

Måling av mikroplast i næringsvaskeri

Forfattere: Taran Henriksen, Alessio Gomiero og Marte Haave

Rapport 6-2021 NORCE Miljø



Rapporttittel	Måling av mikroplast i næringsvaskeri
Prosjektnummer	102221
Institusjon	NORCE Miljø
Oppdragsgiver(e)	Bergen Næringsråd
Gradering	ÅPEN
Rapportnr.	6-2021
ISBN	978-82-8408-164-9
Antall sider	21
Publiseringsdato	September 2021
Sitering	Henriksen T., Gomiero A. og Haave M (2021). Måling av mikroplast i næringsvaskeri. NORCE Report no. 6/2021
Bildekreditering	Marte Haave/NORCE
Geografisk område	Bergen/Vestland
Stikkord	Mikroplast, mikrofiber, næringsvaskeri
Sammendrag	

Undersøkelse av vaskevann fra Haukeland Sykehus næringsvaskeri, der 3x1 L vaskevann ble tappet under vask av 6 ulike tekstiltyper. Seks kategorier helsyntetiske tekstiler og blandingstekstiler ble undersøkt. Antall og størrelse til fibre av bomull og syntetisk materiale ble bestemt med μ -FTIR ved NORCE Plastlab. To typer uniformer ble spesielt undersøkt, av henholdsvis 50/50 bomull/polyester og 50/50 lyocell/polyester. Uniformer av bomull/polyester avga mer fibre totalt og mer polyester enn lyocell/polyester blandingen, men ulikhetene var ikke statistisk signifikante. Det ble observert fibre som ikke stammet fra tekstilene men som kan stamme fra kontakt med andre materialer under bruk og transport, eller krysskontaminering fra gjenbruk av vaskevannet. Størrelsen til fibrene som ble analysert var teoretisk ned til 10 μ m. Total årlig masse mikroplast fra vaskeriet ble estimert til ca. 1 tonn per år. Resultatene kan brukes til å vurdere tiltak som vil være effektive mot utslipp av mikroplast til miljøet.

Innhold

1.	Bakgrunn	3
2.	Innledning	3
3.	Material og metode	3
3.1.	Prøveinnsamling	4
3.2.	Prøveopparbeiding	6
3.3.	Analyse	6
3.4.	Kvalitetskontroll og forhindring av ekstern forurensing	7
3.5.	Statistikk og beregninger	7
4.	Resultater og diskusjon	7
4.1.	Mikroplast identifisering og kvantifisering med FTIR	7
4.2.	Polymerer i vaskevannet fra de ulike tekstiltypene	8
4.3.	Tekstiltypene	9
4.4.	Sammenheng mellom tekstiltype og partikler i vaskevannet	12
4.5.	Uniformer med ulik tekstilsammensetning	12
4.6.	Størrelsesfordeling etter materialtype	13
4.7.	Partikkelform etter materialtyper	13
4.8.	Utslipp av vaskevann	15
4.9.	Beregnet årlig mikroplastutslipp fra Haukeland næringsvaskeri	15
5.	Konklusjon	17
	Takk	18
6.	Referanseliste	18
7.	Supplement	21

1. Bakgrunn

Haukeland Universitetssykehus er et miljøsertifisert sykehus som har fokus på å redusere utslipp av miljøskadelige stoffer, redusere miljø- og klimapåvirkning fra innkjøp og redusere forbruk av naturressurser. Bergen Næringsråd leder et initiativ kalt #plastsmart som er et initiativ som skal jobbe med å redusere plastforsøpling. Initiativet ledes fra Bergen Næringsråd og er et samarbeid mellom næringsliv, forvaltning, forskning og academia. Haukeland Universitetssykehus og Bergen Kommune deltar i prosjektet. Bergen kommune har også vedtatt en plaststrategi for å hindre utslipp av plast og mikroplast.

NORCE fikk oppdraget med å utforme og utføre denne studien. Prosjekteier er Bergen Næringsråd, og studien er finansiert av Handelens Miljøfond under prosjektnummer 2019/36706-19, søknads-ID 165.

2. Innledning

Plast er i dag et globalt problem og produksjonen øker stadig (Plasticseurope.org). Tonnevis med plast havner i naturen gjennom ulike spredningsveier. Påvirkning som vær, vind og sollys, bryter over tid ned plast i miljøet til mindre biter (Zhang et al., 2021). Plast under 5 mm defineres som mikroplast (Cole et al., 2011). Tekstiler av syntetiske materialer er laget ved videreforedling av petroleumsprodukter og er derfor definert som plast (Hartmann et al., 2019). Utslipp fra syntetiske tekstiler er i dag en betydelig kilde til mikroplast i naturen (SAPEA, 2019). Syntetiske fibre brytes ned til mindre mikroskopiske fibre ved slitasje som følge av vask, bruk av tørketrommel, kjemikalier, vaskemidler og hverdagslig bruk (Browne, 2015). Mikroplast i form av fibre og fragmenter fra syntetiske tekstiler kan havne i vann, luft og jord (SAPEA, 2019). Noen av de vanligste syntetiske fibrene i dag er polyester, nylon og polyamid. Naturfibre som brukes i tekstiler kommer fra naturlige produkter og er biologiske nedbrytbare i naturen, eksempler er ull, bomull og silke. Regenererte naturfibre er en mellomting mellom naturfibre og syntetiske fibre, disse produktene lages av naturlig cellulose, men gjennomgår en menneskeskapt kjemisk behandling. Eksempler på regenererte naturfibre er viskose, lyocell og modal. Bomull er også av cellulose, men er ikke kjemisk modifisert i samme grad som viskose, lyocell og modal.

Det årlige norske mikroplastutslippet fra syntetiske tekstiler er anslått til ca. 1000 tonn, hvor mesteparten trolig stammer fra privat bruk av vaskemaskiner (Sundt et al., 2020). Kun 4,5 % av dette utslippet er antatt å stamme fra industrielle vaskerier. I tidligere studier har fokuset ligget på privatbruk av vaskemaskiner og færre har fokusert på mikroplast utslipp fra industrielle vaskerier.

Prosjektet har som formål å kartlegge utslippet av mikroplast fra ulike tekstiltyper vasket ved Haukeland Universitetssykehus, slik at man kan planlegge og iverksette effektive og forebyggende tiltak som reduserer plastforsøpling. Tekstiler som brukes i næringslivet, spesielt i helsesektoren, er produkter som brukes og vaskes mye. Tekstiltypene som brukes i uniformer, håndklær, sengetøy og vaskeposer på sykehuset er laget av en blanding av naturlige og syntetiske materialer, evt. kun syntetiske materialer. Dermed er vaskeriet på Haukeland en sannsynlig kilde til mikroplastutslipp gjennom vaskevannet.

Forebygging av utslipp av mikroplast fra vaskeriene vurderes som et mulig tiltak for å redusere utslipp av mikroplast i Bergen. Utskiftning av tekstiler til naturmateriale er en mulig løsning, men samtidig må kostnader ved innkjøp, levetid for materialene og komfort ved bruk vurderes opp mot reduksjon i

utslipp av mikroplast. Denne studien bidrar med en første kartlegging av hvorvidt vask av syntetiske materialer og/eller blandingstekstiler slipper ut vesentlig ulike mengder fibre, og er et første trinn i vurderingen utslipp av mikroplast fra vaskeriet ved Haukeland Universitetssykehus.

Resultatene fra dette prosjektet har stor overføringsverdi og kunnskapen kan deles med andre vaskerier regionalt og nasjonalt. Mulige tiltak for å begrense utslipp av mikroplast fra vaskeriet vil bli vurdert etter kunnskapen oppnådd fra prosjektet.

3. Material og metode

3.1. Prøveinnsamling

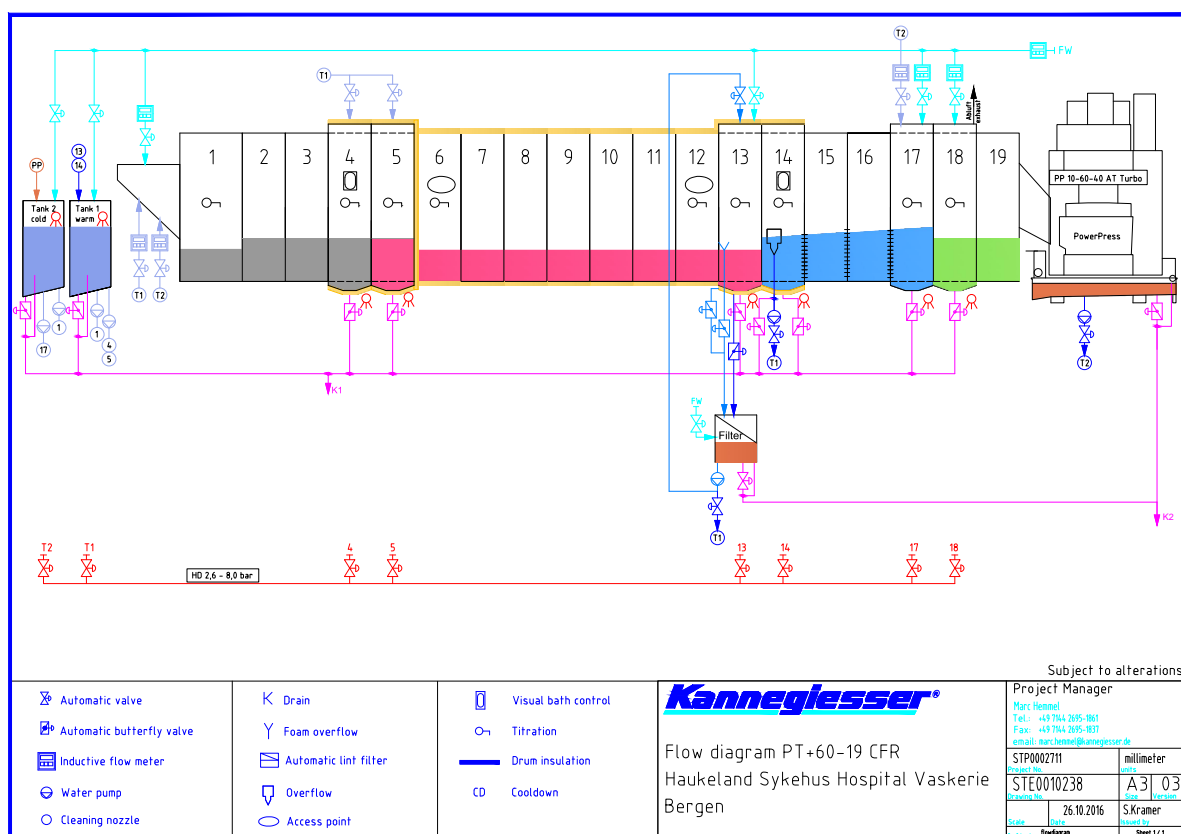
Vaskeprosessen ved Haukeland Universitetssykehus følger et 19-kammers vaskesystem (Figur 1). I de første fire kamrene gjennomgår tekstilene en forvask. Forvasksonen er fra sone en til fire. Hovedvask skjer fra kammer 5 til 13. I denne sonen skjer desinfiseringen og vannet holder en temperatur på 66 °C. I forvasksonen og hovedvasksonen (kammer 1 til 13) går vannet medstrøms og følger tekstilene frem til skyllesonen (kammer 14-17). I skyllesonen går vannet motstrøms og temperaturen senkes til 35-40 °C. De siste to kamrene (18-19) er nøytraliseringssonen, hvor det eventuelt blir tilsatt nøytraliseringsmiddel for å gjenoppnå nøytral pH før vannet pumpes ut. Deretter går tekstilene videre til tørketrommel og etterbehandlingsavdelingen.

Vannet fra pressing (før tørking) og fra kammer 13 (hovedvask) kan gjenbrukes til forvask i kammer 1. Vannet filtreres før gjenbruk. Gjenbruk av vannet gjennom hele prosessen vil utnytte virkegraden til kjemikalierne over tid og minske forbruket av vann og vaskemidler. Dette medfører likevel at det kan skje en viss overføring av tekstilfibre mellom vaskevann. Selv om tekstilene blir sortert og kun en type tekstiler blir vasket om gangen kan det tilføres fibre fra andre tekstiler i vaskevannet som vi dermed kan få med i prøven som blir tatt ut av en vask. Dette medfører en viss usikkerhet i resultatene.

For hver tekstiltipe ble tre prøver á 1L av vaskevannet fra kammer 13 tappet ut til tre parallelle analyser av mikroplastinnholdet. Vaskevannet ble tappet ut gjennom en prøvetakingsventil som normalt benyttes til vannprøvetakning for undersøkelse av kjemi i vaskevannet. Før tapping til prøven ble ca. 2 dl av vannet i ventilen tappet ut og forkastet for å begrense krysskontaminering av fibertyper mellom ulike tekstiltyper som kunne skyldes rester av vaskevann i tappekranen fra sist vask. Ved å bruke flere parallelle analyser får man et bilde på variasjon og et mer representativt gjennomsnitt. Seks ulike prøvetyper ble samlet inn, uniformer av to ulike tekstilsammensetninger, vaskeposer, dyner, sengetøy og håndklær. Tekstilinnholdet i de ulike prøvetypene er listet i tabell 1

Tabell 1: Oversikt over materialtypen i tekstilene.

Prøvetype	Tekstilinnhold
Uniformer, Helse Bergen	50/50 polyester/bomull
Uniformer, Voss	50/50 polyester/lyocell
Skittentøysposer	100 % polyester
Håndklær	50/50 polyester/bomull i varp 100% bomull i veft og løkker
Sengetøy	50/50 polyester/bomull
Dyner	Innhold: 100 % polyester Yttertrekk: 50/50 polyester/bomull



Figur 1: Diagram over vaskeprosessen fra kammer 1-19. I kammer 1-4 (grå) foregår forvaskprosessen, i kammer 5-13 (rosa) skjer hovedvasken. De første 13 kamrene har medstrøms vann. Fra kammer 14 til 17 (blå) er skyllsonen, mens de to siste kamrene er nøytraliseringssonen (grønn). Tekstilene går så videre til tørketrommel og etterbehandlingsavdelingen. Vann fra kammer 13 kan pumpes til tank 1 og gjenbrukes i forvask etter filtrering.



Prøvene (3 stk á 1L) av vaskevannet ble tappet ut gjennom en prøvetakingsventil i kammer 13, som normalt benyttes til vannprøvetakning for undersøkelse av kjemi i vaskevannet.

(Bilde: Marte Haave, NORCE).

3.2. Prøveopparbeiding

Vaskevannprøvene på 1 L ble filtrert ned på et rustfritt-stålfiler med 10 μm porestørrelse. Partiklene ble deretter overført til et begerglass og tilsatt nok 37 % hydrogenperoksid (H_2O_2) til å dekke partiklene i prøven. Prøven stod i H_2O_2 i 3 timer ved romtemperatur for å fjerne organisk materiale. Partiklene ble så resuspendert i 5 mL etanol vann (50 %).

3.3. Analyse

Partiklene i prøven ble analysert med et følsomt $\mu\text{-FTIR}$ -instrument (Nicolet iN10 MX Infrared Imaging Microscope) med en kald detektor (kjølt med flytende nitrogen) for økt sensitivitet. Partikler ble overført til et sinkselenid vindu og analysert. Prøven på vinduet ble analysert i fire omganger (25 % per skann) og deretter ble bildet satt sammen til å dekke 100 % av filteret. Partiklene på vinduet ble fotografert, lokalisert og målt ved hjelp av instrumentet. Et IR-spekter per partikkel ble samlet inn og analysert i programvaren SiMPle hvor spektraene ble sammenlignet med et referansebibliotek og identifisert til polymertype. En match på over 70 % ble godtatt som en korrekt identifikasjon. SiMPle indentifiserte både syntetiske og organiske partikler. Partiklene ble målt i to dimensjoner og størrelsen ble definert ut ifra den største dimensjonen. Partikler av størrelse $> 10 \mu\text{m}$ ble analysert med μFTIR , kun svært få partikler ble identifisert i størrelser $> 500 \mu\text{m}$. Det ble ikke definert en øvre begrensning på partikkelstørrelse.

Partikkelformene i prøven ble definert som fragment eller fiber. Fiber ble i denne studien definert som partikler med en lengde til bredde ratio på > 3 , mens fragmentene hadde en lengde til bredde ratio på ≤ 3 .

3.4. Kvalitetskontroll og forhindring av ekstern forurensing

Prøvene ble analysert på NORCE sin rene Plastlab. Dette er et plastfritt analyseområde som begrenser sjansen for forurensning fra luften og omgivelsene. Alt av klær og laboratoriefrakker brukt under analysen var laget av ikke-syntetiske materialer. Utstyr som ble brukt ved prøveinnsamling, prøverensning og prøveanalyse var laget av andre materialer enn plast. Glassflaskene benyttet til prøvetakning var på forhånd brent ved 550 °C for å fjerne alle spor av plast. Flasken var åpen kun kort tid under tapping av prøven. Prøvene ble deretter kontinuerlig dekket med et lokk for å forhindre mulig luftforurensning. Ved å analysere prøvevinduet i fire omganger og deretter sette det sammen til et bilde kunne det oppstå overlapp i overgangene. Det ble gjennomført grundige kvalitetskontroller for å eliminere overestimering av antall partikler. Partikler med lik størrelse og med samme plassering på filteret (koordinater) ble eliminert.

3.5. Statistikk og beregninger

Statistikkprogrammet IBM SPSS Statistics (v 26.0) ble benyttet for data-analyser, grafer og tabeller. Shapiro Wilk's test og Levene's test of normality, samt detrended Q-Q plots ble benyttet for å teste normalitet i dataene. For Polyester var resultatene normalfordelte for alle prøvetyper, og for uniformer var også polyamid normalfordelt, men for de fleste polymerene og prøvetypene var resultatene ikke normalfordelte per prøvetype (Shapiro Wilk's test $p < 0,05$). Sammenlikning av ulikheter i polymerkonsentrasjoner mellom tekstiler ble derfor gjennomført med non-parametrisk Kruskal-Wallis test for uavhengige prøver. Signifikans ble vurdert som $p < 0,05$.

Massen til partiklene ble kalkulert igjennom SiMPle (Primpke et al.2020). Programmet estimerer høyden til partikkelen basert på lengde og bredde fra 2D-skanningen, og beregner deretter massen basert på det estimerte volumet og tettheten til plasttypen som finnes i partikkelen.

4. Resultater og diskusjon

4.1. Mikroplast identifisering og kvantifisering med FTIR

For de seks ulike tekstiltypene ble tre parallelle prøver analysert, resulterende i totalt 18 prøvevinduer til analyse. Det ble benyttet ca. 2% av materialet fra hver prøve. Man antar at prøven var homogen og dermed ga et representativt bilde på innholdet av fibre i vaskevannet. I alle prøvene analysert ble det identifisert både syntetiske og ikke-syntetiske partikler. Det ble identifisert i gjennomsnitt 425 mikroplastpartikler per liter (mp/L) fra alle prøvetypene, varierende fra 125 til 1005 mp/L. Det ble identifisert fem ulike typer mikroplasttyper (polymerer) i prøvene: polyester (PES), polypropylen (PP), polyamid (PA), akryl og polyetylen (PE). Det ble identifisert i gjennomsnitt 331 cellulosepartikler per liter (cp/L) i alle prøvetypene undersøkt (0-1066 cp/L).

Proteinpartikler ble identifisert i høye antall i prøvene, i gjennomsnitt 1095 proteinpartikler per liter (pp/L) (202-2900 pp/L). Proteinpartiklene er utelatt fra resultatene i denne rapporten ettersom

proteinene trolig stammer fra andre kilder enn tekstilet i seg selv. Kildene til proteinpartikler er trolig enzymer fra vaskemidlene, smuss og kroppsvæsker. Tekstiler som brukes i helsesektoren er tekstiler som er spesielt utsatt for forurensning fra kroppsvæsker.

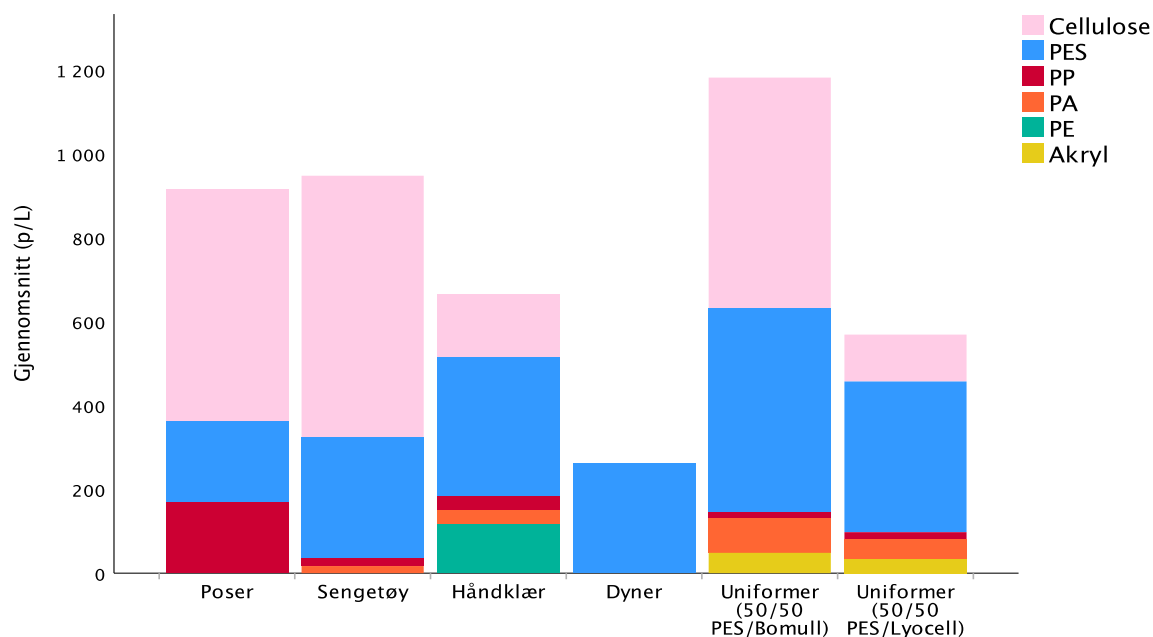
4.2. Polymerer i vaskevannet fra de ulike tekstiltypene

Fra alle vaskevannsprøvene ble det identifisert både syntetiske og organiske partikler (Tabell 2, Figur 2). Cellulosen kan stamme fra både bomull og lyocell, som er en regenerert (kjemisk modifisert) bomull. På grunn av vansker med å skille mellom bomull og lyocell vil cellulose ikke regnes som mikroplast i denne rapporten, selv om kjemisk modifisert cellulose har lang levetid i miljøet.

Polyester var den dominerende polymeren og ble identifisert i alle prøvetypene og alle prøvene. Vaskevannet etter vask av uniformer av materialblandingen 50/50 polyester/bomull var tekstiltypen som i gjennomsnitt hadde høyest innhold mikroplastpartikler til vaskevannet per liter (632 mp/L). Det laveste antall mikroplastpartikler ble identifisert i vaskevannet fra dyner, 261 mp/L. Det var få signifikante forskjeller i konsentrasjonene av partikler mellom de ulike tekstiltypene (Kruskal Wallis: $p > 0,05$), på grunn av få analyser per tekstil og stor variasjon innad i parallellene per tekstiltype. Utvidet prøvetakning og flere analyser vil bidra til å belyse eventuelle ulikheter mellom tekstiler.

Fra de to undersøkte uniformtypene (50/50 polyester/bomull, 50/50 polyester/lyocell) er polyesterpartikler de dominerende partiklene i vaskevannet. Det ble også identifisert i polypropylen, polyamid og akryl i vaskevannet fra uniformene. Akryl ble kun identifisert i uniformprøvene og kun i tre av seks prøver. Akryl kan stamme fra forurensning eller sømmen i uniformene, på lik linje med polypropylen og polyamid.

Det var ingen signifikant forskjell i gjennomsnittsmengden polyester mellom de ulike tekstiltypene, men de høyeste konsentrasjonene av polyester ble funnet i vaskevann fra uniformene av polyester/bomull. Polyamid ble funnet i høyere konsentrasjon i vaskevann fra uniformer, håndklær og sengetøy enn andre tekstiler, og polypropylen var høyere i skittentøysposer (Tabell 2, men forskjellene var ikke signifikante. Akryl ble kun observert i enkelte paralleller av vaskevann fra uniformene, og polyetylen kun i vaskevann fra håndklær. Kun polyetylen var signifikant høyere etter vask av håndklær enn vask av de andre tekstilene (Kruskal-Wallis 16,83, $df:5$, $p < 0,05$), ettersom PE kun ble funnet i vannet fra håndklevasken (Figur 2, Tabell 2). Celluloseinnholdet i vaskevannene viste også stor variasjon, og ingen signifikante ulikheter i gjennomsnitt mellom tekstilene. For detaljert visning av konsentrasjoner per parallell og tekstiltype, se supplement tabell S1.



Figur 2: Gjennomsnittlig innhold partikler og polymertyper i vaskevannet fra tre parallelle analyser av ulike tekstiler.

4.3. Tekstiltyper

Uniformer med to ulike tekstilblandinger ble undersøkt for å vurdere om det var betydelig ulikhet i mengden mikroplast som slippes ut i vask, og om endring av tekstilvalg i uniformer kan være et tiltak for å redusere mikroplastutslipp. Begge uniformstypene er laget av 50 % polyester. Uniformene som brukes i Bergen har også 50 % bomull, mens uniformene fra Voss er laget av 50 % lyocell. Det ble observert et dobbelt så høyt partikkelantall (p/L) fra uniformene av 50% bomull, som fra uniformene med 50% Lyocell (Figur 3). Mengden cellulosepartikler (cp) utgjorde den største forskjellen av partikkelutslipp, 550 cp/L fra bomullsblendingen og 112 cp/L fra uniformene med Lyocell. Utslippet av mikroplastpartikler var 28 % høyere fra uniformene med bomull enn fra uniformene av polyester/lyocell. Polyester var den syntetiske polymeren som dominerte utslippet fra begge uniformstypene, men også polypropylen, polyamid og akryl ble observert i vaskevannet av begge typer uniformer.

Prøvetypen «poser» er polyesterposer som brukes til retur av skittentøy fra avdelinger på sykehuset. Cellulosen som ble identifisert i vaskevannet fra posevasken kan stamme fra støv fra andre tekstiler som er blitt oppbevart i disse posene, eller muligens krysskontaminering fra gjenbruk av vaskevannet. Det ble observert et høyt antall polyesterpartikler/L som kan stamme fra selve posen, men det ble også observert et nesten likt antall polypropylenpartikler/L (Tabell 2). Kilden til disse polypropylenpartiklene er ikke undersøkt, men muligens stamme fra låse/knyttmekanismen til posene, eller sømmene. Vi undersøkte ikke materialene i slike deler.

Tabell 2: Gjennomsnittlig konsentrasjon (p/L) av ulike polymerer fra seks undersøkte tekstiltyper.

Prøvetype	n	Polymertype													
		Total MP		PES		PP		PA		Akryl		PE		Cellulose	
		Snitt	±SA	Snitt	±SA	Snitt	±SA	Snitt	±SA	Snitt	±SA	Snitt	±SA	Snitt	±SA
Uniformer (50/50 PES/Bomull)	3	632,0	329,4	485,7	468,4	16,0	27,7	81,7	73,6	48,7	47,5	nd	-	549,7	325,2
Håndklær	3	514,3	77,0	330,3	123,0	34,0	29,5	34,3	59,5	0,0	0,0	115,7*	23,7	152,3	133,8
Uniformer (50/50 PES/Lyocell)	3	457,0	167,2	359,3	165,4	16,7	28,9	47,0	45,6	34,0	58,9	nd	-	112,0	102,1
Poser	3	362,7	169,3	195,0	38,7	167,7	206,4	nd	-	nd	-	nd	-	551,3	450,7
Sengetøy	3	324,3	216,1	290,3	162,5	17,0	29,4	17,0	29,4	nd	-	nd	-	623,3	243,0
Dyner	3	261,3	139,6	261,3	139,6	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-

Tegnforklaring: n= antall parallelle prøver, Total MP = summen av syntetiske partikler- ikke medregnet lyocell, Snitt= gjennomsnitt, SA= Standard avvik. PES= polyester, PP= polypropylen, PA= polyamid, PE= polyetylen, Cellulose = lyocell og bomulls fibre.

*signifikant forskjellig fra de andre tekstiltypene (Kruskal-Willis test av uavhengige prøver: p<0,05).

Dynene som blir vasket er laget av både polyester og bomull i yttertreet, mens fyllet i dynene er kun polyester. Partiklene som ble identifisert i vaskevannet fra dynene var kun polyesterpartikler (Tabell 2). Det ble ikke identifisert noen cellulosepartikler fra bomullen i yttertreet. En mulig grunn til denne observasjonen kan være at produksjonen/vevingen av dynene er gjennomført på en slik måte at bomullen ikke slites i like stor grad som polyesterpolymeren.

I prøvene fra vaskevannet fra sengetøy dominerte polyester og cellulose partikkelutslippet, i samsvar med tekstilinnholdet i sengetøyet brukt på Haukeland sykehus (polyester/bomull). Det ble også identifisert små mengder med polypropylen og polyamid i én av prøvene. Ettersom det kun ble identifisert i en av prøvene er dette trolig en forurensning fra et annet plastholdigprodukt som har vært i kontakt med sengetøyet.

Resultatene fra vaskevannet samlet fra de ulike prøvetypene viser stor variasjon innen hver prøvetype, men kan også indikere at mikroplastinnholdet er avhengig av typen tekstil som blir vasket (Figur 2, Tabell 2), selv om ulikhetene ikke er statistisk signifikante. Det er også andre faktorer enn tekstiltipe som kan påvirke utslippet av mikroplast fra maskinvask, som temperatur og hardheten til vannet. Derimot medfører ikke dette variasjon i våre resultater ettersom all vask ble gjennomført med samme prosedyre og temperatur. Uniformene av 50/50 polyester/bomull var den prøvetypen som ga høyest innhold av partikler i vaskevannet, etterfulgt av håndklevasken som også består av 50/50 polyester og bomull (Tabell 2). Tidligere studier har rapportert motsigende resultater rundt hvorvidt tekstiler av blandingsmaterialer eller tekstiler av kun en type materiale har det høyeste partikkelutslippet (De Falco et al., 2020; Napper & Thompson, 2016). I denne studien ser vi utelukkende på blandingstekstiler, men med ulike utforming og veving. En mulig grunn til det høye antallet mikroplastpartikler observert i vaskevannet fra håndklærne er frottéstrukturen i materialet, denne strukturen kan skape større friksjon i vaskemaskinen og dermed slippe ut en større mengde partikler. Håndklærne kan også være løst vevet og dermed være utsatt for stor slitasje ved friksjon i vaskemaskinen. Uniformene av 50/50 polyester/lyocell avgir også et relativt høyt antall mikroplastpartikler. Daglig vask og slitegrad kan påvirke utslippet av mikroplastpartikler, og slitte tekstiler vil sannsynligvis avgi flere partikler enn nyere tekstiler. Utslippet av mikroplastpartikler til vaskevannet fra dynene, skittentøysposene og sengetøyet var lavere og med lavere innhold av andre polymerer enn uniformene. Betydningen av vevetetthet, transport eller kontakt med andre materialer under bruk ble ikke undersøkt i denne studien, men vil være faktorer som kan påvirke innholdet av fibre i vaskevannet.

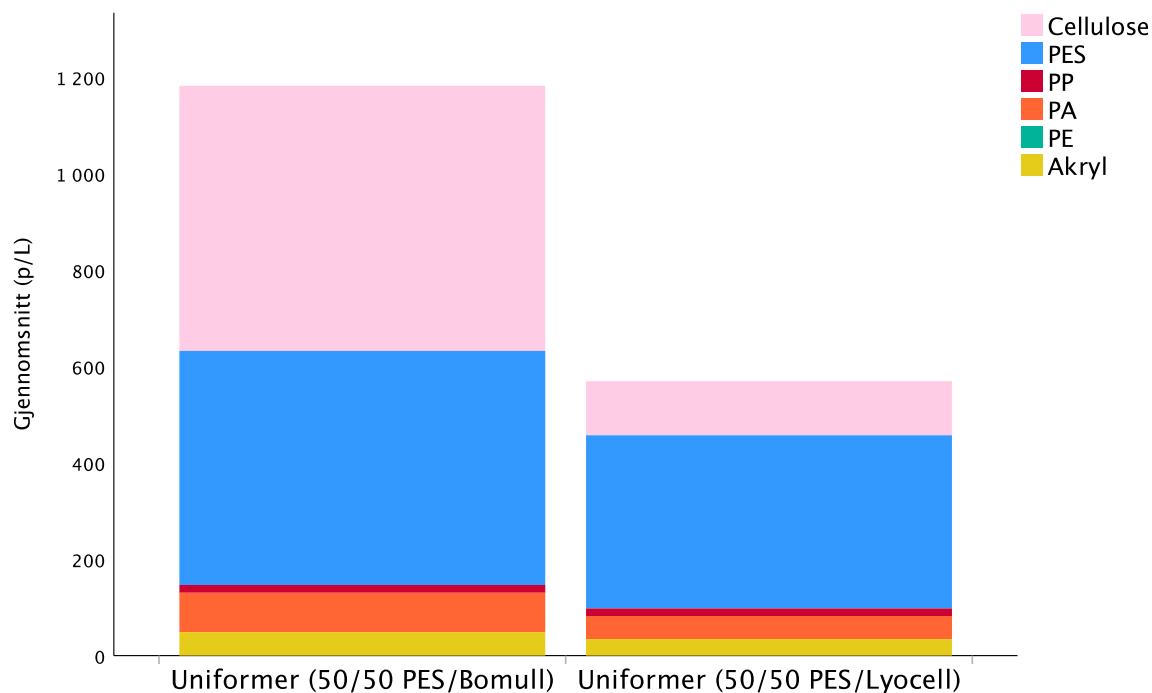
I prøvene finner vi organiske partikler som ikke ble fullstendig fjernet gjennom prøveopparbeidingen ved oksidasjon med 37% hydrogenperoksid i 3 timer. Ikke uventet ble cellulosepartikler observert i de fleste prøvene. Cellulosepartiklene identifisert stammer fra bomull eller lyocell i tekstilet som ble vasket. Naturlig cellulose, i form av bomullsfibre, blir ofte ikke inkludert i mikroplast-analyser på grunn av sin naturlige opprinnelse, men kan dominere mikropartiklene identifisert i naturen (Suaria et al., 2020). Dette stemmer med funnene vi gjør i denne studien. Kun uniformene av 50/50 polyester/lyocell inneholder regenerert cellulose. Slike regenererte naturfibre er ofte den dominerende mikrofiberen identifisert i tidligere studier (Lusher et al., 2017; Primpke et al., 2019; Suaia et al., 2020). Naturlig cellulose er ikke inkludert i disse publikasjonene. Regenerert (kjemisk modifisert) cellulose er antatt å ha en biologisk nedbrytbartid hurtigere enn mikroplast, mulig på lik linje med naturlig cellulose (Macieira et al., 2021; Zambrano et al., 2019). Påvirkningen regenerert cellulose har på organismer og miljøet er enda uvisst.

4.4. Sammenheng mellom tekstiltype og partikler i vaskevannet

Polyester var det eneste syntetiske materialet som er oppgitt i innholdet til de ulike tekstilene undersøkt. Ikke uventet var polyesterpartikler derfor den mikroplasttypen som ble identifisert i alle prøvetypene og i høyest antall. Det ble identifisert flere syntetiske partikler i vaskevannet som ikke stammet fra selve tekstilen som ble vasket, med unntak av dynene (Figur 2, Tabell 2). De andre polymerene identifisert stammer fra kilder som er vanskeligere å bestemme opprinnelsen til. Det kan vise en sannsynlig krysskontaminering mellom tekstilene, for eksempel via gjenbruk av vaskevannet, eller ved at tekstilene er i kontakt med andre tekstiler under bruk eller transport. En annen mulig kilde kan være fra sømmer eller merkelapper i tekstilen som kan inneholde andre materialer enn det som hovedtekstilene består av og som er oppgitt i tekstilinnholdet. Den eneste prøvetypen der polyetylenpartikler ble identifisert var fra vaskevannet fra håndklær, hvor det ble identifisert i alle de tre parallelle prøvene. Det ble også identifisert polypropylen og polyamid i vaskevannet fra håndklærne. Polypropylen og Polyamid (nylon) er vanlig brukt i fiber/ tråd, og kan utgjøre sømmene i materialene. Dette kan tyde på at tekstilinnholdet i håndklærne er mer sammensatt enn oppgitt i merkelappen eller at håndklærne har vært i kontakt med andre produkter som inneholder disse materialene, og kan også være et tegn på krysskontaminering. For å undersøke krysskontaminering ved gjenbruk av vaskevannet må det tas prøver fra tankene med gjenbrukt og filtrert vaskevann.

4.5. Uniformer med ulik tekstilsammensetning

Sykehusuniformer blir kun brukt en dag før de vaskes. Innkjøpet av uniformene laget av 50/50 polyester/lyocell ble gjennomført for 1,7 år siden. Uniformene av 50/50 polyester/bomull har en høy rotasjon og nye uniformer blir stadig tilført. Vi antar i denne studien at innkjøpsdato av uniformen ikke påvirket dataene våre i betydelig grad. Resultatene våre indikerer at tekstiler laget av 50/50 polyester/lyocell har et mindre utslipp av både cellulose- og mikroplastpartikler til vaskevannet. Dette kan tyde på at denne typen uniformer slites mindre under vask og vil ha en lenger varighet. Uniformer som varer lengre, vil både være økonomisk og spare naturressurser og miljø. Utslipet av lyocell kan likevel være av større bekymring enn bomull på grunn av den kjemiske modifiseringen av cellulosen i lyocell-partiklene.



Figur 3: Gjennomsnittlig partikkelutslipp (p/L) fra uniformene bestående av 50/50 polyester/bomull og 50/50 polyester/lyocell. PES=polyester, Cellulose = bomull/lyocell.

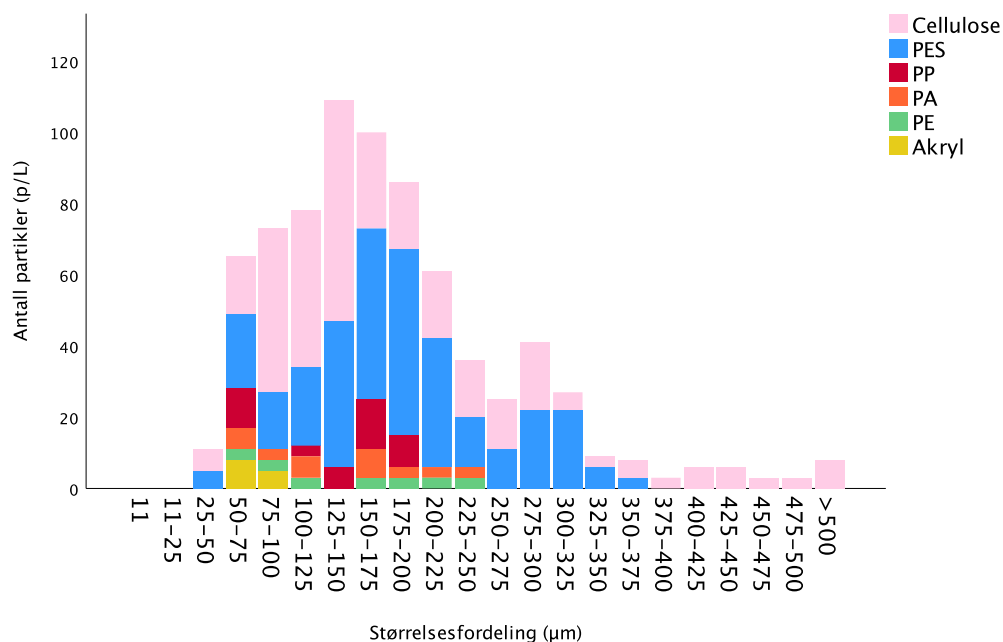
4.6. Størrelsesfordeling etter materialtype

Alle partiklene i prøvene med en størrelse over 10 μm ble målt og identifisert til materialtype. Partiklene ble delt inn i ulike størrelsesklasser (per 25 μm) definert ut ifra den største dimensjonen. Cellulosepartiklene var den typen partikler som ble identifisert i alle størrelsesklassene over 25 μm og helt opp til > 500 μm . Det ble kun identifisert tre partikler, av cellulose, > 500 μm (515-543 μm). De syntetiske partiklene ble identifisert i størrelser fra 25-375 μm (figur 4). Vi observerte høyest antall partikler i størrelsesklassene fra 50-325 μm . Polyester ble observert i alle størrelsesklassene der syntetiske partikler ble identifisert, i samsvar med at polyester var den dominerende polymeren.

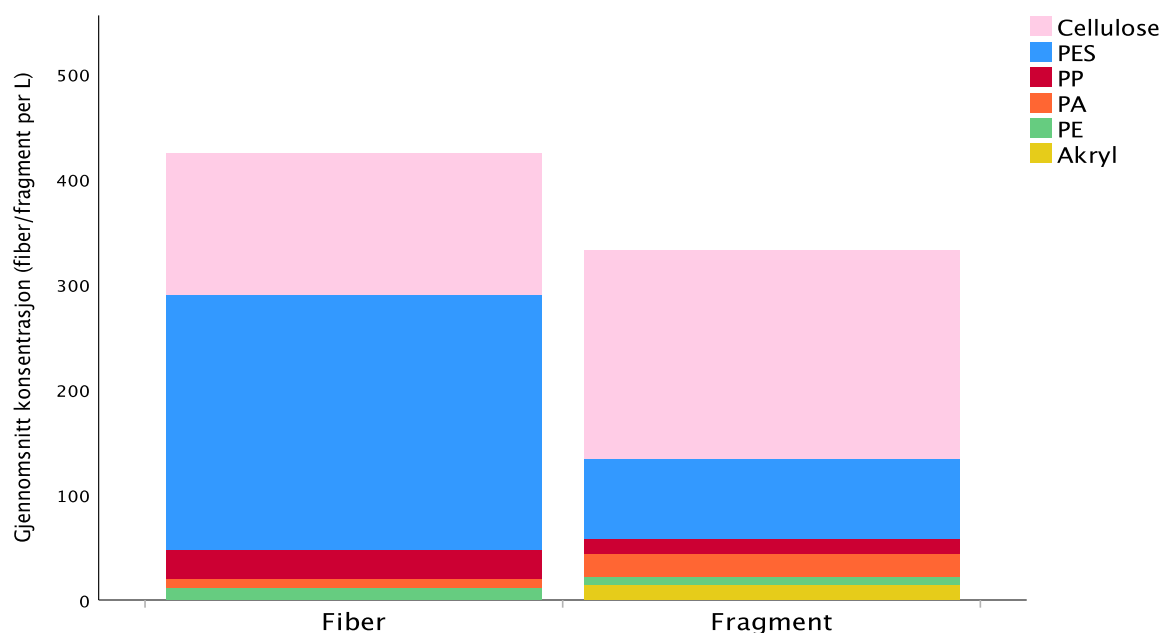
Undersøkelsen viste høyest antall partikler i størrelseskategori 125-150 μm (Figur 4). De fleste partiklene, inkludert cellulose, lå i størrelsesområdet 50-225 μm , og få partikler over 300 μm . I størrelseskategoriene over 375 μm ble det kun observert cellulosefibre (Figur 4). Tidligere studier har undersøkt mikroplast fra tekstilfibre og identifisert partikler i størrelser fra under 20 μm til 7800 μm (Napper & Thompson, 2016; Salvador Cesa et al., 2017), men i samsvar med våre resultater fant en undersøkelse av utslipp fra industrielle vaskerier på sykehus i Sverige flest fibre i størrelsene 100 til 400 μm (EnviroPlanning AB, 2018). Det vi ser fra tidligere studier er at det er stor variasjon i størrelsene identifisert i vaskevannet fra maskinvask.

4.7. Partikkelform etter materialtyper

Formen til partiklene i vaskevannet ble også undersøkt. Fragmenter var dominert av cellulose, mens fiber ble dominert av polyester og cellulose. Det ble identifisert nesten dobbelt så mye syntetiske fibre som syntetiske fragmenter (Figur 5).



Figur 4: Størrelsesfordeling av mikroplast- og cellulosepartikler i alle prøvetypene. PES: polyester, PP: polypropylen, PA: polyamid, PE: polyetylen.



Figur 5: Gjennomsnittlig konsentrasjon av fiber og fragmentpartikler (p/L), per materialtype for alle prøvetypene. PES: polyester, PP: polypropylen, PA: polyamid, PE: polyetylen.

Som forventet observerte vi et høyere antall fiber i prøvene i forhold til fragmenter. Ettersom vi identifiserte polymerer med ubestemt kilde (ikke originalt i tekstilene) både som fiber- og fragmentform er det vanskelig å konkludere med om disse polymerene stammer fra selve tekstilet vasket eller forurensing fra andre plastinnholdige produkter. Akrylpartikler ble kun observert som fragmenter.

Tynne og korte mikrofibre kan muligens lettere unnsnippe filtrene i det kommunale renseanlegg for avløpsvann i Bergen (Holen renseanlegg) på grunn av form. Dette kan føre til utslipp av fibre til naturen. Mikrofiber er i dag den vanligste mikroplastformen identifisert i naturen (Dris et al., 2015; Gago et al., 2018). Mikroplast er identifisert som fibre og fragmenter i mat, drikkevann og i marine organismer (Cox et al., 2019; Desforges et al., 2015; Kosuth et al., 2018; Neves et al., 2015). Også i disse studiene er fibre den dominerende mikroplasttypen identifisert.. Mikroplast har ført til negativ innvirkning og negative effekter på flere marine dyr (Cole et al., 2015; Martínez-Gómez et al., 2017; Ribeiro et al., 2017; Watts et al., 2015). De tidligere studiene ble gjennomført under laboratorieforhold med konsentrasjoner som ikke reflekterer konsentrasjonene av mikroplast i naturen i dag. Om mikroplastutslippene derimot fortsetter å øke vil også konsentrasjonene i miljøet øke.

4.8. Utslipp av vaskevann

Vaskevannet fra vaskeriet på Haukeland fraktes til Bergen kommune sitt renseanlegg på Holen. Mikroplast er i dag ikke definert som en miljøgift og er derfor ikke underlagt restriksjoner som begrensning av utslipp eller pålegg om rensing. Holen renseanlegg renser vannet for tungmetaller og organiske forbindelser, men ikke mikroplast (Bergen kommune, 2019). Ifølge Kristine Akervold (Bergen vann- og avløpsetaten, personlig kommunikasjon, 2021) vil små mikroplastpartikler (< 500 µm) trolig ikke bli fanget opp av renseanlegget og dermed bli sluppet ut i sjøen med vannet. Det vil si at mest sannsynlig vil alle mikroplastpartiklene som blir sluppet ut gjennom vaskevannet fra Haukeland unngå renseanlegget. Disse vil kunne havne direkte i sjøen dersom de ikke fanges i sekundærrensing og fjernes fra vaskevannet ved sentrifugering av massene fra renseanlegget. Sekundær rensing av avløpsvann har vist seg å være effektivt for fjerning av mikroplast (Vollertsen and Hansen 2017, Simon et al. 2018).

Utslipp fra syntetiske tekstiler er definert som en stor kilde til mikroplast i naturen (SAPEA, 2019). Dette er ikke overraskende ettersom over 60% av den globale tekstilproduksjonen er av syntetiske materialer (FAO/ICAC, 2013). Klær laget av syntetiske materialer må ofte vaskes mer enn organiske tekstiler og kan slites hardt i vask. En studie som har undersøkt havprøver identifisert at kun 8.2% av fibre identifisert var laget av syntetiske materialer, mens resten av fibre var naturlige (Suaria et al., 2020). Dette indikerer, i samsvar med vår studie, at til tross for den enorme globale produksjonen av syntetiske tekstiler er det likevel dominerende tilstedeværelse av naturlige fibre i miljøet. Dette kan også tyde på at vi ikke kjenner den endelige skjebnen til fibre i miljøet, og at lette syntetiske fibre kan ha en annen spredningsvei enn tyngre bomullsfibre. Blant annet har man påvist at syntetiske fibre spres med luft og kan finnes igjen på fjelltopper så vel som i avsidesliggende strøk i Arktis (Dris et al. 2015, Bergmann et al. 2019, Dris et al. 2020)

Flere tidligere studier har sett på mikroplastutslipp fra tekstiler, men det ingen standardisert metode for prøvetakning og analyser, og det er mange ulike faktorer som kan påvirke resultatene (eks. vasketemperatur, vaskeprogram) (Dalla Fontana et al., 2020; Hernandez et al., 2017; Napper & Thompson, 2016). Det er derfor vanskelig å sammenligne resultater fra tidligere undersøkelser. Tidligere studier har fokusert mest på mikroplastutslipp fra privatbruk av vaskemaskiner, færre har undersøkt mikroplastutslipp fra industrielle vaskerier. En svensk rapport undersøkte utslipp fra seks industrielle vaskerier, hvorav to sykehus, i 2018 (EnviroPlanning AB, 2018). Utslipet av fiberformede partikler fra de to sykehusene undersøkt varierte fra 7500 til 70 000 partikler per liter. Disse studiene undersøkte kun uniformer av 50/50 polyester/bomull og identifiserte et høyere utslipp av partikler per liter enn vår studie. Studien forsøkte å fjerne cellulose fiber (fra bomull) med kjemiske metoder, men

suksessraten for dette ble ikke dokumentert. Det er ikke mulig å gjøre en korrekt sammenligning av studiene. Det kan være mange grunner til at våre undersøkelser viser et lavere utslipp av mikroplastpartikler enn andre studier, som metodologi, prøveinnsamling og prøveantall, vaskemaskin, prosess og fysisk/kjemiske parametere (temperatur, pH) i vasken. Vaskeriet på Haukeland har også tidligere innført tiltak for å minske slitasje og utslipp fra tekstiler ved å senke temperaturen med 20 °C, og vasker nå med en maks temperatur på 66 °C. Høyere vasketemperaturer vil kunne øke utslippet av mikroplastpartikler (Napper & Thompson, 2016).

4.9. Beregnet årlig mikroplastutslipp fra Haukeland næringsvaskeri

I 2020 ble 2844244 kg (tilnærmet 2844,3 tonn) tekstiler vasket på Haukelands vaskeri. Hver kilo tekstil krever cirka 6 L vann igjennom vaskeprosessen. For å anslå omtrentlig årlig mengde mikroplastutslipp fra Haukelands vaskeri har vi tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig partikkelutslipp per liter fra de seks prøvetypene undersøkt i dette prosjektet. Vi antar da at det vaskes like mengder av hver prøvetype, som også er en forenkling. Konverteringen fra antall partikler til antall gram mikroplast er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Beregnet årlig mikroplastutslipp* fra Haukeland Næringsvaskeri i 2020

	Polyester	PP	PA	Akryl	PE	Total MP	Cellulose
Partikler/L	320	42	30	14	19	425	331
Millioner Partikler/år	5467	715	512	235	329	7258	5657
Gjennomsnittlig vekt per partikkel** (ng)	143	33	134	45	80	435	498
Gram partikler	782	24	69	11	26	912	2814

* Basert på registrert mengde 2844,3 tonn vask

** Basert på størrelsesfordeling (11- > 500) µm i prøvene i denne studien

Denne studien gir en pekepinn på omtrentlig mengde av det årlige mikroplastutslippet fra Haukeland næringsvaskeri. Med kun seks tekstiltyper og alle prøver tatt fra vaskevannet på samme dag er dette et omtrentlig anslag. Den årlige mengden tekstiler brukt i beregningen vasket stammer fra vaskeriets journaler fra 2020. Dette var et spesielt år der mengden tekstiler vasket økte på grunn av koronapandemien. Derimot er ikke mengden vaskede tekstiler lavere i 2021.

Miljødirektoratet har rapportert at ca. 1000 tonn mikroplast årlig havner i naturen fra syntetiske tekstiler i Norge, og 45 tonn av disse stammer fra vaskerier (Sundt et al., 2020). Gjennom denne studien ble det gjort et estimat på at litt under 1 kg mikroplastpartikler under 500 µm blir sluppet ut årlig fra Haukelands vaskeri. Dette utgjør da en minimal andel av det antatte totale mikroplastutslippet fra vaskerier i Norge.

Vi ser også at tekstilkvalitet og sammensetning har betydning for utslippene. Med slik kunnskap kan tekstilsammensetningen og holdbarheten til tekstilene også vurderes med tanke på tiltak for reduksjon av generelle mikroplastutslipp.

Tiltak allerede iverksatt ved Haukelands vaskeri, med redusert temperatur og pH-nøytral vask, kan være effektive tiltak som kan minske store deler av det årlige utslippet av mikroplast, både lokalt og nasjonalt. Flere undersøkelser er nødvendig for å vurdere om Haukeland Næringsvaskeri er representativt for industrielle vaskerier i Norge.

5. Konklusjon

Gjennom denne studien har vi kartlagt fiber av cellulose og syntetiske materialer i vaskevann fra tekstiler vasket ved vaskeriet på Haukeland universitetssykehus. Studien gir et øyeblikksbilde og muliggjør et estimat på det årlige mikroplastutslippet fra vaskeriet. Denne nye kunnskapen kan bidra til å vurdere og iverksette forebyggende og effektive tiltak for å redusere plastforurensningen fra sykehuset.

Resultatene indikerer at typen tekstil som blir vasket påvirker mengden og typen utslipp. Fiberpartikler dominerer i vaskevannet, men også fragmenter fra kontakt med andre materialer forekommer. Uniformene av 50/50 polyester/bomull avgir det høyeste antall partikler per liter vaskevann, og et høyere antall syntetiske partikler enn andre tekstiltyper. Uniformene av 50/50 polyester/lyocell avgir et lavere antall partikler, både av modifisert cellulose og polyester. Innkjøpet av den nye tekstilblandingen til nye uniformer ble gjort for å undersøke forskjellen på disse materialsammensetningene i holdbarhet og komfort. Denne studien indikerer at materialer av polyester/bomull slites i større grad enn polyester/lyocell. Dette kan tyde på at uniformene i polyester/lyocell vil ha en lenger varighet samt et lavere utslipp av mikroplast i bruk enn alternativet med bomullsblending.

I denne studien ble et lavere mikroplastutslipp identifisert enn andre studier som undersøkte mikroplast i vaskevann. Det er derimot vanskelig å korrekt sammenligne resultatene på grunn av ulike faktorer som temperatur, pH og vaskemaskintyper. Ifølge Miljødirektoratet utgjør utslippet av mikroplast fra vaskerier en liten del av det norske utslippet fra syntetiske tekstiler, men er oppgitt å utgjøre 1000 tonn årlig. Mengden mikroplast identifisert gjennom denne studien viser seg også å være relativt lav i forhold til Miljødirektoratet sine anslag, med kun 1 kilo per år.

Begrensning av mikroplastutslipp fra vask av tekstiler er svært relevant ettersom partiklene kan ha et direkte utslipp til havet. Industrielle vaskerier kan også gjennomføre tiltak mot mikroplastutslipp som vil monne, på grunn av høye volumer som vaskes årlig. De tiltakene som allerede er blitt innført ved vaskeriet for å redusere slitasje på tekstilene, som lavere vasketemperatur og stabil pH gjennom prosessen, kan se ut til å ha hatt en positiv tilleggseffekt på mikroplastutslippet, og studien finner lavere konsentrasjoner enn tidligere studier fra vaskerier i Sverige.

Kunnskapen som kommer frem fra denne studien kan benyttes til å vurdere videre effektive direkte eller preventive tiltak for å begrense utslipp av mikroplast fra vaskeriet. Dette gjelder både vaskeprosess og valg av tekstilmaterialer. Holdbare og slitesterke tekstiler kan gi både økonomiske og miljømessige fordeler.

Resultatene fra prosjektet vil kunne styrke miljømålene satt av Helse Bergen, som å redusere utslipp til jord, luft og vann. Helsevesenet er en sektor som har høy frekvens av tekstilvask, og dertil en høy utskiftning av tekstiler. Vurderinger av konsekvenser for hygiene, komfort, miljø og økonomi kan understøttes av kunnskap om materialenes slitasjegrاد og utslipp, som denne studien bidrar til.

Endring i innkjøp vil kunne redusere miljø- og klimapåvirkningen, samt redusere forbruk av naturressurser. Ekstern kommunikasjon av disse resultatene vil kunne styrke miljømålene også i andre kommuner enn Bergen, og formidling av resultatene vil kunne øke miljøbevisstheten til medarbeiderne. Dette er også i tråd med Bergen kommune sin plaststrategi, den nasjonale handlingsplanen for Helseforetakene og Bergen Næringsråd sitt initiativ #plastsmart.

Takk

Vi vil takke Bergens Næringsråd #plastsmart ved Elisabeth Skage for initiativet til studien og invitasjonen til å delta i prosjektet. Takk til Astrid Hårstad ved Bergen Næringsråd for oppfølging og godt samarbeid. Takker også Helse Bergen ved Linda Karen Eide for godt og hyggelig samarbeid, og enhetsleder Kjersti Røli Hope og ansatte ved vaskeriet på Haukeland universitetssykehus for godt faglig samarbeid og tilrettelegging for prøvetakning.

Studien er finansiert av Handelens Miljøfond.

6. Referanseliste

Bergen kommune. (2019). HOLEN avløpsanlegg.

Bergmann, M., Mutzel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J. and Gerdts, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Sci Adv* 5(8): eaax1157. DOI: 10.1126/sciadv.aax1157

Browne, M. A. (2015). Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. I M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Red.), *Marine Anthropogenic Litter* (s. 229–244). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_9

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology*, 49(2), 1130–1137. <https://doi.org/10.1021/es504525u>

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>

Dalla Fontana, G., Mossotti, R., & Montarsolo, A. (2020). Assessment of microplastics release from polyester fabrics: The impact of different washing conditions. *Environmental Pollution*, 264, 113960. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113960>

De Falco, F., Cocca, M., Avella, M., & Thompson, R. C. (2020). Microfiber Release to Water, Via Laundering, and to Air, via Everyday Use: A Comparison between Polyester Clothing with Differing Textile Parameters. *Environmental Science & Technology*, 54(6), 3288–3296. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06892>

- Desforbes, J.-P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. (2015). Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), 320–330. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5>
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592–599. <https://doi.org/10.1071/EN14167>
- Dris, R., Agarwal, S. and Laforsch, C. (2020). Plastics: From a Success Story to an Environmental Problem and a Global Challenge. *Glob Chall* 4(6): 2000026. DOI: 10.1002/gch2.202000026
- EnviroPlanning AB. (2018). Microplastics from industrial laundries (s. 35).
- FAO/ICAC. (2013). FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf. <http://sewitagain.com/wp-content/uploads/2013/12/FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf>
- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V., & Viñas, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 7036–7046. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01750>
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE*, 13(4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Lusher, A., Bråte, I. L. N., Hurley, R., Iversen, K., & Olsen, M. (2017). Testing of methodology for measuring microplastics in blue mussels (*Mytilus* spp) and sediments, and recommendations for future monitoring of microplastics (R & D-project). 87. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2470297>
- Macieira, R. M., Oliveira, L. A. S., Cardozo-Ferreira, G. C., Pimentel, C. R., Andrades, R., Gasparini, J. L., Sarti, F., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Gomes, L. C., & Giarrizzo, T. (2021). Microplastic and artificial cellulose microfibers ingestion by reef fishes in the Guarapari Islands, southwestern Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112371. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112371>
- Martínez-Gómez, C., León, V. M., Calles, S., Gomáriz-Olcina, M., & Vethaak, A. D. (2017). The adverse effects of virgin microplastics on the fertilization and larval development of sea urchins. *Marine Environmental Research*, 130, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.06.016>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>

- Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J. L., & Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.008>
- Primpke, S., Dias, P. A., & Gerdt, G. (2019). Automated identification and quantification of microfibrils and microplastics. *Analytical Methods*, 11(16), 2138–2147. <https://doi.org/10.1039/C9AY00126C>
- Primpke, S., Cross, R. K., Mintenig, S. M., Simon, M., Vianello, A., Gerdt, G. and Vollertsen, J. (2020). Toward the Systematic Identification of Microplastics in the Environment: Evaluation of a New Independent Software Tool (siMPle) for Spectroscopic Analysis. *Appl Spectrosc* 74(9): 1127-1138. DOI: 10.1177/0003702820917760
- Ribeiro, F., Garcia, A., Pereira, B., Fonseca, M., Mestre, N., Fonseca, T., Ilharco, L., & Bebianno, M. (2017). Microplastics effects in *Scrobicularia plana*. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.078>
- Salvador Cesa, F., Turra, A., & Baroque-Ramos, J. (2017). Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Science of The Total Environment*, 598, 1116–1129. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.172>
- SAPEA. (2019). A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society. <https://doi.org/10.26356/microplastics>
- Simon, M., van Alst, N. and 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 Research* 142: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>
- Suaris, G., Achtypi, A., Perold, V., Lee, J. R., Pierucci, A., Bornman, T. G., Aliani, S., & Ryan, P. G. (2020). Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization. *Science Advances*, 6(23). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay8493>
- Sundt, P., Haugedal, S. R., Rem, T., & Schulze, P.-E. (2020). Norske landbaserte kilder til mikroplast—Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/april-2021/norske-landbaserte-kilder-til-mikroplast/>
- Vollertsen, J., & Hansen, A. A. (2017). Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate. The Danish Environmental Protection Agency. <https://vbn.aau.dk/en/publications/microplastic-in-danish-wastewater-sources-occurrences-and-fate>
- Watts, A. J. R., Urbina, M. A., Corr, S., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2015). Ingestion of Plastic Microfibers by the Crab *Carcinus maenas* and Its Effect on Food Consumption and Energy Balance. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 14597–14604. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04026>
- Zambrano, M. C., Pawlak, J. J., Daystar, J., Ankeny, M., Cheng, J. J., & Venditti, R. A. (2019). Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 394–407. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.062>
- Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>

7. Supplement

Tabell S1: Individuelle resultater (p/L) per parallell og prøvetype.

Tekstilprøve	Partikkeltype (p/L)						Sum/ parallell	Totalsum
	PES	PP	PA	Akryl	PE	Cellulose		
Uniformer PES/Bomull) #1	1005	0	0	0	0	302	1005	
Uniformer PES/Bomull) #2	95	48	143	95	0	429	381	
Uniformer PES/Bomull) #3	357	0	102	51	0	918	510	1896
Håndklær#1	206	52	103	0	103	206	464	
Håndklær#2	452	50	0	0	101	251	603	
Håndklær#3	333	0	0	0	143	0	476	1543
Uniformer (PES/ Lyocell) #1	273	0	91	0	0	136	364	
Uniformer (PES/ Lyocell) #2	255	0	0	102	0	0	357	
Uniformer (PES/ Lyocell) #3	550	50	50	0	0	200	650	1371
Poser#1	206	52	0	0	0	361	258	
Poser#2	152	406	0	0	0	1066	558	
Poser#3	227	45	0	0	0	227	272	1088
Sengetøy#1	455	51	51	0	0	808	557	
Sengetøy#2	286	0	0	0	0	714	286	
Sengetøy#3	130	0	0	0	0	348	130	973
Dyner#1	404	0	0	0	0	0	404	
Dyner#2	125	0	0	0	0	0	125	
Dyner#3	255	0	0	0	0	0	255	784

Celler merket med grønt indikerer at materialtypen var originalt i tekstile. Sum MP er sum av syntetiske polymerer, ikke bomull/lyocell.

PES= polyester, PP= polypropylen, PA= polyamid, PE= polyetylen