

Rapport 8-2025, NORCE Klima og miljø

## Fjerning av begroing på nøter med kontinuerlig børsting versus spyling

FHF 901783

Renée K. Bechmann<sup>1)</sup>, David Knudsen<sup>2)</sup>, Cato Brede<sup>2)</sup>, Mona Gjessing<sup>3)</sup>,  
Helena Hauss<sup>1)</sup>, Alessio Gomiero<sup>1)</sup>, Adrián Jaén-Gil<sup>1)</sup>, Andrea Bagi<sup>1)</sup>,  
Christian Andreas Hansen<sup>1)</sup>, Alan Le Tressoler<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> NORCE, <sup>2)</sup> FishLab, <sup>3)</sup> Veterinærinstituttet



Rapporttittel	Fjerning av begroing på nøter med kontinuerlig børsting versus spyling
Prosjektnummer	FHF 901783
Institusjon	NORCE
Oppdragsgiver(e)	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Gradering	Åpen
Rapportnr.	Rapport nr. 8-2025 fra NORCE Klima og miljø
ISBN	ISBN nr. 978-82-8408-409-1
Antall sider	89
Publiseringsdato	2025
CC-lisens	CC BY 4.0
Sitering	Bechmann, R.K., D. Knudsen, C. Brede, M. Gjessing, H. Hauss, A. Gomiero, A. Jaén-Gil, A. Bagi, C.A. Hansen, A. Le Tressoler, H. 2025. Fjerning av begroing på nøter med kontinuerlig børsting versus spyling Rapport nr. 8-2025. NORCE Klima og miljø.
Bildekreditering	Forsidebilde NORCE. Bilder av fire malerier malt av Torunn Thrall. Bildene henger i NORCE marine forskningsssenter i Mekjarvik. Nederst er et bilde av et testpanel med overgrodd not.
Kvalitetsansvarlig	Thierry Baussant
Stikkord	notvask, begroing, mikroplast, børstrobot, trykkspyling, akvakultur, fiskehelse, kortisol, gjelleskade, miljøDNA



.....  
Renée Katrin Bechmann

*Prosjektleder*



.....  
Thierry Baussant

*Kvalitetssikrer*



.....  
Polyana Ferreira Da Silva

*Gruppeleder*

**NORCE** Norwegian Research Centre AS, Postboks 22 Nygårdstangen, 5838 Bergen, Norway

E-POST [post@norceresearch.no](mailto:post@norceresearch.no)

WEB [norceresearch.no](http://norceresearch.no)

TEL. +47 56 10 70 00

ORG NO. 919 408 049

# Forord

Dette prosjektet svarer på FHF's utlysning for å utvikle og dokumentere metoder for kontroll med begroing på nøter. Målet med utlysningen var å dokumentere metoder for kontroll med begroing uten negative effekter på miljø og fisk for å stimulere til raskere ferdigutvikling og uavhengig dokumentasjon av metoder, redusere miljøbelastning fra næringen og bidra til bedre fiskevelferd og fiskehelse. Søknadsfristen var 9/9-2022.

Takk til Renate Johansen i FHF for god oppfølging av prosjektet.

Finansiert av:



Renée Katrin Bechmann  
Forsker II

---

**NORCE** Norwegian Research Centre AS, Postboks 22 Nygårdstangen, 5838 Bergen, Norway

E-POST [post@norceresearch.no](mailto:post@norceresearch.no)

WEB [norceresearch.no](http://norceresearch.no)

TEL. +47 56 10 70 00

ORG NO. 919 408 049

## Sammendrag

No-Gro prosjektet svarer på FHF's utlysning for å utvikle og dokumentere metoder for kontroll med begroing på nøter. Det har blitt gjort både feltforsøk og labforsøk.

**Feltforsøket** ble utført i et kommersielt oppdrettsanlegg for laks fra august 2023 til august 2024. Graden av begroing, fiskehelse og utslipp av mikroplast ble sammenlignet for en merd som ble rengjort med en prototype av en robot som kontinuerlig skulle børste vekk groe fra innsiden av nota og en merd som ble periodisk spylt. Nøtene i begge merdene var HDPE (High Density Polyethylene) og var ikke behandlet med kobber eller annen impregnering. Mengden begroing på nøtene ble dokumentert basert på bildeanalyser. Antall ganger nøtene ble spylt ble også dokumentert. På grunn av tekniske problemer med roboten måtte begge merder spyles omtrent like ofte. Generelt var fiskehelse og velferd god i de to merdene. Resultatene fra analyse av stressmarkører, gjellehelse, appetitt og dødelighet ingen målbare forskjeller i fiskehelsen. Det tyder på at den kontinuerlige børstingen og den periodiske spylingen ikke var stressende for fisken i dette forsøket. Feltforsøket ble avsluttet tidligere enn planlagt på grunn av de tekniske problemene med roboten. Det ble analysert mikroplast i noen få prøver, men det er ikke nok data på mikroplast fra feltforsøket til å konkludere. Etter feltforsøket har produsenten jobbet videre med å forbedre roboten og har oppnådd gode resultater fra andre lokaliteter, i tillegg til at de har trent AI/ML-modeller og implementert sanntids hulldeteksjon og klassifisering av groe. Et labforsøk ble gjort for å få mer informasjon om utslipp av mikroplast fra notvask.

**Labforsøket.** Det ble utviklet et nytt lab-oppsett som kan brukes til å sammenligne hvor mye mikroplast som slippes ut når testpaneler med notlin rengjøres med børsting eller spyling og hvor effektivt ulike typer vasketeknologi fjerner naturlig groe på nota. Det ble gjort ett forsøk med lite groe på nøtene og mengde mikroplast frigitt under børsting og spyling av HDPE- og nylon-not ble sammenlignet. Testpaneler med not ble satt ut i felt ved siden av et oppdrettsanlegg for å få naturlig groe. To typer børster for roboten ble testet i tillegg til høytrykksspyling. I forsøket gikk de to børstemodulene og spylemodulen over nota 30 ganger og all frigitt mikroplast og groe ble filtrert ut av vannet. Mengden frigitt mikroplast ble normalisert til antall kvadratmeter not vasket. Det ble i gjennomsnitt sluppet ut mellom 3025 og 9277 mikroplastpartikler per kvadratmeter not som ble vasket 30 ganger. Det ble sluppet ut flere mikroplast-partikler fra nylon-nett enn HDPE-nett både da de ble børstet og da de ble spylt. Når en sammenligner mikroplastutslipp i forbindelse med spyling og børsting må man ta hensyn til at en børsterobot skal gå over nota hver dag, mens spyling foregår periodisk. Når spylemodulen gikk over nota like mange ganger som børstemodulene ble det sluppet ut flere mikroplastpartikler fra spyling, men forskjellene var ikke store. Avhengig av hvor ofte nettet spyles, typen not og typen børste så kan mikroplastutslippene bli 2-33 ganger så høye med børsterobot som med periodisk spyling i løpet av en produksjonssyklus. Denne beregningen er basert på resultater fra labforsøket.

## Kunnskapshull og anbefalinger

- Det anbefales å gjøre flere kontrollerte labforsøk for å få svar på hvilken kombinasjon av robotteknologi og type not som vil gi mest effektiv notvask og minst slitasje på nettet (utslipp av mikroplast). Det nye forsøksoppsettet utviklet i No-Gro prosjektet er designet for denne typen forsøk.
- For å dokumentere hvor effektive de ulike vaskerobotene er, anbefales det at forskere samler inn data fra alle lokaliteter der ulike typer vaskeroboter er i bruk. Informasjon om robot, not, impregnering, spylefrekvens og grad av begroing i tillegg til informasjon om strømforhold og temperatur kan brukes til å gi oppdrettsnæringen et bedre beslutningsgrunnlag for å velge den mest effektive og miljøvennlige vaskeroboten.
- Hvis man ønsker mer kunnskap om hvordan ulike typer notvask påvirker fiskehelse og mikroplastutslipp i kommersielle oppdrettsanlegg anbefales det å sammenligne flere lokaliteter der alle nøtene rengjøres med en type vaskerobot med andre lokaliteter der alle nøtene rengjøres med spyling eller en annen type vaskerobot.

## Summary

The No-Gro project responds to FHF's call for proposals to develop and document methods for controlling fouling on nets. Both field and lab experiments have been conducted.

**The field experiment** was conducted in a commercial salmon farm from August 2023 to August 2024. The degree of fouling, fish health and microplastic emissions were compared for a cage that was cleaned with a prototype of a robot that would continuously brush away fouling from the inside of the net and a cage that was periodically pressure washed. The nets in both cages were HDPE (High Density Polyethylene) and were not treated with copper or other types of coating. The amount of fouling on the nets was documented based on image analysis. The number of times the nets were pressure washed was also documented. Due to technical problems with the robot, both cages had to be pressure washed almost the same number of times during the experiment. In general, fish health and welfare were good in the two cages. The results of the analysis of stress markers, gill health, appetite and mortality showed no measurable differences in fish health between the two cages. This suggests that the continuous brushing and pressure washing were not stressful for the fish in this experiment. The field trial was terminated earlier than planned due to the technical problems with the robot. Microplastics were analyzed in a few samples, but there is not enough data on microplastics from the field experiment to conclude. After the field experiment, the manufacturer has continued to work on improving the robot and has achieved good results from other locations, in addition to training AI/ML models and implementing real-time hole detection and classification of growth. A lab experiment was performed to obtain more information about microplastic emissions from net washing.

**The lab experiment.** A new lab setup was developed that can be used to compare how much microplastic is released when test panels with nets are cleaned by brushing or pressure washing and how effectively different types of washing technology remove natural fouling on the net. An experiment was conducted with little fouling on the nets and the amount of microplastic released during brushing and pressure washing of HDPE and nylon nets was compared. Test panels with nets were placed in the field next to a fish farm to get natural fouling. Two types of brushes for the robot were tested in addition to pressure washing. In the experiment, the two brush modules and the pressure washing module passed over the net 30 times and all released microplastic and fouling were filtered out of the water. The amount of released microplastic was normalized to square meters of net washed. On average, between 3025 and 9277 microplastic particles were released per square meter of net that was washed 30 times. More microplastic particles were released from nylon nets than from HDPE nets both when they were brushed and when they were pressure washed. When comparing microplastic emissions in connection with pressure washing and brushing, it must be taken into account that the robot should pass over the net every day, while pressure washing occurs periodically. When the pressure washing module passed over the net as many times as the brush modules, more microplastic particles were released during pressure washing, but the differences were not large. Depending on how often the net is pressure washed, the type of net and the type of brush, microplastic emissions can be 2-33 times higher with a brush robot than with periodic pressure washing during a production cycle. This estimate is done based on the results from the lab-experiment.

Knowledge gaps and recommendations

- It is recommended to conduct more controlled lab experiments to find out which combination of robot technology and type of net will provide the most effective net cleaning and the least wear on the net (emission of microplastics). The new experimental setup developed in the No-Gro project is designed for this type of experiment.
- To document how effective the different cleaning robots are, it is recommended that researchers collect data from all locations where different types of cleaning robots are in use. Information about the robot, net, impregnation, frequency of pressure washing and degree of fouling in addition to information about current conditions and temperature can be used to give the aquaculture industry a better decision-making basis for choosing the most effective and environmentally friendly cleaning robot.
- To get more knowledge about how different types of net cleaning affect fish health and microplastic emissions in commercial aquaculture facilities, it is recommended to compare several locations where all nets are cleaned with one type of cleaning robot with other locations where all nets are cleaned with pressure washing or a different type of cleaning robot.

## Acronymes

LOQ	Limit of Quantification
NQC	Norwegian quality cut
PA	Polyamide (nylon)
PC	Polycarbonate
PE	Polyethylene
PET	Polyethylene terephthalate
PMMA	Polymethyl methacrylate
PP	Polypropylene
PS	Polystyrene
PVC	Polyvinyl chloride
PES	Polyester
NBR	Nitrile rubber
EVA	Ethylene-vinyl-acetate
PAN	Polyacrylonitrile
ACy	Acrylates
POM	Polyoxymethylene
RU	Rubber
Oxi-PE	Oxidized polyethylene
Cl-PE	Chlorinated polyethylene
PEEK	Polyetheretherketone
SDS	Sodium dodecyl sulfate

# Innhold

Forord .....	1
Sammendrag.....	2
Summary.....	4
1. Innledning.....	9
1.1. Faglig bakgrunn .....	9
1.1.1. Konsekvenser av for mye groe på nøtene.....	9
1.1.2. Miljøeffekter av notvask .....	9
1.1.3. Effekter på fiskehelsen som følge av notvask.....	13
1.1.4. Ulike metoder for å fjerne begroing fra nøtene.....	16
1.2. Prosjektets omfang .....	19
1.3. Prosjektorganisering .....	19
1.4. Problemstilling og formål.....	20
2. Metoder og prosjektgjennomføring.....	21
2.1. Feltforsøk.....	21
2.2. Bildeanalyser for å dokumentere effekt av notvask.....	23
2.3. Metoder brukt for å sjekke fiskehelse og velferd.....	25
2.3.1. Kortisolmetabolitter i feces fra laks .....	25
2.3.2. Gjellehelse .....	25
2.3.3. MiljøDNA gjeller .....	26
2.4. Analysemetoder for mikroplast .....	27
2.4.1. Water sampling and analyses for microplastic content .....	28
2.4.2. Sedimented particulate matter sampling for microplastic analyses .....	29
2.4.3. Contamination control.....	30
2.4.4. $\mu$ FTIR .....	30
2.4.5. pyr GC-MS .....	32
2.5. Labforsøk.....	32
2.6. Gjennomføring av prosjektet .....	35
3. Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon.....	37
3.1. Om hvor effektivt roboten fjernet groe fra nota.....	37
3.1.1. Erfaringer fra feltforsøket der prototypen av roboten ble brukt.....	37
3.1.2. Videreutvikling av roboten og erfaringer fra andre lokaliteter .....	39
3.1.3. Anbefalinger .....	44
3.2. Om fiskehelse og velferd i feltforsøket.....	45
3.2.1. Vekst, appetitt, dødelighet, lus, notvask.....	45
3.2.2. Kortisolmetabolitter og testosteron i feces.....	48

3.2.3.	Gjellehelse .....	50
3.2.4.	Gjellehelse miljøDNA .....	52
3.2.5.	Oppsummering om fiskehelse .....	57
3.3.	Om mikroplast i feltforsøket .....	57
3.3.1.	Mikroplast filtrert fra vannet .....	58
3.3.2.	Mikroplast i sedimentfeller .....	61
3.3.3.	Mikroplast i blindprøver (forurensningskontroll) .....	63
3.3.4.	Mikroplast i prøver fra feltforsøket: Diskusjon .....	63
3.4.	Børsting vs spyling av HDPE- og nylon-nett i kontrollert labforsøk.....	64
3.4.1.	Evaluering av lab-oppsettet .....	64
3.4.2.	Utslipp av mikroplast fra notvask i labforsøket .....	67
4.	Hovedfunn .....	74
5.	Referanser .....	75
6.	Leveranser.....	80
7.	Vedlegg.....	81

# 1. Innledning

## 1.1. Faglig bakgrunn

Begroing av nøter er en kontinuerlig utfordring for alle typer marin akvakultur og påvirker både fiskehelse, daglig operasjon og økonomi (Floerl, Sunde, and Bloecher 2016; Bloecher and Floerl 2021). Håndtering av begroing har hittil vært basert på bruk av kjemikalier og reaktiv rensing av nota. De mest brukte metodene, hhv kobberimpregnering og høytrykksspyling, har vist seg å ha uønsket miljøpåvirkning, være kostbare, medføre økt risiko for redusert fiskehelse og velferd, og medføre dårligere vekstforhold mellom rensingene.

### 1.1.1. Konsekvenser av for mye groe på nøtene

Når det blir for mye groe på nota reduseres vanngjennomstrømmingen (Bloecher and Floerl 2021). Mindre avfall transporteres ut av merden og mindre friskt vann med oksygen kommer inn. Dette kan påvirke helse og velferd for laksen. Groen kan også deformere merden slik at det blir mindre plass til laksen. Mengde og type begroing (arter) på norske oppdrettsanlegg er beskrevet (Bannister et al. 2019). Noen av artene som vokser på nota kan være skadelige for laks. Et eksempel er nesledyr som har nesleceller som kan føre til skade på laksens gjeller og skinn. Det kan vokse opp til 7 tonn hydroider på en stor merd og de kan spise så mye zooplankton at det kan få negative effekter for andre arter som spiser zooplankton (Bloecher 2013). Det kan også være patogener i begroingen. Når fremmede arter slår seg ned på nøtene kan de fungere som et reservoar for spredning av slike uønskede arter som kan føre til negative effekter på økosystemet og spredning til andre oppdrettsanlegg (Cornejo et al. 2020).

Noen har ment at rensefisk spiser begroing istedenfor lakselus hvis den får mulighet til det. Dette har ført til at nøtene har blitt rengjort oftere enn de gjorde før bruken av rensefisk økte (Pica et al. 2019). Eliassen et al. (2018) viste at begroing førte til mer effektiv beiting på lakselus. Bruken av rensefisk i Norge har nå blitt redusert fra 57 millioner i 2020 til 24 millioner i 2024 av flere årsaker (Moldal et al. 2025). I noen anlegg har rensefisken liten effekt på mengden lus og i tillegg er fiskehelsen og overlevelsen til rensefisken dårlig. Det er også upraktisk for oppdrettere å sortere ut rensefisken før avlusing av laksen slik det kreves siden den er mer følsom for behandlingen som brukes til avlusing enn laksen er (Moldal et al. 2025). Veterinærinstituttet og Rådet for dyreetikk anbefaler at bruken av rensefisk fases ut innen 2029 dersom dyrevelferden ikke kan bedres betydelig<sup>1</sup>).

### 1.1.2. Miljøeffekter av notvask

Begroing som løsner fra nota under rengjøring kan bidra til negative effekter på organismer som lever på bunnen. Denne organiske belastningen kommer i tillegg til det kontinuerlige utslippet av feces og fôrrester. I tillegg til organisk materiale kan notvask føre til spredning av uønskede (og fremmede)

---

<sup>1</sup> <https://www.kyst.no/fiskehelsereporten-fiskehelsereporten-2024-veterinaerinstittet/anbefaler-utfasing-av-rensefisk-innen-2029/1907485>

arter, patogener, impregnering med antigroemidler og mikroplast som kan spyles av nettet ((Haugalokken et al. 2021), referanser om mikroplast og antigroemidler under).

*Organisk belastning.* Mengde slam (feces og fôr-rester) sluppet ut per anlegg i hvert produksjonsområde er beregnet basert på massebalansebudsjett (Grefsrud et al. 2025). I snitt ble det sluppet ut 694 tonn slam per anlegg i 2024. Dette tilsvarer et slamutslipp på 111 tonn slam per merd (i snitt 6,3 merder med fisk på hver lokalitet, Biomasseregisteret, Fiskeridirektoratet). I tillegg til utslipp av slam så slippes det ut organisk materiale hver gang nota rengjøres. Det kan vokse opp til 7 tonn groe på en merd som har et areal på 5000 m<sup>2</sup> (Fu et al. 2024). Utslippet av organisk materiale fra notvask vil avhenge av hvor ofte nota rengjøres i tillegg til notmateriale, impregnering, sesong, geografi, og eksponering for strøm og lys (Uglem, Järnegren, and Bloecher 2020). Det er altså vanskelig å beregne hvor mye organisk materiale som slippes ut fra notvask per år fra hver merd, men mengden er betydelig. Modellering viser at partikler av organisk materiale (f.eks. hydroider) som spyles av nettet kan transporteres flere kilometer med havstrømmene (Fu et al. 2024).

Det er moderat risiko for negative effekter som følge av utslipp av organisk materiale (slam) på bunnsamfunn i influensområdet for oppdrett i 5 av 13 produksjonsområder (Grefsrud et al. 2025). Resten av produksjonsområdene har lav risiko. I norske terskelfjorder er det dokumentert endringer i bunndyrsamfunn over tid som er korrelert med lavere oksygen, høyere temperatur og økende mengde organisk materiale i sedimentet (Johansen et al, 2018). Resultatene tyder på at slike fjorder ikke tåler økte tilførsler av organisk materiale fra oppdrett og andre kilder.

*Antigroemidler.* Bruken av antigroemidler i oppdrett utgjør en risiko for negative effekter på det marine miljø (Grefsrud et al. 2025). Selv om det har vært en stor nedgang i bruken av kobber(I)oksid som grohemmende middel fra 2019 til 2023 (fra 1698 til 306 tonn) så har det vært en stor økning i bruken av erstatningsstoffet tralopyril (116 tonn i 2023) (Grefsrud et al. 2025; Grøsvik, Kristiansen, og Ali 2024). Screeningprogrammet 2024, utført av NIVA på vegne av Miljødirektoratet, undersøkte blant annet forekomsten av antibegroingsmidler og tilknyttede forbindelser i nærheten av oppdrettsanlegg på vestkysten av Norge (Gundersen et al. 2025). Tralopyril og flere av dets nedbrytningsprodukter ble funnet i samtlige prøver av vann, sediment og biota (inkludert gjeller og lever hos produksjonsfisk) (Gundersen et al. 2025). I tillegg ble det brukt 11 tonn sinkpyrithion og 10 tonn kobberpyrithion som antigroemiddel i norsk oppdrett i 2023 (Grefsrud et al. 2025). Det er ikke realistisk å utvikle en type not-impregnering som kan holde nota ren uten noen form for notvask og som samtidig ikke utgjør en risiko for negative effekter på det marine miljø (Bloecher & Floerl 2021). Impregnering med biocider kan øke intervallet mellom hver notvask, men mye av impregneringen vil fjernes når nota spyles eller rengjøres med vaskeroboter<sup>2</sup>. I EU blir det antatt at 80 % av kobberet som brukes til antigroemiddel blir sluppet ut i miljøet (Grefsrud et al. 2025). De mulige negative miljøeffektene av et biocid vil øke med økt effektivitet av biocidet. Hvis man ønsker å hindre utslipp av biocid fra impregnering som kan skade miljøet så må det utvikles notvaskere som klarer å hindre at det blir noe særlig begroing på nettet slik at man slipper periodisk spyling med de negative fiskehelse og miljøeffekter det kan ha.

<sup>2</sup> <https://www.kyst.no/aqua-kompetanse-fhf-notspyling/undersoker-effekten-av-notvask/1832636>

Ifølge noen av produsentene av robotvaskere er det mulig å holde nota ren uten periodisk spyling, men spyling kan være nødvendig i tillegg i perioder med raskest vekst av begroing.

Vedlegg 1 gir en oversikt over prosjekter finansiert av FHF og Forskningsrådet der effektiviteten til ulike typer antigroemidler har blitt testet (Walkinshaw et al. 2022) i tillegg til prosjekter som dokumenterte at ultralyd ikke kunne hindret begroing.

*Mikroplast (MP)*. Det er mye plastutstyr i et oppdrettsanlegg og platen vil etter hvert bli slitt og mikroplast vil frigis til miljøet. Et materialregnskap viste at mengden plast som er i bruk i norske havbruksanlegg er i størrelsesorden 192 000 tonn (Hognes og Skaar 2017). Et avfallsestimat viser at det fra dette kan avhendes 16 000 – 29 000 tonn plast per år fra oppdrettsnæringen (Hognes og Skaar 2017). De viktigste plastkildene i et oppdrettsanlegg er nøter, fôrslanger, tau, blåser, flytering, gangbane, bunnring, hamsterhjul, luseskjørt og leppefiskskjul (Hognes og Skaar 2017). I tillegg til utslipp av MP fra plast i oppdrettsanlegget er det mange eksterne kilder til mikroplast (Le et al. 2024; Zhou et al. 2021; Su et al. 2024). Mikroplasten kan falle ned på bunnen eller transporteres langt med havstrømmene (Zhang 2017). Det er bekymring for negative effekter av den økende mengden av mikroplast i havet (Galloway og Lewis 2016). Derfor er det viktig å dokumentere hvor mye mikroplast som slipper ut fra oppdrettsanlegg generelt. Tabell 1 gir en oversikt over FHF-finansierte prosjekt som har bidratt med ny kunnskap om mikroplast i oppdrettsanlegg. I FHF 901521 (SalmoDetect) ble MP i muskel (filet) og lever fra laksefisk analysert (Gomiero, Haave, et al. 2020), i FHF 901658 (MICRORED) ble det blant annet analysert mikroplast i fôrpellets som hadde gått gjennom fôrslanger av plast (Ratnayake et al. 2022), i FHF 901829 (REMIRA) ble kilder til mikroplast i RAS anlegg undersøkt (Jonassen et al. 2024), og i FHF 901519 (TrackPlast) ble det analysert mikroplast i vann, sediment og laks fra et oppdrettsanlegg (Gomiero, Marte Haave, et al. 2020). I SMARTER prosjektet (FHF 901820) ble det analysert utslipp av mikroplast fra ulike typer not rengjort med kavitasjon eller børsting (Tabell 1)(Booth et al. 2025). I vårt prosjekt, No-Gro, er det et viktig mål å dokumentere mengden mikroplast i vannet når nota ble rengjort med enten trykkspyling eller med Remora robot med børster. I feltforsøket i No-Gro var det fokus på utslipp av polyetylen (PE) fra nøter laget av High Density Polyetylen (HDPE). I labforsøket ble mikroplastutslipp fra notlin laget av HDPE sammenlignet med notlin laget av nylon. Oppdrettsnøter produseres primært av notlin i materialene nylon (PA6), polyetylen med høy tetthet (HDPE) eller UHMWPE (PE med ultra-høy molekylvekt) (Føre et al. 2025). Nylon er det mest brukte materialet i notposer for oppdrett, men HDPE-nett er mer slitesterkt og egner seg godt når notposene for det meste vaskes med roboter<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> <https://www.vonin.com/no/product/notposer/>

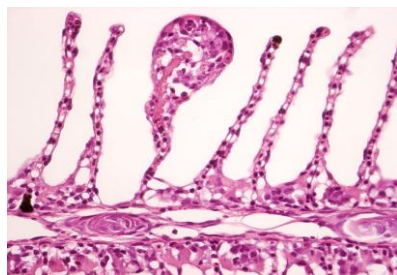
**Tabell 1.** FHF finansierte prosjekter om utslipp av mikroplast fra oppdrettsnæringen.

Prosjekt tittel og lenke	Rent hav – plast: Kvantifisering av mikroplast i filet og organer av oppdrettslaks. Sammenlikning av deteksjonsgrenser og analysemetoder (SalmoDetect). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901521/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901521/</a>
Prosjektleder	Alessio Gomiero, Norce Research AS
Prosjekt-periode	2018-2020
Tema	Analyserte mikroplast i muskel (filet) og lever fra laksefisk med tre ulike analysemetoder
Publikasjoner	(Gomiero, Haave, et al. 2020)
Prosjekt tittel og lenke	Reduction of Microplastic Emission through System Optimisation of Feed Pellet Conveying Pipelines (MICRORED) <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901658/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901658/</a>
Prosjektleder	Chandana Ratnayake, SINTEF AS
Prosjekt-periode	2021-2022
Tema	Analyserte mikroplast blant annet i fôrpellets som hadde gått gjennom fôrslanger av plast
Publikasjoner	Sluttrapport: (Ratnayake et al. 2022)
Prosjekt tittel og lenke	Reduksjon av mikroplast og plastmyknere i resirkulerende akvakultursystem (RAS)-anlegg (REMIRA). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901829/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901829/</a>
Prosjektleder	Thor Magne Jonassen, Akvaplan-niva AS
Prosjekt-periode	2023-2024
Tema	Undersøkte forekomster og mulige kilder til mikroplast og plastmyknere i fire ulike kommersielle resirkulerende akvakultursystemer (RAS)
Publikasjoner	(Jonassen et al. 2024)
Prosjekt tittel og lenke	Rent hav – plast: Tracking of plastic emissions from aquaculture industry (TrackPlast). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901519/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901519/</a>
Prosjektleder	Alessio Gomiero, Norce Research AS
Prosjekt-periode	2018-2020
Tema	Analyserte mikroplast i fiskefôr, sjøvann, oppløst organisk materiale, sediment og på gjellene til fisk
Publikasjoner	(Gomiero, Marte Haave, et al. 2020)
Prosjekt tittel og lenke	Surveying microplastic release from aquaculture nets and ropes using different technologies for emission reduction (SMARTER). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901820/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901820/</a>
Prosjektleder	Prosjektleder Andy Booth, SINTEF Ocean AS
Prosjekt-periode	2023-2025
Tema	Testet utslipp av mikroplast blant annet fra notlin av nylon og HDPE når nota ble spylt eller rengjort med kavitasjon eller børsting med Watbot (autonom vaskerobot, daglig børsting på begge sider av nota).
Publikasjoner	(Booth et al. 2025)

### 1.1.3. Effekter på fiskehelsen som følge av notvask

Nota rengjøres for at vannutvekslingen skal bli bedre, oksygennivåene høyere og avfall lettere fraktes ut av merden slik at fiskevelferden blir bedre. Likevel blir laksen midlertidig utsatt for alt som frigjøres fra nettet under notvasken og det kan gi negative effekter. Når nota spyles kan laksen utsettes for mer enn 40 ganger mer partikler enn vanlig for opptil 30 timer (Bloecher, Broch, et al. 2024). Groe blir til grums og laksen utsettes for nesleceller og andre partikler som kan stresser fisken, redusere appetitten, skade gjellene og gjøre den mer mottakelig for infeksjoner (Floerl, Sunde, og Bloecher 2016; Bloecher og Floerl 2021). Laksen kan også bli utsatt for partikler av impregnering, biocider i impregneringen og mikroplastpartikler som slites av nota når den rengjøres. Støy og vibrasjoner fra notvask (spesielt fra høytrykksspyling) kan også være stressende. Dette kan redusere fiskevelferden. Resultater fra ETNA-prosjektet viser imidlertid at det ikke nødvendigvis er mengden partikler som har størst betydning, men snarere typen partikler som frigjøres. Spesielt kan nesleceller fra hydroider som *Ectopleura larynx* forårsake gjelleskader (Olsen et al. 2025). I vårt prosjekt hadde vi dessverre ikke mulighet til å påvise forekomst av hydroider, men dette kan være en viktig faktor å monitorere i framtidige undersøkelser av effekter av notvask.

**Gjellehelse.** Gjellene har stor betydning for fiskens fysiologiske tilstand og helse. Gjellene er ikke kun viktige for respirasjon, men også for osmoregulering og opptak av nødvendige mineraler som f.eks. kalsium. Det er kun et tynt cellelag som skiller mellom omgivelsene og blodbanen, og gjellene har derfor også en meget viktig barrierefunksjon. På grunn av det store volumet av vann som fisken kontinuerlig presser gjennom gjellene er de mye i kontakt med omgivelsene og derfor utsatt for skade. Gjellenes transportkapasitet for ioner avhenger både av epitelets overflateareal og tykkelse. Mindre overflateareal og økt tykkelse kan derfor føre til betydelig reduksjon i gjellenes evne til utveksling av respirasjonsgasser og transport av ioner. Mye partikulært materiale i vannet kan gi skader og forhindre gjennomstrømningen av vann mellom gjellefilamentene. Dette vil redusere overflatearealet, og kunne føre til etterfølgende irritasjon og inflammasjon som øker tykkelsen på epitelet, og dermed forårsake en ytterligere reduksjon av transportkapasiteten. Eksempler på ikke-infeksiøse agens som kan gi gjelleproblemer er bl.a. humuspartikler, phytoplankton eller organismer som begror nøter (Rodger, Henry, og Mitchell 2011; Bloecher, Powell, et al. 2018). No-Gro bygger videre på erfaringer fra prosjektene beskrevet i Tabell 2. Det har blitt gjort endel forskning på negative effekter av *Ectopleura larynx*, en kolonidannende hydroide som er en av de vanligste begroingsorganismene i Nord-Europa. Fragmenter av hydroiden som frigjøres når nota spyles kan skade gjellene til laksen *Ectopleura larynx* (Bloecher, Østevik, et al. 2024; Bloecher, Powell, et al. 2018)(Figur 1). Fragmentene av hydroidene kan transporteres flere kilometer etter notvask (Bloecher, Broch, et al. 2024) og individer som er festet til deler merdene som ikke vaskes så ofte sprer mange larver som fører til rask rekolonisering etter notvask (Bloecher, Floerl, og Sunde 2015). Ikke alle studier viser tydelige gjelleskader etter notvask (Østevik et al. 2022; Elsheshtawy et al. 2023; Nylund et al. 2022). Nylund *et al.* viste at spyling av nøter ikke ga vevsendringer i gjellevevet og kun hadde en mindre påvirkning på prevalens og tetthet av patogener (Elsheshtawy et al. 2023; Nylund et al. 2022). Østevik *et al.* viste at eksponering for groemateriale ved notvask kun førte til en liten og kortvarig effekt på gjellehelsen som antagelig var av liten klinisk betydning, og de konkluderte med at mer kunnskap trengs for å avgjøre eventuell betydning av notvask og eksponering for groemateriale for gjellehelsen (Østevik et al. 2022)



**Figur 1.** Histologisk snitt av gjellefilament som er blitt skadet etter kontakt med hydroider. Det kan oppstå vevsskader når begroingen kommer i kontakt med gjelleepitelet. Slike skader svekker barrierefunksjonen til gjellene og baner trolig vei for sekundærinfeksjoner (Baxter et al. 2012; Floerl, Sunde, og Bloecher 2016).

**Stress: kortisolmetabolitter i feces.** Fra mennesker er det veldokumentert at forhøyede nivåer av stresshormonet kortisol fører til langsommere sårheling (Gouin og Kiecolt-Glaser 2011). Det er også velkjent at respirasjonsrelaterte sykdommer hos mennesker er assosiert med stress, og at stress kan forverre respiratoriske lidelser som f.eks. astma (Priftis et al. 2009). Konvensjonell notspyling ser ut til å kunne være stressende i seg selv, og Stene et al. 2018 målte økte nivåer av stresshormoner (kortisolmetabolitter) i feces dagen etter notspyling. Fisken bruker cirka 18-24 timer på å omdanne sirkulerende kortisol og utskille denne via fase-II-metabolitter i gallen. Dette betyr at fisken ble stresset under selve operasjonen. I perioden fra mai til november er det ikke uvanlig at noten må rengjøres ukentlig (Carl, Guenther, og Sunde 2011), hvilket betyr at fisken risikerer å bli utsatt for gjentakende stress over lange perioder. I vårt prosjekt (No-Gro) har vi benyttet nivået av kortisol-metabolitter i feces som en objektiv og kvantitativ metode for vurdering av stress og velferd til laksen. Analysemetoden, som nylig ble utviklet og publisert (Meling et al. 2022), baserer seg på enzymatisk hydrolyse, væske-væske ekstraksjon, derivatisering, og måling med væskrokromatografi koblet til tandem-massespektrometri (LC-MS/MS).

**Tabell 2.** Prosjekter med fokus på gjellehelse og notspyling.

Prosjekt tittel og lenke	Risiko for fiskehelse og biosikkerhet på oppdrettsanlegg relatert til begroingshåndtering i norsk lakseoppdrett (STING). <a href="https://prosjektbanken.forskingsradet.no/project/FORISS/244444">https://prosjektbanken.forskingsradet.no/project/FORISS/244444</a>
Prosjektleder	Nina Blöcher, SINTEF Ocean AS
Prosjekt-periode	2015-2018
Finansiering	Forskningsrådet, HAVBRUK2-Stort program for havbruksforskning, personlig stipend
Notvask-teknologi	Effekter av hydroide på gjellehelse og spredning av groe ved notspyling.
Publikasjoner	(Bloecher, Broch, et al. 2024), (Bloecher, Powell, et al. 2018), (Bannister et al. 2019)
Prosjekt tittel og lenke	Risikofaktorer, indikatorer og strategisk håndtering av gjellelidelser hos atlantisk laks (GILLRISK). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901515/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901515/</a>
Prosjektleder	Marta Alarcon, PHARMAQ Analytiq AS
Prosjekt-periode	2018-2022
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	Spyling
Publikasjoner	(Østevik et al. 2022)
Prosjekt tittel og lenke	Gill disease in Atlantic salmon- studies of multiple factors in challenge models. NFR 233858/E40
Prosjektleder	Anne-Gerd Gjevne
Prosjekt-periode	2014-2018
Finansiering	Forskningsrådet, HAVBRUK2-Stort program for havbruksforskning
Notvask-teknologi	Labforsøk med høytrykkspyling av nett med hydroider
Publikasjoner	(Bloecher, Powell, et al. 2018)
Prosjekt tittel og lenke	Effekter av behandling mot lakselus, amøbegjellesykdom (AGD), og notrengjøring på gjellehelse hos laks i oppdrett. <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901514/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901514/</a>
Prosjektleder	Are Nylund, Universitetet i Bergen (UiB) (+ Trond Einar Isaksen, NORCE)
Prosjekt-periode	2018-2022
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	Effekter av notspyling på gjellehelsen.
Publikasjoner	Sluttrapport: (Nylund et al. 2022), (Elsheshtawy et al. 2023)
Prosjekt tittel og lenke	Program rensefisk: Bruk av rognkjeks i merd. <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900979/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900979/</a>
Prosjektleder	Albert K. D. Imsland, Akvaplan-niva AS
Prosjekt-periode	2014-2017
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	Forklarer utfordringer med helsen til rensefisk når nota spyles
Publikasjoner	Sluttrapport: (Imsland og Nytrø 2017)
Prosjekt tittel og lenke	Utvikling av et diagnoseverktøy for gjelleskader fra nesledyr (HydroDetect). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901910/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901910/</a>
Prosjektleder	Nina Blöcher, SINTEF Ocean AS
Prosjekt-periode	2024-2025
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	Kun spyling
Publikasjoner	Avsluttes i 2025

#### 1.1.4. Ulike metoder for å fjerne begroing fra nøtene

For å redusere begroingen brukes det ofte antigroemidler på nøtene, men dette er ikke nok til å hindre begroing. I tillegg spyles groen av nota med høyt (opp til 350 bar) eller lavt (50-150 bar) trykk når det er behov (Bloecher og Floerl 2021; Bannister et al. 2019). Fordeler og ulemper med antigroemidler, antigroemidler kombinert med periodisk notvask, og kontinuerlig rengjøring av nettet med bruk av roboter (grooming) er grundig diskutert i oversiktsartikkelen til (Bloecher og Floerl 2021), og (Bannister et al. 2019) omhandler utfordringer med og behandling av begroing i all slags akvakultur globalt. I vekstsesongen (sommer-høst) blir nøtene rengjort med kun en til to ukers mellomrom (Bloecher et al. 2019; Bannister et al. 2019). I de senere årene har det blitt testet ut ulike typer av roboter som skal fjerne groe før den blir et problem for laksen og miljøet. Det er utviklet flere typer av børste-roboter i tillegg til roboter som bruker vakuumsug eller kavitasjon (luftbobler mikses inn i vannstrålen for å få myk stråle). Tabell 3 gir en oversikt over roboter som er i bruk og Tabell 4 gir en oversikt over FHF og NFR prosjekter som omhandler notvask. I No-Gro prosjektet har vi testet en prototype av Remora-roboten (se kapittel 3.1.2).

Mange av de negative effektene av begroing og bekjempelse av begroing kan reduseres hvis man utvikler teknologi som fjerner groe før den rekker å utvikle seg (undervanns robotgressklippere, se Tabell 3). For å redusere negative effekter på miljøet og laksen er det viktig at robotene er så effektive at man ikke trenger å bruke impregnering på nota. Da vil det blir mindre utslipp av organisk materiale, fremmede arter, skadelige nesleceller, patogener og biocider. Hvis teknologien er mer stillegående så kan man også redusere støy-stresset for laksen. Når vaskerobotene blir optimalisert slik at de klarer å holde nota ren for groe uten bruk av antigroemiddel og uten behov for spyling kan det bli mulig for oppdrettsnæringen å slutte med impregnering med biocider og periodisk spyling av nettet og det vil redusere risiko for de negative effektene på fiskehelse og miljø beskrevet over. Likevel er det viktig å finne ut om bruken av roboter som rengjør nota kontinuerlig vil føre til mer eller mindre utslipp av mikroplast enn periodisk spyling. Det har vært et mål å finne ut dette i No-gro prosjektet. CO<sub>2</sub>-avtrykket til oppdrettsanlegget kan også reduseres hvis man slipper å ha en båt som kommer for å spyle nota så ofte som en gang i uken. De fleste båtene bruker fossilt drivstoff, mens flere av vaskerobotene er elektriske. Oppdretterne bruker i dag mye penger på periodisk spyling og antigroemiddel (Bloecher og Floerl 2021). På sikt kan vaskeroboter bli mindre kostbare enn spyling og impregnering av nota med biocider.

**Tabell 3.** Oversikt over ulike typer vaskeroboter for rengjøring av nøter.

Notvask-teknologi	Informasjon fra nettsiden til produsenter av vaskeroboter for oppdrettsnot
Børste-robot	Remora, en robot med børster fra Remora Robotics, <a href="https://remorarobotics.no/">https://remorarobotics.no/</a> Kontinuerlig børsting av nota. Elektrisk drevet.
Børste-robot	Halo, en børste-robot fra Aqua Robotics, <a href="https://aquarobotics.no/">https://aquarobotics.no/</a> Kontinuerlig børsting. Ifølge nettsiden skal børstene rengjøre både på innsiden og utsiden av nota. Elektrisk drevet.
Børste-robot	Watbots, en 2-sidig robot med børster, <a href="https://watbots.com/">https://watbots.com/</a> Kontinuerlig børsting på begge sider av nota (magnetiske belter).
Robot med kavitasjon	Axunda Ray, ROV med kavitasjonsvaskesystem fra MEOX, <a href="https://meox.no/notvask/">https://meox.no/notvask/</a> Nota vaskes med kavitasjons prinsippet hvor luftbobler mikses inn i vannstrålen for å få myk stråle. Bruker lite vann og lavt trykk. Diesel drevet.
Robot med vakuumsug	PROBOT, en robot med vakuumsug fra Probot AS, <a href="https://www.probotic.no/probot">https://www.probotic.no/probot</a> Kabelbasert vaskerobot som bruker vakuumsug. Ifølge nettsiden renser den både innsiden og utsiden av nota. Elektrisk drevet.
Spyle-robot	Stealth Cleaner, en spyle-ROV fra Ocein (Ocean Innovations), <a href="https://www.ocein.no/en/net-cleaner/">https://www.ocein.no/en/net-cleaner/</a> Vasker med stor vannmengde og lavt trykk. Elektrisk drevet.
Spyle-robot	Ryakva spyling fra innsiden og ut, 400 liter ved 100 bar.

**Tabell 4.** Prosjekter der ulike typer av notvask-teknologi har blitt testet.

Prosjekt tittel og lenke	Integrasjon av teknologi og tjenester for bærekraftig rengjøring av oppdrettsnot på lakseoppdrettsanlegg (NOTVASK) <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/en/project/FORISS/245480">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/en/project/FORISS/245480</a>
Prosjektleder	Nina Blöcher, SINTEF Ocean AS
Prosjekt-periode	2015-2019
Finansiering	Forskningsrådet, HAVBRUK2-Stort program for havbruksforskning, Innovasjonsprosjekt i næringslivet
Notvask-teknologi	Feltforsøk (rammer med nett) der ulike metoder for notvask ble sammenlignet: kavitasjonsspyling (CaviDome 1222 unit, CaviDyne, modified by PSO, Norway), lav- og høytrykksspyling (Lerow AS, Norway), sugevasking (prototype, SINTEF)
Publikasjoner	Review: (Bloecher og Floerl 2021), feltforsøk: (Bloecher et al. 2019)
Prosjekt tittel og lenke	Tetherless robot for biofouling prevention and inspection in salmon farming (NetClean 24/7). <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/296392">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/296392</a>
Prosjektleder	Nina Blöcher, SINTEF + REMORA ROBOTICS AS
Prosjekt-periode	2019 - 2022
Finansiering	Forskningsrådet, MAROFF-2-Maritim virksomhet og offshore operasjoner 2, Innovasjonsprosjekt i næringslivet
Notvask-teknologi	Teknologiutvikling av Remora roboten som har børster og skal vaske nota kontinuerlig, <a href="https://remorarobotics.no/">https://remorarobotics.no/</a>
Publikasjoner	(Skaldebø et al. 2023), (Haugalokken et al. 2021), (Føre et al. 2021), (Ohrem, Kelasidi, og Bloecher 2020)
Prosjekt tittel og lenke	Utvikling av autonom og trådløs renhold av not <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/327851">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/327851</a>
Prosjektleder	Albert Sans Muntadas, PROBOTIC AS (samarbeidspartner Cermaq Norway)
Prosjekt-periode	2021-2023
Finansiering	Forskningsrådet, HAVBRUK2-Stort program for havbruksforskning, Innovasjonsprosjekt i næringslivet
Notvask-teknologi:	Probot AS, PROBOT: kabelbasert vaskerobot (ikke trådløs) som bruker skånsomt vakuumsug og renses både innsiden og utsiden av notlinet. <a href="https://www.probotic.no/probot">https://www.probotic.no/probot</a>
Publikasjoner	Kun sammendrag i Prosjektbanken
Prosjekt tittel og lenke	Effekter av notvask ved bruk av kavitasjonsmetoder på miljø og fiskevelferd (ETNA). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901819/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901819/</a>
Prosjektleder	Lasse Mork Olsen, Aqua Kompetanse AS
Prosjekt-periode	2023-2025
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	MEOX: not vaskes med kavitasjons prinsippet hvor luftbobler mikses inn i vannstrålen. <a href="https://meox.no/notvask/">https://meox.no/notvask/</a>
Publikasjoner	Avsluttes i 2025
Prosjekt tittel og lenke	Fjerning av begroing på nøter med kontinuerlig børsting versus spyling: Sammenligning av effektivitet, fiskehelse, miljø og kostnader (No-Gro), <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901783/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901783/</a>
Prosjektleder	Renée K. Bechmann, NORCE
Prosjekt-periode	2023-2025
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Notvask-teknologi	Remora børsterobot og spyling
Publikasjoner	Dette er sluttrapporten

## 1.2. Prosjektets omfang

### Feltforsøk i kommersielt oppdrettsanlegg (Mowi-Pinnen)

- ✓ Mengde begroing, fiskehelse og utslipp av mikroplast ble sammenlignet for en merd som ble rengjort med Remora robot (som skal børste begroingen av nota kontinuerlig) og en merd som ble periodisk spylt (Ryakva spyling fra innsiden og ut, 400 liter ved 100 bar). Nøtene i begge merdene var HDPE og var ikke behandlet med kobber eller annen impregnering.
- ✓ Mengde begroing på nota ble dokumentert basert på manuell bildeanalyse. Bildene ble tatt av en robot med børster i den ene merden og en robot uten børster i den andre merden. Informasjon om antall ganger nøtene ble spylt er også inkludert.
- ✓ Fiskehelse og velferd ble dokumentert ved å analysere kortisolmetabolitter i feces fra laksen for å sjekke om fisken var stresset og å undersøke om fisken hadde gjelleskader (histologi, eDNA microbiom). Oppdretter bidro med data på vekst og overlevelse av laksen i de to merdene på Pinnen.
- ✓ Når det gjelder mulige miljøeffekter av å bruke børsterobot istedenfor periodisk spyling ble det fokusert på å analysere utslipp av mikroplast når rengjøring av nota pågikk. Vann ble filtrert og sedimentfeller satt ut ved siden av de to merdene og på en referansestasjon.
- ✓ I tillegg ble graden av begroing dokumentert for seks merder fra Mowi-Buksevika der Remora roboten ble brukt for å rengjøre nøtene. Informasjon om antall ganger nøtene ble spylt er også inkludert.
- ✓ I tillegg var det et mål å videreutvikle algoritmer som automatisk kan oppdage både begroing og hull i nøter.

### Labforsøk (NORCE Mekjarvik)

Mengde mikroplast og organisk materiale frigitt under børsting og spyling av HDPE og nylon not med naturlig groe ble sammenlignet i et nytt forsøksoppsett utviklet for å gjøre realistiske tester under kontrollerte betingelser i lab. To typer børster for Remora roboten ble testet i tillegg til høytrykksspyling; den originale børsten brukt blant annet i feltforsøket på Pinnen i 2023-2024, og en ny type børste (dual parallell børstemodul).

## 1.3. Prosjektorganisering

FHF-ansvarlig var Renate Johansen, fagsjef for Havbruk og miljø. Referansegruppen besto av Ronny Jacobsen (Nordlaks Oppdrett AS, Områdesjef, Troms) og Kim Levik (MOWI ASA- Global R&D, Project Manager Seawater Technology).

Renée Katrin Bechmann fra NORCE ledet prosjektet. Thierry Baussant (NORCE) ledet [AP1 Effektiviteten til renseteknologiene](#) og Helena Hauss (NORCE) gjorde de manuelle bildeanalysene. David Knudsen (FishLab) ledet [AP2 Fiskehelse](#) og utførte analyser av kortisolmetabolitter sammen med Cato Brede (FishLab). Mona Gjessing (Veterinærinstituttet) var ansvarlig for analyse av gjellehistologi (AP2). Andrea Bagi (NORCE) utførte analyser av miljø-DNA mikrobiom på laksens gjeller (AP2). Alessio

Gomiero (NORCE) ledet **AP3 Miljø** og var ansvarlig for FTIR analysene av mikroplast både fra feltforsøket og labforsøket. Adrián Jaén-Gil (NORCE) var ansvarlig for GC-MS analysene av mikroplast og fikk hjelp på laben av Eva Kjellesvig (NORCE).

**Labforsøket.** Alan Le Tressoler og Christian Andreas Hansen (NORCE) utviklet et forsøksoppsett for å kunne ta time-lapse bilder av testpaneler med not når den ble rengjort med ulike typer teknologi. Alan utviklet rigg for høytrykksspyling i labforsøket, Christian hadde ansvar for fotografering og gjennomførte alle testene med børsting og spyling av testpanelene i laben inkludert å ta prøver for analyse av mikroplast og organisk materiale.

Remora Robotics AS (teknologileverandør basert i Stavanger) bidro med robot og organiserte all notvask i feltforsøket. Remora hadde hovedkontakten med Rolf Berg i Mowi og med driftslederne på MOWIs lokaliteter Pinnen og Buksevika. Remora bidro med informasjon om spylefrekvens og oppetid for robotene, leverte bilder av nota fra robotene på Pinnen og i Buksevika, laget testpaneler og rig/børstemoduler til labforsøket, hadde ansvar for å sette ut og sjekke testpanelene i felt, og diskutere forsøksdesign i felt og lab med forskerne. Remora har også videreutviklet algoritmer for automatisk å oppdage begroing og hull i nøtene. Leiv Midthassel fra Remora initierte No-Gro prosjektet og deltok aktivt i å skrive søknaden og følge opp prosjektet. Christoffer Apneseth var kontaktperson i Remora i 2024 og fram til midt i september 2025. I tillegg har mange andre Remora-ansatte vært involvert i No-Gro-prosjektet. Ryakva, som er eid av Remora Robotics, utførte spyling av nøtene i feltforsøket på Pinnen og i Buksevika.

## 1.4. Problemstilling og formål

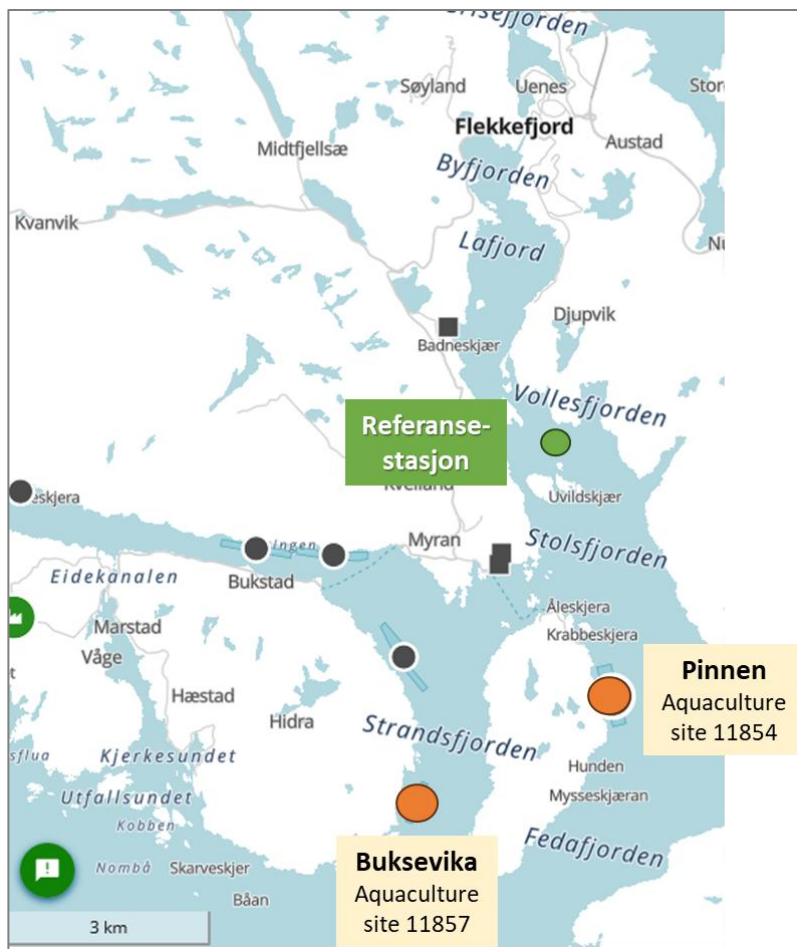
Feltforsøket hadde som mål å dokumentere: 1) hvor effektivt prototypen av Remoras børsterobot klarte å rengjøre en uimpregnert not i et kommersielt oppdrettsanlegg; 2) om fiskehelsen ble bedre i en not som ble børstet kontinuerlig sammenlignet med en not som ble periodisk spylt; 3) mengden mikroplast som slippes ut under rengjøring av nøtene; 4) videreutvikle algoritmer som automatisk kan oppdage både begroing og hull i nøter.

Labforsøket hadde som mål å dokumentere mengde organisk materiale og mengde mikroplast frigitt fra nylon-nett og polyetylen-nett når de ble børstet med to ulike børstemoduler eller høytrykkspylt under kontrollerte betingelser i lab. Testpanel med nylon- og polyetylen-nett hadde stått ute i sjøen før forsøket ble utført.

## 2. Metoder og prosjektgjennomføring

### 2.1. Feltforsøk

Det ble gjort feltforsøk på lokalitet 11854 Pinnen<sup>4</sup> og lokalitet 11857 Buksevika<sup>5</sup> som begge ligger i produksjonsområde 1 (Svenskegrensen til Jæren), i Flekkefjord kommune i Agder (Figur 2). Innehaver for begge lokalitetene er Mowi seawater Norway AS.



**Figur 2.** Kart-utslitt fra Barentswatch.no som viser lokalitetene der feltundersøkelsene ble gjort og hvor referansestasjonen lå.

#### Feltforsøk på Mowi-Pinnen

Målet i feltforsøket på Pinnen var å sammenligne kontinuerlig børsting med Remora robot i Merd 2 med tradisjonell spyling i Merd 1 (Figur 3). Merdene var 160 meter i diameter. Begge merdene hadde HDPE-nøter uten noen form for impregnering. Det ble plassert en robot uten børster i Merd 1 for å

<sup>4</sup> Pinnen: <https://sikker.fiskeridir.no/akvakulturregisteret/web/sites/11854>

<sup>5</sup> Buksevika: <https://sikker.fiskeridir.no/akvakulturregisteret/web/sites/11857>

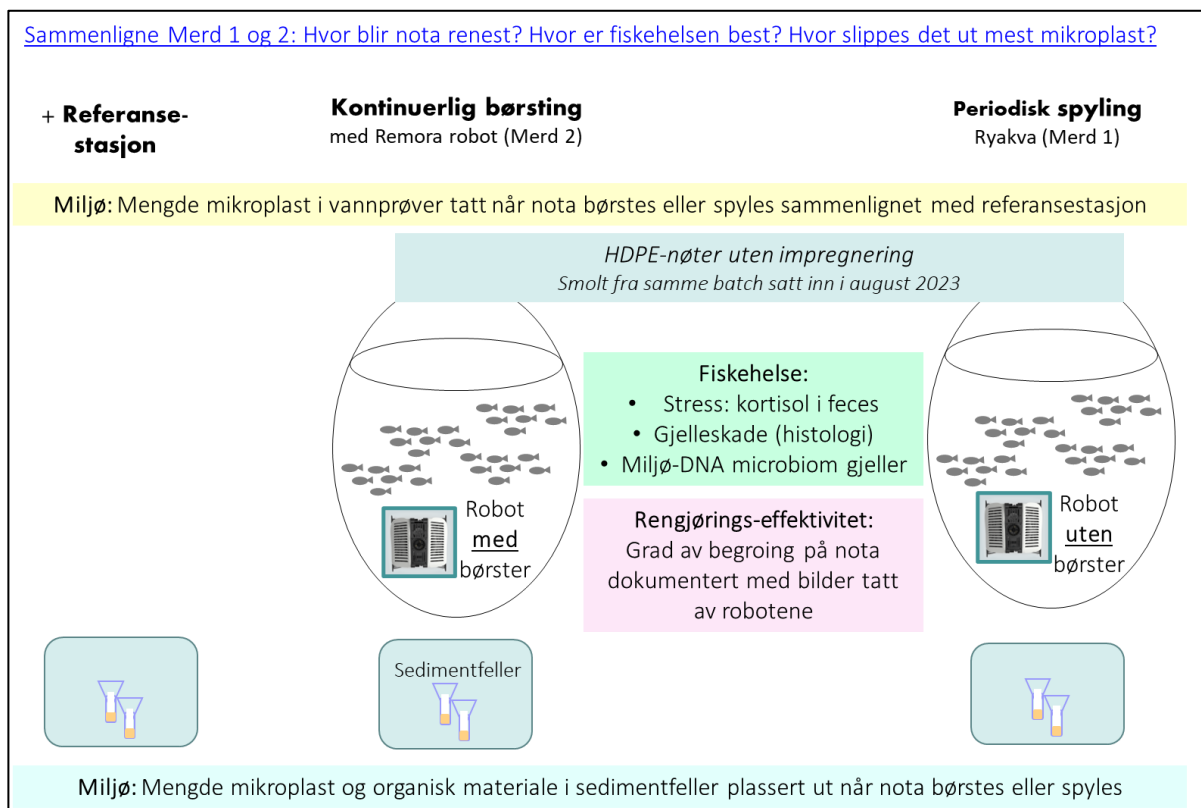
dokumentere begroing på nota på samme måte i begge merdene. Remora roboten er beskrevet i kapittel 3.1.2.

Laks fra samme batch ble plassert i de to merdene som inngår i feltforsøket på Pinnen den 19. august 2023. Snittstørrelsen i merd 1 var 179 gram mens fisken i merd 2 var 142 gram. Begge smoltgruppene kom fra Mowi sitt settefiskanlegg Fjellsæ i Flekkefjord. Fisken var ikke sortert ytterligere etter vaksinerings og ble satt ut slik at et kar fra Fjellsæ ble satt ut i merd 1 og et annet kar i merd 2.

Målet med feltforsøket på Pinnen var å sammenligne:

- Begroing på uimpregnert HDPE not rengjort enten med kontinuerlig børsting med en prototype av Remora roboten eller periodisk trykk-spyling (Ryakva spyling fra innsiden og ut, 400 liter ved 100 bar). Begroingen ble vurdert ved bruk av manuell bildeanalyse.
- Fiskehelsen i de to merdene. Stressnivået til laksen ble overvåket ved å analysere kortisol-metabolitter i feces og gjelleskade med histologiske undersøkelser og mikrobiom på gjellene med miljøDNA.
- Mengden mikroplast som frigis under notvask med robot eller spyling ble undersøkt.

Se kapittel 2.6 om prosjektgjennomføring.



Figur 3. Figuren gir en oversikt over hva som ble gjort i feltforsøket på Pinnen.

### Feltforsøk på Mowi-Buksevika

Merdene i Buksevika var 160 meter i diameter og det ble brukt nylon-nøter impregnert med Netpolish NP Super Rød (<https://netkem.no/produkter/netpolish-np-super>). Netpolish NP skal beskytte mot mekanisk slitasje på notlin og kan ifølge produsenten benyttes i økologisk produksjon. Alle nøtene ble rengjort med kontinuerlig børsting med prototypen av Remora robot. Laksen ble satt i merdene 7-18. september 2023 (130-180 gram). Bildeanalyse av begroing ble gjort for seks merder.

## 2.2. Bildeanalyser for å dokumentere effekt av notvask

Roboten var utstyrt med flere kameraer som dekker selve nota og omgivelsene (inn i nota, ned/opp). Alle data, inklusive video, overføres i nær sanntid til Remora sin infrastruktur for filtrering, lagring og analyse. En datastrøm sendes til et dashboard som visualiserer roboten og aktuelle sensorlesinger, mens en annen datastrøm går inn i algoritmene som er under utvikling for deteksjon av skade på not og prediksjon av begroing

For å kunne klassifisere graden av begroing basert på bilder fra direktestrømmen har Remora levert ukentlige bilder av merdene i Buksevika og Pinnen, som ble delt inn i fire sider (nord, øst, sør, vest) og dybder (0, 0,5, 3, 5, 15, 22 m). Bildene ble deretter manuelt klassifisert i begroingskategorier for statistisk analyse av effekten av de ulike rengjørings tiltakene over tid. Begroingsrangeringene var basert på MOWIs retningslinjer, ("Procedure for control and classification of marine fouling on nets", 2019, Figur 4) med følgende kategorier:

- Rang 0: Ingen begroing. Ingen synlig slim eller begroingsorganismer til stede. Visuelt estimat: 0 %
- Rang 1: Begroing av slim: Kun slimbegroing, ingen organismer til stede. Visuelt estimat: 5 % av overflaten på nettprøven
- Rang 2: Lett begroing: Slime og/eller begynnende begroingsorganismer til stede i små flekker. Visuelt estimat: <10 %
- Rang 3: Moderat begroing: Slim og/eller flekkvis forekomst av begroingsorganismer. Visuelt estimat: 10-34 %
- Rang 4: Kraftig begroing: Begroingsorganismer på det meste av notprøven. Visuelt estimat: 35-64 %
- Rang 5: Betydelig begroing: Begroingsorganismer på omtrent halvparten av notprøvene. Visuelt estimat: 65-90 %
- Rang 6: Svært kraftig begroing: Begroingsorganismer dekker nesten hele notoverflaten og inkluderer en del av maskeåpningene. Visuelt estimat >90 % av notprøvens overflateareal.

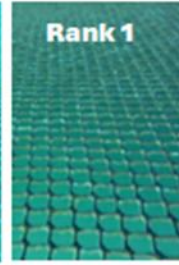
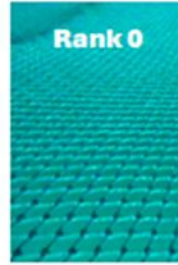
Senere kan dette sorterte bildedatasettet også brukes til å trene opp en maskinlæringsklassifisering for automatisk klassifisering. På grunn av de ulike bildevinklene, synsfeltet, objektene i bildet og belysningen er det imidlertid sannsynlig at en manuell validering vil være nødvendig.

## Bilder fra Pinnen

**MOWI**  
Procedure for control  
and classification of  
marine fouling on nets,  
Large in cage sample

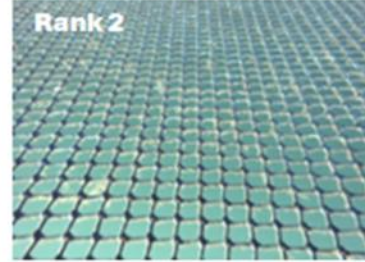
**Rank 0:** No fouling

**Rank 1:** Slime fouling



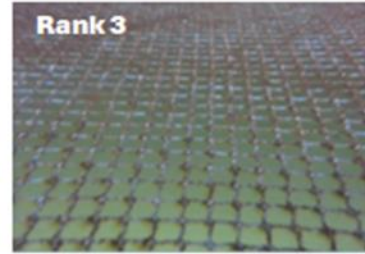
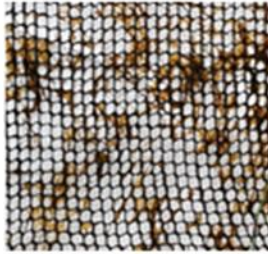
**Rank 2:** Light fouling

Vurder å vaske hvis det er hydroider



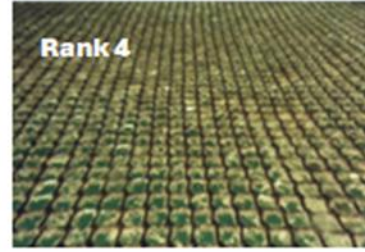
**Rank 3:** Moderate fouling

Rengjøring av nettet er påkrevd



**Rank 4:** Heavy fouling

Rengjøring av nettet er påkrevd



**Rank 5:** Considerable  
fouling

Rengjøring av nettet er påkrevd



**Rank 6:** Very heavy fouling

Rengjøring av nettet er påkrevd



Ingen rank 6

**Figur 4.** Eksempelbilder for «ranks» av begroing fra MOWIs manual og bilder tatt av Remora roboten i No-Gro prosjektet.

## 2.3. Metoder brukt for å sjekke fiskehelse og velferd

Fiskehelsen i merden som ble spylt på konvensjonell måte og merden som ble kontinuerlig børstet og kun spylt når børstingen ikke var strekkelig til å holde notposen ren ble sammenlignet. Stressnivået ble overvåket ved å analysere kortisolmetabolitter i feces fra laksen. Gjellehelsen ble undersøkt via PCR-screeninger for agens, og gjennom histologiske undersøkelser. I tillegg ble det gjort en målrettet PCR-screening for agenser, utføres metastrekkekoding-basert profilering av gjelle-mikrobiom og sjøvann fra merdene. Appetitt og dødelighet ble fulgt opp daglig og registrert gjennom produksjonssystemet Mercatus Farmer. Fisken føres til appetitt av fôringspersonell som sitter på lokaliteten. Merdene ble sjekket daglig for dødfisk som pumpes opp med lift-up og registreres i produksjonssystemet.

I løpet av de 11 måneder som fiskegruppene ble fulgt ble det gjort 10 uttak, henholdsvis den 28. aug., 7. sep., 10. okt., 30. okt., 6. mai., 13., mai., 27. mai., 10. jun., 8. jul., og 22. jul. Det ble tatt fecesprøver fra 10 fisk per merd per uttak, totalt 200 fisk. På uttakene den 28. aug., 30. okt., og 6. mai. ble det i tillegg til fecesprøver også tatt prøver av gjellene fra 10 fisk per merd, både histologiprøver og gjellesvab for PCR analyse, totalt 60 fisk. Gjelle-svab prøvene ble tatt for mikrobiom undersøkelser (NORCE), og PCR analyse for agenser ble utført av Veterinærinstituttet på gjelleprøver bevart i RNALater.

### 2.3.1. Kortisolmetabolitter i feces fra laks

Stressnivået overvåkes gjennom LC-MS/MS analyser av kortisolmetabolitter i feces. En liten mengde feces strippes ut i forbindelse med lusetelling og holdes fryst på -20°C fram til analyse. Metoden måler mengden av glukoroniderte kortisol-metabolitter, og reflekterer stressnivået til fisken cirka 18-24 timer før prøvetaking, avhengig av magetømmingshastigheten (Meling et al. 2022). Selve prøvetakingen påvirker derfor ikke resultatet, da man ser tilbake i tid. Metoden detekterer også testosteron slik at eventuell begynnende kjønnsmodning kan fanges opp før fisken viser ytre tegn på forandringer. Målingene blir gjort av FishLab AS.

### 2.3.2. Gjellehelse

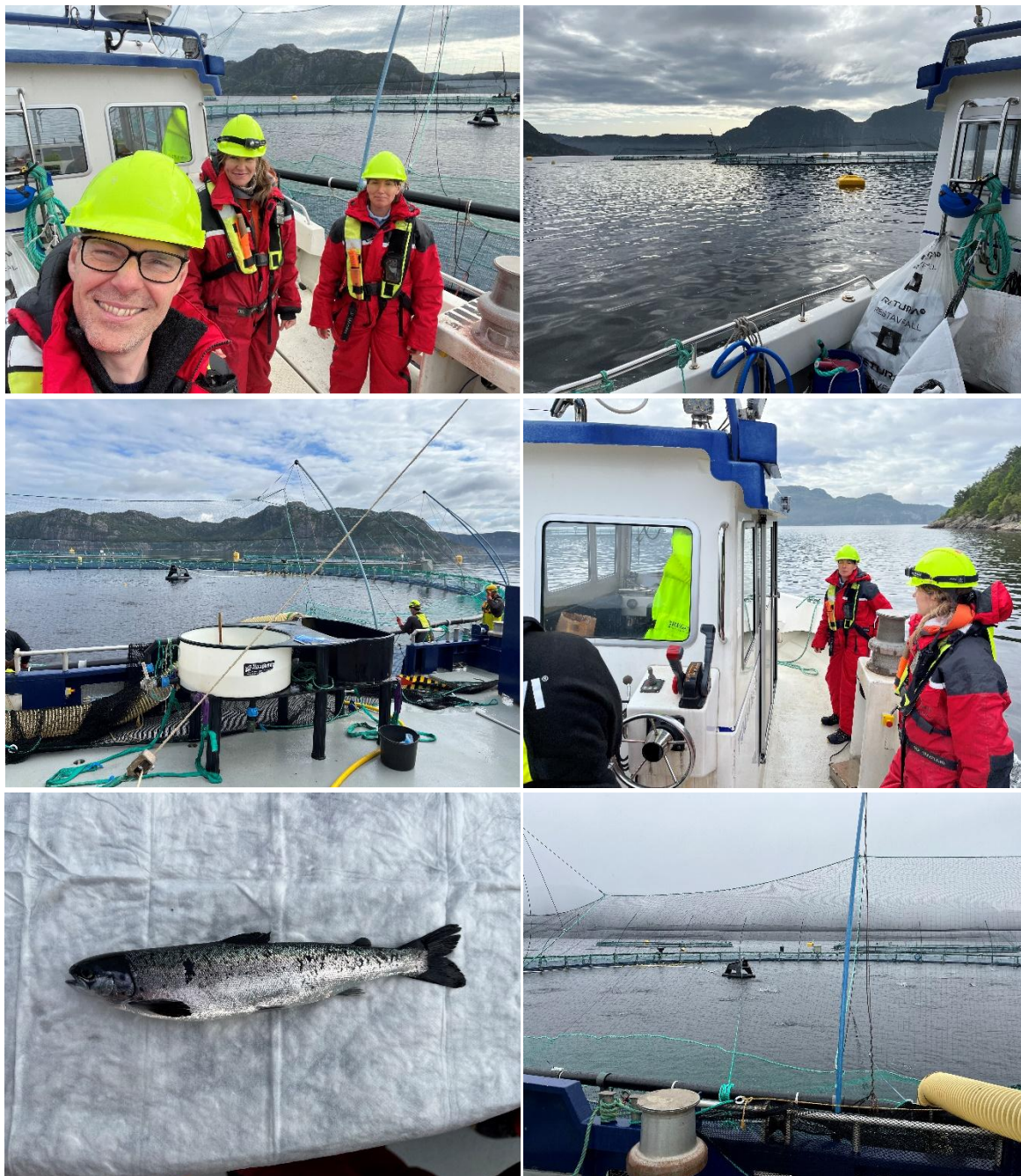
Gjellehelse overvåkes via PCR-screeninger for agens, og gjennom histologiske undersøkelser. PCR for hydrioder var dessverre ikke tilgjengelig ved gjennomføring av prosjektet. Gjellelev til ti fisk i merd 1 og merd 2 ble histologisk undersøkt på tre tidspunkter: august 2023, oktober 2023 og mai 2024. Den andre gjellebuen på venstre side ble formalinfiksert, parafininnstøpt (FFPE), snittet og farget med hematoksylin og eosin. Tilstedeværelsen av inflammatoriske, sirkulatoriske eller adaptive endringer (epitelhyperplasi) ble vurdert og skåret semikvantitativt fra 0 til 3. I tillegg ble gjellene fra de samme fiskene analysert for tilstedeværelse av *Paramoeba perurans* (P.P.), *Ca. branchiomonas cysticola* (BC), salmon gill poxvirus (SGPV) og *Desmozoon lepeophtherii* (DL) som beskrevet tidligere (Gjessing 2021). Veterinærinstituttet er ansvarlig for overvåking av gjellehelsen.

### 2.3.3. MiljøDNA gjeller

I tillegg til målrettet PCR-screening for agenser, utføres metastrekkekoding-basert profilering av gjelle-mikrobiom og sjøvann fra merdene hos NORCE. Denne profileringen er gjort ved hjelp av sekvensering av en DNA-bit som alle bakterier har (rRNA gen), men som varierer i sammensetning (sekvens) mellom ulike bakterietyper. Denne sekvensen (en del av 16S rRNA gen) kan derfor brukes som en «strekkode» for å bestemme bakterietypen ved hjelp av databaser.

Gjelleprøvene tas ved hjelp av sterile vattpinner som sveipes over hele arealet av andre gjellebuen flere ganger for å samle opp mikroorganismer festet på gjellevevet. Vattpinnene blir øyeblikkelig nedsenket i en buffer som bevarer integriteten av DNA. Sjøvann (1 L i triplikater) ble samlet opp fra hver merd, omtrent 1 m unna kanten og på 0,5 m dybde. Vannprøvene ble holdt kalde under transport til NORCE-laboratoriet umiddelbart etter innsamling og ble filtrert på Durapore® PVDF-membranfiltre (0,22 µm porestørrelse, Millipore) ved ankomst til laboratoriet (innen 5 timer). Filtre og vattpinner i buffer ble lagret ved -80 °C inntil DNA-ekstraksjon.

I forkant av sekvenseringsanalysene kvantifiseres det totale bakterieinnholdet i prøven. Dette er gjort ved å måle totalt «antall» DNA-sekvenser i hver DNA prøve ved hjelp av digitalt PCR (dPCR). Deretter utføres den metastrekkekoding-basert profileringen av den samme markør, 16S rRNA. Såkalte biblioteker av 16S amplikoner (kort bitene av DNA amplifisert ved hjelp av PCR) ble laget fra enhver DNA prøve ved bruk av en kommersiell kit (16S Barcoding Kit 24 V14 SQK-16S114.24, Oxford Nanopore Technologies, UK). Disse bibliotekene inneholder strekkedene fra alle bakterier som var til stede på «gjellepinnene», i.e., den metastrekkekoden av hele bakterielle samfunnet på gjellebuen. Sekvensering ble utført på en bærbar MinION sekvenser hos NORCE-laboratoriet i Mekjarvik (Oxford Nanopore Technologies, UK).



*Figur 5. Fiskehelse-gjengen på feltarbeid på Pinnen. David Lausten Knudsen (FishLab), Mona Gjessing (Veterinærinstituttet) og Andrea Bagi (NORCE).*

## 2.4. Analysemetoder for mikroplast

Mikroplast ble analysert med infrarød scanning analysis (FTIR) og pyr-GCMS. Disse analysene gir data på totalt antall mikroplast-partikler, form og størrelse på partiklene og sammensetning og konsentrasjon av ulike typer plast i prøvene. På denne måten kan vi finne fingeravtrykket til plasten i prøvene og dermed lettere finne ut hvor plastforurensningen kommer fra. Metodene er publisert i (Gomiero, Marte Haave, et al. 2020; Gomiero et al. 2019; Haave og Gomiero 2020).

Siden feltforsøket måtte avsluttes tidligere enn planlagt pga tekniske utfordringer (se kapittel 2.6) har det kun blitt analysert to sett med vannprøver og ett sett med prøver av suspenderte partikler fra sedimentfeller. Prøver ble tatt på en referansestasjon uten oppdrett (Figur 2) og ved siden av en merd da den ble rengjort med spyling og ved siden av en merd der roboten børstet nota. Med så få prøver kan man ikke gjøre en statistisk sammenligning av mengden mikroplast sluppet ut da spyling og børsting av nota pågikk, eller en statistisk sammenligning av mengden plast i oppdrettsanlegget og på referansestasjonen. Likevel har resultatene verdi. Analysemetodene blir forklart under og resultatene blir presentert og diskutert i kapittel 3.3.

### 2.4.1. Water sampling and analyses for microplastic content

Water sampling occurred on two sampling sessions the 19<sup>th</sup> of September and the 23<sup>rd</sup> of October 2023. Water samples were collected using the NORCE engineered Large Volumes Microplastics Sampling device (Figur 6) during normal net cleaning procedure operation at both pen #1 and Pen #2 at the MOWI Pinnen production site as well as at reference site. The water was pumped through the NORCE's customized, stainless steel multi-layered sieving system. Two sieves with certified 300 µm and 10 µm mesh sizes were used for the collection of the samples. The total amount of filtered water per sample was recorded (Table 5). After each of the sampling session, the device was opened, and the filters collected in pre cleaned petri dishes and stored in dark and cold condition prior to analysis.



**Figur 6.** NORCE engineered MPS sampling device.

**Tabell 5.** Volumes of sampled seawater during field activities at Mowi Pinnen production site and at the reference site.

Sampling site	Latitude	Longitude	Sampling date	Recorded volume (L)	Surface current direction
Merd 1: Spyling	N 58 13 156	E 6 41 116	19.09.2023	150	SSW
Merd 2: Børsterobot	N 58 13 156	E 6 41 118	19.09.2023	170	N
Referanse stasjon	N58 15 187	E 06 40 071	19.09.2023	145	SW
Merd 1: Spyling	N 58 13 156	E 6 41 116	23.10.2023	320	SSW
Merd 2: Børsterobot	N 58 13 156	E 6 41 118	23.10.2023	310	SSW
Referanse stasjon	N58 15 187	E 06 41 11	23.10.2023	321	SW

Samples were delivered chilled to the NORCE PlastLab. The PlastLab is a specifically designed area for microplastics research at the NORCE marine research facility in Mekjarvik, Norway. The PlastLab is equipped with high efficiency ultra-low penetration HEPA filtration with an efficiency of > 99 % for the most penetrating particle size (0.3-0.5  $\mu\text{m}$  particles). The laboratory has overpressure, and the entrance has an airlock with a sticky floor mat to avoid dust entry. All solutions for sample preparation, and all final solutions were filtered using 0.7  $\mu\text{m}$  glass fiber filters before use. All tools and glass equipment were covered with aluminum foil and burned in a muffle oven at 500°C for at least 5 hours to remove plastic contamination. At the same time, all reagents and solutions used during the sample preparation and analyses are analyzed for MP occurrence (procedural control).

#### 2.4.2. Sedimented particulate matter sampling for microplastic analyses

Sinking particles were collected by means of two sediment traps with 2 tubes and steering fin (type 28.100 KC, Denmark) consecutively connected on the same line installed outside the pen at a depth of -15 m on 23 October 2023 underneath the production pontoons at pen 1 and 2 as well as on a reference site. The sediment traps sampled particulate material during one hour at each site during netcleaning in the aquaculture farm. The brine in each of the sediment traps (3620  $\pm$  15 ml) were transferred into metal jars, transported and stored in cold and dark conditions. A day later in the laboratory, particles were concentrated by sieving the water through a sieve with 10  $\mu\text{m}$  mesh size and material stored frozen until further analysis. For each sample the dry weight was determined by drying the sample overnight at 50 °C. Obtained data are reported in Tabell 6.

**Tabell 6.** Amount of sedimented particulate matter obtained from the sediment's traps placed both at Mowi Pinnen production and in the reference site.

Sampling site	Sampling date	Recorded mass (mg, DW)
Referanse stasjon	23 10 2023	1,9
Merd 1. Spyling	23 10 2023	1,7
Merd 2. Børsterobot	23 10 2023	2,3

### 2.4.3. Contamination control

During the samples preparation for microplastics analysis three procedural blanks for water samples and three for sediment's traps, consisting of combining all reagents and solutions used within the sample's preparation phase and processing and analysing them like the real samples and six samples from the wet dust trap collectors were analysed to monitor potential sources of plastics contamination affecting the final characterization and quantification.

### 2.4.4. $\mu$ FTIR

#### *Sample preparation*

**Field samples.** For samples collected from the field activities the preparation method applies gentle and efficient multi enzymes followed by strong oxidative purification step before quantitative chemical identification. The main interferences for a reliable quantification are the residual organic components, proteins, and fats that may create a high background signal during analysis, hampering a correct MP quantification. After incubation the digestate was filtered on a 10  $\mu$ m mesh, certified stainless-steel sieve and the filter was flushed with pre filtered Milli Q water. The resulting particles were resuspended and stored in an ethanol/water solution prior to analysis by FTIR imaging analyses.

**Samples from the lab experiment** (see Chapter 2.5). During the laboratory study, a simplified sample-preparation method was used for collected samples, as their chemical matrix was less complex than that of environmental samples. After filtering of the entire volume of water from the net cleaning simulation, the obtained large surface stainless steel filter (Figur 7) was submitted to strong alkali digestion with 10% KOH overnight at 50C and the digestate filtered through a 47mm stainless steel filter with 10  $\mu$ m mesh size and flushed with ultrapure water. Trapped material was resuspended in a solution of water: ethanol (50:50) and analysed with the same methodology described in section 2.4.4.

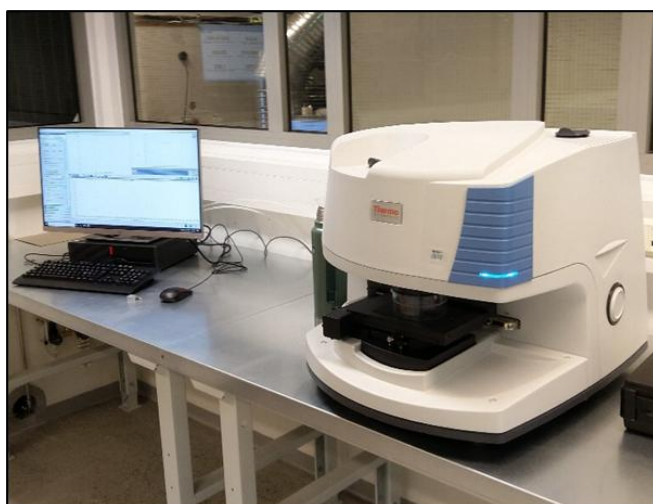


*Figur 7. Sample of filter obtained from the laboratory based net cleaning simulation.*

### Identification of microplastic particles by $\mu$ FTIR

The FTIR based analysis was meant to be performed in two ways depending on MP size. The particles over approximately 300  $\mu\text{m}$  should have been picked out using tweezers under a stereo microscope, measured, weighed and analysed by Attenuated Total Reflectance FTIR (ATR-FTIR). However, there were no particles of these size classes in the extracted samples, therefore analysis was performed by  $\mu$ FTIR imaging.

**$\mu$ FTIR imaging.** A quantitative analysis of MP from 10-300  $\mu\text{m}$  was done by  $\mu$ FTIR imaging. The lower size detection limit was also influenced by the 10  $\mu\text{m}$  pore size of the stainless-steel filter used within the sample preparation. Aliquots ( $\approx 500 \mu\text{l}$ ) of MP samples stored in the ethanol/water solution were deposited on an IR compatible ZnSe window to be imaged by using a Thermo Scientific Nicolet iN10 coupled with a liquid nitrogen cooling system (Figur 8).



**Figur 8.**  $\mu$ FTIR equipment at the NORCE Plast Lab (Photo: Alessio Gomiero, NORCE).

The filter was imaged in transmission mode following the procedure of (Vianello et al., 2019). Automatic image processing detects the size and position of the particles, smoothes edges and assigns a polymer group to the particles. For dataset analysis, data was processed by siMPLE (v.1.0.0; simple-plastics.eu) and spectra were compared to libraries from Aalborg University and NORCE. The polymer groups included in the FTIR analysis are shown in Vedlegg 2. The polymers that were not detected in any samples are excluded from graphs and tables. Vedlegg 2 shows an example of the results obtained from a representative sample.

The analysis mainly focused on polyethylene (PE), oxidized polyethylene (Oxi-PE), chlorinated polyethylene (Cl-PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polycarbonate (PC), polyamide (PA, = nylon), polyvinyl chloride (PVC), chemically modified cellulose (Cellu), nitrile rubber (NBR), polyester (PES), acrylates/PUR/varnish (ACy), polyetheretherketone (PEEK), ethylene-vinyl-acetate (EVA), polyoxymethylene (POM), polyacrylonitrile (PAN) and rubber (RU).

### 2.4.5. pyr GC-MS

The resulting particles collected after filtration through a 10 µm stainless steel filter were further filtered on a pre-weighed and pre-burned 25 mm GF/C (0.7 µm) filter by means of a glass microanalysis vacuum filtration unit (Millipore, Germany). During sample transfer, a custom-made glass adaptor was used to reduce the sample's deposition area on the filter to Ø 10 mm (Gomiero et al., 2019). The filters were then cut using a sharp metal cylinder, reducing their size to Ø 15 mm, thus enabling their placement into special tin cups suitable for Pyr-GCMS analysis. Procedural blanks, represented by MilliQ water and all involved reagents, were run within the same procedure to exclude plastic contamination in the analytical processes. Pyrolysis GCMS measurements were performed using a Shimadzu QP2020 NX coupled with Frontiers Lab's Multi-Shot Pyrolizer EGA/PY-3030D with auto-shot sampler. Pyrolysis was performed at 590 °C. Microplastics were selected for chemical characterization and quantification. To identify, integrate pyrograms, and quantify the target plastic, specific indicator ions were selected according to the FSearch 2.0 quantification software from Lab Frontier (Figur 9).



*Figur 9. Pyr-GCMS equipment at NORCE Mass Spectrometry Lab (Photo: Adrián Jaén-Gil, NORCE).*

## 2.5. Labforsøk

For å teste om nye børstetyper rengjør nota mer effektivt enn de gamle og for å dokumentere hvor mye organisk materiale og mikroplast som faktisk frigis når nota børstes og spyles ble det utviklet et forsøksoppsett der det kan gjøre realistiske tester under kontrollerte betingelser i lab. I dette forsøksoppsettet kan man sammenligne mengden organisk materiale (begroing) og mengden mikroplast som frigis når man rengjør nota med ulike metoder. I felt er det flere kilder til mikroplast enn selve notvasken, og havstrømmene kan transportere mikroplasten ut av anlegget. Denne typen kontrollerte labforsøk er derfor nyttige.

I labforsøket ble to typer børstemoduler for Remora roboten testet i tillegg til høytrykksspyling; den originale børsten som blant annet ble brukt på Pinnen i 2023-2024 der feltforsøket ble gjort, og en ny type børste (dual parallell børstemodul). Både børsting og spyling ble gjort på testpaneler med HDPE og nylon not. Det ble laget 20 testpaneler (80 cm x 80 cm) med en ramme av aluminium. Hver av de tre rengjøringsmetodene ble testet på fem testpaneler med HDPE not og fem testpaneler med nylon not (Figur 10). Original børstemodul og høytrykksspyling vasket hver sin del av de samme 10 testpanelene.

Den originale børsten rengjorde 0,13 m<sup>2</sup> av test-panelet og høytrykksspyling 0,19 m<sup>2</sup>. Dual parallell børstemodul rengjorde et større areal (0,31 m<sup>2</sup>), og ble brukt på de andre 10 testpanelene.

	HDPE = polyetylen (PE)	Nylon = polyamid (PA)
Rengjøringsmetode	Testpanel med <b>HDPE-not</b> med naturlig begroing fra felt	Testpanel med <b>nylon-not</b> med naturlig begroing fra felt
Dual parallell børstemodul (ny type)	5 <u>replikate</u> testpaneler	5 <u>replikate</u> testpaneler
Original børstemodul (den som ble brukt i feltforsøket på Pinnen)	5 <u>replikate</u> testpaneler (børsting og spyling på hver sin del av testpanelet)	5 <u>replikate</u> testpaneler (børsting og spyling på hver sin del av testpanelet)
Spylemodul		

**Figur 10.** Eksperimentelt design for labforsøk der tre rengjøringsmetoder ble testet på to typer nett.

Før forsøket i laben hadde testpanelene stått i sjøen nær et oppdrettsanlegg for å få naturlig begroing. Testpanelene ble plassert ved et kveite-oppdrettsanlegg i Hjelmeland i oktober 2024. Det ble ikke tilstrekkelig groe på nettene høsten 2024 så forsøket ble utsatt til våren 2025. Testpanelene ble ikke sjekket ofte nok, så da de ble hentet inn i laben 28. april 2025 var de fullstendig overgrodd. Det var mye mer begroing enn det som er realistisk å fjerne med en børsterobot som skal gå kontinuerlig. Det ville heller ikke vært praktisk mulig å få ut mikroplastprøver med så mye organisk materiale i vannprøvene. Noen uformelle pilot-tester med ulike børster fra Remora ble gjort før nettene ble byttet og testpanelene satt ut i sjøen igjen 21. mai 2025. Denne gangen på lokalitet Indre Slettavikneset<sup>6</sup> i Sandnes kommune. Testpanelene ble hentet inn 13. juni 2025 etter omtrent tre uker i sjøen. Kvitsøy sjøtjeneste transportere testpanelene (i sjøvann) fra Hjelmeland til Mekjarvik. Testpanelene ble oppbevart i fire 500 liter tanker (1m x 1m x 0,5 m) med gjennomstrømmende vann (ca. 5 liter per minutt).

<sup>6</sup> <https://sikker.fiskeridir.no/akvakulturregisteret/web/sites/11957>



**Figur 11.** Til venstre er det bilde av overgrodd testpanel og børste-modul. Testpanelet ble plassert i en tank med sjøvann der de ble rengjort med en børste-modul eller en spylemodul. Til høyre er det bilde av et testpanel etter 3 uker i sjøen. Det var lite begroing.

Det ble utviklet en teknisk løsning (en rigg) som fikk børstemodulene (ikke en hel robot) til å bevege seg fram og tilbake over testpanelet som ble plassert i en tank med 285 liter sjøvann. Den originale børstemodulen hadde rette børster av PA10.10 som er 0.8 mm tykke og med en lengde på 30 mm. Dobbeltbørsten (dual parallel børstemodul) hadde annen hver 0.6 mm og 0.8 mm bøye børster av PA10.10 med en lengde på 50 mm. De hadde en bøy på minst 45 grader. Vaskeroboten opererte med en hastighet på ca. 4,8 sekunder per overgang over testpanelet, med totalt 30 overganger (2 minutter og 25 sekunder per test).

Til høytrykksspylingen ble det benyttet en Nilfisk Premium 200<sup>7</sup> med et maksimalt arbeidstrykk på 200 bar og en vannmengde på 9,5–10,8 L/min. På denne høytrykksspyleren ble det brukt en terrassevasker fra Nilfisk Power Patio<sup>8</sup>, som er utstyrt med to roterende dyser. Dette tilsvarer en vannmengde på ca. 4,7–5,4 L/min per dyse. Avstanden mellom dysene og nettet var omtrent 1 cm for å simulere hvordan høytrykksspylere brukes til notvask. For å sikre sammenlignbarhet med børsteriggen ble varigheten per overgang over testpanelet satt til 4,8 sekunder, og det ble gjennomført totalt 30 overganger (225 sekunder per ramme). For å sikre at spylingen foregikk over nøyaktig samme areal ved hver overgang, ble det konstruert en føringsramme av L-formede aluminiumsprofiler. Denne rammen stabiliserte terrassevaskeren og gjorde det mulig å oppnå jevne og repeterbare bevegelser over nettet. Aluminiumsrammen tok også opp vekten av terrassevaskeren slik at belastningen ikke ble overført til selve nettet.

Børste og spyle-modulene brukt i det nye forsøksoppsettet vil slite nettet på en måte som ligner mer på det som skjer når nøter vaskes i et oppdrettsanlegg enn det standardiserte «abrasion tests» gjør. I kystvann er bakgrunnsnivåene av mikroplast såpass høye og spredningen av mikroplast fra

<sup>7</sup><https://www.xl-bygg.no/product/nilfisk-hoytrykksvasker-premium-200-15--eu---60012056?code=60012056>

<sup>8</sup><https://www.xl-bygg.no/product/nilfisk-terrassevasker-power-patio--51640918?code=51640918>

utslippskildene så rask at det er vanskelig å få gode data fra prøver tatt i felt hvis en ønsker å sammenligne utslipp fra en merd sammenlignet med en annen selv om man bruker det beste utstyret som er tilgjengelig for å ta prøvene og utføre analysene på en korrekt måte.

Slitasjen på nettet i Oppsettet brukt i No-Gro prosjektet vil gi mer realistiske resultater enn de som blant annet ble utført i Smarter prosjektet (Booth et al. 2025).

Renseeffekten ble dokumentert med bilder tatt før vask, etter 15 overganger og etter 30 overganger. Testpanelene ble fotografert både på oversiden og undersiden, ved hjelp av iPhone 14, plassert foran hvit duk med fotolys. Mellom hver bildeserie ble testpanelene heist opp og ned med takkran for å sikre konsistent dokumentasjon. Bildene ble behandlet og sortert i Adobe-programmer.

Slitasje ble målt som mengde mikroplast i vaskevannet. Hver test ble utført i én tank fylt med 285 liter vann. Etter hver vask ble testene skylt med 15 liter ekstra vann for å få med alle rester, noe som ga et totalvolum på 300 liter per test. For å unngå plastforurensning ble vannet tappet med en mikroplastpumpe i metall. Gardena flow-meter ble benyttet for å måle volum vann.

Ved overgang til en ny rensemetode ble tanken tømt og skylt med 50 liter vann for å unngå krysskontaminering mellom metodene. I tillegg ble det gjennomført fire kontrolltester: én tank med kun vann, og én for hver rensemetode uten nett. Disse ble kjørt identisk med hovedforsøkene, men uten nett i rammen, for å måle eventuell bakgrunnsitasje fra utstyret.

Mengde mikroplast og organisk materiale frigitt under børsting og spyling av HDPE og nylon not med naturlig groe ble sammenlignet, og graden av begroing på nettet ble vurdert fra bilder tatt ved start og etter 15 og 30 ganger børsting/spyling.

Før testpanelene ble hentet inn fra felt ble det laget fototanker av plexiglass plassert i en aluminiumsramme som gjør det mulig å ta bilder og video ovenfra og nedenfra slik at begroing på begge siden av rammen kan dokumenteres vha GoPro 13 kameraer med SD-kort, media mod og makrolinse. På denne måten kan man dokumentere hva som er børstet vekk og hva som eventuelt fremdeles ikke er fjernet fra forsiden og baksiden av nota. Selv om tanker og fotoutstyret fungerte bra så ble ikke dette oppsettet brukt i selve forsøket fordi det var for lite begroing på nettene til å se forskjell med time-lapse bilder.

## 2.6. Gjennomføring av prosjektet

Etter første møte med referansegruppen ble det bestemt at vi kun skulle bruke nøter uten impregnering (verken kobber eller andre antigroemidler) i feltforsøket på Pinnen. Dermed er det ikke relevant å analysere kobber i vann eller sediment slik det var foreslått i søknaden. Det nye forsøksdesignet er imidlertid veldig godt egnet til å finne ut om nøtene kan rengjøres effektivt uten miljøskadelig kobberimpregnering – enten med tradisjonell spyling eller med kontinuerlig børsting av nøtene.

Det var planlagt å sammenligne spyling, børsting med Remora robot og Ryakva sin sugeteknologi, men sugeteknologien ble ikke inkludert i feltforsøket på grunn av tekniske problemer. Siden det derfor ikke

ble mulig å suge opp organisk materiale med pumpe under rengjøring av merdene, ble det umulig å kvantifisere mengdene med organisk materiale som spyles/børstes av merdene som opprinnelig var planlagt.

Planen var at feltforsøket skulle starte i april 2023, men laksen ble satt ikke satt inn i merdene på Pinnen før i august 2023. Roboten som skulle ta bilder i merden som ble periodisk spylt var ikke klar før i slutten av november. På grunn av dette ble det bestemt å forlenge feltforsøket til høsten 2024 slik at hele vekstsesongen skulle bli inkludert i forsøket. Den sterkeste begroingsperioden er i september-oktober (Uglem, Järnegren, og Bloecher 2020; Bloecher, Olsen, og Guenther 2013). For lite oppetid på roboten høsten 2023 og våren 2024 førte til at merden som ble rengjort med børsteroboten måtte spyles stadig oftere utover våren og sommeren 2024. Prøvetagningen for mikroplast ble utsatt til sommeren 2024 med håp om at roboten skulle klare å holde nota renere etter hvert som oppetiden økte, men dessverre gikk det ikke slik. Fra uke 10 i 2024 ble begge nøter spylt like ofte (se figur 12). Dermed ble det kun tatt mikroplastprøver høsten 2023. I tillegg til disse tekniske utfordringene i feltforsøket ble begge batcher av fisk i forsøks-merdene på Pinnen splittet og fordelt i anlegget etter en avlusing i august 2024 slik at det ikke lenger ble mulig å følge med på fiskehelsen til de samme gruppene av fisk. På grunn av disse tekniske og praktiske utfordringene måtte feltforsøket på Pinnen avsluttes. Det vil si at vi fikk færre prøver enn det som var planlagt både når det gjaldt fiskehelse (AP2) og mikroplast (AP3) og en kortere periode med billedokumentasjon for graden av begroing på nøtene (AP1). Siden feltforsøket ikke var mulig å fullføre, fikk vi ikke data til å sammenligne kostnader (AP4) med ulike typer av rengjøringsteknologi. For å bidra til videreutvikling av roboten ble det bestemt å heller gjøre et labforsøk (se kapittel 2.5).

Planen var å ta prøver av sedimentet til analyse av miljø-DNA før fisken kom i merdene og deretter i slutten av feltforsøket for å sjekke om det ble endringer i samfunnet med mikroorganismer som følge av ulike vaskemetoder. Det er sterk strøm på Pinnen så det var ikke mulig å få opp brukbare sedimentprøver rett ved merdene slik det var planlagt. Det ble bestemt å heller utvide fiskehelseperspektivet i prosjektet ved å inkludere miljø-DNA analyser av mikrobiomet på gjellene til laksen (se kapittel 2.3.3).

Remora robotene var ikke utstyrt med sensorer som måler turbiditet, oksygen etc slik planen var da søknaden ble skrevet, så slike målinger ble ikke gjort i feltforsøket.

Resultatene fra feltforsøket viste at Remora-roboten burde forbedres slik at den kan rengjøre nøtene bedre enn den gjorde i feltforsøket på Pinnen. Blant annet er utvikling av mer effektive børster viktig. For å kunne vurdere potensielle miljøeffekter av notvask er det viktig å dokumentere hvor mye mikroplast som frigis når nøter rengjøres. Dette er mindre vanskelig å gjøre under kontrollerte betingelser i lab enn i et feltforsøk. I labforsøket ble både HDPE og nylon not rengjort med høytrykksspyling og to børstemoduler for Remora roboten. Mengden organisk materiale og mikroplast som ble frigitt ble dokumentert.

Arbeidspakken om økonomi (AP4) ble ikke mulig å gjennomføre da feltforsøket måtte avsluttes på grunn av de tekniske/praktiske utfordringene nevnt over. Midlene som var satt av til denne arbeidspakken og resterende midler til feltforsøket ble omdisponert til labforsøket.

## 3. Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

### 3.1. Om hvor effektivt roboten fjernet groe fra nota

#### 3.1.1. Erfaringer fra feltforsøket der prototypen av roboten ble brukt

I merd 2 var det en Remora robot med børster og i Merd 1 ble det plassert en robot uten børster i slutten av november 2023. Bilder av nota tatt av disse robotene var kun tilgjengelige fra Pinnen for uke 1-32 i 2024.

Merd 1 ble spylt 6 ganger i perioden august til desember 2023 (4/9, 23/10, 29/10, 17/11, 25/11 og 13/12), mens Merd 2 ble spylt 4 ganger (6/10, 12/10, 16/11 og 9/12). I uke 1-32 i 2024 ble de to merdene spylt omtrent like ofte; 13 ganger i Merd 1 og 12 ganger i Merd 2 (se røde stiplede linjer i Figur 12).

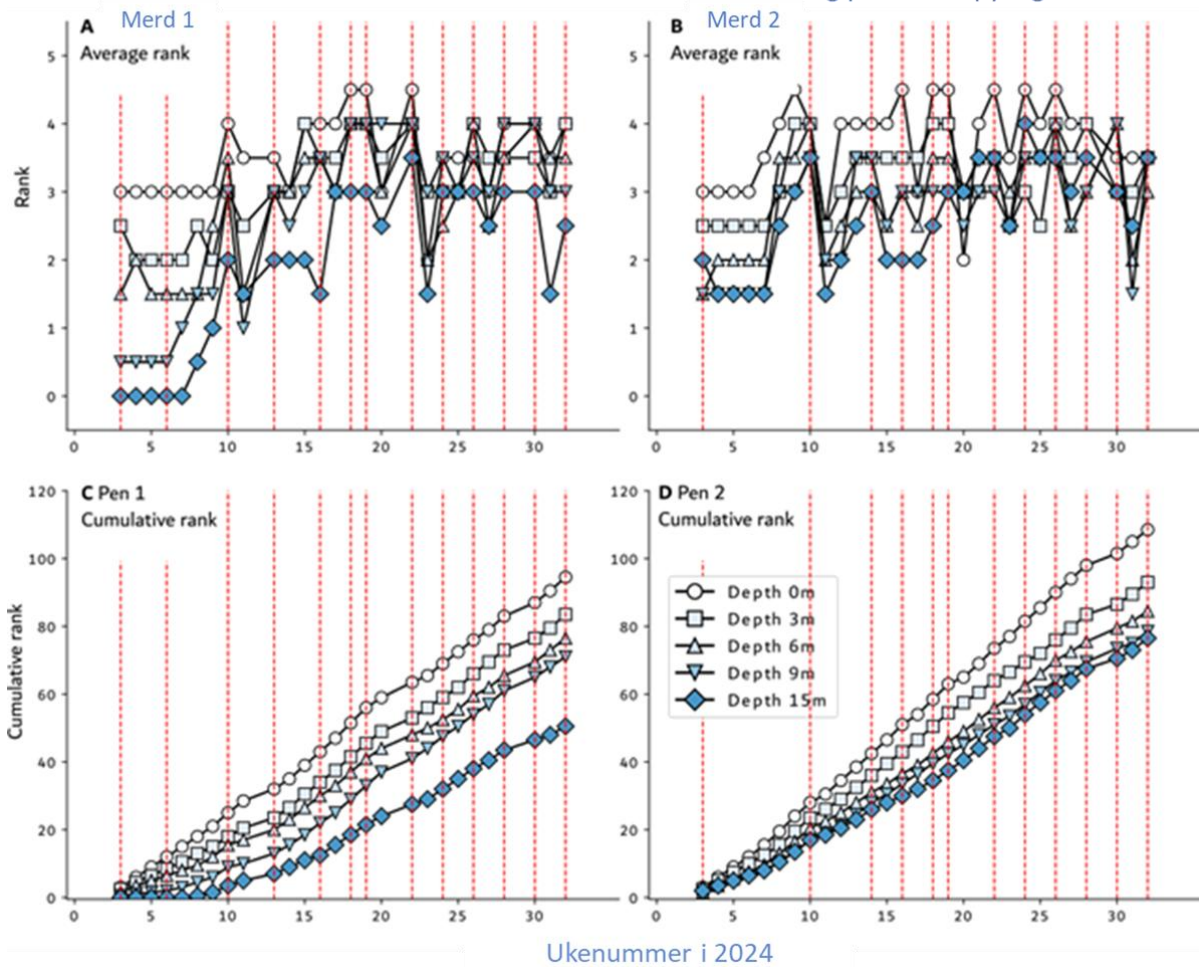
På lokaliteten Pinnen hadde merden som ble rengjort med robot (Merd 2) betydelig høyere begroing i begynnelsen av året, og etter en kraftig økning i begroing i uke 8 til 10 ble Merd 2 høytrykksspylt i samme intervaller som Merd 1 (angitt i figur 12 med vertikale røde streker).

På lokaliteten Buksevika manglet det bildedata for noen uker i noen merder, men generelt var begroingen lik i alle merdene (Figur 13). I tillegg til Remora-robotene ble det utført høytrykksspyling hver andre til fjerde uke i Buksevika. På begge lokalitetene var begroingsintensiteten svært dybdeavhengig, med mest begroing nær overflaten.

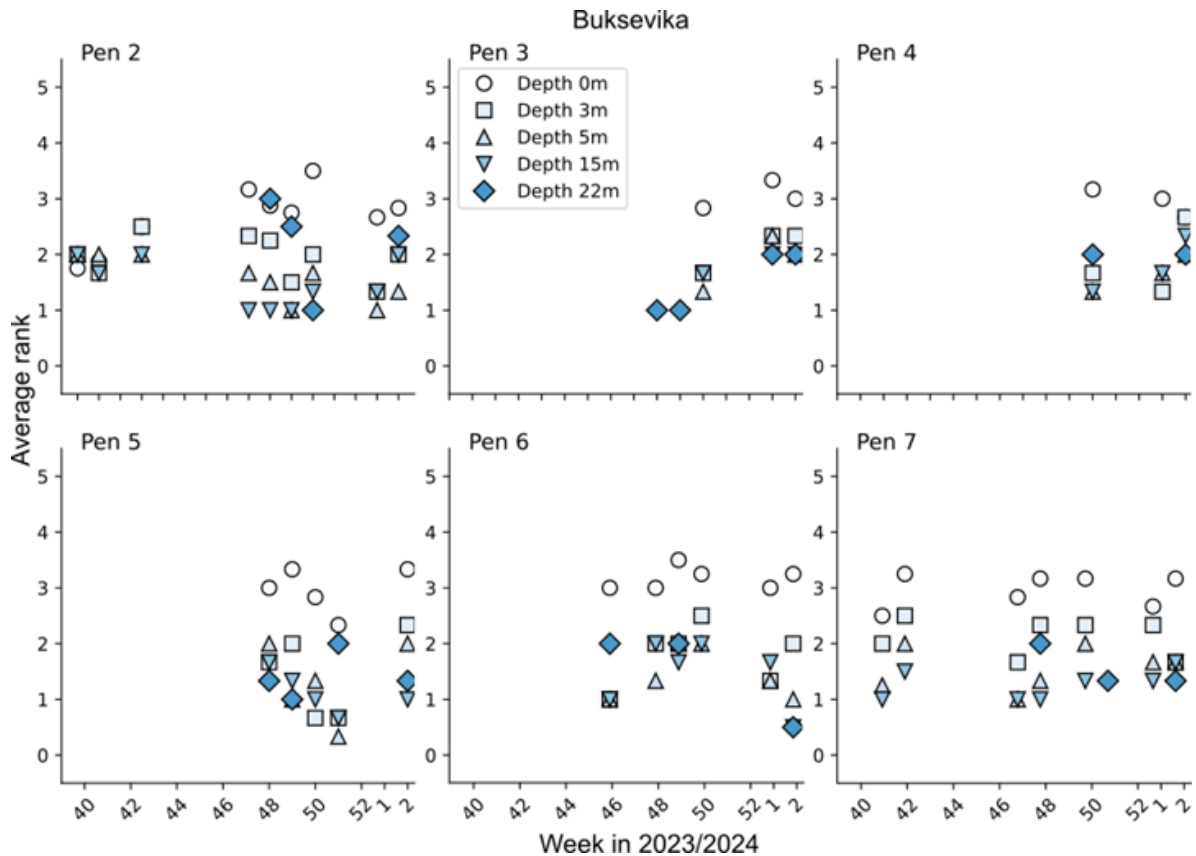
*Oppsummering:* Basert på de manuelle bildeanalysene og spylefrekvensen for de to merdene på Pinnen og de seks merdene i Buksevika så klarte ikke roboten å holde nota ren.

Notvask med periodisk spyling

Notvask med Remora robot  
og periodisk spyling



**Figur 12.** Resultater fra manuell scoring av bilder fra lokalitet Pinnen i 2024. Laks fra samme batch ble plassert i de to merdene som inngår i feltforsøket på Pinnen 17. august 2023. Stiplede røde linjer indikerer høytrykksspyling av merdene.



**Figur 13.** Resultater fra manuell scoring av bilder fra lokalitet Buksevika i 2023/2024. Nøtene ble spylt hver annen til hver fjerde uke.

Ifølge Remora hadde roboten i Merd 2 på Pinnen en del driftsproblemer i 2023, og siden roboten ikke var i drift mange nok timer i døgnet ble det ikke børstet nok til å holde groen nede, spesielt ikke på utsiden av nota. Selv med høyere oppetid utover våren 2024 ble ikke nok groe fjernet fra nota slik at spylefrekvensen ble omtrent den samme i begge merdene. Remora jobber kontinuerlig med å forbedre robotene.

Data fra Pinnen viste at roboten opererte omtrent 5,6 t i snitt daglig mellom uke 37 og uke 52 i 2023 (Vedlegg 3A) og det var kun en robot i drift per merd. Se kapittel 3.2.1. om forbedringer av roboten og driften. I 2025 brukes to roboter per merd og hver av dem har omtrent 12 timer oppetid (Vedlegg 3B og 3C).

### 3.1.2. Videreutvikling av roboten og erfaringer fra andre lokaliteter

Kapittel 3.1.2 er skrevet basert på informasjon fra Remora Robotics. Beskrivelsen under gjelder dagens Gen1 versjon av roboten. I punktene under beskriver Remora hvilke forbedringer som har blitt gjort med roboten etter feltforsøket med prototypen.

*Beskrivelse av dagens versjon av Remora-roboten (Gen 1).* Roboten er utstyrt med fremdriftssystem, sensorer og datamaskin som gjør den i stand til å bevege seg automatisk i nota (Figur 14). Fremdriftssystemet består av to beltemoduler med integrerte pinner, som vil skyve roboten i ønsket

retning ved at disse skyver på nettmaskene. For at robotens fremdriftssystem skal fungere, er den utstyrt med en thruster som skyver roboten mot nettet. Foran innsuget til thrusteren sitter det et gitter som forhindrer at fisk, tau og andre mulige gjenstander skal kunne suges inn i thrusteren. Ved hjelp av børster som er montert på to belter i enhetens børstemodul, rengjøres noten under drift. Beltene driver børstefibrene sideveis på tvers av kjøreretningen.

Robotens styremodul består av en datamaskin, sensorer og kommunikasjonssystem som sørger blant annet for navigasjon, kontroll av børsting, strømming av data til toppboks og videostrømming. Roboten har i tillegg til akselerometer, magnetometer og dybdesensor integrert i styremodulet, en ekstern GPS enhet. Denne brukes til å kalibrere posisjonen til roboten i overflaten. Roboten har to kameramoduler, som gjør at videostrøm er tilgjengelig både forover og bakover i forhold til gjeldende kjøreretning. Videostrømmen brukes til maskinsyn og automatisk bildebehandling i notrensesystemet, samt til å hjelpe med overvåking og fjernstyring fra et Remote Operating Center.

Utvalgt telemetri lastes opp i sanntid fra robot, via toppboks, til sentralt IT-system. Kamerastrømmer benyttes til bl.a hulldeteksjon og klassifisering av groe. Resultatene fra lokal prosessering lastes opp til sentralt IT-system. Kamerastrømmer kan også strømmes over internettet til sentralt IT-system og applikasjoner 'on demand'.

*Tekniske forbedringer av roboten etter feltforsøket på Pinnen.* I feltforsøket på Pinnen ble det benyttet tidlige prototyper av roboten, med begrenset driftstid og lavere robusthet enn dagens versjon. I tillegg ble forsøket gjennomført med én robot per merd, der både robot og tetherpunkt ble flyttet ukentlig. Dette medførte at det kunne gå opptil sju dager mellom hver rengjøring av samme halvsirkel. I dag benyttes to roboter som arbeider kontinuerlig på hver sin halvsirkel, noe som gir betydelig høyere driftstid og børstetid per kvadratmeter, og dermed et langt bedre resultat. Som et eksempel kan man anta at roboten i forsøket opererte 5–7 timer daglig på én halvsirkel, mens dagens operasjon innebærer to roboter som samlet opererer 14–20 timer daglig.

Viktige forskjeller mellom prototypen brukt på Pinnen og Gen 1 av Remora-roboten:

1. Andre **belte pinner** som knakk ofte. Belte pinnene var designet så de skulle knekke i stedet for å lage maskebrudd. Dette medførte at de knakk hyppig, noe som medførte at prototypen av roboten beveget seg dårlig, og når flere hadde knekket så gikk den «stuck mode». Dette førte til at Remora måtte rykke ut og bytte belte pinner ofte, noe som ga mye nedetid. Dagens pinner er mer robuste og knekker ikke. Motorkraften er likevel svakere enn bruddstyrke på notlinet noe som forhindrer maskebrudd.
2. Første generasjon fransk **girboks** som ble brukt i prototypen hadde mye feil og kort levetid.
3. I en liten periode av feltforsøket brukte Remora en **thruster** som hadde lav driftstid før den røk.
4. Halve perioden av feltforsøket hadde roboten plastikk **propell** som knakk ofte. For eksempel når det kom tang, tare eller andre gjenstander inn i thruster. Deretter gikk de over til en hardere propelltype som ikke har dette problemet.
5. Halve perioden av feltforsøket hadde Remora en dårligere **thruster guard** som ble mye clogged. Roboten kunne fylle beskyttelsesgitteret med groe, eller andre ting som ble sugd mot gitter, noe som gjør at man mister flow og dermed mister thrustereffekt. I dag har roboten større areal den kan hente vann fra og dermed vil det være svakere «trykk» fra thruster som ikke drar til seg like

mye partikler som kan tette eller forhindre flow.

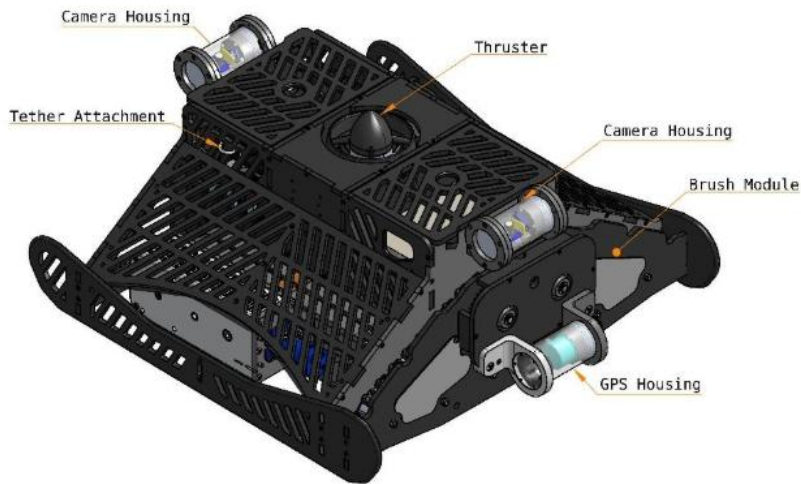
6. Halve perioden av feltforsøket var roboten positiv i vannet ved disarm (mange **entanglements**). Tidlig i utviklingen av roboten ønsket man at dersom roboten skulle miste strøm eller miste thrusterkraft så skulle den flyte opp til overflaten. Dette førte til at den ofte kom i konflikt med andre gjenstander i nota, som fiskeskjul, sensorer, foringskamera osv. I dag er roboten svakt negativ. Den vil synke kontrollert til bunnen og bli liggende ca. 1,5-2 m over notspiss.
7. I feltforsøket kjørte roboten uten **GPS**, og hadde ikke automatisk scheduling (det var mye manuell kontroll og dårligere dekning). Roboten har i dag en egen GPS modul. I tillegg er det en GPS-modul på toppskapet som er referanse for hvor ringen ligger innenfor sin ramme på anlegget. Dette sammen med kompass, dybdesensorer osv på roboten gjør at roboten nå har mye mer kontroll på hvor den befinner seg til enhver tid. Tidligere når en robot var ferdig med å kjøre ett notpanel (når ett program var fullført) så sto den i ro, til den fikk manuell hjelp til å starte opp på neste notpanel. I dag gjør roboten dette automatisk ved hjelp av forhåndsprogrammerte mønster, og GPS vil hjelpe roboten å finne rett posisjon, dybde osv.
8. Remora kjørte med bare **en robot i drift per merd** gjennom feltforsøket på Pinnen. De kjørte 7 dager på en side av nota (for eksempel Nord) før man flyttet robot over til andre side av nota (Sør).
9. Halve perioden av feltforsøket var uten **vaktordning**. Remora brukte studenter i helger og hadde derfor kortere operasjonstid. De hadde ikke opprettet gode rutiner for drift og oppfølging av roboter med en dedikert driftssentral slik Remora har i dag. Robotene ble kun betjent i kjernetiden kl. 8-16, mens de i dag har nærmere 12 t kjernetid i operasjonssenteret.

I tillegg til alt det som nevnes over når det gjelder hardware så jobber Remora kontinuerlig med optimalisering av software, f.eks. presisjon av posisjoneringssystem, overlapp av vaskemønstre, osv. Her har det også ifølge Remora kommet store forbedringer i prosjektperioden.

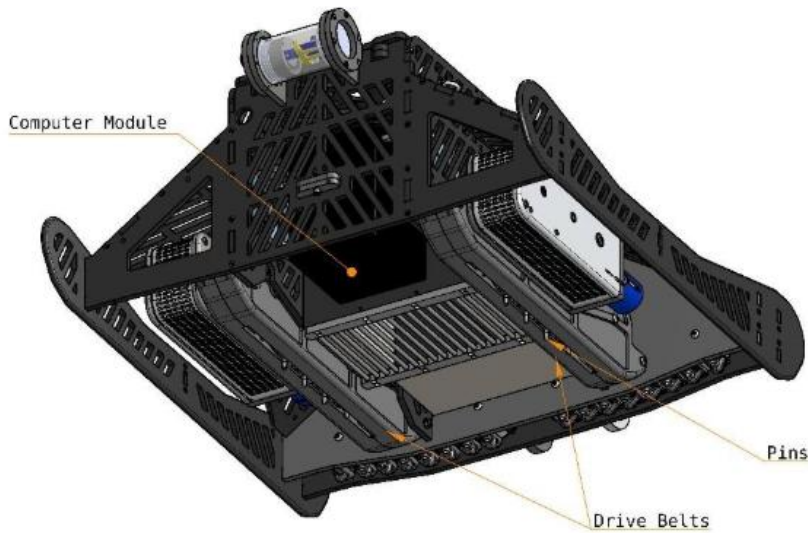
*Sanntids hulldeteksjon og klassifisering av groe.* Ved hjelp av maskinlæring er det trent opp en modell som kan oppdage og identifisere hull i nota basert på videodata fra roboten. Den samme videostrømmen benyttes også til å analysere graden av begroing, ved bruk av en tilsvarende modell for mønstergjenkjenning. I løpet av prosjektet har Remora trent AI/ML-modeller og implementert sanntids hulldeteksjon og klassifisering av groe (Figur 15). Disse er nå fullt ut støttet, verktøy for verifikasjon, automatisk melding til oppdrettere, samt web-applikasjoner<sup>9</sup> for tilgang til henholdsvis funn av notskader, og nøkkeldata for begroing. Det presenteres både vektet snitt av begroing for hele merden, snitt for ulike dybder, samt et 'heatmap' for hele omkretsen og alle dybder med data fra siste inspeksjonsintervall.

---

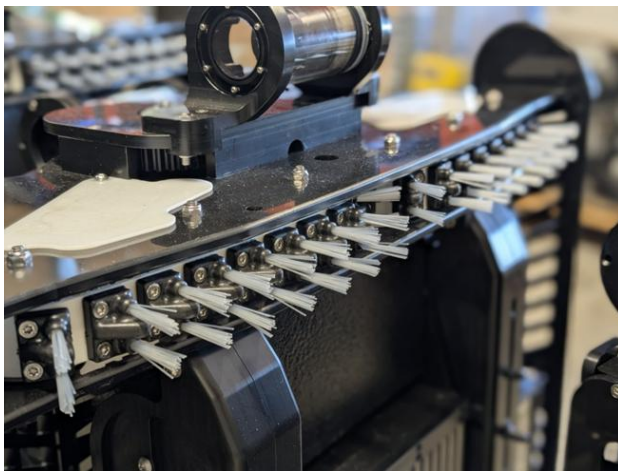
<sup>9</sup> Se nyhetssak på Remora Robotics sin nettside 19/08/2025: <https://remorarobotics.no/2025/08/remora-insight-is-launched/>



A.

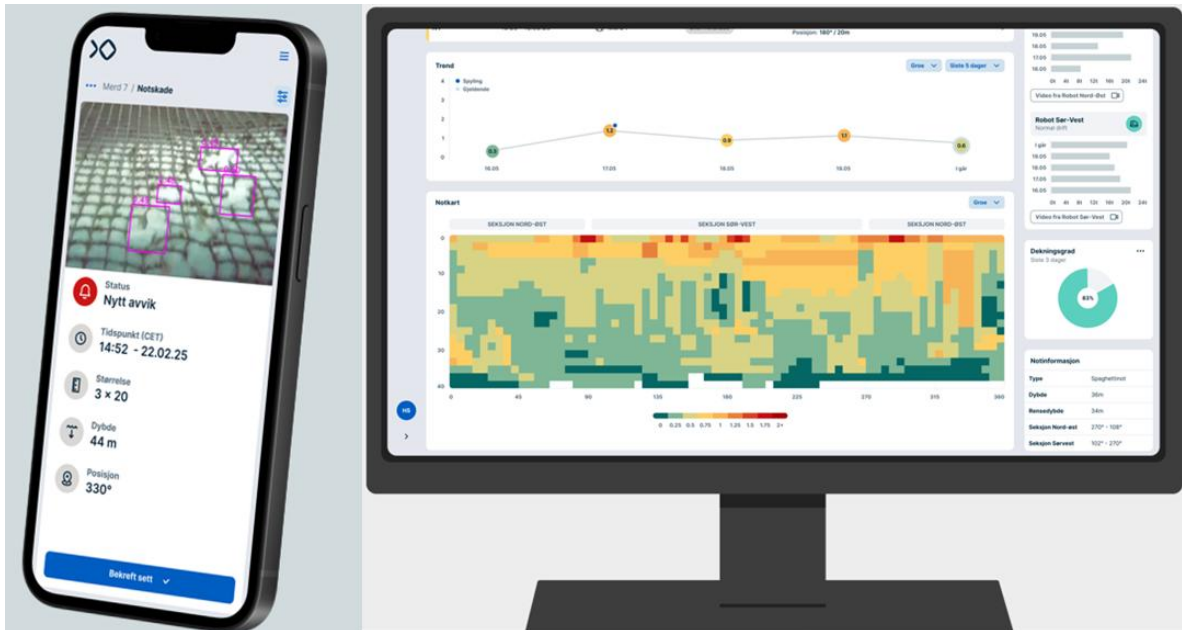


B.



C.

**Figur 14.** Remora roboten sett ovenfra (A) og fra undersiden (B), og et bilde av børstene (C).



Figur 15. Illustrasjon fra Remora som har trent AI/ML-modeller og implementert sanntids hulldeteksjon og klassifisering av groe.

### Erfaringer fra andre lokaliteter

Erfaringer fra Hidlekjerringa (lokalitet 33797) i PO2, sammenlignet med nabolokaliteten Prestholmane (lokalitet 11972). Bruk av Remora-roboten reduserte i perioden august–oktober 2024 antall anløp med båt med 50 % og antall spylinger med 72 % (Tabell 7, data fra Remora). Disse to lokalitetene har ganske like forutsetninger for groe og drift, ifølge Remora.

Tabell 7. Behov for spyling av groe på en lokalitet der det var to Remora Gen 1 roboter i hver merd (Hidlekjerringa), sammenlignet med nabolokaliteten (Prestholmane) der det ikke ble brukt vaskerobot. Behovet for spyling ble 72% redusert i perioden august til oktober 2024.

Merd	Totalt antall spylinger i perioden august - oktober 2024		Prosent reduksjon i antall spylinger
	Hidlekjerringa 2 roboter per merd	Prestholmane Ingen robot	
1	3	12	75 %
2	4	12	67 %
3	4	12	67 %
4	3	12	75 %
5	2	12	83 %
6	4	12	67 %
antall anløp	6	12	50 %
antall spylinger	20	72	72 %

*Erfaringer fra anonym kunde i PO6.* Remora har også operert på en anonym lokalitet i produksjonsområde 6 Nordmøre og Sør-Trøndelag. Det ble benyttet nylon bunnringsnøter uten antigroemiddel men med coating. Nøtene ble satt i sjøen i november 2024 og ble behandlet på tradisjonell måte med notspyling fram til Remora børste-roboter ble satt inn i uke 12 i 2025. Ifølge Remora var børsterobotene i full drift fra uke 12 til uke 41 da laksen ble slaktet ut. I denne perioden var antall spylinger 85 % redusert et tilsvarende anlegg i samme produksjonsområde (informasjon fra Hermund-Thomas Otterlei, Remora).

På Hidlekjerringa og hos anonym kunde i PO6 ble det stort sett benyttet samme versjon av roboten. På PO6 lokaliteten ble det brukt en robot med nye belte pinner og oppgradert girkasse og der var behovet for spyling mest redusert. Erfaringene fra bruk av Remora robot Gen 1 i PO2 og PO6 viser tydelig at roboten har blitt videreutviklet etter prototypen som ble brukt i feltforsøket i PO1 i 2023-24.

### 3.1.3. Anbefalinger

For å finne ut hvor stort potensiale det er for å erstatte periodisk spyling med vaskeroboter som rengjør nota kontinuerlig bør man se på data for alle lokaliteter der ulike typer vaskeroboter med børster, kavitasjon eller vakumsug er i bruk (Tabell 3). Det anbefales at robot-produsenter, oppdrettere og forskere samarbeider om å vurdere effektiviteten til robotene basert på den typen informasjon som er vist i Tabell 8. I tillegg til punktene nevnt i tabellen er det viktig for miljøet å ta hensyn til hvor mye mikroplast som frigjøres fra nota når den rengjøres med ulike metoder. Dette står det mer om i kapittel 3.3 og 3.4. For økonomien er det viktig å sammenligne driftskostnader for ulike rengjøringsmetoder. Tradisjonell notvask (spyling av not) koster rundt 24 000 kr per not, altså rundt 500 000 kr årlig ifølge oppsummeringen av forskningsrådprosjektet «Utvikling av autonom og trådløs renhold av not»<sup>10</sup>. Når robotene blir så effektive at man ikke trenger å bruke penger på impregnering, coating eller periodisk spyling så kan det bli god økonomi for oppdretter å satse på kontinuerlig preventiv notrengjøring.

**Tabell 8.** Forslag til tabell der man kan legge inn informasjon fra alle lokaliteter der vaskeroboter har blitt brukt slik at man kan vurdere hvilke roboter som er mest effektive.

		Lokalitet nummer				
		1	2	3	4	5 osv
1	Størrelsen på merdene					
2	Type not					
3	Type impregnering					
4	Art, antall og biomasse av fisk					
5	Type robot (børster, kavitasjon, vakumsug, etc)					
6	Antall roboter per merd og antall timer oppetid					
7	Antall spylinger per måned					
8	Antall bar på trykkspyling					
9	Temperatur på lokaliteten					

<sup>10</sup> <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/327851>

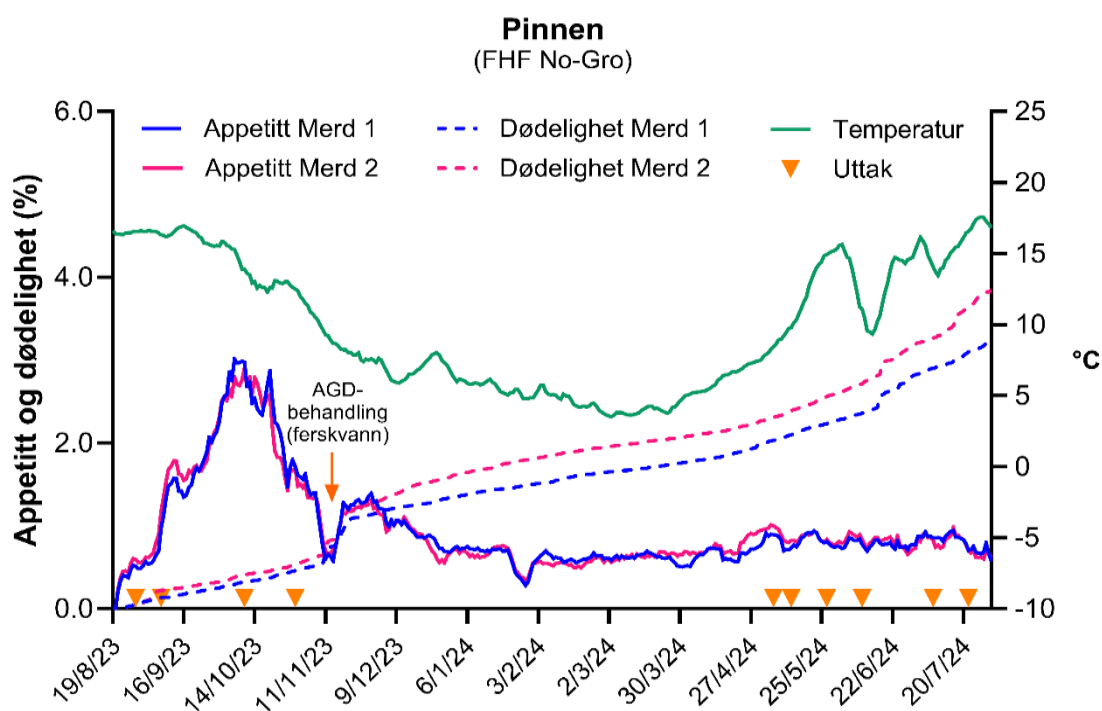
1. Størrelsen på merdene (diameter, kvadratmeter not)
2. Type not (HDPE, nylon, annet)
3. Type impregnering eller coating (ingen, Netpolish NP Super Rød, impregnering med antigroemiddel som kobber(I)oksid, tralopyril, sinkpyrithion, kobberpyrithion)
4. Art (laks, regnbueørret, kveite, torsk), antall og biomasse av fisk.
5. Type robot (se Tabell 3, robot med børster, kavitasjon, vakumsug) og type børster for de som har det.
6. Antall roboter per merd og antall timer oppetid per robot.
7. Antall ganger spyling. Hvis man ønsker å sammenligne ulike roboter i framtidige prosjekt kan man også oppgi total oppetid og totalt antall spylinger i produksjonsperioden (18 måneder for laks).
8. Hvor mange bar ble nota spylt med?
9. Siden mengde begroing påvirkes av temperatur er det nødvendig å ta med informasjon om temperatur og andre parametere som kan forklare ulikheter i mengde begroing.

## 3.2. Om fiskehelse og velferd i feltforsøket

### 3.2.1. Vekst, appetitt, dødelighet, lus, notvask

De første fiskegruppene ble satt ut på lokalitet Pinnen i uke 25 (2023). Fiskegruppene som vi skulle følge i dette forsøket ble satt ut i merd 1 og merd 2 i uke 33 (17. august). Snittstørrelsen i merd 1 var 179 gram mens fisken i merd 2 var 142 gram. Begge smoltgruppene kom fra Mowi sitt settefiskanlegg Fjellsæ i Flekkefjord. Fisken var ikke sortert ytterligere etter vaksinerings og ble satt ut slik at et kar fra settefiskanlegget ble satt ut i merd 1 og et annet kar i merd 2.

Som det kan sees av figur 16 brukte fisken rundt 3 uker før appetitten tok seg opp. Røktene på anlegget bekreftet at fisken hadde vært litt lenge om å komme i gang, noe som kan tyde på ujevn smoltifisering eller en litt tøff transport eller pumping i forbindelse med levering. Men etterfølgende har produksjonen gått veldig bra uten noen større hendelser.



**Figur 16.** Oversikt over produksjonsdata og uttakstidspunkter. Daglig appetitt (i % av kroppsvekten) er vist som glidende gjennomsnitt over 7 dager. Fisken var sultet i 4 dager i forbindelse med ferskvannsbehandlingen den 11. november.

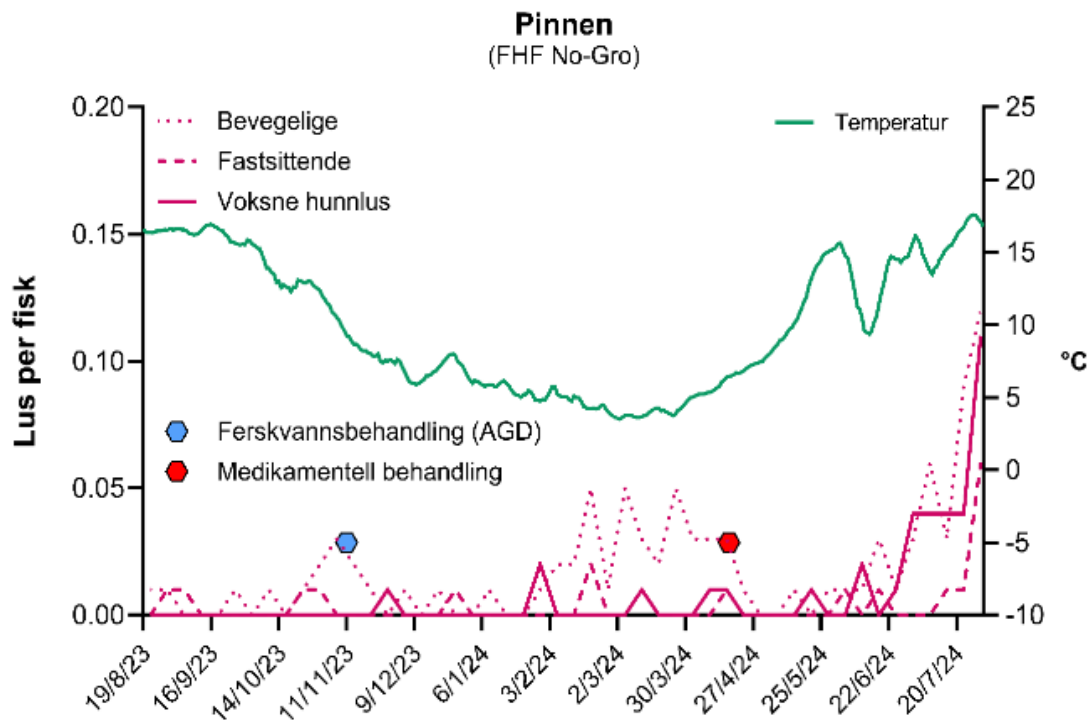
Figur 16 viser en oversikt over uttakstidspunkter (se materiale og metoder for detaljer), og hvordan temperatur, dødelighet og daglig appetitt (i % av kroppsvekten) utviklet seg i perioden. Fiskegruppene ble fulgt fram til den 1. august 2024, hvor begge merdene ble splittet i forbindelse med avlusning og flyttet til fire nye merder.

**Tabell 9.** Oppsummering av produksjonsdata.

Merd	Merd 1 (kun spyling)	Merd 2 (børsting og spyling)
Startvekt 19.08.2024	178 g	142 g
Vekt 29.07.2024	3 466 g	2 858 g
Antall fôringsdager	343	343
<b>SGR (% daglig vekst)</b>	<b>0,868</b>	<b>0,879</b>
Antall ved utsett	197 004	197 380
Antall dødfisk	6 135	7 309
<b>Overlevelses %</b>	<b>96,8%</b>	<b>96,2%</b>

Daglig appetitt (i % av kroppsvekten) utviklet seg veldig likt i de to merdene, og Specific Growth Rate (SGR) og overlevelsen var også tilnærmet lik i de to merdene (tabell 9). Appetitten var veldig god fram til midten av oktober, hvoretter den avtok i takt med kortere dagslys og fallende temperaturer. Den avtagende appetitt i oktober var sannsynligvis også et resultat av noe redusert gjellehelse.

Høsten 2023 ble det gjennomført en ferskvannsbehandling av alle merdene i anleggene for å redusere AGD som var under utvikling. De første fiskegruppene som var blitt satt ut på lokaliteten var kraftigst påvirket av AGD, men fisken i merd 1 og 2 hadde også økende gjellescore, og det ble derfor besluttet å ferskvanns-behandle alle merdene i brønnbåt. Som det sees på figur 16 førte behandlingen til litt økt dødelighet de to første ukene etter behandling. Generelt var det likevel en god produksjon med kun mellom 3-4% dødelighet etter 11 måneder i sjø.



**Figur 17.** Utvikling av nivået av lakselus på lokalitet Pinnen (Kilde: Barentswatch.no)

Nivået av lakselus var lavt gjennom hele perioden som fisken ble fulgt. ADG-behandlingen i november 2023 var med på å redusere lakselus og sikre et lavt nivå gjennom hele vinteren. I april 2024 ble det gjennomført en medikamentell våravlusning med Emamectin, og det var først ved utgangen av juli 2024 at lusenivået nådde et nivå som krevde behandling. Utviklingen i lakselus er oppsummert i figur 17.

I merd 2 som var utstyrt med vaskeroboten fra Remora var det forventet at frekvensen av manuell spyling kunne reduseres vesentlig. Dessverre hadde roboten en del driftsproblemer og det var utfordrende å børste vekk groe på utsiden av noten. Dette førte til at merd 2 omtrent måtte spyles like ofte som merd 1 for å holde groen nede (se kapittel 3.1). Forsøksdesignet på Pinnen ble derfor ikke en sammenligning av kraftig manuell spyling versus skånsom kontinuerlig børsting som planlagt, men derimot en sammenligning av regelmessig manuell spyling i begge merdene, med og uten en ekstra vaskerobot som kontinuerlig beveget seg rundt på notposen.

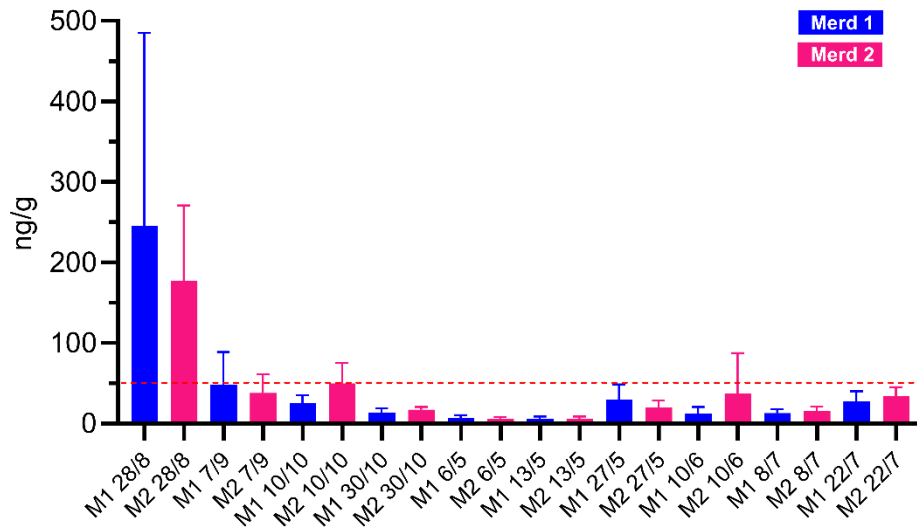
Basert på produksjonsdata var det ingen indikasjon på at den kontinuerlige børstingen ga bedre fiskehelse. SGR var marginalt høyere i merd 2, men her var fisken også litt mindre, og mindre fisk vil ha høyere relativ SGR. Registreringen av dødfisk viste at dødeligheten faktisk var lavere i merden uten kontinuerlig børsting, men begge merdene viste høy og tilfredsstillende overlevelse på over 96% i perioden.

### 3.2.2. Kortisolmetabolitter og testosteron i feces

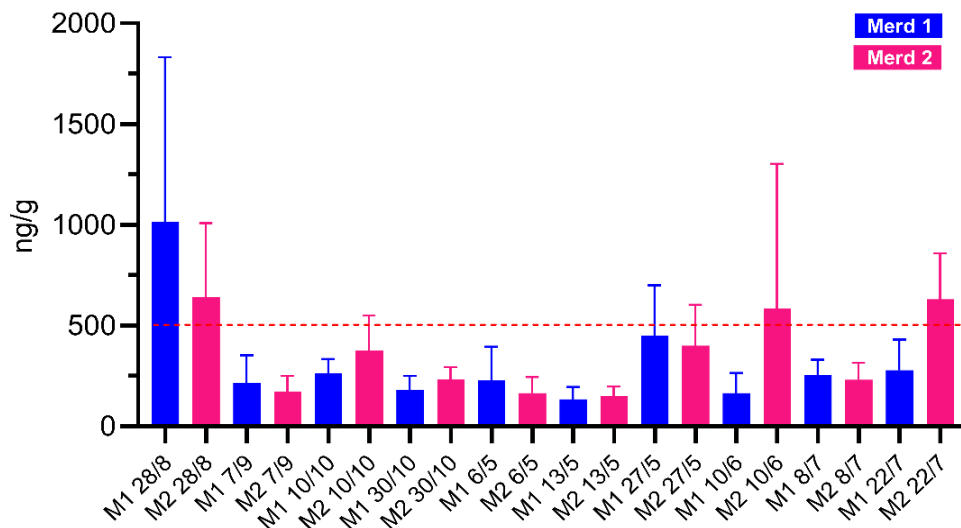
Nivået av kortisolmetabolitter ble målt i fecesprøver fra 10 uttak i forsøksperioden (figur 18). Fisken hadde sterkt forhøyet stressnivå i begge merdene den 28. august 2023, 9 dager etter utsett. På gode utsett kan stressnivået være tilbake i normalområdet 10 dager etter at fisken har kommet i sjøen, men det er ikke uvanlig at fisken bruker lengre tid på å roe seg. Den 7. september 2023, altså 19 dager etter utsett, hadde fisken roet seg fint i begge merdene og fisken viste heller ikke tegn til stress på målingene den 10/10-23, 30/10-23, 6/5-24, 13/5-24, 27/5-24. Dette tyder på at den kontinuerlige børstingen ikke var stressende for fisken. Den 10. juni 2024 var det litt tendenser til forhøyet stress i merd 2, og dette gjentok seg den 22. juli 2024.

Det ble også målt testosteron i feces (figur 19). Det var ingen tegn til tidlig kjønnsmodning, men det ble observert en liten forbigående økning i testosteron i merd 1 i midten av oktober 2023. Lignende situasjoner er blitt observert tidligere i andre fiskegrupper (upublisert data). Fisk som er gått i kjønnsmodning kan ha testosteron-nivåer i feces på over 50 ng/g. Tidlig kjønnsmodning er negativt for fiskehelsen da fisken blir mer mottakelig for sykdom. Prosjektet bekreftet at det er mulig å overvåke nivået av testosteron i feces i felt, og at metoden derfor kan være et interessant og mindre invasivt alternativ til gonadescoreing for kontroll av tidlig kjønnsmodning.

### Kortisol (Mean with SD)

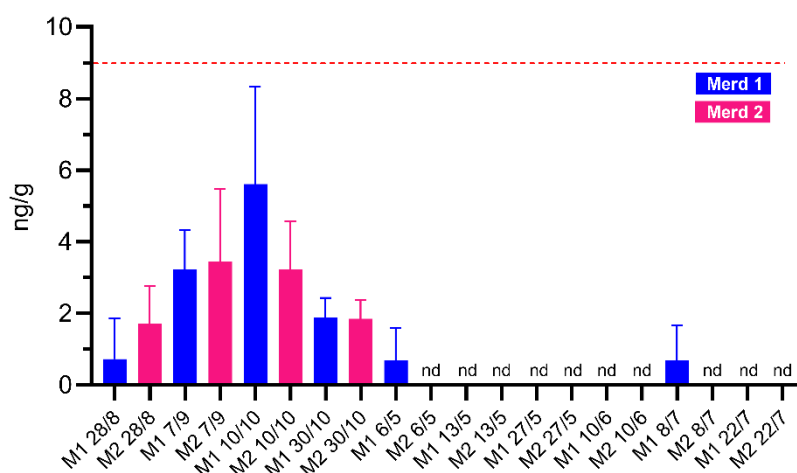


### Tetrahydrokortison (Mean with SD)



**Figur 18.** Nivå av de to stressmarkørene, glykronidert kortisol og glykronidert tetrahydrokortison i feces. Grafene viser gjennomsnittsverdier for 10 fisk per merd  $\pm$  SD. Normalområdet for de to markørene er henholdsvis  $<50 \text{ mg/g}$  og  $<500 \text{ ng/g}$ , indikert med en rød stiplet linje.

### Testosterone (Mean with SD)



**Figur 19.** Nivå av testosteron i feces fra laks. Figuren viser gjennomsnittsverdier for 10 fisk per merd  $\pm$  SD. Normalområdet for testosteron er  $< 9 \text{ ng/g}$ , indikert med en rød stiplet linje.

Det er tidligere blitt rapportert at notvasking kan gi økte kortisolnivåer i feces (FHF prosjekt 901005). Vi klarte ikke å påvise en slik økning i dette prosjektet. F.eks. ble noten i merd 1 vasket den 29. oktober, men målinger av kortisol i feces tatt et døgn etter den 30. oktober viste normale kortisolverdier. Dette kan enten skyldes at fisken hadde blitt vant med notvasking på dette tidspunktet i forsøket eller at den manuelle notvaskingen ikke var like kraftig og bråkete som metoden brukt i forbindelse med FHF prosjekt 901005 (Stene, Gansel, og Jansen 2018).

### 3.2.3. Gjellehelse

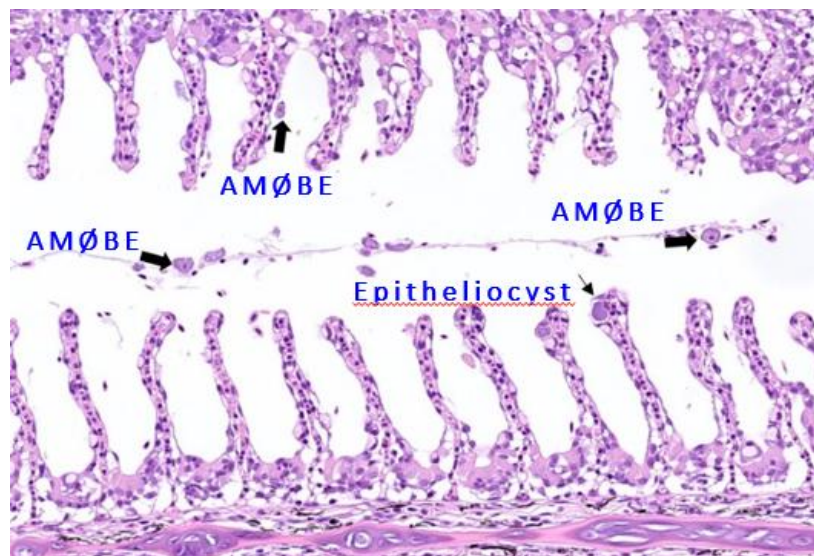
Histologiske evalueringer fra prøvetakingen i august 2023 viste enten normale gjeller eller svært små histologiske forandringer (score 0,5-1) i gjellene fra begge merdene, med lave nivåer av Salmon gill poxvirus (SGPV) og *Desmozoon lepeoptherii* (DL) påvist (tabell 10). I prøvetakingen i oktober 2023 ble det observert små til moderate (1-1,5) histopatologiske gjelleforandringer i begge merdene, inkludert mindre (1) sirkulasjonsforstyrrelser og noen få fisk med små adaptive forandringer / epitelhyperplasi med amøber (AGD, amøbegjellesykdom) (figur 20) og sirkulasjonsforstyrrelser (lamellære tromber). I prøvetakingen i mai 2024 ble det bare observert sparsomme forandringer, inkludert mindre sirkulasjonsforstyrrelser og slim og cellulært avfall mellom gjellefilamentene i begge merdene.

Det ble påvist epiteliocyster i materialet og særlig en bakterie som gir et litt annet utseende enn *Branchiomonas cysticola* i histologiske snitt. Bakterien har fått arbeidsnavnet '*Branchionella piscium*'. Bakterien ser ut til å være ganske utbredt, men hvor sykdomsfremkallende den er, er fortsatt ukjent. I materialet var det ingen tydelige forskjeller i mengde i de to merdene, men ct verdier tyder på at agensbelastning faller utover fra uttak 1 til 3 (fra august 2023 til mai 2024)(Figur 21).

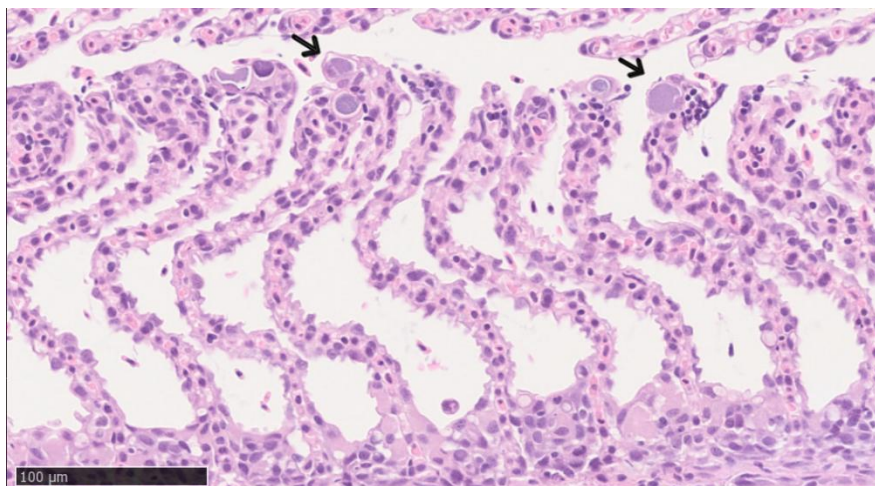
**Konklusjon:** Det var ingen åpenbare forskjeller i gjellepatologi i de to merdene.

**Tabell 10.** Oversikt over agensundersøkelser i gjeller på ulike tidspunkt i de to merdene fra lokalitet Pinnen. 10 prøver fra hver merd på hvert tidspunkt. Merd 1: Rengjøring av not med periodisk spyling. Merd 2: Kontinuerlig børsting med Remora robot og spyling når det trengtes.

Gruppe	<i>Paramoeba perurans</i>	<i>Ca. Branchiomonas cysticola</i>	Salmon gill poxvirus (SGPV)	<i>Desmozoon lepeoptherii</i> (DL)
	PCR: Ct-value median (range)			
28.08.2023 Merd 1	0 (18,5-0)	0	29,8 (27,0-34,7)	38,8 (28,0-0)
28.08.2023 Merd 2	0 (27,1-0)	0	33,0 (26,7-0)	34 (31,6-0)
30.10.2023 Merd 1	31,3 (27,2-0)	25,11 (23,0-31,7)	0 (31,23-0)	24,5 (22,5-26,1)
30.10.2023 Merd 2	31,5 (28,4-0)	24,4 (23,2-26,1)	0 (28,15-43,3)	23,5 (21,5-27,1)
06.05.2024 Merd 1	0	26,3 (22,5-29,7)	0	28,5 (25,5-33,0)
06.05.2024 Merd 2	0 (0-39,6)	26,4 (22,5-29,4)	0	27,5 (25,7-30,5)



**Figur 20.** Histologisk bilde av gjelle fra merd 1 prøvetatt 30.oktober 2023. Tykke piler viser amøber, tynne piler viser epitheliocyster. Det var ingen åpenbare forskjeller i gjellepatologi i de to merdene. Epitheliocyster er en fellesbetegnelse på innkapslede bakteriekolonier inni epitelceller (<https://nvt.vetnett.no/journal/2020/2/m-410/Gjellesykdom: Uklare og forvirrende begreper>).



**Figur 21.** Histologisk bilde av gjelle fra merd 2 prøvetatt 30. okt. Piler viser epitheliocyster mistenkt å være «*Branchionella piscium*».

### 3.2.4. Gjellehelse miljøDNA

Totalt 88 prøver ble samlet inn for mikrobiomanalyse fra laksegjeller og sjøvann (henholdsvis 70 vattpinner og 18 filtre) i løpet av 4 prøvetakingshendelser. Det ble tatt prøver av ti fisk i settefiskanlegget rett før overføring til sjøvann (16.08.2023). På lokalitet Pinnen ble det samlet inn prøvene fra 10 fisk fra hver merd (M1: kun spyling og M2: kontinuerlig børsting og spyling når det trengtes) og sjøvannsprøver fra hver merd kort tid etter overføring, 2 måneder og 8 måneder senere (28.08.2023, 30.10.2028, 06.05.2024). DNA ble ekstrahert fra 24 prøver inntil rapporteringsdato ved bruk av ZymoBIOMICS DNA Miniprep Kit, i henhold til produsentens instruksjoner. DNA ble kvantifisert ved bruk av et NanoDropOneC-instrument. Videre analyse, kvantifisering av totalt antall bakterier og sekvensering, ble utført på et mindre utvalg av 6 prøver fra andre prøvetaking den 30.10.2028 (Tabell 11).

**Tabell 11.** Informasjon om prøvene inkludert i de foreløpige analysene.

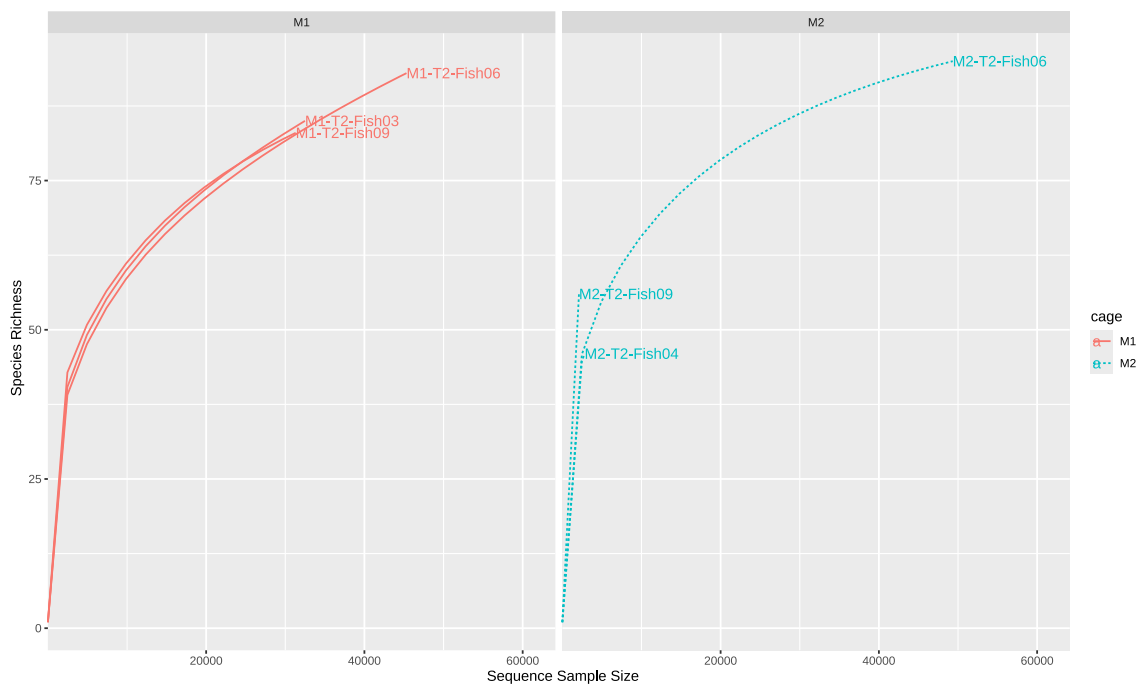
Prøve	Prøve_ID	Merd	Rensemethode
M1-T2-Fish03	T2.23	M1	tradisjonell (spyling)
M1-T2-Fish06	T2.26	M1	tradisjonell (spyling)
M1-T2-Fish09	T2.29	M1	tradisjonell (spyling)
M2-T2-Fish04	T2.34	M2	kontinuerlig børstning
M2-T2-Fish06	T2.36	M2	kontinuerlig børstning
M2-T2-Fish09	T2.39	M2	kontinuerlig børstning

Digital PCR-basert kvantifisering (Tabell 12) viste at antall bakterielle genomer var lave i alle de 6 gjelle prøvene. Antall 16S gen kopi observert her var mye lavere (2 størrelsesordener lavere) enn antallene rapportert i en lignende studie (Elshehtawy et al. 2023). Det vil si at gjellene fra fisk i disse to merdene hadde veldig lave bakterielle biomasse assosiert.

**Tabell 12.** Resultater av dPCR-kvantifisering av det totale antallet bakterier som 16S rRNA-gen kopi nummer i DNA-ekstraktene.

Prøve_ID	16S kopi/ $\mu$ l DNA	konfidensintervall (PCR-reaksjon)
T2.23	2.39E+04	18.60%
T2.26	2.32E+04	18.90 %
T2.29	1.44E+04	24.10 %
T2.34	1.60E+04	22.80 %
T2.36	3.45E+04	15.50 %
T2.39	1.07E+03	87.70 %

Ideelt sett bør minimum 1E+06 kopier 16S rRNA-genekivalent av DNA brukes som input for forberedning av amplikoner til sekvensering. For disse 6 prøvene var dette ikke oppnåelig. Likevel ble det oppnådd sekvenser av god kvalitet fra alle prøver, om enn med svært lav sekvenseringsdybde (Figur 22, Tabell 13).



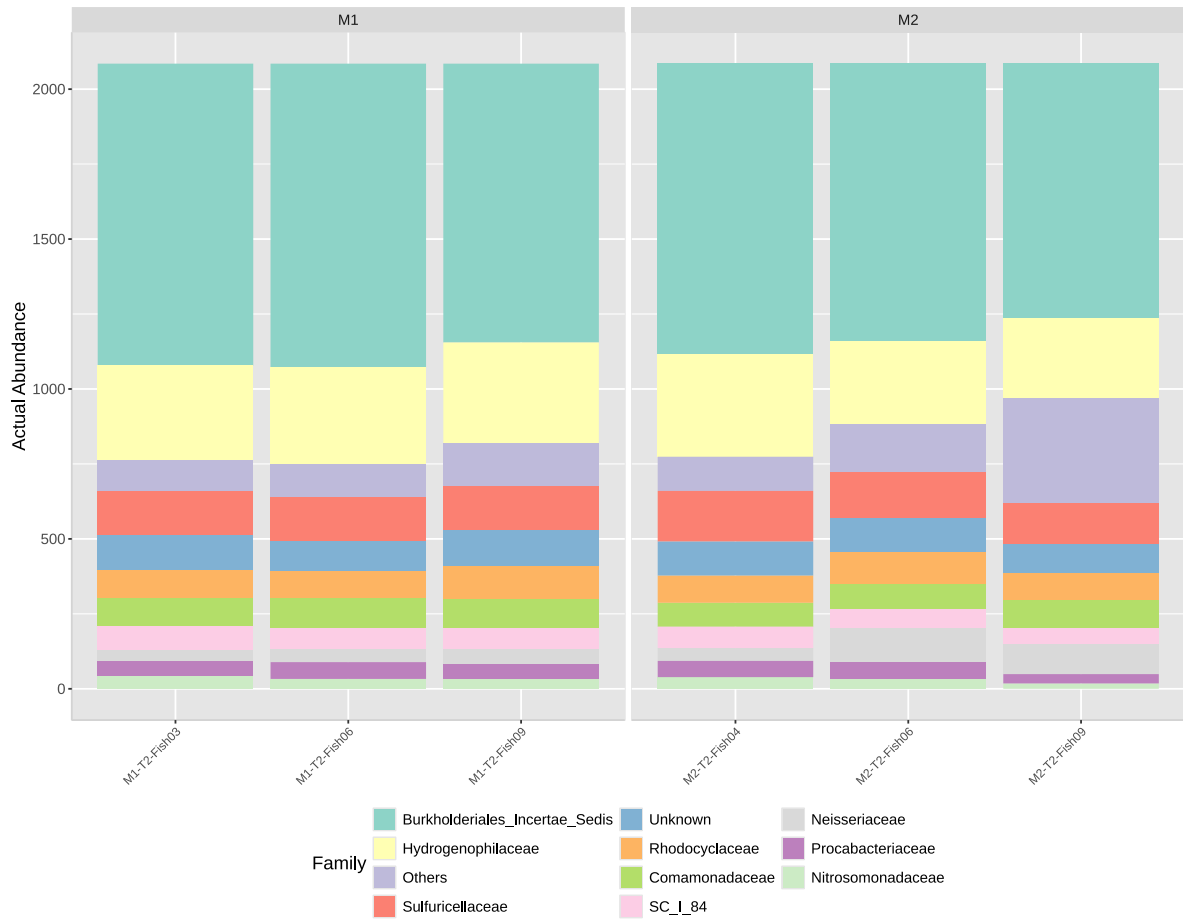
**Figur 22.** Artsakkumuleringskurver (rarefaction curves) - kurver som viser antall arter identifisert ved økende sekvenseringsdybde.

For å teste i hvilken grad antallet sekvenser oppnådd er stort nok til å fange opp variasjonen i prøvene, ble det laget «rarefaction curves»; artsakkumuleringskurver (Figur 22). Disse ble regnet ved å ta ut tilfeldige utvalg av sekvenser (1000, 5000 osv) og se hvor mange arter som blir funnet ved hver prøvestørrelse. Hvis kurven flater ut, vet man at man har funnet det meste artene som er å finne, og flater den ikke ut, burde antallet sekvenser vært høyere. Kurvene (Figur 22) viser at det ville ha vært behov for et større antall sekvenser for å fange opp de meste artene, spesielt for M2-T2-Fish04 (T2.34) og M2-T2-Fish09 (T2.39).

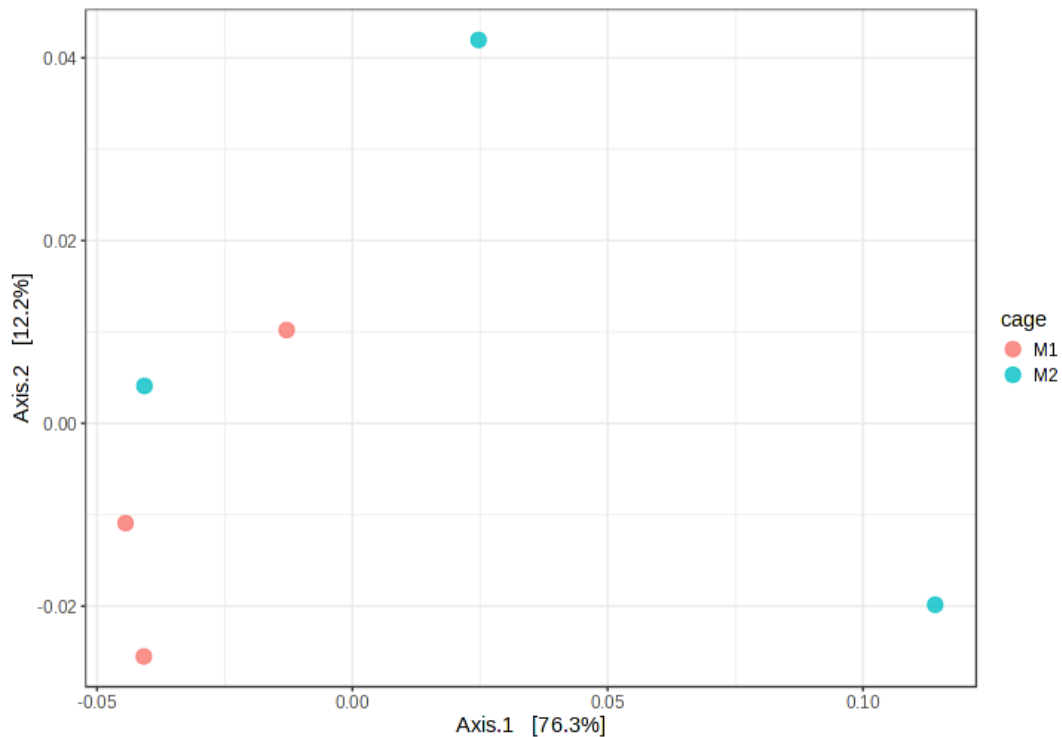
**Tabell 13.** Totalt antall sekvenser oppnådd (total reads) og antall sekvenser med en gyldig taksonomisk tilordning (classified\_reads) samt to diversitetsindekser (Shannons mangfold og Pielous jevnhet) bestemt i de 6 gjellepinneprøvene gjennom hel-lengde 16S rRNA-genprofilering.

Prøve_ID	total_reads	classified_reads	Shannons mangfold	Pielous jevnhet
T2.23	32490	30826 (94.9%)	1.97	0.43
T2.26	45320	43137 (95.2%)	1.94	0.42
T2.29	31320	29820 (95.2%)	2.04	0.44
T2.34	2810	2650 (94.3%)	2.01	0.53
T2.36	49370	46706 (94.6%)	2.16	0.45
T2.39	2100	2008 (95.6%)	2.38	0.58

Kort oppsummert ble det funnet relativt lav diversitet i disse prøvene. Totalt 7 prokaryote fyla ble identifisert og en enkelt bakterieorden, Burkholderiales, dominerte hele datasettet. Alle prøvene hadde svært lik sammensetning selv på familienivå (Figur 23). Slik høy grad av likhet mellom mikrobiom sammensetninger er svært uvanlig generelt. I tillegg, bakterieorden Burkholderiales tilhører ikke til de mest tallrike gruppene i gjelle-mikrobiom av laksefisk. Tidligere studier viser til at for eksempel Flavobacteriales, Vibrionales, Pseudomonadales, Moraxellales og Rhodobacterales er de ordenene som oftes er funnet på gjeller (Clinton et al. 2024, Costello et al. 2025, Elsheshtawy et al. 2023). Den uvanlige dominansen av Burkholderiales og den lave diversiteten kan indikere mulige avvik enten i prøvetakingen eller i analysestrategien, og bør vurderes for å forstå hva som har påvirket resultatene.



**Figur 23.** Sammensetning av bakterielle samfunnet på familie-nivå. De 10 mest dominerende familier er vist, alle andre familier er blitt oppsummert under «Others».



**Figur 24.** Principal Coordinate Analysis (PCoA) utført på Bray-Curtis avstandsmatrise. Data ble "rarefied", og total sum skalering ble utført før beregning av Bray-Curtis-forskjellene. Statistikk for sammenligning mellom de to gruppene (M1 og M2): PERMANOVA, F-value: 1.6881; R-squared: 0.29678; p-value: 0.2.

Analyse av beta-diversiteten (forskjeller mellom mikrobiom profiler), Principal Coordinate Analysis (PCoA) på Bray-Curtis avstandsmatrise, fant ingen signifikante forskjeller mellom de prøvene fra de to merder (Figur 24). Siden mengden av data som ble oppnådd ikke var tilstrekkelig for å få et helhetlig bilde av alfa-diversiteten (bakterie sammensetning i prøvene, *i.e.*, mikrobiom profiler), bør man ikke dra videre konklusjoner om beta-diversiteten.

**Konklusjon.** Analyse av gjelleassosierte mikrobiomer er kjent for å være utfordrende på grunn av den lave biomassen og begrensede bakteriemangfoldet som ligger i disse vertsassosierte mikrobiomene. Resultatene våre er i tråd med disse tidligere observasjonene (Zarantonello og Cuenca 2024). Det er nødvendig å sikre enda større sekvenseringsdybde av alfa-diversiteten før det er mulig å trekke robuste konklusjoner om forskjeller i beta-diversiteten, *i.e.*, mellom de to fiskegruppene i merd 1 og 2. Metoden har likevel et stort potensial, men krever et større antall prøver og større sekvenseringsdybde enn hva som mulig å få til i dette prosjektet.

### 3.2.5. Oppsummering om fiskehelse

Forsøket ble gjennomført på lokalitet Pinnen fra august 2023 til august 2024, der to merder ble fulgt – én med kun spyling (merd 1) og én med kontinuerlig børsting med Remora-robot kombinert med spyling (merd 2). Begge fiskegruppene hadde samme opprinnelse og ble satt ut med en viss størrelsesforskjell (179 g vs. 142 g). Appetitten tok omtrent tre uker å stabilisere etter utsett, men produksjonen gikk deretter jevnt og godt. Veksten og overlevelsen var svært lik i de to merdene (SGR 0,87; overlevelse 96–97 %). Lakselusnivået var lavt gjennom hele perioden, med behandling mot AGD og lus i november 2023 og april 2024.

På grunn av tekniske problemer med vaskeroboten måtte merd 2 spyles nesten like ofte som merd 1, slik at forsøket i praksis ble en sammenligning av manuell notvasking med og uten kontinuerlig børsting med Remora roboten. Det ble ikke observert forskjeller i fiskehelse eller dødelighet som kunne knyttes til den kontinuerlige børstingen.

Analyser av kortisolmetabolitter i feces viste forhøyede stressnivåer like etter utsett, men verdiene normaliserte seg innen tre uker. Kun mindre variasjoner ble observert senere i perioden, uten klare forskjeller mellom merdene. Testosteronnivåene lå innenfor normalområdet og indikerte ingen tidlig kjønnsmodning.

Histologiske analyser viste små til moderate gjelleforandringer høsten 2023, hovedsakelig knyttet til mild AGD og sirkulasjonsforstyrrelser. Våren 2024 var forandringene minimale, og det ble ikke funnet systematiske forskjeller i gjellepatologi mellom de to merdene. En bakterie kalt *Branchionella piscium* ble påvist, men dens betydning for sykdomsrisiko er foreløpig ukjent.

Oppsummert viste resultatene fra analyse av stressmarkører, gjellehelse, appetitt og dødelighet ingen målbare forskjeller i fiskehelsen mellom de to merdene. For fremtidige studier av notvask anbefales det å inkludere registrering av hydroider, ettersom arter som *Ectopleura larynx* kan frigjøre nesleceller som påvirker gjellene under vask.

## 3.3. Om mikroplast i feltforsøket

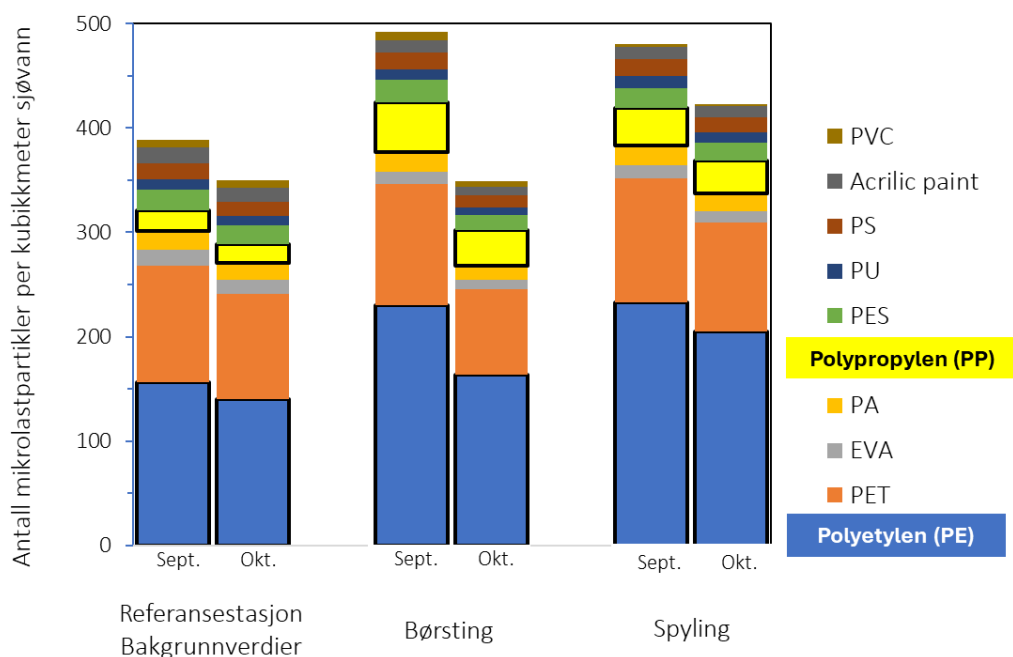
Siden feltforsøket måtte avsluttes tidligere enn planlagt pga tekniske utfordringer (se kapittel 2.6) har det kun blitt analysert mikroplast i to sett med vannprøver og ett sett med prøver av suspenderte partikler fra sedimentfeller. Med så få prøver kan man ikke gjøre en statistisk sammenligning av mengden mikroplast sluppet ut da spyling og børsting av nota pågikk, eller en statistisk sammenligning av mengden plast i oppdrettsanlegget og på referansestasjonen. Likevel har resultatene verdi og blir presentert og diskutert i avsnittene under.

### 3.3.1. Mikroplast filtrert fra vannet

#### FTIR analyser

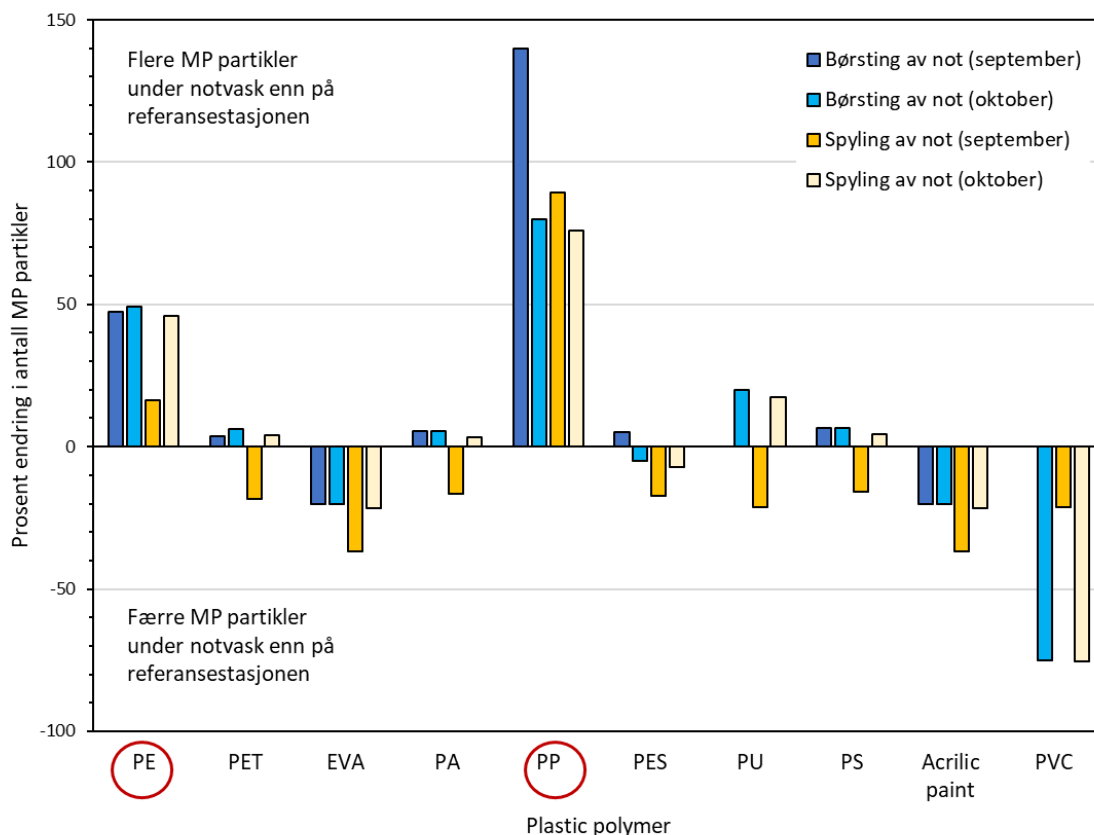
Mikroplast som ble filtrert fra sjøvannet mens børsting pågikk i den ene merden og deretter mens spyling pågikk i den andre merden. Mengden mikroplast i disse prøvene ble sammenlignet med prøver tatt på en referansestasjon uten oppdrett (bakgrunnsnivå). Det ble funnet mellom 350 og 492 mikroplastpartikler per kubikkmeter sjøvann som ble filtrert (Figur 25). De fleste MP partiklene i alle vannprøvene bestod av polyetylen (PE), men det var flere PE partikler i prøvene fra oppdrettsanlegget sammenlignet med prøver tatt samtidig på referansestasjonen (Figur 26 og 27). Det ble brukt HDPE-nøter (High Density PolyEtylen) i anlegget så resultatene indikerer at det løsnet mikroplastpartikler fra nota under notvask. Det var også flere polypropylen (PP) partikler i oppdrettsanlegget enn på referansestasjonen (Figur 26 og 28). Det var generelt flere større PE og PP partikler (diameter 90-300 µm) i prøver fra oppdrettsanlegget enn fra referansestasjonen (Figur 27 og 28).

På referansestasjonen var det flere partikler av PVC, akrylmaling og EVA (etylvinylacetat) enn i vannprøver fra oppdrettsanlegget (Figur 26), men totalt sett var det få av disse partiklene i alle prøvene.

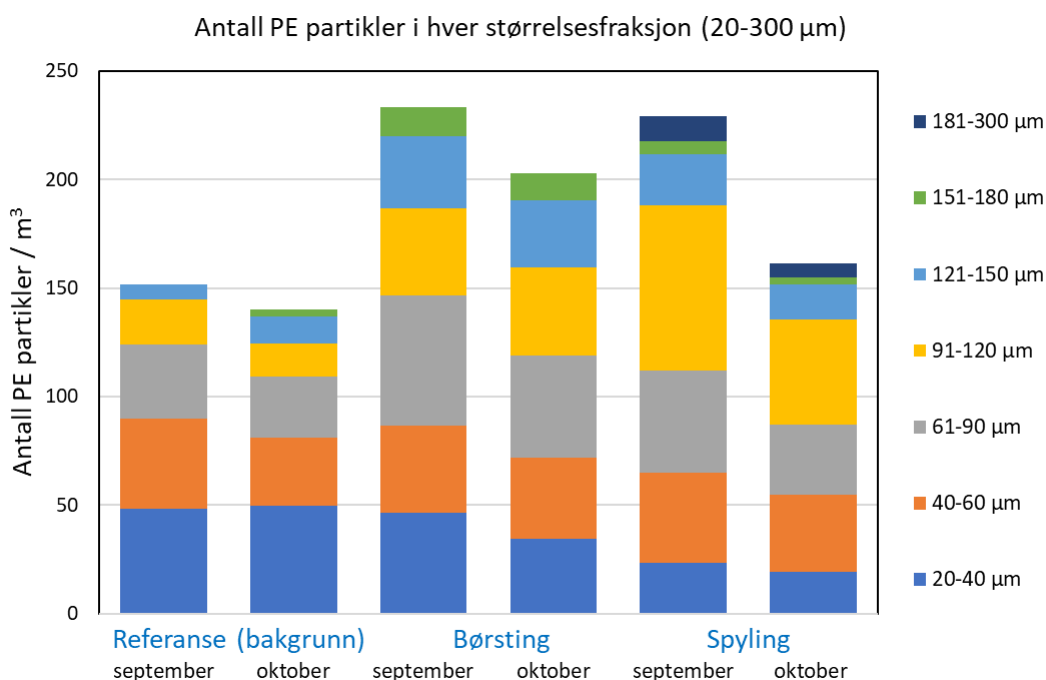


**Figur 25.** Antall mikroplastpartikler per kubikkmeter sjøvann i vannprøver som ble tatt ved siden av Merd 1 på Pinnen når nota ble rengjort med trykksplying, ved siden av Merd 2 når børsteroboten var i gang og på en referansestasjon. Merdene hadde HDPE (polyetylen) not.

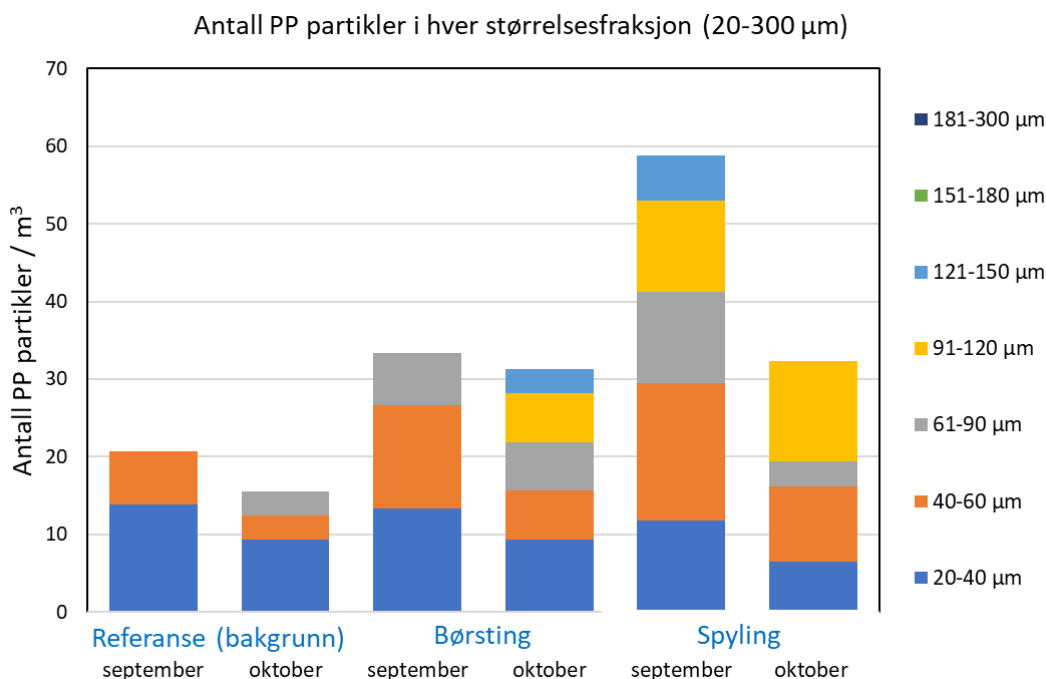
Prosent endring i antall MP partikler i vannprøver tatt når nota rengjøres i forhold til referansestasjonen



**Figur 26.** Prosent endring i antall MP partikler i vannprøver tatt ved siden av merdene på Pinnen da de ble rengjort sammenlignet med referansestasjonen (bakgrunnsverdier). Det var mer polyetylen (PE) og polypropylen (PP) i prøvene tatt på Pinnen enn på referansestasjonen. Merdene hadde HDPE (polyetylen) not.



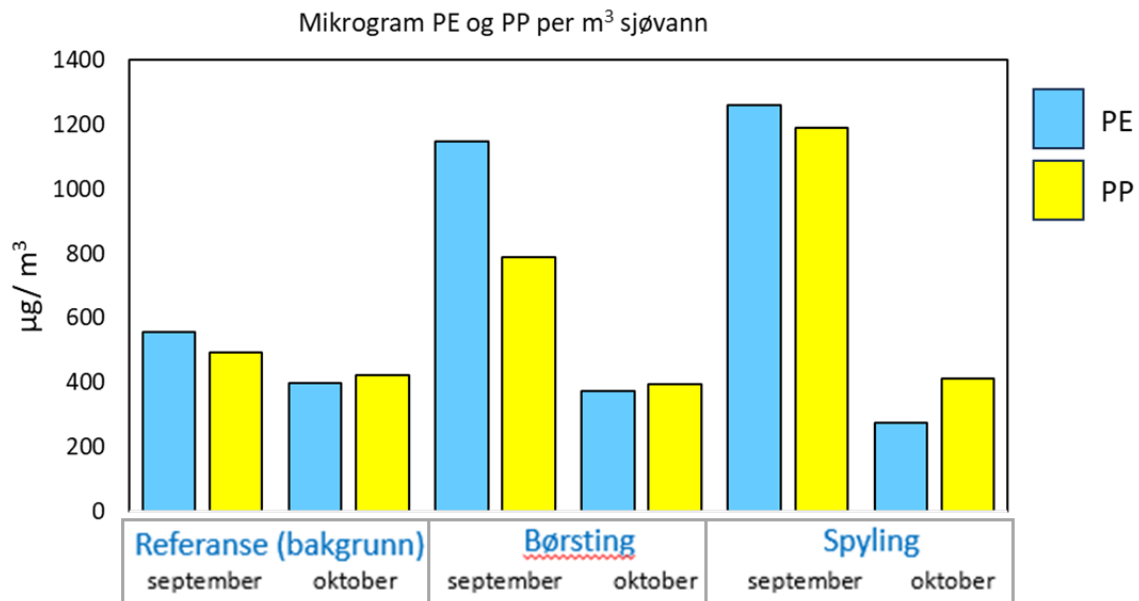
**Figur 27.** Antall polyetylen-partikler i ulike størrelsesfraksjoner (20-300 mikrometer) per kubikkmeter filtrert sjøvann. Prøvene ble tatt ved siden av Merd 1 på Pinnen når nota ble rengjort med trykkspyling, ved siden av Merd 2 når børsteroboten var i gang og på en referansestasjon. Merdene hadde HDPE (polyetylen) not.



**Figur 28.** Antall polypropylen-partikler i ulike størrelsesfraksjoner (20-300 mikrometer) per kubikkmeter filtrert sjøvann. Prøvene ble tatt ved siden av Merd 1 på Pinnen når nota ble rengjort med trykkspyling, ved siden av Merd 2 når børsteroboten var i gang og på en referansestasjon.

## Pyr-GCMS analyser

Det ble detektert PE, PMMA, PS, NY, PVC og PP i vannprøvene (Vedlegg 4). Minst 82% av plastpolymerene var PE (277-1145  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og PP (412-1187  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Figur 29). I prøvene tatt i september ble det målt mer PE og PP i oppdrettsanlegget enn på referansestasjonen, men i oktober var det omtrent like mye plast i prøver fra referansestasjonen og anlegget. Kontrollprøvene (procedural blanks and lab blanks) hadde ingen plastforurensning.

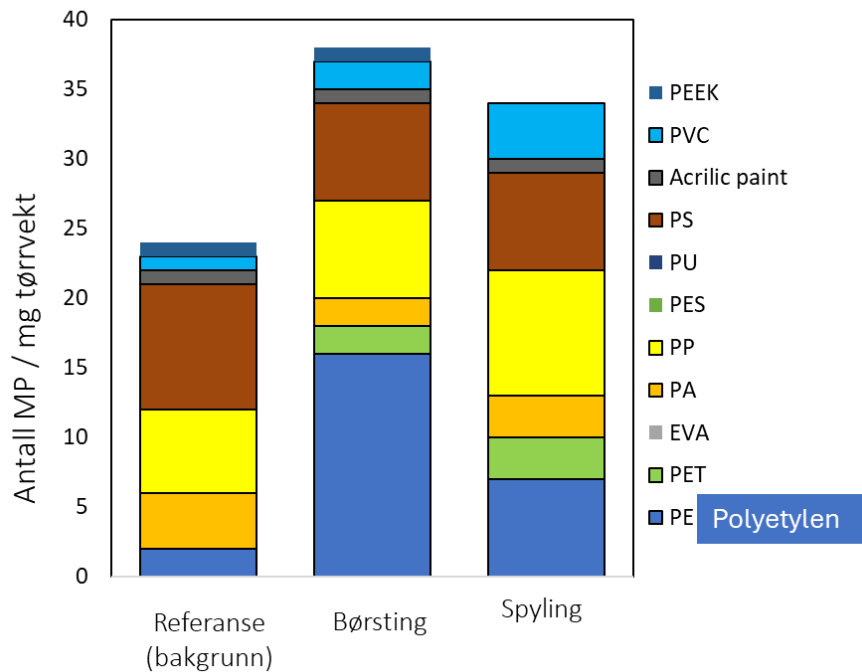


**Figur 29.** pyr-GCMS analyser. Antall mikrogram PE og PP per kubikkmeter sjøvann i vannprøver som ble tatt ved siden av Merd 1 på Pinnen når nota ble rengjort med trykkspyling, ved siden av Merd 2 når børsteroboten var i gang og på en referansestasjon. Merdene hadde HDPE (polyetylen) not.

### 3.3.2. Mikroplast i sedimentfeller

#### FTIR analyser

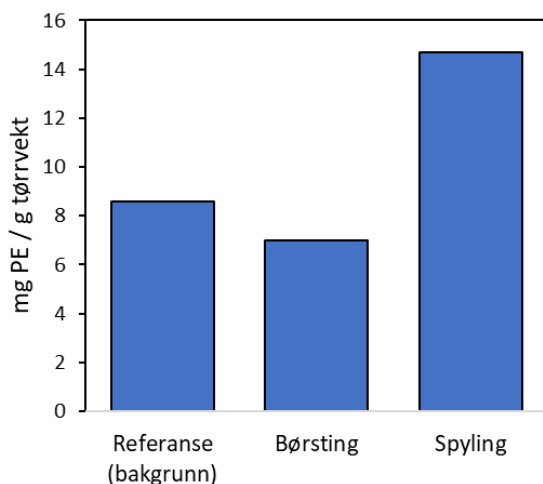
Det ble fanget opp mellom 24 og 38 mikroplastpartikler per milligram tørrvekt suspendert partikulært materiale i sedimentfellene (figur 30). Det var mange flere polyetylen partikler i feller plassert ved siden av merdene som ble børstet (8 ganger mer) og spylt (3,5 ganger mer) enn på referansestasjonen. Det ble også fanget opp dobbelt så mange PVC partikler ved siden av merden som ble børstet og fire ganger så mange PVC partikler da merden ble spylt. Når det gjelder de andre polymerene var det mindre forskjeller mellom referanse og anlegg (figur 30).



**Figur 30.** FTIR analyser: Antall mikroplastpartikler per milligram tørrvekt suspendert partikulært materiale fanget i sedimentfeller. Fellene samlet materiale i en time mens Merd 1 ble spylt og Merd 2 ble børstet og like lenge på referansestasjonen. Merdene hadde HDPE (polyetylen) not.

### Pyr-GCMS

Minst 89 prosent av polymerene som ble detektert i sedimentfellene var PE og PP (vedlegg 4). Pyr GCMS analysene viste høyere konsentrasjon av PE i sedimentfellen under spyling av nota enn på referansestasjonen (Figur 31).



**Figur 31.** pyr-GCMS analyser: Antall mg PE per gram tørrvekt suspendert partikulært materiale fanget i sedimentfeller. Fellene samlet materiale i en time mens Merd 1 ble spylt og Merd 2 ble børstet og like lenge på referansestasjonen.

### 3.3.3. Mikroplast i blindprøver (forurensningskontroll)

Forurensningen var knyttet til håndtering av prøvetakingsutstyret, klargjøring av prøven for analyse, og til slutt selve analysen. Resultatene viste en forurensning på  $9 \pm 1$  MP per prosedyre blindprøve. Mikroplastpartiklene i blindprøvene bestod av omtrent 60% PE, 10% PET og 30% PES. Den målte kontaminasjonen av ikke-syntetiske materialer (ca.  $26 \pm 4$  partikler) var proteinbasert materiale og cellulosefibre. Videre viste resultatet av våtfellesamlerne en forurensning på  $3 \pm 1$  MPs per felle plassert i det rene laboratoriet der prøvene ble behandlet og analysert ved  $\mu$ -FTIR-avbildning. Mikroplastpartiklene i våtfellesamlerne bestod av omtrent 60 % PE og 40 % PS.

### 3.3.4. Mikroplast i prøver fra feltforsøket: Diskusjon

Siden feltforsøket måtte avsluttes tidligere enn planlagt pga tekniske utfordringer (se kapittel 2.6) har vi kun analysert to sett med vannprøver og ett sett med prøver av suspenderte partikler fra sedimentfeller. Med så få prøver kan man ikke konkludere om børsting av not slipper ut mer eller mindre mikroplast enn spyling av not, men de resultatene vi har viste at det var flere PE-partikler i oppdrettsanlegget under børsting og spyling av HDPE not enn på referansestasjonen. Nøtene på Pinnen var laget av HDPE, så økt mengde PE i vann eller suspendert materiale i oppdrettsanlegget i forhold til på referansestasjonen kan skyldes at børsting og spyling av nota førte til utslipp av PE, men det er også andre kilder til polyetylen-partikler i et oppdrettsanlegg, blant annet fôrslanger (Huntington 2019; Lusher, Hollman, og Mendoza-Hill 2017). Det er tidligere dokumentert høyere konsentrasjon av PE i vannprøver og sedimentprøver tatt nær oppdrettsanlegg enn på referansestasjonen (Gomiero, Marte Haave, et al. 2020). I FHF-prosjekt 901820 ble det imidlertid ikke funnet økt mengde mikroplast i vannet mens notvask med høytrykksspyling, kavitasjonsvasking og Watbots AUV-børsting pågikk sammenlignet med vannprøver tatt før notvasken startet (Booth et al. 2025). I No-Gro var det kun små forskjeller i mengde mikroplast i prøver tatt i oppdrettsanlegget under notvask og prøver tatt på referansestasjonen.

Hvis det slippes ut omtrent like mye PE hver gang noten rengjøres med børsting og spyling må man ta hensyn til at spyling gjøres periodisk, mens børsting gjøres kontinuerlig og dermed totalt sett kan føre til mer mikroplastutslipp. Se diskusjonen fra labforsøket i kapittel 3.4.

Hvis man ønsker mer kunnskap om mengden plast som løsner når ulike typer notlin blir rengjort med vaskeroboter og spyling må man sammenligne lokaliteter der alle nøtene rengjøres med børsterobot med lokaliteter der alle nøtene rengjøres med spyling. Typen not må være den samme og strømforholdene må være sammenlignbare for å kunne lykkes med å sammenligne mikroplastutslippene. Likevel vil de andre kildene til mikroplast fra anlegget og fra eksterne kilder kunne påvirke resultatene. Derfor kan kontrollerte labforsøk gi nyttig kunnskap som det kan være vanskelig å få fra kompliserte feltforsøk. Labforsøkene kan dokumentere relativ mengde mikroplast sluppet ut når ulike typer notlin rengjøres med ulike vaskemetoder. Resultatene fra slike labforsøk kan hjelpe oppdrettsnæringen å velge en type not som minimerer utslipp av mikroplast fra rengjøring av nota (se kapittel 3.4). Ved å optimalisere både notvaskeren og typen not som brukes kan mengden mikroplast som slippes ut reduseres.

## 3.4. Børsting vs spyling av HDPE- og nylon-nett i kontrollert labforsøk

### 3.4.1. Evaluering av lab-oppsettet

Lab-oppsettet som ble utviklet i No-Gro kan brukes til å sammenligne hvor mye mikroplast som slippes ut når ulike typer notlin rengjøres med børsting eller spyling og hvor effektivt ulike typer vasketeknologi fjerner naturlig groe på nota. I No-Gro prosjektet ble det gjort ett forsøk med lite groe på nøtene og mengden organisk materiale og mengden groe som ble spylt eller børstet av HDPE og nylon not ble dokumentert.

Første gang testpanelene sto ute i felt ble det så mye begroing (rank 6, figur 5 og 12) at det ikke ville bli mulig å dokumentere både mengden organisk materiale og mengden mikroplast som ble børstet eller spylt av nettet. Remora gjorde noen små tester i NORCE sin lab på Mekjarvik for å sjekke effektiviteten til ulike børstetyper, men dette var ikke kvantitative tester. Etterpå ble testpaneler med nytt nett ble satt ut igjen i felt. Av logistiske grunner ble de tatt inn igjen etter tre uker. Testpanelene hadde generelt lite begroing etter tre uker i felt (Rank 0-1, figur 5 og 32). Det ble tatt bilder av begroingen på nettet ved start og etter 15 og 30 børste/spyle overganger. Et representativt eksempel er vist i Figur 32. Etter testpanelene hadde blitt børstet eller spylt ble vannet i tankene (300 liter) filtrert for å samle opp groe og mikroplast, tørrvekten ble dokumentert og resultatene er oppgitt som antall gram tørrvekt per kvadratmeter nett rengjort (Figur 32). I utgangspunktet var planen å lage time-lapse video fra hver test for å se hvor mange overganger med børsting eller spyling som skulle til for å fjerne begroingen, men det var for lite begroing på testpanelene til å kunne se om den ene vasketeknologien var bedre enn den andre. Hovedfokuset i labforsøket ble derfor å dokumentere antall mikroplast-partikler som ble børstet eller spylt av HDPE og nylon-nett med de ulike vasketeknologiene (se kapittel 3.4.2).

Hvis man ønsker å sammenligne hvor effektivt ulike børstemoduler fjerner groe på not som er veldig begrodd og i tillegg ønsker å undersøke hvor mye mikroplast som løsner når nota vaskes kan man bruke forsøksoppsettet som ble laget i No-Gro prosjektet på følgende måte:

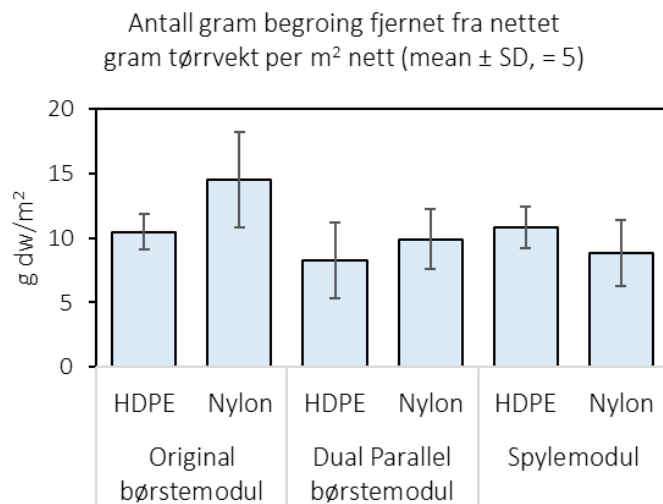
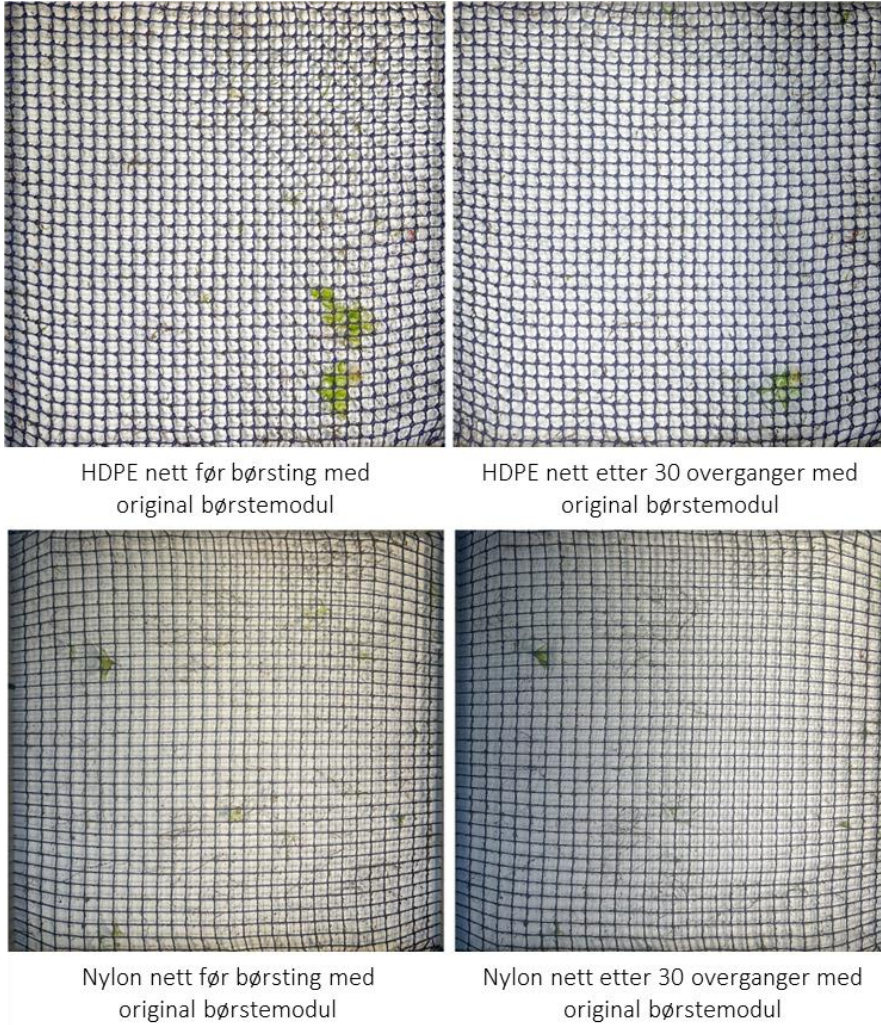
- 1) Først dokumentere hvor mye mikroplast som løsner når ren not vaskes. Testpaneler med ren not børstes eller spyles i en tank uten vanngjennomstrømming slik at all mikroplast som løsner kan filtreres ut av vannet og analyseres. I No-Gro labforsøket gjorde vi dette, men med tre-ukers groe på testpanelene.
- 2) Når mikroplast-testene er gjort, settes testpanelene ut i felt ved siden av et oppdrettsanlegg for å få på relevante groe-organismer. For å få omtrent samme mengde groe på testpanelene bør de plasseres på samme dyp (nær overflaten) og et sted der de eksponeres for vann som kommer fra oppdrettsanlegget. Når mengden begroing er relevant for problemstillingen tas testpanelene inn i laben. En problemstilling kan være at man ønsker å sjekke om en ny type børste klarer å fjerne rank 4 eller rank 5 groe på nota.
- 3) For å dokumentere hvor mange overganger med en børste eller annen vaske-metode som trengs for å fjerne groen kan man lage time-lapse video. For hver gang børsten går over nettet kan man

ta et bilde, helt til all groe er fjernet. Denne delen av forsøket må gjøres i tanker der det er mulig å ta bilder både fra oversiden og undersiden av testpanelet. Slike fototanker ble laget og testet i No-Gro (Figur 33). For å få gode bilder må man bruke kontinuerlig gjennomstrømming av sjøvann i tanken slik at alt grums (groe som er vaske av) forsvinner raskt.

Selv om ingen lab-oppsett kan kopiere nøyaktig forholdene i et oppdrettsanlegg der not spyles eller børstes, så vil man kunne få nyttig informasjon fra forsøk utført i oppsettet som ble utviklet i No-Gro prosjektet. Det gjelder både kunnskap om hvor effektiv notvasken er og kunnskap om utslipp av mikroplast fra ulike typer not. Når det gjelder utslipp av mikroplast vil det nye lab-oppsettet simulere notvask på en mer realistisk måte enn standardisert slitasjetesting av notlin beskrevet i Førde og Gaarder (2018) og brukt i Boot et al. (2025).

Hvis man ønsker mer kunnskap om hvordan ulike typer notvask påvirker fiskehelse og mikroplastutslipp i kommersielle oppdrettsanlegg anbefales det å analysere prøver tatt gjennom hele produksjonssyklusen på lokaliteter der alle nøtene rengjøres med samme type vaskerobot og sammenligne resultatene med prøver tatt på andre lokaliteter der alle nøtene rengjøres med spyling eller en annen type vaskerobot.

Remora har besluttet å ikke gå videre med «Dual parallell børstemodulen» med de bøyde børstene som ble testet i labforsøket.



**Figur 32.** Bildene viser HDPE og nylon nett før og etter 30 ganger børsting med den originale børstemodulen. Det var lite begroing på testpanelene (Rank 0-1). Grafen viser antall gram tørrvekt med begroing som ble fjernet per kvadratmeter nett vasket i labforsøket.



**Figur 33.** Fototank laget for å lage time-lapse video når groe vaskes av testpaneler. Man kan sammenligne ulike typer av børste- og spyleteknologi for å sjekke hvilken som er mest effektiv på ulike typer nett under kontrollerte betingelser. Bilder kan tas hver gang børsten eller spylerriggen passerer over nota.

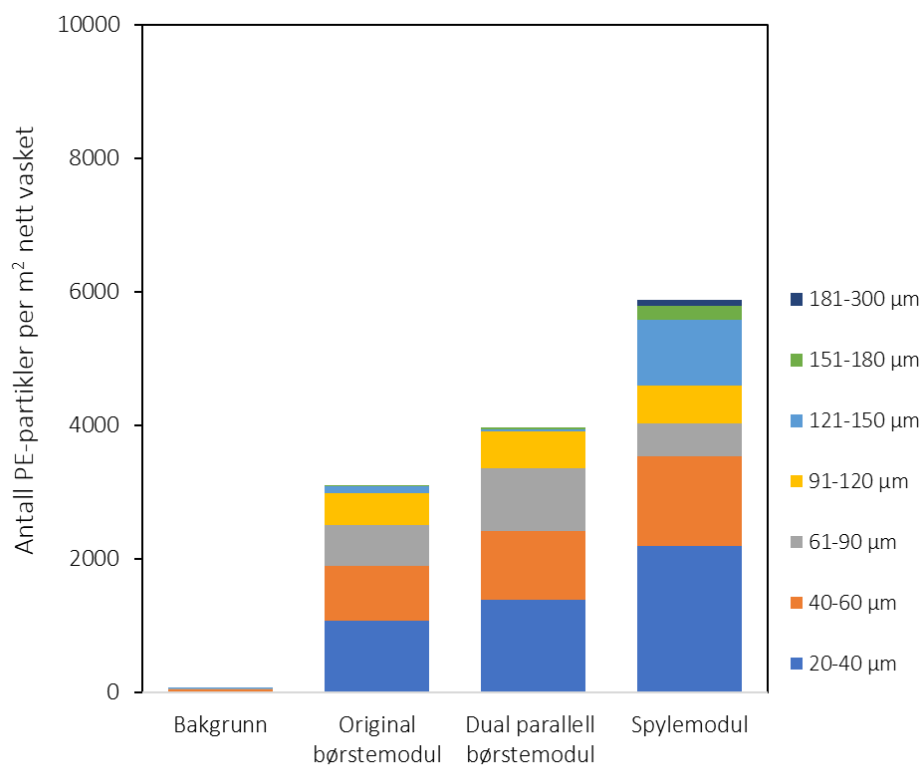
### 3.4.2. Utslipp av mikroplast fra notvask i labforsøket

#### *Polyetylen-partikler som løsnet fra HDPE nett børstet og spylt i labforsøk (FTIR)*

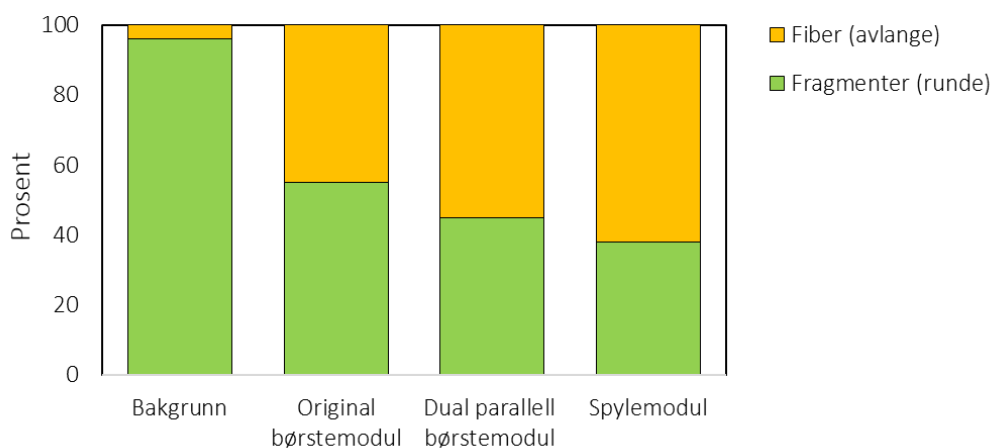
*Antall mikroplastpartikler.* Rengjøringsteknologien påvirket antall mikroplastpartikler som ble sluppet ut da HDPE (polyetylen)-nett ble rengjort i labforsøket (Figur 34). Spyling av HDPE-nett ga størst utslipp av PE-partikler ( $5877 \pm 386$  MPs/m<sup>2</sup> nett rengjort). Signifikant lavere utslipp ble observert under børsting av nettet (dual parallell børstemodul:  $3968 \pm 418$  MPs/m<sup>2</sup>, Mann-Whitney  $p < 0,411$ ; original børstemodul:  $3097 \pm 386$  MPs/m<sup>2</sup>, Mann-Whitney  $p < 0,461$ ), enn under spyling.

*Størrelsen til PE-partiklene.* Det ble frigitt flest PE-partikler i størrelsesfraksjon 20-40  $\mu\text{m}$  (20-25 %) etterfulgt av 40-60  $\mu\text{m}$  (18-20 %) da HDPE-nettet ble rengjort med spyling eller børsting. Det ble kun observert utslipp av større partikler (151-300  $\mu\text{m}$ ) da nettene ble spylt (Figur 34).

*Formen til PE-partiklene (avlang vs rund, morfometriske analyser).* Da HDPE-nettet ble spylt var 62% av PE-partiklene fiber, det vil si avlange partikler. Da nettet ble børstet var 50% (enkeltbørste) og 55% (dobbelbørste) av partiklene fiber (Figur 35), resten var runde partikler.



**Figur 34.** Totalt antall PE-partikler frigitt per kvadratmeter nett børstet eller spylt i labforsøket. Figuren viser også hvor mange partikler det var i hver størrelsesfraksjon fra 20 til 300 µm.



**Figur 35.** Formen til PE-partiklene som ble frigitt under børsting og spyling av HDPE-nett i labforsøket.. Andel avlange vs runde partikler (morfometriske analyser).

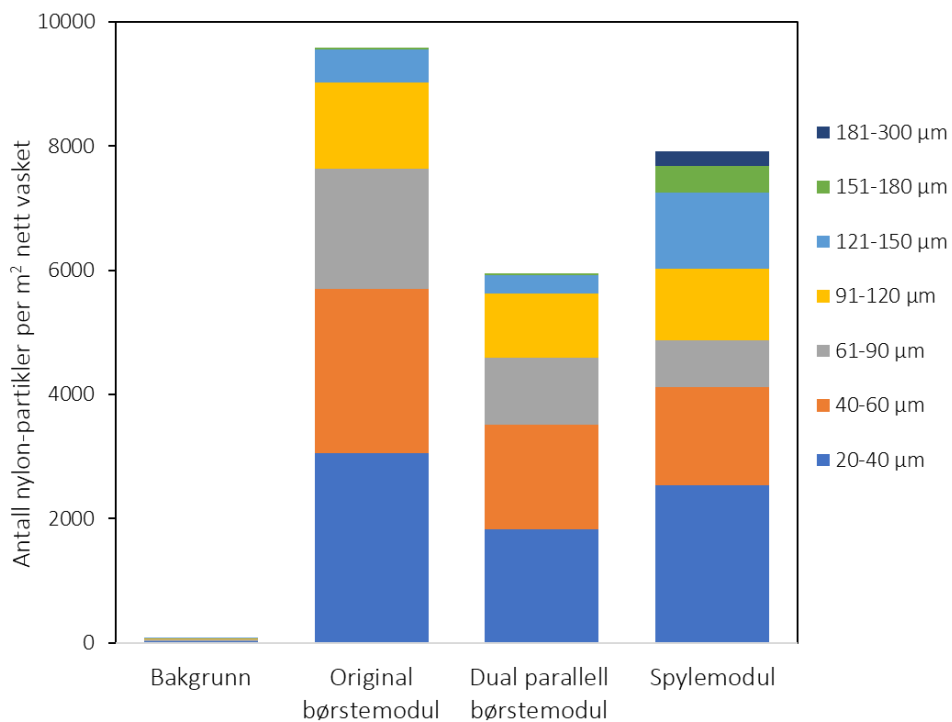
*Mikroplastpartikler som løsnet fra nylon nett børstet og spylt i labforsøk (FTIR)*

Antall nylon-partikler. Rengjøringsteknologien påvirket også mengden nylon-partikler som ble sluppet ut da nylon-nett ble rengjort (Figur 36). Børsting av nylon nett med den originale børstetmodulen ga størst utslipp av mikroplast (9583 ± 610 MPs/m2 rengjort nett) og børsting med dual parallell

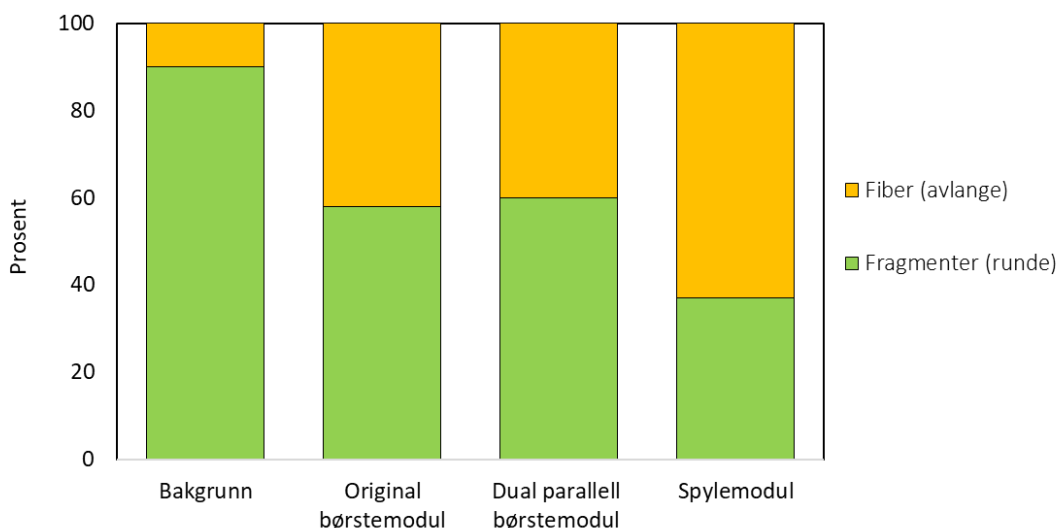
børstemodul ga minst utslipp  $5946 \pm 428$  MPs/m<sup>2</sup> (Mann-Whitney,  $p < 0,397$ ). Spylingen av nylon-nettet ga  $7912 \pm 531$  MPs/m<sup>2</sup> rengjort nett. Alle testede rengjøringsteknologier viste statistisk forskjellige partikkelutslipp (Mann-Whitney,  $p < 0,413$ ).

*Størrelsen til nylon-partiklene.* Det var mest små mikroplastpartikler i prøvene; 20-28% var 20-40 µm i diameter og 17-25% var 40-60 µm. Større partikler (151-300 µm) ble stort sett bare sluppet ut i forbindelse med spyling av nylon-nettene (Figur 36).

*Formen til mikroplastpartiklene (avlang vs rund, morfometriske analyser).* Det løsnet flest fiber (60% avlange partikler) da nettet ble spylt, men kun 40% fiber da nettet ble børstet (Figur 37).



**Figur 36.** Totalt antall nylon-partikler frigitt per kvadratmeter nett børstet eller spylt i labforsøket. Figuren viser også hvor mange partikler det var i hver størrelsesfraksjon fra 20 til 300 µm.



**Figur 37.** Formen til nylon-partiklene som ble frigitt under børsting og spyling av nylon-nett i labforsøket. Andel avlange vs runde partikler (morfometriske analyser).

#### Konsentrasjon av PE og nylon analysert med pyr-GCMS

Resultatene fra massespektrometri-analysene (pyr-GCMS) viste signifikant lavere konsentrasjon av polyetylen i vannet da HDPE-nettet ble børstet med den originale børstestemodulen enn med dual parallell børstestemodul eller spylemodulen (Tabell 14, Mann Whitney,  $p < 0,299$ ). En annen trend ble observert for konsentrasjonen av nylon i vannet da nylon-nettet ble rengjort. Det ble dokumentert signifikant lavere konsentrasjon av nylon etter børsting med dual parallell børstestemodul enn med original børstestemodul (Tabell 13, Mann-Whitney,  $p < 0,481$ ) og spylemodul (Tabell 13, Mann-Whitney  $p < 0,299$ ). Massespektrometri-analysene bekreftet resultatene fra FTIR analysene (antall mikroplast-partikler) om at det ble sluppet ut mer nylon fra nylon-nettet enn polyetylen fra HDPE nettet da nettene rengjort med den originale børstestemodulen (Mann-Whitney,  $p < 0,488$ ) og med spylemodulen (Mann-Whitney,  $p < 0,138$ ). Når det gjelder rengjøring med Dual parallell børstestemodul ble det derimot observert en motsatt trend.

**Tabell 14.** Resultater fra pyr-GCMS analyser. Konsentrasjoner av polyetylen og nylon i labforsøket.

Resultater fra labforsøket	Konsentrasjon av polyetylen og nylon per kvadratmeter nett rengjort Gjennomsnitt $\pm$ standardavvik, $n = 5$	
	Testpanel med HDPE-nett	Testpanel med nylon-nett
Dual parallell børstestemodul	PE: <b>786,2</b> $\pm$ 36,4 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ Nylon: < LoD	Nylon: <b>42,8</b> $\pm$ 7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ PE: 12,5 $\pm$ 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
Original børstestemodul	PE: <b>195,1</b> $\pm$ 21,4 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ Nylon: 36,5 $\pm$ 12,7	Nylon: <b>236,8</b> $\pm$ 13,4 PE: 35,1 $\pm$ 9,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
Spylemodul	PE: <b>992,2</b> $\pm$ 46,51 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ Nylon: < LoD	Nylon: <b>3276</b> $\pm$ 1238 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ PE: 59,1 $\pm$ 14,5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
Kontroll (bakgrunn)	PE: 2,1 $\pm$ 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ Nylon: < LoD	Nylon: < LoD PE: 1,3 $\pm$ 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$

### Oppsummering. Utslipp av mikroplast i labforsøket

I labforsøket ble mengden mikroplast som ble frigitt fra et lite areal HDPE eller nylon not som ble spylt med høytrykkspyler eller børstet med to ulike typer børster laget for Remora roboten dokumentert. Børste- og spyle-riggene gikk over nøtene med samme hastighet og like mange ganger i hver test. Vannet ble filtrert og antall mikroplast-partikler ble analysert med FTIR, i tillegg til konsentrasjonen av polyetylen og nylon med pyr-GCMS. Resultatene ble normalisert til antall kvadratmeter not som ble børstet eller spylt.

**HDPE vs Nylon.** Det ble sluppet ut flere mikroplast-partikler fra nylon-nett enn HDPE-nett både da de ble børstet og da de ble spylt (Mann Whitney, p-value: 0,396, Tabell 15). Resultatene fra pyr-GCMS bekreftet høyere plastutslipp fra nylon-nett enn HDPE-nett for spylemodulen og den originale børstemodulen (Tabell 14). Nylon er det mest brukte materialet i notposer for oppdrett, men HDPE nett er mer slitesterkt og egner seg godt når notposene for det meste vaskes med roboter<sup>11</sup>. I FHF-prosjektet SMARTER viste standardiserte slitasetester i lab at nylon notlin kan frigjøre opptil fem ganger mer mikroplast enn polyetylenbaserte nett (Booth et al. 2025). Labforsøket i No-Gro viste mindre forskjell i mikroplastutslipp fra HDPE og nylon-nett, men trenden var den samme.

Nyere data fra Remora viser imidlertid at HDPE-nøter krever flere passeringer for å holdes rene enn nylon-nøter (*pers. com.* Brage Amundsen, Remora Robotics). Nylon er enklere å holde ren, og det er derfor behov for færre passeringer, noe som Remora mener balanserer ut forskjellene mellom materialene. Dette skyldes at HDPE er stivere, har knuter og større tråddiameter enn nylon, noe som gjør det vanskeligere å nå baksiden av nota. Dermed får groe lettere feste på HDPE not og utvikles fra utsiden og innover. Slike erfaringer fra bruk av notvask (både børsting og spyling) må tas med i betraktningen når man vurderer valg av notlin.

**Børsting vs spyling.** I testene med HDPE nett ble det sluppet ut flere partikler under spyling enn børsting av nettet (Mann-Whitney,  $p < 0,413$ , Tabell 15), men i testene med nylon-nett var utslippet av mikroplast størst da det ble børstet med den originale børstemodulen (Mann-Whitney,  $p < 0,488$ , Tabell 15). pyr-GC-MS-analysene viste at spyling av både HDPE-nett og nylon-nett ga høyere konsentrasjon av plast (henholdsvis PE og nylon) i vannet enn børsting (Tabell 14).

---

<sup>11</sup> <https://scaleaq.no/produkt/notlin/> og <https://www.vonin.com/no/product/notposer/> (nettsider med produktinformasjon om notposer).

**Tabell 15.** Antall mikroplastpartikler frigitt per kvadratmeter nett børstet eller spylt i labforsøket. Børste-riggene og spylerriggen kjørte over nettet 30 ganger i løpet av forsøket. Kontrollprøvene er tatt fra tanker fylt med sjøvann og med børste- og spylerrigg plassert i tanken. Testpanelene var ikke i tanken da kontrollprøvene ble tatt.

Resultater fra labforsøket	Antall mikroplast-partikler frigitt per kvadratmeter nett rengjort Gjennomsnitt ± standardavvik, n = 5	
	Testpanel med HDPE-nett Antall PE-partikler	Testpanel med nylon-nett Antall nylon-partikler
Dual parallell børstemodul	3873 ± 330	5750 ± 777
Original børstemodul	3025 ± 254	9277 ± 1233
Spylemodul	5057 ± 486	7663 ± 1032
Kontroll (bakgrunn)	70 ± 1	90 ± 1

Selv om det er noen forskjeller i utslipp av mikroplast mellom de ulike vaskemetodene så må man ta hensyn til hvor ofte hver kvadratmeter av nota blir vasket for å beregne mengden mikroplast som frigis til miljøet under notvask. En børsterobot som skal hindre begroing vil gå over nettet omtrent en gang i døgnet, dvs 540 ganger i løpet av produksjonssyklusen på 18 måneder. Hvis man rengjør nøtene kun med spyling så gjøres det mellom 20 og 70 ganger i hver produksjonssyklus avhengig av geografi, temperatur og strømforhold<sup>12</sup>. Hvor mange ganger man spyle det samme området av nota vil avhenge av hvor mye begroing det er. Det er vanlig å gå over 1-3 ganger (*pers. com.* Hermund Thomas Otterlei, Remora Robotics). Hvis man spyle 20 ganger og kun vasker samme areal en gang blir det kun 20 overganger i løpet av produksjonssyklusen, men hvis hvert område spyles 3 ganger i 70 periodiske spylinger blir det 210 overganger. Når nøtene rengjøres med en børste-robot blir hver kvadratmeter av nota børstet omtrent en gang per dag, dvs 540 ganger i løpet av produksjonssyklusen på 18 måneder. Hver kvadratmeter av nota vil altså bli rengjort betydelig oftere med kontinuerlig notvask enn med periodisk spyling. Når antall mikroplastpartikler som slippes ut er i samme størrelsesorden for børsting og spyling (Tabell 15), vil det totalt sett i løpet av en produksjonssyklus slippes ut flere mikroplast-partikler med kontinuerlig børsting enn med spyling.

De relative mikroplastutslippene fra kontinuerlig børsting og periodisk spyling ble beregnet basert på data fra labforsøket (Tabell 15, Vedlegg 5). Avhengig av hvor ofte nettet spyles, typen not og typen børste så kan mikroplastutslippene bli omtrent 2-33 ganger så høye med kontinuerlig notvask som med periodisk spyling i løpet av en produksjonssyklus (Vedlegg 5). Dette resultatet forutsetter at den simulerte børstingen og spylingen i labforsøket er representative for det som skjer i oppdrettsanleggene.

Selv om ingen lab-oppsett kan kopiere nøyaktig forholdene i et oppdrettsanlegg der not spyles eller børstes, så vil man kunne få nyttig informasjon fra labforsøk utført i oppsettet som ble utviklet i No-Gro prosjektet. Det gjelder både kunnskap om hvor effektiv notvasken er og kunnskap om utslipp av mikroplast fra ulike typer not. Når det gjelder utslipp av mikroplast vil det nye lab-oppsettet simulere

<sup>12</sup> <https://www.kyst.no/effekten-av-notspyling-pa-fiskehelse/1528918>

notvask på en mer realistisk måte enn standardisert slitasjetesting av notlin beskrevet i Førde og Gaarder (2028) og brukt i Boot et al. (2025).

Når vaskerobotene blir så effektive at de holder nota ren for begroing uten bruk av antigroemiddel og uten ekstra runder med spyling, så vil det bli mindre utslipp av organisk materiale sammenlignet med periodisk spyling og ingen miljøskadelige antigromiddel-utslipp. Likevel kan de totale utslippene av mikroplast bli høyere med børsting av nettet enn med spyling. Det er viktig at robotprodusentene jobber videre med å finne gode tekniske løsninger som reduserer mikroplastutslipp i tillegg til å holde begroingen nede kontinuerlig. Lab-oppsettet som ble utviklet i No-Gro er nyttig for å sammenligne mengden mikroplast som slippes ut i forbindelse med at ulike typer nett rengjøres med ulike vaskemetoder.

## 4. Hovedfunn

- Det ble utviklet et nytt lab-oppsett som kan brukes til å sammenligne hvor mye mikroplast som slippes ut når testpaneler med notlin rengjøres med børsting eller spyling og hvor effektivt ulike typer vasketeknologi fjerner naturlig groe på nota. Testpaneler med not ble satt ut i felt ved siden av et oppdrettsanlegg for å få naturlig groe. Børste- og spylemoduler ble utviklet for å simulere notvask med ulike metoder.
- Mengde mikroplast som ble frigitt under børsting og spyling av HDPE- og nylon-not ble sammenlignet i et labforsøk. Det ble i gjennomsnitt sluppet ut mellom 3025 og 9277 mikroplastpartikler per kvadratmeter not som ble vasket 30 ganger. Det ble sluppet ut flere mikroplast-partikler fra nylon-nett enn HDPE-nett både da de ble børstet og da de ble spylt.
- Når man sammenligner mikroplastutslipp fra spyling og børsting av notlin må man ta hensyn til at en børsterobot skal gå over nota hver dag, mens spyling foregår periodisk. Avhengig av hvor ofte nettet spyles, typen not og typen børste så kan mikroplastutslippene bli 2-33 ganger så høye med børsterobot som med periodisk spyling i løpet av en produksjonssyklus. Denne beregningen er basert på resultater fra labforsøket.
- Et feltforsøk ble utført i et kommersielt oppdrettsanlegg. Graden av begroing, spylefrekvens, fiskehelse og utslipp av mikroplast ble sammenlignet for en merd som skulle rengjøres med en prototype av en børsterobot og en merd som skulle bli spylt periodisk. På grunn av tekniske problemer med roboten måtte imidlertid begge merder spyles omtrent like ofte. Resultatene fra analyse av stressmarkører, gjellehelse, appetitt og dødelighet viste ingen målbare forskjeller i fiskehelsen mellom de to merdene. Generelt god fiskehelse og velferd i de to merdene tyder på at den kontinuerlige børstingen og den periodiske spylingen ikke var stressende for fisken i dette forsøket.

## 5. Referanser

- Bannister, J., M. Sievers, F. Bush, and N. Bloecher. 2019. **Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments**, *Biofouling*, 35: 631-48.  
<https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1640214>
- Baxter, E.J., M.M. Sturt, N.M. Ruane, T.K. Doyle, R. McAllen, and H.D. Rodger. 2012. **Biofouling of the hydroid *Ectopleura larynx* on aquaculture nets in Ireland: implications for finfish health**. *Fish Veterinary Journal*, 13: 18-30. <http://hdl.handle.net/10793/1220>
- Bloecher, N. 2013. **Biofouling in the Norwegian Salmon Farming Industry** (PhD thesis), Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Natural Sciences and Technology.  
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/245368>
- Bloecher, N., O. J. Broch, E. J. Davies, M. O. Pedersen, and O. Floerl. 2024. **Catch my drift? Between-farm dispersal of biofouling waste from salmon pen net cleaning: Potential risks for fish health**, *Science of the Total Environment*, 928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172464>
- Bloecher, N., and O. Floerl. 2021. **Towards cost-effective biofouling management in salmon aquaculture: a strategic outlook**, *Reviews in Aquaculture*, 13: 783-95.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12498>
- Bloecher, N., O. Floerl, and L. M. Sunde. 2015. **Amplified recruitment pressure of biofouling organisms in commercial salmon farms: Potential causes and implications for farm management**, *Biofouling*, 31: 163-72. <https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1012713>
- Bloecher, N., K. Frank, M. Bondø, D. Ribicic, P. C. Endresen, B. Su, and O. Floerl. 2019. **Testing of novel net cleaning technologies for finfish aquaculture**, *Biofouling*, 35: 805-17.  
<https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1663413>
- Bloecher, N., Y. Olsen, and J. Guenther. 2013. **Variability of biofouling communities on fish cage nets: A 1-year field study at a Norwegian salmon farm**, *Aquaculture*, 416: 302-09.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.025>
- Bloecher, N., M. Powell, S. Hytterød, M. Gjessing, J. Wiik-Nielsen, S. N. Mohammad, J. Johansen, H. Hansen, O. Floerl, and A. G. Gjevre. 2018. **Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease**, *PLoS ONE* 13: e0199842.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199842>
- Bloecher, N., L. Østevik, O. Floerl, R. Sivertsgård, M. Aas, B. Kvaestad, D. Ribičić, and R. Netzer. 2024. **Evaluation of novel PCR-based method to assess gill injuries in fish caused by the cnidarian *Ectopleura larynx***, *Aquaculture International*, 32: 6649–6663.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-024-01482-8>
- Bloecher, N., O. Floerl, K. Frank, and M. Føre. 2018. **Evaluating the efficacy of alternative methods for biofouling control in aquaculture (ALLEGRO)**. Prosjektrapport for "Dokumentasjon av effektivitet av alternative metoder for begroingskontroll. SINTEF rapport 2018:00733. 26 sider.  
<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901289/>
- Booth, A. M., N. Bloecher, A. Gomiero, P. Stránský, H. M. Føre, M. S. Bondø, S. Kubowicz, H. H. Hatlebrette, A. Igartua, and S. Piarulli. 2025. **SMARTER- Surveying microplastic release from aquaculture nets and ropes using different technologies for emission reduction**. SINTEF Report no. 2025:00574. FHF 901820. 46 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901820/>

- Carl, C., J. Guenther, and L. M. Sunde. 2011. **Larval release and attachment modes of the hydroid *Ectopleura larynx* on aquaculture nets in Norway**, *Aquaculture Research*, 42: 1056-60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02659.x>
- Clinton, M., Wyness, A.J., Martin, S.A.M. et al. **Association of microbial community structure with gill disease in marine-stage farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*); a yearlong study**. *BMC Vet Res* 20, 340 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04125-5>
- Costelloe, E. P., Lorgen-Ritchie, M., Krol, E., Noguera, P., Bickerdike, R., Tinsley, J., Valdenegro, V., Douglas, A., & Martin, S. A. M. (2025). **Microbial and histopathological insights into gill health of Atlantic salmon (*Salmo salar*) across Scottish aquaculture sites**. *Aquaculture*, 599, 742166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742166>
- Cornejo, P., N. M. Guerrero, R. M. Montes, R. A. Quiñones, and H. H. Sepúlveda. 2020. **Hydrodynamic effect of biofouling in fish cage aquaculture netting**, *Aquaculture*, 526: 735367. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735367>
- Eliassen, K., E. Danielsen, Á. Johannesen, L. L. Joensen, and E. J. Patursson. 2018. **The cleaning efficacy of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in Faroese salmon (*Salmo salar* L.) farming pens in relation to lumpfish size and seasonality**, *Aquaculture*, 488: 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.026>
- Elsheshtawy, A., B. G. J. Clokie, A. Albalat, A. Nylund, T. E. Isaksen, E. N. Indrebø, L. Andersen, L. J. Moore, and S. MacKenzie. 2023. **Net cleaning impacts Atlantic salmon gill health through microbiome dysbiosis**, *Frontiers in Aquaculture*, 2. <https://doi.org/10.3389/faquc.2023.1125595>
- Floerl, O., L. M. Sunde, and N. Bloecher. 2016. **Potential environmental risks associated with biofouling management in salmon aquaculture**, *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 407-17. <https://www.int-res.com/articles/aei2016/8/q008p407.pdf>
- Fu, J., D. Liu, Y. He, and F. Cheng. 2024. **Autonomous net inspection and cleaning in sea-based fish farms: A review**, *Computers and Electronics in Agriculture*, 227: 109609. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109609>
- Føre, M., S. Fjæra, S. J. Ohrem, E. Kelasidi, N. Bloecher, and H. B. Amundsen. 2021. **Adaptive motion planning and path following for permanent resident biofouling prevention robot operating in fish farms**. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Conference paper OCEANS 2021: San Diego, USA. Added to IEEE Xplore 15.02.2022. DOI: [10.23919/OCEANS44145.2021.9706041](https://doi.org/10.23919/OCEANS44145.2021.9706041)
- Føre, H.M., Gaarder, R.H. 2018. **RobustNot - Dokumentasjon av mekaniske egenskaper og dimensjoner til notlin i oppdrettsnøter**. SINTEF Ocean, rapport nummer 2018:00971. 24 sider. <https://hdl.handle.net/11250/2570032>
- Føre, H.M., Blöcher, N., Mulelid, M. A. 2025. **Kartlegging av plastutstyr i norske oppdrettsanlegg i 2022**. SINTEF rapport nr. 2025:00653. <https://hdl.handle.net/11250/4506999>
- Galloway, T. S., and C. N. Lewis. 2016. **Marine microplastics spell big problems for future generations**, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 2331-33. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600715113>
- Gomiero, A., M. Haave, Ø. Bjørøy, D. Herzke, T. Kögel, V. Nikiforov, and K. B. Øysæd. 2020. **Quantification of microplastic in fillet and organs of farmed and wild salmonids. A comparison of methods for detection and quantification (SALMODETECT)**. NORCE Report no. 8-2020. 43 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901521/>

- Gomiero, A., M. Haave, T. Kögel, Ø. Bjørøy, M. Gjessing, T. B. Lea, E. Horve, C. Martins, and T. Olafsen. 2020. **TRACKING of PLASTic emissions from aquaculture industry (TrackPlast)**. FHF 901519. NORCE Report n. 4 /2020. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901519/>
- Gomiero, A., K. B. Øysæd, T. Agustsson, N. van Hoytema, T. van Thiel, and F. Grati. 2019. **First record of characterization, concentration and distribution of microplastics in coastal sediments of an urban fjord in south west Norway using a thermal degradation method**, Chemosphere, 227: 705-14. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.096>
- Gouin, J.-P. and J. K. Kiecolt-Glaser. 2011. **The Impact of Psychological Stress on Wound Healing: Methods and Mechanisms**, Immunology and Allergy Clinics of North America, 31: 81-93. DOI: [10.1016/j.iac.2010.09.010](https://doi.org/10.1016/j.iac.2010.09.010)
- Grefsrud, E. S. et al. 2025. **Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2025. Produksjonsdødelighet hos oppdrettsfisk og miljøeffekter av norsk fiskeoppdrett**. Rapport fra havforskningen 2025-14. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2025-14>.
- Grøsvik, B. E., D. E. Kristiansen, and A. Ali. 2024. **Analysis of uptake of tralopyril and transformation products in salmon exposed to tralopyril coated net pen**. Rapport fra havforskningen 2024-43. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-43>
- Gundersen, C.B., Reid, M., Rundberget, T., Bæk, K., Dale, T., Svendsen, F. S., Åsnes, H. Ø., Ndungu, K. 2025. **Screening Programme 2024**. NIVA. Report no. M-3033. 31 pages. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2025/oktober-2025/screening-programme-2024/>
- Haugalokken, B. O. A., E. Kelasidi, M. Mulelid, and N. Bloecher. 2021. **Docking Stations for Net-Crawling Underwater Vehicles in Aquaculture Net Pens**. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9705970>
- Hognes, E. S. and C. Skaar. 2017. **Avfallshåndtering fra sjøbasert havbruk**. SINTEF Ocean rapport nr. OC2017 A-218. FHF 901352. 32 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901352/>
- Huntington, T. 2019. **Marine Litter and Aquaculture Gear – White Paper**. Report produced by Poseidon Aquatic Resources Management Ltd for the Aquaculture Stewardship Council. 20 pp plus appendices. [https://asc-aqua.org/wp-content/uploads/2023/04/ASC\\_Marine-Litter-and-Aquaculture-Gear-November-2019.pdf](https://asc-aqua.org/wp-content/uploads/2023/04/ASC_Marine-Litter-and-Aquaculture-Gear-November-2019.pdf)
- Haave, M. and A. Gomiero. 2020. **Mikroplastforurensing i laksefilet og oppdrettsmiljø. Screening av mikroplast i prosesser og ferdig produkt fra lakseoppdrett**. NORCE rapport 2-2020. 25 sider. <https://norceresearch.brage.unit.no/norceresearch-xmlui/handle/11250/2653735>
- Jonassen, T. M., S. V. Larsen, I. Allan, and A. L. Lusher. 2024. **Sluttrapport: Reduksjon av mikroplast og plastmyknere i RAS (REMIRA)**. Akvaplan-niva AS Rapport: 2024 64389.02. 140 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901829/>
- Le, V.-G., M.-K. Nguyen, H. H. Ngo, D. Barceló, H.-L. Nguyen, M. J. Um, and D. D. Nguyen. 2024. **Microplastics in aquaculture environments: Current occurrence, adverse effects, ecological risk, and nature-based mitigation solutions**, Marine Pollution Bulletin, 209: 117168. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117168>
- Lien, A. Myskja, and H. V. Bjelland. 2010. **Fremtidens oppdrettsnot- Forprosjekt med arbeidsmøte**. SINTEF rapport SFH80 A104046. 10 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900483/>
- Lusher, A., P. Hollman, and J. Mendoza-Hill. 2017. **Microplastics in fisheries and aquaculture. Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety**. FAO

- Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615. Rome: FAO.  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a9a298e0-9db6-4769-beac-37325be3e280/content>
- Meling, V. A., K. Berge, D. L. Knudsen, P. O. Rønning, and C. Brede. 2022. **Monitoring Farmed Fish Welfare by Measurement of Cortisol as a Stress Marker in Fish Feces by Liquid Chromatography Coupled with Tandem Mass Spectrometry.** *Molecules*, 12;27(8):2481.  
DOI: [10.3390/molecules27082481](https://doi.org/10.3390/molecules27082481)
- Moldal, T., J. Wiik-Nielsen, V.H.S. Oliveira, J.C. Svendsen, and I. Sommerset. 2025. **Fiskehelse rapporten 2024.** Veterinærinstituttets rapportserie Veterinærinstituttet.  
<https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2025/fiskehelse-rapporten-2024>
- Nylund, A., S. Mackenzie, T.E. Isaksen, L. Andersen, B. GJ Clokie, A. Elsheshtawy, A. Albalat, A. Beveridge, F. Mohammadi, L. Moore, C. Trösse, E. Lagadec, H. Plarre, B. L. Kvåle, E. Napsøy, S. Wiik, P. L. Lyng, O. Gjerde, A. N. Johansen, S. Blindheim, A. Dalum, and S. Nylund. 2022. **Faglig sluttrapport: Effekter av behandling mot lakselus, amøbe-gjellesykdom (AGD) og notrengjøring på gjellehelse hos laks i oppdrett.** FHF-901514.  
<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901514/>
- Ohrem, S. J., E. Kelasidi, and N. Bloecher. 2020. **Analysis of a novel autonomous underwater robot for biofouling prevention and inspection in fish farms.** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Conference paper. 28th Mediterranean Conference on Control and Automation. 15-18 September, 2020, Saint-Raphaël, France.  
<https://doi.org/10.1109/med48518.2020.9183157>
- Olsen L.M., Dalum A., Storsul T., Boissonnot L., Ray J.L. & Karlsen C. (2025) **ETNA - Effekter av notvask ved bruk av kavitasjonsmetoder på miljø og fiskevelferd.** Sluttrapport for FHF prosjekt nr. 901819. 63 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901819/>
- Priftis KN, Papadimitriou A, Nicolaidou P, Chrousos GP. Dysregulation of the stress response in asthmatic children. *Allergy*. 2009 Jan;64(1):18-31. doi: 10.1111/j.1398-9995.2008.01948.x. PMID: 19132973.
- Pica, D., N. Bloecher, A. Dell'Anno, A. Bellucci, T. Pinto, L. Pola, and S. Puce. 2019. **Dynamics of a biofouling community in finfish aquaculture: a case study from the South Adriatic Sea,** *Biofouling*, 35: 696-709. <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1652817>
- Ratnayake, C., F. O. von Hafenbrädl, A. M. Booth, M. Creese, H. Bu, and A. Gomiero. 2022. **Final project report MICRORED. Reduction of Microplastic Emission through System Optimisation of Feed Pellet Conveying Pipelines.** SINTEF Report No: 2022:01382. 55 sider.  
<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901658/>
- Rodger, H. D., L. Henry, and S. O. Mitchell. 2011. **Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish,** *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 423-40.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11160-010-9182-6>
- Skaldebø, M., S. J. Ohrem, H. B. Amundsen, E. Kelasidi, and N. Bloecher. 2023. **Framework for autonomous navigation for a permanent resident aquaculture net grooming robot.** Conference paper. 31st Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), June 26- 29, 2023. Limassol, Cyprus. [https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3134358/Skaldebo\\_etal\\_2023.pdf?sequence=4](https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3134358/Skaldebo_etal_2023.pdf?sequence=4)
- Stene, A., L. Gansel, and M. D. Jansen. 2018. **Strategier for å begrense spredning av virus mellom sjølokalteter med laksefisk. Fokus på Salmonid Alphavirus (SAV) og Pancreas Disease (PD).** FHF prosjekt 901005. NTNU. 93 sider. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901005/>

- Su, Z., L. Wei, L. Zhi, X. Huang, X. Wang, and J. Wang. 2024. **Microplastics in aquafeeds: Occurrence, sources, effects and considerations for aquatic food production**, TrAC Trends in Analytical Chemistry, 176: 117760. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117760>
- Uglem, I., J. Järnegren, and N. Bloecher. 2020. **Effekter av organisk utslipp fra havbruk i Norge – en kunnskapsoppsummering**. FHF prosjekt 901572. NINA prosjektnotat 228. Trondheim. <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-ocean/arrangement/slam/leveranse-l2.1-effekter-av-organisk-utslipp-fra-havbruk-nina.pdf>
- Walkinshaw, C., T. J. Tolhurst, P. K. Lindeque, R. Thompson, and M. Cole. 2022. **Detection and characterisation of microplastics and microfibrils in fishmeal and soybean meal**, Marine Pollution Bulletin, 185: 114189. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114189>
- Zarantonello, G. and A. Cuenca. 2024. **Nanopore-Enabled Microbiome Analysis: Investigating Environmental and Host-Associated Samples in Rainbow Trout Aquaculture**, Current Protocols, 4: e1069. <https://doi.org/10.1002/cpz1.1069>
- Zhang, H. 2017. **Transport of microplastics in coastal seas**, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 199: 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>
- Zhou, A., Y. Zhang, S. Xie, Y. Chen, X. Li, J. Wang, and J. Zou. 2021. **Microplastics and their potential effects on the aquaculture systems: a critical review**, Reviews in Aquaculture, 13: 719-33. <https://doi.org/10.1111/raq.12496>
- Østevik, L., M. Alarcón, H. Hellberg, K.-I. Lie, M. Kraugerud, M. Stormoen, A. Nødtvedt, F. Manji, B. Simensen, H. Rodger, and A. Skagøy. 2022. **Risk factors, indicators and strategic management of gill disease in Atlantic salmon**. Pharmaq Analytiq AS. FHF 901515. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901515/>

## 6. Leveranser

**Møter.** Vi har holdt oppstartmøte med prosjekt- og referansegruppen med gjennomgang av prosjektplanen og vi har levert referat fra møtet. I tillegg hadde vi et heldagsmøte i Stavanger med Renate Johansen og flere fra Remora og Norce i september 2024. Det ble gitt omvisning både på Remora Robotics og på NORCE marine forskningscenter i Mekjarvik utenfor Stavanger. Norce har også holdt FHF orientert per mail og avviksmeldinger om utfordringer og status i prosjektet. Det har vært en rekke møter mellom Remora og Norce, og Remora har hatt møter med Mowi. Norce har vært med på noen av møtene med Mowi. I tillegg har forskerne i prosjektet hatt møter for å planlegge arbeidet og diskutere status.

**Framdriftsrapport** ble levert 18. juli 2023, 6. november 2023 og 31. januar 2024.

**Formidling.** På grunn av de tekniske utfordringene med roboten fikk vi ikke nok interessante resultater fra feltforsøket til å gjøre den planlagte formidlingen (legge ut bilder av begroingen på nøtene i feltforsøket, holde foredrag på konferanser, publisere artikkel, arrangere digitalt informasjonsmøte for oppdrettsnæringen og myndighetene). Likevel har det vært noe formidling fra prosjektet, i tillegg til denne sluttrapporten:

- Artikkel om prosjektet i Teknisk Ukeblad. Frilansjournalist Kjetil S. Grønnestad intervjuet Remora og Norce (Renée Bechmann) angående Remora renserobot og No-Gro prosjektet. Artikkelen («Robot renser lakse-merder») ble publisert i Teknisk Ukeblad nr. 01/24 på side 72-74.
- Alessio Gomiero presenterte resultater fra No-Gro i et dialogmøte arrangert av FHF: «No-Gro: Smartere nettvask for bærekraftig akvakultur». Foredrag på Dialogmøte: Beste strategi for å velge not. Arrangert av FHF på Gardermoen, 3. september 2025. Presentasjonen ligger på denne nettsiden: <https://www.fhf.no/nyheter-og-arrangementer/arrangementer/dialogmoete-beste-strategi-for-aa-velge-not/>
- Alessio Gomiero, Adrián Jaén-Gil, Helena Hauss, Elisa Ravagnan, Renée K. Bechmann. 2025. "Biofouling control, plastic footprints and fish welfare: Evaluating net materials and cleaning methods in marine farms". Poster at Aquaculture Europe 2025, Valencia, Spain. See page 714 in the conference abstract book: <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2025AbstractBook.pdf>).

**Digitale modeller: prediksjon av begroing og notskader.** Remora har i løpet av No-Gro-prosjektet trent opp AI/ML-modeller og implementert sanntids hulldeteksjon og klassifisering av groe basert på videodata fra roboten. Se kapittel 3.1.

**Økonomisk modell.** Arbeidspakken om økonomi (AP4) ble ikke mulig å gjennomføre da feltforsøket måtte avsluttes på grunn av de tekniske utfordringene beskrevet i kapittel 2.6. Midlene som var satt av til denne arbeidspakken og resterende midler til feltforsøket ble omdisponert til labforsøket beskrevet i kapittel 2.5.

**Sluttrapport.** Faglig sluttrapport og administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer.

## 7. Vedlegg

### Vedlegg 1. Prosjekter med fokus på impregnering/antigroemidler og bruk av ultralyd mot begroing

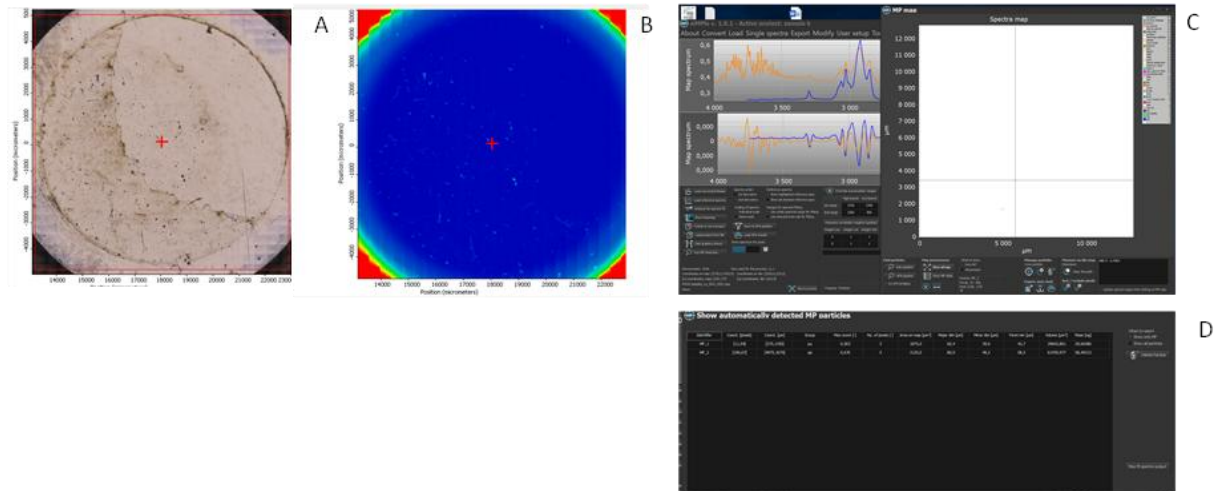
Prosjekt tittel og lenke	Begroingskontrollerende tiltak i lakseoppdrett – løsninger for reduksjon av kobberbruk til impregnering av oppdrettsnøter (BEGROKONTROLL). <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/164719">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/164719</a> og <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/543012/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/543012/</a>
Prosjektleder	Leif Magne Sunde, SINTEF
Prosjekt-periode	2005-2009
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering og Forskningsrådet, HAVBRUKS-Havbruk – en næring i vekst/Forskerprosjekt
Tema	Om farge på notlin, notskjerm, begroing på testpanel i felt, hydroider. Mål: redusere kobberbruken.
Prosjekt tittel og lenke	Fremtidens oppdrettsnot – rømmingssikker og begroingsfri: Arbeidsmøte. <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900483/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900483/</a>
Prosjektleder	Hans Vanhauwaert Bjelland, SINTEF
Prosjekt-periode	2010
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Tema	Om begroing, antigroemidler og rømming. Spyling av not (Lien and Bjelland 2010)
Prosjekt tittel og lenke	Dokumentasjon av effektivitet av alternative metoder for begroingskontroll (ALLEGRO). <a href="https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901289/">https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901289/</a>
Prosjektleder	Nina Blöcher, SINTEF Ocean AS
Prosjekt-periode	2016-2018
Finansiering	FHF – Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering
Tema	Testing av ulike antigroemidler/impregnering (Bloecher, Oliver Floerl, et al. 2018)
Prosjekt tittel og lenke	Bruk av kobberimpregnerte nøter i fiskeoppdrettsnæringen – konsekvenser for fiskehelse, bærekraft og produktivitet. <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/325849">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/325849</a>
Prosjektleder	Ivar Rønnestad, UiB
Prosjekt-periode	2021-2026
Finansiering	Forskningsrådet, Havbasert, forskerprosjekt
Tema	Om å kartlegge frigjøring av kobber til vannet
Prosjekt tittel og lenke	Troll anti-fouling cleaning system (forprosjekt). <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/263825">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/263825</a>
Prosjektleder	Christer Heimtoft, NORWEGIAN OCEAN CLEANING SYSTEMS AS
Prosjekt-periode	2016
Finansiering	Forskningsrådet, MAROFF-2-Maritim virksomhet og offshore operasjoner 2
Tema	Ultralyd mot begroing.
Prosjekt tittel og lenke	Ultrasonic anti-fouling for aquaculture (forprosjekt). <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/263826">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/263826</a>
Prosjektleder	Martijn Egbert Frijlink, INPHASE SOLUTIONS AS
Prosjekt-periode	2016
Finansiering	Forskningsrådet, MAROFF-2-Maritim virksomhet og offshore operasjoner 2

Tema	Ultralyd mot begroing. <a href="https://www.inphase.no/">https://www.inphase.no/</a>
Prosjekt tittel og lenke	NOCS Troll - Innovativ miljøteknologi for å redusere begroing i oppdrett. <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/269015">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/269015</a>
Prosjektleder	Christer Heimtoft, NORWEGIAN OCEAN CLEANING SYSTEMS AS. <a href="https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/269015">https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/269015</a>
Prosjekt-periode	2017-2019
Finansiering	Forskningsrådet, HAVBRUK2-Stort program for havbruksforskning, Innovasjonsprosjekt i næringslivet
Tema	Ultralyd mot begroing: Å sende ultralydbølger fra en kilde gjennom vann og indusere vibrasjoner i not/groe hindret <u>ikke</u> begroing

## Vedlegg 2. Details of the FTIR analysis

The polymer groups analyzed for using the  $\mu$ FTIR analysis.

1	Polyethylene
2	Polyethylene oxidized
3	Polyethylene chlorinated
4	Polypropylene
5	Polystyrene
6	Polycarbonate
7	Polyamide
8	Polyvinylchloride
9	Cellulose chemically modified
10	Nitrile rubber
11	Polyester
12	Acrylates/PUR/varnish
13	Animal fur
14	Plant fibers
15	Sand
16	Polysulfone
17	Polyetheretherketone
18	Polychloroprene
19	Chitin
20	Polyisoprene chlorinated
21	Poly lactide acide
22	Polycaprolactone
23	Ethylene-vinyl-acetate
24	Polyimide
25	Polyoxymethylene
26	Polybutadiene
27	Polyacrylonitrile
28	Rubber 1
29	Rubber 2
30	Charcoal
31	Coal
32	Rubber 3

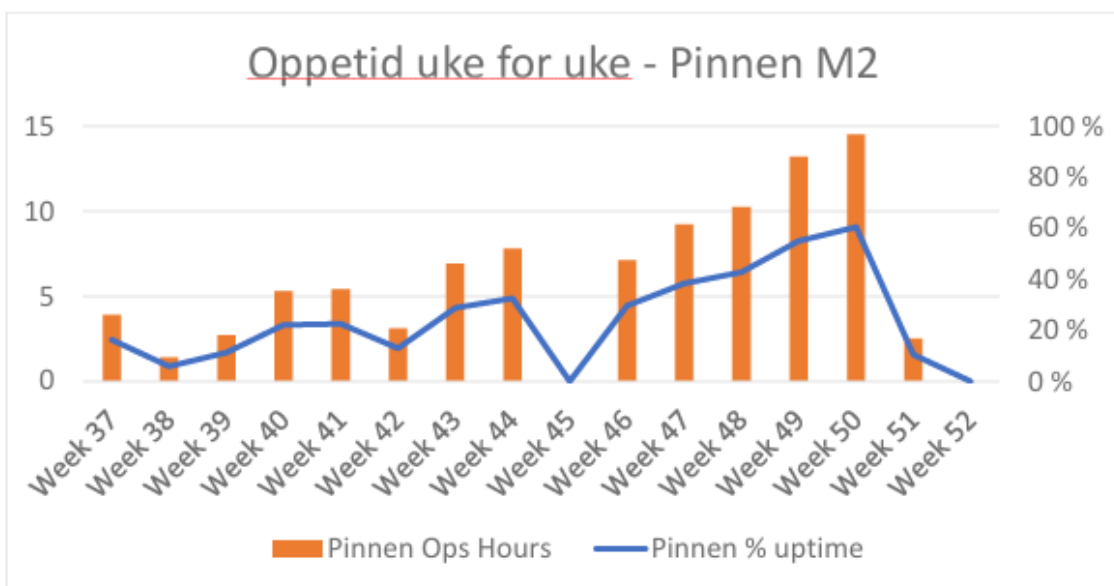


Data acquisition on a typical seawater sample. Visual image of a sample aliquot deposited on a ZnSe window (A). Corresponding IR heatmap from blue indicating no signal to red indicating high signal (B). Polymer type recognition and false color overlay (C), plot (MP map) of identified synthetic polymers with information on major and minor dimensions (D).

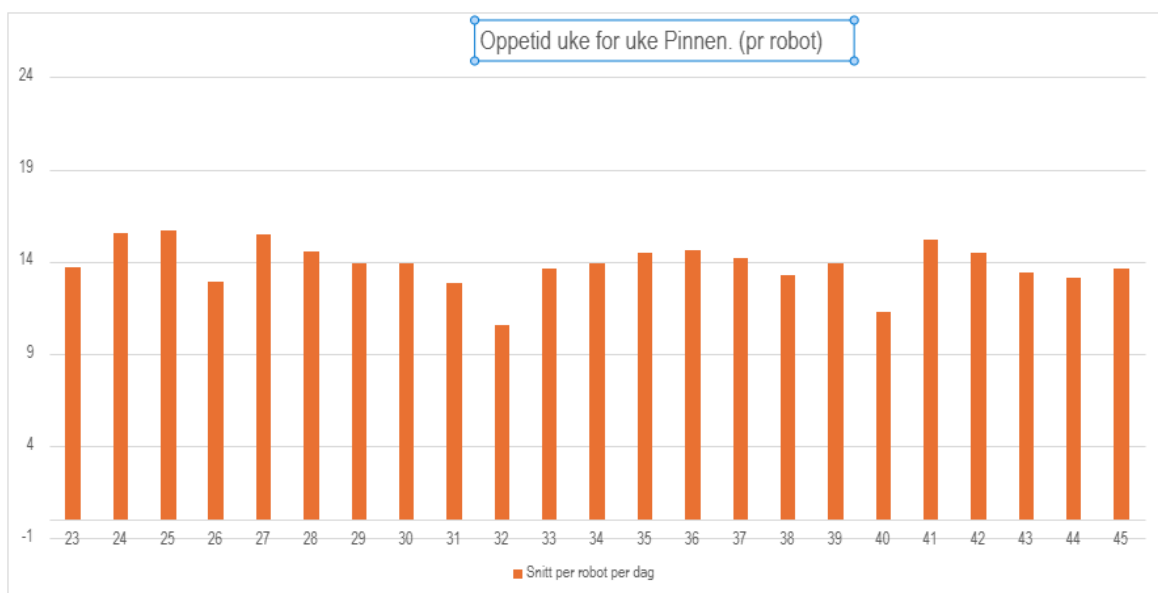
### Vedlegg 3. Oppetid for Remora roboten i 2023 sammenlignet med 2025

**A:** Antall timer oppetid på Pinnen i første del av feltforsøket i 2023. Ops Hours er den tiden roboten er tilgjengelig og online for Remoras operasjonssenter og kan styres remote (oppetid). Den blå grafen som viser trenden. **B:** Antall timer oppetid på Pinnen i 2025 var 13,8 timer pr robot, eller 27,6 timer børstetid pr merd pr dag, noe som gir 58 % autonomtid. På Pinnen opererer Remora i dag i 10 merder med 20 roboter. Sylinderenøter (bunnring) HDPE. **C:** Antall timer oppetid i Buksevika i 2025 var i snitt 15,3 t pr robot eller 30,6 t børstetid pr merd pr dag, som igjen gir 64 % autonomtid. På Buksevika opererer Remora i dag i 7 merder og 14 roboter. Spaghettenøter HDPE.

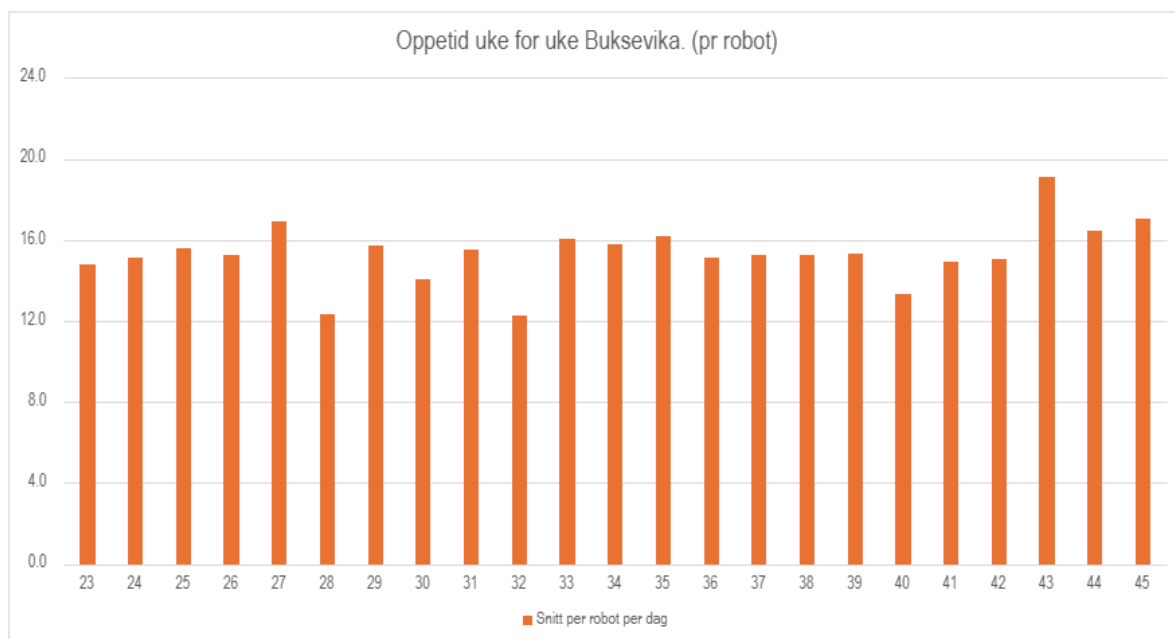
A. Antall timer oppetid på Pinnen første del av feltforsøket i 2023



B. Antall timer oppetid på Pinnen våren 2025



## C. Antall timer oppetid per robot i Bukseveka 2025



## Vedlegg 4. Pyr-GCMS analyser

Pyr-GCMS analyser. Vannprøver fra feltforsøket på Pinnen. ABS, PET, PC, SBR, PU ble ikke detektert og ingen av polymerene ble detektert i procedural blanks og lab blanks.

	PE	PP	PMMA	PS	NY	N6	PVC	sum	% PE+PP
Referanse september	556	495	73	21	0	0	82	1228	86
Referanse oktober	400	422	5	29	0	0	0	857	96
Børsting september	1146	787	5	40	92	0	0	2070	93
Børsting oktober	375	395	18	20	39	55	33	936	82
Kun spyling september	1259	1188	9	76	94	0	87	2714	90
Kun spyling oktober	277	412	4	21	0	0	0	715	96

Pyr-GCMS analyser. Prøver av suspenderte partikler fra sedimentfeller i feltforsøket på Pinnen. ABS, PET, N6, PC, SBR, PU ble ikke detektert i prøvene fra sedimentfellene.

MPs mg/g tørrvekt	PE	PP	PMMA	PS	PA	sum	% PE+PP
Referanse	8,6	9,5	0,2	0,7		18,8	96
Børsting	7,0	4,7	0,3	1,2		13,2	89
Kun spyling	14,7	9,9	0,1	2,1	0,9	27,8	89

## Vedlegg 5. Sammenligning av mikroplastutslipp fra kontinuerlig børsting og periodisk spyling. Data fra labforsøket.

Antall ganger notvaskeren går over nota i løpet av en produksjonssyklus på 18 måneder	Testpanel med HDPE-not	Testpanel med Nylon-not
	Antall polyetylen-partikler frigitt per kvadratmeter nett rengjort	Antall nylon-partikler frigitt per kvadratmeter nett rengjort
Dual parallell børstemodul (540 overganger)	69714	103500
Original børstemodul (540 overganger)	54450	166986
Spylemodul (20 overganger)	3371	5109
Spylemodul (210 overganger)	35399	53641
Beregning av hvor mange ganger flere mikroplast-partikler som ble sluppet ut med børsting enn spyling i labforsøket		
Dual parallell børstemodul (540 overganger) vs Spylemodul (20 overganger)	21	20
Dual parallell børstemodul (540 overganger) vs Spylemodul (210 overganger)	2	2
Original børstemodul (540 overganger) vs Spylemodul (20 overganger)	16	33
Original børstemodul (540 overganger) vs Spylemodul (210 overganger)	2	3

---

**NORCE**

Norwegian Research Centre AS  
Postboks 22 Nygårdstangen  
5838 Bergen, Norway

E-POST [post@norceresearch.no](mailto:post@norceresearch.no)

WEB [norceresearch.no](http://norceresearch.no)

TEL +47 56 10 70 00

ORG NO 919 408 049

