielt cellulosefibre, som innledningsvis skapte problemer med identifiseringen av syntetiske fibre. Alle prøvene ble behandlet med 75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i 60 min etterfulgt av 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> med unntak av utslippsprøvene (kun behandling med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Fra hver av fraksjonene med de to største partikkelstørrelsene (300-1000 µm og 1-5 mm) fra hver behandlet prøve, ble antatte (presumptive) mikroplastpartikler (p-MPP) isolert fra opptil tre delprøver, og deretter kategorisert i åtte ulike partikkeltyper (fibre, fibernøster, tykke fibre, fragmenter, flak, kuler, skum og dekkslitasjepartikler) og fysisk karakterisert (størrelser i tre dimensjoner, volum og vekt). Alle p-MPP i alle utløpsprøvene, et utvalg p-MPP fra innløpsprøvene, samt et utvalg av større fragmenter/flak funnet i ristgods- og sandprøvene, ble analysert med FT-IR. Det samlede volumet av hver partikkeltype MPP i én enkeltprøve ble beregnet ut fra antallet av denne partikkeltypen i prøven og gjennomsnittsvolumet til alle partikler av denne typen isolert fra alle prøvene fra samme prøvetakingssted. Den samlede vekten av hver partikkeltype MPP i hver enkelt prøve ble bestemt ved å multiplisere det samlede volumet med det vektete snittet av egenvekten til denne typen partikkel ut fra den gjennomsnittlige polymersammensetningen. Et utvalg prøver fra den minste størrelsesfraksjonen (20-300 µm) fra hver av prøvepunktene ble analysert for hyppig forekommende plastpolymere (polyvinylklorid, polymetylmetakrylat, polyamid, polypropylen, polyetylentereftalat, polycarbonat, polyetylen og polystyren) samt for to indikatorer for dekkslitasjepartikler (polybutadien og polyisopren) med pyrolyse-GC/MS.

## Resultater og diskusjon

Konsentrasjonene av ulike partikkeltyper som ble funnet i innløpet og i rensed utslipp er kort oppsummert i **Figur 1**, mens de estimerte samlede mengdene (antall og vekt) som ble funnet i innløpet og i de ulike strømmene ut fra renseanlegget over et helt år er kort oppsummert i **Figur 2**.

### Inn til renseanlegget

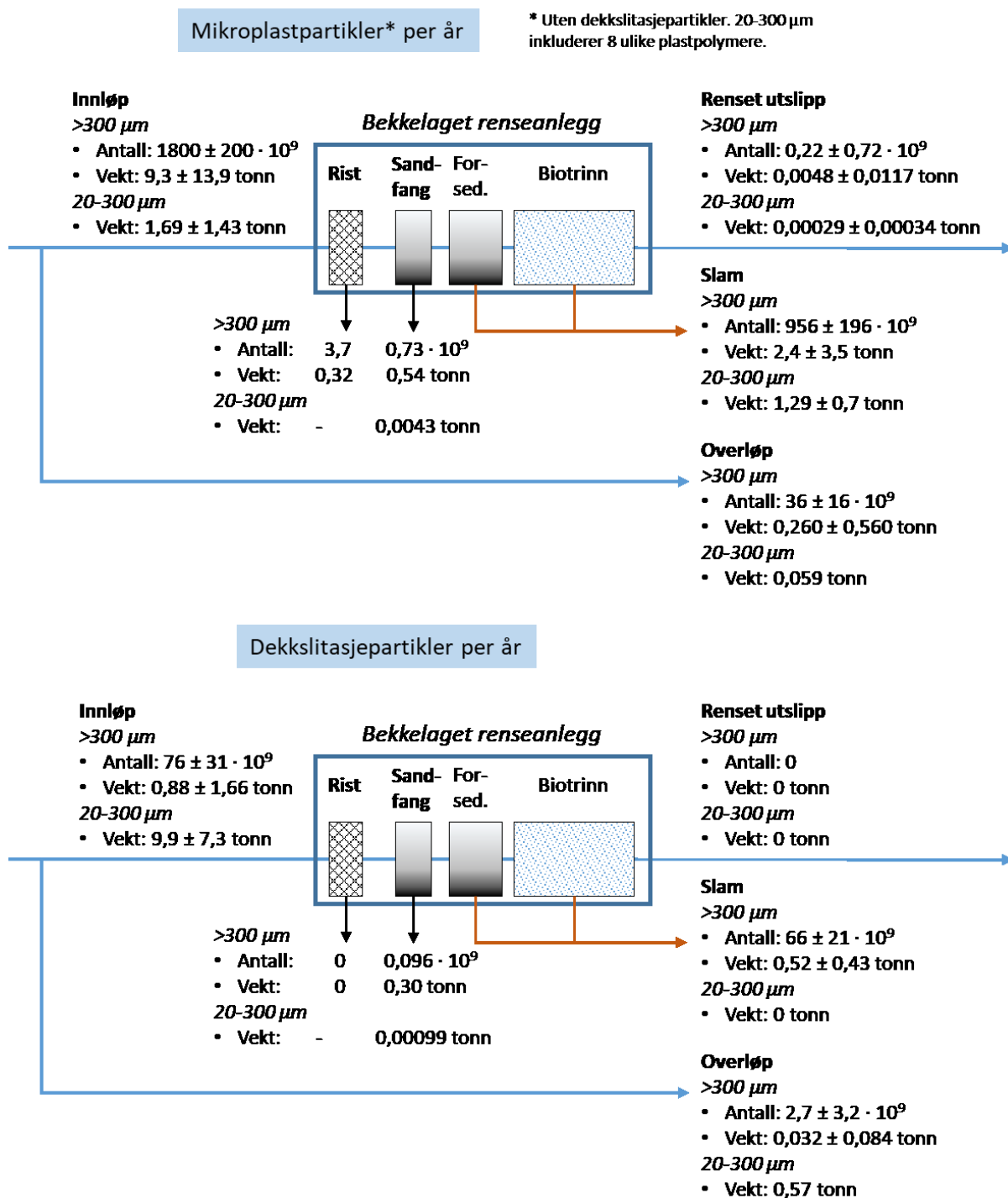
- **Den samlede årlige tilførselen av MPP<sub>>300</sub> til Bekkelaget renseanlegg** (basert på perioden 1.12.2018-30.11.2019) ble estimert til 1 800 ± 200 milliarder MPP eller 9,3 ± 13,9 tonn. Fibre utgjorde hele 84% ut fra antall, men <6% ut fra vekt. Fragmenter utgjorde ca. 8% ut fra antall, men hele 75% ut fra vekt. Den årlige tilførselen av MPP i størrelsesfraksjonen 20-300 µm (basert på 8 plastpolymere) ble estimert til 1,69 ± 1,43 tonn, ca. 20% av vektmengden MPP<sub>>300</sub>. Den årlige tilførselen av dekkslitasjepartikler ble estimert til 0,88 ± 1,66 tonn for størrelsesfraksjonen >300 µm, mens den ble estimert til hele 9,9 ± 7,3 tonn for størrelsesfraksjonen 20-300 µm (ca. 11x høyere).



- **Under tørrvær** ble det estimert å komme  $45 \pm 2$  MPP/L ( $138 \pm 49$   $\mu\text{g}$  MPP/L) eller  $5,9 \pm 0,3$  milliarder MPP/døgn ( $17,2 \pm 6,4$  kg MPP/døgn) inn til renseanlegget. Fordelt per innbygger utgjør dette i størrelsesorden 6 900 MPP/døgn eller 15,2 mg MPP/døgn. Mye av industrien og servicebedriftene i nedslagsfeltet til Bekkelaget renseanlegg ligger i Groruddalen. Bidraget fra aktivitetene her kan utgjøre så mye som ca. 60% av det totale antallet MPP inn til renseanlegget under tørrvær eller ca. 80% av den samlede vekten av MPP. Det er spesielt bidraget av MPP-fragmenter som bidrar til den store vektandelen fra Groruddalen, da hele 91 vekt% av alle MPP-fragmentene er estimert å komme fra disse aktivitetene. Fibre utgjør en betydelig andel av bidraget til det totale antallet MPP fra industrien. Større vaskerier i området kan være en hovedkilde til disse.
- **Under normale vær- og driftsforhold** dominerte tilførselene av fibre i antall (87% av alle MPP<sub>>300</sub>) og varierte relativt lite mellom de fire prøvetakingene som inngikk i snittet (39 /L; 4,4 milliarder/døgn). Tilførselene av fragmenter utgjorde i antall 5,2% av MPP<sub>>300</sub> (2,3/L), men dominerte både på basis av volum (90  $\mu\text{L}/\text{m}^3$ ; 11 L/døgn) og vekt (110  $\mu\text{g}/\text{L}$ ; 12 kg/døgn) tilsvarende ca. 2/3 av all MPP<sub>>300</sub>. Det ble funnet antatte dekkslitasjepartikler i alle disse prøvene, og i antall utgjorde de i størrelsesorden samme mengde av alle MPP<sub>>300</sub> som fragmentene (1,66/L; 3,8% av MPP<sub>>300</sub>). I volum utgjorde de en litt større andel enn fibre (8,8% mot 7,2%), mens de utgjorde omtrent det dobbelte av vekten sammenlignet med fibre (13,8% mot 8,3%). Vektkonsentrasjonen dekkslitasjepartikler i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu\text{m}$  var i samme størrelsesorden som i størrelsesfraksjonen >300  $\mu\text{m}$  ( $45 \pm 78$   $\mu\text{g}/\text{L}$  mot  $23 \pm 61$   $\mu\text{g}/\text{L}$ ). Det ble kun sporadisk funnet fibernøster, kuler og polymerskum (i 10-15% av delprøvene), mens det ble funnet flak og tykke fibre i ca. halvparten av delprøvene. Det ble funnet omtrent like store mengder (både antall og vekt) av fibre og fragmenter under normale vær og driftsforhold som under tørrvær, mens mengden dekkslitasjepartikler økte betydelig sammenlignet med tørrvær. Totalmengden (antall og vekt) MPP<sub>>300</sub> var likevel veldig lik den som ble funnet under tørrvær. Totalkonsentrasjonen av MPP i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu\text{m}$  var vesentlig lavere enn MPP i størrelsesfraksjonen <300  $\mu\text{m}$ ;  $34 \pm 21$   $\mu\text{g}/\text{L}$  mot  $170 \pm 340$   $\mu\text{g}/\text{L}$  (20%).

Konsentrasjoner i innløpet (#/L; $\mu\text{g}/\text{L}$ )				Konsentrasjoner i utslippet ( $\#/m^3$ ; $\mu\text{g}/m^3$ )		
	Tørrvær	Normal-vær	Kraftig nedbør	Fullverdig behandling	Omstilt drift	
<b>MPP &gt; 300 <math>\mu\text{m}</math></b>						
<i>Fibre</i>						
• Antall (#/L)	$42 \pm 2$	$39 \pm 20$	$15,5 \pm 9,5$	$1,1 \pm 2,3$	$6,2 \pm 2,7$	
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$15,3 \pm 0,7$	$14,0 \pm 1,9$	$5,6 \pm 5,8$	$0,86 \pm 1,81$	$2,2 \pm 1,3$	
<i>Fragmenter</i>						
• Antall (#/L)	$2,4 \pm 0,3$	$2,3 \pm 3,7$	$2,6 \pm 2,1$	0	$0,26 \pm 0,19$	
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$111 \pm 48$	$110 \pm 340$	$120 \pm 340$	0	$80 \pm 450$	
<i>Dekkslitasjepartikler</i>						
• Antall (#/L)	0,037	$1,7 \pm 2,6$	$1,44 \pm 1,64$	0	0	
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0,43	$23 \pm 61$	$17 \pm 44$	0	0	
<b>Totalt</b>						
• Antall (#/L)	$45 \pm 2$	$44 \pm 21$	$21 \pm 10$	$1,1 \pm 2,3$	$7,3 \pm 2,8$	
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$15,3 \pm 0,7$	$170 \pm 340$	$150 \pm 340$	$0,86 \pm 1,81$	$220 \pm 530$	
<b>MPP 20-300 <math>\mu\text{m}</math></b>						
<b>Totalt (8 ulike polymere)</b>						
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-	$34 \pm 21$	$31 \pm 33$	$5,1 \pm 7,2$	$5,5-7,5$	
<i>Dekkslitasjepartikler</i>						
• Vekt ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-	$45 \pm 78$	$300 \pm 240$	0	0	

**Figur 1.** Konsentrasjoner av ulike typer mikroplastpartikler i innløpet til og i utslippet fra Bekkelaget renseanlegg i perioden 1.12.2018-30.11.2019.



**Figur 2.** Estimert antall og vekt av mikroplastpartikler (øverst) og dekkslitasjepartikler (nederst) inn og ut fra Bekkelaget renseanlegg over et helt år (1.12.2018-30.11.2019).

- **Under kraftig nedbør** (vannmengder i innløpet > 150 000 m<sup>3</sup>/døgn) var situasjonen omtrent som under normale værforhold der fibre utgjorde hovedandelen av MPP<sub>>300</sub> målt i antall, mens fragmentene utgjorde hovedandelen av MPP<sub>>300</sub> målt i volum og vekt. Mens konsentrasjonen av fibre i avløpsvannet gikk ned og de samlede tilførslene av fibre per døgn

ble mer enn halvert ved kraftig nedbør, var det en relativt klar tendens til økte tilførsler av fragmenter ved kraftig nedbør (ca. dobling), spesielt i starten av nedbørsperioden (first flush-effekt). Den største relative økningen for størrelsesfraksjonen  $>300 \mu\text{m}$  kom i tilførsler av dekkslitasjepartikler, som i snitt var ca. 60 ganger høyere per døgn under kraftig nedbør enn under tørrvær, og ca. 0,5 ganger høyere i forhold til under normale værforhold (fra  $2,5 \pm 4,8 \text{ kg/døgn}$  til  $3,4 \pm 8,9 \text{ kg/døgn}$ ). Økningen syntes å være størst etter lengre tids oppholdsvær, noe som sannsynligvis skyldes at dekkslitasjepartikler vaskes bort med en «first flush-effekt». For størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$  var økningen i konsentrasjonen av dekkslitasjepartikler med kraftig nedbør betydelig større, fra  $45 \pm 78 \mu\text{g/L}$  under normale værforhold til  $300 \pm 240 \mu\text{g/L}$  under kraftig nedbør (ca. 7x økning). På grunn av den økte vannføringen inn til renseanlegget økte den gjennomsnittlige tilførselen av dekkslitasjepartikler per døgn fra  $4,3 \pm 7,5 \text{ kg/døgn}$  til  $62 \pm 40 \text{ kg/døgn}$  (14x økning). Samlet sett gikk imidlertid antallet  $\text{MPP}_{>300}$  inn til renseanlegget per døgn noe ned under kraftig nedbør sammenlignet med under normalvær, mens de på vektbasis ble nær doblet fra  $18 \pm 38 \text{ kg/døgn}$  til  $33 \pm 73 \text{ kg/døgn}$ . Konsentrasjonen av  $\text{MPP}$  i størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$  var tilnærmet uforandret under kraftig nedbør sammenlignet med under normalvære ( $31 \pm 33 \mu\text{g/L}$  mot  $34 \pm 21 \mu\text{g/L}$ ), men den gjennomsnittlige tilførselen per døgn ble omtrent doblet ( $6,7 \pm 7,1 \text{ kg/døgn}$  mot  $3,5 \pm 2,0 \text{ kg/døgn}$ ).

- **Under tømning av utjevningsbassenget Midgardsormen (MO)** var konsentrasjonene (antall/ $\text{m}^3$  avløpsvann) og døgn tilførsler av alle partikkeltypene vesentlig høyere enn under noen andre forholdene.
- **Sammenlignet med andre nasjonale og internasjonale studier** ligger gjennomsnittskonsentrasjonen av  $\text{MPP}_{>300}$  i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under normale værforhold nær medianverdien til de rapporterte verdiene for innløpet til renseanleggene i disse studiene.

#### *Ut fra renseanlegget*

- **Utslippene av  $\text{MPP}_{>300}$  til fjorden via rensed avløpsvann** var svært begrenset under fullverdig behandling;  $1,1 \pm 2,3 \text{ fibre/m}^3$  eller  $140\,000 \text{ fibre/døgn}$ . På vektbasis utgjorde disse  $0,86 \pm 1,81 \mu\text{g/m}^3$  eller  $0,10 \pm 0,23 \text{ g/døgn}$ . De gjennomsnittlige utslippene av  $\text{MPP}$  i størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$  var på  $5,1 \pm 7,2 \mu\text{g/m}^3$  eller  $0,53 \pm 0,74 \text{ g/døgn}$ , og ca. 6x høyere enn de tilsvarende utslippene av  $\text{MPP}_{>300}$ . Ved omstilt behandling, der deler av avløpsvannet gikk utenom det biologiske rensetrinnet, men ble behandlet kjemisk, økte utslippene av fibre betydelig (fra  $1,1 \pm 2,3$  til  $6,1 \pm 2,7 \text{ fibre/m}^3$ ), samtidig som det da også ble funnet fragmenter, flak, tykke fibre og kuler i utløpet. På vektbasis ga dette en kraftig økning i utslippene til  $220 \pm 530 \mu\text{g/m}^3$  (ca. 260x økning) eller  $56 \pm 134 \text{ g/døgn}$  (ca. 560x økning). Utslippene av  $\text{MPP}$  i størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$  økte i mye mindre grad, til  $5,5\text{-}7,5 \mu\text{g/m}^3$  (ca. 0,25x økning) eller  $1,41\text{-}1,81 \text{ g/døgn}$  (ca. 3x økning). Det samlede årlige utslippet av  $\text{MPP}_{>300}$  via rensed avløpsvann ble estimert til å være ca. 220 millioner  $\text{MPP}$ , hvorav 170 millioner var fibre. Den samlede vekten av  $\text{MPP}_{>300}$  i utslippet var  $4,8 \pm 11,7 \text{ kg}$ , noe som i all hovedsak (99,0%) skyldtes utslippene av fragmenter, flak og tykke fibre. Hoveddelen av disse utslippene (76% på antalls-basis, 99,2% på vekt-basis) skjedde mens driften var omstilt (43% av den totale årlige avløpsvannmengden; 14% av avløpsvannet kjemisk rensed). Det estimerte samlede årlige utslippet av størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$  var  $0,049 \text{ kg/år}$ , altså ca. 1% av utslippene av  $\text{MPP}_{>300}$ .

- **Utslippene av mikroplast via overløp** ble estimert til  $22 \pm 11$  milliarder  $MPP_{>300}$ /år med en samlet vekt på  $160 \pm 360$  kg/år fra MO (drøyt 1,0 millioner  $m^3$  over rist) og  $17,1 \pm 8,3$  milliarder  $MPP_{>300}$ /år med en samlet vekt på  $130 \pm 280$  kg/år via nødoverløpet inne på renseanlegget og overløpet på Kværner (ca. 0,83 millioner  $m^3$ ). De tilsvarende utslippene av plastpolymere i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$  via overløp var på 59 kg/år. De samlede utslippene av dekkslitasjepartikler via overløp ble estimert til  $32 \pm 84$  kg/år for størrelsesfraksjonen  $>300 \mu m$ , mens de ble estimert til 573 kg/år for størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$ . Samlet estimert utslipp av  $MPP$  ikke medregnet dekkslitasjepartikler via overløp var dermed ca. 410 kg/år, mens det estimerte utslippet av dekkslitasjepartikler var ca. 600 kg/år. Samlet sett stod overløpene for 99,4% av utslippene ( $MPP_{>300}$ ) basert på antall mikroplastpartikler og 98,4% basert på samlet vekt av mikroplastpartikler. Alle utslipp av dekkslitasjepartikler så ut til å skje via overløp.
- **Rensegraden over renseanlegget** for  $MPP_{>300}$  var i all hovedsak  $>99,998\%$  på vektbasis. Ved ett tilfelle lå rensegraden på 99,2%, men hovedgrunnen til dette svakere resultatet var funnet av ett stort tykt fiber. Uten dette tykke fiberet i utslippet hadde rensegraden vært 99,87%. Også for størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$  var rensegraden svært høy og i samme størrelsesorden som for  $MPP_{>300}$ ; 99,981-99,985%. Dette er høyere rensegrad enn rapportert fra noen andre renseanlegg i Europa, USA, Canada og Kina. Da det ikke ble funnet noen dekkslitasjepartikler i noen av utslippsprøvene var renseseffekten for disse tilnærmet 100%.
- **Ut fra en balanse over renseanlegget** basert på antall partikler kan det synes som det kom omtrent dobbelt så mange partikler inn til anlegget som det gikk ut fra anlegget, og at de aller fleste forlot anlegget via slammet. Det var med andre ord ca. 50% som ikke ble gjort rede for. Basert på vekt var det ca. 1/4 som endte opp i slammet og ca. 1/10 som endte opp i sand og ristgods, men andelen som ikke ble gjort rede for kan synes å være enda større (64%). Det store antallet fibre i prøvene og den dominerende vekten av fragmenter hadde stor betydning for disse antalls- og massebalansene. Mulige årsaker til den relativt store andelen som ikke har blitt gjort rede for er diskutert i noe detalj for hver enkelt partikkeltype. Det er ikke forventet at man vil ha noen biologisk nedbrytning av mikroplastpartikler på renseanlegget, så det tilsynelatende store tapet over anlegget kan skyldes andre faktorer. Basert på analysene av de 8 ulike plastpolymerene i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$  av prøvene var det et rimelig godt samsvar på vektbasis (kg/år) mellom hva som ble funnet i innløpet og hva som ble funnet i slammet for de fleste polymerene, noe som antyder at det er marginale mengder av disse plastpolymerene som brytes ned (mekanisk eller biologisk) under vann- og/eller slambehandlingen inne på anlegget. De relativt store mengdene polypropylen (PP) som ble funnet i innløpet ble imidlertid ikke detektert i noen av de andre strømmene, noe som indikerer at denne polymeren (i dette størrelsesområdet) har forsvunnet på veien gjennom anlegget. Dette er overraskende siden PP har høy styrke, er slitebestandig og er svært elastisk, noe som skulle tale mot eventuell mekanisk nedbrytning. På vektbasis ble ca.  $\frac{3}{4}$  av polymerene i størrelsesområdet 20-300  $\mu m$  gjenfunnet i slammet, men av de store estimerte mengdene dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet 20-300  $\mu m$  i innløpet var det svært lite som ble gjenfunnet i noen av strømmene ut fra anlegget; kun 0,01% i sanden.



*Spredning ute i resipienten*

- **Spredningen av mikroplast i fjorden** ble først modellsimulert, og på bakgrunn av resultatene fra modellberegningen ble det tatt ut ni sedimentkjerner i et område innenfor og i nærheten av utslippspunktet for det rensede avløpsvannet fra Bekkelaget renseanlegg ute i Bekkelagsbassenget. Den observerte spredningen i området samsvarte til en viss grad med den modellerte spredningen. Konsentrasjonen av mikroplast i prøven tatt fra en av stasjonene nærmest utslippet var imidlertid veldig lav (faktisk lavest av samtlige ni stasjoner).

## Summary

Title: Microplastic particles in and out of Bekkelaget wastewater treatment plant over one year  
Year: 2020

Author(s): Christian Vogelsang, Trond Kristiansen, Cecilie Singdahl-Larsen, Nina Buenaventura, Svetlana Pakhomova, David Pettersen Eidsvoll, André Staalstrøm and Bjørnar André Beylich  
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7276-5

On behalf of the Water and Sewerage Authority in Oslo Municipality (Oslo VAV), a detailed survey of microplastic particles in the inlet to the Bekkelaget wastewater treatment plant (WWTP) has been carried out under different conditions during an entire year. It has also been investigated where these particles end up within the plant and their further spatial distribution in the Inner Oslofjord after the final treated effluent is discharged at a depth of 50 m in the Bekkelaget basin.

### Methods

13 sampling campaigns were carried out during the period 1.12.2018-30.11.2019. Different types of samples were collected and examined (from different sampling points in the process); inlet water (8-27 L), treated effluent (1.1-3.5 m<sup>3</sup>), scrap material from the coarse bar screen (50-217 g wet weight), sand from the sand trap (32-213 g wet weight) and final dewatered sludge (14- 36 g wet weight). The samples were fractionated into three different particle sizes (20-300 µm, 300-1000 µm and 1-5 mm). It proved important to use sodium dodecyl sulphate (SDS) during the size fractionation to facilitate the sieving/fractionation, not least to obtain an efficient release of particles from the bar screen samples. Each fraction was treated primarily to remove as much as possible of organic material and especially cellulosic fibres, which initially created problems with the identification of synthetic fibres. All samples were treated with 75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 60 min followed by 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, except from the effluent samples (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment only). From each of the two largest particle size fractions (300-1000 µm and 1-5 mm) from each treated sample, presumed microplastic particles (p-MPP) were isolated from up to three subsamples, and then categorized into eight different particle types ( fibres, fibre skeins, thick fibres, fragments, flakes, spherical beads, foam and tire wear particles) and physically characterized (sizes in three dimensions, volume and weight). All p-MPP from the effluent samples, a selection of p-MPP from the influent samples, as well as a selection of larger fragments/flakes found in the bar screen scrap and sand samples were analysed for plastic polymers with FT-IR. The total volume of each particle type in each sample was calculated based on the number of this particle type in the sample and the average volume of all particles of this type isolated from all the samples from the same sampling site. The total weight of each particle type MPP in each sample was determined by multiplying the total volume of that particle type in the sample by the weighted average of the specific gravity of this type of particle based on the average polymer composition. A selection of samples from the smallest size fraction (20-300 µm) from each sample location was analysed with pyrolysis GC/MS for frequently occurring plastic polymers (polyvinyl chloride, polymethyl methacrylate, polyamide, polypropylene, polyethylene terephthalate, polycarbonate, polyethylene and polystyrene) as well as for two indicators for polybutylene particles and).

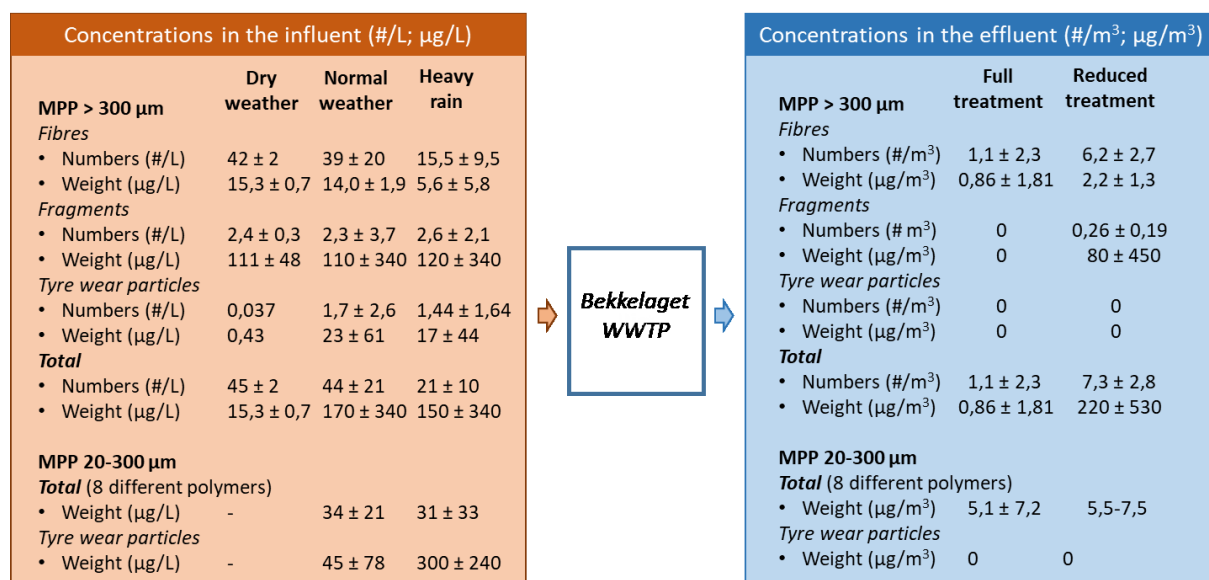
### Results and discussion

The concentrations of different particle types found in the inlet and in treated effluent are briefly summarized in

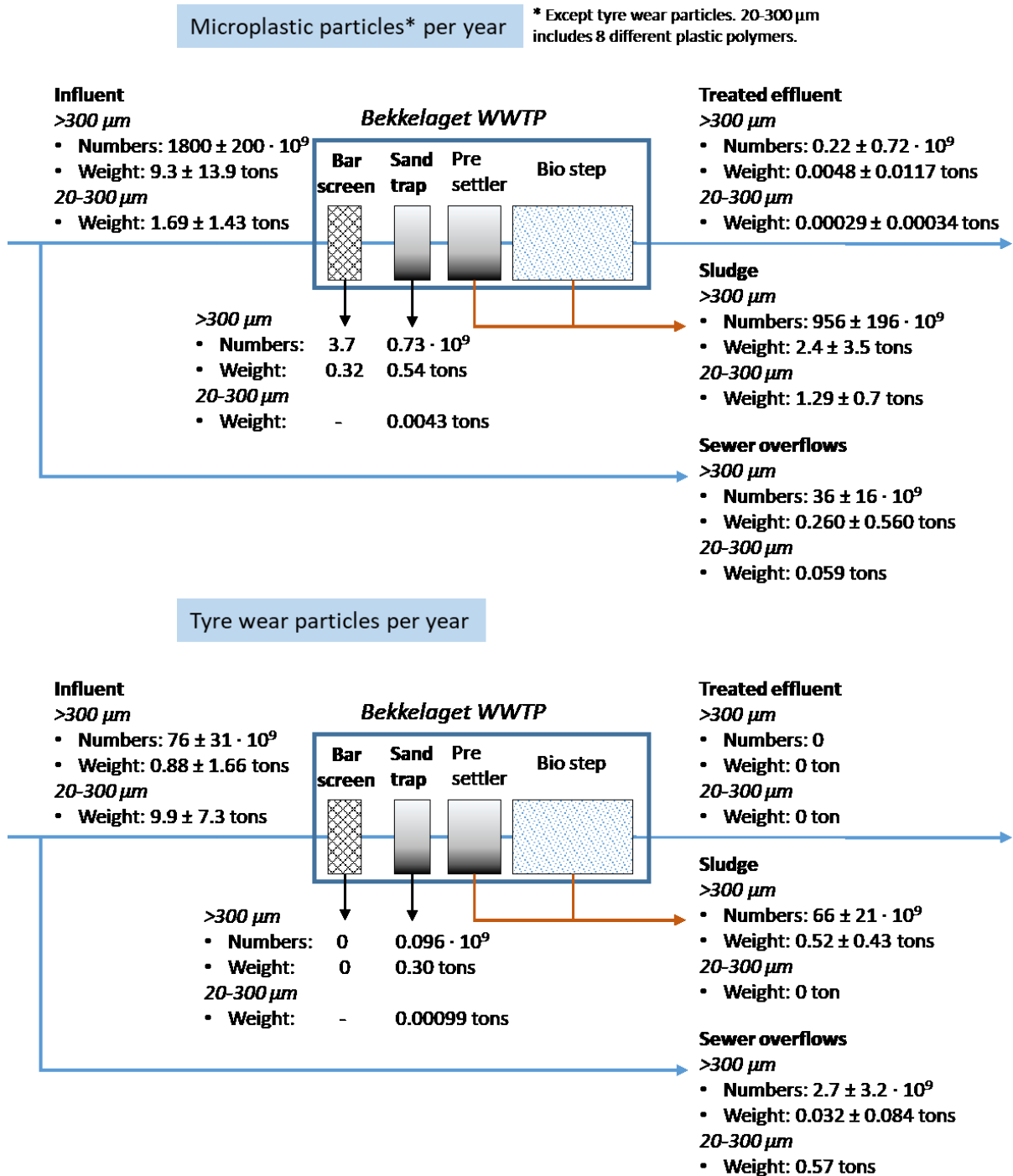
**Figure 1**, while the estimated total amounts (number and weight) found in the inlet and in the various streams from the WWTP over a whole year are briefly summarized in **Figure 2**.

Into the WWTP

- **The total annual supply of MPP<sub>>300</sub> to the Bekkelaget WWTP** (based on the period 1.12.2018-30.11.2019) was estimated to be 1,800 ± 200 billion MPP or 9.3 ± 13.9 tonnes. Fibres accounted for as much as 84% by number, but <6% by weight. Fragments amounted to approx. 8% based on number, but as much as 75% based on weight. The annual supply of MPP in the size fraction 20-300 µm (based on 8 plastic polymers) was estimated at 1.69 ± 1.43 tonnes, approx. 20% of the total weight of MPP<sub>>300</sub>. The annual supply of tire wear particles was estimated at 0.88 ± 1.66 tonnes for the size fraction >300 µm, while it was estimated to be as much as 9.9 ± 7.3 tonnes for the size fraction 20-300 µm (approx. 11x higher).
- **During dry weather conditions**, it was estimated that 45 ± 2 MPP/L (138 ± 49 µg MPP/L) or 5.9 ± 0.3 billion MPP/day (17.2 ± 6.4 kg MPP/day) reached the WWTP. If equally distributed per inhabitant, this amounts to around 6,900 MPP per day and person or 15.2 mg MPP per day and person. Much of the industry and service companies in the catchment area of the Bekkelaget WWTP are located in the Grorud valley. The contribution from such activities in the Grorud valley appeared to amount to as much as approx. 60% of the total MPP counts in the influent to the WWTP during dry weather conditions or approx. 80% of the total weight of MPP. It is especially the contribution of MPP fragments that contributed to the large weight share from the Grorud valley, since as much as 91% by weight of all MPP fragments were estimated to come from these activities. Fibres made up a significant proportion of the contribution to the total number of MPP from industry. Larger laundries in the area may potentially be a major source for these.



**Figure 1.** Concentrations of different types of microplastic particles in the inlet to and in the discharge from the Bekkelaget WWTP in the period 1.12.2018-30.11.2019.



**Figure 2.** Estimated number and weight of microplastic particles (top) and tire wear particles (bottom) in and out of the Bekkelaget WWTP over an entire year (1.12.2018-30.11.2019).

- **Under normal weather and operating conditions**, the supply of fibres dominated in number (87% of all MPP<sub>>300</sub>) and varied relatively little between the four samples included in the average (39/L; 4.4 billion/day). The supply of fragments accounted for only 5.2% of MPP<sub>>300</sub> (2.3/L) but dominated both based on volume (90 µL/m<sup>3</sup>; 11 L/day) and weight (110 µg/L; 12 kg/day) corresponding to approx. 2/3 of all MPP<sub>>300</sub>. Suspected tire wear particles were found in all these samples, and in numbers they accounted for largely the same amount as



the fragments (1.66/L; 3.8% of  $MPP_{>300}$ ). In volume, they accounted for a slightly larger share than the fibres (8.8% vs. 7.2%), while they accounted for about twice the weight compared to the fibres (13.8% vs. 8.3%). The mass concentration of tyre wear particles in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  was in the same order of magnitude as in the size fraction  $> 300 \mu\text{m}$  ( $45 \pm 78 \mu\text{g/L}$  vs  $23 \pm 61 \mu\text{g/L}$ ). Only occasionally fibrous skeins, spheres and polymeric foams were found (in 10-15% of the subsamples), while flakes and thick fibres were found in approx. half of the subsamples. More or less, equal amounts (both number, volume and weight) of both fibres and fragments were found under normal weather and operating conditions as during dry weather conditions, while the amount of tyre wear particles increased significantly during normal weather conditions as compared to dry weather conditions. The total amount (number, volume and weight) of  $MPP_{>300}$  found during normal weather conditions was nevertheless very similar to that found during dry weather conditions. The total concentration of MPP in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  was significantly (80%) lower than MPP in the size fraction  $<300 \mu\text{m}$ ;  $34 \pm 21 \mu\text{g/L}$  vs  $170 \pm 340 \mu\text{g/L}$ .

- **During heavy rainfall** (influent water volumes  $>150,000 \text{ m}^3/\text{day}$ ), the situation was about the same as under normal weather conditions where fibres accounted for the majority of  $MPP_{>300}$  measured in number, while the fragments accounted for the majority of  $MPP_{>300}$  measured in volume and weight. While the concentration of fibres in the wastewater decreased and the total inflows of fibres per day were more than halved during heavy rainfall, there was a relatively clear tendency that the inflows of fragments increased during heavy rainfall (approximately doubling), especially at the beginning of the rainfall period (first flush effect). The largest relative increase for the size fraction  $>300 \mu\text{m}$  was for the inflows of tyre wear particles, which on average were approx. 60 times higher per day during heavy rainfall than during dry weather conditions, and approx. 0.5 times higher compared to under normal weather conditions (from  $2.5 \pm 4.8 \text{ kg/day}$  to  $3.4 \pm 8.9 \text{ kg/day}$ ). The increase seemed to be greatest after a long dry weather periods, which is probably due to accumulated tyre wear particles being washed away by a "first flush effect". For the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$ , the increase in the concentration of tyre wear particles with heavy rainfall was significantly greater, from  $45 \pm 78 \mu\text{g/L}$  under normal weather conditions to  $300 \pm 240 \mu\text{g/L}$  during heavy rainfall (approx. 7x increase). Due to the increased water flow into the WWTP during heavy rain events, the average supply of tyre wear particles per day increased from  $4.3 \pm 7.5 \text{ kg/day}$  to  $62 \pm 40 \text{ kg/day}$  (14x increase). Overall, however, the number of  $MPP_{>300}$  entering the treatment plant per day decreased somewhat during heavy rainfall compared to normal weather, while on a weight basis they almost doubled from  $18 \pm 38 \text{ kg/day}$  to  $33 \pm 73 \text{ kg/day}$ . The concentration of MPP in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  was almost unchanged during heavy rainfall compared to during normal weather ( $31 \pm 33 \mu\text{g/L}$  against  $34 \pm 21 \mu\text{g/L}$ ), but the average mass inflow per day was approximately doubled ( $6.7 \pm 7, 1 \text{ kg/day}$  vs  $3.5 \pm 2.0 \text{ kg/day}$ ).
- **During emptying of the equalization basin Midgardsormen (MO)**, the concentrations (number/ $\text{m}^3$  wastewater) and daily mass inflows of all particle types were significantly higher than under any of the other conditions.
- **Compared with other national and international studies**, the average concentrations of  $MPP_{>300}$  in the inlet to the Bekkelaget treatment plant under normal weather conditions was close to the median value of the reported values for the influent to the WWTPs in these studies.

#### *Out from the treatment plant*

- **The discharges of  $MPP_{>300}$  to the fjord via treated wastewater** were very limited during full treatment;  $1.1 \pm 2.3 \text{ fibres/m}^3$  or 140,000 fibres/day. On a weight basis, these amounted to

$0.86 \pm 1.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  or  $0.10 \pm 0.23 \text{ g}/\text{day}$ . The average discharges of MPP in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  were  $5.1 \pm 7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  or  $0.53 \pm 0.74 \text{ g}/\text{day}$ , and approx. 6x higher than the corresponding discharges of  $\text{MPP}_{>300}$ . During reduced treatment associated with heavy rain events, where a significant part (up to 36%) of the wastewater bypassed the biological treatment stage but being treated by chemical precipitation, the discharges of fibres increased significantly (from  $1.1 \pm 2.3$  to  $6.1 \pm 2.7 \text{ fibres}/\text{m}^3$ ), at the same time as fragments, flakes, thick fibres and spherical beads were also found in the effluent. On a weight basis, this gave a sharp increase in the discharges to  $220 \pm 530 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (approx. 260x increase) or  $56 \pm 134 \text{ g}/\text{day}$  (approx. 560x increase). Discharges of MPP in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  increased to a much lesser extent, to  $5.5\text{-}7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (approx. 0.25x increase) or  $1.41\text{-}1.81 \text{ g}/\text{day}$  (approx. 3x increase). The total annual discharge of  $\text{MPP}_{>300}$  via treated wastewater was estimated to be approx. 220 million MPP, of which 170 million were fibres. The total weight of  $\text{MPP}_{>300}$  in the annual discharge was  $4.8 \pm 11.7 \text{ kg}$ , which was mainly (99.0%) due to discharges of fragments, flakes and thick fibres. Most of these discharges (76% on a number basis, 99.2% on a weight basis) occurred during reduced treatment (43% of the total amount of treated wastewater; 14% being bypassed the biological treatment). The estimated total annual discharge of MPP in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  was  $0.049 \text{ kg}/\text{year}$ , i.e. approx. 1% of annual discharges of  $\text{MPP}_{>300}$ .

- **Discharges of microplastics via sewer overflows** were estimated to  $22 \pm 11$  billion  $\text{MPP}_{>300}/\text{year}$  with a total weight of  $160 \pm 360 \text{ kg}/\text{year}$  from MO (ca. 1.0 million  $\text{m}^3$  over coarse screen) and  $17.1 \pm 8.3$  billion  $\text{MPP}_{>300}/\text{year}$  with a total weight of  $130 \pm 280 \text{ kg}/\text{year}$  via the emergency overflow inside the WWTP and the sewer overflow at Kværner (approx. 0.83 million  $\text{m}^3$ ). The corresponding discharges of plastic polymers in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  via the sewer overflows were  $59 \text{ kg}/\text{year}$ . The total emissions of tyre wear particles via the sewer overflows were estimated to be  $32 \pm 84 \text{ kg}/\text{year}$  for the size fraction  $>300 \mu\text{m}$ , while they were estimated to be  $573 \text{ kg}/\text{year}$  for the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$ . Total estimated discharges of MPP not including tyre wear particles via the sewer overflows were thus approx.  $410 \text{ kg}/\text{year}$ , while the estimated discharges of tyre wear particles were approx.  $600 \text{ kg}/\text{year}$ . Overall, the sewer overflows accounted for 99.4% of the discharges ( $\text{MPP}_{>300}$ ) based on the number of microplastic particles and 98.4% based on the total weight of microplastic particles. All discharges of tyre wear particles appeared to occur via the sewer overflows.
- **The removal efficiency over the treatment plant** for  $\text{MPP}_{>300}$  was in most cases  $>99.998\%$  on a weight basis. In one case, the degree of removal was 99.2%, but the main reason for this weaker result was due to one large thick fibre. Without this thick fibre in the collected discharge sample, the removal efficiency would have been 99.87%. Also for the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  the removal efficiency was very high and in the same order of magnitude as for  $\text{MPP}_{>300}$ ; 99.981-99.985%. This is, as far as we know, the highest reported removal efficiency for any WWTP around the world. Since no tyre wear particles were identified in any of the discharge samples, the treatment efficiency for these was almost 100%.
- **From a mass balance over the WWTP** based on the number of  $\text{MPP}_{>300}$ , about twice as many MPP entered the plant as left the plant, and the vast majority left the plant via the sludge. Hence, about 50% of the MPP were not accounted for. Based on the weight of  $\text{MPP}_{>300}$ , approx. 1/4 ended up in the sludge and approx. 1/10 ended up in sand and bar screen scrap, leaving 64% not accounted for. The large number of fibres in the samples and the dominant weight of fragments were of great importance for these number and mass balances. Possible causes of the relatively large proportion that was not accounted for are discussed in some detail for each individual particle type. It is not expected that there will be any biological degradation of microplastic particles during neither the applied wastewater nor sludge treatment, so the apparently large loss over the plant may be due to other factors. Based on the analyses of the 8 different plastic polymers in the size fraction 20-300  $\mu\text{m}$  of the samples,

there was a reasonably good agreement on a weight basis (kg/year) between what was found in the inlet and what was found in the sludge for most polymers, which suggests that there are marginal amounts of these plastic polymers that degrade (mechanically or biologically) during the water and/or sludge treatment inside the plant. However, the relatively large amounts of polypropylene (PP) found in the inlet were not detected in any of the other streams, indicating that this polymer (in this size range) has disappeared on the way through the plant. This is surprising since PP has high strength, is wear-resistant and is very elastic, which should speak against any mechanical degradation. On a weight basis, approx.  $\frac{3}{4}$  of the polymers in the size range 20-300  $\mu\text{m}$  were found in the sludge, but of the large estimated amounts of tyre wear particles in the size range 20-300  $\mu\text{m}$  in the influent to the WWTP, very little was found in any of the effluent streams from the plant; only 0.01% in the sand.

#### *Spatial distribution in the recipient*

- The spatial distribution of microplastics in the fjord was first model simulated, and based on the results from the model calculations, nine sediment cores were collected in an area within and near the discharge point for treated wastewater from Bekkelaget WWTP in the Bekkelaget Basin. The observed distribution in the area corresponded to some extent with the modelled distribution. However, the concentration of microplastic in the sample taken from one of the stations closest to the discharge was very low (actually, the lowest of all nine stations).

# Forkortelser

## Generelle forkortelser

Al-folie	Aluminiumsfolie
ATR	Attenuated total reflectance
BEVAS	
EPS	Ekspandert polystyren
FeSO <sub>4</sub>	Jernsulfat (katalytten i Fentons reagens)
FT-IR	Fourier transform infrared spectroscopy
FjordOs	Den nye Oslofjordmodellen
GC/MS	Gasskromatografi – massespektrometri
GF/A	Glassfiberfilter med gradering A (1,6 µm nominell porestørrelse)
GF/C	Glassfiberfilter med gradering C (1,2 µm nominell porestørrelse)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hydrogen peroksid
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Svovelsyre
HDPE	Polyetylen med høy tetthet
IBM	Individ-basert modell
LAF-benk	Benkeskap med laminær utstrømmende luft
LDPE	Polyetylen med lav tetthet
MO	Midgardsormen; et utjevningssjøbasseng med en lagringskapasitet på 86 000 m <sup>3</sup>
MPP	Mikroplastpartikler
MPP <sub>1-5 mm</sub>	Mikroplastpartikler i størrelsesområdet 1-5 mm; partikler som har passert sikten med 5000 µm porestørrelse og blitt fanget opp på sikten med 1000 µm porestørrelse
MPP <sub>&gt;300</sub>	Mikroplastpartikler >300 µm; partikler som blitt fanget opp på sikten med 300 µm porestørrelse
MPP <sub>300-1000 µm</sub>	Mikroplastpartikler i størrelsesområdet 300-1000 µm; partikler som har passert sikten med 1000 µm porestørrelse og blitt fanget opp på sikten med 300 µm porestørrelse
MPP <sub>300-5000 µm</sub>	Mikroplastpartikler i størrelsesområdet 300-5000 µm; partikler som har passert sikten med 5000 µm porestørrelse og blitt fanget opp på sikten med 300 µm porestørrelse
N	Antall prøver
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
PA66	Polyamid
PBD	Polybutadien
PC	Polykarbonat
pe	Personekvivalent
PE	Polyetylen
PE <sub>tot N</sub>	Personekvivalent beregnet ut fra total-nitrogen
PET	Polyetylentereftalat (polyester)
PIP	Polyisopren
PMMA	Polymetylmetakrylat
p-MPP	Presumptive mikroplastpartikler (før konfirmering)
PP	Polypropylen
PP-PE	Blanding av polypropylen og polyetylen
PVC	Polyvinylklorid
ROMS	Regional Ocean Modeling System (Regionalt havmodelleringssystem)
SDS	Laurylsulfat (sodium dodecyl sulphate)
SS	Suspendert stoff
U <sub>#/m3</sub>	Usikkerheten i antallet MPP per m <sup>3</sup>



$U_{\mu\text{L}/\text{m}^3}$	Usikkerheten i volumet ( $\mu\text{L}$ ) av MPP per $\text{m}^3$
$U_{\text{mg}/\text{m}^3}$	Usikkerheten i vekten (mg) av MPP per $\text{m}^3$
$U_{\#/\text{d}}$	Usikkerheten i antallet MPP per døgn
$U_{\mu\text{L}/\text{d}}$	Usikkerheten i volumet ( $\mu\text{L}$ ) av MPP per døgn
$U_{\text{mg}/\text{d}}$	Usikkerheten i vekten (mg) av MPP per døgn
$U_{\#/\text{kg SS}}$	Usikkerheten i antallet MPP per kg SS
$U_{\mu\text{L}/\text{kg SS}}$	Usikkerheten i volumet ( $\mu\text{L}$ ) av MPP per kg SS
$U_{\text{mg}/\text{kg SS}}$	Usikkerheten i vekten (mg) av MPP per kg SS

Forkortelser brukt i ligninger

Forkortelse	Enhet	Forklaring
$A$	$\mu\text{m}^2$	Arealet av partikkelen sett ovenfra
$C_{SS}$	$\text{g}/\text{m}^3$	Suspendert stoff-konsentrasjonen i avløpsvannet
$D_1$	$\mu\text{m}$	Største partikkeldimensjon (lengde, diameter)
$D_2$	$\mu\text{m}$	Minst partikkeldimensjon (bredde, diameter)
$i$	-	Partikkeltype (fiber, fibernøste, fragment, tykt fiber, kule, flak, dekkslitasjepartikkel)
$L$	$\mu\text{m}$	Fiberlengde
$n$	-	Antallet delprøver
$M_{\text{delprøve } n}$	$\text{g}/\text{delprøve}$	Tørrstoffmengden i delprøven
$M_i$	$\text{mg}/\text{prøve}$	Vekten av $N_{i,\text{prøve}}$ (alle MPP innen partikkelkategori « $i$ »)
$M_{i,\text{døgn}}$	$\mu\text{g}/\text{døgn}$	$\mu\text{g}$ MPP i hver partikkelkategori per døgn
$M_{i,\text{m}^3}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Vekten av alle « $n$ » MPP innen partikkelkategori « $i$ » per $\text{m}^3$ avløpsvann
$M_{i,\text{MO}}$	$\text{kg}/\text{døgn}$	Det ekstra bidraget i vekt av ulike typer partikler ved tømning av MO
$M_{i,\text{MO,ekstra}}$	$\text{kg}/\text{døgn}$	Det ekstra bidraget i $\text{kg MPP}_{>300}$ utover tørrvæstilførselen ved øvrige tømminger av MO
$M_{i,\text{prøve}}$	$\mu\text{g}$	Vekten av alle « $n$ » MPP innen partikkelkategori « $i$ » i en gitt prøve
$M_{i,\text{SS}}$	$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	Vekten av MPP i hver partikkelkategori per kg SS
$M_{i,\text{utløpsprøve}}$	$\mu\text{g}$	Samlet vekt av partikkelkategori $i$ per prøve i utløpsprøvene
$M_{\text{prøve}}$	$\text{g}/\text{prøve}$	Tørrstoffmengden i prøven
$M_{\text{SS,MO}}$	$\text{kg SS}/\text{døgn}$	Mengden SS tilført renseanlegget under tømning av MO
$M_{\text{SS,tørr}}$	$\text{kg SS}/\text{døgn}$	Mengden SS tilført renseanlegget under tørrvær
$N_{i,\text{døgn}}$	$\#/\text{døgn}$	Antallet MPP i hver partikkelkategori per døgn
$N_{i,\text{delprøve } n}$	$\#/\text{delprøve}$	Antall partikler av typen « $i$ » i delprøven
$N_{i,\text{m}^3}$	$\#/\text{m}^3$	Antallet MPP i hver partikkelkategori per $\text{m}^3$ avløpsvann
$N_{i,\text{MO}}$	$\#/\text{døgn}$	Det ekstra bidraget i antall av ulike typer partikler ved tømning av MO
$N_{i,\text{MO,ekstra}}$	$\#/\text{døgn}$	Det ekstra bidraget i antall $\text{MPP}_{>300}$ utover tørrvæstilførselen ved øvrige tømminger av MO
$N_{i,\text{prøve}}$	$\#/\text{prøve}$	Antall partikler av typen « $i$ » i prøven
$N_{i,\text{SS}}$	$\#/\text{kg SS}$	Antallet MPP i hver partikkelkategori per kg SS
$PE_{\text{MPP},\#}$	$\#/\text{PE}\cdot\text{døgn}$	# MPP per PE per døgn
$PE_{\text{MPP},M}$	$\mu\text{g}/\text{PE}\cdot\text{døgn}$	Vekt MPP per PE per døgn

$\overline{\rho_n}$	g/cm <sup>3</sup>	Den gjennomsnittlige tettheten til den rene polymeren «n»
STD	diverse	Standardavviket til snittverdien
T	µm	Fibertykkelse
$U_{V,alle\ enkeltpartikler}$	µm <sup>3</sup> /partikkel	Samlet usikkerhet i volumet til hver enkelt partikkel som inngår i $\overline{V}_i$
$U_{\#,i,prøve}$	#/prøve	Usikkerheten i $N_{i,prøve}$
$U_{\#,i,døgn}$	#/døgn	Usikkerheten i $N_{i,døgn}$
$U_{\#,i,m3}$	#/m <sup>3</sup>	Usikkerheten i $N_{i,m3}$
$U_{\#,i,SS}$	#/kg SS	Usikkerheten i $N_{i,SS}$
$U_{bidrag,\rho}$	µg	Bidraget til usikkerheten i bestemmelsen av $U_{M_{i,prøve}}$ fra $\overline{\rho_n}$
$U_{bidrag,V}$	µg	Bidraget til usikkerheten i bestemmelsen av $U_{M_{i,prøve}}$ fra $\overline{V}_i$
$U_{korr}$		Korreksjonsledd som beskriver hvor godt hver enkelt volummåling representerer snittet ved bestemmelse av $U_{\overline{V}_i}$
$U_{L,fiber}$	µm	Usikkerheten i bestemmelsen av fiberlengden
$U_{M,i,døgn}$	µg/døgn	Usikkerheten i $M_{i,døgn}$
$U_{M,i,m3}$	µg/m <sup>3</sup>	Usikkerheten i $M_{i,m3}$
$U_{M,i,prøve}$	µg	Usikkerheten i $M_{i,prøve}$
$U_{M,i,SS}$	µg/kg SS	Usikkerheten i $M_{i,SS}$
$U_{M_{i,utløpsprøve}}$	µg	Usikkerheten i $M_{i,utløpsprøve}$
$U_{\overline{\rho_n}}$		Usikkerheten i $\overline{\rho_n}$
$U_{snitt,i}$	#/år, L/år, mg/år	Det vektete snittet av usikkerheten beregnet for de ulike forholdene (tørrvær, normalvær, nedbør, tømning MO og uten bidrag fra Groruddalen).
$U_{\overline{snitt},i}$		Den samlede usikkerheten i årlig tilførsel inn til renseanlegget
$U_{T,fiber}$	µm	Usikkerheten i bestemmelsen av fibertykkelsen
$U_{V,fiber}$	µm <sup>3</sup> /partikkel	Usikkerheten i bestemmelse av volumet til fibre
$U_{V,i}$	µm <sup>3</sup> /partikkel	Usikkerheten i bestemmelsen av volumet til hver enkelt partikkeltype
$U_{\overline{V}_i}$	g/cm <sup>3</sup>	Usikkerheten i $\overline{V}_i$
$U_{V,i,døgn}$	µL/døgn	Usikkerheten i $V_{i,døgn}$
$U_{V,i,prøve}$	µm <sup>3</sup> /prøve	Usikkerheten i det samlede volumet av partikler innen de ulike partikkelkategoriene i en prøve ( $V_{i,prøve}$ )
$U_{V,i,SS}$	µL/kg SS	Usikkerheten i $V_{i,SS}$
$V_{dekkslitasje}$	µm <sup>3</sup>	Volum av én dekkslitasjepartikkel
$\overline{V}_{døgn}$	m <sup>3</sup> /døgn	Døgn gjennomsnittet av den totale avløpsmengden
$V_{fiber}$	µm <sup>3</sup>	Volum av ett fiber
$V_{flak}$	µm <sup>3</sup>	Volum av ett flak
$V_{fragment}$	µm <sup>3</sup>	Volum av ett fragment
$\overline{V}_i$	µm <sup>3</sup> /partikkel	Gjennomsnittsstørrelsen av de confirmerte partiklene innen partikkelkategorien «i»
$V_{i,døgn}$	µL/døgn	Volum av hver partikkelkategori per døgn
$V_{i,MO}$	L/døgn	Det ekstra bidraget i volum av ulike typer partikler ved tømning av MO

---

$V_{i,MO,ekstra}$	L/døgn	Det ekstra bidraget i volum $MPP_{>300}$ utover tørrværstilførselen ved øvrige tømminger av MO
$V_{i,prøve}$	$\mu\text{m}^3/\text{prøve}$	Samlet volum av partikler innen partikkelkategorien «i» i en prøve
$V_{i,SS}$	$\mu\text{L}/\text{kg SS}$	Volumet av MPP i hver partikkelkategori per kg SS
$V_{kule}$	$\mu\text{m}^3$	Volum av én kule
$V_{m3,i}$		Volumet av partikkeltypen «i» per $\text{m}^3$ avløpsvann
$V_{nøste}$	$\mu\text{m}^3$	Volum av ett fibernøste
$V_{prøve}$	$\text{m}^3$	Mengden avløpsvann prøvematerialet var hentet ut fra
$V_{skum}$	$\mu\text{m}^3$	Volum av én skumpartikkel
$V_{tykt\ fiber}$	$\mu\text{m}^3$	Volum av ett tykt fiber

# 1 Målsettingen med studien

Kommunale avløpsrenseanlegg er potensielle mottakere av store mengder mikroplast via avløpsvannet fra husholdninger, næringsbedrifter og industri, samt via overvannet som når fellesledningsnettet. Det er gjort en del enkle og kortvarige studier ved renseanlegg i Norge for å kartlegge hvor mye mikroplast som kommer inn til renseanleggene og hvor mye som blir sluppet ut med det rensede vannet (Magnussen, 2014). Det er også gjort kartleggingsundersøkelser for å finne hvor mye mikroplast som gjenfinnes i det ferdigbehandlede slammet (Lusher m.fl. 2018). Men det har ikke vært mulig å verken se det store bildet eller mer detaljer rundt variasjoner på bakgrunn av disse undersøkelsene som kunne legges til grunn for målrettede tiltak. Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune ønsket derfor å få gjennomført en mer detaljert kartlegging av mikroplasten som blir tilført Bekkelaget renseanlegg under ulike forhold i løpet av et helt år, samt hvor det blir av denne mikroplasten. Videre ønsket de å få en første kartlegging av den videre spredningen av mikroplast i fjorden når utslippet av rensset avløpsvann foregår som nå i Bekkelagsbassenget på 50 m dyp.

Følgende skulle inngå i kartleggingen:

## *Innløp:*

- Hvor mye mikroplast som kommer inn med avløpsvannet over et helt år og hvordan dette fordeler seg mellom ulike partikkelstørrelser og plasttyper.
- Hvordan mengdene og plasttypene typisk varierer med ulike sesonger/årstider og betydningen av «first flush» på ledningsnettet og overvann/veiavrenning.

## *Uttak via mekanisk forbehandling:*

- Hvilke typer og hvor stor mengde og andel av mikroplasten som tas ut over rist og sandfang gjennom året, samt hvor mye som potensielt kan tas ut via fettfanget<sup>1</sup>.

## *Uttak vi slam:*

- Hvilke typer og hvor stor mengde og andel av mikroplasten som ender opp i slammet gjennom året.

## *Utslipp:*

- Hvilke typer og hvor stor mengde og andel av mikroplasten som slippes ut med behandlet avløpsvann gjennom året.
- Betydningen redusert vannbehandling har på hva som slippes ut av mikroplast.

## *Massebalanse over anlegget:*

- En tentativ massebalanse for å se om det er en viss sammenheng mellom det som kommer inn til renseanlegget og det som går ut av renseanlegget.

## *Spredning i resipient:*

- I hvilket område de ulike mikroplastpartiklene kan forventes å spres utover i Indre Oslofjord.

---

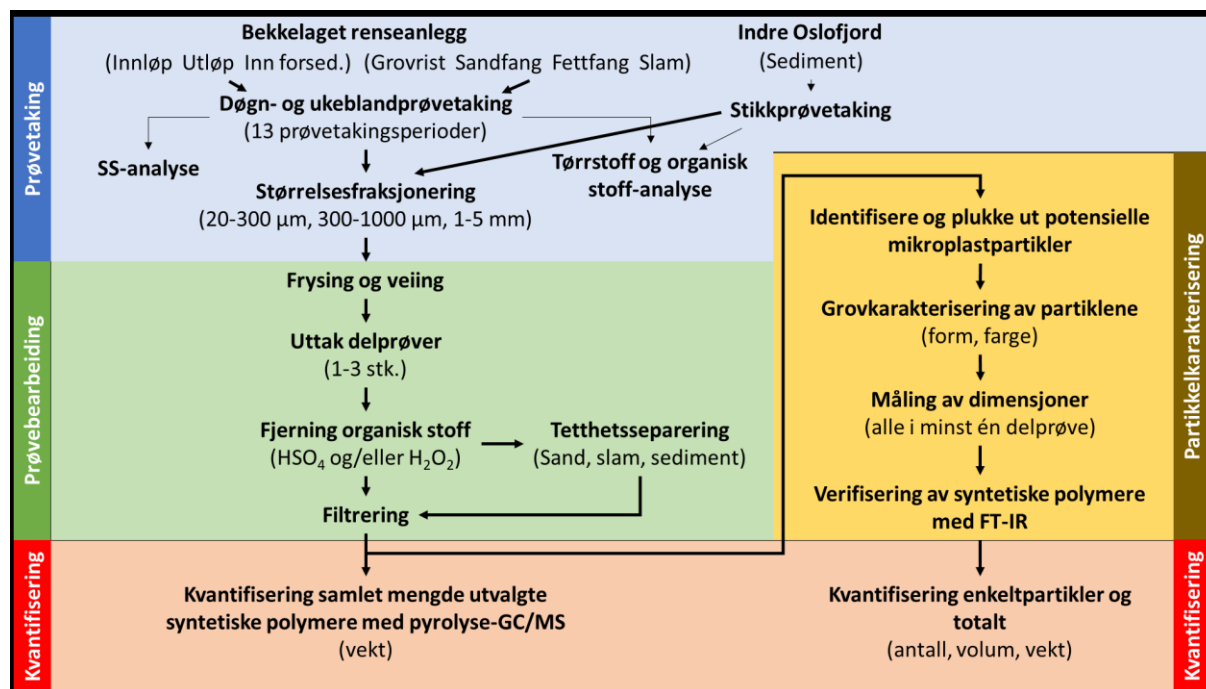
<sup>1</sup> Fett m.m. fra fettfanget blir i dag videreført til primærslambehandlingen.

## 2 Hvordan studien ble gjennomført

### 2.1 Det store bildet

**Figur 3** skisserer de ulike trinnene i prosessen med prøvetaking, opparbeiding av prøver, identifisering og karakterisering av potensielle mikroplastpartikler og den endelige kvantifiseringen av mikroplast i prøvene. Hvert trinn er beskrevet i detalj i resten av dette kapittelet. Det har vært behov for å utvikle flere av disse trinnene underveis i prosjektet. Dette vil til en viss grad omtales her, men det henvises til vedlegg for en mer grundig omtale.

Det har ikke vært mulig å gjøre «alt med alt». Under prøvetakingen ble hver prøve fraksjonert i tre ulike størrelsesfraksjoner (20-300 µm, 300-1000 µm, 1000-5000 µm), og i mange av disse størrelsesfraksjonene var det mye mer materiale enn det som var praktisk mulig å ta med videre gjennom alle trinnene. For å kunne vurdere hvor representativ et delprøveuttak var, ble det derfor tatt tre delprøver fra hver prøve for videre prosessering.



**Figur 3.** Skisse som viser den trinnvise prosessen fra prøvetakingen på Bekkelaget renseanlegg og ute i fjorden, via opparbeidingen av prøver og karakterisering av potensielle mikroplastpartikler til endelig kvantifisering av samlet mengde mikroplast i prøvene.

Det er benyttet to hovedstrategier for kvantifisering av mengden mikroplast:

- Strategi 1 – Identifisere, karakterisere, verifisere og kvantifisere hver enkelt partikkel:**  
 Dette er den «vanligste» strategien og innebærer at man plukker ut partikler man mistenker å være mikroplast ut fra utseende (form, farge, glans) og konsistens (elastisitet vs skjørhet, hardhet vs bløtthet), måler deres størrelse i tre dimensjoner, verifiserer om partiklene faktisk består av/inneholder syntetiske polymere ved hjelp av FT-IR (ev. andre lignende

analysemetoder) og til slutt teller opp antall mikroplastpartikler og beregner volum og vekt (ut fra en antatt tetthet på bakgrunn av plastpolymeren hver enkelt inneholder.

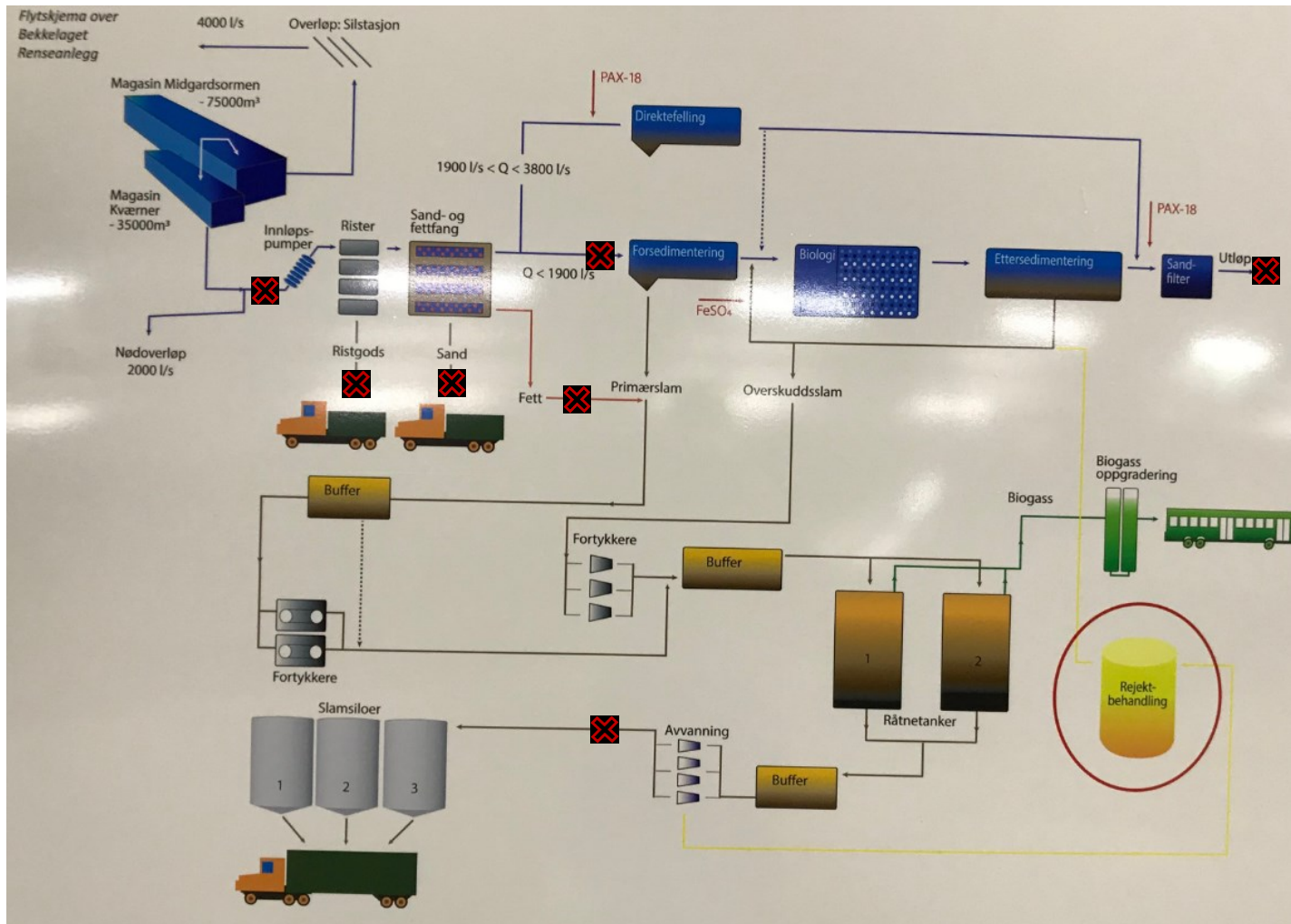
- **Strategi 2 – Direkte kvantifisering med pyrolyse-GC/MS:** Med denne strategien får man samlet mengde av hver polymer i hver prøve direkte, men man mister all informasjon om hver enkelt partikkel.


Den første strategien er spesielt tid- og ressurskrevende for den minste størrelsesfraksjonen (20-300  $\mu\text{m}$ ), og siden scanning-modusen på vårt  $\mu\text{FT-IR}$ -instrument ikke har fungert tilfredsstillende under prosjektperioden, ble det bestemt å kjøre denne størrelsesfraksjonen direkte på pyrolyse-GC/MS (strategi nr. 2). Men også for de større størrelsesfraksjonene kan den være svært tidkrevende, spesielt med hensyn til fibre. Grovkarakteriseringen og dimensjonsmålinger ble derfor kjørt på kun én delprøve for enkelte fiber-rike prøver. Tilsvarende ble det kjørt FT-IR kun på et utvalg partikler (men alle partiklene i utløpsprøvene). Hvilken usikkerhet dette bringer inn i bestemmelsene er vurdert spesielt (se **Seksjon 3.1.4**).

## 2.2 Prøvetakingen og partikkelstørrelsesfraksjoneringen ved Bekkelaget renseanlegg

**Figur 4** viser en forenklet skisse av Bekkelaget renseanlegg. Prøvetakingspunktene er markert med røde kryss. Det ble tatt prøver fra innløpet, fra ristgods samlet opp på de 6 mm ristene, sedimentert materiale samlet opp i sandfanget, ferdig behandlet og avvannet slam og renset avløpsvann før utslipp til fjorden. Innledningsvis ble det også tatt prøver av fettholdig flytslam fra fettfanget og inngående vann inn til forsedimenteringen, i tillegg til at flytende partikler i utgående renset vann ble skimmet av. **Tabell 1** viser en oversikt over hvilke tidsrom og under hvilke forhold det ble tatt inn prøver. **Figur 5** viser nedbørsforholdene, vannmengdetilførslene med overløp og avløpsmengdene gjennomgått full biologisk behandling under de ulike prøvetakingsperiodene.

Prøvetakingsprosedyrene er beskrevet i mer detalj i det følgende.

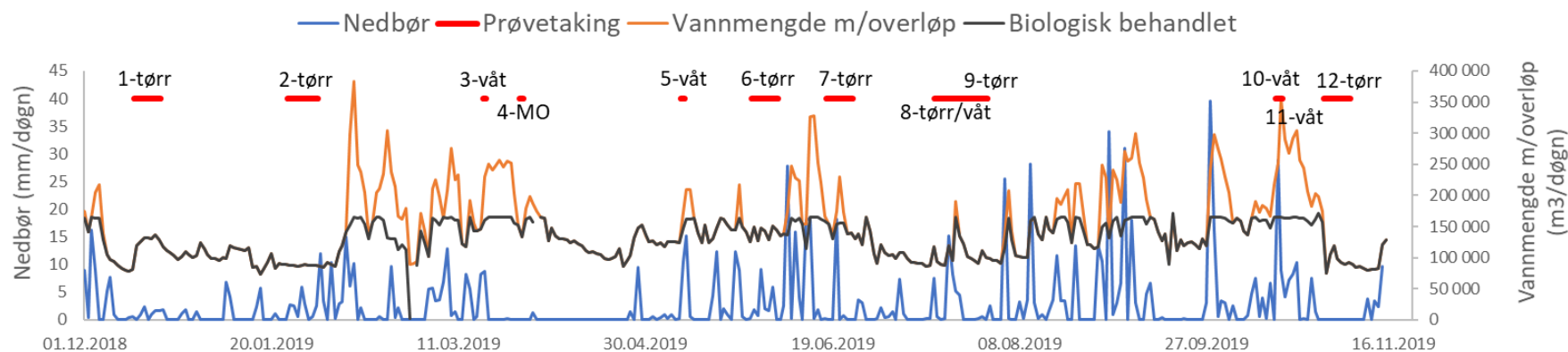


Figur 4. Flytskjema over Bekkelaget rensanlegg med oversikt over prøvetakingspunkter (merket med )

**Tabell 1.** Oversikt over prøvene som ble tatt inn i løpet av 2019 ved Bekkelaget renseanlegg for analyse av mikroplastpartikler.

Prøvetakingsperiode	Innløp	Rist	sand	Fettfang	Inn forsed.	Slam	Utløp	Utløp overflate
1. – tørrvær vinter	14.-21.12 (6,9 d)	27.-28.12	12.-18.12	-	-	14.-28.12	14.-21.12	18.12-2.1
2. – tørrvær vinter	24.1-1.2 (8,0 d)	14.-15.1	11.-24.1	-	-	22.1-4.2	22.-29.1	22.1-2.2
3. – kraftig nedbør vår	17.-18.3 (0,81 d)	Ikke tatt	16.-27.3	17.-18.3	17.-18.3	-	Ikke tatt*	-
4. – tømming MO	27.-28.3 (1,00 d)	27.-29.3	27.-28.3	27.-28.3	27.-28.3	-	-	-
5. – kraftig nedbør vår	9.-10.5 (1,00 d)	9.-10.5*	9.-10.5*	9.-10.5	9.-10.5	-	-	-
6. – tørrvær vår	28.5-4.6 (7,0 d)	28.5-4.6*	28.5-4.6*	28.5-4.6	28.5-4.6	28.5-4.6	28.5-4.6	-
7. – episodenedbør sommer	17.-24.6 (7,0 d)	17.-24.6*	17.-24.6*	17.-24.6	17.-24.6	19.-21.6	17.-24.6	-
8. – episodenedbør sommer	16.-23.7 (7,0 d)	16.-18.7	8.-15.7	-	-	16.-23.7	16.-23.7	-
9. – tørrvær sommer	23.-30.7 (7,0 d)	18.-24.7	15.-24.7	-	-	23.-30.7	23.-30.7	-
10. – kraftig nedbør høst	15.-16.10 (1,01 d)	14.-18.10	15.17.10*	-	-	-	15.-16.10	-
11. – kraftig nedbør høst	16.-17.10 (1,00 d)			-	-	-	16.-17.10	-
12. – tørrvær høst	28.10-4.11 (7,0 d)	-7.11	-6.11	-	-	29.10-4.11	28.10-4.11	-
13. – kraftig nedbør høst	-	-	-	-	-	-	27.11	-

\* Prøvetakingen ble startet opp for å fange opp utslipp under omstilt behandling, men prøvetakingen av både 20-300 µm-prøven, >300 µm-prøven og blankprøven stoppet opp en gang i løpet av natten av uvisse grunner.



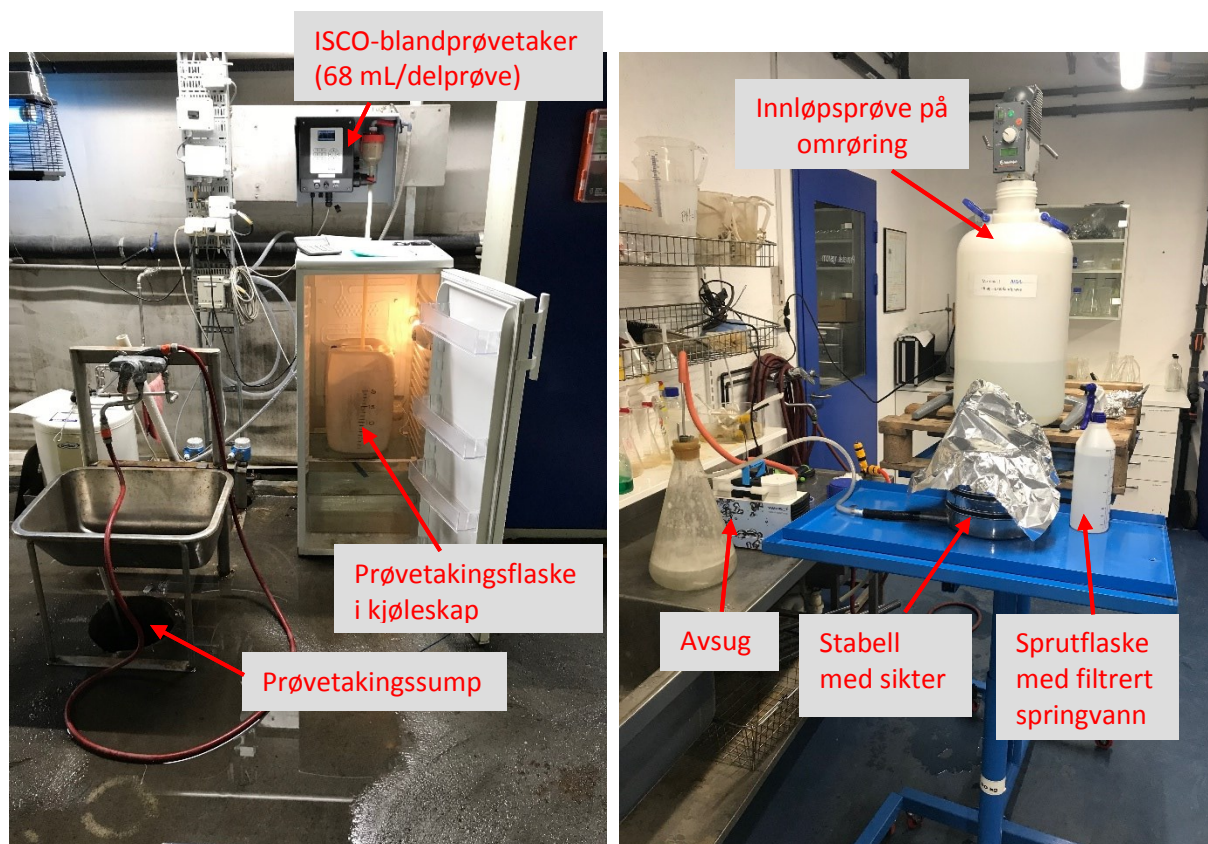
**Figur 5.** Oversikt over nedbørsforhold, vannmengdetilførsler med overløp og avløpsmengder gjennomgått full biologisk behandling under de ulike prøvetakingsperiodene ved Bekkelaget renseanlegg.



## 2.2.1 Prøvetaking av innløpsvann

### 2.2.1.1 Uttak av døgn og ukeblandprøver

Det ble tatt vannføringsproporsjonale døgnblandprøver ved hjelp av det fastmonterte automatiske blandprøvetakingsutstyret (MAXX) som BEVAS bruker til å foreta sin akkrediterte prøvetaking (venstre side i **Figur 6**). Døgnblandprøven ble samlet opp i plastdunken som normalt benyttes grunnet krav til homogenisering under videre uttak av prøve. Denne prøvetakingen ble gjennomført av BEVAS sitt personell (Tommy, Hilde eller Rebecca) etter gjeldende protokoll for akkreditert prøvetaking ved anlegget. Prøven ble videre overført til en egen plastdunk med tappekran i bunnen. Den samme dunken ble brukt ved all oppsamling av innløpsprøver, også ukeblandprøver, men godt spylt og vasket med varmt vann og skylt 3x med dobbeltfiltrert (10  $\mu\text{m}$ ) springvann mellom hver prøvetaking.



**Figur 6.** *Venstre side:* Fastmontert utstyr for automatisk prøvetaking av blandprøver. Døgnblandprøver av innløpsvann ble tatt med utstyret brukt av BEVAS til deres egne akkrediterte prøvetaking. *Høyre side:* Oppsats for størrelsesfraksjonering av partikler gjennom rustfrie stålsikter.

### 2.2.1.2 Størrelsesfraksjonering av partikler i størrelsesområdet 20-5000 $\mu\text{m}$

Dunken med innløpsprøve ble satt på omrøring for homogenisering, uttak av prøve til SS-analyse og siktet gjennom et sett med rustfrie stålsikter med den groveste sikten øverst; 5000  $\mu\text{m}$  – 1000  $\mu\text{m}$  – 300  $\mu\text{m}$  – 20  $\mu\text{m}$  (høyre side i **Figur 6**). Fra og med prøvetakingen 9.-10.5 ble avløpsvannet tilsatt en filtrert (GF/A-filtrer) laurylsulfat (SDS)-løsning for å lette siktingen/fraksjoneringen. Hver enkelt partikkel-fraksjon (20-300  $\mu\text{m}$ , 300-1000  $\mu\text{m}$  og 1000-5000  $\mu\text{m}$ ) ble overført til hvert sitt glødetesyltetøyglass, tilsatt rektifisert sprit for desinfisering og deretter SDS. Størrelsesfraksjoneringen ble deretter gjentatt ved å tilbakeføre partikkelen til de respektive siktene og vaske partikkelmaterialet

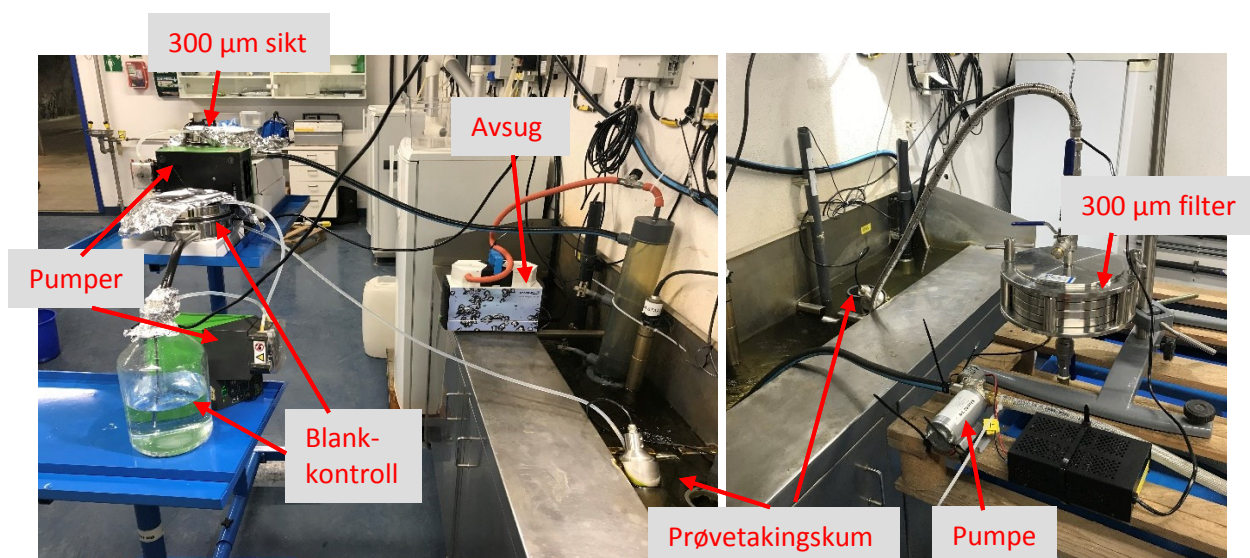
godt med filtrert springvann. Partiklene ble deretter tilbakeført til syltetøyglassene, som ble fraktet til NIVA og frosset ned ved  $-20^{\circ}\text{C}$  inntil videre bearbeiding. Alt utstyr som ville komme i kontakt med prøvevannet ble vasket og skylt grundig med filtrert springvann. Siktene ble forsøkt dekket til med aluminiumsfolie så mye som praktisk mulig under størrelsesfraksjoneringen.

Som blankkontroll ble en ren plastdunk fylt opp med ca. 20 L filtrert springvann og siktet gjennom en  $20\ \mu\text{m}$ -sikt. Oppsamlet materiale ble vasket med SDS og filtrert springvann på samme måte som prøven.

### 2.2.2 Prøvetaking av partikler $>300\ \mu\text{m}$ i utløpsvann

Det forventet lave innholdet av partikler i størrelsesområdet  $>300\ \mu\text{m}$  i rensed avløpsvann, gjorde det nødvendig å prøveta en større mengde utløpsvann ved hvert prøveuttak. Det ble satt opp utstyr for direkte sikting av utløpsvann der en peristaltisk pumpe kontinuerlig pumpet utløpsvann fra prøvetakingskummen til toppen av en  $300\ \mu\text{m}$ -sikt dekket med aluminiumsfolie (venstre side i **Figur 7**). Det ble altså tatt tidsproporsjonale blandprøver. Fram til og med 9. prøvetaking (23.-30.7) ble det pumpet ca. 200 mL/min (ca. 300 L/døgn; ca. 2000 L/uke). Deretter ble pumpehastigheten skrudd opp (skiftet pumpe) til ca. 850 mL/min (ca. 1200 L/døgn; ca. 8600 L/uke). Oppsamlet materiale på sikten ble overført til et glødet syltetøyglass, tilsatt rektifisert sprit for desinfisering og deretter SDS. Materialet ble deretter tilbakeføre til sikten og godt vasket med filtrert springvann. Partiklene ble deretter tilbakeført til syltetøyglasset, som ble fraktet til NIVA og frosset ned ved  $-20^{\circ}\text{C}$  inntil videre bearbeiding. Det ble kjørt en blankkontroll med filtrert springvann i parallell.

Under de to siste prøvetakingene (**Tabell 1**) ble også en alternativ lukket filteroppsats med et  $300\ \mu\text{m}$  stålfilter testet ut (høyre side i **Figur 7**). Dette filteret hadde også en større kapasitet og ble kjørt med en filtreringshastighet på 6900-7800 mL/min. Dette førte til at filteret også gikk langt fortere tett og kunne derfor ikke kjøres så lenge.



**Figur 7.** Oppsats for uttak av utløpsprøve og direkte partikkelstørrelsesfraksjonering av partikler  $>300\ \mu\text{m}$ . *Til venstre:* Oppsats benyttet i alle prøvetakingsperiodene ved uttak og direkte sikting gjennom en  $300\ \mu\text{m}$  rustfri stålsikt. Siktehastighet: 200-850 mL/min. Under de siste prøvetakingene ble suget kuttet ut da det viste seg unødvendig for å hindre gjentetting av sikten. *Til høyre:* Oppsats med  $300\ \mu\text{m}$  rustfritt stålfilter benyttet i parallell ved de to siste prøvetakingene av utløpsvann. Filtreringshastighet: 6900-7800 mL/min.

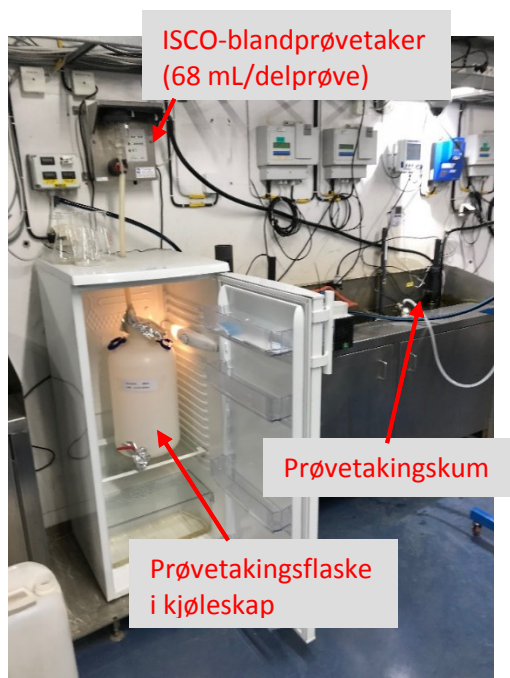
## 2.2.3 Prøvetaking av partikler i størrelsesområdet 20-300 $\mu\text{m}$ i utløpsvann

### 2.2.3.1 Uttak av døgn- og ukeblandprøver

For prøvetaking av partikler i størrelsesområdet 20-300  $\mu\text{m}$  i utløpsvannet ble det som for innløpsprøvene tatt vannføringsproporsjonale døgn- og ukeblandprøver. Dette ble gjort ved hjelp av det fastmonterte automatiske blandprøvetakingsutstyret (Bühler 1027) som BEVAS av og til bruker til å ta prøver fra innløpet til biotrinnet og direkte til en egen plastdunk med tappekran i bunnen (**Figur 8**). Frekvensen ble stilt inn av BEVAS sitt personell, men selve prøvetakingen ble startet og avsluttet av NIVA. Den samme dunken ble brukt ved all oppsamling av utløpsprøver, men godt spylt og vasket med varmt vann og skylt 3x med dobbeltfiltrert (10  $\mu\text{m}$ ) springvann mellom hver prøvetaking.

### 2.2.3.2 Størrelsesfraksjonering av partikler i størrelsesområdet 20-300 $\mu\text{m}$

Dette ble gjort på samme måte som for uttak og størrelsesfraksjonering av partikler i innløpsprøvene (se **Seksjon 2.2.1**) med unntak av at her ble det kun benyttet to sifter; 300  $\mu\text{m}$  på topp og 20  $\mu\text{m}$  i bunn.

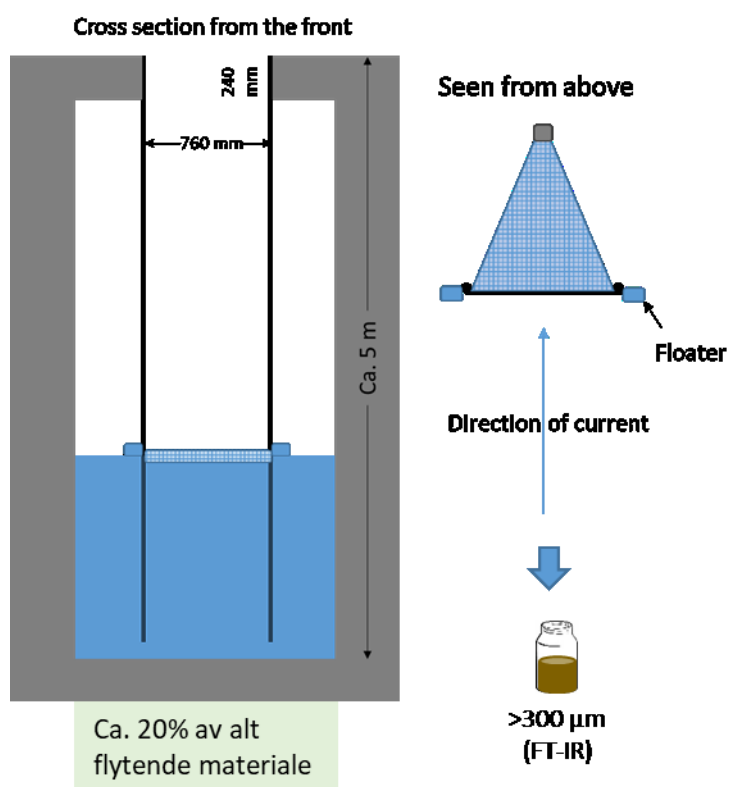


**Figur 8.** Fastmontert automatiske blandprøvetakeren brukt til å ta ut vannføringsproporsjonale døgn- og ukeblandprøver fra utløpet.

## 2.2.4 Prøvetaking av flytende partikler i utgående rensed vann

Det ble laget en spesialdesignet prøvetaker for å skimme av eventuelle partikler  $>300 \mu\text{m}$  som fløt på overflaten av det rensede vannet som gikk gjennom utløpskanalen (**Figur 9**). Oppsamlingen og vaskingen av oppsamlet materiale er vist i **Figur 10**. Det viste seg vanskelig å estimere hvor mye vann som ble ledet gjennom sikten, da vannet ble delvis bremset opp og en viss delstrøm gikk ut på sidene. Denne prøvetakingen ble derfor stoppet etter to forsøk.





**Figur 9.** Spesialdesignet prøvetaker for å ta ut flytende partikler i utløpskanalen.



**Figur 10.** Oppsamling og vasking av materiale akkumulert i den spesialdesignet prøvetaker for å ta ut flytende partikler i utløpskanalen.

## 2.2.5 Prøvetaking av ristgods og sand

### 2.2.5.1 Uttak av stikk- og blandprøver

De fleste prøvene av ristgods og sand fra sandfanget ble tatt som blandprøver satt sammen av ca. 20 stykk stikkprøver tatt fra ulike punkter rundt haugen med materiale umiddelbart etter dumping ute på Lindum utenfor Drammen (to første prøvetakingsperiodene) eller på ROAF ved Skedsmokorset (**Figur 11**). Ved uttak av stikkprøver av sand ble det benyttet et godt vasket og skylt rustfritt metallrør med en indre diameter på 2,54 cm (1"), som ble stukket opp til 0,5 m inn i haugen med sand for hver stikkprøve. For uttaket av stikkprøver av ristgods ble det brukt litt ulikt utstyr fra gang til gang, men utstyret var enten i tre eller i metall og alltid godt vasket og skylt i filtrert springvann eller filtrert RO-vann. Stikkprøvene ble overført til en godt vasket og skylt 10 L metallbøtte (ca. halvfull med ristgodt), dekket til med aluminiumsfolie og kjørt tilbake til Bekkelaget renseanlegg for homogenisering. Dette ble gjort ved å røre godt rundt i ca. 1 min med en godt vasket og skylt rørestav i rustfritt stål (høyre side i **Figur 12**). Det ble tatt ut en blandprøve på 100-200 g sand eller ristgods, som ble overført til et glødet syltetøyglass. Det ble også tatt ut en delprøve for bestemmelse av tørrstoff og glødetap ved hver prøvetaking.

Kjøringen av sand- og ristgods skjer kun ved behov (når kontainerne er mer eller mindre fulle), og det kan gå alt fra 1 dag til 2 uker mellom hver kjøring (hyppigere kjøring av ristgods enn sand). Det kan også gå flere dager mellom henting av hver enkelt kontainer til den deponeres. Ved prøvetaking av sand og ristgods under kraftig nedbør ble det vurdert viktig å isolere prøvetakingen til kun å omfatte perioden med uttak av innløpsprøve, og prøvetakingen ble derfor gjennomført på renseanlegget ved å ta ut 5-6 stikkprøver direkte fra nedkastet til den enkelte kontaineren.



**Figur 11.** *Venstre side:* Det ble tatt ut stikkprøver av ristgods fra ca. 20 ulike punkter rundt haugen med ristgods umiddelbart etter dumping av ristgodskontaineren. Her på Lindum. *Høyre side:* Også av sand ble det tatt stikkprøver fra ca. 20 ulike punkter rundt haugen med sand umiddelbart etter dumping av kontaineren med sand. Her ble det benyttet et metallrør. Stikkprøvene ble overført til en godt vasket og skylt bøtte i rustfritt stål og dekket til med aluminiumsfolie.

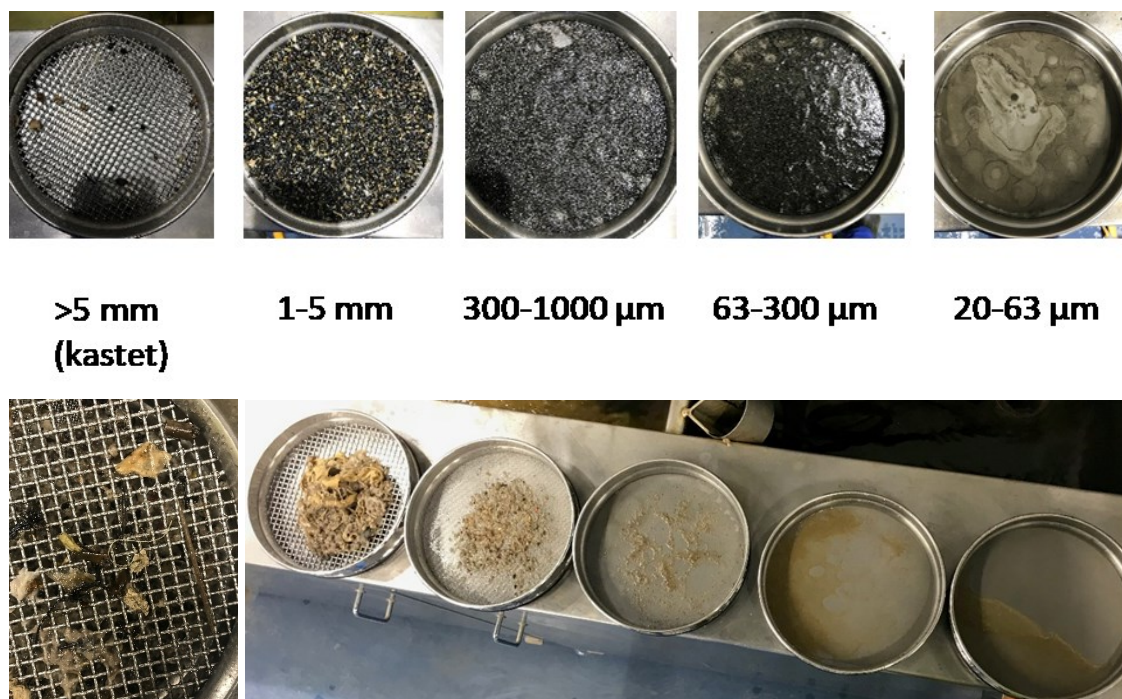


**Figur 12.** *Venstre side:* Under kraftig nedbør ble stikkprøvene av sand og ristgods tatt direkte fra nedfallet til den respektive kontaineren. *Høyre side:* Stikkprøvene ble blandet sammen i en rustfri stålbøtte ved hjelp av en rørestav i rustfritt stål ved å røre godt om i ca. 1 min.

#### 2.2.5.2 Størrelsesfraksjonering av partikler i størrelsesområdet 20-5000 $\mu\text{m}$

Til sammen 30-200 g våtvekt sand eller 50-200 g våtvekt ristgods ble størrelsesfraksjonert som beskrevet i **Seksjon 2.2.1.2**. For å lette siktingen ble sanden eller ristgods fraksjonert i mindre porsjoner. For sand var denne mengden opp til 30-50 g, mens den var ca. 20-30 g for ristgods. Den store mengden filtmaterialie i ristgodset gjorde det veldig krevende å sikte ristgods. Ristgodset ble derfor blandet ut i filtrert springvann, godt omrørt og vannet filtrert gjennom sikttoppsatsen for å fange opp frigitte partikler. Dette ble gjentatt 3-4 ganger for hver delmengde ristgods før resten av ristgodset ble overført til den øverste risten og vasket på vanlig måte. Vaskeprosessen ble utbedret gjennom de første prøvetakingsrundene, men det var først når SDS ble brukt i vaskeprosessen at vaskeprosessen ble opplevd som særlig effektiv, noe som er illustrert med den betydelig mindre mengden restristgods på 5000- $\mu\text{m}$ -sikten etter fullført vasking vist nedre del av **Figur 13**.





**Figur 13.** Resultatet etter størrelsesfraksjonering av ca. 100 g sand (øverst) og ca. 50 g ristgods (nederst) ved sikting gjennom først 5000 µm, deretter 1000 µm, 300 µm, 63 µm og 20 µm. Bildet lengst til venstre nede viser restmengden ristgods (dvs. det som kastes) etter grundig vasking av prøvematerialet med SDS-såpe (f.o.m. prøvetakingen 9.-10.5.19), mens de øvrige siktene viser fordelingen av ristgods ved første prøvetaking der SDS ikke ble benyttet i vaskeprosessen.

## 2.2.6 Prøvetaking av materiale fra fettfanget

### 2.2.6.1 Uttak av blandprøver

En opsjon i tilbudet NIVA sendte inn inkluderte prøvetaking fra fettfanget og innløpet til forsedimenteringen. Det kunne bli aktuelt å ta prøver herfra for, om nødvendig, å korrigere estimatene for tilførselene inn til renseanlegget under kraftig nedbør basert på innløpsprøvene alene. Behovet skulle vurderes på bakgrunn av resultatene fra de to første prøvetakingene. Nå tok det uforholdsmessig lang tid å få disse resultatene på plass, men det ble derfor bestemt å ta ut prøver likevel og analysere disse hvis det senere viste seg nødvendig.

Prøvene fra fettfanget ble tatt som blandprøver fra begge linjene, der en metallrive ble brukt til å homogenisere materialet som hadde samlet seg opp i pumpesumpen over natten (**Figur 14**). Hver av pumpesumpene hadde et volum på ca. 560 L (lengde 248 cm, bredde 45 cm, dybde 50 cm). Fra disse ble det til sammen fylt opp en bønne med fettrikt slam, som ble forsøkt homogenisert så godt som mulig før en delprøve på ca. 200 g.

### 2.2.6.2 Størrelsesfraksjonering av partikler i størrelsesområdet 20-5000 µm

Størrelsesfraksjoneringen ble gjort som beskrevet for ristgods i **Seksjon 2.2.5.2**.



**Figur 14.** Bilder fra uttak av prøve fra fettfang. Riven ble brukt til å homogenisere oppsamlet materiale i pumpesumpen før uttak av prøven.

### 2.2.7 Prøvetaking av innløpet til forsedimenteringen

Samtidig med at det ble tatt prøver fra fettfanget ble det tatt prøver fra innløpet til forsedimenteringen. Dette ble gjort med en automatisk blandprøvetaker (ISCO) med 50 mL uttak hvert 4 min, slik at det ble tatt ut en tidsintegrert blandprøve over ett døgn. Det viste seg vanskelig å få tatt ut gode prøver, da den store mengden papir i vannet hadde en tendens til å blokkere diffusoren (**Figur 15**).



**Figur 15.** Store mengder papir ga tidvis utfordringer med å ta ut representative prøver fra innløpet til forsedimenteringen.



## 2.2.8 Prøvetaking av slam

### 2.2.8.1 Uttak av stikk- og blandprøver

Prøvetakingen av slam ble tatt ut som daglige stikkprøver fra enden av én av sentrifugene på ukedagene under de ukelange tørrværsprøvetakingsperiodene. Prøvene ble frosset ned umiddelbart etter uttak. Denne prøvetakingen ble gjort av personell ved BEVAS (Tommy Angeltvedt, Hilde Tsui, Jessica Gunnarsson). Det ble laget blandprøver av stikkprøvene etter at de hadde tint over natten. For de første prøvetakingene tilsvarte mengden materiale fra hver enkelt stikkprøve som ble lagt inn i blandprøven forholdet mellom slamproduksjonen døgnet som prøven ble tatt ut på. Ved senere prøvetakinger ble det tatt like store mengder materiale fra hver enkelt prøve.

Det ble vurdert å forskyve prøvetakingen av slam i tid for å justere for slamalderen på biotrinnet (ca. 10 døgn) og oppholdstiden i råtnetankene (ca. 2 uker). Imidlertid er det en ukjent andel av mikroplasten som følger andre interne strømmer inne på anlegget (f.eks. tas opp direkte i primærslammet eller går tilbake til biotrinnet via rejektvannet fra slamavvanningen), som gjør det usikkert hvor mye prøvetakingen burde forskyves i tid. Samtidig, det som i praksis skjer er en betydelig utjevning av fluktuationene i mengdene mikroplast i innløpet. Det ble derfor antatt at det under normale tørrværsbetingelser skjedde mindre endringer fra uke til uke, slik at en ukeblandprøve av innløpet under slike forhold utjevnet døgnvariasjonene gjennom en uke, mens slammet i utgangspunktet var tilsvarende utjevnet under vann- og slambehandlingen. Slam ble derfor heller ikke tatt ut i forbindelse med kraftig nedbør.



**Figur 16.** Uttak av stikkprøve fra luke i én av sentrifugene. I løpet av prøvetakingsperioden ble sentrifugene skiftet ut, så uttak ble da gjort fra tilsvarende luke på én av de nye sentrifugene.

### 2.2.8.2 Størrelsesfraksjonering av partikler i størrelsesområdet 20-5000 $\mu\text{m}$

Dette ble gjort som beskrevet for sand i **Seksjon 2.2.5.2**.

## 2.3 Modellering av spredning av mikroplastpartikler $>300 \mu\text{m}$

### 2.3.1 Beregning av innlagingsdypet

Drift og sedimentering av mikroplastpartikler i utslippsvannet fra Bekkelaget renseanlegg ble simulert. Merk: Det ble tatt utgangspunkt i utslippsarrangementet slik det var fram til 2014; utslippet skjedde via utslippsledninger til et punkt i Bekkelagsbassenget ( $\text{Ø}10.7582$ , N59.8830) og angitt å ha en radius på 50 meter. Se **Figur 17**. Innlagingsdypet ble beregnet med programmet Visual Plumes

der det ble antatt et kontinuerlig utslipp på 1,5 m<sup>3</sup>/s på 50 m dyp, samt at det ble tatt hensyn til seks dybdeprofiler målt i 2014. Dette ga to ytterpunkter for innlagringsdypet:

1. Grunnest innlagringsdyp på våren (mai) med senteret av utslippsskya på 18 meters dyp, og der øvre del av skya nådde 1 m dyp og nedre del nådde 35 m dyp.
2. Dypeste innlagringsdyp på høsten (oktober) med senteret av utslippsskya på 32 meters dyp, og der øvre del av skya nådde 16,5 m dyp og nedre del nådde 47,5 m dyp.

Det ble benyttet en normalfordeling (Gaussisk fordeling) av innlagringsdypet i de videre simuleringene av driften av mikroplastpartiklene.

### 2.3.2 Simulering av drift og utsynking av mikroplastpartikler

To eksperimenter for simulering av driften av mikroplast ble satt opp med utgangspunkt i de to scenarioene av innlagringsdyp. Driften ble beregnet med Python-pakken OpenDrift (Langransk partikkeldrift) koblet med en egen individ-basert modell (IBM) for mikroplast utviklet for dette prosjektet. Koden for partikkelsporingene er tilgjengelig på Github:

[https://github.com/trondkr/Bekkelaget\\_microplast](https://github.com/trondkr/Bekkelaget_microplast).

De dynamiske fysiske forholdene i Oslofjorden ble beregnet av met.no modell for Oslofjorden – FjordOS. FjordOS modell feltene ble lastet ned fra det operasjonelle arkivet til met.no, som er tilgjengelig på thredds-server. Filene inneholder modellerte felter av fysikken for Oslofjorden på 1 times oppløsning. Hver enkelt fil inneholder 24 timer med simuleringer og er på 3.5 GB. Feltene måtte konverteres fra NetCDF4 til NetCDF4\_classic slik at OpenDrift kunne lese inputfilene<sup>2</sup>.

Mikroplast IBM modulen beregner den vertikale posisjonen i dypet for hver enkelt partikkel som en funksjon av partikkelens synkehastighet (**Tabell 2**), turbulens og vertikal adveksjon. Den horisontale adveksjonen av partikkelen beregnes på bakgrunn av strømhastighetene. Informasjon for de oseanografiske forholdene som partiklene opplever leses fra FjordOS modell-resultatene (met.no) og benyttes til å beregne partikkeldriften.

Når partiklene slippes ut på et gitt dyp vil de starte å synke med en gang, da oppdriften er satt negativ for alle partiklene. Dersom en partikkel kom innenfor 10 cm fra bunnen ble den definert som sedimentert. Det ble beregnet drift og sedimentering av mikroplast fra Bekkelagets utslippspunkt over en periode på 7 dager (1.7.2019-7.7.2019). Det ble gjort simuleringer med både 500 partikler og 5000 partikler, men kun resultatene fra simuleringene med 500 partikler blir presentert (se **Seksjon 3.8.1**) da det er mye raskere å gjøre analytiske beregninger på disse. Det var ingen store avvik mellom simuleringene gjort med 500 partikler og de med 5000 partikler.

**Tabell 2.** Synkehastigheter av mikroplastpartikler av forskjellig størrelse.

Synkehastigheter (m/s)		
-0.0005	-0.005	-0.01

<sup>2</sup> Script: <https://gist.github.com/trondkr/fbe80d707555d864d76b73570b0b54b5>

## 2.4 Prøvetaking og partikkelstørrelsesfraksjonering av sedimentprøver fra Indre Oslofjord

### 2.4.1 Uttak av toppsedimentprøver

Det ble tatt ni stikkprøver av toppsediment ved ni ulike stasjoner i området rundt utslippet av rensed avløpsvann fra Bekkelaget rensanlegg 22.10.2019 (kl. 10:45-13:40). Se **Figur 17**. Posisjonen for hver stasjon ble krysspeilet ved hjelp av holdepunkter på fastlandet og omkringliggende øyer, mens ekkoloddet i båten ble brukt til å justere posisjonen ytterligere. Koordinatene for antatt posisjon og dybden ved prøveuttaket (målt med snoren på prøvetakeren) er angitt i Antatt Ved de fleste stasjonene (1-6 og 9) ble prøvene hentet opp med en kjerneprøvetaker, og de øverste 5 cm av sedimentkjernen ble skjøvet over i syltetøyglasset. Ved stasjon 7 og 8 var grunnforholdene sterkt preget av sandholdig materiale (stasjon 7 er i midten av det sanddekkede deponiområdet ved Malmøykalven), så prøvene ble tatt ut med grab. Også her ble de øvre 5 cm av sedimentet forsøkt prøvetatt. Prøvetakingsutstyret ble skylt godt med sjøvann mellom hver prøvetaking.

En delprøve av hver stikkprøve ble tatt ut for bestemmelse av tørrstoff og glødetap (se **Seksjon 2.5**). Resten av hver prøve ble frosset ned før frysetørking.



**Figur 17.** Prøvetakingsstasjoner i området rundt utslippet av rensed avløpsvann fra Bekkelaget rensanlegg. Utslippsledningene er markert med røde linjer.

**Tabell 3.** Koordinater for antatt posisjon av stasjon for prøvetaking av sediment og dybden ved prøveuttaket målt med snoren på prøvetakeren.

Punkt	Koordinater (EU89, UTM-sone 32)	Dybde (m)	Beskrivelse av prøven
1	N6639620.1; Ø598243.95	54	Grå, fast, mye børstemark
2	N6639553.12; Ø597769.68	53	Lys grå, leirete, fast, noen børstemark
3	N6639336.36; Ø596990.56	60	Svart, fast, H <sub>2</sub> S
4	N6640229.15; Ø596652.01	35	Grå, relativt fast
5	N6639100.45; Ø596497.14	54	Mørk grå, veldig løst øvre 10 cm
6	N6638763.72; Ø597639.71	63	Svart, relativt fast
7	N6637515.89; Ø596874.64	64	Grå, mye grus
8	N6636462.5; Ø597665.65	64	Mørk grå, sandig, men relativt fast
9	N6638596; Ø597195.83	67	Svart, relativt fast

### 2.4.2 Størrelsesfraksjonering

Størrelsesfraksjoneringen ble gjort på frysetørket materiale og ble gjort som beskrevet for sand i Seksjon 2.2.5.2.

## 2.5 Bestemmelse av tørrstoffinnhold og innhold av organisk stoff

Tørrstoffinnholdet ble bestemt i alle prøver:

- Suspendert stoff (SS) ble bestemt i alle vannprøver (innløpsprøver og utløpsprøver tatt med automatisk prøvetaker, samt innløpsprøver til forsedimenteringen) ved filtrering av et kjent volum prøve gjennom et tørket og for-veid membranfilter (GF/C), filteret tørket ved 105°C i minimum 2 timer, avkjølt og deretter veid. SS-konsentrasjonen ble beregnet som økningen i vekt per liter filtrert prøve.
- Tørrstoffinnholdet i alle faste prøver (sand, ristgods, slam, fettfang, sediment) ble bestemt ved tørking av en kjent mengde prøve ved 105°C over natten og deretter veid. Tørrstoffinnholdet ble beregnet som forholdet mellom tørrvekten til materialet og den opprinnelige mengden våtvektmateriale.

Glødetapet er et mål på mengden organisk stoff i prøven. Glødetapet ble bestemt i alle sand-, ristgods-, slam- og sedimentprøver og ble bestemt ved å måle vekttapet ved avbrenning ved 550°C i 1-2 timer av det resterende materialet i prøven etter tørrstoffbestemmelse. Glødetapet er beregnet som forholdet mellom vekttapet og prøvens tørrvekt.

## 2.6 Klargjøring av prøver for karakterisering og analyse av mikroplast

### 2.6.1 Frysetørring og utveiing av delprøver

Nedfrosne størrelsesfraksjonerte prøver ble frysetørket i prøveglassene over 2-4 døgn inn til de var helt tørre. Aluminiumsfolien og lokket ble lagt løst over syltetøyglasset for å minimere risikoen for krysskontaminering, men samtidig sørge for at materialet ble tørket godt.

Etter frysetørringen ble alt materialet veid. Dette ble gjort i en LAF-benk (laminær utstrømmende luft) for å minimere risikoen for kontaminering. Mengden ble bestemt ved å måle vekten av glasset

uten lokk/Al-folie men med materialet, overføre materialet til Al-folien inne i lokket og måle vekten av det tomme glasset. Vekten av materialet ble beregnet som differansen mellom glasset med materialet og det tomme glasset. Materialet ble tilbakeført til syltetøyglasset.

Uttak av delprøver ble gjort ved å overføre en passe mengde av materialet fra syltetøyglasset til et eppendorf-rør og vektøkningen til røret benyttet som uttatt mengde delprøve.

### 2.6.2 Fjerning av organisk stoff med $H_2SO_4$ og/eller $H_2O_2$

For å forenkle identifiseringen og bestemmelsen av mikroplast i delprøvene var det behov for å fjerne organisk stoff, og ikke minst cellulosefibre. Dette gjelder spesielt innløpsprøver og ristgodsprøver, som inneholder ekstremt mye toalett-papir (**Figur 18**).



**Figur 18.** Cellulosefibre som dekker filterpapiet etter behandling av en innløpsprøve med 30%  $H_2O_2$ . Et enkelt blått mikroplastfiber kan skimtes gjennom og mellom cellulosefibrene.

Det ble lagt ned en betydelig innsats for å fjerne cellulose. Det viste seg at de vanlige metodene som benyttes for å fjerne organisk stoff, og som samtidig er skånsomme mot de mange ulike plastpolymerene som benyttes, tilsynelatende ikke fjernet noe cellulose. Flere aktuelle metoder ble derfor testet i tillegg. Følgende metoder ble testet uten hell:

- $H_2O_2$  (ulike tidslengder og gjentatte eksponeringer)
- $H_2O_2$  og  $FeSO_4$  (Fentons reagens)
- Enzymet cellulase (ulike konsentrasjoner, tidslengder og gjentatte eksponeringer)
- Cellulase etterfulgt av  $H_2O_2$
- Creon-behandling (enzymblanding av protease, amylase og lipase)
- $H_2SO_4$  (konsentrasjoner fra 50-75%)

Det som til slutt viste seg å være effektivt var 75%  $H_2SO_4$  i 60 min etterfulgt av 30%  $H_2O_2$  i 24 timer.

Det er viktig å være klar over at konsentrert  $H_2SO_4$  utvikler betydelig med varme ved fortynning med vann (temperaturen bør ikke overstige  $60^\circ C$ ), og det er derfor viktig å kjøle ned  $H_2SO_4$ -løsningen før den benyttes. All  $H_2SO_4$  bør derfor fjernes før  $H_2O_2$ -løsningen tilsettes prøvene.

#### Proseduren

Alle prøvene, med unntak av utslippsprøvene, ble behandlet med 15 mL 75%  $H_2SO_4$  i 60 min på risting i romtemperatur. Etter dette ble alt prøvematerialet filtrert gjennom et 27  $\mu m$  stålfiler for å fjerne svovelsyre og stålfileret med materialet ble skylt godt med filtrert destillert vann for å fjerne alle rester av svovelsyre. Stålfileret med materialet ble deretter overført tilbake til eppendorf-røret og tilsatt 15 mL 30%  $H_2O_2$  og satt i inkubator på risting (125 rpm) i 24 timer. Utslippsprøvene ble kun behandlet med 30%  $H_2O_2$  i 24 timer. All håndtering av prøvene ble gjort i LAF-benk for å minimere risikoen for kontaminering.

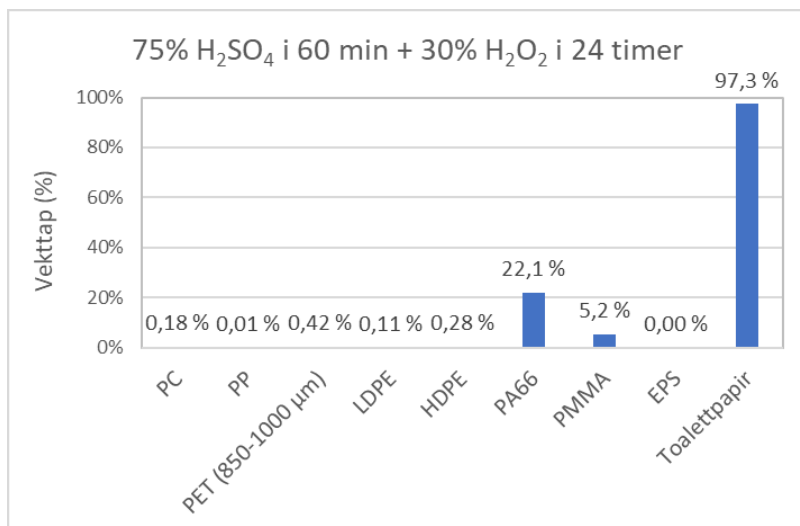
Det ble gjennomført en kontrolltest for å undersøke hvordan ulike typer plastpolymere eventuelt ble påvirket av behandlingen med  $H_2SO_4$  og  $H_2O_2$ . Testen ble gjort ved å eksponere tre stykk mikroplastpartikler (eller tilsvarende mengde fiber) av hver av åtte vanlig brukte polymertyper (**Tabell 4**) for den samme behandlingen som delprøvene ble utsatt for. Effekten ble undersøkt ved å måle vekttapet til partiklene. Toalettpapir ble benyttet som cellulose-referanse. Flere av polymerene er oppgitt å ikke være helt bestandige mot sterk svovelsyre (**Tabell 4**), men eksponeringstiden er ukjent.

**Tabell 4.** *Polymere benyttet i testingen av behandlingene benyttet for å fjerne organisk stoff; forventet bestandighet mot svovelsyre (Bürkle GmbH, 2019).*

Polymer	Type partikkel	Startvekt	Forventet $H_2SO_4$ -bestandighet ( $20^\circ C$ )	
		mg	60%	80%
Polykarbonat (PC)	Kule	65,96	Delvis bestandig	Delvis bestandig
Polypropylen (PP)	Kule	85,57	Bestandig	Bestandig
Polyester (PET)	Fiber	50,60	Antatt ikke best.	Ikke bestandig
Polyetylen med lav tetthet (LDPE)	Kule	78,78	Bestandig	Bestandig
Polyetylen med høy tetthet (HDPE)	Kule	79,35	Bestandig	Bestandig
Polyamid (PA66)	Kule	45,64	Ikke bestandig	Ikke bestandig
Polymetylmetakrylat (PMMA)	Kule	63,49	Ukjent	Ukjent
Ekspandert polystyren (EPS)	Kule	1,32	Så å si bestandig	Delvis bestandig

Resultatene fra testen er oppsummert i **Figur 19**: Cellulosefibrene i toalettpapiret hadde helt forsvunnet (de resterende 2,7vekt% er innenfor usikkerheten til målemetoden). For de fleste plastpolymerene ble det ikke registrert noe signifikant vekttap under behandlingen, men partiklene av polyamid og PMMA ble tydelig påvirket med vekttap på hhv. 22,1% og 5,2%. Flere av polymerene er kjent å ikke være helt bestandige mot sterk svovelsyre, og polyamid er én av disse (PMMA ikke kjent) (**Tabell 4**). Også PET, PC og EPS er påvist å ha redusert bestandighet mot 60-80% svovelsyre (**Tabell 4**), men resultatene fra testen antyder at disse ikke ble signifikant negativt påvirket av testforholdene. Det kan være at den relativt korte eksponeringstiden på 60 min kan ha hatt noe å si.





**Figur 19.** Resultater fra bestandighetstest der partikler bestående av utvalgte vanlige plastpolymere ble eksponert for 75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i 60 min etterfulgt av 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i 24 timer. Toalett-papir ble benyttet som cellulose-referanse.

### 2.6.3 Tetthetsfraksjonering

Innledningsvis ble tradisjonell tetthetsfraksjonering i ferskvann (tetthet = 1,00 g/cm<sup>3</sup>) og natriumiodid (tetthet opp mot 1,8 g/cm<sup>3</sup>) benyttet. Når det viste seg nødvendig å behandle prøvene med 75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ble i stedet den høye tettheten til denne løsningen (1,53 g/cm<sup>3</sup>) benyttet som medium for tetthetsfraksjonering. Dette skjedde da i ett trinn før behandlingen med 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (se **Seksjon 2.6.2**), hvor man da endte opp med ett eppendorf-rør for den lette fraksjonen (<1,53 g/cm<sup>3</sup>) og ett eppendorf-rør for den tunge fraksjonen (>1,53 g/cm<sup>3</sup>). Alle slam, sand og sedimentprøver ble tetthetsfraksjonert. All tetthetsfraksjonering og filtrering av prøvene ble gjort i LAF-benk for å minimere risikoen for kontaminering.

### 2.6.4 Filtrering

Siste trinn av prøveopparbeidingen var filtrering av materialet ned på et filter. For størrelsesfraksjonene 300-1000 µm og 1-5 mm ble filtrert ned på et 47 mm GF/A-filter. Filtrert destillert vann ble brukt til å overføre alt materialet til filteret. Alt utstyr benyttet under filtreringen ble vasket med filtrert destillert vann før og mellom håndtering av nye prøver. Filtrene ble deretter satt til tork i lukkede petriskåler. All håndtering av prøvene og filtrene ble gjort i LAF-benk for å minimere risikoen for kontaminering.

### 2.6.5 Kontroll av hvor mye av MPP i uttatt vannprøve som blir gjenfunnet på filteret

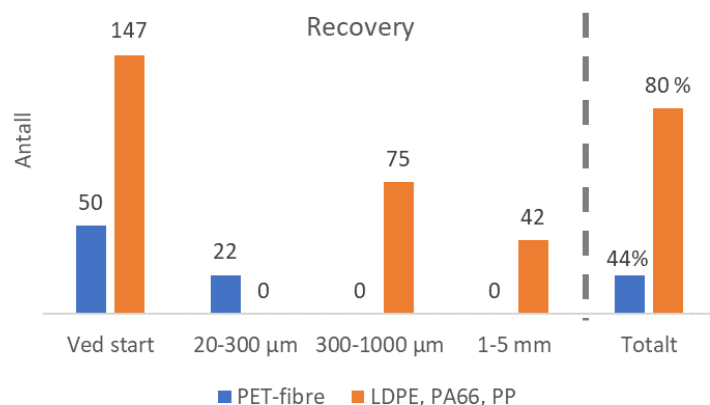
Det ble gjennomført en recovery-test for å undersøke hvor mange av eventuelle MPP i vannprøvene som kan forventes å bli tapt på veien; gjennom størrelsesfraksjoneringen på Bekkelaget renseanlegg, under den videre prøveopparbeidingen (behandling med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) og endelig under filtreringen. I testen ble det benyttet fire ulike partikler bestående av ulike polymere og med ulike størrelser (**Tabell 5**). Testen ble gjennomført ved at et kjent antall partikler av hver type ble plukket ut under lupe, tatt med til Bekkelaget renseanlegg og overført til en renvasket 25 L dunk med ca. 20 L filtrert springvann på omrøring. Deretter ble hele volumet størrelsesfraksjonert som beskrevet for

avløpsvannprøver i **Seksjon 2.2.1.2**. Innholdet i syltetøyglassene med hver av størrelsesfraksjonene 20-300 µm, 300-1000 µm og 1000-5000 µm ble deretter behandlet med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for fjerning av organisk stoff (se **Seksjon 2.6.2**) etterfulgt av filtrering (se **Seksjon 2.6.4**). Filtrene fra hver fraksjon ble deretter undersøkt under lupe og antallet MPP ble telt opp.

**Tabell 5. MPP brukt i recovery-testen.**

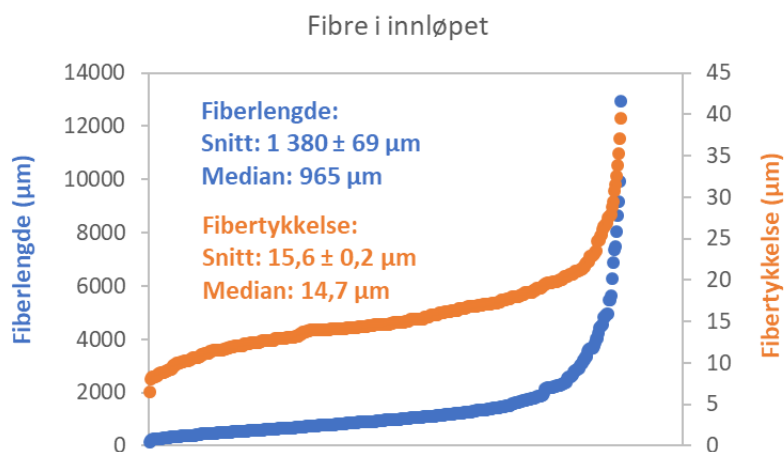
Polymertype	Partikkeltype	Størrelser	# ved start
PET	Fibre	Lengde: 807 (109-1876) µm Tykkelse: 16,1 (11,5-22) µm	50
LDPE	Granuler	Diameter: 493 ± 48	38
PA 66	Granuler	Diameter: 599 ± 64	59
PP	Granuler	Diameter: 387 ± 27	50
<b>Totalt</b>	-	-	<b>197</b>

Resultatene er oppsummert i **Figur 20** og viser at partiklene formet som fragmenter ble gjenfunnet i langt større grad enn PET-fibrene og alle på de to groveste siktene (300 µm og 1000 µm). Kun i underkant av halvparten av PET-fibrene ble gjenfunnet og alle på den fineste sikten (20 µm), noe som indikerer at mange fibre kan ha gått gjennom denne sikten. Mens fibrene hadde en lengde fra 110-1880 µm (median = 805 µm), var fibertykkelsen 12-22 µm (median = 16,8 µm). Resultatene fra de reelle prøvene antyder likevel at en betydelig andel av fibrene i dette størrelsessjiktet blir funnet på både 300 µm-sikten og 1000 µm-sikten (**Figur 21**), noe som sannsynligvis skyldes at det øvrige materialet i prøven påvirker hvor mange av fibrene som holdes tilbake på sikten.



**Figur 20. Resultater fra recovery-testen med mikroplastpartikler med fire ulike polymertyper.** Mikroplastpartiklene gjennomgikk størrelsesfraksjonering (20-300 µm, 300-1000 µm og 1-5 mm) på Bekkelaget renseanlegg, fjerning av organisk stoff ved behandling med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> og endelig filtrering ned på filterpapir. Partiklene av LDPE, PA66 og PP var alle granuler og er vist samlet, mens PET-partiklene var fibre og er vist alene.





**Figur 21.** Størrelsesdistribusjon av mikroplastfibre i innløpet til Bekkelaget renseanlegg basert på målt fiberlengde og fibertykkelse. Snittverdiene er oppgitt med usikkerhet i snittverdien.

## 2.7 Identifisering og fysisk karakterisering av presumptive mikroplastpartikler

### 2.7.1 Identifisering og kategorisering av presumptive mikroplastpartikler (p-MPP)

Alle filterene ble undersøkt ved en forstørrelse på 20-40X med et Nikon SMZ 745 stereo-mikroskop. Dette gir en nedre deteksjonsgrense på ca. 50 µm. Presumptive mikroplastpartikler (p-MPP) ble karakterisert fysisk ut fra form; fibre, fibernøster, tykke fibre (minimum tykkelse 30 µm), fragmenter, flak, kuler, skum og slitasjepartikler fra dekk. Se **Tabell 6**. Det er nødvendigvis også viktig å kunne skille ut partikler som ligner på mikroplastpartikler, men som ikke er det. I avløpsvann er dette gjerne naturfibre (hår, cellulose, ull, bomull, fibre fra mat) og ulike typer skall og frø fra mat. Manipulerte cellulosefibre ble imidlertid inkludert i partikkeltypen fibre. Siden de aller fleste prøvene ble behandlet med svovelsyre og hydrogenperoksid (**Seksjon 2.6.2**), vil sannsynligvis de alle fleste av naturfibre ha blitt fjernet fra prøvene før man kommer til dette punktet. Merk at det ble funnet en hel del manipulerte cellulosefibre, men nær sagt ingen rene cellulosefibre.

Under prosjektet ble det bygget opp en katalog over verifiserte MPP i kommunalt avløp med bilder og beskrivelse av disse, samt kriterier for å identifisere partikler av naturlig opprinnelse, slik at identifiseringen av p-MPP ble enklere og mer presis.

**Tabell 6.** Kategorier for presumptive mikroplastpartikler etter form.

Partikkelkategori	Eksempler
Fibre	<p>Microscopic images of four fiber types: Polyester 13 (thin, wavy), Cellulose 15 (thin, curved), Viscose 52 (thin, circular), and Acrylic 20 (thin, straight).</p>
Fibernøster	<p>Microscopic images showing three different types of fiber tangles or mats.</p>
Tykke fibre	<p>Microscopic images of thick fibers: Polyethylene (LDPE) 2 (translucent, irregular) and Polypropylene 5 (green, curved).</p>
Fragmenter	<p>Microscopic images of three fragments: Polyester 2 (blue, irregular), Polyethylene (LDPE) 3 (dark, irregular), and Polypropylene (dark, irregular).</p>
Flak	<p>Microscopic images of two flakes: Acrylic paint 21 (pink, irregular) and Poly(ethyl methacrylate) 6 (white, irregular).</p>
Kuler	<p>Microscopic images of three spherical particles: Ethylene-ethyl acrylate 11 (light blue), Poly(vinyl stearate) 73 (purple), and Ethylene-ethyl acrylate 10 (dark grey).</p>
Skum	<p>Microscopic images showing two different types of foam particles, appearing as porous, irregular structures.</p>
Dekslitasje	<p>Microscopic images showing dark, irregular debris. A scale bar at the bottom right indicates 1000 µm.</p>

### 2.7.2 Måling av partiklenes størrelse

Størrelsen til hver enkelt p-MPP i minst én av de parallelle prøvene ble målt ved hjelp av programmet Infinity Analyze (versjon 6.5.5, Luminera Corp.) ved å måle på bilder tatt av hver enkelt partikkel.

Følgende dimensjoner ble målt for de ulike partikkelkategoriene:

- Fibre: lengden og tykkelsen av selve fiberen
- Fibernøster: skjønnsmessig vurdering ut fra kompleksitet og samlet størrelse
- Tykkefibre: lengden og tykkelsen av selve fiberen
- Fragmenter: areal, bredde (korteste dimensjon), samt tykkelsen estimert som en andel av partikkelens bredde
- Flak: areal, samt tykkelsen estimert som en andel av partikkelens bredde
- Kuler: diameter (største og minste dimensjon)
- Skum: areal, samt lengde (lengste dimensjon) og bredde (korteste dimensjon) når skumpartikkelen ligger «normalt»
- Dekkslitasjepartikler: lengde (lengste dimensjon) og bredde (korteste dimensjon)

### 2.8 Verifisering av syntetiske polymere med FT-IR

Alle p-MPP i én delprøve fra alle innløpsprøvene, samt alle p-MPP i alle utløpsprøvene ble karakterisert kjemisk for å bestemme hva slags polymerinnhold de hadde. Dette ble gjort med Fourier-Transformert Infrarød Spektroskopi (FT-IR). Partikler større enn ca. 1000 µm ble karakterisert med en PerkinElmer Frontier universal-ATR (attenuated total reflectance) FT-IR med en diamant-celle eventuelt med et tilsvarende MicroNIR/Cary ATR FT-IR-instrument. Hver FT-IR-analyse gir et sett med spektrere, hvor hvert enkelt spekter blir sjekket av laboranten for matchende toppere. Instrumentet gir en HQ-score (Hit Quality fra 0-1, hvor 1 er 100 % match). Om en partikkel får en HQ på 0,9, men ikke matcher ordentlig på alle toppene, ser vi etter om det er et spekter med lavere HQ (0,7-0,8), som passer bedre.

p-MPP i øvrige delprøver ble vurdert på bakgrunn av resultatene fra de kjemisk karakteriserte partiklene i innløps- og utløpsprøvene.

### 2.9 Analyse av syntetiske polymere med pyrolyse-GC/MS

Det ble sendt inn prøver til Eurofins for analyse av plastpolymere i to omganger:

1) September 2019:

- 10 prøver: 20-300 µm og 300-1000 µm av innløp, 20-300 µm, 300-1000 µm og 1-5 mm av ristgods og sand og slam.
- Disse prøvene ble ikke behandlet med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, kun H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
- Det ble analysert for åtte ulike plastpolymere: polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylklorid (PVC), polyetylenetereftalat (PET), polyamid 6 (PA6), polymetylmetakrylat (PMMA) og polykarbonat (PC).

2) Juni 2020:

- 19 prøver: 20-300 µm og 300-100 µm innløp under normalvær, 20-300 µm innløp under kraftig nedbør, 20-300 µm sand og slam, 20-300 µm utløp under fullverdig behandling og under omstilt behandling.
- Alle innløps-, sand- og slamprøvene ble behandlet med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, mens utløpsprøvene ble kun behandlet med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
- Det ble analysert for de samme 8 plastpolymerene som i september i tillegg til at det ble analysert for dekkslitasjeindikatorerne polybutadien (PBD) og polyisopren (PIP).

- Pyrolyse-GC/MS-analysen ble nå kjørt med en innledende avbrenning av organisk stoff i prøvene med lavere tenningstemperatur enn plastpolymerene for å ytterligere redusere mengden av organisk materiale som ble kjørt inn på GC'n.

Det høye innholdet av organisk materiale i prøvene analysert i september 2019 skapte store problemer for Eurofins som gjennomførte analysen; de 10 prøvene som ble kjørt ble satt på fortløpende over én helg, men på grunn av det høye innholdet av organisk materiale ble sannsynligvis GC-kolonne sett relativt tidlig. Innløpsprøvene ble satt på først (20-300 µm, deretter 300-1000 µm), og det var klart flest kvantifiserbare resultater fra den aller første prøven. Prøvene analysert i juni 2020 med betydelig lavere innhold av organisk materiale, både på grunn av behandlingen med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> og den innledende avbrenningen før GC/MS-kjøringen analysen, ga langt mindre utfordringer under analyseringen av prøvene.

## 2.10 Hvordan beregningene er gjort

Det er en enorm stor naturlig variasjon i både form og størrelse på de ulike mikroplastpartiklene i avløpsvann. Samtidig utgjør prøvematerialet som analyseres kun en bitteliten del av alt materialet som prøven blir hentet fra. Det følger av dette at det først og fremst er gjennomsnittet og usikkerheten i dette som er av interesse. Det er derfor gjort en del pragmatiske tilnærminger og forenklinger for å styrke nettopp dette.

### 2.10.1 Beregning av antall MPP per m<sup>3</sup>, per døgn og per kg SS

Det ble analysert for MPP i opptil tre parallelle delprøver fra hver prøve.

#### Antallet MPP per m<sup>3</sup>

For å beregne hvor mange MPP i hver partikkelkategori det var i den opprinnelige prøven ( $N_{i,prøve}$ ) ble gjennomsnittet av antallet MPP identifisert i hver enkelt delprøve ( $N_{i,delprøve}$ ) vektet mot tørrstoffmengden i den respektive delprøven ( $M_{delprøve}$ ) multiplisert med den samlede tørrstoffmengden i den opprinnelige prøven ( $M_{prøve}$ ):

$$N_{i,prøve} = \frac{\sum_n N_{i,delprøve} n / M_{delprøve} n}{n} \cdot M_{prøve} \quad [1]$$

Her er  $i$  partikkelkategorien og  $n$  er antallet delprøver. Usikkerheten i denne verdien ( $U_{\#,i,prøve}$ ) ble beregnet ved å multiplisere standardavviket til det vektete snittet ( $STD(N_{i,delprøve} n / M_{delprøve} n)$ ) med den samlede tørrvektmengden i den opprinnelige prøven og dividere med roten av antallet delprøver og multiplisere dette igjen med et uttrykk som tar høyde for hvor stor andel av den totale prøven som ble analysert ( $\sqrt{1 - \frac{\sum_n M_{delprøve} n}{M_{prøve}}}$ ):

$$U_{\#,i,prøve} = \frac{STD(N_{i,delprøve} n / M_{delprøve} n) \cdot M_{prøve}}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\sum_n M_{delprøve} n}{M_{prøve}}} \quad [2]$$

For å beregne antallet MPP i hver partikkelkategori per m<sup>3</sup> avløpsvann ble antallet MPP i prøven dividert med mengden avløpsvann ( $V_{prøve}$ ; i m<sup>3</sup>) prøvematerialet var hentet ut fra:

$$N_{i,m3} = \frac{N_{i,prøve}}{V_{prøve}} \quad [3]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{\#,i,m3} = \frac{U_{i,prøve}}{V_{prøve}} \quad [4]$$

### **Antallet MPP per døgn**

For å beregne antallet MPP i hver partikkelkategori per døgn ( $N_{i,døgn}$ ) ble antallet MPP per m<sup>3</sup> avløpsvann multiplisert med døgngjennomsnittet av den totale avløpsmengden ( $\overline{V_{døgn}}$ ) som hadde passert i løpet av prøvetakingsperioden:

$$N_{i,døgn} = N_{i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \quad [5]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{\#,i,døgn} = U_{\#,i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \quad [6]$$

### **Antallet MPP per kg SS**

For å beregne antallet MPP i hver partikkelkategori per kg SS ( $N_{i,SS}$ ) ble antallet MPP per m<sup>3</sup> avløpsvann dividert med suspendert stoff-konsentrasjonen i avløpsvannet ( $C_{SS}$ ; i g/m<sup>3</sup>) og multiplisere dette med 1000 for å regne om til kg SS:

$$N_{i,SS} = \frac{N_{i,m3}}{C_{SS}} \cdot 1000 \quad [7]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{\#,i,SS} = \frac{U_{\#,i,m3}}{C_{SS}} \cdot 1000 \quad [8]$$

## **2.10.2 Beregninger av partikkelvolum**

### **$\mu\text{L MPP per m}^3$**

For å beregne det samlede volumet av partikler innen de ulike partikkelkategoriene i en prøve ( $V_{i,prøve}$ ) ble det først estimert en gjennomsnittsstørrelse for de confirmerte partiklene innen hver partikkelkategori ( $\overline{V}_i$ ) og så ble denne gjennomsnittsstørrelsen multiplisert med antallet partikler innen partikkelkategorien i prøven:

$$V_{i,prøve} = \overline{V}_i \cdot N_{i,prøve} \quad [9]$$

Formlene som ble benyttet til å beregne volumet til hver av de confirmerte partiklene innen de ulike partikkelkategoriene er vist i **Tabell 7**. Partikler innen enkelte kategorier (**Tabell 6**) er relativt enkle å

estimere volumet til; dette gjelder typisk fibre, tykke fibre og kuler. Fibrene har jevn tykkelse ( $T$ ) og en definert lengde ( $L$ ), mens kulene er tilnærmet sfæriske. Her er gjennomsnittet av største ( $D_1$ ) og minste ( $D_2$ ) kulediameter lagt til grunn. Dekkslitasjepartiklene har mer ujevn form, men som en hovedregel ligner de avlange pølser, og det er derfor brukt samme formel for å beregne volumet av disse som for fibre. Fragmentene kommer i svært mange irregulære former som gjør det vanskelig å finne en generell volumformel. Som en pragmatisk tilnærming ble derfor volumet beregnet ved å multiplisere arealet (sett ovenfra) med halvparten av den minste dimensjonen ( $D_2$ ). Samme formel ble benyttet for skumpartiklene. Det er også krevende å beregne volumet til flakene, da også disse også ofte har irregulære former og kan være foldet. Det kan også være vanskelig å bestemme deres faktiske tykkelse. Som en pragmatisk tilnærming ble volumet beregnet ved å multiplisere målt areal ( $A$ ) (sett ovenfra) med omtrentlig tykkelse av flaket. Likevel er det kanskje mest krevende å bestemme volumet til fibernøstene. Her ble det gjort en skjønnsmessig vurdering i hvert enkelt tilfelle;

- hvis det var mulig å estimere et omtrentlig antall fibre ( $N_{fibre}$ ) som var med i nøstet, ble det totale volumet estimert ut fra dette antallet multiplisert med gjennomsnittsvolumet til fibrene ( $\overline{V_{fibre}}$ );
- hvis fibernøstet var for tett til å estimere antallet fibre, ble volumet beregnet på samme måte som for fragmenter og skum; arealet (sett ovenfra) ble multiplisert med halvparten av den minste dimensjonen ( $D_2$ ).

**Tabell 7.** *Formler benyttet til å beregne volum av partikler innen de ulike partikkelkategoriene (Tabell 6). Se teksten for en forklaring av de ulike parameterne.*

Kategori	Volumformel
Fibre	$V_{fiber} = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot L$ [10]
Fibernøster	$V_{nøste} = N_{fibre} \cdot \overline{V_{fibre}}$ eller $V_{nøste} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ [11]
Tykke fibre	$V_{tykt\ fiber} = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot L$ [12]
Fragmenter	$V_{fragment} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ [13]
Flak	$V_{flak} = A \cdot T$ [14]
Kuler	$V_{kule} = \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{D_1 + D_2}{4}\right)^3$ [15]
Skum	$V_{skum} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ [16]
Dekkslitasje	$V_{dekkslitasje} = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot L$ [17]

Usikkerheten i bestemmelsen av volumet til den enkelte partikkeltype ( $U_{V,i}$ ) ble estimert på bakgrunn av usikkerhetsbidraget fra en som ligger i hver enkelt størrelsesmåling, og disse usikkerhetene ble summert. For eksempel, volumet av ett fiber er gitt av formel 10 i **Tabell 10** og usikkerheten i volumet ( $U_{V,fiber}$ ) er gitt av summen av usikkerheten i tykkelsen ( $U_{T,fiber}$ ) ganger 2 og usikkerheten i lengden ( $U_{L,fiber}$ ):

$$U_{V,fiber} = 2 \cdot U_{T,fiber} + U_{L,fiber} \quad [18]$$

Usikkerheten i gjennomsnittsstørrelsen av de confirmerte partiklene innen hver partikkelkategori ( $\overline{V}_i$ ) er gitt av den samlede usikkerheten i volumet til hver enkelt partikkel som inngår i snittet

( $U_{V,alle\ enkeltpartikler}$ ) og et korreksjonsledd ( $U_{korr}$ ) som beskriver hvor godt hver enkelt volummåling representerer snittet:

$$U_{V,alle\ enkeltpartikler} = \sum_i^n U_{V,i} \quad [19]$$

$$U_{korr} = \frac{STD}{\sqrt{n}} \quad [20]$$

$$U_{\bar{V}_i} = \sqrt{U_{V,alle\ enkeltpartikler}^2 + U_{korr}^2} \quad [21]$$

Usikkerheten i det samlede volumet av partikler innen de ulike partikkelkategoriene i en prøve ( $U_{V,i,prøve}$ ) ble bestemt ved å kvadratsummere<sup>3</sup>  $U_{\bar{V}_i}$  og usikkerheten i antallet MPP i den enkelte partikkelkategorien i den opprinnelige prøven ( $U_{\#,i,prøve}$ ) og ta kvadratroten av dette:

$$U_{V,i,prøve} = N_{i,prøve} \cdot \sqrt{(U_{\bar{V}_i})^2 + (U_{\#,i,prøve})^2} \quad [22]$$

For å beregne volumet i  $\mu\text{L}$  av partikkeltypen «i» per  $\text{m}^3$  avløpsvann ( $V_{m3,i}$ ;  $\mu\text{L}/\text{m}^3$ ) ble  $V_{i,prøve}$  dividert med prøvevolumet  $V_{prøve}$  og deretter multiplisert med  $10^{-6}$  (<sup>4</sup>):

$$V_{V,m3,i} = \frac{V_{i,prøve}}{V_{prøve}} \cdot 10^{-6} \quad [23]$$

Usikkerheten i det samlede volumet av partikler innen de ulike partikkelkategoriene per  $\text{m}^3$  avløpsvann ( $U_{V,i,m3}$ ) ble bestemt dividere  $U_{V,i,prøve}$  med mengden avløpsvann ( $V_{prøve}$ ; i  $\text{m}^3$ ) prøvematerialet var hentet ut fra:

$$U_{V,i,m3} = \frac{U_{V,i,prøve}}{V_{prøve}} \cdot 10^{-6} \quad [24]$$

### **$\mu\text{L}$ MPP per døgn**

For å beregne  $\mu\text{L}$  MPP i hver partikkelkategori per døgn ( $V_{i,døgn}$ ) ble volumet MPP per  $\text{m}^3$  avløpsvann multiplisert med døgngjennomsnittet av den totale avløpsmengden ( $\overline{V_{døgn}}$ ) som hadde passert i løpet av prøvetakingsperioden:

$$V_{i,døgn} = V_{i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \cdot 10^{-6} \quad [25]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{V,i,døgn} = U_{V,i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \cdot 10^{-6} \quad [26]$$

### **$\mu\text{L}$ MPP per kg SS**

For å beregne volumet av MPP i hver partikkelkategori per kg SS ( $V_{i,SS}$ ) ble volumet av MPP per  $\text{m}^3$  avløpsvann dividert med suspendert stoff-konsentrasjonen i avløpsvannet ( $C_{SS}$ ; i  $\text{g}/\text{m}^3$ ) og multiplisere dette med 1000 for å regne om til kg SS:

<sup>3</sup> Kvadratsummeres siden disse ikke er korrelerte.

<sup>4</sup> Multiplisere med  $10^3$  for å gjøre om fra per L til per  $\text{m}^3$  og multiplisere med  $10^{-9}$  for å gjøre om fra  $\mu\text{m}^3$  til  $\mu\text{L}$ .

$$V_{i,SS} = \frac{V_{i,m3}}{c_{SS}} \cdot 1000 \quad [27]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{V,i,SS} = \frac{U_{V,i,m3}}{c_{SS}} \cdot 1000 \quad [28]$$

### 2.10.3 Beregninger av vekten til MPP

Partikkelvekten er avhengig av partikkelens volum og dens tetthet. Mange (de fleste?) mikroplastpartikler er satt sammen av en rekke ulike komponenter, som i større eller mindre grad påvirker partikkelens samlede tetthet. Ettersom det av praktiske hensyn ikke er mulig å måle tettheten til hver enkelt partikkel direkte, er den gjennomsnittlige tettheten til den rene polymeren «n» ( $\bar{\rho}_n$ ) lagt til grunn. Samtidig finnes det et enormt spekter av ulike polymere med ulik tetthet avhengig av hvordan de er bearbeidet, så for å gjøre dette håndterbart er følgende lagt til grunn:

- Gjennomsnittstettheten til de rene polymerene innenfor hver kategori er benyttet.
- De ulike polymerkategoriene ble vektet på bakgrunn av hvor ofte de ble funnet i innløpet (med unntak for utløpet, der alle p-MPP ble bestemt).

#### $\mu\text{g MPP per m}^3$

Følgende generelle formel ble benyttet for å beregne vekten av alle «n» MPP innen partikkelkategori «i» ( $M_{i,prøve}$ ) i en gitt prøve:

$$M_{i,prøve} = \bar{V}_i \cdot \bar{\rho}_n \quad [29]$$

Usikkerheten i  $M_{i,prøve}$  ( $U_{M_{i,prøve}}$ ) er gitt av kvadratsummen av bidraget til usikkerheten fra  $\bar{V}_i$  ( $U_{bidrag,V}$ ) og  $\bar{\rho}_n$  ( $U_{bidrag,\rho}$ ):

$$U_{M_{i,prøve}} = \sqrt{(U_{bidrag,V})^2 + (U_{bidrag,\rho})^2} \quad [30]$$

$$U_{bidrag,V} = \bar{V}_i \cdot U_{\bar{\rho}_n} \quad [31]$$

$$U_{bidrag,\rho} = U_{V,i,prøve} \cdot \bar{\rho}_n \quad [32]$$

Siden alle p-MPP i utløpsprøvene ble kjemisk karakterisert (med FI-IR), ble volumet av hver enkelt partikkel lagt til grunn for beregning av den samlede vekten per prøve for utløpsprøvene:

$$M_{i,utløpsprøve} = \sum_n V_{i,utløpsprøve} \cdot \bar{\rho}_n \quad [33]$$

Usikkerheten i  $M_{i,utløpsprøve}$  er gitt av:

$$U_{M_{i,utløpsprøve}} = \sqrt{U_{V,alle\ enkeltpartikler}^2 + U_{korr}^2} \quad [34]$$



For å beregne vekten av alle «n» MPP innen partikkelkategori «i» per m<sup>3</sup> avløpsvann ( $M_{i,m3}$ ) ble  $M_{i,prøve}$  dividert med prøvolumet  $V_{prøve}$  og deretter multiplisert med 10<sup>-6</sup>:

$$M_{i,m3} = \frac{M_{i,prøve}}{V_{prøve}} \cdot 10^{-6} \quad [35]$$

Usikkerheten i  $M_{i,m3}$  er gitt av:

$$U_{M,i,m3} = \frac{U_{M_{i,prøve}}}{V_{prøve}} \cdot 10^{-6} \quad [36]$$

#### **µg MPP per døgn**

For å beregne µg MPP i hver partikkelkategori per døgn ( $M_{i,døgn}$ ) ble mengden MPP per m<sup>3</sup> avløpsvann multiplisert med døgngjennomsnittet av den totale avløpsmengden ( $\overline{V_{døgn}}$ ) som hadde passert i løpet av prøvetakingsperioden og deretter multiplisert med 10<sup>-6</sup>:

$$M_{i,døgn} = M_{i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \cdot 10^{-6} \quad [37]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{M,i,døgn} = U_{V,i,m3} \cdot \overline{V_{døgn}} \cdot 10^{-6} \quad [38]$$

#### **µg MPP per kg SS**

For å beregne µg av MPP i hver partikkelkategori per kg SS ( $M_{i,SS}$ ) ble mengden MPP per m<sup>3</sup> avløpsvann dividert med suspendert stoff-konsentrasjonen i avløpsvannet ( $C_{SS}$ ; i g/m<sup>3</sup>) og multiplisere dette med 1000 for å regne om til kg SS:

$$M_{i,SS} = \frac{M_{i,m3}}{C_{SS}} \cdot 1000 \quad [39]$$

Usikkerheten ble beregnet på tilsvarende måte:

$$U_{M,i,SS} = \frac{U_{M,i,m3}}{C_{SS}} \cdot 1000 \quad [40]$$

### **2.10.4 Beregninger av tilførte mengder mikroplast til Bekkelaget renseanlegg**

Antall, volum og vekt av MPP inn til Bekkelaget renseanlegg per år ble beregnet på bakgrunn av konsentrasjonsverdiene basert på hhv. antall (**Seksjon 2.10.1**), volum (**Seksjon 2.10.2**) og vekt (**Seksjon 2.10.3**). Tilførslele ble delt inn i ulike nedbørs- og driftsforhold, og gjennomsnittskonsentrasjonene av de ulike partikkeltypene i prøvene fra prøvetakingsperiodene som best representerte de aktuelle forholdene ble beregnet. Den samlede usikkerheten ble beregnet med følgende generelle formel:

$$U_{snitt,i} = \sqrt{U_{snitt,i}^2 + \frac{STD_{C,i}^2}{\sqrt{n}}} \quad [41]$$

$STD_{C,i}$  er standardavviket til snittet av konsentrasjonsverdiene for partikkeltype  $i$ .  $U_{snitt,i}$  er det vektete snittet av usikkerheten beregnet for de ulike forholdene (tørrvær, normalvær, nedbør, tømning MO og uten bidrag fra Groruddalen). Vektingen ble gjort på bakgrunn av andelen av året hver av forholdene dekket.

## 3 Resultater og diskusjon

### 3.1 Vurderinger av metodene som er brukt

#### 3.1.1 Representativ prøvetaking er en utfordring

Ved prøvetaking av vann- eller materialstrømmer som varierer mye både i sammensetning og volum over tid kan det være svært utfordrende å få tatt representative prøver. For å være reelt representative må prøvene fange opp i seg hele variasjonen som er forventet å ha betydning for de endelige analysene. Dette kan være et utfordrende prinsipp å etterleve fordi:

- Den største størrelsesfraksjonen av mikroplast er sannsynligvis langt mer sjeldne enn de mindre mikroplastpartiklene.
- Noen partikkeltyper (se **Tabell 6** for kategorisering basert på partiklenes form) forekommer svært hyppig (spesielt fibre), mens enkelte andre partikkeltyper (f.eks. fibernøster, kuler og skum) er det svært sjelden man finner.
- Det kan være tidkrevende å ta store prøvemengder på grunn av gjentetting av sikter/filtre av annet partikulært materiale.
- Det er tidkrevende å bearbeide, karakterisere og analysere en stor prøvemengde da kun en liten delprøve kan håndteres i hver omgang.

I det følgende ses det spesielt nærmere på innløps- og utløpsprøver, samt prøver tatt av ristgods, sand og fett.

##### 3.1.1.1 Innløpsprøvene – hvor riktig bilde gir de?

###### *Prøvevolumets andel av innløpet til renseanlegget i perioden*

Det ble tatt 12 prøver fra innløpet til Bekkelaget renseanlegg i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019. Prøvevolumet varierte mellom 7,6-8,6 L for døgnblandprøvene og 14,6-27,3 L for ukeblandprøvene, noe som utgjorde i størrelsesordenen en  $0,015-0,127 \cdot 10^{-6}$ -andel av det samlede avløpsvolumet som kom inn til renseanlegget i de respektive periodene. Den samlede avløpsmengden som ble behandlet under de 12 prøvetakingsperiodene var på ca. 6,9 mill. m<sup>3</sup> eller ca. 13% av alt avløpsvann som ble behandlet biologisk og/eller kjemisk i perioden 1.12.2018-30.11.2019.

###### *Den enkelte delprøvens andel av innløpet til renseanlegget i perioden*

Hver av de 12 prøvene ble fraksjonert i tre størrelseskategorier (20-300 µm, 300-1000 µm og 1000-5000 µm). Fra disse fraksjonerte prøvene ble det tatt delprøver for videre identifisering og fysisk og eventuell kjemisk karakterisering (se **Figur 3**). Som oppsummert i **Tabell 8** utgjorde de respektive delprøvene i størrelsesordenen  $10^{-9}-10^{-7}$  andel av det samlede avløpsvolumet som kom inn til renseanlegget i perioden.

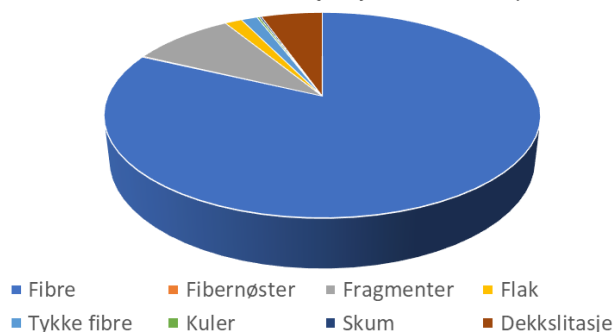
**Tabell 8.** Mengdeandelen de enkelte delprøvene, hvorfra de identifiserte p-MPP ble funnet, utgjorde i forhold til den tilsvarende samlede mengden på renseanlegget i samme periode.

Prøvetype	Snitt	min	Maks
<i>Innløpsprøver</i>			
300-1000 µm-fraksjonen	0,0072·10 <sup>-6</sup>	0,00149·10 <sup>-6</sup>	0,034·10 <sup>-6</sup>
1000-5000 µm-fraksjonen	0,034·10 <sup>-6</sup>	0,0022·10 <sup>-6</sup>	0,127·10 <sup>-6</sup>
<i>Utløpsprøver</i>			
Fullverdig behandling (>300 µm)	2,5·10 <sup>-6</sup>	2,1·10 <sup>-6</sup>	3,3·10 <sup>-6</sup>
Omstilt behandling (>300 µm)	16,6·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	45·10 <sup>-6</sup>
<i>Ristgodsprøver</i>			
1000-5000 µm-fraksjonen	2,8·10 <sup>-6</sup>	0,42·10 <sup>-6</sup>	12,2·10 <sup>-6</sup>
<i>Sandprøver</i>			
1000-5000 µm-fraksjonen	4,7·10 <sup>-6</sup>	0,25·10 <sup>-6</sup>	11,0·10 <sup>-6</sup>
<i>Slamprøver</i>			
300-1000 µm-fraksjonen	0,0053·10 <sup>-6</sup>	0,0026·10 <sup>-6</sup>	0,0094·10 <sup>-6</sup>
1000-5000 µm-fraksjonen	0,099·10 <sup>-6</sup>	0,029·10 <sup>-6</sup>	0,156·10 <sup>-6</sup>

*Gir innløpsprøvene et representativt bilde av alle partikkeltyper?*

**Figur 22** viser en oversikt over andelen mikroplastpartikler<sup>5</sup> innen hver partikkeltypekategori (fibre, fibernøster, fragmenter, flak, tykke fibre, kuler, skum og dekkslitasjepartikler) som ble funnet i de to størrelsesfraksjonene >300 µm i innløpsprøvene. Fibre dominerte fullstendig i antall (82% av alle partiklene), mens fragmenter (9,1%) og dekkslitasjepartikler (5,4%) utgjorde hoveddelen av den gjenværende andelen.

Andel av antall 300-5000 µm-partikler i innløpet



**Figur 22.** Andel av antall mikroplastpartikler i ulike typer i innløpet til Bekkelaget renseanlegg.

**Tabell 9** viser tallgrunnlaget bak **Figur 22** og mer detaljer for hver av partikkeltype- og størrelseskategoriene. Som det framgår, ble det funnet vesentlig flere partikler i størrelsesfraksjonen 300-1000 µm enn i fraksjonen 1000-5000 µm. Samtidig stammet partiklene i 1000-5000 µm-fraksjonen fra hele prøvemengden i 8 av de 12 prøvene (snitt på 78% av prøvemengden), mens partiklene i 300-1000 µm-fraksjonen stammet i snitt fra 19% av prøvematerialet. Flere

<sup>5</sup> Inkluderer både partikler som er blitt verifisert å være mikroplast og partikler som er antatt å være mikroplast på bakgrunn av likhet med partikler som er verifisert å være mikroplast.

partikkeltypekategorier (fibernøster, kuler og skum) ble funnet i kun 10% eller færre av delprøvene (se **Vedlegg F**).

I **Vedlegg F Tabell 9** er også den gjennomsnittlige usikkerheten i estimatet av antall partikler av hver partikkeltype per prøve ( $U_{\#,i,prøve}$ ) (laveste og høyeste usikkerhet i parentes) vist. Usikkerheten ble kun beregnet for prøver der det ble tatt ut tre delprøver (dvs. triplikater). For fibre (300-5000  $\mu\text{m}$ ) varierte usikkerheten mellom 3,2% og 32% med et snitt på 12%, noe som må anses som en generelt lav usikkerhet i denne sammenheng. For de øvrige partikkeltypene var usikkerheten naturlig nok betydelig høyere, spesielt for de partikkeltypene som bare en sjelden gang ble observert i de enkelte delprøvene (fibernøster, kuler og skum).

Estimatene for antall fibre i innløpsprøvene synes å være relativt sikre, for de andre partikkeltypekategoriene var måleusikkerhetene store.

I hvilken grad innløpsprøvene var representative for alle partikkeltyper kan også vurderes på bakgrunn av en massebalanse mellom innløp og ristgods + sand + slam + utløp. Dette er nærmere kommentert i **Seksjon 3.7**.

**Tabell 9.** Oversikt over antall partikler av ulike typer funnet i hver av de 12 prøvene tatt fra innløpet til Bekkelaget renseanlegg i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019.  $N>0$  angir antall delprøver der ble funnet minst 1 partikkel av gjeldende type. Mer detaljer er vist i **Vedlegg F**.

Partikkeltyper	300-1000 $\mu\text{m}$			1000-5000 $\mu\text{m}$			300-5000 $\mu\text{m}$		
	N>0	snitt	min-maks	N>0	snitt	min-maks	andel	snitt	min-maks
	(av 31)	#/prøve		(av 19)	#/prøve		% av 662	#/prøve	
Fibre	31	484	38-1 090	17	58	0-380	82%	542	38-1 140
Fibernøster	2	0,7	0-6	0	0,3	0-2	0,14%	0,9	0-6
Fragmenter	28	58	4-157	7	2,0	0-14	9,1%	60	6-158
Flak	13	9,1	0-26	6	1,0	0-8	1,52%	10,1	0-26
Tykke fibre	14	9,1	0-34	1	0,3	0-3	1,42%	9,4	0-34
Kuler	4	1,4	0-12	0	0,1	0-1	0,22%	1,5	0-12
Skum	2	0,9	0-11	3	0,3	0-3	0,19%	1,3	0-11
Dekkslitasje	21	30	0-85	6	5,8	0-37	5,4%	36	1-85
<b>Totalt antall</b>	-	<b>593</b>	<b>42-1 420</b>	-	<b>68</b>	<b>0-448</b>	<b>100%</b>	<b>662</b>	<b>45-1 471</b>

### 3.1.1.2 Utløpsprøver

*Prøvevolumets andel av utslippet fra renseanlegget i perioden*

Det ble tatt 9 prøver av rensed avløpsvann før utslipp i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019. Prøvevolumet for partikkelstørrelsesfraksjonen  $>300 \mu\text{m}$  varierte mellom 1 075-3 540 L for prøvene tatt ved hjelp av siktoppsatsen, mens det tilsvarende prøvevolumet tatt med filteroppsatsen var på 12 200 L. Dette utgjorde i størrelsesordenen en  $1,69\text{-}85 \cdot 10^{-6}$ -andel av det samlede avløpsvolumet som ble sluppet ut fra renseanlegget i de respektive periodene. Det vil med andre ord si at det oppsamlede materialet fra utløpet utgjorde i størrelsesordenen en 110-670 ganger større andel av det samlede utslippsvolumet enn de tilsvarende prøvevolumene av innløpsvann (se **Seksjon 3.1.1.1**).

Under prøvetakingsperiodene med fullverdig behandling av avløpsvannet (se **Seksjon 3.3.1**) ble det til sammen behandlet 3,46 mill. m<sup>3</sup> avløpsvann, noe som utgjorde ca. 11% av alt avløpsvann som ble fullverdig behandlet (ca. 31,1 mill. m<sup>3</sup>) uten at noe avløpsvann samtidig kun gikk gjennom kjemisk behandling. Under prøvetakingsperiodene med omstilt drift (se **Seksjon 3.3.2**) ble 0,39 mill. m<sup>3</sup> avløpsvann kun behandlet kjemisk, noe som utgjorde ca. 5,1% av alt avløpsvann som ble kjemisk behandlet (ca. 7,58 mill. m<sup>3</sup>) i perioden 1.12.2018-30.11.2019.

#### *Den enkelte delprøvens andel av utslippet fra renseanlegget i perioden*

Hver av de 9 prøvene ble fraksjonert i to størrelseskategorier (20-300 µm og >300 µm). For fraksjonen >300 µm ble alt prøvematerialet benyttet (men fordelt på tre paralleller for prøvetaking nr. 13). Som oppsummert i **Tabell 8** utgjorde de respektive delprøvene i størrelsesordenen  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ -andel av det samlede avløpsvolumet som ble sluppet ut fra renseanlegget i perioden.

### 3.1.1.3 Prøver av ristgods og sand

#### *Prøvevolumets andel av samlet mengde ristgods og sand fra renseanlegget i perioden*

Det ble tatt ut 10 ristgodsprøver og 11 sandprøver i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019. Prøvevolumet for ristgods varierte fra 50-217 g våtvekt materiale, noe som utgjorde i størrelsesordenen  $10,2$ - $39 \cdot 10^{-6}$ -andel av den samlede mengden deponert ristgods som prøvene ble tatt fra. For sand varierte prøvevolumet fra 32-213 g våtvekt materiale, noe som utgjorde i størrelsesordenen  $4,7$ - $161 \cdot 10^{-6}$ -andel av den samlede mengden deponert sand som prøvene ble tatt fra. Den samlede mengden deponert ristgods og sand det ble tatt prøver fra i perioden var på 45,3 tonn ristgods og 60,7 tonn sand, noe som utgjorde hhv. 8,2% og 13,7% av den totale mengden ristgods og sand som ble deponert i perioden 1.12.2018-30.11.2019.

#### *Den enkelte delprøvens andel av samlet mengde ut fra renseanlegget i perioden*

Hver av prøvene ble fraksjonert i tre størrelseskategorier (20-300 µm, 300-1000 µm og 1000-5000 µm). Som oppsummert i **Tabell 8** utgjorde de respektive delprøvene for fraksjonen 1000-5000 µm i størrelsesordenen  $10^{-7}$ - $10^{-5}$ -andel av den samlede mengden ristgods og sand som ble deponert i de respektive periodene.

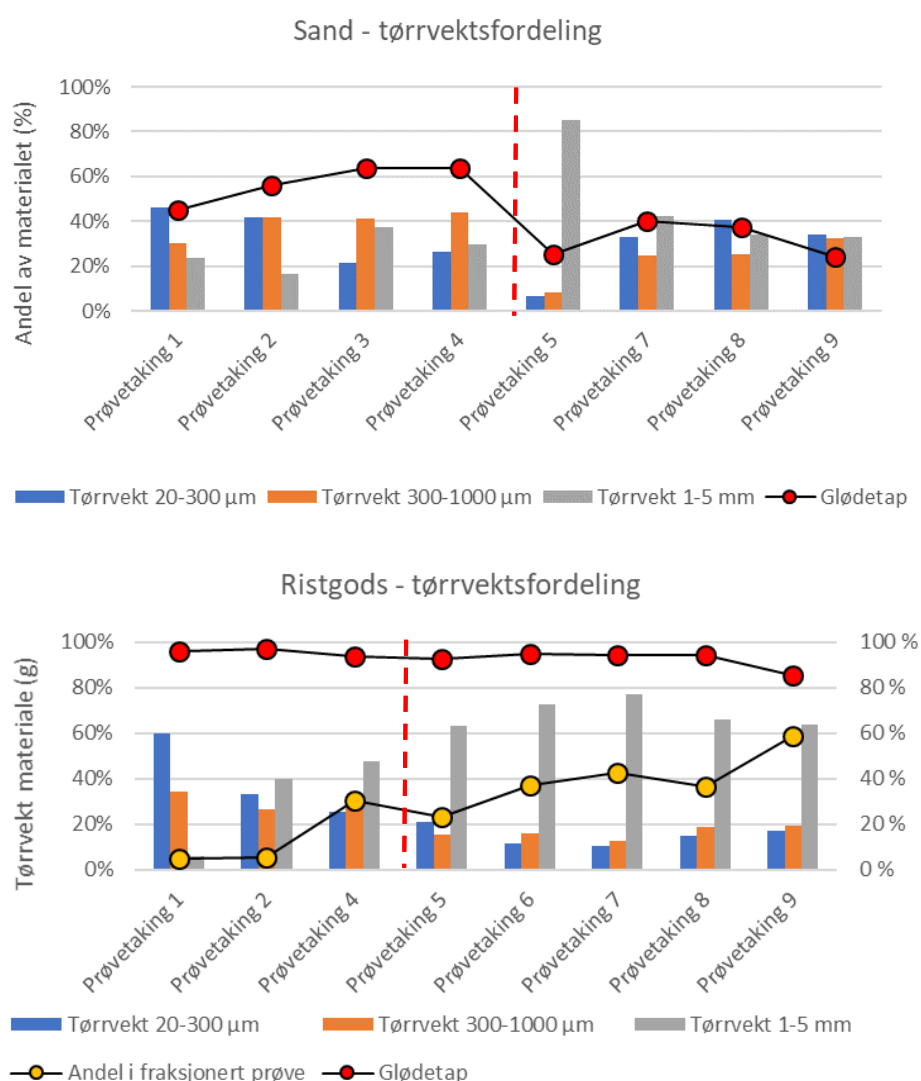
#### *Fordelingen av tørt prøvemateriale i de ulike størrelsesfraksjonene*

**Figur 23** viser tørrvektfordelingen av materialet i de enkelte sand- (øverst) og ristgodsprøvene (nederst) etter størrelsesfraksjoneringen. Både for sand og ristgods var det en betydelig variasjon i denne fordelingen mellom de ulike prøvene. Dette kan sannsynligvis skyldes flere forhold;

- Reell variasjon i størrelsesfordelingen i materialet fra gang til gang. Rent visuelt (makroskopisk) var spesielt ristgodset svært inhomogent, og det kan tenkes at denne inhomogeniteten også gjaldt for mindre partikler.
- Det var overraskende mye frø i sanden, som primært endte opp i 1-5 mm-fraksjonen. Dette gjorde at andelen organisk stoff i sandprøvene også var noe uventet høyt (45-64% fra desember og ut mars). Fra og med prøveuttaket i begynnelsen av mai (prøvetaking 5) var glødetapet betraktelig lavere (24-40%). Dette kan delvis skyldes at renseanlegget en stund hadde utfordringer med sandvaskingen, slik at ganske mye sand fra sandfilteret endte opp i sandfanget. Dette kan spesielt ha gjort seg gjeldende ved prøvetaking 5 der hele 85% av materialet ble funnet i 1-5-mm-fraksjonen.
- Fra og med prøvetaking 5 ble SDS benyttet til å effektivisere størrelsesfraksjoneringen. Som det fremgår av bildet i **Figur 13** var det i utgangspunktet en svært liten andel av sanden som

ble forkastet (dvs. endte opp på 5 mm-sikten), mens for ristgods var situasjonen omvendt; en betydelig andel av ristgodset endte opp på 5-mm-sikten ved de første prøvetakingene og ble kastet. Dette ble gradvis bedre når vaskingen ble gjort mer grundig, og når SDS ble tatt i bruk under fraksjoneringen fra prøvetaking 5 (begynnelsen av mai), gjorde dette at andel av ristgodsprøven som gikk gjennom 5-mm-sikten økte ytterligere (gule punkter i **Figur 23**), der også andelen som endte opp i 1-5-mm-fraksjonen økte betydelig (grå stolper i **Figur 23**). og ut fra andelen av den opprinnelige prøven som endte opp i de ulike fraksjonene.

- Oppsummert kan det synes som om de størrelsesfraksjonerte ristgodsprøvene fram til og med mars ikke var representative, siden vaskingen ikke var god nok. Det er derfor kun tatt hensyn til prøvene fra mai og senere i de videre estimatene og vurderingene.



**Figur 23.** Fordelingen av tørrvekt materiale etter størrelsesfraksjonering (stolper) av sand (øverst) og ristgods (nederst), samt andel av opprinnelig fraksjonert prøve (tørrvekt) som endte opp i de fraksjonerte prøvene og innholdet av organisk stoff i prøven (glødetapet). Den lodrette røde stiplede linjen angir fra når SDS ble benyttet under siktingen av prøvene.

### 3.1.1.4 Prøver av slam

#### *Prøvevolumets andel av samlet mengde ferdig avvannet slam fra renseanlegget i perioden*

Det ble tatt ut 7 slamprøver i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019. Prøvevolumet varierte fra 14-36 g tørrvekt materiale, noe som utgjorde i størrelsesordenen en  $0,11-0,20 \cdot 10^{-6}$ -andel av den samlede mengden tørrvekt slam som prøvene ble tatt fra. Den samlede mengden tørrvekt slam det ble tatt prøver fra i perioden var på 960 kg, noe som utgjorde 5,3% av den totale mengden tørrvekt slam som ble produsert i perioden 1.12.2018-30.11.2019.

#### *Den enkelte delprøvens andel av samlet mengde ut fra renseanlegget i perioden*

Hver prøve ble fraksjonert i tre størrelseskategorier (20-300  $\mu\text{m}$ , 300-1000  $\mu\text{m}$  og 1000-5000  $\mu\text{m}$ ). Som oppsummert i **Tabell 8** utgjorde de respektive delprøvene i størrelsesordenen en  $10^{-9}$ - $10^{-7}$ -andel av den samlede mengden slam produsert i de respektive periodene.

Rent visuelt syntes slammene å være relativt homogent fra prøve til prøve. Tørrstoffinnholdet varierte fra 26,5-31,7% (snitt og usikkerhet:  $27,9 \pm 1,1\%$ ) og glødetapet varierte fra 50,4-58,9% (snitt og usikkerhet:  $54,1 \pm 1,5\%$ ), noe som underbygger slammets homogenitet fra gang til gang.

### 3.1.2 De fleste p-MPP inneholdt plastpolymere

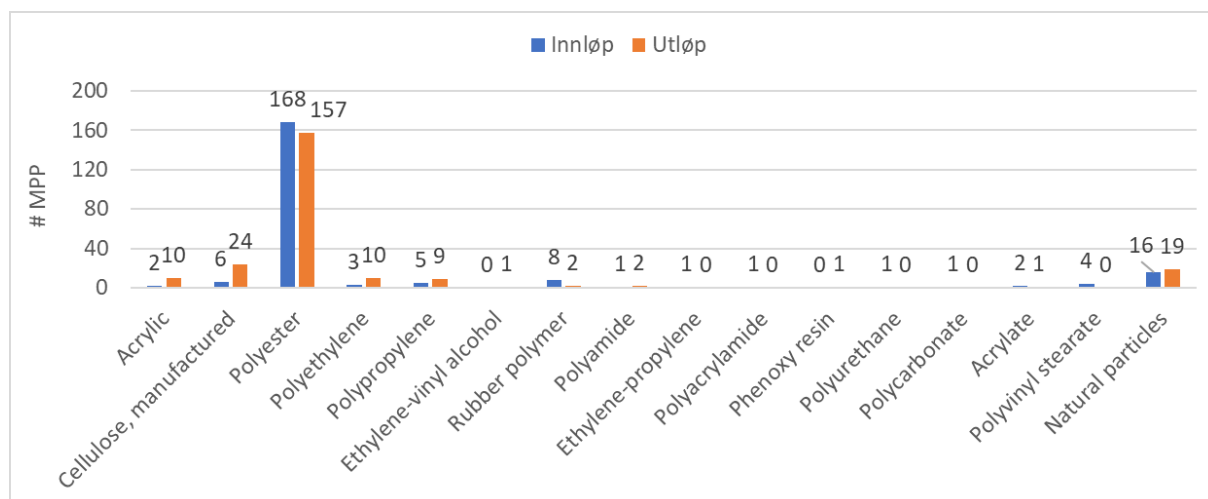
Alle p-MPP i én delprøve fra alle innløpsprøvene og samtlige p-MPP plukket ut fra utløpsprøvene ble kjemisk karakterisert med FT-IR. Resultatene er oppsummert i **Figur 24**. Av totalt 458 p-MPP var 38 partikler ikke-plastpolymere (35 ulike typer naturlige fragmenter/fibre, 2 glasskuler og 1 metallfiber), altså 8,3% eller en treffprosent på 91,7%.

Polyester (PET) dominerte fullstendig (71%) blant konfirmerte polymere i både innløps- (77%) og utløpsprøver (67%). Det er verdt å legge merke til at polyamid, som kan ha blitt påvirket av den forutgående prøvebearbeidingen med  $\text{H}_2\text{SO}_4$  og  $\text{H}_2\text{O}_2$  (se **Seksjon 2.6.2**) av innløpsprøvene (men ikke utløpsprøvene), var nesten fraværende i både innløpsprøvene (0,5%; ett fragment) og i utløpsprøvene (0,8%; to fibre). Akryl (PMMA m.fl.), som også ble observert å bli noe påvirket av prøvebearbeidingen, ble funnet i noe større grad i innløpsprøvene (0,9%) og utløpsprøvene (4,2%). I en større undersøkelse fra 10 danske avløpsrensingsanlegg utgjorde ulike typer polyestere (PE, PE-PP co-polymer, Pest) 37% av MPP basert på antall og 22% basert på vekt, mens akrylat og polypropylen utgjorde henholdsvis 27%/12% og 12% og 39% (**Figur 25**).

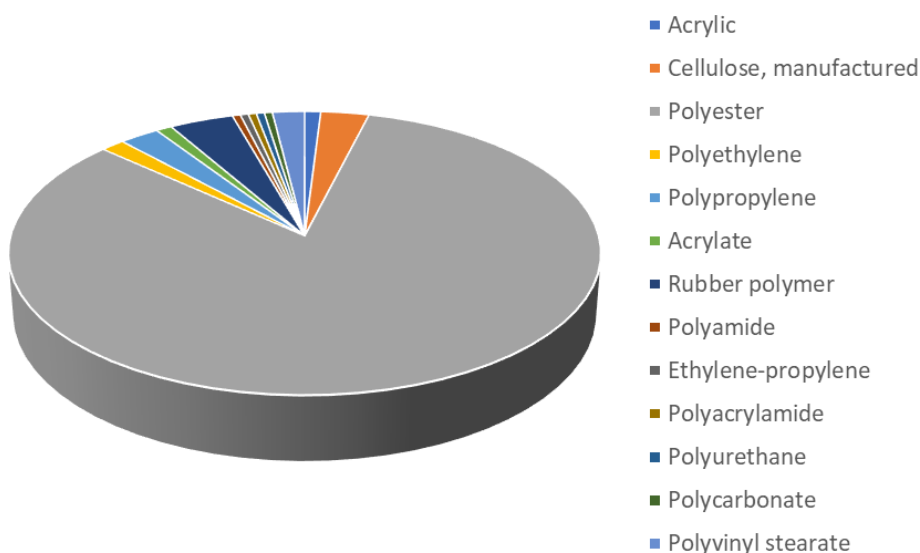
Som det fremgår av **Tabell 9** ble det funnet relativt mange presumptive dekkslitasjepartikler i innløpet. Den kjemiske karakteriseringen av slik partikler med FT-IR har vist seg å være problematisk på grunn av det høye innholdet av carbon black, en viktig (20-35%) bestanddel i bildekk (Vogelsang m.fl., 2018). Likevel, det var flere av disse presumptive dekkslitasjepartiklene som ble påvist å inneholde ulike typer gummipolymere. Dette gir en positiv indikasjon på at disse kan være dekkslitasjepartikler. Pyrolyse-GC/MS kan være en mer egnet metode for å kvantifisere tilstedeværelsen av dekkslitasjepartikler, selv om denne metoden ikke ser på enkeltpartikler, men hele prøven i ett (se **Seksjon 2.9** og **Seksjon 3.2.6**).

Det store flertallet av utplukkede p-MPP ser ut til å ha vært reelle mikroplastpartikler. Dette styrker det pragmatiske valget å kun kjemisk karakterisere (med FT-IR) én delprøve av innløps- og slamprøvene og kun et minimum av p-MPP plukket ut fra ristgods-, sand- og sediment-prøvene. Enkelte presumptive dekkslitasjepartikler så ut til å bli positivt bekreftet med FT-IR.

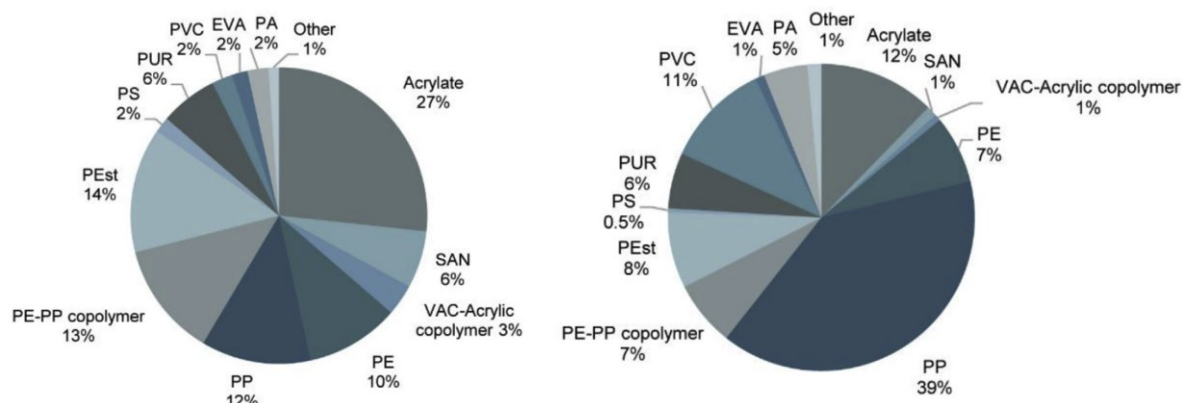




Andel av **antall** confirmerte partikkeltyper i innløpet

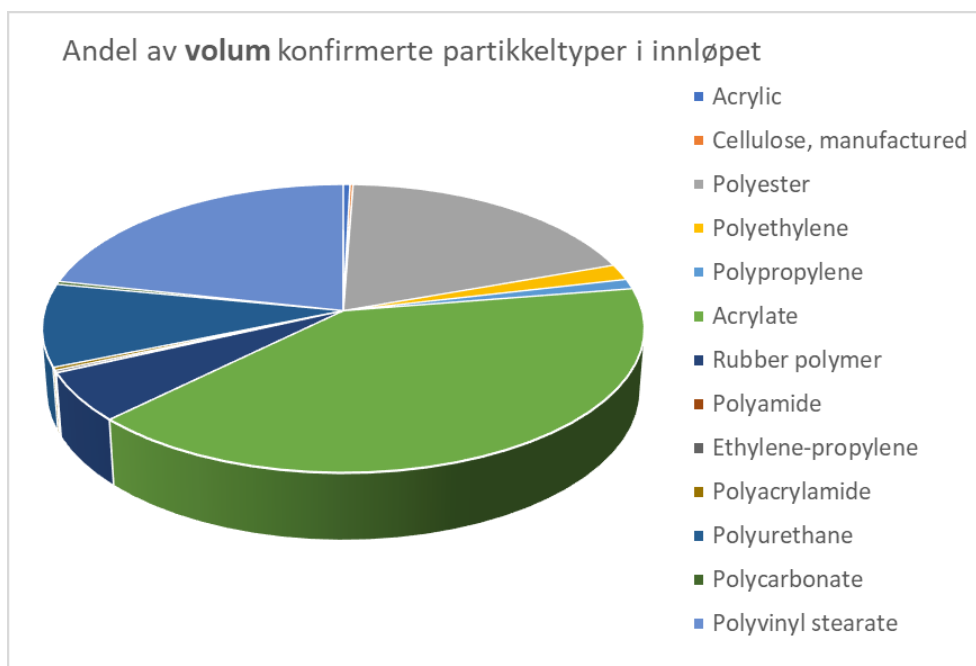


**Figur 24.** Samlet oversikt over resultatene fra den kjemiske karakteriseringen av p-MPP plukket ut fra innløpsprøvene (samtlige p-MPP fra én delprøve fra hver prøve) og utløpsprøvene (samtlige p-MPP fra alle delprøver); antallet confirmerte MPP av de ulike polymergruppene i innløps- og utløpsprøvene (øverst) og andelen av de confirmerte MPP innen hver av polymergruppene i innløpsprøvene (nederst).



**Figur 25.** Fordelingen av ulike plastpolymere i innløpsprøver til 10 danske avløpsrensianlegg; venstre side basert på antall partikler, høyre side basert på vekt (Simon m.fl., 2018).

**Figur 26** viser hvordan fordelingen av de ulike polymerene var hvis det samlede volumet av alle de confirmerte MPP ble lagt til grunn. Fortsatt utgjorde polyester en viktig andel av polymerene (19%), men andelen akrylat (40%), gummipolymere (6%), polyuretan (9%) og polyvinyl stearat (22%) ble betydelig større enn hvis antallet partikler ble lagt til grunn.



**Figur 26.** Oversikt over resultatene fra den kjemiske karakteriseringen av p-MPP plukket ut fra innløpsprøvene og utløpsprøvene; fordelingen basert på det samlede volumet av partiklene med gitt polymertype.

### 3.1.3 Pyrolyse-GC/MS-analysen med kun indikativ delvis konfirmering av FT-IR-resultatene

#### 3.1.3.1 Resultatene fra analysene gjort i september 2019

Det ble kjørt pyrolyse-GC/MS på størrelsesfraksjonene 20-300 µm og 300-1000 µm av innløpsprøven fra prøvetaking nr. 8. Som vist i **Figur 27**, det var kun 3 av de 8 plastpolymerene inkludert i analysen (polypropylen, polystyren og polyester) som ble funnet i kvantifiserbare mengder i prøven med den minste partikkelfraksjonen, mens kun polystyren ble funnet i prøven med den største partikkelfraksjonen.

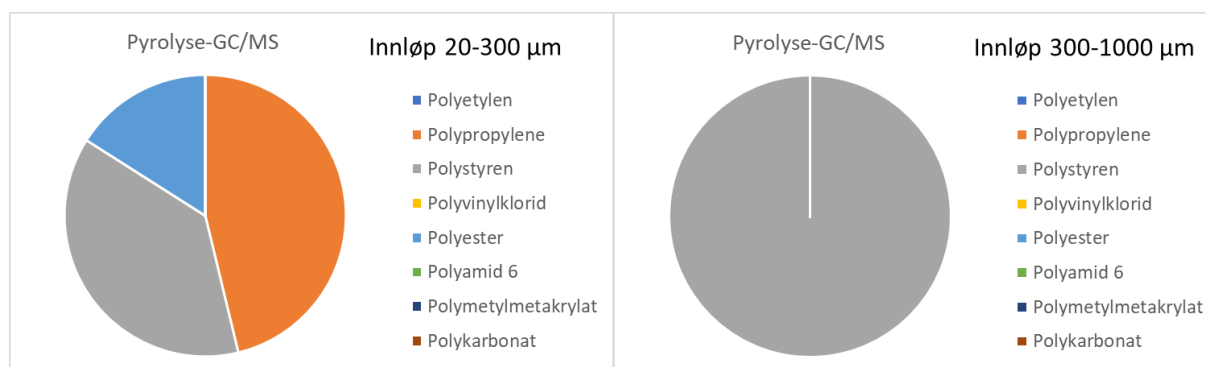
Merk at det ikke ble kjørt H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling av disse prøvene, kun H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dette hadde to viktige implikasjoner:

- 1) Det vil ikke være noe tap av polymere (spesielt polyamid og polymetylmetakrylat) på grunn av H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandlingen.
- 2) Innholdet av organisk stoff er betydelig høyere, noe som skapte store problemer for Eurofins som gjennomførte analysen; de 10 prøvene som ble kjørt ble satt på fortløpende over en helg, men på grunn av det høye innholdet av organisk stoff ble sannsynligvis GC-kolonnen mettet relativt tidlig. Innløpsprøvene ble satt på først (20-300 µm, deretter 300-1000 µm), og det var klart flest kvantifiserbare resultater fra den aller første prøven.

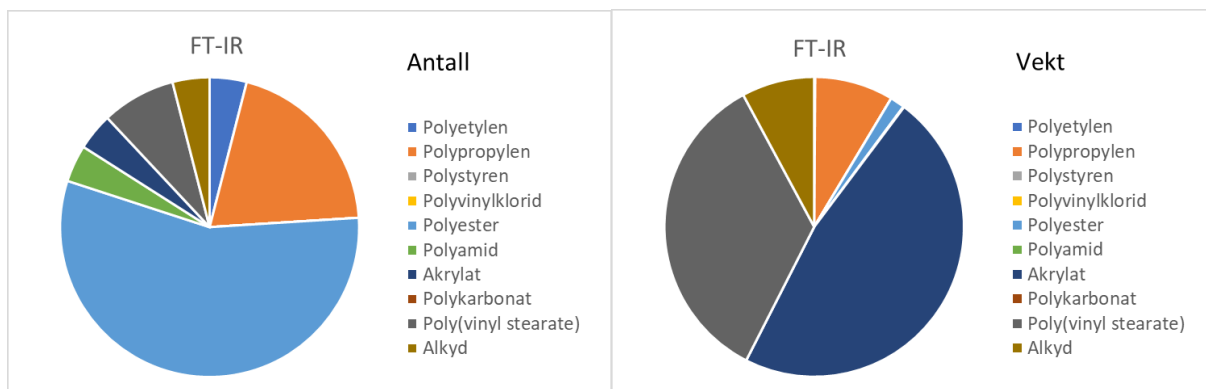
Resultatene indikerer følgende:

- To av polymerene som dominerte i antall (som fibre) i 300-1000 µm-fraksjonen av innløpsprøven når målt med FT-IR (polypropylen og polyester; se **Figur 28**) ble også identifisert i 20-300 µm-innløpsprøven når målt med pyrolyse-GC/MS.
- Polystyren var den eneste polymeren som ble funnet i begge innløpsprøvene når målt med pyrolyse-GC/MS. Polystyren ble ikke detektert med FT-IR.
- Det ble ikke funnet noe polyamid eller polymetylmetakrylat (PMMA) i prøvene når målt med pyrolyse-GC/MS.

Merk at én stor enkeltpartikkel lett kan dominere resultatet fra Pyrolyse-GC/MS ettersom volumet av de enkelte delprøvene fra innløpet var relativt begrenset (ca. 100 mg), men at dette delprøvevolumet var i samme størrelsesorden som delprøvene tatt ved kvantifisering med FT-IR.



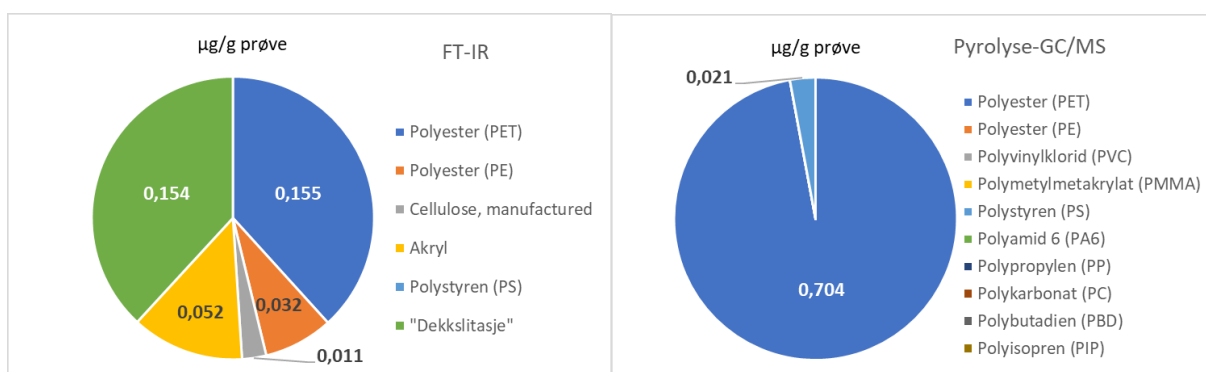
**Figur 27.** Resultater fra **pyrolyse-GC/MS-analyse** av to størrelsesfraksjoner av innløpsprøven tatt under prøvetaking nr. 8. Resultatene viser det relative vekt-forholdet mellom de 8 polymerene som var inkludert i analysen. For 20-300 µm-fraksjonen var innholdet 5 av 8 polymere tilsynelatende under deteksjonsgrensen, mens for 300-1000 µm-fraksjonen var det kun 1 av de 8 polymerene som ble kvantifisert i prøven.



**Figur 28.** Resultater fra FT-IR-analyse av 300-1000 µm-fraksjonen av innløpsprøven tatt under prøvetaking 8. Resultatene viser det relative forholdet mellom de ulike polymerene basert på antallet partikler der polymeren ble detektert (venstre side) og basert på den samlede vekten av partikler der polymeren ble detektert (høyre side).

### 3.1.3.2 Resultatene fra analysene gjort i juni 2020

I juni 2020 ble det kjørt nye pyrolyse-GC/MS-analyser på en rekke prøver behandlet med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Figur 29** viser de beregnede konsentrasjonene av polymerene (i µg/g prøve) som ble påvist i 300-1000 µm-fraksjonen av innløpsprøven tatt under prøvetaking nr. 12. Den venstre delfiguren viser de beregnede konsentrasjonene basert på FT-IR-analysene av de utplukkede partiklene fra én av parallellene til denne størrelsesfraksjonen, mens den høyre delfiguren viser konsentrasjonene basert på pyrolyse-GC/MS-analysen. Begge analysene indikerer at polyester utgjør en betydelig andel av plastpolymerene i prøven, selv om pyrolyse-GC/MS-resultatene antyder noe høyere konsentrasjon enn resultatene fra FT-IR. De potensielle dekkslitasjepartiklene som ble plukket ut for FT-IR-analyse (grønn kakebit) lot seg ikke verifisere som dette med FT-IR. Heller ikke med pyrolyse-GC/MS ble det identifisert noen dekkslitasjepartikler (ingen PBD eller PIP). Akryl og cellulose var ikke inkludert blant polymerene som kunne bli påvist med pyrolyse-GC/MS.



**Figur 29.** Resultater fra FT-IR-analyse av 300-1000 µm-fraksjonen av innløpsprøven tatt under prøvetaking 12. Resultatene viser det relative forholdet mellom de ulike polymerene basert på antallet partikler der polymeren ble detektert (venstre side) og basert på det samlede volumet av partikler der polymeren ble detektert (høyre side).

### 3.1.4 Gjennomsnittsvolum til de enkelte partikkeltypene

Resultatene er oppsummert i **Tabell 10**.

#### *Fibre*

I innløpet ble volumet til 169 tynne fibre verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**), ble det gjennomsnittlige volumet til fibre i innløpet bestemt til 256 000  $\mu\text{m}^3$ /fiber med en usikkerhet på 64 000  $\mu\text{m}^3$ /fiber (25%). For tykke fibre ble gjennomsnittsvolumet beregnet til 10 400 000  $\mu\text{m}^3$ /tykt fiber med en usikkerhet på 2 700 000  $\mu\text{m}^3$ /tykt fiber (26%).

#### *Fragmenter*

I innløpet ble volumet til 15 fragmenter verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**), ble det gjennomsnittlige volumet til fragmentene i innløpet bestemt til 41 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fragment med en usikkerhet på 31 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fragment (76%).

#### *Flak*

I innløpet var det kun 4 flak som ble verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**), ble det gjennomsnittlige volumet til flakene i innløpet bestemt til 4 100 000  $\mu\text{m}^3$ /flak med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 1 000 000  $\mu\text{m}^3$ /flak (24%).

#### *Dekkslitasjepartikler*

Siden FT-IR uansett ikke er særlig egnet til å verifisere innholdet av typiske gummipolymere i dekkslitasjepartikler (se **Seksjon 3.1.2**), ble alle de 92 potensielle dekkslitasjepartikler funnet i innløpet lagt til grunn for å estimere gjennomsnittsvolumet. På bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**), ble det gjennomsnittlige volumet til dekkslitasjepartiklene i innløpet bestemt til 6 100 000  $\mu\text{m}^3$ /dekkslitasjepartikkel med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 3 500 000  $\mu\text{m}^3$ / dekkslitasjepartikkel (57%).

#### *Fibernøster*

Det ble kun funnet 2 fibernøster i innløpet. Det gjennomsnittlige volumet til fibernøster i innløpet ble grovt estimert til 36 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fibernøste med en usikkerhet på 27 000 000  $\mu\text{m}^3$ / fibernøste (75%) (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**).

#### *Kuler*

Det ble ikke funnet mer enn 3 kuler i innløpet, og på bakgrunn av disse ble det gjennomsnittlige volumet til kuler i innløpet bestemt til 14 000 000  $\mu\text{m}^3$ /kule med en usikkerhet på 1 600 000  $\mu\text{m}^3$ /kule (11%) (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**).

#### *Skum*

I innløpet var det svært få partikler som med sikkerhet kunne karakteriseres som skumpartikler, og kun én som ble konfirmert ved kjemisk karakterisert med FT-IR. De to øvrige skumpartiklene som ble funnet i innløpet, ble derfor også lagt til grunn for estimatet av gjennomsnittet; 41 000 000  $\mu\text{m}^3$ /skumpartikkel med en usikkerhet på 26 000 000  $\mu\text{m}^3$ /skumpartikkel (75%) (se **Seksjon 2.10.2** og **Vedlegg G**).

**Tabell 10.** Beregnet gjennomsnittsvolum til de enkelte partikkeltypene i innløpsprøvene. Usikkerhet i gjennomsnittet er beregnet som beskrevet i **Seksjon 2.10.2**.

Partikkeltyper	#	Snittvolum	STD	U	
		$\mu\text{m}^3/\text{part}$	$\mu\text{m}^3/\text{part}$	$\mu\text{m}^3/\text{part}$	%
Fibre	169	256 000	333 000	64 000	25%
Fibernøster	2	36 000 000	21 000 000	27 000 000	75%
Fragmenter	15	41 000 000	60 600 000	31 000 000	76%
Flak	4	4 100 000	5 100 000	1 000 000	24%
Tykke fibre	5	10 400 000	17 200 000	2 700 000	26%
Kuler	3	14 000 000	13 100 000	1 600 000	11%
Skum	3	41 000 000	26 000 000	31 000 000	75%

### 3.1.5 Gjennomsnittsvekt til de enkelte partikkeltypene

Det er av praktiske grunner ikke mulig å måle vekten til hver enkelt partikkel. Vekten ( $M_i$ ) er derfor estimert på bakgrunn av partikkelens volum ( $V_i$ ) og tetthet ( $\rho_i$ ) ( $M_i = V_i \cdot \rho_i$ ). Tettheten er vurdert på bakgrunn av hvilken plastpolymer som dominerte ut fra FT-IR-spekteret, men mange mikroplastpartikler kan inneholde flere andre typer plastpolymere i tillegg til andre typer komponenter. Dette gjør at det er vanskelig å vurdere den reelle tettheten til partikkelen. Derfor er den gjennomsnittlige tettheten til den rene polymeren ( $\overline{\rho_n}$ ) lagt til grunn. Lignende typer polymere identifisert ved hjelp av FT-IR er gruppert i kategorier (**Tabell 11**).

- Gjennomsnittstettheten til de rene polymerene innenfor hver kategori slik de fremgår av **Tabell 11** er benyttet. Tilhørende usikkerhet i snittet er også angitt.
- For fibernøster i innløpet ble det benyttet en korreksjonsfaktor på 0,1 for å justere for tettheten av fibre i nøstene. Denne faktoren ble basert på en samlet vurdering av både fibernøstene i innløpet og fibernøster funnet i ristgodsprøvene (lå typisk i området 0,05-0,15).
- De ulike polymerkategoriene ble vektet på bakgrunn av hvor ofte de ble funnet i innløpet (med unntak for utløpet, der alle p-MPP ble bestemt).
- Gjennomsnittsvolumet av alle partikkelen i de ulike partikkelkategoriene er benyttet.

Den gjennomsnittlige vekten til gjennomsnittspartikkelen i innløpet med tilhørende usikkerhet i dette snittet er vist i **Tabell 12**.



**Tabell 11.** Tallmaterialet bak beregningen av gjennomsnittstettheten til de ulike partikkelkategoriene. De ulike polymerkategoriene ble vektet på bakgrunn av hvor ofte de ble identifisert med FT-IR innen hver enkelt partikkelkategori. Angitt tetthet for hver polymerkategori er basert på gjennomsnittstettheten til polymerene som er inkludert i hver enkelt kategori (se **Vedlegg C** for flere detaljer).

Polymer-kategori (n)	Tetthet		Antall partikler innen ulike polymerkategorier							
	g/cm <sup>3</sup>	U <sub>p</sub>	Fibre	Fibernøste	Frag- menter	Flak	Tykke fibre	Kuler	Skum	Dekk- slitasje
Akryl	1,18	0,02	0	0	0	1	0	0	0	-
Cellulose, produsert <sup>6</sup>	1,30	0,00	6	0	0	0	0	0	0	-
Polyester	1,43	0,01	160	0	4	0	3	0	0	-
Polyetylen	0,98	0,01	0	0	2	1	0	0	0	-
Polypropylen	0,91	0,00	2	0	0	0	1	0	0	-
Akrylat	0,95	0,01	0	0	0	0	0	0	0	-
Etylen-vinyl alkohol	1,15	0,04	0	0	0	0	0	0	0	-
Gummipolymere	1,12	0,01	1	0	2	1	0	0	0	-
Polyamider	1,12	0,00	0	0	0	0	0	0	0	-
Etylen-propylen	0,87	0,01	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyakrylamid	1,30	0,00	0	0	1	0	0	0	0	-
Fenoksyharpiks	1,18	0,00	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyuretan	0,89	0,59	0	0	1	0	0	0	3	-
Polykarbonat	1,18	0,02	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyvinylstearat	0,98	0,00	0	0	3	0	0	1	0	-
Dekkslitasjepartikler	1,90	0,20	0	0	0	0	0	0	0	92
Totalt antall partikler			169	0	15	3	4	1	3	92
<b>Gjennomsnittstetthet (<math>\bar{\rho}_n</math>)</b>			<b>1,42</b>	<b>0,14</b>	<b>1,07</b>	<b>1,09</b>	<b>1,30</b>	<b>0,98</b>	<b>0,89</b>	<b>1,90</b>
<b>Usikkerhet (<math>U_{\bar{\rho}_n}</math>)</b>			<b>0,21</b>	<b>0,10*</b>	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10*</b>	<b>0,85</b>	<b>0,20</b>

\* Satt ut fra en generell vurdering av variasjonen.

**Tabell 12.** Beregnet gjennomsnittsvekt til de enkelte partikkeltypene i innløpsprøvene. Usikkerhet i gjennomsnittet er beregnet som beskrevet i **Seksjon 2.10.3**.

Partikkeltyper	#	Snittvekt	STD	$U_{bidrag,v}$	$U_{bidrag,\rho}$	U	
		µg/part	µg/part	µg/part	µg/part	µg/part	%
Fibre	169	0,36	0,47	0,091	0,053	0,11	31%
Fibernøster	2	5,1	2,9	3,8	3,6	5,6	111%
Fragmenter	15	46	67	3,5	8,1	19,5	42%
Flak	4	4,5	5,8	0,106	0,24	2,9	65%
Tykke fibre	5	13,5	22,3	0,35	0,76	10,0	74%
Kuler	3	13,7	12,8	0,156	1,40	7,5	55%
Skum	3	37	23	2,7	35	38	104%
Dekkslitasje	92	11,6	28,9	0,65	1,22	3,3	29%

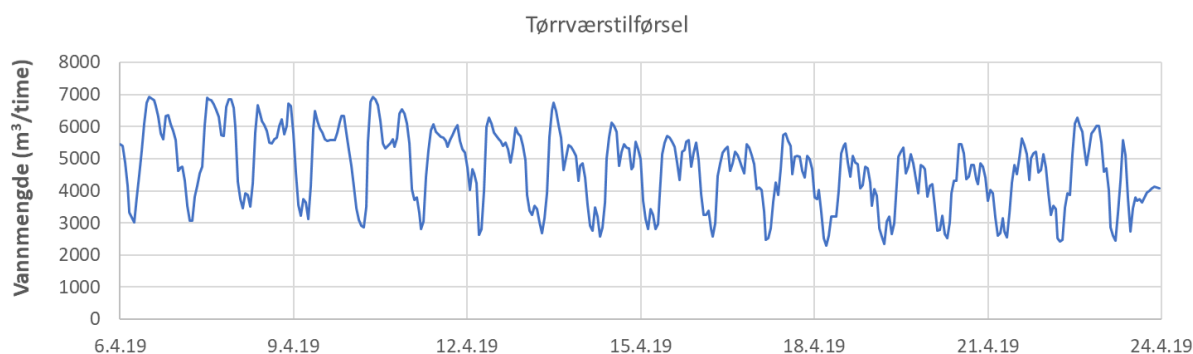
<sup>6</sup> Inkluderer kun produserte (manufactured) cellulosefibre ekstrudert fra plantemasse på samme måte som syntetiske fibre (f.eks. polyester og polyamid/nylon).

## 3.2 Mikroplast i innløpet til Bekkelaget renseanlegg

### 3.2.1 Tilførsler av mikroplast under tørrvær

#### 3.2.1.1 Prøvetakingsperiodene som best representerer tørrværsvannføringen

Under tørrvær antas det at det partikulære materialet som tilføres renseanlegget hovedsakelig kommer med spillvannet fra husholdninger, næringer og industri. Ved normal drift ved Bekkelaget renseanlegg i 2019 kom det i størrelsesordenen 103 000-115 000 m<sup>3</sup> avløpsvann per døgn inn til renseanlegget under tørrvær (**Figur 30**). Men det har vært en viss utfordring knyttet til å finne slike perioder (normal drift og ingen nedbør) i løpet av 2019, da det har regnet relativt regelmessig gjennom store deler av året, samtidig som det har vært flere perioder med større driftsforstyrrelser ved anlegget knyttet til den planlagte utvidelsen av anlegget og byggingen av Follobanen. Denne typen driftsforstyrrelser har som oftest innebåret at avløpsvannmengden fra Groruddalen har blitt helt eller delvis avstengt ved Fagerlia fordelingspunktet, noe som har gjort at det partikkelrike industriavløpsvannet fra dette området ikke har kommet inn til Bekkelaget med sendt videre til VEAS i disse periodene. Dessuten tømmes opplagret avløpsvann og overvann fra Midgardsormen (MO) og Kværner-tunnelen i perioder med redusert hydraulisk belastning, som drastisk kan øke tilførselen av partikulært materiale til anlegget. For å gjenspeile tørrværstilførselen best mulig ble det forsøkt å unngå disse periodene med forstyrret drift, nedbør og tømming av MO/Kværner-tunnelen.



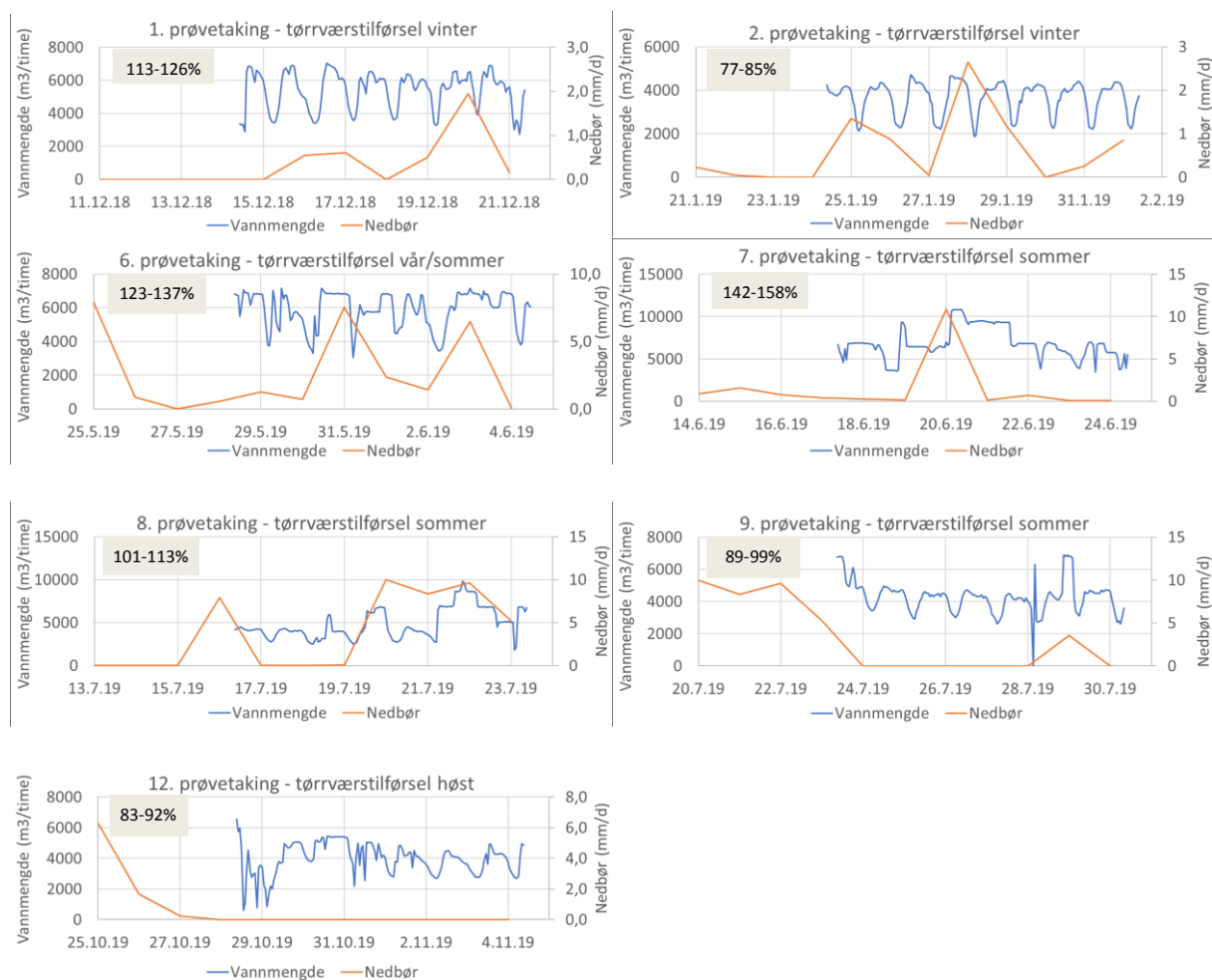
**Figur 30.** Timesgjennomsnittlig tilførsel av avløpsvann til Bekkelaget under en lengre periode uten nedbør i løpet av våren 2019. Gjennomsnittlig døgntilførsel i hele perioden 6.-24.4 var  $115\ 000 \pm 13\ 000\ \text{m}^3/\text{døgn}$  ( $4\ 800 \pm 500\ \text{m}^3/\text{time}$ ), mens den var nede i  $103\ 000 \pm 5\ 000\ \text{m}^3/\text{døgn}$  ( $4\ 300 \pm 200\ \text{m}^3/\text{time}$ ) i den siste delen av perioden (15.-22.4).

**Figur 31** viser den målte timesvannføringen inn til renseanlegget under de syv prøvetakingsperiodene med planlagt tørrværstilrenning sammen med faktisk døggnedbør i de samme periodene. Rubrikken oppe i venstre hjørne i hver delfigur angir vannføringen i forhold til tørrværsvannføringen estimert ut fra tørrværet i april (**Figur 30**).

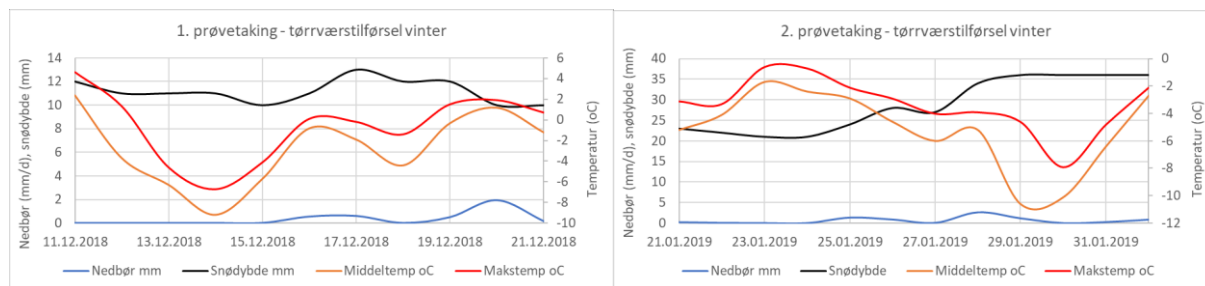
Under de to første prøvetakingsperiodene kom det noe nedbør, men hovedsakelig i form av snø (**Figur 32**). Mot slutten av den første perioden kom nedbøren som regn, og noe snø smeltet, men dette så ikke ut til å påvirke tilrenningen til renseanlegget nevneverdig (**Figur 31**). Vannføringen under 2. prøvetakingsperiode var kun 77-85% av tørrværsvannføringen, samtidig som SS-konsentrasjonen var 74% av snittet under tørrværsvannføringen, dette på grunn av avstengning av det partikkelrike avløpsvannet fra Groruddalen under prøvetakingsperioden.

Under alle de andre prøvetakingene så det ut til å være betydelige forstyrrelser i tilførselsmønsteret (**Figur 31**). Under 6., 7. og 8. prøvetaking kan nedbør ha påvirket vannføringen under deler av prøvetakingen, selv om dette ikke er noe entydig bilde. Under den 7. prøvetakingsperioden var belastningen så stor en periode på 36 timer at 33% av vannmengden i denne perioden gikk utenom den biologiske behandlingen (**Figur 33**).

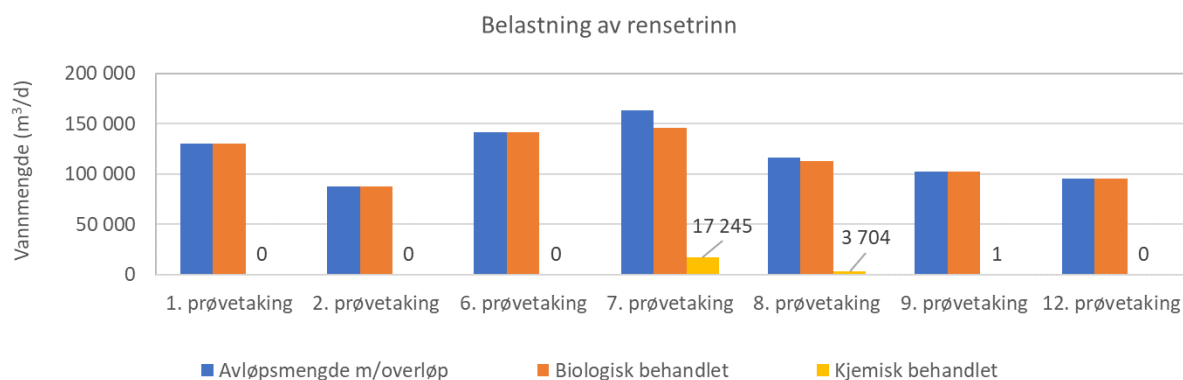
**Kort oppsummert:** Den første prøvetakingsperioden (14.-21.12.2018) ser ut til best å representere tørrværestilførslene til rensanlegget uten øvrige driftsforstyrrelser av anlegget. Den andre prøvetakingsperioden (24.1-1.2.2019) synes å kunne representere tørrværestilførselen uten bidraget fra Groruddalen inkludert industripåslippene fra dette området.



**Figur 31.** Timesvannføringen inn til Bekkelaget rensanlegg under prøvetakingsperiodene med planlagt tørrværestilrenning sammen med faktisk nedbør i samme periode inkludert tre dager forut for prøvetakingsperioden. Rubrikken opp i venstre hjørne angir den gjennomsnittlige vannføringen i perioden sammenlignet med tørrvæsvannføringen fra **Figur 30**. Nedbøren er et gjennomsnitt for målt nedbør fra målestasjonene ved Blindern, Kværnerbyen, Furuset og Ljabru (**Vedlegg A**).



**Figur 32.** Nedbør og snødybde, samt døgnmiddel- og makstemperaturer under de to første prøvetakingene vinteren 2018-2019.



**Figur 33.** Samlet avløpsvannmengde med overløp og belastningen av ulike rensetrinn under prøvetakingene under tørrevær; biologisk behandlet = fullrenset, kjemisk behandlet = mengde som har gått utenom den biologiske behandlingen.

### 3.2.1.2 Tilførselene av mikroplast under tørrevær

Fra diskusjonen ovenfor kan det synes som den aller første prøvetakingsperioden (14.-21.12.2018) best representerer tørreværstilførselene til renseanlegget uten at øvrige driftsforstyrrelser påvirker tilførselene. **Figur 34** viser fordelingen mellom de ulike typene mikroplastpartikler i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under denne prøvetakingen. Ut fra antall var hele 93% av partiklene fibre, mens fragmenter utgjorde den vesentligste delen av de øvrige partiklene (ca. 5%). Men hvis volumet eller vekten av MPP blir lagt til grunn, var det fragmentene som utgjorde den vesentligste delen med ca. 80% av både totalvolumet og total vekten av MPP mens fibre ikke utgjorde mer enn ca. 10%. Til sammen ble det funnet 2 tykke fibre, 2 kuler og én dekkslitasjepartikkel i de tre delprøvene, men på grunn av de relativt sett store dimensjonene til de tykke fibre og kulene, utgjorde disse en ganske stor andel av totalmengden MPP i prøven.

Den samlede konsentrasjonen av MPP<sub>300-5000  $\mu\text{m}$</sub>  i innløpet under tørrevær;

- Antall: 45 000  $\pm$  2 000 MPP/m<sup>3</sup>
- Volum: 120  $\pm$  76  $\mu\text{L}$  MPP/m<sup>3</sup>
- Vekt: 138  $\pm$  49 mg MPP/m<sup>3</sup>

Se **Tabell 13** for mer detaljer.

Den samlede døgntilførselen av MPP<sub>300-5000 µm</sub> under tørrvær;

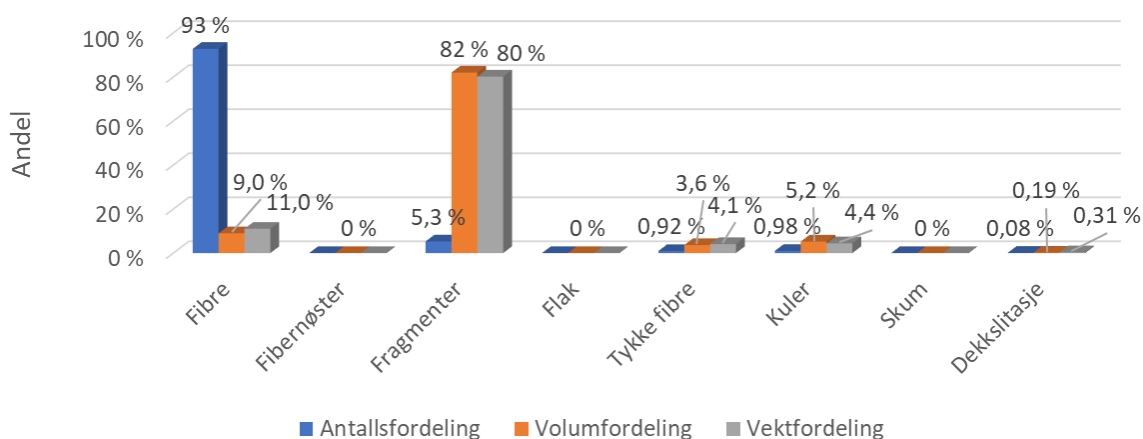
- $5,9 \pm 0,3$  milliarder MPP/døgn
- $15,5 \pm 9,8$  L MPP/døgn
- $17,2 \pm 6,4$  kg MPP/døgn

Se **Tabell 14** for mer detaljer.

Den samlede mengden MPP<sub>300-5000 µm</sub> i innløpet sett i forhold til tørrstoffinnholdet i det innkommende avløpsvannet under tørrvær;

- $182\ 000 \pm 8\ 000$  MPP/kg SS
- $480 \pm 300$  µL/kg SS
- $560 \pm 200$  mg/kg SS

Se **Tabell 15** for mer detaljer.



**Figur 34.** Fordelingen mellom ulike typer mikroplastpartikler i størrelsesområdet 300-5000 µm i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under tørrværstilførsel (prøvetaksperioden 14.-21.12) angitt ut fra antall, volum og vekt.

**Tabell 13.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000 µm i ulike partikkel-kategorier per m<sup>3</sup> avløpsvann inn til Bekkelaget renseanlegg under tørrvæsprøvetakingen 14.-21.12 2018.

Konsentrasjonen av MPP <sub>300-5000 µm</sub> i innløpet under tørrvær									
Partikkeltype	Antall (# MPP/m <sup>3</sup> )			Volum (µL MPP/m <sup>3</sup> )			Vekt (mg MPP/m <sup>3</sup> )		
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	%	Snitt	U <sub>µL/m3</sub>	%	Snitt	U <sub>mg/m3</sub>	%
Fibre	42 100	2 100	93%	10,8	2,7	9,0%	15,3	4,7	11,0%
Fibernøster	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
Fragmenter	2 400	300	5,3%	98	75	82%	111	48	80%
Flak	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
Tykke fibre	420	190	0,92%	4,4	2,3	3,6%	5,7	4,9	4,1%
Kuler	440	210	0,98%	6,2	3,0	5,2%	6,10	4,4	4,4%
Skum	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
Dekkslitasje	37	0	0,08%	0,22	0,13	0,19%	0,43	0,12	0,31%
<b>Totalt</b>	<b>45 400</b>	<b>2 100</b>		<b>120</b>	<b>76</b>		<b>138</b>	<b>49</b>	

**Tabell 14.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i ulike partikkelkategorier per døgn i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under tørrværsprøvetakingen 14.-21.12 2018.

Mengden MPP <sub>300-5000 <math>\mu\text{m}</math></sub> per døgn i innløpet under tørrvær						
Partikkeltype	Antall ( $\cdot 10^6$ MPP/døgn)		Volum (L MPP/døgn)		Vekt (kg MPP/døgn)	
	Snitt	U <sub>#/døgn</sub>	Snitt	U <sub>L/døgn</sub>	Snitt	U <sub>kg/døgn</sub>
Fibre	5 500	300	1,40	0,36	1,98	0,62
Fibernøster	0	-	0	-	0	-
Fragmenter	310	40	12,7	9,8	14,4	6,3
Flak	0	-	0	-	0	-
Tykke fibre	54	25	0,57	0,30	0,73	0,64
Kuler	57	27	0,81	0,39	0,79	0,57
Skum	0	-	0	-	0	-
Dekkslitasje	4,8	0,0	0,029	0,017	0,055	0,016
<b>Totalt</b>	<b>5 900</b>	<b>300</b>	<b>15,5</b>	<b>9,8</b>	<b>17,9</b>	<b>6,4</b>

**Tabell 15.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i ulike partikkelkategorier per tørrstoffmengde i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under tørrværsprøvetakingen 14.-21.12 2018.

Mengden MPP <sub>300-5000 <math>\mu\text{m}</math></sub> per kg SS i innløpet under tørrvær						
Partikkeltype	Antall (# MPP/kg SS)		Volum ( $\mu\text{L}$ MPP/kg SS)		Vekt (mg MPP/kg SS)	
	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>	Snitt	U <sub><math>\mu\text{L}/\text{kg SS}</math></sub>	Snitt	U <sub>mg/kg SS</sub>
Fibre	169 000	8 000	43	11	61	19
Fibernøster	0	-	0	-	0	-
Fragmenter	9 600	1 100	390	300	450	190
Flak	0	-	0	-	0	-
Tykke fibre	1 700	800	17,5	9,2	23	20
Kuler	1 800	800	25	12	24	18
Skum	0	-	0	-	0	-
Dekkslitasje	148	0	0,90	0,51	1,71	0,49
<b>Totalt</b>	<b>182 000</b>	<b>8 000</b>	<b>480</b>	<b>70</b>	<b>560</b>	<b>200</b>

### 3.2.1.3 Bidraget av MPP fra Groruddalen under tørrvær

Som nevnt i **Seksjon 3.2.1.1** gikk ikke avløpet fra Groruddalen med dets industriaktiviteter inn på Bekkelaget renseanlegg under den andre prøvetakingsperioden under tørrvær (24.1-1.2.2019). Differansen i tilførslene av MPP mellom disse to første prøvetakingsperiodene i løpet av vinteren 2018/2019 kan derfor gi en pekepinn på hvor stort bidraget fra Groruddalen kan være.

**Tabell 16** viser differansen i gjennomsnittstilførslene per døgn i de to prøvetakingsperiodene og gir et bilde av totalbidraget fra Groruddalen. Ut fra dette kan det synes som om hele 87% av alle MPP som kom inn til Bekkelaget renseanlegg i den første prøvetakingsperioden kom fra Groruddalen. Ut fra

den gjennomsnittlige belastningen av total-nitrogen i de to prøvetakingsperiodene<sup>7</sup>, var PE-belastningen ( $PE_{tot N}$ ) i den første prøvetakingsperioden  $389\,000 \pm 22\,000$ , mens den var på  $279\,000 \pm 10\,000$  i den andre prøvetakingsperioden, altså en differanse på ca. 110 000 PE eller 28%. Dette stemmer rimelig godt med at det bor ca. 140 000 personer i Groruddalen.

**Tabell 16.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i ulike partikkelkategorier per døgn fra Groruddalen i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under tørrværsprøvetakingen 14.-21.12 2018.

Estimert mengde MPP <sub>300-5000 <math>\mu\text{m}</math></sub> per døgn fra Groruddalen i innløpet under tørrvær				
Partikkeltype	Tørrværsbidrag fra Groruddalen			
	#·10 <sup>6</sup> MPP/døgn	L MPP/døgn	kg MPP/døgn	% av MPP/døgn
Fibre	3 000	0,8	1,1	56 %
Fibernøster	0	0,0	0,0	-
Fragmenter	290	11,9	13,4	93 %
Flak	<0	<0	<0	0 %
Tykke fibre	17	0,2	0,2	31 %
Kuler	57	0,8	0,8	100 %
Skum	<0	<0	<0	-
Dekkslitasje	<0	<0	<0	0 %
<b>Totalt</b>	<b>3 400</b>	<b>13,5</b>	<b>15,6</b>	<b>87 %</b>

Det er ingen dokumentert grunn til å anta at befolkningen i Groruddalen har et vesentlig større utslipp av mikroplast til avløp enn befolkningen i områdene rundt, så det tilsynelatende store bidraget fra Groruddalen kan skyldes;

- den normale variasjonen i innholdet av MPP i avløpsvannet under ellers tilsynelatende like forhold,
- ikke-avdekkede mangler i prøvetaking, prøveopparbeiding og analyse, og/eller
- ekstraordinære bidrag fra industriaktiviteter i Groruddalen.

Det potensielle ekstraordinære bidraget fra industriaktivitetene i Groruddalen kan estimeres ut fra følgende antagelser:

- Prøvetakingen i 2. prøvetakingsrunde gjenspeiler bidraget fra den generelle befolkningen ( $PE_{tot N} = 278\,000 \pm 10\,000$ ) og ligger til grunn for et MPP-estimat per PE ( $PE_{MPP}$ ):

$$PE_{MPP,\#} = \frac{N_{i,døgn}}{PE_{tot N}} \quad [32]$$

$$PE_{MPP,M} = \frac{M_{i,døgn}}{PE_{tot N}} \quad [33]$$

<sup>7</sup> Det er antatt at spillvann fra husholdninger inneholder en forurensningsmengde tilsvarende 12 g total-N/PE\*døgn. Analysedata fra BEVAS (bevas.report.gurusoft.no) er lagt til grunn. Tilsvarende tall for tot P-belastningen ga omtrent den samme PE-belastningen (tot P:  $344\,000 \pm 40\,000$ ), mens KOF-belastningen og SS-belastningen ga urealistisk høye PE-belastninger (KOF:  $547\,000 \pm 114\,000$ ; SS:  $464\,000 \pm 114\,000$  under første prøvetakingsperiode). Ut fra erfaring bruker Oslo kommune selv tot N-belastningen til å beregne PE-belastningen.



- Det samlede bidraget fra den generelle befolkningen under den første prøvetakingen blir da MPP-estimatet per PE multiplisert med PE-belastningen på  $389\,000 \pm 22\,000$  under denne prøvetakingen.
- Bidraget fra industriaktivitetene i Groruddalen blir da differansen mellom det samlede bidraget under den første prøvetakingen og bidraget fra den generelle befolkningen.

Estimatene er oppsummert i **Tabell 17**:

- Hver innbygger bidrar med i størrelsesorden 6 900 MPP/døgn eller 15,2 mg MPP/døgn.
- Bidraget fra industriaktivitetene i Groruddalen ser ut til å kunne utgjøre så mye som ca. 60% av det totale antallet MPP inn til renseanlegget under tørrvær eller ca. 80% av den samlede vekten av MPP.
- Det er spesielt bidraget av MPP-fragmenter som bidrar til den store vektandelen (91%), da hele 93% av alle MPP-fragmentene er estimert å komme fra disse aktivitetene.
- Fibre utgjør en betydelig andel av bidraget fra industrien. Større vaskerier i området kan være en hovedkilde til disse.

**Tabell 17.** Estimerte bidrag fra hver enkelt innbygger ( $PE_{MPP,\#}$ ,  $PE_{MPP,M}$ ), samlet bidrag fra befolkningen og det samlede bidraget fra industriaktivitetene i Groruddalen til MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under tørrvæsprøvetakingen 14.-21.12 2018.

Estimert bidrag fra befolkningen og industrien under tørrvær								
Partikkel-type	Bidrag per PE		Bidrag befolkningen totalt		Bidraget fra industrien i Groruddalen			
	#/PE·d	mg/PE·d	#/d ( $\cdot 10^6$ )	kg/d	# $\cdot 10^6$ /d	kg/d	#-%	Vekt-%
Fibre	6 200	3,1	2 400	1,22	3 000	0,76	56%	38%
Fibernøster	0	0	0	0	0	0	-	-
Fragmenter	53	3,4	20	1,33	290	13,1	93%	91%
Flak	190	1,21	75	0,47	<0	<0	0%	0%
Tykke fibre	96	1,8	37	0,71	17	0,028	31%	3,8%
Kuler	0	0	0	0	57	0,79	100%	100%
Skum	9	0,46	3	0,018	<0	<0	0%	0%
Dekkslitasje	320	5,2	124	2,01	<0	<0	0%	0%
<b>Totalt</b>	<b>6 900</b>	<b>15,2</b>	<b>2 700</b>	<b>5,9</b>	<b>3 400</b>	<b>14,6</b>	<b>58%</b>	<b>81 %</b>

### 3.2.2 Tilførsler av mikroplast under normale vær- og driftsforhold

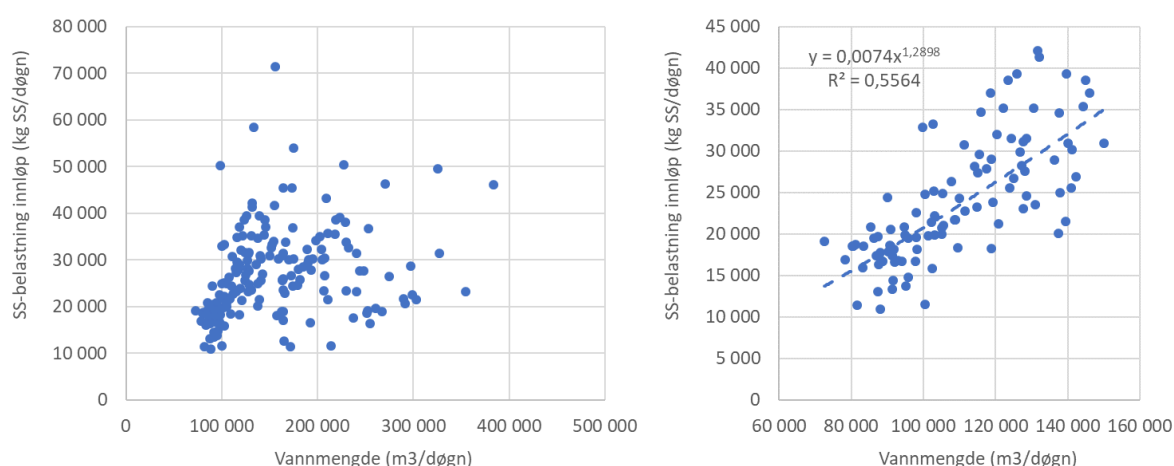
#### 3.2.2.1 Prøvetakingsperiodene som best representerer normale vær- og driftsforhold

Som nevnt tidligere (**Seksjon 3.1.1.1**) var det få perioder med langvarig tørrvær i løpet av prøvetakingsperioden. Ofte var det mange mindre nedbørshendelser, som ikke nødvendigvis påvirket vannføringen inn til Bekkelaget renseanlegg i særlig grad. Døgnvannføringen inkludert overløp i prøvetakingsperioden varierte mellom 72 500 m<sup>3</sup>/døgn og 383 500 m<sup>3</sup>/døgn, mens gjennomsnittet var på 148 600 m<sup>3</sup>/døgn. Det kan synes relevant å vurdere den hydrauliske belastningen (dvs. vannføringen) opp mot stoff belastningen i form av suspendert stoff (SS). Samvariasjonen mellom døgnvannmengden og SS-belastningen inn til renseanlegget gjennom hele prøvetakingsperioden er vist i **Figur 35**. Som utsnittet til høyre viser, synes det å være en tydelig sammenheng mellom vannmengde og tilført mengde SS for vannmengder opp til 150 000 m<sup>3</sup>/døgn til renseanlegget, og det er derfor antatt at vannmengder opp til 150 000 m<sup>3</sup>/døgn kan anses som normalvannføringer som ikke påvirker SS-belastningen asymmetrisk (større vannmengder kan gi både en fortyningseffekt og en høyere konsentrasjon pga. «first flush»-fenomener.

Av de 7 forsøksvise tørrvæsprøvetakingene over til sammen 50 døgn var det 6 døgn som overskred 150 000 m<sup>3</sup>/døgn, hvor av 5 døgn var i prøvetakingsperioden fra 17.-24.6 (7. prøvetaking). I gjennomsnitt var døgnvannmengden i denne perioden på 164 000 m<sup>3</sup>/døgn og den høyeste vannmengde var på 230 000 m<sup>3</sup>/døgn. Det siste «døgnet» med overskridelse av 150 000 m<sup>3</sup>/døgn var under prøvetakingen 28.10-4.11 (prøvetaking nr. 12), men som antydnet i **Figur 31** lå mesteparten av denne vannmengden i timene før prøvetakingen startet.

Under den 8. prøvetakingen (16.-23.7) var det en kortvarig nedbørsperiode, som gjorde at belastningen ble veldig høy en kort periode, slik at deler av avløpsvannet (opptil 30%) ble behandlet kun kjemisk, selv om den samlede vannføringen det døgnet ikke oversteg 150 000 m<sup>3</sup>/døgn.

Prøvetakingene nr. 1, 6, 9 og 12 er derfor lagt til grunn for å estimere tilførslene av mikroplast under normale vær- og driftsforhold.



**Figur 35.** Forholdet mellom døgn tilførsler av SS og døgnvannmengde med overløp i løpet av hele perioden fra 1.12.2018 til 14.11.2019 (venstre side). Høyre graf viser et utsnitt for vannmengder opp til 150 000 m<sup>3</sup>/døgn der to høye måleverdier (av 105) er utelatt.

### 3.2.2.2 Tilførslene av mikroplast under normale vær- og driftsforhold

Tilførslene av MPP<sub>>300</sub> til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold er oppsummert i **Tabell 18** (mengde per m<sup>3</sup> avløpsvann), **Tabell 19** (mengde per døgn) og **Tabell 20** (mengde per kg SS). I **Figur 36** er de gjennomsnittlige tilførslene under normale vær- og driftsforhold sammenlignet med tilførslene under tørrvær. **Figur 37** viser det relative forholdet mellom mengden MPP<sub>>300</sub> i ulike partikkelkategorier basert på antall, volum og vekt av disse partiklene i tilførslene til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold

Følgende er verdt å legge merke til:

- Tilførslene av **fibre** dominerte i antall (87% av alle MPP<sub>>300</sub>) og varierte relativt lite mellom de fire prøvetakingene som inngikk i snittet (39 000/m<sup>3</sup>; 4,4 milliarder/døgn; 158 000/kg SS).
- Tilførslene av **fragmenter** utgjorde i antall 5,2% av MPP<sub>>300</sub> (2 300/m<sup>3</sup>), men dominerte både på basis av volum (90 µL/m<sup>3</sup>; 11 L/døgn; 380 µL/kg SS) og vekt (110 mg/m<sup>3</sup>; 12 kg/døgn; 430 mg/kg SS) med ca. 2/3 av alle MPP<sub>>300</sub>.
- Det ble funnet **dekkslitasjepartikler** i alle de fire prøvene, og i antall utgjorde de i størrelsesorden samme mengde av alle MPP<sub>>300</sub> som fragmentene (1 660/m<sup>3</sup>; 3,8% av MPP<sub>>300</sub>). I volum utgjorde de en litt større andel enn fibrene (8,8% mot 7,2%), mens de utgjorde omtrent det dobbelte av vekten sammenlignet med fibrene (13,8% mot 8,3%). Mengdemessig utgjorde de ca. 45 ganger mer per døgn enn under tørrvær.
- Det ble kun sporadisk funnet **fibernøster, kuler og skum** (10-15% av delprøvene), mens det ble funnet **flak og tykke fibre** i ca. halvparten av delprøvene.
- Det ble funnet omtrent like store mengder (både antall, volum og vekt) av fibre og fragmenter under normale vær og driftsforhold som under tørrvær, mens mengden dekkslitasjepartikler økte betydelig. Totalmengden MPP<sub>>300</sub> var likevel veldig lik den som ble funnet under tørrvær.

**Tabell 18.** Den estimerte mengden av MPP i størrelsesområdet 300-5000 µm i ulike partikkelkategorier per m<sup>3</sup> avløpsvann inn til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold.

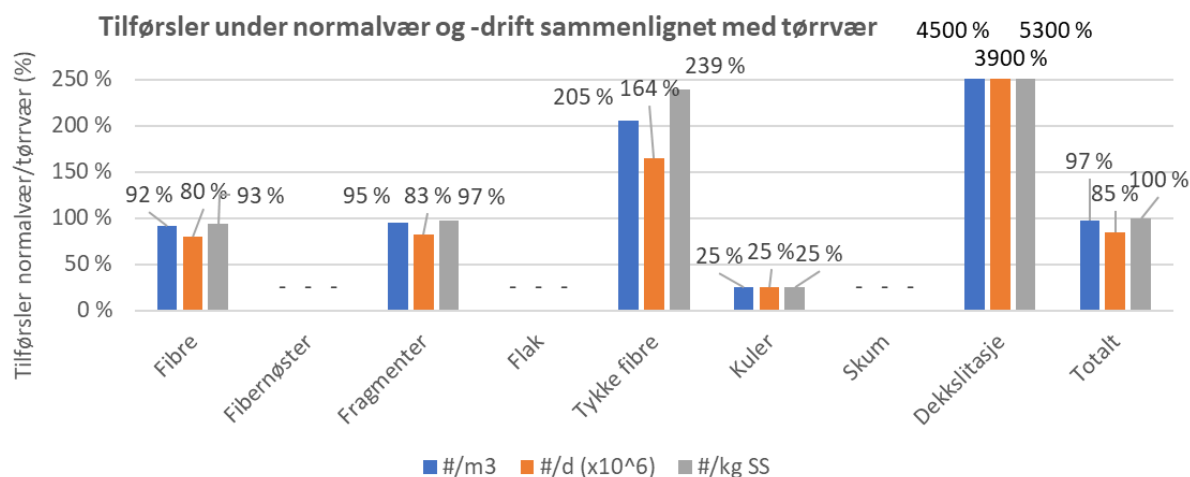
Konsentrasjonen av MPP <sub>300-5000 µm</sub> i innløpet under normale vær- og driftsforhold									
Partikkeltype	Antall (# MPP/m <sup>3</sup> )			Volum (µL MPP/m <sup>3</sup> )			Vekt (mg MPP/m <sup>3</sup> )		
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	%	Snitt	U <sub>µL/m3</sub>	%	Snitt	U <sub>mg/m3</sub>	%
Fibre	39 000	20 000	87 %	9,9	11,6	7,2 %	14,0	17,3	8,3 %
Fibernøster	33	113	0,1 %	2,6	9,7	1,9 %	3,7	1,4	2,2 %
Fragmenter	2 300	3 700	5,2 %	90	330	68 %	110	340	63 %
Flak	520	1 420	1,2 %	2,1	6,1	1,6 %	2,3	6,7	1,4 %
Tykke fibre	860	1 660	1,9 %	8,9	19,7	6,5 %	12	28	6,9 %
Kuler	111	212	0,3 %	1,7	3,1	1,3 %	1,7	4,6	1,0 %
Skum	152	366	0,3 %	11	25	4,6 %	6	22	3,3 %
Dekkslitasje	1 660	2 630	3,8 %	12	32	8,8 %	23	61	13,8 %
<b>Totalt</b>	<b>44 200</b>	<b>20 717</b>	-	<b>142</b>	<b>333</b>	-	<b>170</b>	<b>340</b>	-

**Tabell 19.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i ulike partikkelkategorier per døgn i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold.

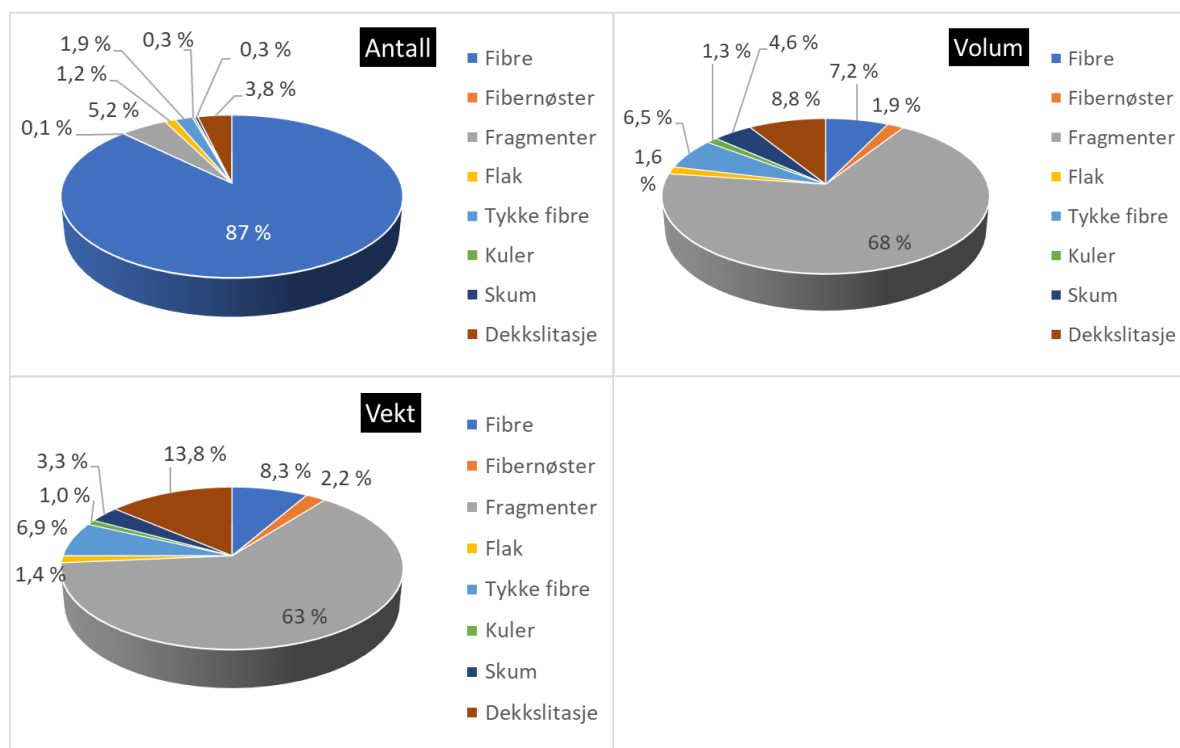
Mengden av MPP <sub>300-5000 <math>\mu\text{m}</math></sub> i innløpet under normale vær- og driftsforhold									
Partikkeltype	Antall (# $\cdot 10^6$ MPP/døgn)			Volum (L MPP/døgn)			Vekt (kg MPP/døgn)		
	Snitt	U <sub>#/d</sub>	%/d	Snitt	U <sub><math>\mu\text{L}/d</math></sub>	%/d	Snitt	U <sub>mg/d</sub>	%/d
Fibre	4 400	2 000	88%	1,12	1,02	7,4 %	1,59	1,56	8,7 %
Fibernøster	3	12	0,067%	0,26	0,57	1,69 %	0,036	0,080	0,20 %
Fragmenter	260	280	5,1%	11	26	69 %	12	25	65 %
Flak	57	109	1,13%	0,23	0,46	1,51 %	0,25	0,51	1,38 %
Tykke fibre	89	127	1,79%	0,93	1,52	6,1 %	1,2	2,2	6,6 %
Kuler	14	28	0,29%	0,22	0,41	1,45 %	0,22	0,60	1,19 %
Skum	16	38	0,31%	0,6	2,5	4,2 %	0,6	2,2	3,1 %
Dekkslitasje	180	230	3,7%	1,3	2,5	8,7 %	2,5	4,8	13,7 %
<b>Totalt</b>	<b>5 000</b>	<b>2 100</b>	<b>-</b>	<b>15,2</b>	<b>27</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>-</b>

**Tabell 20.** Den estimerte mengden MPP i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  i ulike partikkelkategorier per tørrstoffmengde i innløpet til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold.

Mengden MPP <sub>300-5000 <math>\mu\text{m}</math></sub> per kg SS i innløpet under normale vær- og driftsforhold									
Partikkel-type	Antall (# MPP/kg SS)			Volum ( $\mu\text{L}$ MPP/kg SS)			Vekt (mg MPP/kg SS)		
	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>	%/kg SS	Snitt	U <sub><math>\mu\text{L}/\text{kg SS}</math></sub>	%/kg SS	Snitt	U <sub>mg/kg SS</sub>	%/kg SS
Fibre	158 000	79 000	86%	40	40	6,9%	57	60	9,8%
Fibernøster	190	650	0,103%	10	32	1,80%	1,5	4,5	0,26%
Fragmenter	9 300	11 700	5,1%	380	1 070	66%	430	1 060	75%
Flak	2 200	5 000	1,18%	9	21	1,51%	10	23	1,65%
Tykke fibre	4 000	6 500	2,2%	42	78	7,2%	54	108	9,4%
Kuler	450	860	0,24%	7,3	12,9	1,26%	7,2	18,8	1,24%
Skum	900	2 100	0,48%	36	141	6,2%	32	125	5,5%
Dekkslitasje	7 800	11 000	4,3%	53	119	9,2%	100	230	17,5%
<b>Totalt</b>	<b>182 412</b>	<b>81 515</b>	<b>-</b>	<b>581</b>	<b>1 086</b>	<b>-</b>	<b>696</b>	<b>1 097</b>	<b>-</b>



**Figur 36.** Gjennomsnittlige tilførsler av MPP i størrelsesområdet 300-5000 µm i ulike partikkelkategorier under normale vær- og driftsforhold sammenlignet med tilførslene under tørrværsprøvetakingen 14.-21.12 2018.



**Figur 37.** Det relative forholdet mellom mengden MPP<sub>>300</sub> i ulike partikkelkategorier basert på antall, volum og vekt i tilførslene til Bekkelaget renseanlegg under normale vær- og driftsforhold.

### 3.2.3 Tilførsler under kraftig nedbør

#### 3.2.3.1 Sammenhengen mellom nedbør, vannføring og tilførsler av SS

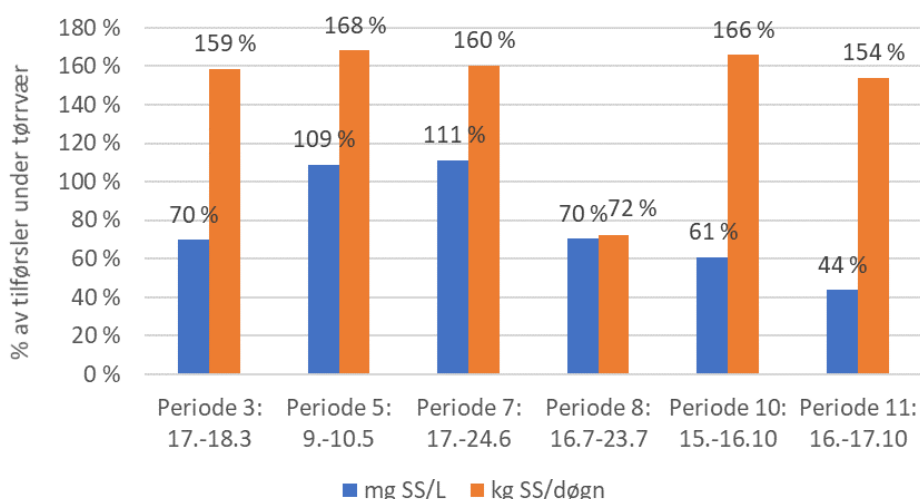
Det ble tatt inn døgnblandprøver under fire kraftige nedbørshendelser (prøvetakingene nr. 3., 5., 10 og 11). **Figur 38** viser nedbøren i de 14 dagene forut for hver av prøvetakingene og under selve prøvetakingene, samt timesvannføringen inn til renseanlegget i samme periode. Perioden forut for **prøvetaking nr. 3** var preget av flere kraftige nedbørshendelser og store og varierende vannmengder inn (opp til 268% av tørrværsvannføringen). Vannføringen inn til anlegget under selve prøvetakingen skilte seg derfor ikke spesielt ut i forhold til 14-dagersperioden forut. Under den **5. prøvetakingen** var situasjonen ganske annerledes, der den forutgående 14-dagersperioden (og faktisk stort sett hele april måned og fram til 9.5) var preget av tørrvær. Den **10. og 11. prøvetakingen** kom rett etter hverandre. 14-dagersperioden forut for disse to prøvetakingene var preget av noen større nedbørshendelser, men uten at vannføringen inn til anlegget så ut til å bli betydelig påvirket.

Også under 7. og 8. prøvetaking, hvor det ble tatt ut ukeblandprøver, var det én eller flere større nedbørshendelser (**Figur 38**). Det var flere litt større nedbørshendelser i forkant av prøvetaking nr. 7, som gjorde at vannmengdene inn til renseanlegget var relativt store i hele perioden. I forkant av den 8. prøvetakingen var det mye mindre nedbør og relativt lav vannføring, men i siste halvdel av selve prøvetakingsperioden kom det noen enkeltbyger, som omtrent doblet vannmengden en kortere periode.



**Figur 38.** Timesnedbøren og timesvannføringen inn til Bekkelaget renseanlegg under prøvetakingsperiodene med kraftig nedbør inkludert de 14 dagene forut for prøvetakingsperioden. Rubrikken med grå bakgrunn angir den gjennomsnittlige vannføringen i perioden sammenlignet med tørrværsvannføringen fra **Figur 30**. Nedbøren er et gjennomsnitt for målt nedbør fra målestasjonene ved Blindern, Kværnerbyen, Furuset og Ljabru (**Vedlegg A**).

De økte vannmengdene kan i prinsippet gi økt tilførsel av suspendert stoff (SS) til renseanlegget ved at partikulært materiale i overvannet ledes til fellesnett og at sedimentert materiale på ledningsnett rives med under transporten til renseanlegget. Det kan forventes at mengden akkumulert materiale øker desto lenger tid det har gått mellom de (litt) kraftige nedbørshendelsene, slik at man kan forvente et noe større bidrag under prøvetakingene nr. 5, 8 og 10 enn under prøvetakingene nr. 3 og 7 (jfr. **Figur 38**). Samtidig vil SS-konsentrasjonene kunne gå ned pga. de økte vannmengdene. Dette er anskueliggjort i **Figur 39** ved å sammenligne tilførslene av SS under disse prøvetakingene (3., 5., 7., 8., 10. og 11.) med de tilsvarende tilførslene under tørrværsperioden 6.-24. april 2019. Under alle prøvetakingene, med unntak av under prøvetaking nr. 8, var tilførslene av SS per døgn høyere (36-68%) enn under tørrværsperioden. Under prøvetakingene med de største vannmengdene (3., 10. og 11.) var SS-konsentrasjonen betydelig lavere (30-56%) enn under tørrværsperioden. Under **prøvetaking nr. 5**, der den drøye månedslange perioden forut for selve prøvetakingen var tørr, var det en mulig svak økning i SS-konsentrasjonen under prøvetakingen. Det samme var tilfelle for **prøvetaking nr. 7**, selv om det her var vesentlig mer nedbør i perioden forut for prøvetakingen. **Prøvetaking nr. 8** skilte seg ut ved at både mengden SS per døgn og SS-konsentrasjonen under prøvetakingen var lavere enn under tørrvær. Vannmengdene inn til renseanlegget de 14 dagene forut for prøvetakingen og i deler av selve prøvetakingen var lavere enn under normalt tørrvær og kan til en viss grad sammenlignes med tilførslene under prøvetaking nr. 2 der det ikke var noen tilførsler fra Groruddalen (74% og 50% av tørrværstilførselen basert på hhv. mg SS/L og kg SS/døgn) (se **Seksjon 3.1.1.1** og **Vedlegg D**).



**Figur 39.** Tilførsler av suspendert stoff til Bekkelaget renseanlegg under prøvetakingene med kraftig nedbør sammenlignet med tilførslene under tørrværsperioden 6.-24. april 2019.

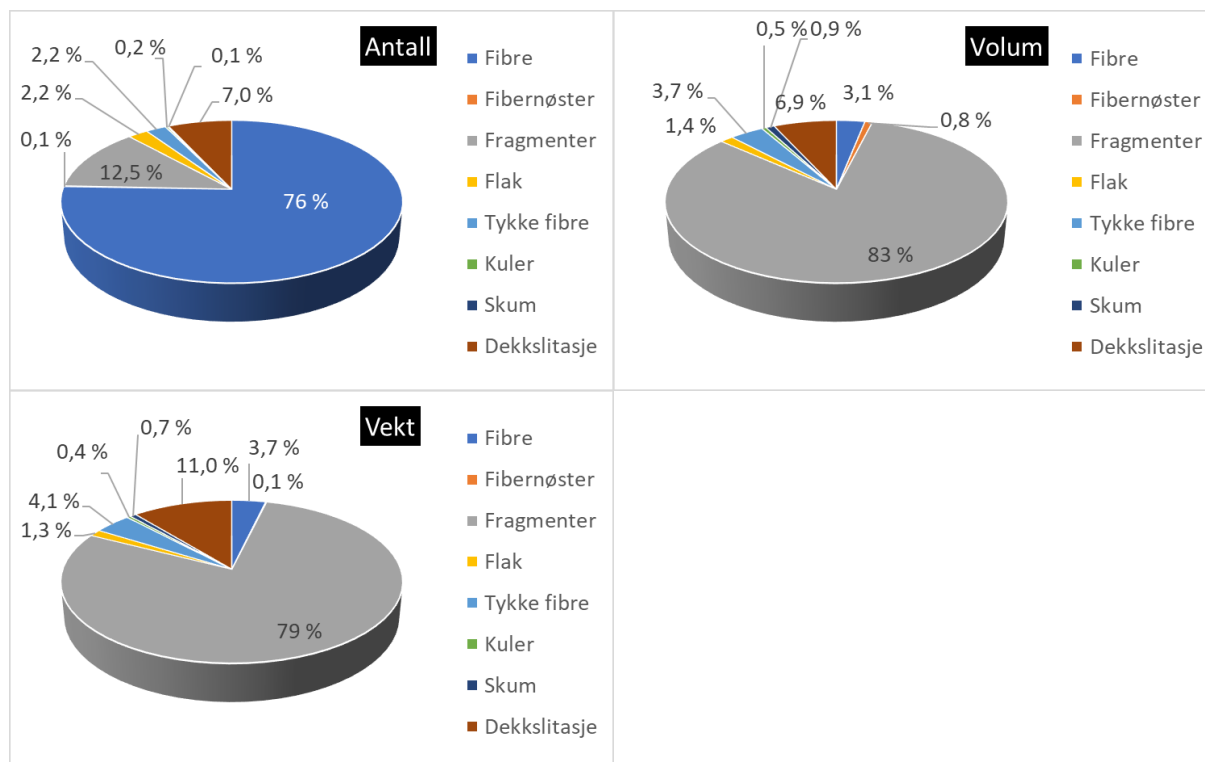
#### Kort oppsummert:

- De økte tilførslene av SS per døgn under prøvetakingene nr. 3, 5, 7, 10 og 11 sammenlignet med under tørrvær skyldes mest sannsynlig en kombinasjon av partikulært materiale i overvannet som ble ledet til fellesnett rett i forkant og under prøvetakingen og tidligere sedimentert materiale på ledningsnett.
- Mens SS-konsentrasjonen var til dels vesentlig lavere enn under tørrvær på grunn av fortynningen med de store vannmassene, overkompenserte de økte SS-mengdene under prøvetaking nr. 5 denne fortynningseffekten. Den månedslange tørre perioden forut for prøvetakingen hadde sannsynligvis gitt betydelig akkumulering av partikulært materiale i byen og langs veier, samt sedimentering på ledningsnett.



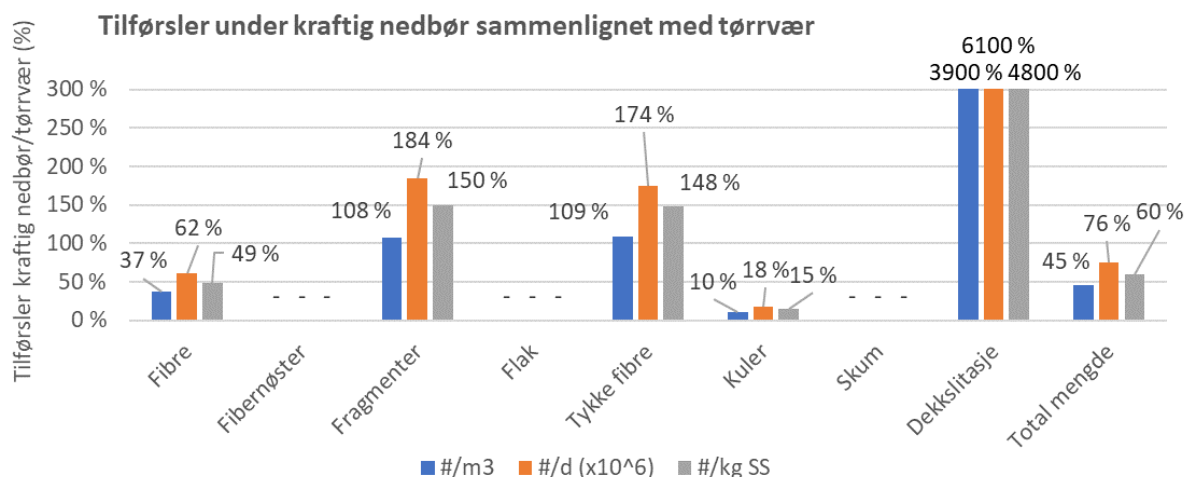
### 3.2.3.2 Tilførsler av $MPP_{>300}$ under kraftig nedbør

**Figur 40** viser det relative forholdet mellom mengden  $MPP_{>300}$  i ulike partikkelkategorier basert på antall, volum og vekt i tilførslene under kraftig nedbør. Grovt sett er bildet svært likt slik det var under normale værforhold (**Figur 37**) der fibre utgjorde hovedandelen av  $MPP_{>300}$  målt i antall, mens fragmentene utgjorde hovedandelen av  $MPP_{>300}$  målt i volum og vekt.



**Figur 40.** Det relative forholdet mellom mengden  $MPP_{>300}$  i ulike partikkelkategorier basert på antall, volum og vekt i tilførslene til Bekkelaget renseanlegg under kraftig nedbør basert på døgnblandprøvene under prøvetakingene 3, 5, 10 og 11.

**Figur 41** viser de gjennomsnittlige tilførslene av  $MPP_{>300}$  i ulike partikkelkategorier fra døgnblandprøvene tatt under kraftig nedbør (dvs. prøvetakingsperiodene 3, 5, 10 og 11) sammenlignet med tilsvarende tilførsler under tørrvæsprøvetakingen 14.-21.12.2018. Ikke helt overraskende var konsentrasjonen av **fibre** i avløpsvannet lavere under kraftig nedbør enn under tørrvær, men også de samlede tilførslene per døgn var lavere. Det var en betydelig økning i tilførslene av **fragmenter**, nær en fordobling per døgn. Den største relative økningen kom i tilførsler av dekkslitasjepartikler, som i snitt var ca. 60 ganger høyere per døgn under kraftig nedbør enn under tørrvær, men ikke mer enn en knapp dobling i forhold til under normale værforhold (**Figur 36**). Også konsentrasjonen av dekkslitasjepartikler per kg SS økte betydelig, ca. 48 ganger, men bare opp til samme størrelsesorden som under normale værforhold. Det ble også funnet noen **fibernøster, flak, tykke fibre, kuler og skum**, men også i disse prøvene (i likhet med tørrvæsprøven) var de relativt få i antall. Samlet sett gikk tilførslene av  $MPP_{>300}$  noe ned under kraftig nedbør sammenlignet med under tørrvær, både per  $m^3$  avløpsvann, per døgn og per kg SS.



**Figur 41.** Gjennomsnittlige tilførsler av  $MPP_{>300}$  i ulike partikkelkategorier fra døgnblandprøvene tatt under kraftig nedbør (dvs. prøvetakingsperiodene 3, 5, 10 og 11) sammenlignet med tilsvarende tilførsler under tørrvæsprøvetakingen 14.-21.12.2018, angitt som antall per m<sup>3</sup> innløpsvann, # per døgn og antall per kg SS. Det er ikke angitt noe forhold for fibernøster, flak eller skum siden det ikke ble funnet noen slike i tørrvæsprøven.

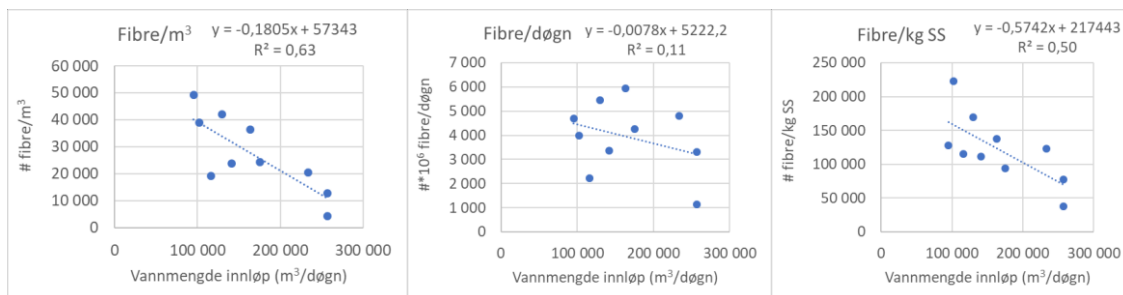
#### Fibre

**Tabell 21** viser tilførslene av fibre i hver av døgn- og ukeblandprøvene tatt under kraftig nedbør. Den oppsummerer også resultatene for tørrvæsprøven og normalvæsprøvene. Estimaten viser at det i det store og hele var betydelig færre fibre i disse prøvene enn i tørrvæsprøven, selv det antallet (eller samlede mengden) per døgn. Det eneste unntaket var prøveuttak nr. 7, som ga i størrelsesorden samme døgnestimat enn under tørrvær. Også konsentrasjonen av fibre per kg SS var høyere under tørrvær enn under kraftig nedbør. Resultatene indikerer (ikke overraskende) at overvann i liten grad bidrar til fibre, og antyder at fibre i liten grad sedimenterer ute på avløpsnett.

**Figur 42**, som viser hvordan tilførslene av fibre varierte med de innkommende vannmengdene inn til rensenanlegget, tydeliggjør det samme bildet; det var en klar sammenheng mellom redusert konsentrasjon (per m<sup>3</sup> avløpsvann og per kg SS) og økende døgnvannmengde (fortynningseffekt). Det var en stor variasjon i døgntilførslene, men ingen klar samvariasjon med vannmengden.

**Tabell 21.** Det estimerte antallet, volumet og vekten av **fibre** i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  inn til Bekkelaget renseanlegg i døgnblandprøvene tatt under kraftig nedbør. U angir usikkerheten i gjennomsnittsverdien.

	Antall		
	#/m <sup>3</sup> ± U	#·10 <sup>6</sup> /døgn ± U	#/kg SS ± U
Tørrvær (1. prøvetaking)	42 000 ± 2 100	5 500 ± 300	169 000 ± 8 000
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	39 000 ± 20 000	4 400 ± 2 000	158 000 ± 79 000
3. prøvetaking	12 900 ± 400	3 300 ± 100	77 000 ± 2 000
5. prøvetaking	24 000 ± 6 000	4 300 ± 1 000	94 000 ± 22 000
7. prøvetaking	36 000 ± 1 100	5 900 ± 200	138 000 ± 4 000
8. prøvetaking	19 200 ± 2 500	2 200 ± 300	115 000 ± 15 000
10. prøvetaking	21 000 ± 3 000	4 800 ± 800	123 000 ± 21 000
11. prøvetaking	4 500	1 170	38 000
Snitt kraftig nedbør	15 600 ± 9 500	3 400 ± 1 900	83 000 ± 38 000
	Volum		
	$\mu\text{L}/\text{m}^3 \pm \text{U}$	L/døgn ± U	$\mu\text{L}/\text{kg SS} \pm \text{U}$
Tørrvær (1. prøvetaking)	10,8 ± 0,5	1,40 ± 0,07	43 ± 2
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	9,9 ± 1,4	1,12 ± 0,11	40 ± 6
3. prøvetaking	3,3 ± 0,1	0,84 ± 0,02	19,8 ± 0,6
5. prøvetaking	6,2 ± 2,1	1,09 ± 0,37	24 ± 8
7. prøvetaking	9,3 ± 2,3	1,52 ± 0,38	35 ± 9
8. prøvetaking	4,9 ± 1,4	0,57 ± 0,16	29 ± 8
10. prøvetaking	5,2 ± 1,6	1,22 ± 0,37	31 ± 10
11. prøvetaking	1,16 ± 0,29	0,30 ± 0,07	9,8 ± 2,5
Snitt kraftig nedbør	4,0 ± 4,1	0,86 ± 0,84	21 ± 18
	Vekt		
	mg/m <sup>3</sup> ± U	kg/døgn ± U	mg/kg SS ± U
Tørrvær (1. prøvetaking)	15,3 ± 0,7	1,98 ± 0,10	61 ± 3
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	14,0 ± 1,9	1,59 ± 0,16	57 ± 9
3. prøvetaking	4,7 ± 0,1	1,20 ± 0,03	28 ± 1
5. prøvetaking	8,8 ± 3,0	1,54 ± 0,53	34 ± 12
7. prøvetaking	13,2 ± 3,3	2,2 ± 0,5	50 ± 13
8. prøvetaking	7,0 ± 2,0	0,81 ± 0,23	42 ± 12
10. prøvetaking	7,4 ± 2,2	1,74 ± 0,52	45 ± 13
11. prøvetaking	1,64 ± 0,41	0,42 ± 0,11	13,9 ± 3,5
Snitt kraftig nedbør	5,6 ± 5,8	1,23 ± 1,20	30 ± 30

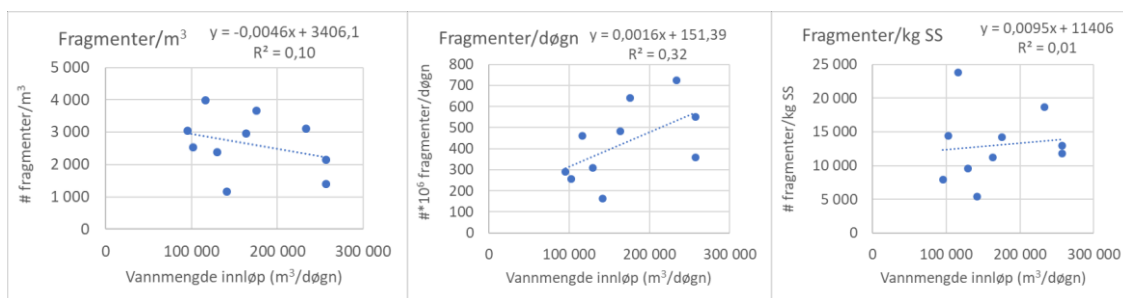


**Figur 42.** Antall fibre (>300  $\mu\text{m}$ ) per  $\text{m}^3$  avløpsvann i innløpet (venstre), per døgn i innløpet (midten) og per kg SS i innløpet (høyre) som funksjon av døgnvannmengden inn til renseanlegget under alle prøvetakingene med unntak av nr. 2 og nr. 4. Stiplet linje viser lineærtilpasningen av punktene; ligningen for lineærtilpasningen og regresjonskoeffisienten er vist oppe i høyre hjørne i hver delfigur.

### Fragmenter

**Figur 43** viser tilførslene av fragmenter i hver av døgn- og ukeblandprøvene tatt under kraftig nedbør. Den oppsummerer også resultatene for tørrvæsprøven og normalvæsprøvene. Resultatene indikerer en økt tilførsel av fragmenter til renseanlegget under kraftig nedbør sammenlignet både med tørrvær og normalvær. Både konsentrasjonen per  $\text{m}^3$  avløpsvann og per kg SS og økningen per døgn synes å være høyest etter lengre tids oppholdsvær (5., 8. og 10. prøvetaking), selv om mengden per døgn ved prøvetaking nr. 8 synes å være delvis utjevnet over de 7 døgnene prøvetakingen foregikk over (**Tabell 22**). Den markante nedgangen fra 10. til 11. prøvetaking, som foregikk over to påfølgende døgn, antyder en «first flush-effekt» ved prøvetaking nr. 10.

**Figur 43**, som viser hvordan tilførslene av fragmenter varierte med de innkommende vannmengdene inn til renseanlegget, antyder en tendens til økende tilførsler av fragmenter med økende vannmengde, mens det ikke var noen tydelig sammenheng mellom konsentrasjonen av fragmenter (per  $\text{m}^3$  avløpsvann eller per kg SS) og vannmengden.



**Figur 43.** Antall fragmenter (>300  $\mu\text{m}$ ) per  $\text{m}^3$  avløpsvann i innløpet (venstre), per døgn i innløpet (midten) og per kg SS i innløpet (høyre) som funksjon av døgnvannmengden inn til renseanlegget under alle prøvetakingene med unntak av nr. 2 og nr. 4. Stiplet linje viser lineærtilpasningen av punktene; ligningen for lineærtilpasningen og regresjonskoeffisienten er vist oppe i høyre hjørne i hver delfigur.

**Tabell 22.** Det estimerte antallet, volumet og vekten av **fragmenter** i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  inn til Bekkelaget renseanlegg i døgnblandprøvene tatt under kraftig nedbør. U angir usikkerheten i gjennomsnittsverdien.

	Antall		
	$\#/m^3 \pm U$	$\# \cdot 10^6 / \text{døgn} \pm U$	$\#/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	2 400 $\pm$ 270	310 $\pm$ 40	9 600 $\pm$ 1 100
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	2 300 $\pm$ 3 700	260 $\pm$ 280	9 300 $\pm$ 11 700
3. prøvetaking (døgnblandprøve)	2 100 $\pm$ 700	550 $\pm$ 170	12 900 $\pm$ 4 000
5. prøvetaking (døgnblandprøve)	3 700 $\pm$ 900	640 $\pm$ 160	14 200 $\pm$ 3 600
7. prøvetaking (ukeblandprøve)	3 000 $\pm$ 1 800	480 $\pm$ 300	11 200 $\pm$ 7 000
8. prøvetaking (ukeblandprøve)	4 000 $\pm$ 2 300	460 $\pm$ 260	24 000 $\pm$ 13 000
10. prøvetaking (døgnblandprøve)	3 100 $\pm$ 500	730 $\pm$ 120	18 600 $\pm$ 3 000
11. prøvetaking (døgnblandprøve)	1 396	360	11 800
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	2 600 $\pm$ 2 100	570 $\pm$ 450	14 400 $\pm$ 10 500
	Volum		
	$\mu\text{L}/m^3 \pm U$	$\text{L}/\text{døgn} \pm U$	$\mu\text{L}/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	98 $\pm$ 75	12,7 $\pm$ 9,8	390 $\pm$ 300
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	90 $\pm$ 330	11 $\pm$ 26	380 $\pm$ 1 070
3. prøvetaking (døgnblandprøve)	88 $\pm$ 34	23 $\pm$ 9	530 $\pm$ 200
5. prøvetaking (døgnblandprøve)	150 $\pm$ 120	26 $\pm$ 21	580 $\pm$ 470
7. prøvetaking (ukeblandprøve)	121 $\pm$ 119	19,8 $\pm$ 19,5	460 $\pm$ 450
8. prøvetaking (ukeblandprøve)	163 $\pm$ 150	19,0 $\pm$ 17,9	980 $\pm$ 920
10. prøvetaking (døgnblandprøve)	128 $\pm$ 99	30 $\pm$ 23	770 $\pm$ 590
11. prøvetaking (døgnblandprøve)	57 $\pm$ 44	14,7 $\pm$ 11,2	490 $\pm$ 370
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	106 $\pm$ 51	23 $\pm$ 64	590 $\pm$ 1 270
	Vekt		
	$\text{mg}/m^3 \pm U$	$\text{kg}/\text{døgn} \pm U$	$\text{mg}/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	111 $\pm$ 48	14,4 $\pm$ 6,3	450 $\pm$ 190
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	110 $\pm$ 340	12 $\pm$ 25	430 $\pm$ 1 060
3. prøvetaking (døgnblandprøve)	100 $\pm$ 38	26 $\pm$ 10	600 $\pm$ 230
5. prøvetaking (døgnblandprøve)	170 $\pm$ 136	30 $\pm$ 24	660 $\pm$ 530
7. prøvetaking (ukeblandprøve)	137 $\pm$ 135	22 $\pm$ 22	520 $\pm$ 510
8. prøvetaking (ukeblandprøve)	185 $\pm$ 174	22 $\pm$ 20	1 110 $\pm$ 1 040
10. prøvetaking (døgnblandprøve)	145 $\pm$ 112	34 $\pm$ 26	870 $\pm$ 670
11. prøvetaking (døgnblandprøve)	65 $\pm$ 49	16,7 $\pm$ 12,6	550 $\pm$ 420
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	120 $\pm$ 340	26 $\pm$ 73	630 $\pm$ 1 850

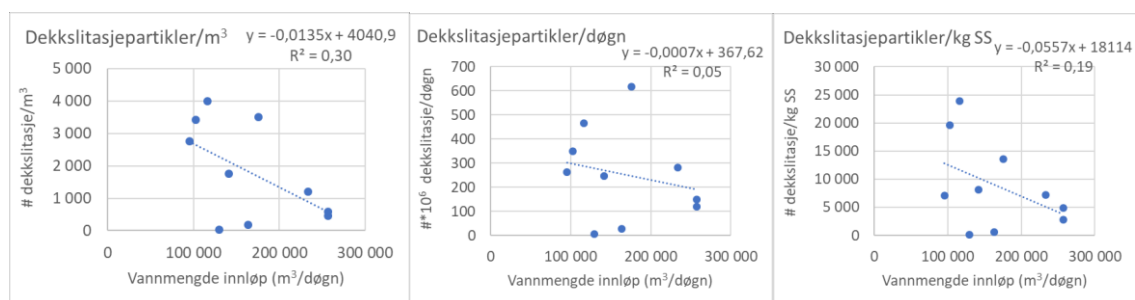
#### Dekkslitasjepartikler

**Tabell 23** viser tilførslene av dekkslitasjepartikler i hver av døgns- og ukeblandprøvene tatt under kraftig nedbør. Den oppsummerer også resultatene for tørrvæsprøven og normalvæsprøvene. Resultatene indikerer en ganske variabel tilførsel, som sannsynligvis kan skyldes en kombinasjon av flere forhold:

- Usikker metode for identifisering og kvantifisering av dekkslitasjepartikler, som kan innebære mange falske positive og/eller mange reelle partikler som ikke er inkludert i estimatene (se **Seksjon Vedlegg I**).
- Det er forventet at de fleste dekkslitasjepartiklene vil befinne seg i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu\text{m}$  og vil dermed ikke inkludert i de størrelsesfraksjonene som er inkludert her (300-1000  $\mu\text{m}$  og 1000-5000  $\mu\text{m}$ ).

Likevel, resultatene antyder samme tendens som for fragmenter, at tilførselen av dekkslitasjepartikler til renseanlegget øker under kraftig nedbør sammenlignet både med tørrvær og normalvær. Og at både konsentrasjonen per  $\text{m}^3$  avløpsvann og per kg SS og økningen per døgn synes å være høyest etter lengre tids oppholdsvær (5., 8. og 10. prøvetaking). Også her var det en markant nedgang fra 10. til 11. prøvetaking med en antydning om en «first flush-effekt» ved prøvetaking nr. 10.

**Figur 44**, som viser hvordan tilførselene av dekkslitasjepartikler varierte med de innkommende vannmengdene inn til renseanlegget, antyder et noe annet bilde enn resultatene fra **Tabell 23** oppsummert over; at konsentrasjonen av dekkslitasjepartikler (per  $\text{m}^3$  avløpsvann eller per kg SS) reduseres med økende vannmengde, og at det ikke var noen økt døgntilførselen med økende vannmengde. Hovedgrunnen til dette tilsynelatende avviket ser ut til å skyldes de tidvis relativt store tilførselene av dekkslitasjepartikler også under normale værforhold (med noe regn).

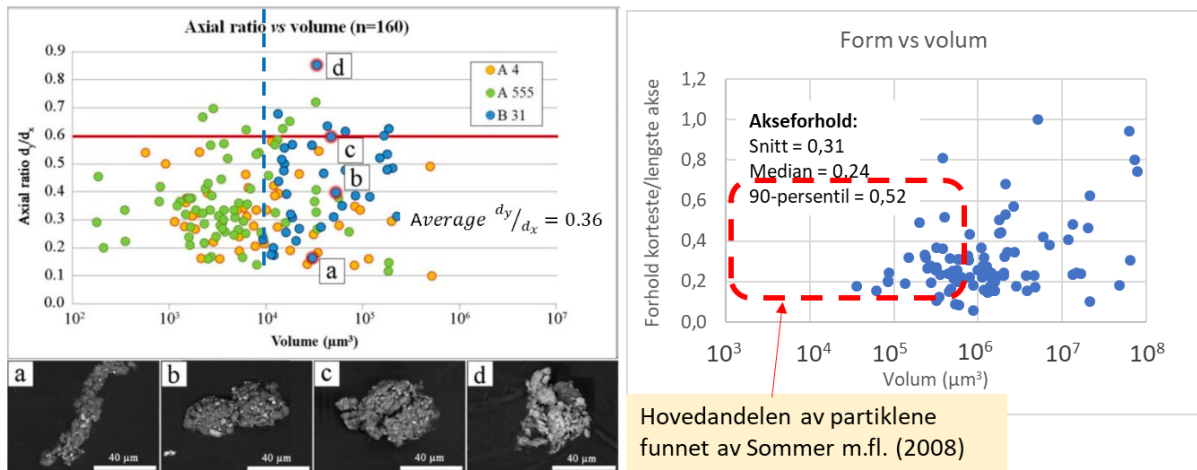


**Figur 44.** Antall dekkslitasjepartikler ( $>300 \mu\text{m}$ ) per  $\text{m}^3$  avløpsvann i innløpet (venstre), per døgn i innløpet (midten) og per kg SS i innløpet (høyre) som funksjon av døgnavannmengden inn til renseanlegget under alle prøvetakingene med unntak av nr. 2 og nr. 4. Stiplet linje viser lineærtløsningen av punktene; ligningen for lineærtløsningen og regresjonskoeffisienten er vist oppe i høyre hjørne i hver delfigur.

**Tabell 23.** Det estimerte antallet, volumet og vekten av **dekkslitasjepartikler** i størrelsesområdet 300-5000  $\mu\text{m}$  inn til Bekkelaget rensanlegg i døgnblandprøvene tatt under kraftig nedbør. U angir usikkerheten i gjennomsnittsverdien.

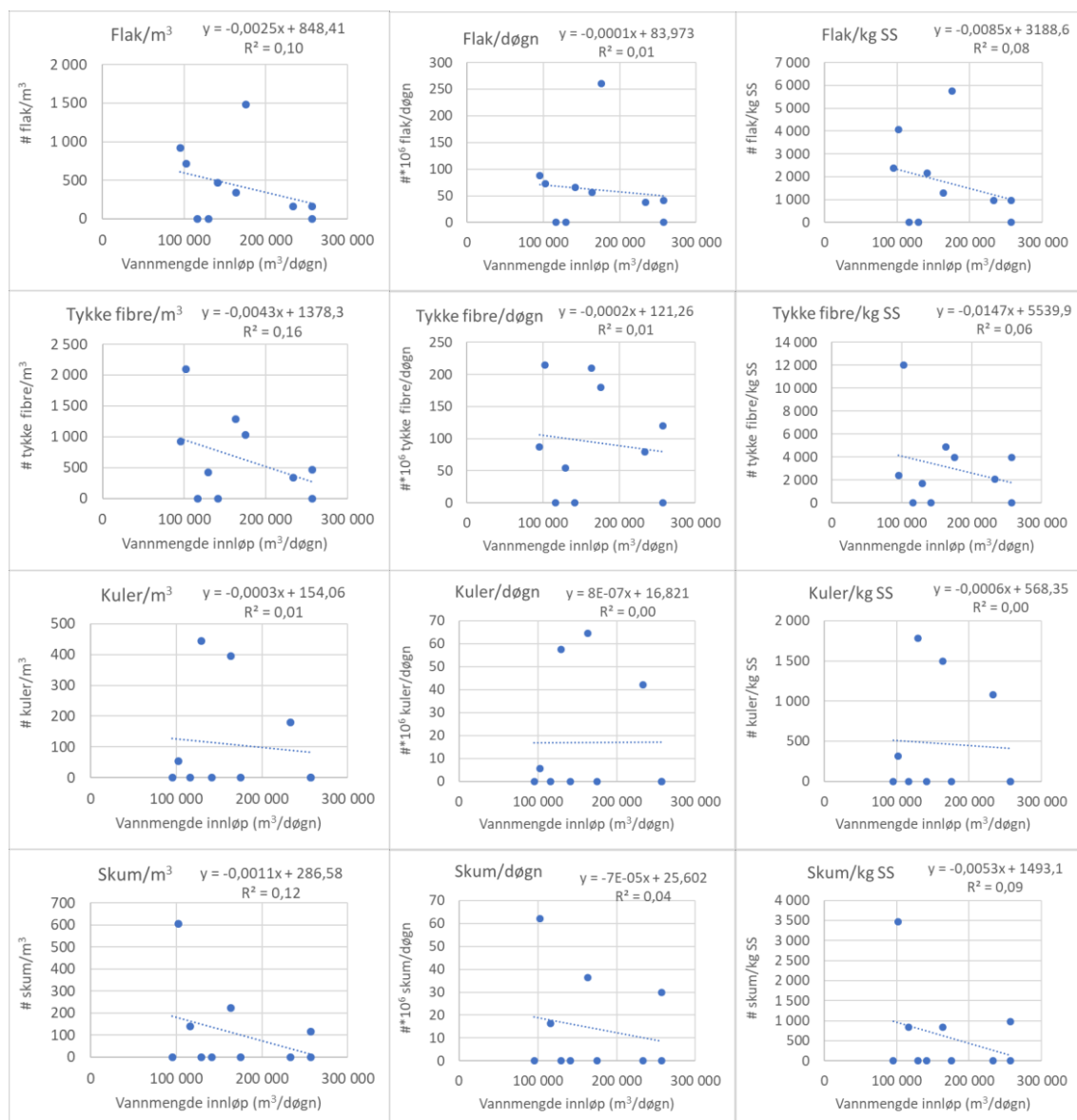
	Antall		
	$\#/m^3 \pm U$	$\# \cdot 10^6 / \text{døgn} \pm U$	$\#/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	37	4,8	148
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	$1\,700 \pm 2\,600$	$180 \pm 230$	$7\,800 \pm 11\,000$
3. prøvetaking (døgnblandprøve)	$460 \pm 350$	$119 \pm 101$	$2\,800 \pm 2400$
5. prøvetaking (døgnblandprøve)	$3\,500 \pm 1\,100$	$620 \pm 200$	$13\,600 \pm 4\,500$
7. prøvetaking (ukeblandprøve)	$170 \pm 140$	$28 \pm 24$	$650 \pm 550$
8. prøvetaking (ukeblandprøve)	$4\,000 \pm 100$	$470 \pm 20$	$24\,000 \pm 800$
10. prøvetaking (døgnblandprøve)	$1\,200 \pm 100$	$280 \pm 20$	$7\,200 \pm 500$
11. prøvetaking (døgnblandprøve)	580	149	4 900
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	$1\,440 \pm 1\,640$	$290 \pm 320$	$7\,100 \pm 7\,300$
	Volum		
	$\mu\text{L}/m^3 \pm U$	$\text{L}/\text{døgn} \pm U$	$\mu\text{L}/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	0,22	0,029	0,90
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	$12 \pm 32$	$1,3 \pm 2,5$	$53 \pm 119$
3. prøvetaking	$2,8 \pm 2,8$	$0,72 \pm 0,71$	$17,0 \pm 16,6$
5. prøvetaking	$21 \pm 14$	$3,8 \pm 2,5$	$83 \pm 55$
7. prøvetaking	$1,05 \pm 1,06$	$0,17 \pm 0,17$	$4,0 \pm 4,0$
8. prøvetaking	$24 \pm 14$	$2,8 \pm 1,6$	$146 \pm 83$
10. prøvetaking	$7,4 \pm 4,2$	$1,72 \pm 0,98$	$44 \pm 25$
11. prøvetaking	$3,5 \pm 2,0$	$0,91 \pm 0,52$	$30 \pm 17$
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	$8,8 \pm 7,4$	$1,8 \pm 4,7$	$44 \pm 97$
	Vekt		
	$\text{mg}/m^3 \pm U$	$\text{kg}/\text{døgn} \pm U$	$\text{mg}/kg \text{ SS} \pm U$
Tørrvær (1. prøvetaking)	0,43	0,055	1,71
Normalvær (1., 6., 9., 12. prøvetaking)	$23 \pm 61$	$2,5 \pm 4,8$	$100 \pm 230$
3. prøvetaking	$5,4 \pm 5,2$	$1,38 \pm 1,35$	$32 \pm 32$
5. prøvetaking	$41 \pm 27$	$7,2 \pm 4,7$	$158 \pm 104$
7. prøvetaking	$2,0 \pm 2,0$	$0,32 \pm 0,33$	$7,5 \pm 7,6$
8. prøvetaking	$46 \pm 26$	$5,4 \pm 0,0$	$280 \pm 160$
10. prøvetaking	$14,0 \pm 8,0$	$3,3 \pm 1,9$	$84 \pm 48$
11. prøvetaking	$6,7 \pm 3,8$	$1,73 \pm 0,98$	$57 \pm 33$
Snitt kraftig nedbør (døgnblandprøver)	$17 \pm 44$	$3,4 \pm 8,9$	$80 \pm 220$





### Flak, tykke fibre, kuler og skum

For de øvrige partikkeltypene var datagrunnlaget mer sparsommelig, og en dypere tolkning av resultatene blir fort spekulativ. Likevel, som **Figur 45** antyder, var det generelt sett en svak tendens at konsentrasjonen (per  $\text{m}^3$  avløpsvann eller per kg SS) ble redusert med økende vannmengde (fortynningseffekt) for enkelte typer partikler (flak, tykke fibre og skum), men at det ikke var noen klar sammenheng med døgntilførselen og vannmengde.



**Figur 45.** Antall flak, tykke fibre, kuler og skumpartikler (>300 µm) per m<sup>3</sup> avløpsvann i innløpet (venstre kolonne delfigurer), per døgn i innløpet (midtre kolonne delfigurer) og per kg SS i innløpet (høyre kolonne delfigurer) som funksjon av døgnavvannmengden inn til rensanlegget under alle prøvetakingene med unntak av nr. 2 og nr. 4. Stiplet linje viser lineærtilpasningen av punktene; ligningen for lineærtilpasningen og regresjonskoeffisienten er vist oppe i høyre hjørne i hver delfigur.

### 3.2.4 Tilførsler ved tømning av Midgardsormen

Midgardsormen (MO) er et stort magasin (86 000 m<sup>3</sup>) som brukes til å lagre sterkt forurenset overvann og avløpsvann under nedbør som ellers ville belastet rensanlegget uforholdsmessig mye. Når rensanlegget har kapasitet til å behandle det magasinerte avløpsvannet med fullverdig biologisk behandling, slippes dette inn på anlegget. I ekstreme tilfeller, der det ikke er ledig kapasitet i disse magasinene, går det vann direkte fra disse magasinene via rist til nytt dyputslipp på 50 m ute i Bekkelagsbassenget.

Prøvetaking nr. 4 ble gjort under tømning av MO. **Tabell 25** viser konsentrasjonen (per m<sup>3</sup> avløpsvann eller per kg SS) og døgnstilførselen av de ulike partikkeltypene i denne prøven. For å lette sammenligningen med tilsvarende funn under tørrvær, under normalvær og under kraftig nedbør er disse også vist. Med unntak av kuler og skum (som ikke ble funnet i denne prøven i det hele tatt), ble alle partikkeltypene funnet i vesentlig høyere konsentrasjoner (#/m<sup>3</sup> avløpsvann) og i vesentlig høyere døgnstilførsler enn i noen av de andre prøvene.

Ved tømningen av MO økte også mengden SS betydelig (**Figur 46**), men likevel var konsentrasjonen per kg SS vesentlig større i denne prøven enn i de øvrige prøvene med noen få unntak; fibre, tykke fibre og dekkslitasjepartikler ved prøveuttak nr. 9 under normalvær, hvor også døgnmengden SS var vesentlig lavere enn ved de øvrige normalvær-prøvetakingene. Ellers ble det funnet ett litt større fibernøste ved ett av prøveuttakene under kraftig nedbør.

Det er vanskelig å generalisere denne målte ekstrabelastningen på renseanlegget man får ved tømning av MO. Hvor stor belastningen blir er sterkt avhengig av hvor lang tid det har gått siden forrige tømning og hvor langt ned den tømmes. MO dreneres kontinuerlig fra bunnen, mens det som ligger og flyter langt sjeldnere vil fjernes fra magasinet. Ved denne tømningen ble MO tømt så og si helt ned; <1% fyllingsgrad, men en resterende gjennomsnittlig vannstand på ca. 4 m og ca. 250 m<sup>3</sup> i magasinet (**Figur 47**). Hvis det antas at:

- bidraget fra tømningen av MO tilsvarte den mengden SS som ble tilført renseanlegget som overskred tørrværstilførselen 14.-21.12.18 (se **Figur 46**), dvs. 26 100 kg SS/døgn ( $M_{SS,tørr} - M_{SS,MO}$ ), og
- konsentrasjonen av MPP<sub>>300</sub> i akkumulert materiale i MO per vektenhet SS (# MPP>300/kg SS) er i samme størrelsesorden som under tømningen 27.-28.3.19,

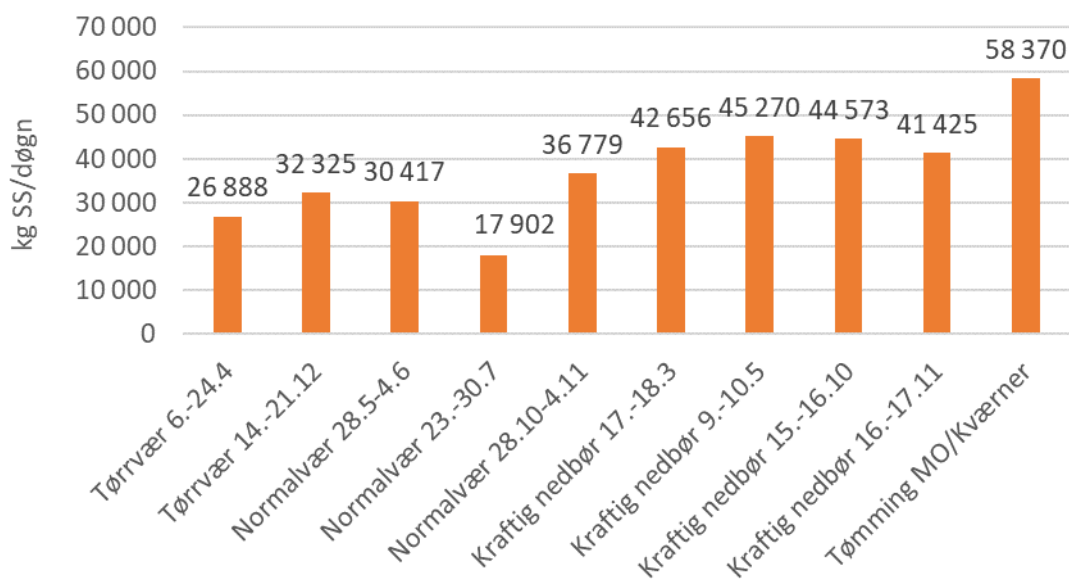
så kan det ekstra bidraget til MPP<sub>>300</sub> utover tørrværstilførselen ved øvrige tømminger av MO grovt estimeres på bakgrunn av tallene gitt i **Tabell 24** og følgende generelle ligninger:

$$\text{Antall per døgn: } N_{i,MO,ekstra} = N_{i,MO} \cdot (M_{SS,tørr} - M_{SS,MO}) \quad [42]$$

$$\text{Liter per døgn: } V_{i,MO,ekstra} = V_{i,MO} \cdot (M_{SS,tørr} - M_{SS,MO}) \cdot 10^{-6} \quad [43]$$

$$\text{Kg per døgn: } M_{i,MO,ekstra} = M_{i,MO} \cdot (M_{SS,tørr} - M_{SS,MO}) \cdot 10^{-6} \quad [44]$$

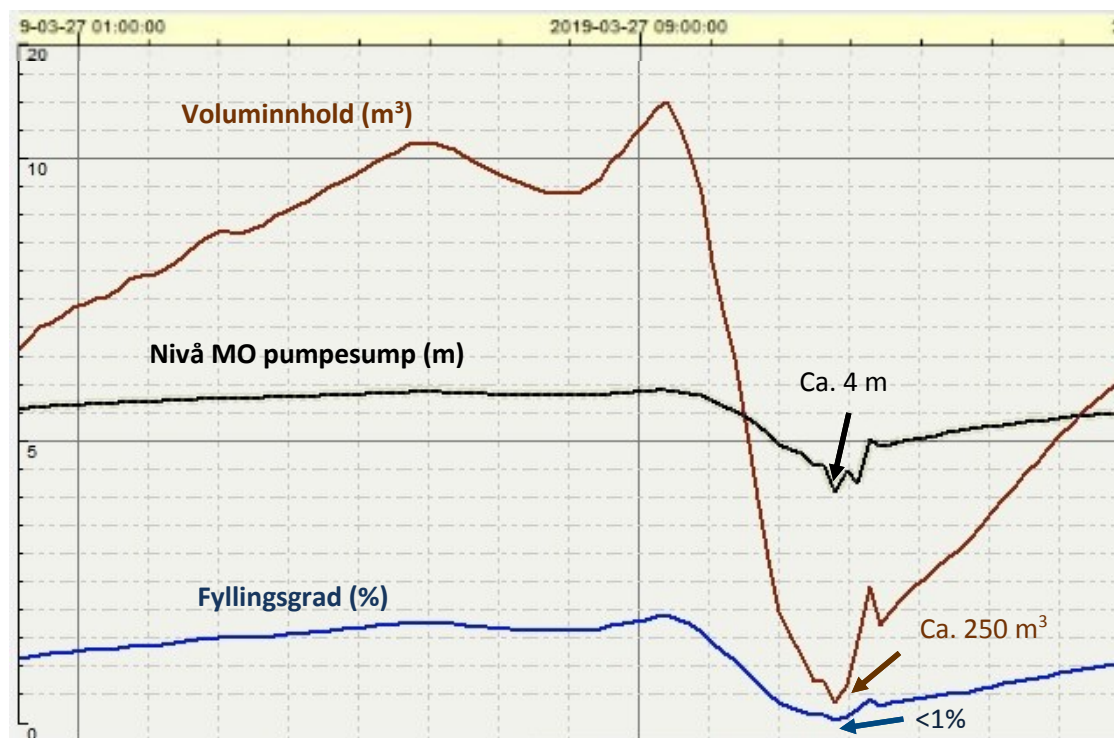
Der  $M_{SS,tørr} = \overline{V_{døgn,tørr}} \cdot C_{SS,tørr}$  og  $M_{SS,MO} = \overline{V_{døgn,MO}} \cdot C_{SS,MO}$



**Figur 46.** Tilførsler av SS per døgn til Bekkelaget renseanlegg under tørrvær, normalvær, kraftig nedbør og ved tømmingen av MO og Kvæerner-tunnelen 27.-28.3.2019.

**Tabell 24.** Det ekstra bidraget til ulike typer partikler ved tømming av MO estimert på bakgrunn av differansen mellom tilførslene under tørrvær 14.-21.12.2018 og tilførslene under tømming av MO 27.-28.3.2019.

Partikkeltype	Antall (# MPP/kg SS)		Volum ( $\mu\text{L}$ MPP/kg SS)		Vekt (mg MPP/kg SS)	
	$N_{i,MO}$		$V_{i,MO}$		$M_{i,MO}$	
	Snitt	$U_{\#/kg\ SS}$	Snitt	$U_{\mu\text{L}/kg\ SS}$	Snitt	$U_{\text{mg}/kg\ SS}$
Fibre	192 000	20 000	49	1	70	2
Fibernøster	3 800	3 100	136	86	19	12
Fragmenter	88 000	6 100	3 600	200	4 100	200
Flak	17 500	4 300	71	4	78	5
Tykke fibre	15 400	4 400	160	12	210	20
Kuler	0	0	0	0	0	0
Skum	0	0	0	0	0	0
Dekkslitasje	42 000	9 200	250	30	480	60
<b>Totalt</b>	<b>358 000</b>	<b>24 000</b>	<b>4 300</b>	<b>200</b>	<b>4 900</b>	<b>200</b>



Figur 47. Status for nivåmålerne i MO under tømning 27.3.2019.

### 3.2.5 Estimert samlet tilførsel av mikroplast over året

På bakgrunn av resultatene over er det mulig å sette opp et grovt estimat over hvor mye MPP>300 som kom inn til Bekkelaget renseanlegg over ett-årsperioden fra 1.12.2018 til 30.11.2019. Følgende antagelser er lagt til grunn:

- Det anses som **tørrvær** når timesvannføringen inn til renseanlegget følger det omtrentlige forløpet slik det er vist i **Figur 30** og varierer omtrentlig i området 2 500-6 000 m<sup>3</sup>/time og en døgnvannmengde på ca. 103 000 ± 5 000 m<sup>3</sup>/døgn. **Til sammen 66 døgn i perioden.**
- Det anses som **normalvær** for alle øvrige døgnvannføringer opp til 150 000 m<sup>3</sup>/døgn. **Til sammen 139 døgn i perioden.**
- Det er antatt **redusert belastning** kun tilknyttet en kort periode rundt prøvetaking nr. 2 (23.1-6.2.2019). **Til sammen 15 døgn i perioden.**
- Dager med vannmengder >150.000 m<sup>3</sup>/døgn inkludert first flush-hendelser regnes som **nedbørsdager**. **Til sammen 145 døgn i perioden.**
- Ut fra driftssystemet ble **MO tømt** 7 ganger i løpet av perioden, men kun i to tilfeller har vi SS-data som indikerer betydelige bidrag (15.3 og 27.-28.3). **Til sammen 2 døgn i perioden.**
- For døgntilførslene av de ulike partikkeltypene under tørrvær, normalvære og kraftig nedbør (inkludert first flush) benyttes verdiene med usikkerheter som angitt i **Tabell 25**.
- For døgntilførslene av de ulike partikkeltypene ved redusert belastning (uten bidraget fra Groruddalen) benyttes verdiene for prøvetaking 2 med usikkerheter som angitt i
- Det ekstra bidraget av de ulike partikkeltypene ved tømning av MO beregnes som beskrevet i **Sesjon 3.2.4** og med verdier som angitt i **Tabell 24**.

Den samlede årlige tilførselen av  $MPP_{>300}$  (basert på perioden 1.12.2018-30.11.2019) ble estimert til  $1\,800 \pm 200$  milliarder MPP eller  $9,3 \pm 13,9$  tonn. Fibre utgjorde hele 84% ut fra antall, men <6% ut fra vekt. Fragmenter utgjorde ca. 8% ut fra antall, men hele 75% ut fra vekt.

**Tabell 25.** Estimerte mengder  $MPP_{>300}$  inn til Bekkelaget renselanlegg under tørrvær (prøveuttak nr. 1), tørrvær uten Groruddalen (prøveuttak nr. 2), under normalvær (prøveuttak nr. 1, 6, 9 og 12), under kraftig nedbør (prøveuttak nr. 3, 5, 10 og 11) og under tømning av MO (prøveuttak nr. 4).

	Fibre					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m<sup>3</sup></sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	42 000	2 000	5 500	300	169 000	8 000
Tørrvær uten Groruddalen	31 000	4 000	2 400	300	179 000	22 000
Normalvær	39 000	20 000	4 400	2 000	158 000	79 000
Kraftig nedbør	15 500	9 500	3 400	1 900	83 000	45 000
Tømning MO	78 000	3 000	10 500	500	180 000	8 000
	Fibernøster					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m<sup>3</sup></sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	0	-	0	-	0	-
Tørrvær uten Groruddalen	0	0	0	0	0	0
Normalvær	33	110	3,4	11,7	190	650
Kraftig nedbør	29	0	7,5	0	250	0
Tømning MO	740	610	99	81	1 700	1 380
	Fragmenter					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m<sup>3</sup></sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	2 400	300	310	40	9 600	1 100
Tørrvær uten Groruddalen	270	160	20	12	1 500	890
Normalvær	2 300	3 700	260	280	9 300	11 700
Kraftig nedbør	2 600	2 100	570	450	14 400	10 500
Tømning MO	19 500	1 100	2 600	200	45 000	3 000
	Flak					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m<sup>3</sup></sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	0	-	0	-	0	-
Tørrvær uten Groruddalen	980	420	75	32	5 600	2 400
Normalvær	520	1 420	57	109	2 200	5 000
Kraftig nedbør	450	740	85	146	1 900	3 300
Tømning MO	3 400	800	460	110	7 800	1 900
	Tykke fibre					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m<sup>3</sup></sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	420	190	54	25	1 680	770
Tørrvær uten Groruddalen	490	310	37	24	2 800	1 800
Normalvær	860	1 700	89	127	4 000	6 500
Kraftig nedbør	460	590	95	108	2 500	2 500
Tømning MO	3 400	800	460	110	7 800	1 900

	Kuler					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	440	210	57	27	1 780	830
Tørrvær uten Groruddalen	0	0	0	0	0	0
Normalvær	110	210	14	28	450	860
Kraftig nedbør	45	96	11	23	270	580
Tømming MO	0	-	0	-	0	-
	Skum					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	0	-	0	-	0	-
Tørrvær uten Groruddalen	45	0	3,5	0	260	0
Normalvær	150	370	16	38	900	2 100
Kraftig nedbør	29	0	7	0	250	0
Tømming MO	0	-	0	-	0	-
	Dekslitasjepartikler					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	37	-	5	-	148	-
Tørrvær uten Groruddalen	1 620	750	124	57	9 200	4 300
Normalvær	1 700	2 600	180	230	7 800	11 000
Kraftig nedbør	1 440	1 640	290	320	7 100	7 300
Tømming MO	8 200	1 800	1 090	240	18 700	4 100
	Totalt MPP <sub>&gt;300</sub>					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Tørrvær	45 000	2 000	5 900	300	182 000	8 000
Tørrvær uten Groruddalen	35 000	4 000	2 700	300	199 000	23 000
Normalvær	44 000	21 000	5 000	2 100	182 000	82 000
Kraftig nedbør	21 000	9 900	4 400	2 000	110 000	47 000
Tømming MO	114 000	4 000	15 200	600	260 000	10 000



**Tabell 26.** Estimerte tilførsler av ulike partikkeltyper til Bekkelaget renseanlegg under ulike vær- og driftsforhold i perioden 1.12.2018-30.11.2019 (365 dager).

Partikkeltype	Tørrvær	Uten Groruddalen	Normalvær	Nedbørsdøgn*	Tømming MO	Samlet <sub>#/år</sub>	U <sub>#/år</sub>	Samlet <sub>kg/år</sub>	U <sub>kg/år</sub>
	#·10 <sup>6</sup> MPP/år						kg MPP/år		
Fibre	360 000	36 000	609 000	490 000	25 000	1 520 000	221 000	550	720
Fibernøster	0	0	470	1 080	500	2 000	620	104	67
Fragmenter	20 000	310	36 000	83 000	11 400	150 000	41 000	7 000	10 300
Flak	0	1 130	7 900	12 300	2 300	24 000	14 200	105	146
Tykke fibre	3 600	560	12 400	13 700	2 000	32 000	13 300	440	740
Kuler	3 800	0	2 000	1 520	0	7 300	3 100	101	103
Skum	0	52	2 200	1 080	0	3 300	2 000	120	106
Dekkslitasje	310	1 860	26 000	42 000	5 400	76 000	31 000	880	1 660
<b>Alle partikkeltyper</b>	<b>389 400</b>	<b>40 500</b>	<b>695 000</b>	<b>645 000</b>	<b>47 000</b>	<b>1 814 000</b>	<b>228 000</b>	<b>9 300</b>	<b>13 900</b>

\* Nedbør som gir vannmengder >150.000 m<sup>3</sup>/døgn i innløpet til renseanlegget (inkluderer first flush-hendelser).

### 3.2.6 Konsentrasjonen av polymere i 20-300 µm-fraksjonen målt med pyrolyse-GC/MS

#### 3.2.6.1 Resultatene fra analysene gjort i september 2019

Resultatene fra pyrolyse-GC/MS-analysen av 20-300 µm-fraksjonen av innløpsprøven tatt under prøvetaking nr. 8 indikerte kvantifiserbare mengder av polypropylen, polystyren og polyester. Omregnet til polymerkonsentrasjon i innløpet tilsvarte disse mengdene følgende:

- 7,9 mg polypropylen/m<sup>3</sup>
- 6,5 mg polystyren/m<sup>3</sup>
- 2,7 mg polyester/m<sup>3</sup>

Deteksjonsgrensen for de øvrige fem polymerene var på 0,8-2,3 mg/m<sup>3</sup>. Samlet var konsentrasjonen ca. 17 mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasjonen i fraksjonen 300-5000 µm målt med FT-IR var på 243 ± 176 mg/m<sup>3</sup> og altså en faktor 14 høyere. Som diskutert i **Seksjon 3.1.3** må disse pyrolyse-GC/MS-resultatene tas med en stor klype salt på grunn av analytiske utfordringer knyttet til høy konsentrasjon av organisk stoff i prøvene.

#### 3.2.6.2 Resultatene fra analysene gjort i juni 2020

##### *Tilførsel av tradisjonelle plastpolymere*

Det ble analysert for 10 ulike plastpolymere i seks prøver av størrelsesfraksjonen 20-300 µm hvor av tre av prøvene var tatt under normalvær (prøvetaking 6, 9 og 12) og tre prøver var tatt under kraftig nedbør (prøvetaking 3, 5 og 10). Resultatene er oppsummert i **Tabell 27**. Av de tradisjonelle plastpolymerene ble det kun funnet polypropylen (PP), polyetylentereftalat (PET) og polystyren (PS) under normalvær, mens det også ble funnet polymetylmetakrylat (PMMA) under kraftig nedbør (i én av de tre prøvene). Den samlede konsentrasjonen av alle de tradisjonelle plastpolymerene var omtrent den samme under normalvær som under kraftig nedbør (ca. 30 mg/m<sup>3</sup>), men den estimerte døgntilførselen var ca. dobbelt så stor under kraftig nedbør pga. den større vannmengden.

Den samlede årlige tilførselen av MPP i størrelsesområdet 20-300 µm basert på disse plastpolymerene ble estimert til ca. 1 700 kg. Dette er i størrelsesorden 14% av estimatene av de årlige tilførselene av mikroplast i størrelsesområdet 300-5000 µm til Bekkelaget renseanlegg basert på mikroskopering og FT-IR-analyse (ca. 12 200 kg; se **Tabell 26**).

##### *Tilførsel av dekkslitasjepartikler*

Det ble også funnet polymere som indikerer tilstedeværelse av dekkslitasjepartikler i prøvene. Gjennomsnittskonsentrasjonen av polybutadien (PBD) var ca. 7x høyere i prøvene tatt under kraftig nedbør enn under normalvær, mens polyisopren (PIP) kun ble funnet i prøvene tatt under kraftig nedbør. Den typiske konsentrasjonen av PBD i bildekk på passasjerbiler er på 8-12%, mens konsentrasjonen av PIP normalt er vesentlig lavere (samlet konsentrasjon av gummi med nitrid, neopren, isopren og polysulfid er på typisk 4-6%) (Vogelsang m.fl., 2018). PBD er derfor sannsynligvis mer egnet til å estimere mengden dekkslitasjepartikler i prøvene. Vi har tidligere estimert at det originale dekk materialet utgjør ca. 40% av dekkslitasjepartiklene, men dette vil sannsynligvis variere betydelig avhengig av en rekke forhold (type dekk, værforhold, kjøremønster etc.) (Vogelsang m.fl., 2018). I estimatene vist i **Tabell 27** er det lagt til grunn at PBD-innholdet i dekkene har vært 10% og at PBD utgjør 40% av dekkslitasjepartiklene.

Disse antyder en samlet årlig tilførsel av dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet 20-300 µm inn til Bekkelaget renseanlegg på hele 9 900 kg. Dette er mer enn 11x høyere enn de estimerte tilførslene av dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet 300-5000 µm (ca. 880 kg; se **Tabell 26**).

Dette er likevel en del lavere enn tidligere grove estimater på ca. 27 000 kg per år inn til Bekkelaget renseanlegg, men ikke helt uventet da disse estimatene var basert på en rekke forenklinger og udokumenterte antagelser:

- At det blir frigitt 285 tonn dekkslitasjepartikler fra biltrafikken innenfor rensedistriktet til Bekkelaget renseanlegg
- At 45% av disse frigis i urbane områder (snitt for hele landet)
- At 40% av partiklene i størrelsesområdet 10-350 µm havner i veiavrenningen, mens kun 10% av partiklene <10 µm havner i veiavrenningen
- At 60% av veiavrenningen havner i det kombinerte avløpet
- At 10% av det kombinerte avløpet havner i overløp eller forsvinner via lekkasjer

**Tabell 27.** Estimerte tilførsler av ulike polymere i størrelsesfraksjonen 20-300 µm til Bekkelaget renseanlegg under normalvær (prøvetaking 6, 9 og 12) og under nedbør (prøvetaking 3, 5 og 10) basert på analyser med pyrolyse-GC/MS. For estimatene av de årlige tilførslene er normalvær-estimatene (139 dager) også brukt for tørrværsdage (66 dager). Den samlede dekkslitasjen er estimert på bakgrunn av PBD-verdien, at PBD-innholdet i dekkene har vært 10% og at PBD utgjør 40% av dekkslitasjepartiklene.

Polymertype	Innløp normalvær		Kraftig nedbør		Hele året*
	mg/m <sup>3</sup>	g/døgn	mg/m <sup>3</sup>	g/døgn	kg/år
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>					
PVC	0	0	0	0	0
PMMA	0	0	6,5 ± 11,2	1 130 ± 1 960	160 ± 290
PA6	0	0	0	0	0
PP	12,0 ± 16,8	1 150 ± 1 600	6,7 ± 11,6	1 560 ± 2 700	460 ± 720
PET	19,0 ± 3,9	2 100 ± 346	13,4 ± 6,7	2 900 ± 1 530	860 ± 290
PC	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0
PS	2,5 ± 0,3	279 ± 22	4,7 ± 3,5	1 050 ± 900	210 ± 140
<b>Totalt</b>	<b>34 ± 21</b>	<b>3 500 ± 2 000</b>	<b>31 ± 33</b>	<b>6 700 ± 7 100</b>	<b>1 690 ± 1 430</b>
<i>Dekkslitasje</i>					
PBD	1,8 ± 3,1	173 ± 299	12,1 ± 9,5	2 500 ± 1600	400 ± 290
PIP	0	0	4,0 ± 3,0	860 ± 650	125 ± 94
<b>Dekkslitasje</b>	<b>45 ± 78</b>	<b>4 300 ± 7 500</b>	<b>300 ± 240</b>	<b>62 000 ± 40 000</b>	<b>9 900 ± 7 300</b>

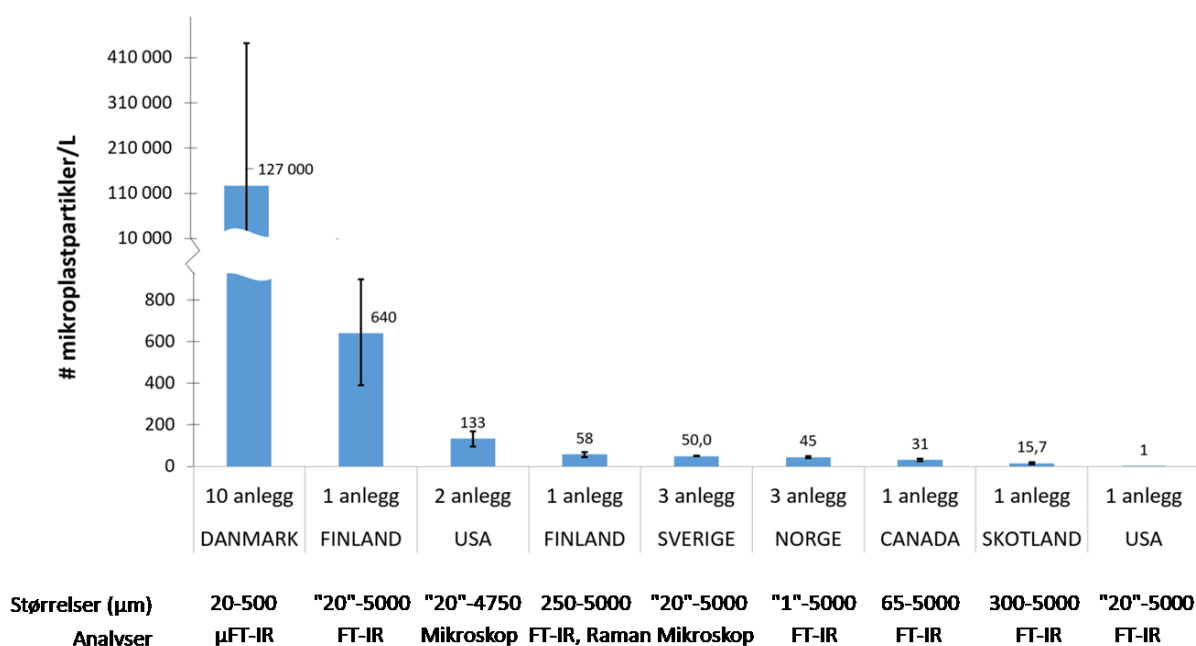
\*) 205 normal- og tørrværsdager og 145 nedbørsdager, til sammen 350 dager.

### 3.2.7 Sammenligning med rapporterte tall for innløpet til andre avløpsrenseanlegg

De aller fleste studier som har målt mikroplastpartikler i innløpet til renseanlegg har kun rapportert antallet partikler per liter. **Figur 48** oppsummerer funnene fra et utvalg studier. Det er en enorm stor spredning i antallet mikroplastpartikler som er funnet per liter innkommende avløpsvann i de ulike

studiene. En vesentlig del av denne variasjonen skyldes mest sannsynlig metoden som er brukt til å isolere og identifisere partiklene. Medianverdien fra disse studiene var 45 MPP/L, noe som er i samme størrelsesorden som gjennomsnittet for innløpet inn til Bekkelaget renseanlegg under normalvær i denne studien ( $44 \pm 21$  MPP/L). **Tabell 28** oppsummerer funn i innløpet til en rekke renseanlegg verden over. Hver av disse studiene er beskrevet i noe mer detalj i **Vedlegg E**.

Én studie skiller seg spesielt tydelig ut; studien gjennomført av Vollertsen og Hansen (2014). I denne studien, som dekket 10 større renseanlegg i Danmark, benyttet seg av  $\mu$ FT-IR med skanning-funksjon<sup>8</sup> til å bestemme all mikroplast i størrelsesområdet 20-500  $\mu\text{m}$ . Alle de øvrige studiene benyttet seg av en preliminær visuell identifisering for utplukking av potensielle mikroplastpartikler, noe som ser ut til å i betydelig grad ha underestimert antallet mikroplastpartikler i den minste størrelsesfraksjonen<sup>9</sup>. I en senere artikkel (Simon m.fl. 2018) synes det som tallene fra denne studien er noe moderert, men fremdeles ligger det anslåtte antallet MPP i innløpet betydelig høyere enn i andre studier (2 200-18 300 #/L), men ut fra vekt-konsentrasjonen av mikroplastpartiklene (61-1 190  $\mu\text{g/L}$ ) ligger denne studien (nr. 21 i **Tabell 28**) i samme område som funn fra Bekkelaget renseanlegg i herværende studium; ca. 200  $\mu\text{g/L}$  ( $170 \pm 340$   $\mu\text{g/L}$  for 300-5000  $\mu\text{m}$  og  $34 \pm 21$   $\mu\text{g/L}$  for 20-300  $\mu\text{m}$ ).



**Figur 48.** Antall mikroplastpartikler funnet i innløpet til andre renseanlegg i ulike deler av verden basert på data fra Vollertsen og Hansen (2016), Talvitie et al. (2017), Michielssen et al. (2016), Lares et al. (2018), Magnusson (2014), Gies et al. (2018), Murphy et al. (2016) og Carr et al. (2016). Tallverdiene er gjennomsnitt og feilstolpene angir standardavviket. De ulike studiene har benyttet ulike størrelsesdefinisjoner for mikroplast og ulike måter å identifisere og kvantifisere mikroplastpartiklene på (se radene under figuren).

<sup>8</sup> Den opprinnelige planen i herværende studie var også å benytte  $\mu$ FT-IR med skanning for størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu\text{m}$ .

<sup>9</sup> Det er uvisst i hvilken grad skanning-funksjonen kan bidra til å overestimere antallet individuelle mikroplastfragmenter hvis disse er flekkete/dårlig rengjort.

**Tabell 28.** Antall mikroplastpartikler funnet i innløpet til utvalgte angitte rensesanlegg i ulike deler av verden. En mer detaljert beskrivelse av hver av studiene er gitt i **Vedlegg E**.

Studie	Sted	Rensesanlegg	Nedre str. (µm)	Innløp		
				Kons (#/L)	Dominerende type partikler	Dominerende plasttyper
Denne	Norge, Oslo	Bekkelaget RA	>300	Normalvær: 44+/-21; 170 +/- 340 µg/L	Antall: 93% fibre; vekt: 80% frag, 11% fibre	Antall: 77% PE; volum: 19% PE, akrylat (40%), gummi (6%), PU (9%) og PVS (22%)
			20-300	Normalvær: 34 ± 21 µg/L		PET, PP, PS
2	USA, LA	1 anlegg	>45	1		
3	Finland, Helsinki	Viikinmäki	>20	390-900 (24t bland); 380-687 (grab)	70% fibre, 10% frag	
4	Skottland, Glasgow		>65	15,7+-5,2	67% flak, 19% fibre, 10% film, 3% kuler	29% alkyder, 19% polystyren-akryl, 11% polyester
5	Finland, St. Michel	Kenkäveronniemi	>250	58+/-12	90% fibre, 10% frag	
6	Canada, Vancouver	Metro	>63	31+/-77	70% fibre, 27% frag	
7	USA, Detroit	Detroit WWTP	>20	133+/-36	62% fibre, 23% frag, 11% kuler	
8	USA, Northfield	Northfield WWTP	>20	367	55% fibre, 26% frag, 16% kuler	
12	Sverige		>300	15	71% fibre, 18% frag	
14	Norge, Oslo	Bekkelaget	>50	550-3 400 (estimert fra slam-kons)		
15	Nederland	7 ulike anlegg	>10	68-910		
20	Australia, Sydney					PE og PET
21	Danmark	10 ulike anlegg	>10	2 200-18 300 #/L; 61-1 190 µg/L		39% PP, 12% akrylat, 11% PVC, 7% PE

Studie	Sted	Renseanlegg	Nedre str. ( $\mu\text{m}$ )	Innløp		
				Kons (#/L)	Dominerende type partikler	Dominerende plasttyper
22	USA, South Carolina	Plum Island WWTP		100-243 (84000+/- 29000 MP/pers*d)	57-78% fibre	Akryl, polyester
23		Rifle Range WWTP		86-189 (50000+/- 15000 MP/pers*d)	59-81% fibre	
24		Center Street WWTP		110-231 (54000+/- 28000 MP/pers*d)	48-77% fibre	
25	Italia		>63	2,5 +/- 0,3		
26	Skotland		>60	3-10	ca. 50% fibre og 30% frag dominerte	23 polypropylen
27	Spania, Madrid		>25			
28	Kina, Xiamen	7 ulike anlegg	>43	1,57-13,69 (63% MP)	41% granuler, 31% frag, 24% fibre	Polypropylen, polyetylen, polystyren, PET

### 3.3 Utslipp av mikroplast til fjorden via renset avløpsvann

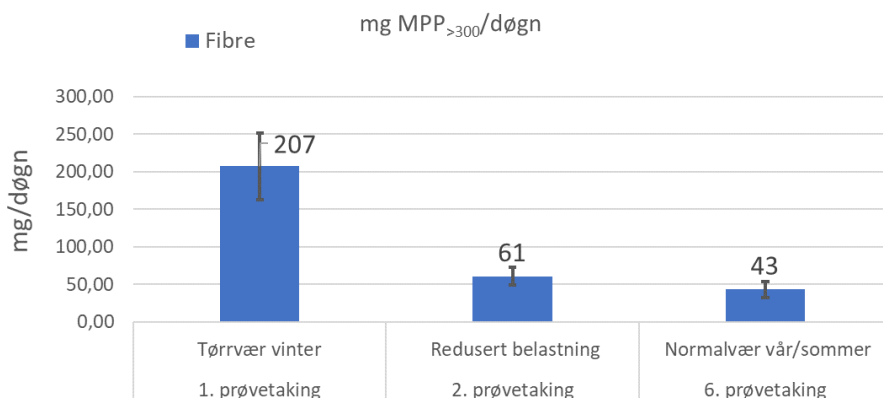
#### 3.3.1 Utslipp under fullverdig avløpsvannbehandling

I løpet av perioden 1.12.2018 til 30.11.2019 ble 47,0 millioner m<sup>3</sup> avløpsvann behandlet fullverdig (biologisk-kjemisk) ved Bekkelaget renseanlegg. I 290 dager av dette året ble alt avløpsvannet (26,8 millioner m<sup>3</sup>) behandlet fullverdig.

Under prøvetakingene 1, 2 og 6 ble det tatt ut som ukeblandprøver fra utløpet mens alt avløpsvannet i de respektive periodene ble fullverdig behandlet. Materialet som ble analysert i hver prøve var samlet opp fra ca. 2000 L renset utløpsvann. Resultatene, som er oppsummert i **Tabell 29**, viser at det ble funnet mikroplast i alle de tre prøvene, men svært lave mengder og kun fibre. **Figur 49** viser den estimerte mengden fibre som ble sluppet ut per døgn fra renseanlegget under de tre prøvetakingsperiodene. Under normale vær- og driftsforhold ble det i snitt funnet 39 000 fibre per m<sup>3</sup> avløpsvann i innløpet til Bekkelaget renseanlegg (se **Tabell 18**), noe som indikerer en rensegrad på 99,997% for fibre. Basert på konsentrasjonene i innløpet og utløpet under hver av de tre prøvetakingene lå rensegraden i samme størrelsesområdet (99,995-99,997%).

**Tabell 29.** Antall, volum og vekt av fibre funnet i utløpet fra Bekkelaget renseanlegg under fullverdig behandling. U angir usikkerheten i snittet (med et 95% konfidensintervall).

		Fibre				
		Prøvetaking 1	Prøvetaking 2	Prøvetaking 6	Snitt	U
Antall	#/m <sup>3</sup>	2,02	0,97	0,43	1,1	2,3
	#/d	264 000	85 000	60 000	137 000	292 000
	#/kg SS	710	185	24	310	770
Volum	µL/m <sup>3</sup>	0,00112	0,00048	0,00026	0,00062	0,00128
	L/d	146	42	36	75	162
	µL/kg SS	0,39	0,092	0,0142	0,17	0,42
Vekt	µg/m <sup>3</sup>	1,59	0,69	0,31	0,86	1,81
	mg/d	210	61	43	100	230
	µg/kg SS	550	130	16,7	230	600



**Figur 49.** Mengde fibre funnet i utløpet fra Bekkelaget renseanlegg under fullverdig behandling.



### 3.3.2 Utslipp under omstilt avløpsvannbehandling og under driftsforstyrrelser

#### 3.3.2.1 Utslipp under omstilt behandling

I løpet av perioden 1.12.2018 til 30.11.2019 gikk 7,58 millioner m<sup>3</sup> avløpsvann utenom den biologiske behandlingen, men ble behandlet kjemisk ved renseanlegget (dvs. omstilt behandling).

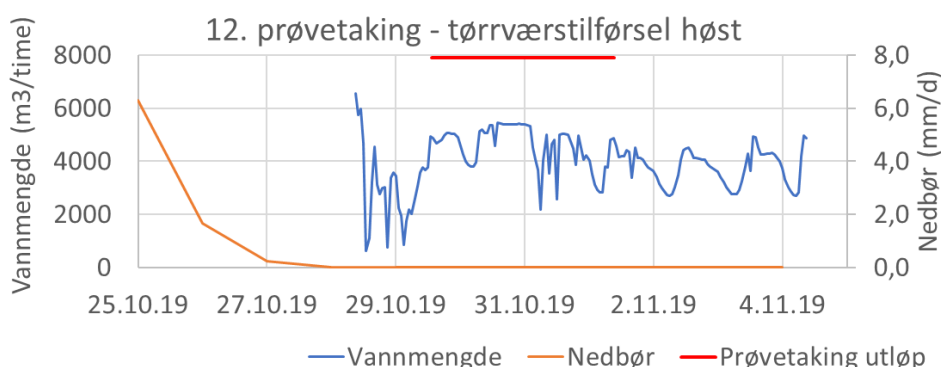
Under prøvetakingene 7, 8, 10, 11 og 13 ble det tatt ut utløpsprøver (7. og 8. som ukeblandprøver, 10, 11 og 13 som døgnblandprøver) mens behandlingen var omstilt (7. og 8. prøvetaking: 3-13% kjemisk behandlet; prøvetaking 10, 11 og 13: 32-36% kjemisk behandlet). Materialet som ble analysert i hver prøve var samlet opp fra ca. 1 000-12 000 L rensed utløpsvann (se detaljer i **Seksjon 2.2.2**). Resultatene, som er oppsummert i **Tabell 30** og **Figur 51**, viser at det ble funnet vesentlig høyere konsentrasjoner (#/m<sup>3</sup>) av fibre i utslippet enn når alt avløpsvannet gikk gjennom fullverdig behandling. Det ble også funnet en del fragmenter, flak og tykke fibre i enkelte prøver, samt én enkelt kule i én prøve.

**Tabell 31** og **Figur 52** viser de tilsvarende funnene omregnet til mengde per døgn (mg/døgn), som viser at noen enkelt-fragmenter og -tykke fibre da fullstendig dominerer mengdeestimatet.

#### 3.3.2.2 Driftsforstyrrelser kan gi økte utslipp

Under den 12. prøvetakingen var det ikke noe avløpsvann som kun ble kjemisk rensed, men likevel var konsentrasjonene (#/m<sup>3</sup>) i utslippet høyere enn under omstilt behandling og samlet utslipp per døgn var i samme størrelsesorden som under omstilt behandling (se **Tabell 30**).

Det er foreløpig uklart hva dette kan ha skyldtes, om det var forårsaket av driftsforstyrrelser i forkant av prøvetakingen (jfr. **Figur 50** sterkt varierende og lav tilførsel til anlegget i dagene før uttak av utløpsprøven). Det kan heller ikke utelukkes at deler av avløpsvannet ut fra biotrinnet kan ha gått utenom sandfilteret.



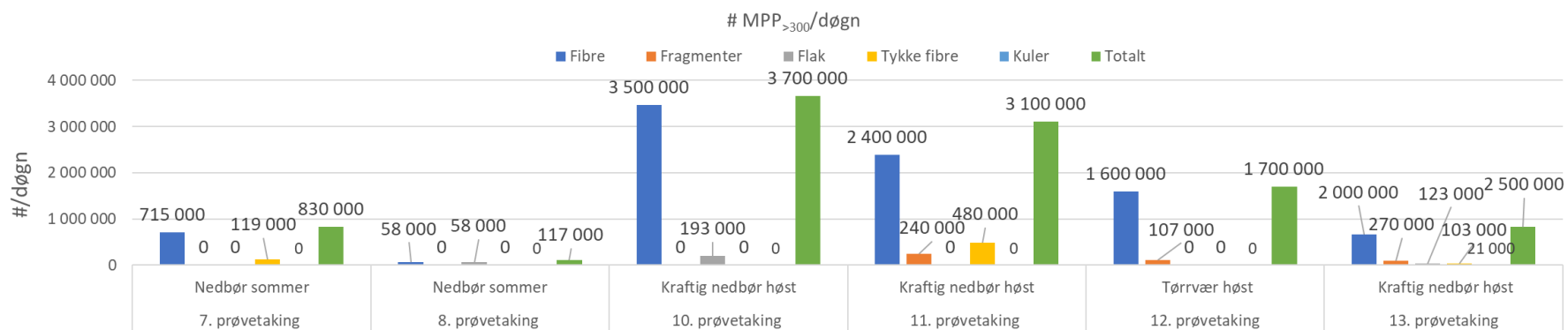
**Figur 50.** Vannmengder inn til renseanlegget i tidsrommet før, under og etter uttak av utløpsprøve (rød strek) under den 12. prøvetakingsperioden.

**Tabell 30.** Beregnede antall  $MPP_{>300}$  i rensed avløp ut fra Bekkelaget renseanlegg under fullverdig behandling (prøveuttak nr. 1, 2 og 7), under omstilt behandling (prøveuttak nr. 7, 8, 10, 11 og 13) og under driftsforstyrrelser (prøveuttak nr. 12).

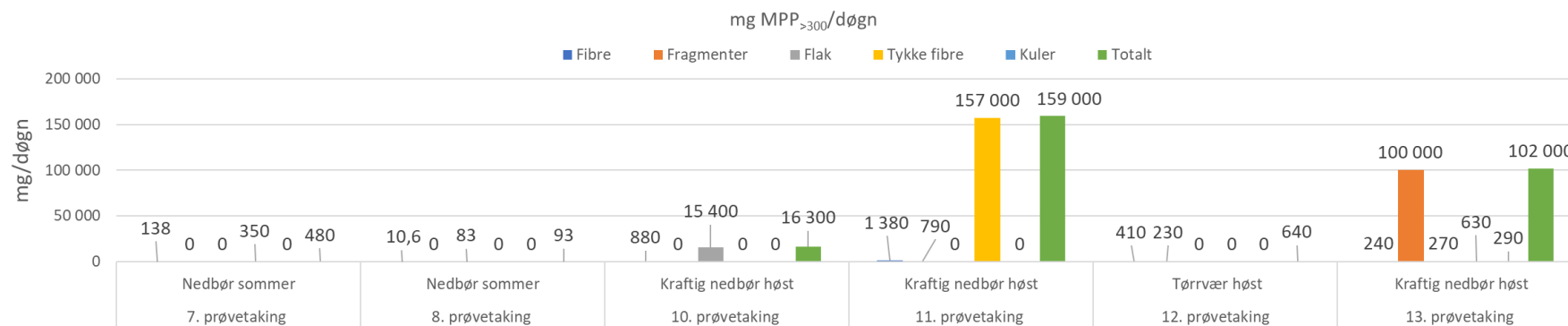
	Fibre					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	1,1	2,3	0,14	0,29	310	770
Omstilt behandling	6,2	2,7	1,46	0,67	1 450	620
Driftsforstyrrelser	14,6	-	1,58	-	4 600	-
	Fragmenter					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	0	0	0	0	0	0
Omstilt behandling	0,26	0,19	0,066	0,049	55	46
Driftsforstyrrelser	0,97	-	0,107	-	310	-
	Flak					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	0	0	0	0	0	0
Omstilt behandling	0,29	0,17	0,058	0,037	90	54
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Tykke fibre					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	0	0	0	0	0	0
Omstilt behandling	0,54	0,37	0,126	0,096	130	92
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Kuler					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	0	0	0	0	0	0
Omstilt behandling	0,0055	0,0058	0,00137	0,00144	0,75	0,79
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Totalt $MPP_{>300}$					
	#/m <sup>3</sup>		#·10 <sup>6</sup> /døgn		#/kg SS	
	Snitt	U <sub>#/m3</sub>	Snitt	U <sub>#/d</sub>	Snitt	U <sub>#/kg SS</sub>
Fullverdig behandling	1,1	2,3	0,14	0,29	310	770
Omstilt behandling	7,3	2,8	1,71	0,81	1730	650
Driftsforstyrrelser	15,6	-	1,70	-	5 000	-

**Tabell 31.** Beregnet vekt av  $MPP_{>300}$  i rensed avløp ut fra Bekkelaget renseanlegg under fullverdig behandling (prøveuttak nr. 1, 2 og 7), under omstilt behandling (prøveuttak nr. 7, 8, 10, 11 og 13) og under driftsforstyrrelser (prøveuttak nr. 12).

	Fibre					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0,86	1,81	100	230	230	600
Omstilt behandling	2,2	1,3	530	330	510	310
Driftsforstyrrelser	3,7	0,1	410	10	1 180	40
	Fragmenter					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0	-	0	-	0	-
Omstilt behandling	80	450	20 000	112 000	11 000	62 000
Driftsforstyrrelser	2,1	0,9	230	100	580	280
	Flak					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0	-	0	-	0	-
Omstilt behandling	13	47	3 200	11 300	3 000	10 800
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Tykke fibre					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0	-	0	-	0	-
Omstilt behandling	120	280	32 000	73 000	30 000	69 000
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Kuler					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0	-	0	-	0	-
Omstilt behandling	0,23	1,22	60	300	31	167
Driftsforstyrrelser	0	-	0	-	0	-
	Totalt $MPP_{>300}$					
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		mg/døgn		$\mu\text{g}/\text{kg SS}$	
	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$	Snitt	$U_{\mu\text{g}/\text{d}}$	Snitt	$U_{\#/\text{kg SS}}$
Fullverdig behandling	0,86	1,81	100	230	230	600
Omstilt behandling	220	530	56 000	134 000	45 000	93 000
Driftsforstyrrelser	5,8	1,0	640	110	1 850	320



Figur 51. Antall MPP<sub>>300 µm</sub> funnet i utslippet fra Bekkelaget renseanlegg per døgn under omstilt behandling.



Figur 52. Mengden MPP<sub>>300 µm</sub> funnet i utslippet fra Bekkelaget renseanlegg per døgn under omstilt behandling.

### 3.3.3 Estimert årlig utslipp til fjorden via rensed avløpsvann og via overløp

#### 3.3.3.1 Årlig utslipp via rensed avløpsvann

Det estimerte samlede utslippet fra Bekkelaget renseanlegg i perioden 1.12.2018-30.11.2019 er vist i **Tabell 32**. I denne perioden ble det sluppet ut i størrelsesorden 220 millioner mikroplastpartikler hvorav 170 millioner var fibre. Den samlede vekten av mikroplastpartikler i utslippet var  $4,8 \pm 11,7$  kg, noe som i all hovedsak (99,0%) skyldtes utslippene av fragmenter, flak og tykke fibre. Hoveddelen av utslippene (76% på antalls-basis, 99,2% på vekt-basis) skjedde mens driften var omstilt (43% av den totale årlige avløpsvannmengden; 14% av avløpsvannet kjemisk rensed). Det er foreløpig uvisst i hvilken grad dette utslippet skyldtes redusert effekt av den kjemiske behandlingen eller om det skyldtes at ikke alt avløpet gikk gjennom sandfilteret.

#### 3.3.3.2 Årlige utslipp via overløp

Som det fremgår av **Seksjon 3.3** har rensingen stor betydning for tilbakeholdelsen av mikroplastpartikler. Dette gjør naturlig nok at overløpene vil få stor betydning for de samlede utslippene. De estimerte utslippet via overløp i perioden 1.12.2018-30.11.2019 er vist i **Tabell 32**. Disse er basert på gjennomsnittstall for innløpet til Bekkelaget renseanlegg under kraftig nedbør (se **Tabell 25**). Det er her neglisjert eventuell tilbakeholdelse på siler i overløpet fra MO.

Det gikk drøyt  $1,0$  millioner  $m^3$  i overløp fra MO, noe som resulterte i et samlet utslipp på i størrelsesorden  $22 \pm 11$  milliarder mikroplastpartikler med en samlet vekt på  $160 \pm 360$  kg.

Det gikk ca.  $0,83$  millioner  $m^3$  i nødoverløp inne på renseanlegget og i overløpet på Kværner i perioden, noe som resulterte i et samlet utslipp på i størrelsesorden  $17,1 \pm 8,3$  milliarder mikroplastpartikler med en samlet vekt på  $130 \pm 280$  kg.

Samlet sett stod overløpene for 99,4% av utslippene basert på antall mikroplastpartikler og 98,4% basert på samlet vekt av mikroplastpartikler. Legg også merke til at det ikke ble funnet noen dekkslitasjepartikler i de rensede utslippene fra renseanleggene, så her antyder resultatene at alle utslippene stammer fra overløpene.

**Tabell 32.** Estimerte utslipp av  $MPP_{>300\mu m}$  via renet avløp og overløp i løpet av ett år (perioden 1.12.2018-30.11.2019). Estimatenes er angitt med 95% konfidensintervall.

Partikkel- type	Fullverdig behandlet i perioden (46,9 mill. m <sup>3</sup> )		Kjemisk behandlet (7,58 mill. m <sup>3</sup> )		Samlet renet utslipp (54,5 mill. m <sup>3</sup> )		Overløp via siler MO (1,06 mill. m <sup>3</sup> )		Direkte utslipp via overløp (0,83 mill. m <sup>3</sup> )		Samlede utslipp (56,4 mill. m <sup>3</sup> )	
	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år	#·10 <sup>6</sup> /år	g/år
Fibre	54 ±110	40 ±85	120 ±610	0 ±470	170 ±720	40 ±560	16 600 ±10 100	6 000 ±6 200	12 900 ±7 900	4 700 ±4 900	30 000 ±19 000	10 700 ±11 600
Fibernøster	0	0	0	0	0	0	31 ±0	160 ±490	24 ±0	120 ±380	55 ±0	280 ±880
Fragmenter	0	0	5,5 ±4,0	1 800 ±9 900	5,5 ±4,0	1 800 ±9 900	2 700 ±2 200	127 000 ±358 000	2 100 ±1700	100 000 ±280 000	4 900 ±4 000	229 000 ±648 000
Flak	0	0	28 ±24	350 ±1 120	28 ±24	350 ±1 120	480 ±790	2 100 ±4 100	380 ±620	1 700 ±3 200	890 ±1 430	4 200 ±8 400
Tykke fibre	0	0	16,4 ±10,0	2 600 ±6 000	16,4 ±1,4	2 600 ±6 000	490 ±630	6 600 ±11 700	380 ±490	5 200 ±9 100	890 ±1 120	14 000 ±27 000
Kuler	0	0	0,121 ±0,127	5 ±27	0,121 ±0,127	5 ±27	48 ±103	660 ±1 450	37 ±0	520 ±1 130	86 ±183	1 200 ±2 600
Skum	0	0	0	0	0	0	31 ±0	1 100 ±3 500	24 ±0	900 ±2 700	55 ±0	2 000 ±6 200
Dekkslitasje	0	0	0	0	0	0	1 540 1 750	18 000 ±47 000	1 200 ±1 370	14 000 ±37 000	2 700 ±3 100	32 000 ±84 000
<b>Totalt</b>	54 ±110	40 ±85	170 ±610	4 700 ±11600	220 ±720	4 800 ±11 700	22 000 ±11 000	162 000 ±362 000	17 136 ±8 300	127 000 ±283 000	39 000 ±20 000	293 000 ±656 000

### 3.3.4 Estimerte utslipp av polymere i 20-300 µm-fraksjonen basert på pyrolyse-GC/MS

#### 3.3.4.1 Utslipp via rensed avløp

Det ble analysert for 10 ulike plastpolymere i fem prøver av størrelsesfraksjonen 20-300 µm hvor av tre av prøvene var tatt under fullverdig behandling (prøvetaking 6, 9 og 12) og to prøver var tatt under omstilt behandling (prøvetaking 10 og 11). Resultatene er oppsummert i **Tabell 33**.

Polyester (polyetylentereftalat; PET) utgjorde henholdsvis 95% og 88% av de detekterte plastpolymerene i utslippet under fullverdig behandling og under omstilt behandling. Konsentrasjonene var relativt like (ca. 5 µg/m<sup>3</sup>) i begge tilfeller, noe som antyder at denne størrelsesfraksjonen (20-300 µm) av MPP var lite påvirket av den omstilte behandlingen. Dette skiller seg markant fra observasjonene gjort for størrelsesfraksjonen >300 µm som økte med >250x under omstilt behandling (se **Tabell 31**). Ved fullverdig behandling var den estimerte gjennomsnittlige konsentrasjonen av størrelsesfraksjonen >300 µm i utløpet på 0,86 ± 1,81 µg/m<sup>3</sup> (se **Tabell 31**), det vil si <20% av den gjennomsnittlige konsentrasjonen av plastpolymerene i 20-300-fraksjonen.

Det ble funnet noe polykarbonat (PC) i utslippet, selv om denne plastpolymeren ikke ble funnet i de analyserte innløpsprøvene. Det er verdt å merke at det ikke ble funnet noen av «dekkrestpolymerene» PBD og PIP i noen av utslippsprøvene.

**Tabell 33.** Estimerte utslipp av ulike polymere i størrelsesfraksjonen 20-300 µm fra Bekkelaget renseanlegg ved fullverdig behandling (prøvetaking 6, 9 og 12) og ved omstilt behandling (prøvetaking 10 og 11) basert på analyser med pyrolyse-GC/MS. For estimatene av de årlige utslipp er det lagt til grunn at 46,9 mill. m<sup>3</sup> ble fullverdig behandlet og 7,58 mill. m<sup>3</sup> ble behandlet under omstilt prosess i perioden desember 2018 til november 2019.

Polymertype	Fullverdig behandling			Omstilt behandling		
	µg/m <sup>3</sup>	g/døgn	kg/år	µg/m <sup>3</sup>	g/døgn	kg/år
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>						
PVC	0	0	0	0	0	0
PMMA	0	0	0	0	0	0
PA6	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PET	4,8 ± 7,1	0,50 ± 0,71	0,23 ± 0,33	4,7-6,7	1,22-1,62	0,044
PC	0,107 ± 0,037	0,0122 ± 0,0030	0,0050 ± 0,0017	0,24-0,37	0,058-0,096	0,0023
PE	0	0	0	0	0	0
PS	0,124 ± 0,130	0,0162 ± 0,0184	0,0058 ± 0,0061	0,37-0,56	0,096-0,135	0,0035
<b>Totalt</b>	<b>5,1 ± 7,2</b>	<b>0,53 ± 0,74</b>	<b>0,24 ± 0,34</b>	<b>5,5-7,5</b>	<b>1,41-1,81</b>	<b>0,049</b>
<i>Dekkslitasje</i>						
PBD	0	0		0	0	0
PIP	0	0		0	0	0
<b>Dekkslitasje</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

\*) 205 normal- og tørrværsdager og 145 nedbørsdager, til sammen 350 dager.



### 3.3.4.2 Samlede årlige utslipp av størrelsesfraksjonen 20-300 µm

De samlede estimerte årlige utslippene av MPP i størrelsesfraksjonen 20-300 µm via rensset avløpsvann i tillegg til i overløp via siler på MO og direkte er oppsummert i **Tabell 34**. Som for størrelsesfraksjonen >300 µm er det sterke indikasjoner på at utslippene via overløp utgjør de desidert største utslippene. Utslippsestimatene for MPP basert på de tradisjonelle plastpolymerene i størrelsesfraksjonen 20-300 µm var i henholdsvis størrelsesorden 8% og 20% av de samlede utslippene av MPP i størrelsesfraksjonen >300 µm (j.fr. **Tabell 32**) i det samlede rensede utslippet og i det samlede utslippet med overløp.

Det estimerte samlede utslippet av dekkslitasjepartikler i overløp var på ca. 570 kg per år, noe som var ca. 18x høyere enn de estimerte samlede utslippene av dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet >300 µm. Dette er ikke uventet, da hovedandelen av dekkslitasjepartiklene ligger i størrelsesområdet 10-350 µm (Vogelsang m.fl., 2018).

**Tabell 34.** Estimerte utslipp av MPP<sub>20-300 µm</sub> via rensset avløp og overløp i løpet av ett år (perioden 1.12.2018-30.11.2019) basert på pyrolyse-GC/MS-analyser.

Polymertype	Samlet rensset utslipp (54,5 mill. m <sup>3</sup> )	Overløp via siler MO (1,06 mill. m <sup>3</sup> )	Direkte utslipp via overløp (0,83 mill. m <sup>3</sup> )	Samlede utslipp (56,4 mill. m <sup>3</sup> )
	g/år	g/år	g/år	g/år
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>				
PVC	0	0	0	0
PMMA	0	6 900	5 400	12 300
PA6	0	0	0	0
PP	0	7 100	5 600	12 000
PET	270 ± 330	14 300	11 200	26 000
PC	7,3 ± 1,7	0	0	0
PE	0	0	0	0
PS	9,4 ± 6,1	5 000	3 900	8 800
<b>Totalt</b>	<b>290 ± 340</b>	<b>33 000</b>	<b>26 000</b>	<b>60 000</b>
<i>Dekkslitasje</i>				
PBD	0	12 900	10 000	23 000
PIP	0	4 300	3 300	7 600
<b>Dekkslitasje</b>	<b>0</b>	<b>321 000</b>	<b>251 000</b>	<b>573 000</b>

### 3.3.5 Sammenligning med rapporterte tall for utslippet fra andre avløpsrensaneanlegg

**Tabell 36** viser de antalls-baserte konsentrasjonene av MPP som er funnet i utløpet fra avløpsrensaneanlegg andre steder i verden. Konsentrasjonene varierer enormt, noe som nok skyldes mange ulike faktorer, men kanskje den viktigste er i hvilken grad de ulike studiene har klart å inkludere de minste partiklene. De antalls-baserte konsentrasjonene i utløpet fra Bekkelaget synes å ligge i nedre ende av de rapporterte verdiene. Det er således interessant å se at de vekt-baserte konsentrasjonene i utløpet under omstilt behandling ligger betydelig over de rapporterte konsentrasjonene fra den eneste av studiene som også har rapport vekt-baserte verdier (studie nr. 21 fra Danmark; Simon m.fl. (2018)).

**Tabell 35.** Antall mikroplastpartikler funnet i innløpet til utvalgte angitte renseanlegg i ulike deler av verden. En mer detaljert beskrivelse av hver av studiene er gitt i **Vedlegg E**.

Studie	Sted	Renseanlegg	Nedre str. (µm)	Innløp		
				Kons (#/L)	Dominerende type partikler	Dominerende plasttyper
Denne	Norge, Oslo	Bekkelaget RA	>300	Fullverdig: 0,0011±0,0023; 0,86±1,81 µg/L Omstilt: 0,0073±0,0028; 220±530 µg/L	Fullverdig: 100% fibre Omstilt: 85% fibre (1% av vekten), 7% tykke fibre (54%), 4% frag (37%), 4% flak (7%)	
			20-300	0,0051 ± 0,0072 µg/L		PET, (PS, PC)
1	USA, Los Angeles	7 ulike anlegg	>20, >45	<0,000005		
2	USA, Los Angeles	1 anlegg	>45	0,00088	Blå frag fra tannpasta	
3	Finland, Helsinki	Viikinmäki	>20	1,4-2,8 (24t bland); 0,7-3,5 (grab)	49% fibre, 30% frag	
4	Skottland, Glasgow		>65	0,25+/-0,04		28% polyester, 20% polyamid, 12% polypropylen
5	Finland, St. Michel	Kenkäveronniemi	>250	1,0+/-0,4	53% fibre, 45% frag	
6	Canada, Vancouver	Metro	>63	0,5+/-0,2	60% fibre, 20% frag	
7	USA, Detroit	Detroit WWTP	>20	5,9	61% fibre, 33% frag	
8	USA, Northfield	Northfield WWTP	>20	37	85% fibre, 13% frag	
9	USA, flere	11 anlegg	>125	0,004-0,195	8-91% fibre, 9-77% frag	
10	USA, flere	6 anlegg	>125	0,009-0,127	58-100% fibre, 4-35% frag	
11	USA, flere	Snitt alle anlegg	>125	0,05+/-0,024	59% fibre 33% frag	

Studie	Sted	Renseanlegg	Nedre str. ( $\mu\text{m}$ )	Innløp		
				Kons (#/L)	Dominerende type partikler	Dominerende plasttyper
12	Sverige		>300	0,008	48% fibre, 45% frag	
15	Nederland	7 ulike anlegg	>10	51-81		
16	Tyskland	12 ulike anlegg	>20	0-0,050 (>500 $\mu\text{m}$ ); 0,1-9 (<500 $\mu\text{m}$ )		Polyetylen, polyester (fibre)
18	Australia, Sydney		>25	1,5	80% fibre, 20% frag	PET helt dominerende
19				0,48		PET, PP og PS dominerte
20				0,28 (0,21 etter RO)		PET dominerte
21	Danmark	10 ulike anlegg	>10	19-450 #/L; 0,5-11,9 $\mu\text{g/L}$		34% akrylat, 20% Pest, 19% PP, 9% PE
22	USA, South Carolina	Plum Island WWTP		0,34-0,68 g MP/innb*år		
25	Italia		>63	0,4 +/- 0,1		35% polyester, 17% polyamid
26	Skotland		>60	0,072-0,19	Fibre og frag dominerte	
27	Spania, Madrid		>25	12,8+/-6,3		Polypropylen, polyester, akryl
28	Kina, Xiamen	7 ulike anlegg	>43	0,20-1,73		

### 3.4 Samlet renseeffekt over anlegget

#### 3.4.1 Renseeffekt for MPP i størrelsesområdet 300-5000 µm

**Figur 53** viser den beregnede rensegraden basert på mengde for ulike typer mikroplastpartikler over Bekkelaget renseanlegg ved prøvetakingene der det finnes tilstrekkelig data for både innløp og utløp. Dårligst rensegrad ble oppnådd under prøvetaking 11 der samlet sett 99,2% av mikroplastpartiklene i innløpet ble fjernet fra avløpsvannet over renseanlegget. Hovedårsaken til det noe svakere resultatet her enn under øvrige prøvetakinger var funnet av et ganske stort tykt fiber i utslippsprøven. Hvis dette tykke fiberet ikke hadde blitt funnet i prøven, hadde rensegraden vært 99,87% og i samme størrelsesorden som under prøvetakingsperiode 10 (99,96%); den andre av prøvetakingsperiodene der det ble tatt inn en døgnblandprøve under kraftig nedbør (med tilgjengelige data for både inn- og utløpsprøver).

For de øvrige prøvetakingsperiodene (med unntak av prøvetaking 12) lå rensegraden >99,998%.

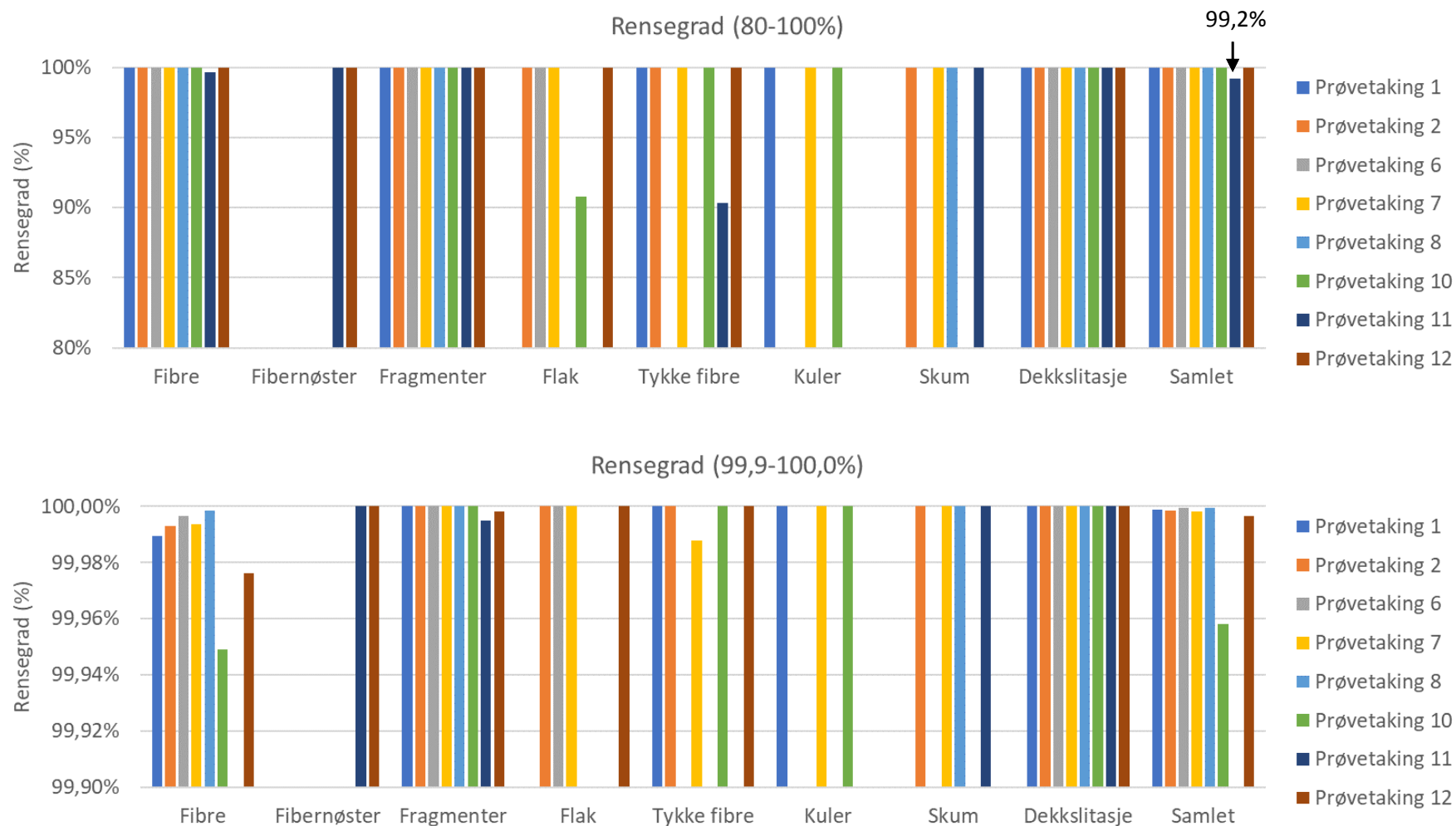
Rensegraden under prøvetaking 12 var på 99,997%.

#### 3.4.2 Renseeffekt for MPP i størrelsesområdet 20-300 µm

Det ble analysert med pyrolyse-GC/MS på både innløpsprøver og utløpsprøver under prøvetaking 6, 9, 12 (normalvær) og 10 (kraftig nedbør). De beregnede rensegradene over renseanlegget fra innløpet til utløpet for de ulike plastpolymerene og samlet for alle MPP er oppsummert i **Tabell 36**. Resultatene indikerer at rensegraden for dette minste størrelsesområdet var i samme størrelsesorden som for størrelsesområdet 300-5000 µm og tilsynelatende mer eller mindre uavhengig av den hydrauliske belastningen på anlegget med en samlet rensegrad på 99,985% under normalvær og på 99,981% under kraftig nedbør. Denne svært høye rensegraden er noe overraskende og ligger vesentlig over det som har vært vanlig å rapportere fra andre avløpsrenseanlegg (se **Seksjon 3.4.3**).

**Tabell 36.** Beregnet rensegrad over renseanlegget fra innløpet til utløpet for de ulike plastpolymerene og samlet for alle MPP.

Polymertype	Innløp		Utløp		Rensegrad	
	Normalvær	Nedbør	Normalvær	Nedbør	Normalvær	Nedbør
	g/døgn	g/døgn	g/døgn	g/døgn	%	%
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>						
PVC	0	0	0	0	-	-
PMMA	0	0	0	0	-	-
PA6	0	0	0	0	-	-
PP	1 150	4 700	0	0	≈100	≈100
PET	2 100	4 600	0,50	1,62	99,976	99,965
PC	0	0	0,0122	0,058	<0	<0
PE	0	0	0	0	-	-
PS	280	224	0,0162	0,135	99,9942	99,940
<b>Totalt</b>	<b>3 500</b>	<b>9 500</b>	<b>0,53</b>	<b>1,81</b>	<b>99,985</b>	<b>99,981</b>
<i>Dekkslitasje</i>						
PBD	170	2 500	0	0	≈100	≈100
PIP	0	860	0	0	≈100	≈100
<b>Dekkslitasje</b>	<b>4 300</b>	<b>62 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>≈100</b>	<b>≈100</b>



**Figur 53.** Beregnet rensegrad basert på mengde (mg/døgn) (øverst: 80-100%; nederst: 99,9-100,0%) for ulike typer mikroplastpartikler over Bekkelaget rensanlegg ved prøvetakingene der det finnes tilstrekkelig data for både innløp og utløp. Der hvor det mangler data for de angitte prøvetakingene ble det ikke funnet noen av de gjeldende typene mikroplastpartiklene i innløpet.

### 3.4.3 Sammenligning med rapporterte rensegrader ved andre renseanlegg

Den beregnede rensegraden ved Bekkelaget renseanlegg i denne studien er høyere enn noen av rensegradene rapportert fra studiene listet i **Tabell 37**.

**Tabell 37.** Rapporterte rensegrader basert på fjerning av antall mikroplastpartikler ved angitte renseanlegg i ulike deler av verden. En mer detaljert beskrivelse av hver av studiene er gitt i **Vedlegg E**.

Studie	Sted	Renseanlegg	Nedre str. ( $\mu\text{m}$ )	Rensegrad (antalls-% fjerning)
Denne	Norge, Oslo	Bekkelaget RA	>300	Antalls%: 99,49-99,998% Vekt%: >99,998% (min: 99,2%)
			20-300	Vekt%: 99,981-99,985%
2	USA, Los Angeles	1 anlegg	>45	99,9
4	Skottland, Glasgow		>65	98,4 (44,6% etter fett- og sandfang, ytterligere 33,8% etter forsed)
5	Finland, St. Michel	Kenkäveronniemi	>250	98,3
6	Canada, Vancouver	Metro	>63	97-99
7	USA, Detroit	Detroit WWTP	>20	95,6
8	USA, Northfield	Northfield WWTP	>20	97,2
12	Sverige		>300	99,9
21	Danmark	10 ulike anlegg	>10	99,3% (#/L); 98,3 ( $\mu\text{g/L}$ )
22	USA, South Carolina	Plum Island WWTP		97,6+/-1,2
23	USA, South Carolina	Rifle Range WWTP		85,2+/-6,0
24	USA, South Carolina	Center Street WWTP		85,5+/-9,1
25	Italia		>63	84
26	Skottland		>60	96
27	Spania, Madrid		>25	93,7 (fra etter forsed og utløp)
28	Kina, Xiamen	7 ulike anlegg	>43	79,3-97,8%

## 3.5 Uttak av mikroplast via mekanisk forbehandling

### 3.5.1 Uttak via ristgods

Som diskutert i **Seksjon 3.1.1.3** ble de første prøvene av ristgods utelatt fra de videre vurderingene på grunn av for dårlig utvasking av finpartikulært materiale fra ristgodset under størrelsesfraksjoneringen. **Tabell 38** sammenstiller derfor resultatene for gjennomsnittet av prøvene fra og med den 5. prøvetakingen. Det er kun resultatene for den største fraksjonen (1-5 mm) som vises. Tabellen viser også det estimerte antallet og den estimerte vekten av  $MPP_{1-5\text{ mm}}$  som fjernes fra renseanlegget per år via deponering av ristgods.

Ut fra antall dominerte fibre også i ristgods med ca. 20 000 per kg tørrvekt ristgods eller ca. 3,1 milliarder per år, men det ble også funnet et relativt stort antall tykke fibre (ca. 1 300 per kg tv), flak (ca. 900 per kg tv), fibernøster (ca. 800 per kg tv) og fragmenter (ca. 500 per kg tv). Ut fra vekt var det derimot fragmentene som klart dominerte med ca. 1,5 g per kg tv eller ca. 240 kg/år. Det er verdt å legge merke til at fibernøstene utgjorde en betydelig andel ut fra vekt, og at disse fibernøstene var betydelig større enn de som ble funnet i innløpet; gjennomsnittsvolumet til fibernøstene i ristgodsprøvene var  $3,5 \pm 6,2^{10}$   $\mu\text{L}$ , mens de kun hadde et gjennomsnittsvolum på  $0,036^{11}$   $\mu\text{L}$  i innløpsprøvene. Det ble ikke funnet noen kuler, skum eller dekkslitasjepartikler i ristgodsprøvene.

**Tabell 38.** Antall og vekt av  $MPP_{1-5\text{ mm}}$  i ristgods basert på prøver fra 5.-12. prøvetaking. «N» angir antall prøver som ble undersøkt og «N>0» angir antall prøver hvor det ble funnet  $MPP_{>300\text{ }\mu\text{m}}$ . Estimaten for ett år er basert på gjennomsnittet per kg tørrvekt ristgods og gjennomsnittlig daglig mengde ristgods i tørrvekt levert til deponering i perioden 1.12.2018-30.11.2019 ( $431 \pm 12$  kg tv/døgn).

Partikkeltyper	Ristgods					
	# prøver		Antall		Vekt	
	N	N>0	#/kg tv	#·10 <sup>6</sup> /år	mg/kg tv	kg/år
Fibre	7	7	20 000 ±4 000	3 100 ±600	19,3 ±16,1	3,0 ±2,5
Fibernøster	7	4	830 ±350	130 ±56	400 ±2 300	60 ±360
Fragmenter	7	3	530 ±260	83 ±42	1 500 ±4 600	240 ±720
Flak	7	3	890 ±490	140 ±77	70 ±210	10 ±33
Tykke fibre	7	6	1 330 ±360	210 ±60	23 ±75	3,6 ±11,7
Kuler	7	0	0	0	0	0
Skum	7	0	0	0	0	0
Dekkslitasje	7	0	0	0	0	0
<b>Alle partikkeltyper</b>	-	-	23 000 ±5 000	3 700 ±800	2 000 ±7 200	320 ±1 140

<sup>10</sup> Standardavvik til gjennomsnittet av 9 fibernøster.

<sup>11</sup> Basert på kun to fibernøster; 0,050  $\mu\text{L}$  og 0,021  $\mu\text{L}$ .



### 3.5.2 Uttak via sand fra sandfang

#### 3.5.2.1 Størrelsesfraksjonen 1-5 mm (mikroskopering og FT-IR)

Ni sandprøver ble undersøkt for MPP<sub>1-5 mm</sub>. **Tabell 38** sammenstiller derfor resultatene for gjennomsnittet av prøvene fra og med den 5. prøvetakingen. Det er kun resultatene for den største fraksjonen (1-5 mm) som vises. Tabellen viser også det estimerte antallet og den estimerte vekten av MPP<sub>1-5 mm</sub> som fjernes fra renseanlegget per år via deponering av sand.

Det var omtrent like mange fibre (ca. 900/kg tv), flak (ca. 800/kg tv) og fragmenter (ca. 600/kg tv) i sandprøvene. Konsentrasjonen av flak og fragmenter var derfor i samme størrelsesorden som i ristgods, men konsentrasjonen av fibre var betydelig lavere (ca. 5% av den i ristgods). Derimot ble det deponert omtrent dobbelt så mye tørrvekt sand som tørrvekt ristgods i snitt per dag. Det ble funnet fibernøster i kun 1 av de 9 prøvene, og dette fibernøstet var lite sammenlignet med de funnet i ristgods.

Det er forventet å finne mye dekkslitasjepartikler i sandfanget på grunn av deres høye tetthet, men siden vi foreløpig kun har undersøkt 1-5-mm-fraksjonen var det ikke helt overraskende at det kun ble funnet dekkslitasjepartikler i 1 av de 9 prøvene. På vektbasis utgjorde disse likevel hovedmengden av alle MPP<sub>1-5 mm</sub>.

Det ble ikke funnet noen tykke fibre, kuler eller skum i sandprøvene.

**Tabell 39.** Antall og vekt av MPP<sub>1-5 mm</sub> i sand basert på prøver fra 1.-4. og 7.-12. prøvetaking. «N» angir antall prøver som ble undersøkt og «N>0» angir antall prøver hvor det ble funnet MPP<sub>1-5 mm</sub>. Estimaten for ett år er basert på gjennomsnittet per kg tørrvekt sand og gjennomsnittlig daglig mengde sand i tørrvekt levert til deponering i perioden 1.12.2018-30.11.2019 (735±15 kg tv/døgn).

Partikkeltyper	Sand					
	# prøver		Antall		Vekt	
	N	N>0	#/kg tv	#·10 <sup>6</sup> /år	mg/kg tv	kg/år
Fibre	9	8	870 ±240	230 ±70	0,23 ±0,29	0,061 ±0,077
Fibernøster	9	1	90 ±90	24 ±24	0,06 ±0,57	0,015 ±0,152
Fragmenter	9	6	610 ±270	164 ±73	600 ±1 490	160 ±400
Flak	9	4	790 ±410	210 ±110	300 ±1 140	80 ±310
Tykke fibre	9	0	0	0	0	0
Kuler	9	0	0	0	0	0
Skum	9	0	0	0	0	0
Dekkslitasje	9	1	360 ±360	96 ±96	1 100 ±3 100	300 ±840
<b>Alle partikkeltyper</b>	-	-	2 700 ±1 400	730 ±370	2 000 ±5 800	540 ±1 550

### 3.5.2.2 Størrelsesfraksjonen 20-300 µm (pyrolyse-GC/MS)

Det ble analysert for 10 ulike plastpolymere i tre sandprøver av størrelsesfraksjonen 20-300 µm (prøvetaking 3, 5 og 10). Resultatene er oppsummert i **Tabell 40**.

Det ble funnet relativt lite plastpolymere i størrelsesfraksjonen 20-300 µm i sandprøvene; i størrelsesorden 0,5% av mengden funnet i størrelsesfraksjonen 1-5 mm. Selv om disse sandprøvene ble tatt inn i forbindelse med kraftig nedbør ble det funnet svært lave mengder polymere som indikerer tilstedeværelse av dekkslitasjepartikler i disse prøvene. Mens mengden presumptive dekkslitasjepartikler i størrelsesfraksjonen 1-5 mm ble estimert til å være ca. 300 kg/år (se **Tabell 39**), indikerte pyrolyse-GC/MS-analysen at det ikke var mer enn ca. 1 kg/år i størrelsesfraksjonen 20-300 µm. Dette antyder at sandfanget ikke gir tilstrekkelig oppholdstid til å la disse små partiklene å sedimentere ut under den høye hydraulisk belastningen anlegget opplever under kraftig nedbør.

**Tabell 40.** Beregnede gjennomsnittlige mengder av ulike plastpolymere bestemt med pyrolyse-GC/MS-analyser av størrelsesfraksjonen 20-300 µm i sandprøver tatt ut under kraftig nedbør (prøvetaking 3, 5 og 10). Det er lagt til grunn en gjennomsnittlig sandproduksjon på 735 kg tv per døgn ved beregning av samlet mengde av de ulike plastpolymerene over året.

Polymertype	Sand			
	mg/kg tv	g/døgn	kg/år	%
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>				
PVC	0	0	0	0
PMMA	0	0	0	0
PA6	0	0	0	0
PP	0	0	0	0
PET	6,7 ± 6,2	4,9 ± 4,5	1,79 ± 1,65	42
PC	0,50 ± 0,39	0,37 ± 0,29	0,135 ± 0,104	3,2
PE	8,2 ± 14,2	6,0 ± 10,4	2,2 ± 3,8	51
PS	0,54 ± 0,42	0,39 ± 0,31	0,144 ± 0,113	3,4
<b>Totalt</b>	<b>15,9 ± 21,1</b>	<b>11,7 ± 15,5</b>	<b>4,3 ± 5,7</b>	<b>100</b>
<i>Dekkslitasje</i>				
PBD	0,15 ± 0,26	0,109 ± 0,188	0,040 ± 0,069	-
PIP	0,014 ± 0,023	0,010 ± 0,017	0,0036 ± 0,0063	-
<b>Dekkslitasje</b>	<b>3,7 ± 6,4</b>	<b>2,7 ± 4,7</b>	<b>0,99 ± 0,36</b>	-

## 3.6 Uttak av mikroplast via slam

### 3.6.1.1 Størrelsesfraksjonen 1-5 mm (mikroskopering og FT-IR)

Fem slamprøver ble undersøkt for MPP<sub>300-1000 µm</sub> og fire slamprøver ble undersøkt for MPP<sub>1-5 mm</sub><sup>12</sup>.

**Tabell 41** sammenstiller resultatene for gjennomsnittet av disse prøvene, for størrelsesfraksjonene 300-100 µm og 1-5 mm, samt samlet for >300 µm.

Som for de øvrige prøvetypene dominerte fibrene i antall, men konsentrasjonen per kg tørrvekt (ca. 128 000/kg tv) var ca. 6 ganger høyere i slamprøvene enn i ristgodsprøvene og ca. 150 ganger høyere enn i sandprøvene. Ca. 95% av fibrene ble funnet i 300-1000 µm-fraksjonen. Det ble funnet et relativt stort antall dekkslitasjepartikler (ca. 10 000/kg tv), og alle i 300-1000 µm-fraksjonen. Det ble også funnet relativt mange fragmenter (ca. 4 000/kg tv), tykke fibre (ca. 2 000/kg tv), fibernøster (ca. 1 000/kg tv) og flak (ca. 630/kg tv), i all hovedsak i 300-1000 µm-fraksjonen. Det ble ikke funnet noen kuler eller skum i slamprøvene.

Ut fra vekt var det fragmentene som dominerte med ca. 200 mg per kg tv, noe som faktisk ikke var mer enn ca. 13% av tørrvektkonsentrasjonen av fragmenter i ristgodsprøvene (1 500 mg/kg tv) og ca. 1/3 av tørrvektkonsentrasjonen av fragmenter i sandprøvene (600 mg/kg tv). Tørrvektkonsentrasjonen av dekkslitasjepartikler var på ca. 80 mg/kg tv, som igjen var betydelig lavere i gjennomsnittet for sandprøvene (1 100 mg/kg tv).

Igjen er det verdt å legge merke til at fibernøstene utgjorde en betydelig andel ut fra vekt (ca. 40 mg/kg tv), og at disse i snittstørrelse ( $0,70 \pm 1,42^{13}$  µL) var vesentlig større enn de som ble funnet i innløpet (0,036 µL), men likevel noe mindre enn de som ble funnet i ristgodsprøvene ( $3,5 \pm 6,2$  µL).

**Tabell 42** viser det estimerte årlige antallet og den estimerte årlige vekten av de ulike partikkeltypene i slammet som leveres ut fra renseanlegget. Hvordan dette antallet og vekten forholder seg de tilsvarende mengdene som kommer inn til anlegget og som forlater anlegget via ristgods, sand og rensed avløp blir diskutert i neste seksjon når det settes opp en forsøksvis massebalanse over anlegget.

---

<sup>12</sup> Ytterligere én slamprøve ble undersøkt, men denne ble behandlet med Fentons reagens i stedet for H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> og er derfor utelatt her.

<sup>13</sup> Standardavvik til gjennomsnittet av 5 fibernøster.

**Tabell 41.** Antall og vekt av  $MPP_{>300 \mu m}$  i slam basert på prøver fra 1., 2., 6., 7. og 12. prøvetaking. «n» angir antall prøver som ble undersøkt og «n>0» angir antall prøver hvor det ble funnet  $MPP_{>300 \mu m}$ .

Partikkeltyper	300-1000 $\mu m$						1-5 mm						>300 $\mu m$			
	# prøver		Antall		Vekt		# prøver		Antall		Vekt		Antall		Vekt	
	n	n>0	#/kg tv	#·10 <sup>6</sup> /d	mg/kg tv	kg/d	n	n>0	#/kg tv	#·10 <sup>6</sup> /d	mg/kg tv	kg/d	#/kg tv	#·10 <sup>6</sup> /d	mg/kg tv	kg/d
Fibre	4	4	121 000 ±22 000	2 200 ±700	38 ±28	0,69 ±0,57	4	4	6 900 ±1 700	105 ±27	3,2 ±2,1	0,052 ±0,035	128 000 ±24 000	2 300 ±700	41 ±30	0,75 ±0,61
Fibernøster	4	2	1 000 ±640	17,8 ±13,0	21 ±85	0,42 ±1,82	4	2	56 ±36	0,73 ±0,51	19 ±82	0,24 ±1,19	1 100 ±670	18,5 ±13,5	40 ±167	0,7 ±3,0
Fragmenter	4	0	4 000 ±400	90 ±69	200 ±230	3,6 ±4,0	4	0	0	0	0	0	4 000 ±400	90 ±69	200 ±230	3,6 ±4,0
Flak	4	0	630 ±520	11,4 ±8,6	4,4 ±11,9	0,079 ±0,197	4	0	0	0	0	0	630 ±520	11,4 ±8,6	4,4 ±11,9	0,079 ±0,197
Tykke fibre	4	3	1 760 ±660	30 ±17	6,5 ±16,3	0,10 ±0,23	4	3	250 ±100	4,0 ±1,6	0,60 ±1,04	0,0105 ±0,0188	2 000 ±760	34 ±18	7,1 ±17,4	0,11 ±0,25
Kuler	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skum	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dekkslitasje	4	0	10 100 ±3 200	191 ±81	78 ±65	1,74 ±1,61	4	0	0	0	0	0	10 100 ±3 200	191 ±81	78 ±65	1,74 ±1,61
<b>Alle partikkel-typer</b>	-	-	131 000 ±28 000	2 500 ±900	350 ±430	6,6 ±8,4	-	-	7 200 ±1 800	730 ±370	2 000 ±5 800	0,30 ±1,24	145 000 ±30 000	2 600 ±900	370 ±520	6,9 ±9,7

**Tabell 42.** Estimert årlig antall og vekt av  $MPP_{>300\mu m}$  i slam basert på prøver fra 1., 2., 6., 7. og 12. prøvetaking. Estimatenes er basert på tørrvektstallene og gjennomsnittlig daglig slamproduksjon i perioden 1.12.2018-30.11.2019 ( $18,02 \pm 0,44$  tonn TS/døgn).

Partikkeltyper	>300 $\mu m$	
	Antall	Vekt
	#·10 <sup>6</sup> /år	kg/år
Fibre	840 000 $\pm 159\ 000$	270 $\pm 200$
Fibernøster	6 900 $\pm 4\ 400$	260 $\pm 1\ 100$
Fragmenter	26 000 $\pm 2\ 600$	1 320 $\pm 1\ 500$
Flak	4 200 $\pm 3\ 400$	29 $\pm 78$
Tykke fibre	13 200 $\pm 5\ 000$	47 $\pm 114$
Kuler	0	0
Skum	0	0
Dekkslitasje	66 000 $\pm 21\ 000$	520 $\pm 430$
<b>Alle partikkeltyper</b>	<b>956 000</b> <b><math>\pm 196\ 000</math></b>	<b>2 400</b> <b><math>\pm 3\ 500</math></b>

### 3.6.1.1 Størrelsesfraksjonen 20-300 $\mu m$ (pyrolyse-GC/MS)

Det ble analysert for 10 ulike plastpolymere i tre slamprøver av størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$  (prøvetaking 1, 6 og 12). Resultatene er oppsummert i **Tabell 43**.

Det ble funnet relativt høye konsentrasjoner av de tradisjonelle plastpolymerene i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$  i slamprøvene; i størrelsesorden halvparten av mengden funnet i størrelsesfraksjonen >300  $\mu m$ . PET utgjorde nesten 2/3 av disse plastpolymerene, men det ble også funnet ganske mye PS (ca. 30%) og PMMA (ca. 8%).

Selv om det ble funnet relativt store mengder presumptive dekkslitasjepartikler i størrelsesfraksjonen 300-1000  $\mu m$  (ca. 1 700 g/døgn; se **Tabell 41**), ble det ikke funnet noen av polymerene (PBD, PIP) som indikerer tilstedeværelse av dekkrester i størrelsesfraksjonen 20-300  $\mu m$ . Dette er også svært overraskende når det ble funnet så store mengder av disse polymerene i 20-300  $\mu m$ -fraksjonen i innløpet (se **Tabell 27**) og ingen spor av dem i utløpet (se **Tabell 33**).

**Tabell 43.** Beregnede gjennomsnittlige mengder av ulike plastpolymere bestemt med pyrolyse-GC/MS-analyser av størrelsesfraksjonen 20-300 µm i tre slamprøver (prøvetaking 1, 6 og 12). Det er lagt til grunn en gjennomsnittlig slamproduksjon på 18,02 kg tv per døgn ved beregning av samlet mengde av de ulike plastpolymerene over året.

Polymertype	Slam			
	mg/kg tv	g/døgn	kg/år	%
<i>Tradisjonelle plastpolymere</i>				
PVC	0	0	0	0
PMMA	15 ± 26	240 ± 410	98 ± 169	7,6
PA6	0	0	0	0
PP	0	0	0	0
PET	126 ± 56	2 200 ± 1 100	830 ± 370	64
PC	0,44 ± 0,76	10,4 ± 17,9	2,9 ± 5,0	0,22
PE	0	0	0	0
PS	54 ± 23	1 010 ± 690	360 ± 150	28
<b>Totalt</b>	<b>195 ± 106</b>	<b>3 500 ± 2 200</b>	<b>1290 ± 700</b>	<b>100</b>
<i>Dekkslitasje</i>				
PBD	0	0	0	-
PIP	0	0	0	-
<b>Dekkslitasje</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-</b>

### 3.6.2 Sammenligning med rapporterte mengder MPP i slam ved andre renseanlegg

**Tabell 44** viser de antalls-baserte konsentrasjonene av MPP som er funnet i slam fra avløpsrenseanlegg andre steder i verden. Også her varierer konsentrasjonene mye. De antalls-baserte konsentrasjonene i utløpet fra Bekkelaget synes å ligge i øvre sjikt av de rapporterte verdiene.

**Tabell 44.** Antall mikroplastpartikler funnet i slam ved utvalgte angitte renseanlegg i ulike deler av verden. En mer detaljert beskrivelse av hver av studiene er gitt i **Vedlegg E**.

Studie	Sted	Renseanlegg	Nedre str. ( $\mu\text{m}$ )	Innløp		
				Kons (#/g tv)	Dominerende type partikler	Dominerende plasttyper
Denne	Norge, Oslo	Bekkelaget RA	>300	145 $\pm$ 30; 370 $\pm$ 520 ( $\mu\text{g/g tv}$ )	Antall: Fibre; Vekt: Frag, dekk.	
			20-300	195 $\pm$ 106 ( $\mu\text{g/g tv}$ )		64% PET, 28% PS
2	USA, Los Angeles	1 anlegg	>45	1/g våtvekt		
5	Finland, St. Michel	Kenkäveronniemi	>250	170,9 $\pm$ 28,7		
6	Canada, Vancouver	Metro	>63	1,6-56,4		
12	Sverige		>300	16,7 $\pm$ 1,96	72% fibre, 20% frag	
13	Norge	8 ulike anlegg	>50	1,7-19,8 (snitt: 6,1)		PE, PET, PP, polyuretan
14	Norge, Oslo	Bekkelaget RA	>50	3-20		
15	Nederland	7 ulike anlegg	>10	0,51-0,76/g våtvekt		
17	Tyskland	6 ulike anlegg	>20	1-24		
25	Italia		>63	113 $\pm$ 57 (resirk slam)		
27	Spania, Madrid		>25	183 $\pm$ 84		

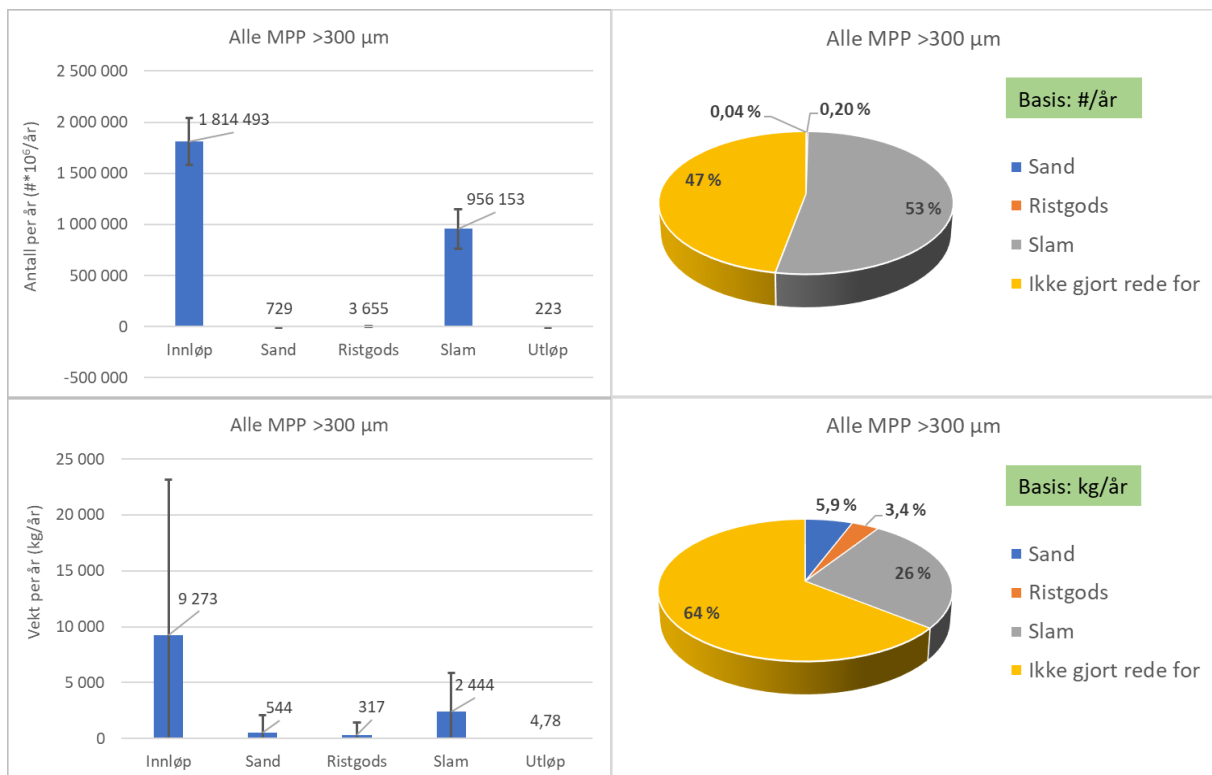


### 3.7 Foreløpig massebalanse over Bekkelaget renseanlegg

På bakgrunn av de estimerte tilførslene til renseanlegget over året (**Tabell 26**) hvor mye som tas ut per år via slam (**Tabell 42**), ristgods (**Tabell 38**) og sand (**Tabell 39**) og hvor mye  $MPP_{>300\ \mu\text{m}}$  som slippes ut til resipienten via det rensede avløpsvannet (**Tabell 32**) kan det settes opp en forsøksvis massebalanse over renseanlegget. Dette er gjort på bakgrunn av antall partikler og på bakgrunn av vekten av partikler. **Figur 54** viser dette for alle  $MPP_{>300\ \mu\text{m}}$  samlet. Basert på antall partikler (øvre del av **Figur 54**) kan det synes som det kom omtrent dobbelt så mange partikler inn til anlegget som det gikk ut fra anlegget (dvs. ca. halvparten ikke gjort rede for), og at de aller fleste forlot anlegget via slammet. Basert på vekt (nedre del av **Figur 54**) var det en noe større andel av partiklene som endte opp i sand og ristgods, men andelen som ikke var gjort rede for synes å ha økt noe. Det er ikke forventet at man vil ha noen biologisk nedbrytning av mikroplastpartikler på renseanlegget, så det tilsynelatende store tapet over anlegget kan skyldes andre faktorer.

Det er tatt utgangspunkt i de beregnede snittverdiene for hver partikkeltype. For de fleste partikkeltyper er disse snittverdiene basert på et svært begrenset antall partikler i prøvene som er undersøkt, og som ble diskutert i **Seksjon Vedlegg I** gir dette ganske stor usikkerhet i de beregnede snittverdiene for hver prøve. På grunn av usikkerhetene knyttet til bestemmelsen av både partikkelvolum og tetthet, blir denne usikkerheten enda større når vekten av mikroplastpartikler skal beregnes. Usikkerhetene øker ytterligere når også usikkerheten i de årlige mengdene vann/slam/ristgods/sand inkluderes. De beregnede usikkerhetene er angitt med et 95% konfidensintervall (95% sannsynlighet for at de reelle snittverdiene ligger innenfor dette intervallet), og for de vektbaserte snittverdiene er usikkerheten ofte større enn 100%. Dette kan gjøre det vanskelig/umulig å konkludere om det er en reell massebalanse over renseanlegget eller ikke. Utfordringen ligger da i å få isolert et tilstrekkelig stort og representativt antall mikroplastpartikler fra de respektive strømmene.

I det følgende er det sett nærmere på hver enkelt partikkeltype.

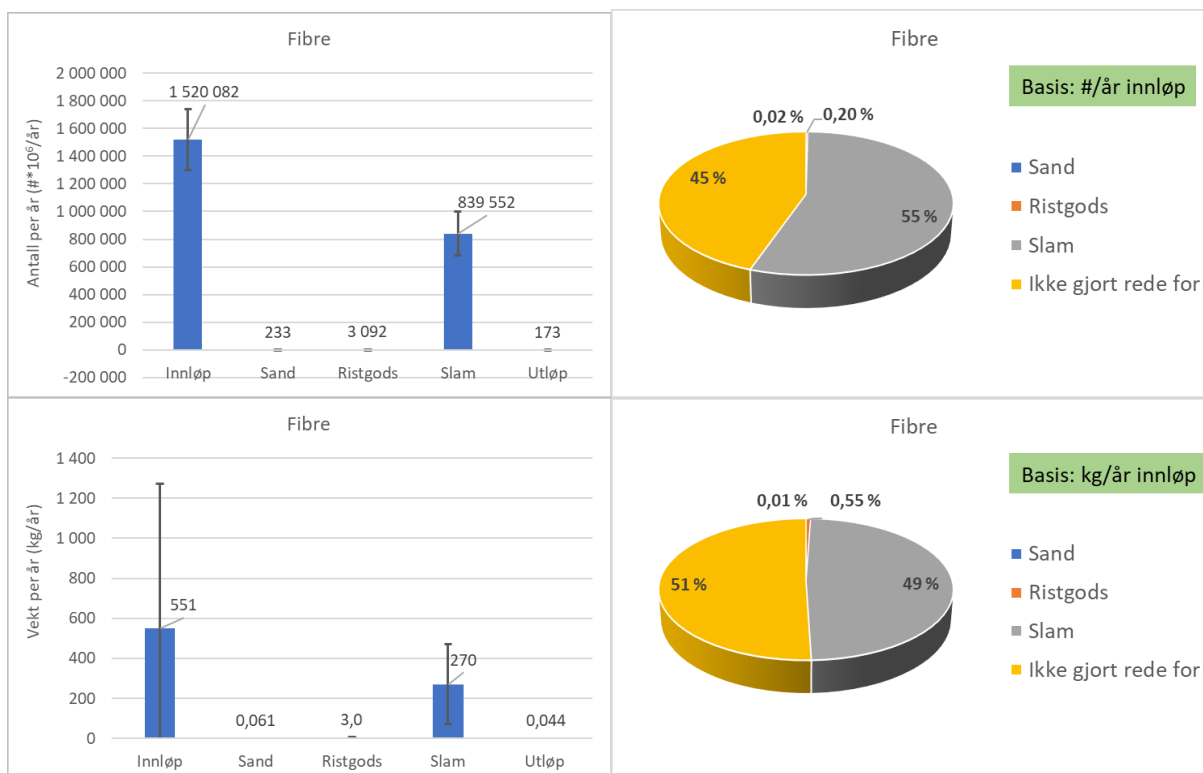


**Figur 54.** Årlig antall (øverst) og årlig vekt (nederst) av  $MPP_{>300\ \mu m}$  inn til Bekkelaget rensanlegg og ut fra rensanlegget via sand, ristgods, slam og rensset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene (se **Seksjon 2.10**). Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

### 3.7.1 Massebalanse for fibre – tilsynelatende mer inn enn ut

**Figur 55** viser resultatene for fibre. Sidene fibre har dominert i antall i nær sagt alle prøver er det ikke overraskende at massebalansen for fibre basert på antall ser svært lik ut som for alle  $MPP_{<300\ \mu m}$ ; det synes som det kommer omtrent dobbelt så mange fibre inn til anlegget som det går ut fra anlegget, og de aller fleste forlater anlegget via slammet. Samtidig er det ca. 45% av fibre som ikke er gjort rede for.

Som diskutert i **Seksjon 2.6.5** kan det være ganske mange fibre som kan tenkes å ha gått gjennom 300-µm-sikten og dermed vil gjenfinnes i 20-300 µm-fraksjonen som ennå ikke er undersøkt. Det er postulert at hvor mye som blir holdt igjen på de de større siktene vil være avhengig av hvor mye annet materiale som ellers ligger på sikten og hvordan fibre er assosiert med dette materialet. Samtidig er det ikke gitt at fibre i innløpsprøvene går lettere gjennom 300-µm-sikten enn fibre i slamprøvene, selv om tørrvekten av materialet i slamprøvene er vesentlig større. Det an derfor tilsynelatende være litt tilfeldig hvor stor andel som vil være inkludert i de to fraksjonene (300-1000 µm og 1-5 mm) som nå er analysert.



**Figur 55.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av fibre ( $MPP_{>300\ \mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall). Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

Samtidig kan spesielt slambehandlingen (inkludert avanningen i sentrifuge) potensielt føre til en mekanisk nedbrytning/brekking av fibre. Dette vil i så fall øke antallet fibre, men det vil samtidig også kunne øke sjansen for at fibrene går gjennom siktene og dermed ikke bli fanget opp i prøven som analyseres. **Figur 56** sammenligner lengdene og tykkelsene til fibrene isolert i innløps- og slamprøvene. Mens fibertykkelsen synes å være omtrent lik (klart innenfor usikkerheten i bestemmelsen av fibertykkelsen med metoden som er benyttet), er lengden til fibrene i slamprøvene jevnt over noe lenger:

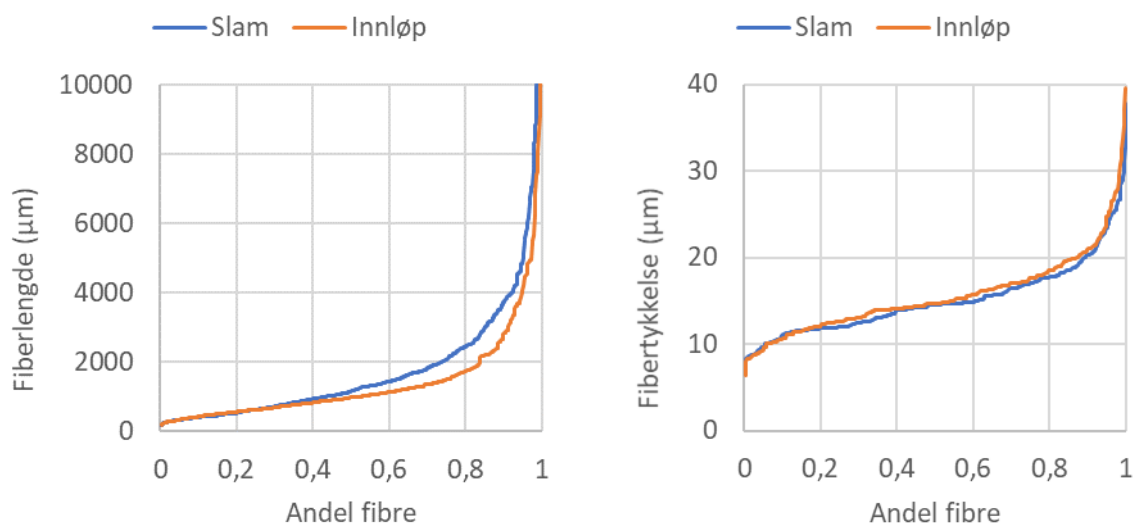
- Innløp:
  - Fibertykkelse: 14,7  $\mu m$  (median), 15,6  $\pm$  0,2  $\mu m$  (snitt og usikkerhet i snitt)
  - Fiberlengde: 968  $\mu m$  (median), 1 383  $\pm$  69  $\mu m$  (snitt og usikkerhet i snitt)
- Slam:
  - Fibertykkelse: 14,5  $\mu m$  (median), 15,1  $\pm$  0,2  $\mu m$  (snitt og usikkerhet i snitt)
  - Fiberlengde: 1 150  $\mu m$  (median), 1 790  $\pm$  91  $\mu m$  (snitt og usikkerhet i snitt)

Én mulig måte å tolke dette på er at fibrene i slamprøvene har hatt litt lettere for å gå gjennom 300- $\mu m$ -sikten enn de tilsvarende fibrene i innløpsprøvene, og at det primært er de kortere fibrene som går gjennom sikten. Dette vil i så fall forskyve størrelsesfordelingen av fibrene i slamprøvene mot litt større lengder.

En alternativ tolkning er at mange av fibrene i slamprøvene har brukket under behandlingen på renseanlegget og at disse kortere fibrene har hatt lettere for å gå gjennom 300- $\mu m$ -sikten. Hvis ikke

alle delene av de brukne fibrene går gjennom kunne man da ha forventet en forskyving av fibrene i slamprøvene mot litt kortere lengder. Dette synes ikke å ha skjedd.

Det kan være at begge tolkningene er riktige, men at effekten også vil være avhengig av type polymer; noen fibre er glattere enn andre, og noen fibre er mer skjøre enn andre.

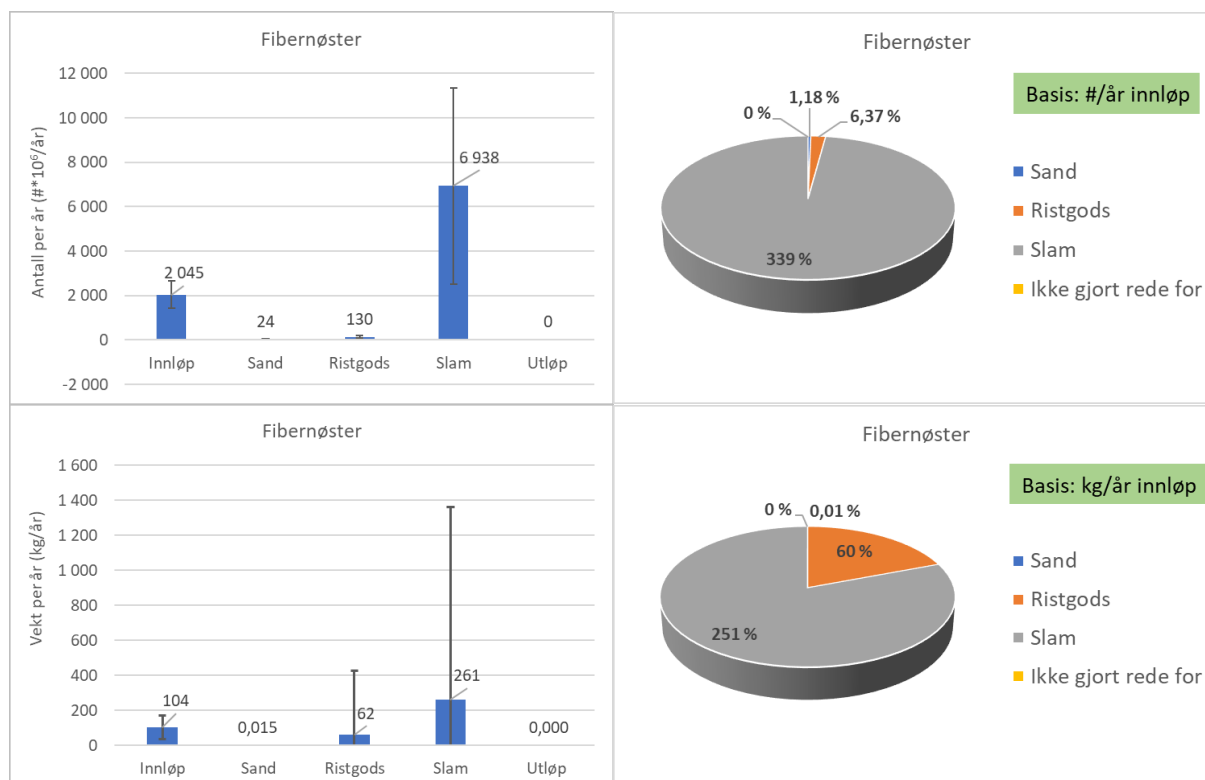


**Figur 56.** Fiberlengde (venstre side) og fibertykkelse (høyre side) til fibrene isolert fra innløpsprøver ( $n=442$ ) og slamprøver ( $n=659$ ).

### 3.7.2 Massebalanse for fibernøster – mer ut enn inn

Som **Figur 57** indikerer ble det funnet betydelig flere fibernøster i slamprøvene enn det som ble funnet i innløpsprøvene. Det ble også funnet en hel del fibernøster i ristgodsprøvene, og siden disse var betydelig større enn de som ble funnet i innløpsprøvene ( $3,5 \pm 6,2$  µL/fibernøste i ristgods mot  $0,036$  µL/fibernøste i innløpet), var mengden fibernøster i ristgodset i samme størrelsesmengde som i innløpet.

Som diskutert i Seksjon 3.1.1 er det spesielt stor usikkerhet knyttet til bestemmelsen av volumet av fibernøster, ikke minst fordi det ble funnet så få av disse. For innløpsprøvene handler dette i stor grad om å kunne ta ut en stor nok prøve, noe som ikke var mulig med metoden som ble brukt.



**Figur 57.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **fibernøster** ( $MPP_{>300\ \mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensed utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

### 3.7.3 Massebalanse for fragmenter – betydelig mer inn enn ut

Resultatene, som er oppsummert i **Figur 58**, antyder at det var både vesentlig flere fragmenter i innløpet enn det som ble funnet i prøvene som dekker strømmene ut av renseanlegget, og den samlede vekten av fragmentene i innløpet var betydelig større, noe som gjorde at andelen det ikke var gjort rede for var veldig stor (hvh. 83% og 75%).

**Figur 59** sammenligner volumene til fragmentene som ble isolert fra innløpsprøvene ( $n=46$ ), slamprøvene ( $n=12$ ), ristgodsprøvene ( $n=4$ ) og sandprøvene ( $n=11$ ). Som det fremgår ble det funnet mye færre fragmenter i ristgodsprøvene og i sandprøvene enn i innløpsprøvene, men disse fragmentene var betydelig større. Dette gjaldt ikke minst i sandprøvene, hvor det til sammen ble funnet omtrent like mange fragmenter som i slamprøvene, men hvor medianstørrelsen og snittstørrelsen til fragmentene var hhv. 54 og 23 ganger større enn medianstørrelsen til fragmentene i innløpet:

- Innløp: 0,0115  $\mu\text{L}$  (median),  $0,041 \pm 0,008$   $\mu\text{L}$  (snitt og usikkerhet i snitt)
- Slam: 0,0135  $\mu\text{L}$  (median),  $0,0135 \pm 0,029$   $\mu\text{L}$  (snitt og usikkerhet i snitt)
- Ristgods: 0,25  $\mu\text{L}$  (median),  $2,6 \pm 2,4$   $\mu\text{L}$  (snitt og usikkerhet i snitt)
- Sand: 0,63  $\mu\text{L}$  (median),  $0,94 \pm 0,31$   $\mu\text{L}$  (snitt og usikkerhet i snitt)

Noe av denne tilsynelatende diskrepansen med hva som er funnet i innløpet kan skyldes at disse tallene for sand og ristgods kun inkluderer fragmenter som er isolert fra den største størrelsesfraksjonen (1-5 mm), mens tallene for innløp og slam inkluderer også størrelsesfraksjonen

300-1000  $\mu\text{m}$ . Resultatene indikerer uansett at volumet av innsamlet innløpsprøve og slamprøve ikke har vært stort nok til å fange opp disse største fragmentene. Som diskutert i **Seksjon 3.1.1**, dekket hver delprøve følgende andel av den samlede mengden materiale som prøven ble tatt fra:

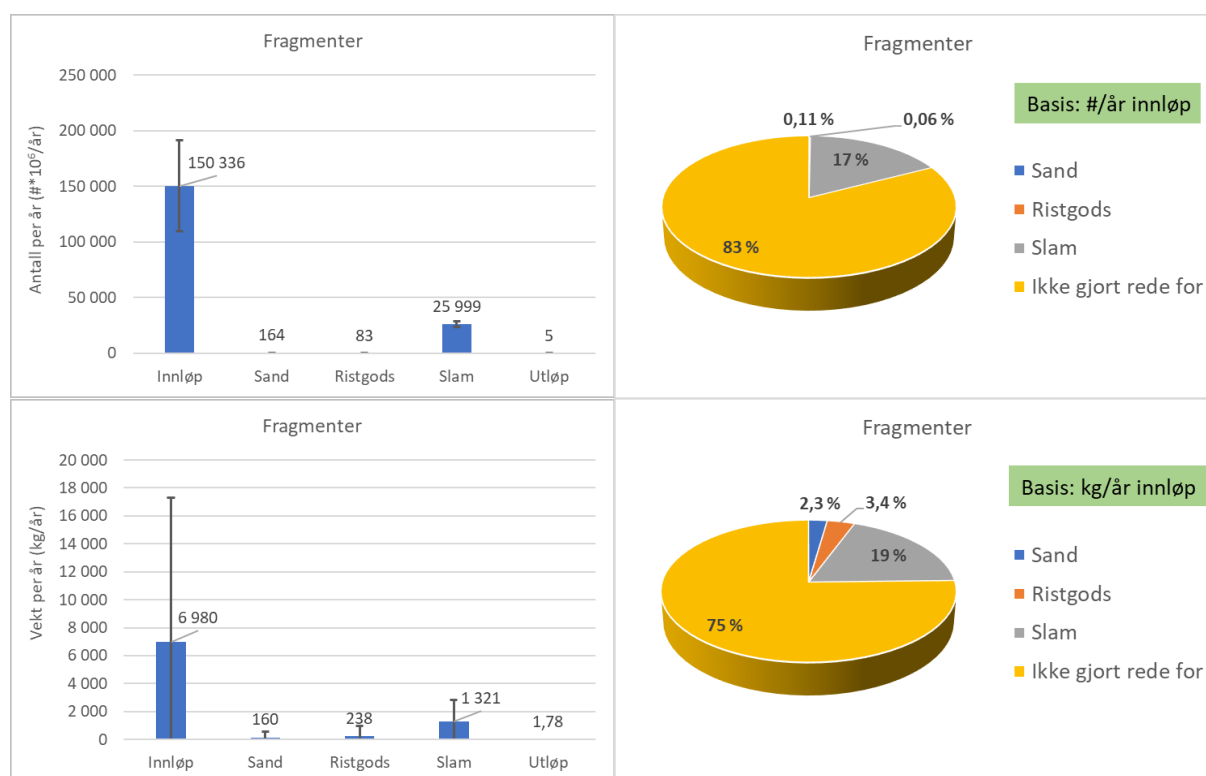
### 300-1000 $\mu\text{m}$

- Innløp:  $0,00149-0,034 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $0,0072 \cdot 10^{-6}$ )
- Slam:  $0,0026-0,0094 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $0,0053 \cdot 10^{-6}$ )
- Utslipp:  $2,1-3,3 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $2,5 \cdot 10^{-6}$ ) (fullverdig behandling)

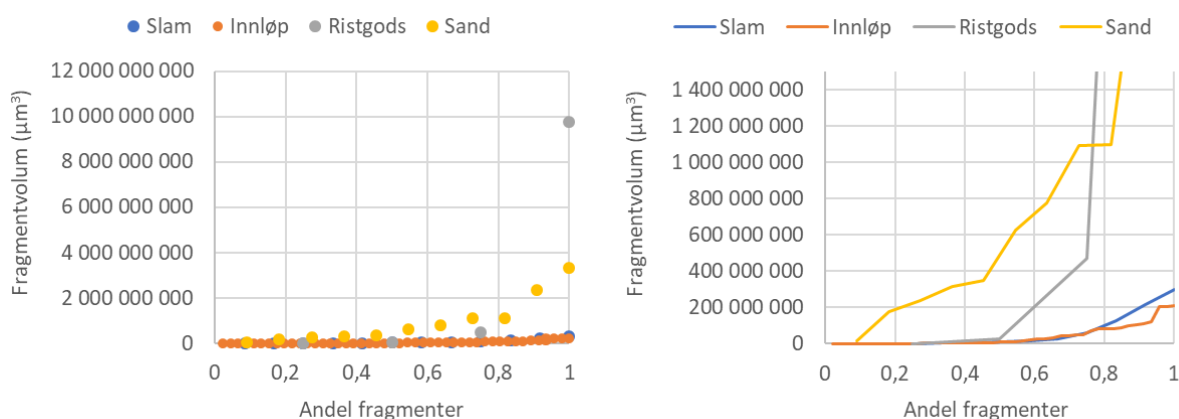
### 1-5 mm

- Innløp:  $0,0022-0,127 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $0,034 \cdot 10^{-6}$ )
- Slam:  $0,029-0,156 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $0,099 \cdot 10^{-6}$ )
- Ristgods:  $0,42-12,2 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $2,8 \cdot 10^{-6}$ )
- Sand:  $0,25-11,0 \cdot 10^{-6}$  (snitt:  $4,7 \cdot 10^{-6}$ )

Det er også verdt å legge merke til at størrelsesfordelingen for fragmentene i innløpsprøvene og i slamprøvene var relativt lik. Selv om tallmaterialet for slamprøvene er veldig begrenset (5 av 12 fragmenter ble funnet i én delprøve), er det ingen klare indikasjoner på at det hadde skjedd noen betydelig nedbrytning av fragmentene under vann- og slambehandlingen.



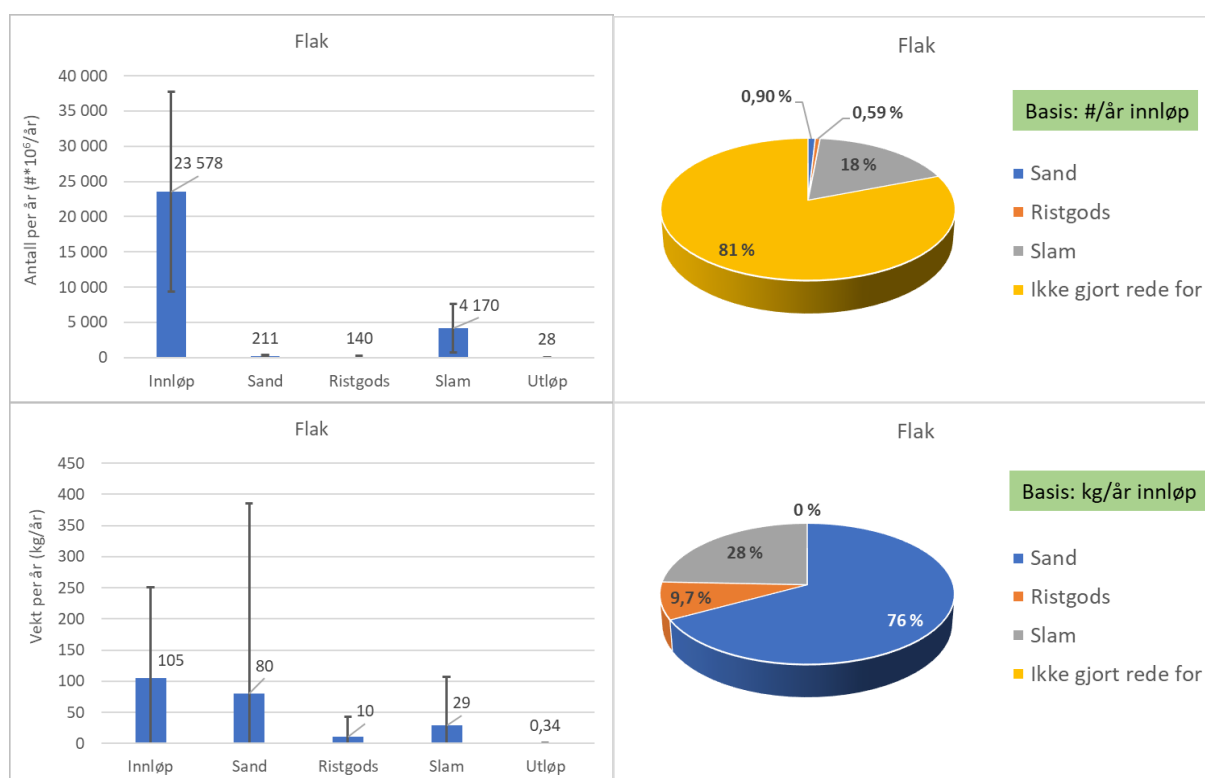
**Figur 58.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **fragmenter** ( $MPP_{>300 \mu\text{m}}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og renset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.



**Figur 59.** Volum av fragmenter isolert fra innløpsprøvene ( $n=46$ ), slamprøvene ( $n=12$ ), ristgodsprøvene ( $n=4$ ) og sandprøvene ( $n=11$ ). Høyre delfigur viser et utsnitt av den venstre figuren.

### 3.7.4 Massebalanse for flak – en stor del ser ut til å ende i sandfanget

Mangel på sterkt tallgrunnlag er enda tydeligere for flak enn for fragmenter (se **Seksjon 3.7.3**), noe som gjør at usikkerheten i estimatene er enda større. Basert på antall flak synes det som det er et stort antall i innløpet som ikke er gjort rede for i de samlede strømmene ut fra anlegget. Basert på vekten av flakene, synes det derimot å være en relativt god massebalanse mellom innløp og strømmene ut der ca.  $\frac{3}{4}$  av flakene i innløpet ble funnet i sanden. Men, som det fremgår av kakediagrammet basert på antall flak, utgjorde flakene i sanden <1% av antallet flak i innløpet. Flakene i slammet var mer like i størrelse som de funnet i innløpet (jfr. de to kakediagrammene).



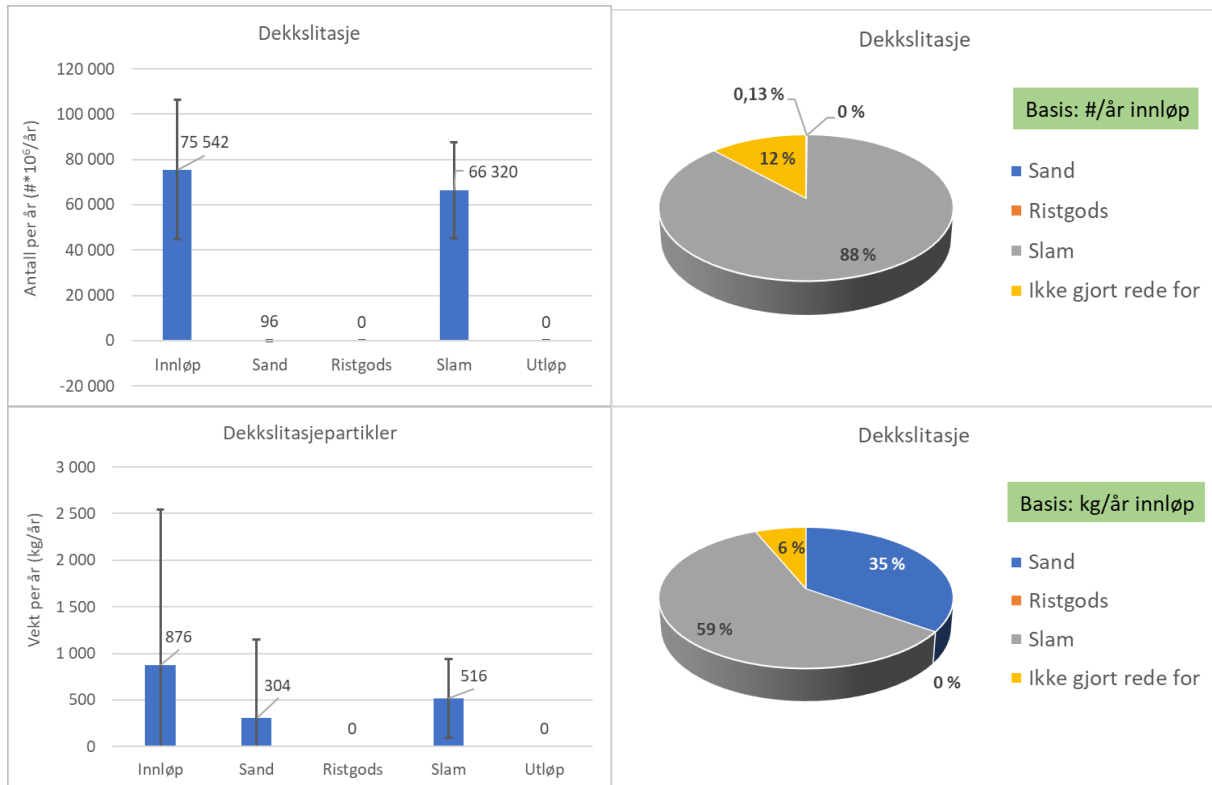
**Figur 60.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **flak** ( $MPP_{>300\mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensed utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

### 3.7.5 Massebalanse for dekkslitasjepartikler – tilsynelatende ender det meste i slammet

Resultatene for dekkslitasjepartikler er vist i **Figur 61**. Sett på bakgrunn av at man ikke har noen godt gjennomprøvd metode for å identifisere denne type partikler, var det en overraskende god massebalanse mellom hva som er estimert å ha gått inn og ut fra anlegget. Basert på antall var det kun 12% som ikke var gjort rede for, mens det på vektbasis ikke var mer enn 6% som ikke var gjort rede for. Det er her viktig å ta høyde for at sandprøvene kun inkluderer 1-5-mm-fraksjonen og således ikke den fraksjonen hvor stort sett alle de andre dekkslitasjefragmentene ble funnet i. De få partiklene som ble funnet i sandprøvene (alle fra én delprøve), utgjorde således en uforholdsmessig stor andel av den samlede vekten av dekkslitasjepartiklene.

Denne gode massebalansen må med andre ord tas med en stor klype salt, samtidig som det også kan forventes å finne en betydelig andel mikroplastpartikler i den minste størrelsesfraksjonen (20-300  $\mu m$ ), som diskutert i **Seksjon 3.2.3.2**.

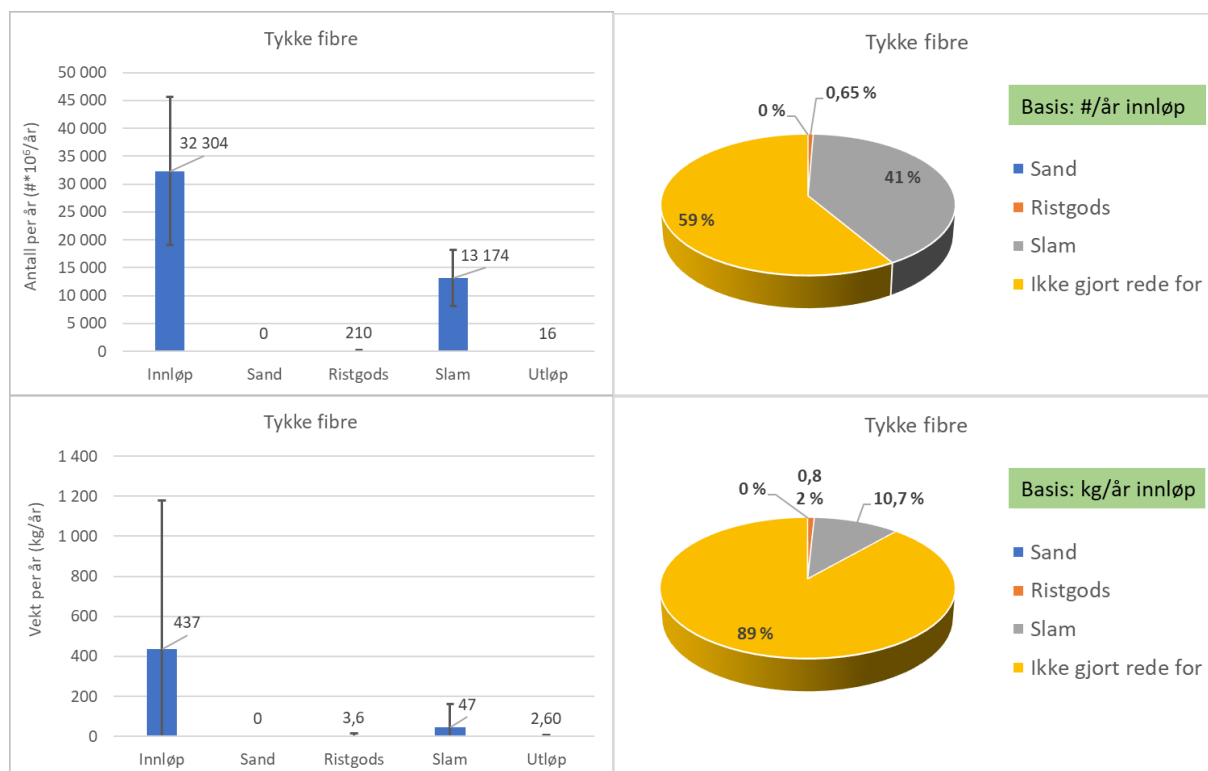




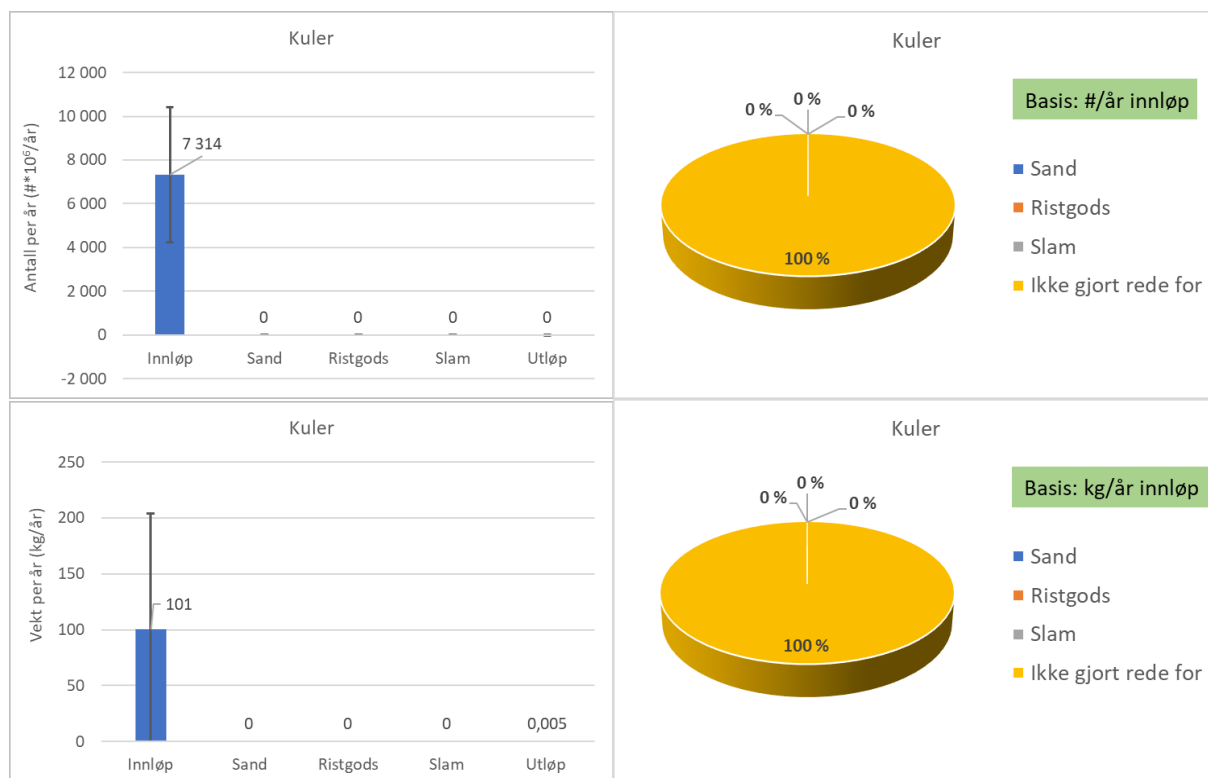
**Figur 61.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **dekkslitasjepartikler** ( $MPP_{>300\mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

### 3.7.6 Massebalanse for tykke fibre, kuler og skum

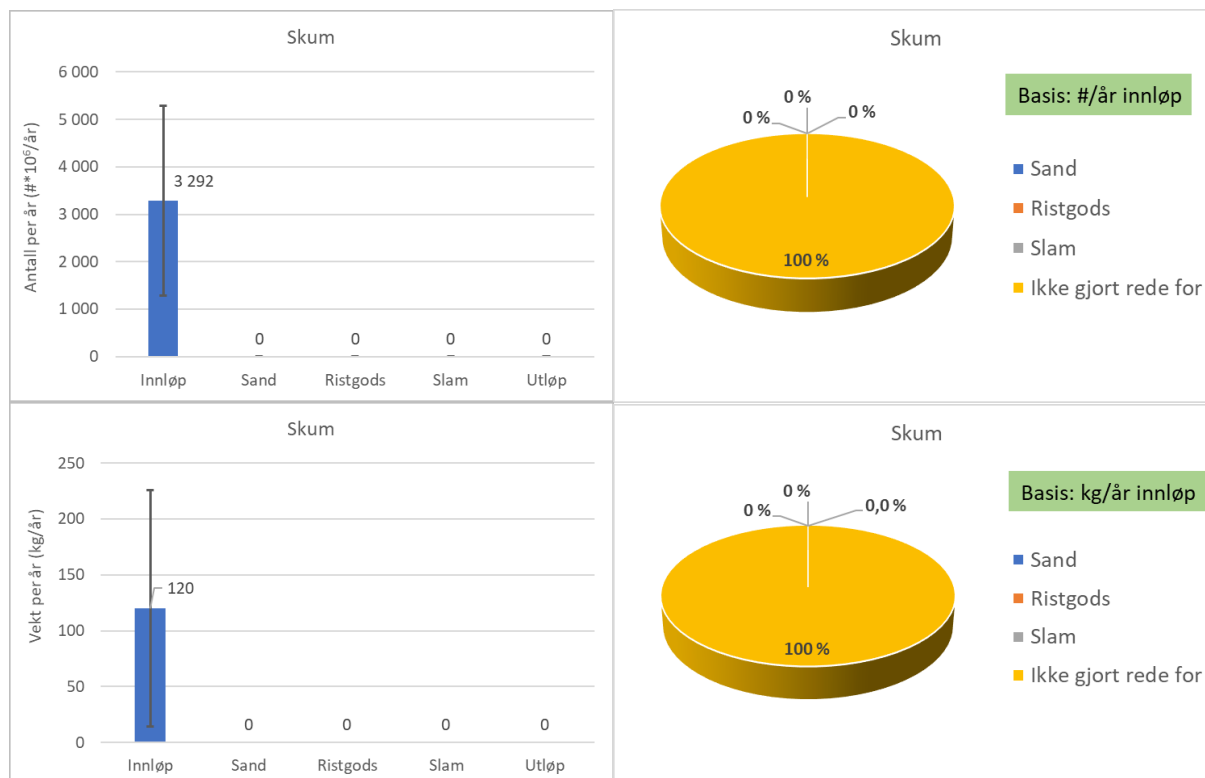
For tykke fibre (**Figur 62**), kuler (**Figur 63**) og skum (**Figur 64**) var tallmaterialet altfor magert til å gjøre noen fornuftige vurderinger.



**Figur 62.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **tykke fibre** ( $MPP_{>300\mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.



**Figur 63.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av **kuler** ( $MPP_{>300\mu m}$ ) inn til Bekkelaget renseanlegg og ut fra renseanlegget via sand, ristgods, slam og rensset utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.



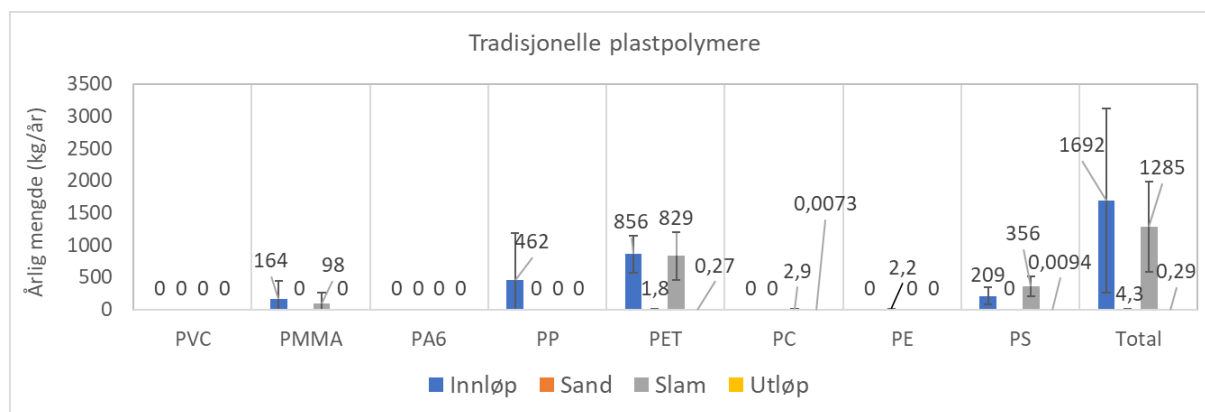
**Figur 64.** Årlig antall (øverst) og vekt (nederst) av skum ( $MPP_{>300\mu m}$ ) inn til Bekkelaget rensesanlegg og ut fra rensesanlegget via sand, ristgods, slam og rensert utløp. Feilstolpene angir usikkerheten i estimatene med et 95% konfidensintervall. Kakediagrammene viser hvor stor andel av partiklene i innløpet som ble funnet i sand, ristgods og slam, mens den gule delen av kaken angir hvor stor del av partiklene i innløpet som ikke er gjort rede for.

### 3.7.7 Massebalanse for 20-300 $\mu m$ -fraksjonen basert på pyrolyse-GC/MS

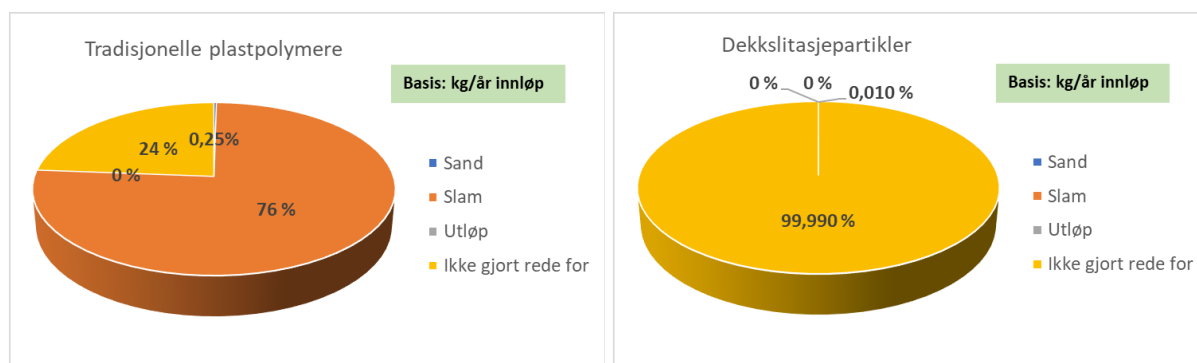
**Figur 65** illustrerer massebalansen for hver av de tradisjonelle plastpolymerene i partikkelstørrelsesområdet 20-300  $\mu m$  over rensesanlegget basert på den årlige tilførselen og det som går ut av anlegget med det rensede avløpsvannet og som sand og slam (det ble ikke gjort analyser på denne størrelsesfraksjonen i prøver av ristgods). For de fleste av plastpolymerene var det et rimelig godt samsvar mellom hva som ble funnet i innløpet og hva som ble funnet i slammet, noe som antyder at det er marginale mengder av disse plastpolymerene som brytes ned (mekanisk eller biologisk) under vann- og/eller slambehandlingen inne på anlegget. Men ikke noe av de relativt store mengdene polypropylen (PP) som ble funnet i innløpet ble detektert i noen av de andre strømmene, noe som indikerer at denne polymeren (i dette størrelsesområdet) har forsvunnet på veien gjennom anlegget. Dette er overraskende siden PP har høy styrke, er slitebestandig og er svært elastisk, noe som skulle tale mot eventuell mekanisk nedbrytning.

**Figur 66** viser kakediagrammer som illustrerer hvor stor andel av de ulike polymerene i innløpet som er gjort rede for i de ulike strømmene ut fra anlegget. For de tradisjonelle plastpolymerene (venstre kakediagram) antyder de gjennomsnittlige verdiene at ca.  $\frac{3}{4}$  av polymerene ble gjenfunnet i slammet, men her er usikkerheten i snittverdiene (angitt med standardavviket) av polymerne i både innløpet og i slammet så stor at det ikke kan sies at det egentlig er noen polymermengder som ikke er gjort rede for (selv om de manglende mengdene polypropylen i slammet antyder dette).

Som høyre kakediagram i **Figur 66** antyder var det svært lite av de store estimerte mengdene dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet 20-300  $\mu\text{m}$  i innløpet som ble funnet i noen av strømmene ut fra anlegget, kun 0,01% i sanden. Dette er underlig all den tid den tilsvarende massebalansen over anlegget for presumptive dekkslitasjepartikler >300  $\mu\text{m}$  så ut til å være veldig god (se **Figur 61**).



**Figur 65.** Estimerte årlige mengder av ulike plastpolymere i partikkelstørrelsesområdet 20-300  $\mu\text{m}$  i innløpet til og i utløpet fra Bekkelaget renseanlegget, samt i sand og slam som tas ut fra anlegget. Feilstolpene angir standardavviket i snittverdien for målt mengde i hver av de tre prøvene som ligger til grunn for de estimerte årlige mengdene.

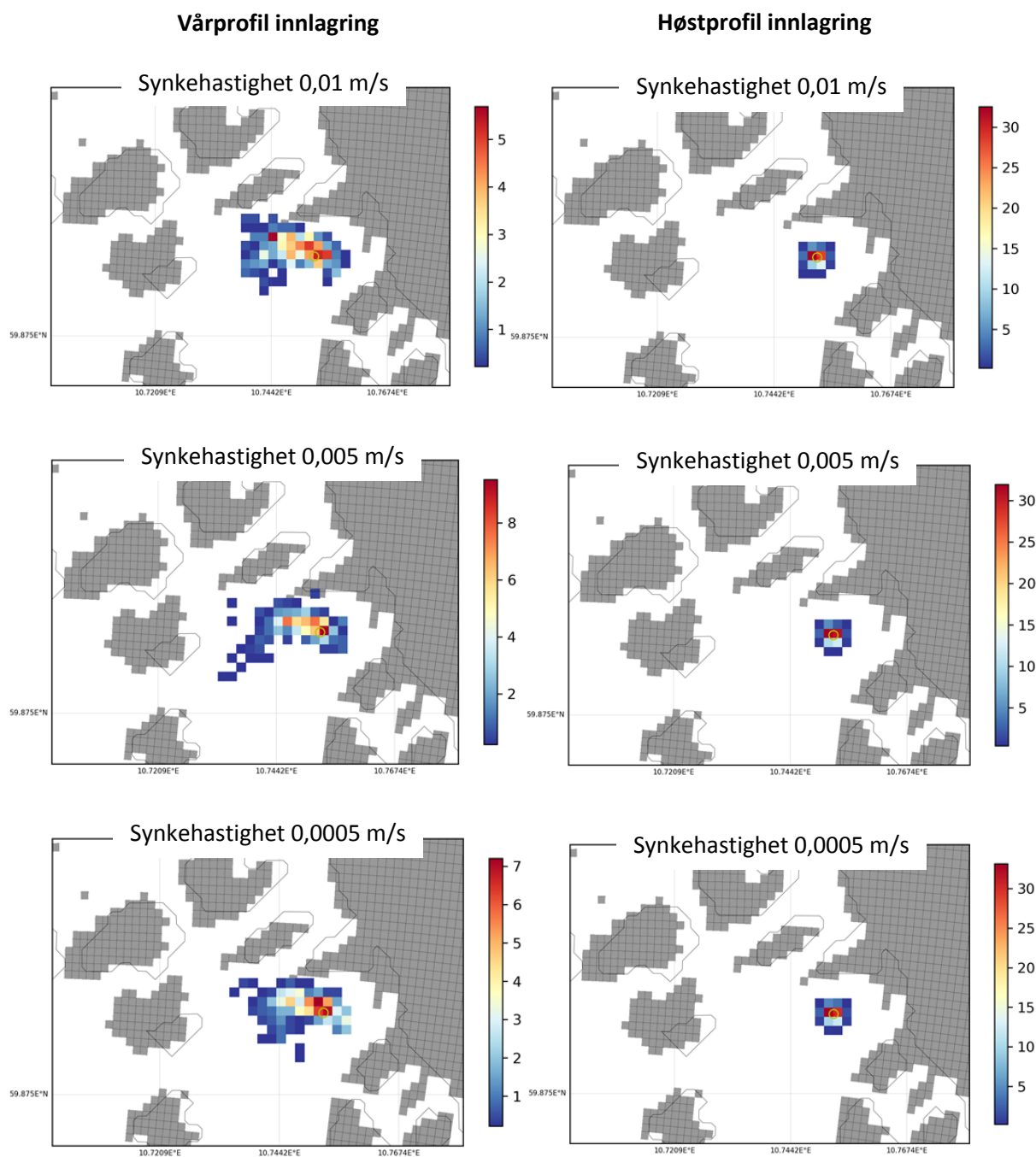


**Figur 66.** Kakediagrammet til venstre viser hvor stor andel av de samlede tradisjonelle plastpolymerene (PVC, PMMA, PA6, PP, PET, PC, PE og PS) i partikkelstørrelsesområdet 20-300  $\mu\text{m}$  i innløpet som ble funnet igjen i det rensede utløpet og i sanden og slammet som ble tatt ut fra anlegget i perioden desember 2018 til november 2019. Det høyre kakediagrammet viser hvor stor andel av den beregnede mengden dekkslitasjepartikler i størrelsesområdet 20-300  $\mu\text{m}$  i innløpet som ble funnet igjen i det rensede utløpet og i sanden og slammet som ble tatt ut fra anlegget i perioden desember 2018 til november 2019.

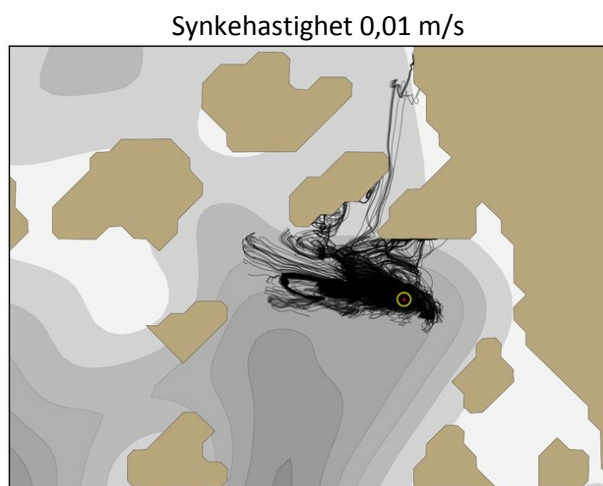
## 3.8 Spredningen av mikroplast i fjorden

### 3.8.1 Forventet omfang av spredningen basert på modellsimulert drift og utsynking av mikroplastpartikler

Som beskrevet i mer detalj i **Seksjon 2.3** ble det kjørt modellsimuleringer av spredningen av mikroplastpartikler i Bekkelagsbassenget etter utslipp av rensset avløpsvann fra Bekkelaget renseanlegg. Det ble tatt utgangspunkt i to ulike innlagringsprofiler; en vårprofil med midlere innlagringsdyp på -18 m og en høstprofil med midlere innlagringsdyp på -32 m. Den sannsynlige geografiske fordelingen av sedimenterte partikler over perioden på 1 uke er vist i **Figur 67**. Disse er basert på simulerte partikkelbaner slik de kommer fram i eksempelet vist i **Figur 68**.



**Figur 67.** Sannsynlighetsfordeling (i %) for sedimentering av mikroplastpartikler med angitt synkehastighet ut fra utslippsstedet (gul ring) fra Bekkelaget renseanlegg i Bekkelagsbassenget. Hver rute er 100x100 m. Delfigurene til venstre viser situasjonen ved simulering der det er benyttet en vårprofil for innlagringsdypet (midlere innlagringsdyp på -18 m), mens de høyre delfigurene viser situasjonen ved simulering der det er benyttet en høstprofil for innlagringsdypet (midlere innlagringsdyp på -32 m). Sannsynlighetsfordelingen er basert på simulerte partikkelbaner slik de fremkommer i eksempelet vist i **Figur 68**, men der det er antatt at partiklene er sedimentert når de er sunket til 10 cm over bunnen.



**Figur 68.** Eksempel på simulerte partikkelbaner til 500 artikler etter utlipp i Bekkelagsbassenget ved utslippspunktet (rødt punkt) med diffusor (gul ring som angir en 50 m utslippsradius). Partiklene i dette eksempelet hadde en synkehastighet på 0,01 m/s. Merk at partikkelbanene her ikke tar hensyn til sedimentering. Gråfarger i bakgrunnen viser bunntopografien fra ROMS modellen (FjordOs).

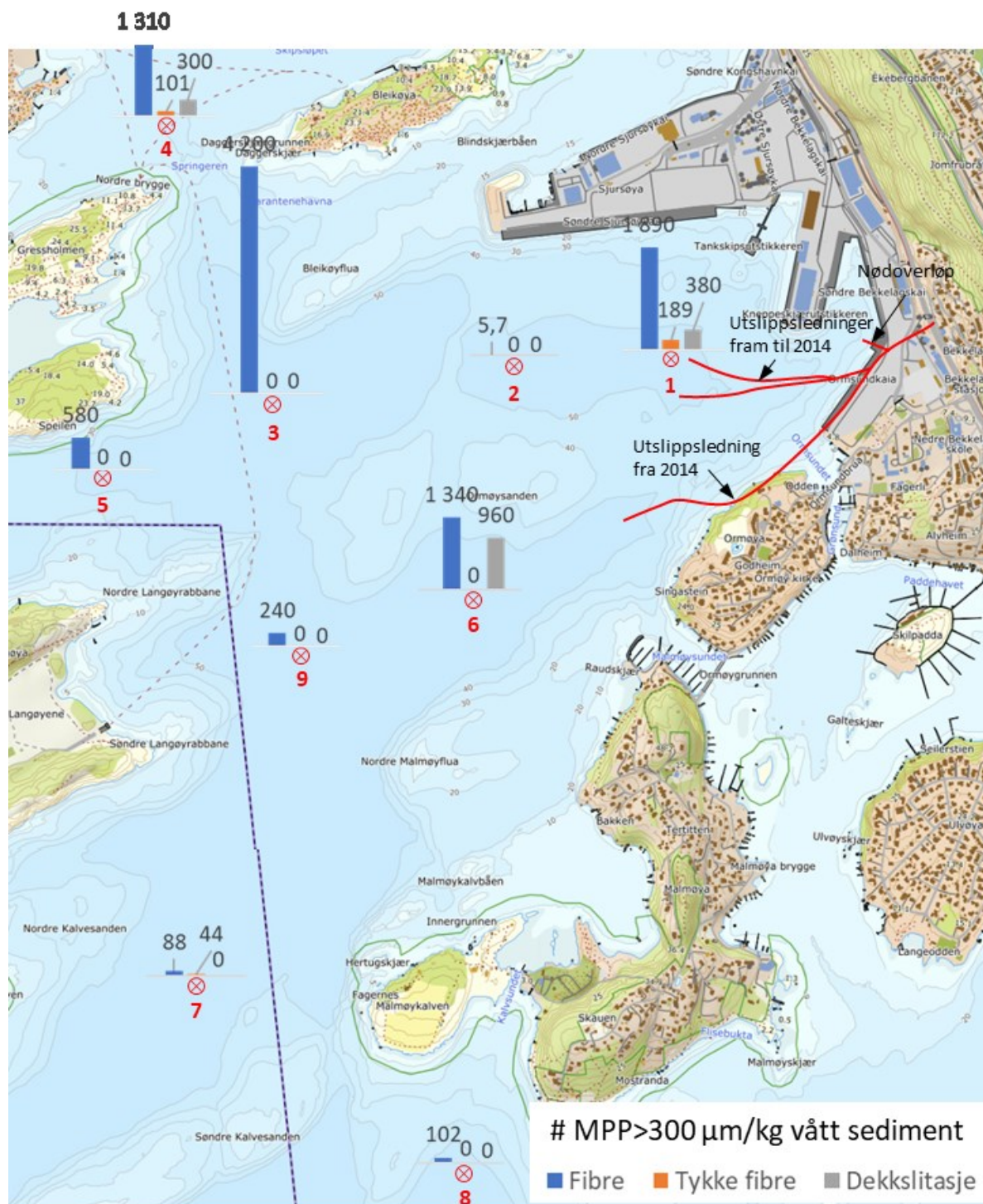
### 3.8.2 Observert spredning basert på prøvetaking og analyse av mikroplast i fjordsediment fra området

På bakgrunn av sannsynlighetsfordelingene vist i **Figur 67** ble det plukket ut 9 stasjoner (se **Figur 17**) hvor det ble tatt sedimentkjerner for analyse av mikroplast (se **Seksjon 2.4**), dette for å dokumentere den faktiske spredningen av mikroplastpartikler etter utslippet av rensed avløpsvann fra Bekkelaget rensesanlegg. De øverste 5 cm av sedimentkjernene ble prøvetatt og størrelsesfraksjonert. Det er fraksjonen >300 µm som presenteres her.

Resultatene fra analysen av de ni prøvene er vist med individuelle stolper for fibre, tykke fibre og dekkslitasjepartikler ved de 9 stasjonene på kartet i **Figur 69**. Den observerte spredningen i området så til en viss grad å ligne den predikerte spredningen basert på modellsimuleringer vist i **Figur 67**. Men imidlertid var konsentrasjonene av mikroplast funnet i prøven fra stasjon 2 overraskende lave, og faktisk klart lavest sammenlignet med prøvene fra de øvrige 8 stasjonene. Denne stasjonen befinner seg innenfor området der det var forutsett at de høyeste konsentrasjonene skulle bli funnet. Stasjonen befinner seg også mellom de to stasjonene med de høyeste konsentrasjonene. Det er vanskelig å se noen umiddelbar forklaring på dette, men aktuelle faktorer som muligvis kan ha påvirket funnene er:

- Prøvematerialet fra stasjon 2 var preget av finfordelte leirpartikler og kun 0,34% av prøven ble liggende igjen på 300-µm-sikten. Dette i motsetning til i de andre prøvene der 4,2-52% av materialet var i størrelsesområdet 300-5000 µm. Se **Tabell 45**. Dette kan muligvis ha gjort at en større del av fibrene i prøven kan ha gått gjennom 300-µm-sikten (jfr. diskusjonen i **Seksjon 2.6.5**).
- Siden sedimentet ved stasjon 2 hadde så sterkt leirepreg og var fast (**Tabell 45**), indikerer dette at det er lite materiale som blir liggende i dette området og at partikler som er i ferd med å sedimentere i dette området muligvis lett fraktes videre. Hvis bunnstrukturen er relativt glatt og jevn er ikke dette utenkelig.





**Figur 69.** Funn av fibre (blå stolper), tykke fibre (oransje stolper) og dekkslitasjepartikler (grå stolper) ved 9 stasjoner (rundt rødt kryss) ute i Bekkelagsbassenget. Stolpehøyden og tallverdi angir antall partikler >300  $\mu$ m per kg vått sediment.

**Tabell 45.** *Karakteristikk av sedimentprøvene.*

Punkt	Beskrivelse av prøven	TS	Andel organisk av TS	Andel av prøve 300-5000 µm
1	Grå, fast, mye børstemark	41,3 %	14,9 %	23 %
2	Lys grå, leirete, fast, noen børstemark	60,7 %	3,2 %	0,34 %
3	Svart, fast, H <sub>2</sub> S	26,9 %	10,1 %	52 %
4	Grå, relativt fast	37,6 %	9,7 %	15 %
5	Mørk grå, veldig løst øvre 10 cm	31,4 %	8,6 %	45 %
6	Svart, relativt fast	35,9 %	6,7 %	27 %
7	Grå, mye grus	51,4 %	5,0 %	4,2 %
8	Mørk grå, sandig, men relativt fast	23,8 %	11,1 %	21 %
9	Svart, relativt fast	28,1 %	9,1 %	44 %

## 4 Referanser

- Blair R.M., Waldron S. and Gauchotte-Lindsay C. (2019) Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. *Water Research* 163 (2019) 114909.
- Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 91, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>.
- Conley K., Clum A., Deepe J., Lane H. and Beckingham B. (2019) Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X* 3 (2019) 100030. doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100030
- Edo C., González-Pleiter M., Leganés F., Fernández-Piñas F. and Rosal R. (2020) Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environ. Poll.* 259; 113837. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837
- Gies, E.A., LeNoble, J.L., Noëel, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E.R., Ross, P.S., 2018. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 553-561.
- Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M., Sillanpää, M. (2018) Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Res.* 133, 236–246.
- Leslie HA, Brandsma SH, van Velzen MJM, et al. (2017) Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environ Int*; 101: 133–142.
- Long et al. (2019) Long Z., Pan Z., Wang W., Ren J., Yu X., Lin L., Chen H. and Jin X. (2019) Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Research* 155 (2019) 255-265. doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028
- Lusher A.L., Hurley R., Vogelsang C., Nizzetto L. and Olsen M. (2017) Mapping microplastics in sludge. Norwegian Institute for Water Research Report No. 7215-2017, Norwegian Environment Agency Report No. M-907/2017, 55 pages. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2493527>
- Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C.G., Della Torre, C., Parenti, C.C., Gorbi, S., Regoli, F., 2019. The fate of microplastics in an Italian wastewater treatment plant. *Sci. Total Environ.* 652, 602-610.
- Magnusson K. (2014) Mikroskräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk; IVL Svenska Miljöinstitutet: Stockholm, Sweden, 21 pages.
- Magnusson og Norén (2014) Screening of Microplastic Particles in and Downstream a Wastewater Treatment Plant, pp. 1e22. <https://doi.org/naturvardsverket-2226>.
- Mason, S.A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., Rogers, D.L. (2016) Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environ. Pollut.* 218, 1045–1054.
- Michielssen M.R., Michielssen E.R., Ni J. and Duhaime M.B. (2016) Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, Vol. 2, pp. 1064-1073. DOI: 10.1039/c6ew0020
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Løder, 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.

Murphy F., Ewins C., Carbonnier F. and Quinn, B. (2016) Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 50(11), pp. 5800-5808.

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).

Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., Koistinen, A., 2017. How well is microlitter purified from wastewater? - A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Res.* 109, 164e172.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>.

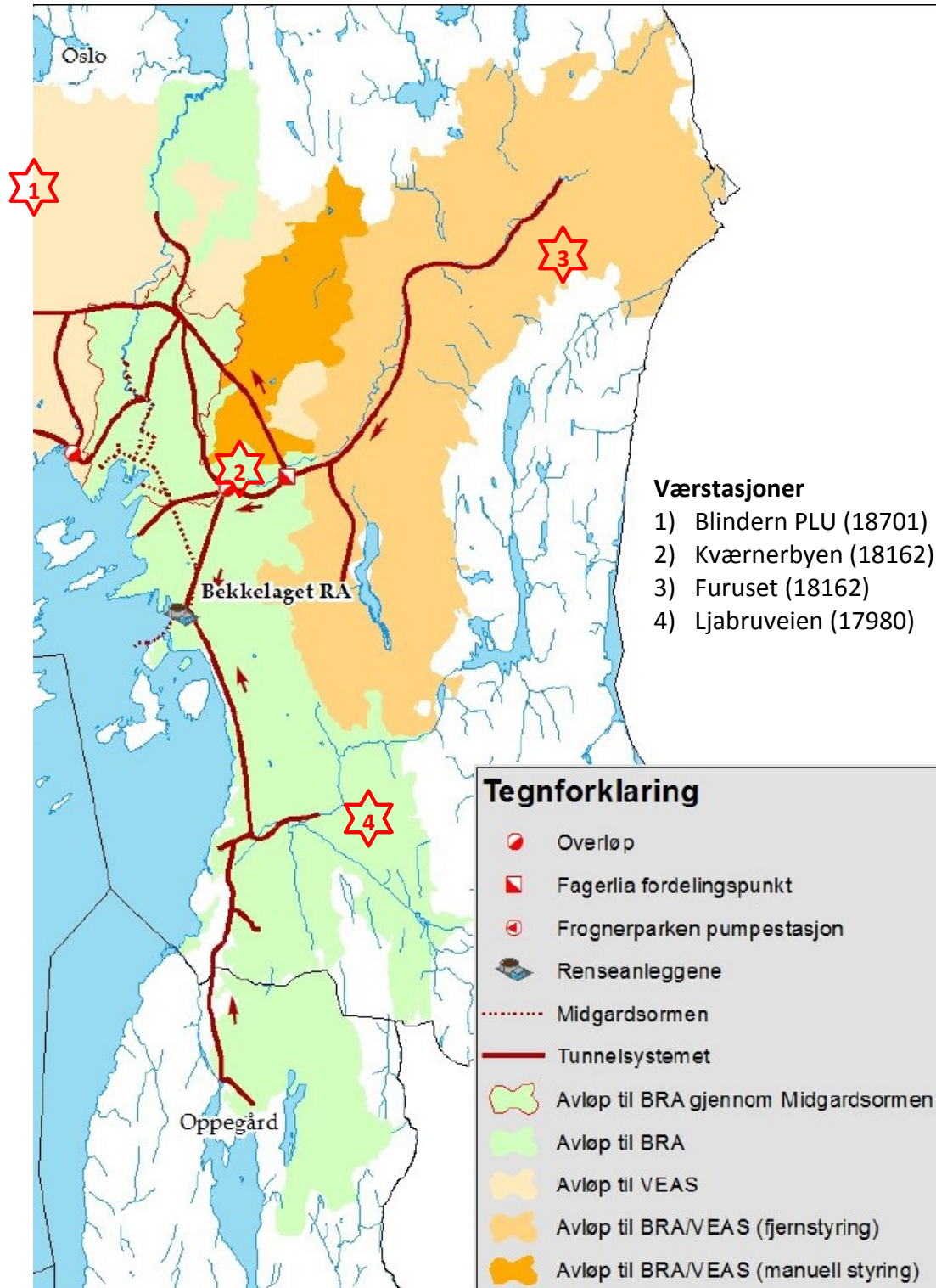
Vogelsang C., Lusher A.L., Dadkhah M.E., Sundvor I., Umar M., Ranneklev S.B., Eidsvoll D. and Meland S. (2018) Microplastics in road dust – characteristics, pathways and measures. NIVA Report, Norwegian Environment Agency Report M-959|2018, 169 pages.

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M959/M959.pdf>

Ziajahromi, S., Neale, P. and Leusch, F.D.L. (2016) Wastewater treatment plant effluent as a source of microplastics: review of the fate, chemical interactions and potential risks to aquatic organisms. *Water Sci. Technol.* 74, 2253-2269. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.414>.



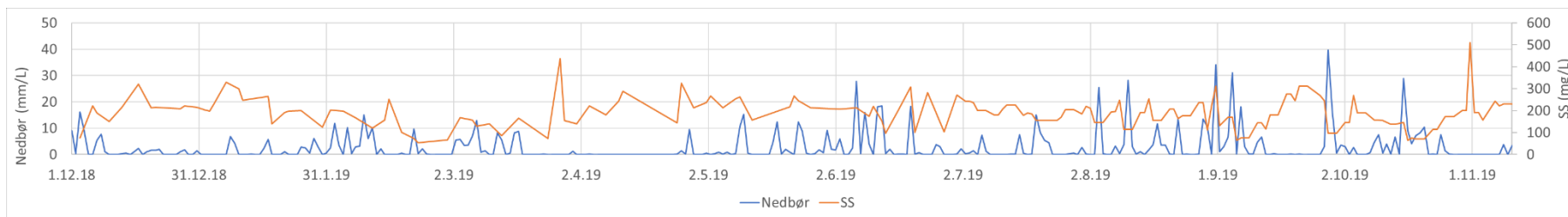
## Vedlegg A. Værstasjoner brukt til å vurdere betydning av nedbør for vannføringen inn til Bekkelaget renseanlegg



## Vedlegg B. Innløpsdata og nedbør under hele prøvetakingsperioden



NIVA 7541-2020



## Vedlegg C. Polymerkategorier og polymertettheter

Kategorisering av lignende polymere identifisert med FT-IR.

Polymerkategori	Polymere fra FT-IR-bestemmelse
Akryl	Acrylic, Acrylic fibre from clothing, Acrylic paint
Cellulose, produsert	Cellulose, Viscose fabric clothing, Lyocell fabric clothing
Polyester	Polyester, polyethylene terephthalate, alkyd varnish
Polyetylen	Polyethylene, polyethylene low density, Polyethylene chlorosulfonated
Polypropylen	Polypropylene
Akrylater	Ethylene-ethyl acrylate, Poly(ethyl methacrylate)
Etylen-vinyl alkohol	Ethylene-vinyl alcohol
Gummipolymere	Acrylonitrile-butadiene copolymer, Styrene-ethylene-butylene ABA copolymer, Styrene-butadiene ABA block copolymer, Styrene-acrylonitrile copolymer
Polyamider	Polyamide, nylon 6
Etylen-propylen	Ethylene-propylene
Polyakrylamid	Polyacrylamide (carboxyl modified, high carboxyl content)
Fenoksyharpiks	Phenoxy resin
Polyuretan	Polyurethane polymer dispersion
Polykarbonat	Polycarbonate
Polyvinylstearat	Polyvinyl stearate

Følgende tabell er et utdrag fra en tabell hentet fra <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/density>.

Polymerkategori (denne studien)	Polymer Name	Min (g/cm <sup>3</sup> )	Max (g/cm <sup>3</sup> )
Rubber polymer	<a href="#">ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene</a>	1,02	1,21
	<a href="#">ABS/PC Blend - Acrylonitrile Butadiene Styrene/Polycarbonate Blend</a>	1,1	1,15
	<a href="#">ASA - Acrylonitrile Styrene Acrylate</a>	1,05	1,07
	<a href="#">ASA/PC Blend - Acrylonitrile Styrene Acrylate/Polycarbonate Blend</a>	1,15	1,15
	ASA/PVC Blend - Acrylonitrile Styrene Acrylate/Polyvinyl Chloride Blend	1,2	1,2
	MABS - Transparent Acrylonitrile Butadiene Styrene	1,08	1,08
Cellulose, manufactured	<a href="#">CA - Cellulose Acetate</a>	1,22	1,34
	<a href="#">CAB - Cellulose Acetate Butyrate</a>	1,15	1,22
	Cellulose Diacetate-Pearlescent Films	1,36	1,36
	Cellulose Diacetate-Gloss Film	1,31	1,31
	Cellulose Diacetate-Integuard Films	1,28	1,32
	Cellulose Diacetate-Matt Film	1,31	1,31
	Cellulose Diacetate-Window Patch Film (Food Grade)	1,31	1,31



	Cellulose Diacetate-Clareflect metallized film	1,31	1,31
	Cellulose Diacetate-Colored Films	1,31	1,31
	Cellulose Diacetate-Flame retardant Film	1,34	1,36
	Cellulose Diacetate-High Slip Film	1,31	1,31
	Cellulose Diacetate-Semitone Films	1,31	1,31
	CP - Cellulose Propionate	1,17	1,24
Ethylene-vinyl alcohol	<a href="#">EVOH - Ethylene Vinyl Alcohol</a>	1,1	1,2
Ethylene-propylene	<a href="#">Ethylene Propylene</a>	0,855	0,88
Polyethylene	<a href="#">HDPE - High Density Polyethylene</a>	0,94	0,97
	<a href="#">LDPE - Low Density Polyethylene</a>	0,917	0,94
	<a href="#">LLDPE - Linear Low Density Polyethylene</a>	0,915	0,95
Acrylate	<a href="#">Ionomer (Ethylene-Methyl Acrylate Copolymer)</a>	0,94	0,97
	<a href="#">Ethylene-ethyl acrylate</a>	0,93	
Polyamide	PA 11, Conductive	1,13	1,13
	PA 11, Flexible	1,03	1,05
	PA 11, Rigid	1,02	1,03
	<a href="#">PA 12 (Polyamide 12), Conductive</a>	1,14	1,14
	PA 12, Fiber-reinforced	1,07	1,41
	PA 12, Flexible	1,01	1,04
	PA 12, Glass Filled	1,22	1,42
	PA 12, Rigid	1,01	1,01
	<a href="#">PA 46 - Polyamide 46</a>	1,17	1,19
	<a href="#">PA 6 - Polyamide 6</a>	1,12	1,14
	<a href="#">PA 6-10 - Polyamide 6-10</a>	1,09	1,1
	<a href="#">PA 66 - Polyamide 6-6</a>	1,13	1,15
	<a href="#">PA 66, Impact Modified</a>	1,05	1,1
	Polyamide semi-aromatic	1,04	1,06
Polycarbonate	<a href="#">PC - Polycarbonate, high heat</a>	1,15	1,2
Polyester	<a href="#">PET - Polyethylene Terephthalate</a>	1,3	1,4
	PET, 30% Glass Fiber-reinforced	1,5	1,6
	PET, 30/35% Glass Fiber-reinforced, Impact Modified	1,5	1,5
Acrylic	<a href="#">PMMA - Polymethylmethacrylate/Acrylic</a>	1,17	1,2
	PMMA (Acrylic) High Heat	1,15	1,25
	<a href="#">PMMA (Acrylic) Impact Modified</a>	1,1	1,2
Polypropylen	<a href="#">PP (Polypropylene) Copolymer</a>	0,9	0,91
	<a href="#">PP (Polypropylene) Homopolymer</a>	0,9	0,91
	<a href="#">PP, Impact Modified</a>	0,88	0,91
Polyetylen	<a href="#">UHMWPE - Ultra High Molecular Weight Polyethylene</a>	0,93	0,95
	<a href="#">XLPE - Crosslinked Polyethylene</a>	0,915	1,4

## Vedlegg D. Innløpsdata Bekkelaget renseanlegg

Prøvetakingseriode	Vannmengde	KOF				SS				
	m3/d	mg/L	% av tørr	kg/døgn	% av tørr	N	mg/L	% av tørr	kg/døgn	% av tørr
Snitt tørrvær 6.-24.4	113 294	443		50 183		3	237		26 888	
Snitt tørrvær 15.22.4	103 100	426		43 869			-		-	
Periode 1: 1 4.-21.12	129 612	504	114-119%	65 357	130-149%	3	249	105 %	32 325	120 %
Periode 2: 24.1-1.2	76 811	423	95-99%	32 457	65-74%	3	175	74 %	13 468	50 %
Periode 3: 17.-18.3	256 961	271	61-64%	69 637	139-159%	1	166	70 %	42 656	159 %
Periode 4: 27.-28.3	133 672	420	95-99%	56 075	112-128%	1	437	184 %	58 370	217 %
Periode 5: 9.-10.5	175 466	462	104-108%	80 977	161-185%	2	258	109 %	45 270	168 %
Periode 6: 28.5-4.6	141 476	445	101-105%	63 010	126-144%	1	206	87 %	29 144	108 %
Periode 7: 17.-24.6	163 402	391	88-92%	63 849	127-146%	4	224	94 %	36 520	136 %
Periode 8: 16.7-23.7	116 292	351	79-82%	40 818	81-93%	6	169	71 %	19 668	73 %
Periode 9: 23.-30.7	102 299	346	78-81%	35 434	71-81%	5	188	79 %	19 194	71 %
Periode 10: 15.-16.10	266 904	283	64-67%	75 534	151-172%	1	145	61 %	38 822	144 %
Periode 11: 16.-17.10	351 055	179	40-42%	62 663	125-143%	2	105	44 %	37 008	138 %
Periode 12: 28.10-4.11	95 282	419	95-99%	39 959	80-91%	7	232	98 %	22 086	82 %

Prøvetakingseriode	Tot N				Tot P			
	mg/L	% av tørr	kg/døgn	% av tørr	mg/L	% av tørr	kg/døgn	% av tørr
Snitt tørrvær 6.-24.4	36,1		4 095		4,7		529	
Snitt tørrvær 15.22.4	35,9		3 703		4,5		469	
Periode 1: 1 4.-21.12	35,9	99-100%	4 648	114-126%	4,8	102-105%	617	117-132%
Periode 2: 24.1-1.2	38,0	105-106%	2 921	71-79%	4,7	100-103%	360	68-77%
Periode 3: 17.-18.3	22,2	61-62%	5 705	139-154%	3,0	63-65%	758	143-162%
Periode 4: 27.-28.3	28,4	79%	3 796	93-103%	4,0	85-87%	531	100-113%
Periode 5: 9.-10.5	34,5	95-96%	6 054	148-163%	4,7	101-104%	826	156-176%
Periode 6: 28.5-4.6	33,1	92%	4 688	114-127%	4,3	93-95%	614	116-131%
Periode 7: 17.-24.6	28,0	78%	4 581	112-124%	3,8	81-83%	614	116-131%
Periode 8: 16.7-23.7	25,0	69-70%	2 909	71-79%	3,3	72-74%	389	74-83%
Periode 9: 23.-30.7	27,3	75-76%	2 789	68-75%	3,5	75-77%	358	68-76%
Periode 10: 15.-16.10	20,1	56%	5 365	131-145%	2,7	57-58%	709	134-151%
Periode 11: 16.-17.10	14,1	39%	4 932	120-133%	1,8	40-41%	648	122-138%
Periode 12: 28.10-4.11	32,5	90-91%	3 100	76-84%	4,4	95-97%	421	80-90%

## Vedlegg E. Beskrivelse av renseanlegg, prøvetaking og analyse i tidligere refererte studier

Studie		Sted		Renseanlegg			Prøvetaking		Analyse	
Nr.	Ref.	Land	By	Navn/# anlegg	PE	Vann-behandling	Steder	Typer og mengde	Analyse-metode	Størrelses-område ( $\mu\text{m}$ )
1	Carr et al. (2016)	USA, California	Los Angeles	7 ulike anlegg		Kjemisk-biologisk N-fjerning + sandfilter	Utløp etter sandfilter	Direkte sikting (190-230 m <sup>3</sup> ), overflateskimming (10 000 m <sup>3</sup> )	Mikroskopi, FT-IR	>20, >45
2	Carr et al. (2016)	USA, California	Los Angeles	1 anlegg	>1 million m <sup>3</sup> /d	Kjemisk-biologisk N-fjerning	Innløp, etter forsed, i og etter bio, utløp, returslam, primærslam		Mikroskopi, FT-IR	>45
3	Talvitie et al. (2017)	Finland	Helsinki	Viikinmäki				Filtrering		>20
4	Murphy et al. (2016)	Skottland	Glasgow	1 anlegg	650 000		Etter rist, etter fett- og sandfang, etter forsed, utløp	3-5x 10 L grab	Mikroskopi, FT-IR	>65
5	Lares et al. (2018)	Finland	St. Michel	Kenkäver-onniemi	55 000	Biologisk	Innløp, etter forsed, utløp	Sikting av 0,8-3 L innløp, 4-30 L etter forsed, 3-20 g slam	Mikroskopi, FT-IR + Raman	>250
6	Gies et al. (2018)	Canada	Vancouver	Metro	1 300 000	Biologisk	Innløp, forsed, utløp, slam	Sikting 1 L innløp, 30 L utløp, 5 g slam	Mikroskopi, FT-IR	>63

Studie		Sted		Renseanlegg			Prøvetaking		Analyse	
Nr.	Ref.	Land	By	Navn/# anlegg	PE	Vann-behandling	Steder	Typer og mengde	Analyse-metode	Størrelses-område ( $\mu\text{m}$ )
7	Michielsen et al. (2016)	USA, Michigan	Detroit	Detroit WWTP	2 500 000 m <sup>3</sup> /d	Biologisk	Innløp, forsed, utløp	Sikting 1-2 L innløp, 34-38 L utløp	Mikroskopi	>20
8	Michielsen et al. (2016)	USA, Minnesota	Northfield	Northfield WWTP	1 700 000 m <sup>3</sup> /d	Biologisk + sandfilter	Innløp, forsed, etter bio, utløp	Sikting 1-2 L innløp, 34-38 L utløp	Mikroskopi	>20
9	Mason et al. (2016)	USA	Flere	11 anlegg		Kjemisk-biologisk	Utløp	400-19000 L	Mikroskopi	>125
10	Mason et al. (2016)	USA	Flere	6 anlegg		Kjemisk-biologisk + sandfilter	Utløp	500-2100 L	Mikroskopi	>125
11	Mason et al. (2016)	USA		Snitt alle anlegg			Utløp			>125
12	Magnusson og Norén (2014)	Sverige			12 000	Kjemisk-biologisk	Innløp, utløp, slam	Sikting 2 L innløp, 1000 L utløp, 25 g slam	Mikroskopi, FT-IR	>300
13	Lusher et al. (2017)	Norge		8 ulike anlegg	18150-615000		Slam	10 g våtvekt	Mikroskopi, FT-IR	>50
14	Lusher et al. (2017)	Norge	Oslo	Bekkelaget		Kjemisk-biologisk N-fjerning + sandfilter				
15	Leslie et al. (2017)	Nederland		7 ulike anlegg			Innløp, utløp, slam	Sikting 0,1 L vann, 20 g slam	Mikroskopi, FT-IR	>10
16	Mintenig et al. (2017)	Tyskland		12 ulike anlegg			Utløp		FT-IR, $\mu$ FT-IR	>20
17	Mintenig et al. (2017)	Tyskland		6 ulike anlegg			Slam	125 g våtvekt	Fmikroskopi + FT-IR (>500 $\mu\text{m}$ );	>20

Studie		Sted		Renseanlegg			Prøvetaking		Analyse	
Nr.	Ref.	Land	By	Navn/# anlegg	PE	Vann-behandling	Steder	Typer og mengde	Analyse-metode	Størrelses-område (µm)
									µFT-IR (<500 µm)	
18	Ziajahromi et al. (2017)	Australia	Sydney		1 227 000	Sedimentering	Utløp	Sikting 3-16,5 L	Mikroskopi, FT-IR	>25
19	Ziajahromi et al. (2017)	Australia	Sydney		67 000	Biologisk	Etter forsed, utløp	Sikting 12-150 L	Mikroskopi, FT-IR	
20	Ziajahromi et al. (2017)	Australia	Sydney		151 000	Kjemisk-biologisk, ultrafiltrering, RO	Etter forsed, etter kjemisk-biologisk, utløp	Sikting 8-200 L	Mikroskopi, FT-IR	
21	Simon et al. (2018)	Danmark		10 ulike anlegg		Kjemisk-biologisk N-fjerning	Innløp, utløp	1 L innløp, 4,1-81,5 L utløp	FPA-FT-IR	>10
22	Conley et al. (2019)	USA, South Carolina		Plum Island WWTP	180 000					
23	Conley et al. (2019)	USA, South Carolina		Rifle Range WWTP	53 000					
24	Conley et al. (2019)	USA, South Carolina		Center Street WWTP	32 000					
25	Magni et al. (2019)	Italia			1 200 000	Biologisk + sandfilter	Innløp, etter bio, utløp, resirk-slam	30 L vannprøver; 50 mL resirk slam	µFT-IR	>63
26	Blair et al. (2019)	Skotland			184 500	Biologisk (nitrifikasjon)	Innløp, etter rist og sandfang, etter	5 L grab hvert sted	Mikroskopi, FT-IR	>60

Studie		Sted		Renseanlegg			Prøvetaking		Analyse	
Nr.	Ref.	Land	By	Navn/# anlegg	PE	Vann-behandling	Steder	Typer og mengde	Analyse-metode	Størrelses-område ( $\mu\text{m}$ )
							forsed, etter bio, utløp			
27	Edo et al. (2020)	Spania	Madrid		45000 m <sup>3</sup> /d	Biologisk N-fjerning	Etter forsed, utløp	Ikke oppgitt	Mikroskopi, FT-IR	>25
28	Long et al. (2019)	Kina	Xiamen	7 ulike anlegg	3 500 000	Sekundær	Innløp, utløp	Direkte filtrering	Mikroskopi, $\mu$ Raman	>43

## Vedlegg F. p-MPP i innløpet

**Tabell 46.** Oversikt over antall presumptive MPP av ulike typer funnet i hver enkelt delprøve og samlet i hver av de 12 prøvene tatt fra innløpet til Bekkelaget renseanlegg i løpet av perioden fra desember 2018 til november 2019. N angir antall delprøver som ligger til grunn og N>0 angir antall delprøver der ble funnet minst 1 partikkel av gjeldende type. %U angir gjennomsnittlig usikkerhet (min og maks i parentes) i det gjennomsnittlige antallet mikroplastpartikler per innløpsprøve for hver av partikkeltypene ( $U_{\#,i,prøve}$ ).

Partikkeltype-kategori		Delpr.		#/delprøve			#/prøve					
		N	N>0	Snitt		min	maks	Snitt		min	maks	
		#	#	#	% av 57	#	#	#	% av 593	%U (min-maks)	#	#
300-1000 $\mu\text{m}$	Fibre	31	31	47	82%	17	79	484	82%	12 (3,2-32) %	38	1 090
	Fibernøster	31	2	0,06	0,11%	0	1	0,7	0,11%	100%	0	6
	Fragmenter	31	28	5,6	9,8%	0	17	58	9,8%	45 (13-100) %	4	157
	Flak	31	13	0,8	1,4%	0	3	9,1	1,5%	76 (19-100) %	0	26
	Tykke fibre	31	14	0,9	1,6%	0	7	9,1	1,5%	65 (50-100) %	0	34
	Kuler	31	4	0,13	0,23%	0	1	1,4	0,23%	67 (51-100) %	0	12
	Skum	31	2	0,10	0,17%	0	2	0,9	0,16%	85 (70-100) %	0	11
	Dekkslitasje	31	21	2,5	4,3%	0	10	30	5,1%	58 (18-100) %	0	85
	<b>Totalt antall</b>	-	-	<b>57</b>	-	<b>17</b>	<b>120</b>	<b>593</b>	-	-	<b>42</b>	<b>1 420</b>
Partikkeltype-kategori		Delpr.		#/delprøve			#/prøve					
		N	N>0	Snitt		min	maks	Snitt		min	maks	
		#	#	#	% av 20	#	#	#	% av 68	%U	#	#
1000-5000 $\mu\text{m}$	Fibre	19	17	18	88%	0	68	58	86%	-	0	380
	Fibernøster	19	0	0,00	0,00%	0	0	0,3	0,41%	-	0	2
	Fragmenter	19	7	0,9	4,4%	0	6	2,0	3,0%	-	0	14
	Flak	19	6	0,4	2,1%	0	2	1,0	1,46%	-	0	8
	Tykke fibre	19	1	0,2	0,77%	0	3	0,3	0,37%	-	0	3
	Kuler	19	0	0,00	0,00%	0	0	0,1	0,12%	-	0	1
	Skum	19	3	0,26	1,29%	0	3	0,3	0,49%	-	0	3
	Dekkslitasje	19	6	0,8	3,9%	0	6	5,8	8,5%	-	0	37
	<b>Totalt antall</b>	-	-	<b>20</b>	-	<b>0</b>	<b>88</b>	<b>68</b>	-	-	<b>0</b>	<b>448</b>
Partikkeltype-kategori		Delpr.		#/delprøve			#/prøve					
		N	N>0	Snitt		min	maks	Snitt		min	maks	
		#	#	#	-	#	#	#	% av 662	%U (min-maks)	#	#
300-5000 $\mu\text{m}$	Fibre	50	48	-	-	-	-	542	82%	12 (3,2-32) %	38	1 140
	Fibernøster	50	2	-	-	-	-	0,9	0,14%	100%	0	6
	Fragmenter	50	35	-	-	-	-	60	9,1%	40 (13-66) %	6	158
	Flak	50	19	-	-	-	-	10,1	1,52%	79 (25-100) %	0	26
	Tykke fibre	50	15	-	-	-	-	9,4	1,42%	60 (50-81) %	0	34
	Kuler	50	4	-	-	-	-	1,5	0,22%	67 (51-100) %	0	12
	Skum	50	5	-	-	-	-	1,3	0,19%	85 (70-100) %	0	11
	Dekkslitasje	50	27	-	-	-	-	36	5,4%	58 (12-100) %	1	85
	<b>Totalt antall</b>	-	-	<b>78</b>	-	<b>17</b>	<b>208</b>	<b>662</b>	-	-	<b>45</b>	<b>1 471</b>

## Vedlegg G. Vurdering av usikkerheten knyttet til bestemmelsen av partikkelvolum

### Fibre

Noen partikkeltyper kan i utgangspunktet synes enkle å bestemme volumet til; dette gjelder fibre. De fleste av disse er uforgrenete og runde og volumet er dermed gitt av den generelle formelen  $V_{fiber} = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot L$ , der  $L$  er fiberets lengde og  $T$  er fiberets tykkelse. Lengden og tykkelsen ble målt ved hjelp av programmet Infinity Analyze (versjon 6.5.5, Luminera Corp.) ved å måle på bilder tatt av hver enkelt partikkel. Usikkerheten i målingen av lengden ligger først og fremst i at mange fibrer krøller seg; så lenge krøllingen foregår horisontalt kan lengden måles rimelig korrekt, men når krøllingen foregår vertikalt oppstår to utfordringer:

1. Fiberet kommer (delvis) ut av fokus
2. Lengden blir underestimert siden det ikke er mulig å måle den vertikale stigningen.

Punkt nr. 2 har sannsynligvis vesentlig større betydning, og er heller ikke så lett å gjøre noe med. Det er også vanskelig å kvantifisere denne betydningen, men den har først og fremst betydning for lange fibre (>5000  $\mu\text{m}$ ?) som krøller seg. Som **Figur 21** antyder, var det relativt få fibre dette gjaldt, selv om de volummessig har en større betydning. Det er antatt at den gjennomsnittlige usikkerheten i lengdemålingen er på 5%.

Når man skal måle fibertykkelsen forstørres man bildet for å gjøre det enklere å gjøre målingen, men samtidig blir bildet mer uskarpt. Den typiske fibertykkelsen for vanlige fibre ligger i området 10-20  $\mu\text{m}$  (se **Figur 21**), og de aller fleste synes å ha uniform tykkelse gjennom hele fiberet, og usikkerheten i målingen er anslått å være 10%. For tykke fibre ligger fibertykkelsen gjerne i området 30-170  $\mu\text{m}$ , men fibertykkelsen kan variere noe. Usikkerheten er derfor anslått å være i samme størrelsesorden som for tynne fibre.

På bakgrunn av det ovenstående blir usikkerheten i bestemmelsen av volumet til enkeltfibre 25% (10% + 10% + 5%). I innløpet ble volumet til 169 tynne fibre verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling, ble det gjennomsnittlige volumet til fibrene i innløpet bestemt til 256 000  $\mu\text{m}^3$ /fiber med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 64 000  $\mu\text{m}^3$ /fiber (25%) (**Tabell 10**). For tykke fibre ble gjennomsnittsvolumet beregnet til 10 400 000  $\mu\text{m}^3$ /tykt fiber med en usikkerhet på 2 700 000  $\mu\text{m}^3$ /tykt fiber (26%).

### Fragmenter

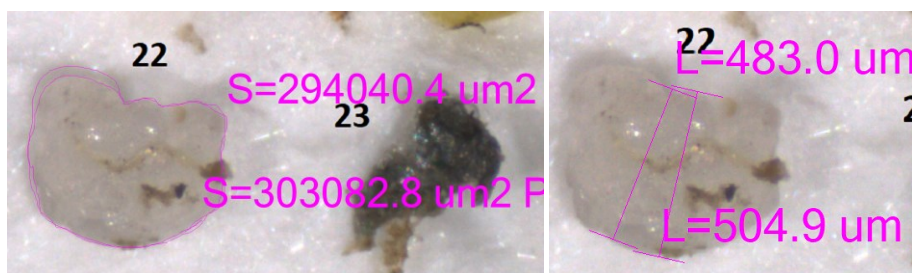
Det er noe mer krevende å estimere volumet av fragmentene enn for fibre, da disse har mange irregulære former. Som det fremgår av **Tabell 10** ble volumet beregnet ved å multiplisere arealet ( $A$ ; sett ovenfra) med halvparten av den minste dimensjonen ( $D_2$ ). Usikkerheten i målingen av arealet er bestemt av hvor nøyaktig man er med markeringen av omkretsen til fragmentet i programmet Infinity Analyze og hvor skarpt omrisset av fragmentet er på bildet. Det ligger også en skjønsmessig vurdering av hvor omkretsen skal måles, da enkelte fragmenter kan ha svært ujevn tykkelse. Ut fra en samlet vurdering er usikkerheten i arealmålingen anslått å være 10%.

Målingen av tykkelsen til de enkelte fragmentene er imidlertid langt mer usikker, da det kan være svært krevende å vurdere hvor ujevn denne er på hver side av fragmentet (over og under) ut fra bildet. Som nevnt er det gjort en forenkling ved at det er antatt at tykkelsen er halvparten av den minste dimensjonen ( $D_2$ ). Selve målingen av  $D_2$  er ikke beheftet med spesielt stor usikkerhet (ca.



10%; se **Seksjon 3.1.4**), men hvor usikkerheten er i det resulterende fragmentvolumet ( $V_{fragment} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ ) er mer uklart. Det er anslått å ligge en usikkerhet på 50% i selve plasseringen av  $D_2$ , og den samlede usikkerheten i  $V_{fragment}$  er dermed estimert til 70% (**Tabell 10**).

På bakgrunn av det ovenstående blir usikkerheten i bestemmelsen av volumet til enkeltfragmenter 70% (10% + 10% + 50%). I innløpet ble volumet til 15 fragmenter verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling, ble det gjennomsnittlige volumet til fragmentene i innløpet bestemt til 41 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fragment med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 31 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fragment (76%) (**Tabell 10**).



**Figur 70.** Måling av omkrets (til venstre) og minste dimensjon (til høyre) av et fragment med programmet Infinity Analyze.

#### Flak

Beregningen av volumet av enkeltflak ( $V_{flak}$ ) ble gjort ved å multiplisere flakets areal ( $A$ ) med et omtrentlig anslag av flakets tykkelse ( $T$ ) (se **Tabell 10**). Også for flak kan det være utfordrende å bestemme arealet, da flaket kan være både buktende og helt eller delvis brettet. På generell basis er det anslått en usikkerhet på 20% for måling av arealet til enkeltflak. Usikkerheten i anslaget av flakets tykkelse er satt til 50%.

På bakgrunn av dette blir usikkerheten i bestemmelsen av volumet til enkeltflak 70% (20% + 50%). I innløpet var det kun 4 flak som ble verifisert som mikroplast, og på bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling, ble det gjennomsnittlige volumet til flakene i innløpet bestemt til 4 100 000  $\mu\text{m}^3$ /flak med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 1 000 000  $\mu\text{m}^3$ /flak (24%) (**Tabell 10**).

#### Dekkslitasjepartikler

Dekkslitasjepartiklene hadde mange ulike og irregulære former, men som oftest var de litt avlange og runde i formen (pølseformet). Volumet ble beregnet med samme formel som ble brukt for å beregne volumet til fibre ( $V_{dekkslitasje} = \pi \cdot (\frac{T}{2})^2 \cdot L$ ), men målingen av dekkslitasjepartikkelens tykkelse ble justert noe inn for å kompensere for at tykkelsen sjelden var uniform langs hele lengden. Usikkerheten i lengdemålet ble satt til 5%, mens usikkerheten i målingen av tykkelsen ble anslått å være 50%.

Samlet sett blir dermed usikkerheten i bestemmelsen av volumet til hver enkelt dekkslitasjepartikkel 55% (5% + 50%). Siden FT-IR uansett ikke er særlig egnet til å verifisere innholdet av typiske gummipolymere i dekkslitasjepartikler (se **Seksjon 3.1.2**), ble alle de 92 potensielle dekkslitasjepartikler funnet i innløpet lagt til grunn for å estimere gjennomsnittsvolumet. På bakgrunn av disse målingene og usikkerheten i hver enkelt måling, ble det gjennomsnittlige volumet

til dekkslitasjepartiklene i innløpet bestemt til 6 100 000  $\mu\text{m}^3$ /dekkslitasjepartikkel med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 3 500 000  $\mu\text{m}^3$ / dekkslitasjepartikkel (57%) (**Tabell 10**).

#### Fibernøster

Hvis det var mulig å måle hvert enkelt fiber i nøstet, ble volumet av nøstet målt ut fra lengden av hvert enkelt fiber ( $V_{nøste} = \sum_n V_{fiber,n} = \pi \cdot \left(\frac{T_n}{2}\right)^2 \cdot L_n$ ). Hvis fibrene i nøstet lå for tett eller for sammenkveilet, ble volumet bestemt på samme måte som for fragmenter og skum ( $V_{fibernøste} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ ). Det ble kun funnet 2 fibernøster i innløpet, og begge ble bestemt på sistnevnte måte med anslått usikkerhet i målt volum som for fragmenter; 70%. Det gjennomsnittlige volumet til fibernøster i innløpet ble grovt estimert til 36 000 000  $\mu\text{m}^3$ /fibernøste med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 27 000 000  $\mu\text{m}^3$ / fibernøste (75%) (**Tabell 10**).

#### Kuler

Kuler, slik de er definert her, er sfæriske og jevne, og er således enkle å måle nøyaktig. Kulens største og minste diameter ( $D_1, D_2$ ) kan måles med ca. 3% nøyaktighet, så volumet ( $V_{kule} = \frac{4}{3}\pi \cdot \left(\frac{D_1+D_2}{4}\right)^3$ ) kan bestemmes med ca. 10% usikkerhet. Det ble ikke funnet mer enn 3 kuler i innløpet, og på bakgrunn av disse ble det gjennomsnittlige volumet til kuler i innløpet bestemt til 14 000 000  $\mu\text{m}^3$ /kule med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 1 600 000  $\mu\text{m}^3$ /kule (11%) (**Tabell 10**).

#### Skum

Enkelte skumpartikler kan det være relativt enkelt å måle (jfr. **Tabell 6**), men andre kan det være vanskelig å vurdere omrisset av, og spesielt den vertikale formen på, ut fra et bilde. Volumet av skumpartiklene ble estimert på samme måte som fragmentene ( $V_{skum} = A \cdot \frac{D_2}{2}$ ), der også usikkerheten i målingen av arealet ( $A$ ) og tykkelsen av skumpartikkelen (angitt som  $\frac{D_2}{2}$ ) ble vurdert å være omtrent som for fragmenter. Usikkerheten i bestemmelsen av volumet til hver enkelt skumpartikkel ble derfor satt til 70%. I innløpet var det svært få partikler som med sikkerhet kunne karakteriseres som skumpartikler, og kun én som ble confirmert ved kjemisk karakterisert med FT-IR. De to øvrige skumpartiklene som ble funnet i innløpet, ble derfor også lagt til grunn for estimatet av gjennomsnittet; 41 000 000  $\mu\text{m}^3$ /skumpartikkel med en usikkerhet (se **Seksjon 2.10.2**) på 26 000 000  $\mu\text{m}^3$ /skumpartikkel (75%) (**Tabell 10**).

**Tabell 47.** Beregnet gjennomsnittsvolum til de enkelte partikkeltypene i innløpsprøvene. Usikkerhet i gjennomsnittet er beregnet som beskrevet i **Seksjon 2.10.2**.

Partikkeltyper	#	Snittvolum	STD	U	
		$\mu\text{m}^3$ /part	$\mu\text{m}^3$ /part	$\mu\text{m}^3$ /part	%
Fibre	169	256 000	333 000	64 000	25%
Fibernøster	2	36 000 000	21 000 000	27 000 000	75%
Fragmenter	15	41 000 000	60 600 000	31 000 000	76%
Flak	4	4 100 000	5 100 000	1 000 000	24%
Tykke fibre	5	10 400 000	17 200 000	2 700 000	26%
Kuler	3	14 000 000	13 100 000	1 600 000	11%
Skum	3	41 000 000	26 000 000	31 000 000	75%
Dekkslitasje	92	6 100 000	15 200 000	3 500 000	57%

## Vedlegg H. Vurdering av usikkerheten knyttet til bestemmelsen av partikkelvekt

Det er av praktiske grunner ikke mulig å måle vekten til hver enkelt partikkel. Vekten ( $M_i$ ) er derfor estimert på bakgrunn av partiklens volum ( $V_i$ ) og tetthet ( $\rho_i$ ) ( $M_i = V_i \cdot \rho_i$ ). Tettheten er vurdert på bakgrunn av hvilken plastpolymer som dominerte ut fra FT-IR-spekteret, men mange mikroplastpartikler kan inneholde flere andre typer plastpolymere i tillegg til andre typer komponenter. Dette gjør at det er vanskelig å vurdere den reelle tettheten til partiklene. Derfor er den gjennomsnittlige tettheten til den rene polymeren ( $\overline{\rho_n}$ ) lagt til grunn. Lignende typer polymere identifisert ved hjelp av FT-IR er gruppert i kategorier (**Tabell 11**).

- Gjennomsnittstettheten til de rene polymerene innenfor hver kategori slik de fremgår av **Tabell 11** er benyttet. Tilhørende usikkerhet i snittet er også angitt.
- For fibernøster i innløpet ble det benyttet en korreksjonsfaktor på 0,1 for å justere for tettheten av fibre i nøstene. Denne faktoren ble basert på en samlet vurdering av både fibernøstene i innløpet og fibernøster funnet i ristgodsprøvene (lå typisk i området 0,05-0,15).
- De ulike polymerkategoriene ble vektet på bakgrunn av hvor ofte de ble funnet i innløpet (med unntak for utløpet, der alle p-MPP ble bestemt).
- Gjennomsnittsvolumet av alle partiklene i de ulike partikkelkategoriene er benyttet.

Den gjennomsnittlige vekten til gjennomsnittspartikkelen i innløpet med tilhørende usikkerhet i dette snittet er vist i **Tabell 12**.

**Tabell 48.** Tallmaterialet bak beregningen av gjennomsnittstettheten til de ulike partikkelkategoriene. De ulike polymerkategoriene ble vektet på bakgrunn av hvor ofte de ble identifisert med FT-IR innen hver enkelt partikkelkategori. Angitt tetthet for hver polymerkategori er basert på gjennomsnittstettheten til polymerene som er inkludert i hver enkelt kategori (se **Vedlegg C** for flere detaljer).

Polymer-kategori (n)	Tetthet		Antall partikler innen ulike polymerkategorier							
	g/cm <sup>3</sup>	U <sub>p</sub>	Fibre	Fibernøste	Frag- menter	Flak	Tykke fibre	Kuler	Skum	Dekk- slitasje
Akryl	1,18	0,02	0	0	0	1	0	0	0	-
Cellulose, produsert <sup>14</sup>	1,30	0,00	6	0	0	0	0	0	0	-
Polyester	1,43	0,01	160	0	4	0	3	0	0	-
Polyetylen	0,98	0,01	0	0	2	1	0	0	0	-
Polypropylen	0,91	0,00	2	0	0	0	1	0	0	-
Akrylat	0,95	0,01	0	0	0	0	0	0	0	-
Etylen-vinyl alkohol	1,15	0,04	0	0	0	0	0	0	0	-
Gummipolymere	1,12	0,01	1	0	2	1	0	0	0	-
Polyamider	1,12	0,00	0	0	0	0	0	0	0	-
Etylen-propylen	0,87	0,01	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyakrylamid	1,30	0,00	0	0	1	0	0	0	0	-
Fenoksyharpiks	1,18	0,00	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyuretan	0,89	0,59	0	0	1	0	0	0	3	-
Polykarbonat	1,18	0,02	0	0	0	0	0	0	0	-
Polyvinylstearat	0,98	0,00	0	0	3	0	0	1	0	-
Dekkslitasjepartikler	1,90	0,20	0	0	0	0	0	0	0	92
Totalt antall partikler			169	0	15	3	4	1	3	92
<b>Gjennomsnittstetthet (<math>\bar{\rho}_n</math>)</b>			<b>1,42</b>	<b>0,14</b>	<b>1,07</b>	<b>1,09</b>	<b>1,30</b>	<b>0,98</b>	<b>0,89</b>	<b>1,90</b>
<b>Usikkerhet (<math>U_{\bar{\rho}_n}</math>)</b>			<b>0,21</b>	<b>0,10*</b>	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10*</b>	<b>0,85</b>	<b>0,20</b>

\* Satt ut fra en generell vurdering av variasjonen.

**Tabell 49.** Beregnet gjennomsnittsvekt til de enkelte partikkeltypene i innløpsprøvene. Usikkerhet i gjennomsnittet er beregnet som beskrevet i **Seksjon 2.10.3**.

Partikkeltyper	#	Snittvekt	STD	$U_{bidrag,v}$	$U_{bidrag,\rho}$	U	
		µg/part	µg/part	µg/part	µg/part	µg/part	%
Fibre	169	0,36	0,47	0,091	0,053	0,11	31%
Fibernøster	2	5,1	2,9	3,8	3,6	5,6	111%
Fragmenter	15	46	67	3,5	8,1	19,5	42%
Flak	4	4,5	5,8	0,106	0,24	2,9	65%
Tykke fibre	5	13,5	22,3	0,35	0,76	10,0	74%
Kuler	3	13,7	12,8	0,156	1,40	7,5	55%
Skum	3	37	23	2,7	35	38	104%
Dekkslitasje	92	11,6	28,9	0,65	1,22	3,3	29%

<sup>14</sup> Inkluderer kun produserte (manufactured) cellulosefibre ekstrudert fra plantemasse på samme måte som syntetiske fibre (f.eks. polyester og polyamid/nylon).

## Vedlegg I. Samlet vurdering av angitt usikkerhet

Det er mange faktorer som bidrar til de angitte usikkerhetene i **Vedlegg G** og **Vedlegg H**. Det er likevel flere faktorer som påvirker estimatene der usikkerheten ikke er vurdert. Det kan ofte være vanskelig å vurdere hvordan de ulike usikkerhetene påvirker hverandre, men det er her gjort en skjønnsmessig vurdering. Uansett, for de fleste partikkeltyper ligger den største usikkerheten i antallet partikler som er funnet. Mikroplastpartikler er av natur svært varierte, ikke minst i form, noe som gjør at bestemmelsen av den «typiske» partikkelen for hver av partikkeltypene blir mer korrekt når antallet som ligger til grunn for karakteriseringen av denne øker. Det er egentlig kun fibre hvor det er blitt funnet så pass mange at dette typiske fibereksemplaret kan bestemmes med rimelig sikkerhet. I hvert fall for størrelsesfraksjonen  $>300 \mu\text{m}$ . Det ble også funnet et relativt stort antall dekkslitasjepartikler, men her forventes det å finne også et stort (langt større) antall i størrelsesfraksjonen  $20\text{-}300 \mu\text{m}$ , så den «typiske dekkslitasjepartikkelen» vil sannsynligvis være noe mindre enn den som er identifisert nå.

## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)