

2018:00971 - Åpen

# Rapport

## RobustNot

Dokumentasjon av mekaniske egenskaper og dimensjoner til notlin i oppdrettsnøter

### Forfattere

Heidi Moe Føre

Rune H. Gaarder



SINTEF Ocean AS

Postadresse:

Otto Nielsens vei 10

7052

Sentralbord: 464 15 000

E-mail: ocean@sintef.no

Foretaksregister:

NO 937 357 370 MVA

# Utkast til rapport

## RobustNot

Dokumentasjon av mekaniske egenskaper og dimensjoner til notlin i oppdrettsnøter

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2018:00971	302002359	3	2018-10-08

**EMNEORD:**

Oppdrettsnøter

**FORFATTERE**

Heidi Moe Førre

Rune H. Gaarder

**OPPDRAKSGIVER**

Norges Forskningsråd

**OPPDRAKSGIVERS REF.**

245485

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

18 + 10 vedlegg

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

**ISBN**

978-82-14-06914-3

**SAMMENDRAG**

Målet med RobustNot-prosjektet har vært å etablere kunnskap og metoder som vil fremme utvikling av robuste oppdrettsnøter. De viktigste årsakene til redusert styrke i notlin som er identifisert i dette prosjektet er "krymp" i notlin, harde partikler mellom fibre og slitasje-skader. I tillegg er det observert skader fra høykonsentrerte desinfiseringskjemikalier, langvarig strekk i notlin, og trolig fra UV-stråling. Ofte er selve nylon-fibre uskadd i brukt notlin, selv ved høy reduksjon i maskestykke.

Prosjektet har spesifisert utstyr for slitasjetesting av notlin og bidratt i utvikling og uttesting av kommersielt testutstyr. Slitasjetesting vil bidra til å kvantifisere abrasjons-egenskapene til notlin. Resultatene indikerer at en generell slitasjetest kan benyttes for å vurdere notlin sin motstand mot slitasjeskader fra spyling.

Det er identifisert og tatt tak i utfordringer med definisjon og måling av dimensjoner til notlin som brukes i oppdrettsnøter, inkludert maskestørrelse, trådtykkelse og soliditet. Basert på dette arbeidet, er det anbefalt å benytte bildebehandling ved måling av maskeside, trådtykkelse og soliditet, mens linjal kan benyttes til å måle helmaske og maskeåpning. Sistnevnte kan også kvantifiseres ved bildebehandling.

**UTARBEIDET AV**

Heidi Moe Førre

**KONTROLLERT AV**

David Kristiansen

**GODKJENT AV**

Hanne Digre

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
1	2018-07-04	Utkast til prosjektgruppa
2	2018-08-29	Utkast til intern KS
3	2018-10-08	Endelig versjon

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Oppsummering</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Summary in English</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Introduksjon</b> .....	<b>6</b>
3.1	Notlin.....	6
<b>4</b>	<b>Skader og svekkelser i notlin</b> .....	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Testutstyr og testmetoder relatert til slitasje og aldring av not</b> .....	<b>12</b>
5.1	Skader fra høytrykksspyling.....	12
5.2	Slitasjetesting av notlin .....	13
<b>6</b>	<b>Tekniske standarder</b> .....	<b>16</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

Vedlegg 1: Studier av notlin fra brukte nøter
Vedlegg 2: Egenskaper til nylonfiber i nye og brukte nøter
Vedlegg 3: Krymp i PA 6 fiber i luft og vann
Vedlegg 4: Siging av tråd i notlin og slitasje
Vedlegg 5: Inspeksjon av not med skader fra høytrykksspyling
Vedlegg 6: Strekkstyrke til nylon notlin utsatt for forskjellige konsentrasjoner av desinfiseringskjemikalier
Vedlegg 7: Forsøk med høytrykksspyling av notpaneler
Vedlegg 8: Slitasjetesting av notlin
Vedlegg 9: Forslag til endringer i NS9415 -Dimensjoner og styrke til notlin
Vedlegg 10: Automatisk måling av soliditet, maskeside og trådtykkelse

---

---



## 1 Oppsummering

Målet med RobustNot-prosjektet har vært å etablere kunnskap og metoder som er viktige for å fremme utvikling av robuste oppdrettsnøter. Dette vil bidra til økt bærekraft i havbruk, ved redusert rømming og økt levetid til nøter.

Prosjektet har etablert ny kunnskap om skader og svekkelser som kan oppstå i notlin i løpet av levetiden til en not. Arbeidet har inkludert studier av oppdrettsnøter som har vært i drift med tanke på å identifisere skader og svekkelser fra spesielt vasking, slitasje og aldring. Denne kunnskapen vil bli benyttet til å utvikle mer robuste oppdrettsnøter.

De viktigste årsakene til redusert styrke i notlin som er identifisert i dette prosjektet er "krymp" i notlin, harde partikler mellom fibrene og slitasje-skader. I tillegg er det observert skader fra høykonsentrerte desinfiseringskjemikalier, langvarig strekk i notlin, og trolig fra UV-stråling. Ofte er selve nylon-fibrene uskadd i brukt notlin, selv ved høy reduksjon i maskestyrke. Aldring av nylon i notlin som følge av langvarig påvirkning fra omgivelsene, som sjøvann og bakterier, er ikke en viktig årsak til styrkereduksjonen man ser i tradisjonelle nylon nøter i dag.

Prosjektet har spesifisert utstyr for slitasjetesting av notlin og bidratt i utvikling og uttesting av kommersielt testutstyr. Slitasjetesting vil bidra til å kvantifisere abrasjons-egenskapene til notlin. Det har vært et spesielt fokus på slitasje på not fra høytrykksspyling, da dette har vært identifisert som en viktig utfordring. Resultatene indikerer at en generell slitasjetest kan benyttes for å vurdere notlin sin motstand mot slitasjeskader fra spyling. I tillegg er det gjennomført tester med aldring av notlin.

Det er identifisert og tatt tak i utfordringer med definisjon og måling av dimensjoner til notlin som brukes i oppdrettsnøter, inkludert maskestørrelse, trådykkelse og soliditet. Å måle dimensjoner til Raschel-strikket notlin er krevende fordi det er så fleksibelt. Maskene kan lett strekkes ut, og tråden kan klemmes sammen. I tillegg vil tykkelsen til en tråd variere langs lengden av tråden, og hvilket mål som er riktig har ikke vært definert. Det er identifisert behov for objektive målemetoder, og det har ført til at prosjektet har arbeidet med å utvikle måleutstyr basert på bildebehandling. Basert på dette arbeidet, er det anbefalt å benytte bildebehandling ved måling av maskeside, trådykkelse og soliditet, mens linjal kan benyttes til å måle helmaske og maskeåpning. Sistnevnte kan også kvantifiseres ved bildebehandling.

## 2 Summary in English

The goal of the RobustNot (eng.: RobustNet) project has been to establish knowledge and methods that are important for promoting the development of robust nets for fish farming. This will contribute to increased sustainability in aquaculture through reduced escape of fish and extended lifetime of net cages.

The project has established new knowledge of damages and wear that can occur in netting during the lifetime of nets. The work included studies of nets that have been used in fish farming, to identifying damage and deterioration from washing, wear and aging. This knowledge will be used to develop more robust nets for fish farming.

The main causes of reduced strength in netting identified in this project are "shrinkage" of netting, hard particles between the fibers and wear and tear. In addition, damage from highly concentrated disinfection chemicals has been observed, long-lasting strains in the netting, and probably from UV radiation. The nylon fibers themselves are often undamaged in used netting, even when there is a high reduction in mesh strength. Aging of nylon in netting due to long-lasting environmental impact, such as seawater and bacteria, is not an important cause of the reduction of strength seen in traditional nylon nets today.

The project has provided specifications for equipment for testing of wear of netting, and contributed to the development and testing of commercial testing equipment. Abrasion testing will help quantify the abrasion properties of netting. There has been a special focus on wear and tear from high pressure cleaning, as this has been identified as an important challenge. The results indicate that a general abrasion test can be used to evaluate the netting's resistance to abrasion damage from on-site cleaning. In addition, tests of aging of netting has been performed.

Challenges with definition and measurement of netting dimensions for netting used in nets for fish farming have been identified and addressed, including mesh size, twine thickness and solidity. Measuring dimensions of Raschel knitted netting is difficult because of its flexible nature. The meshes can easily be stretched out and the twine can be squeezed together. In addition, the thickness of a twine will vary along the length of the twine, and the correct measurement has not been defined. The need for objective measurement methods has been identified, and the project has been working on developing measurement equipment based on image processing. Based on this work, it is recommended to use image processing when measuring mesh size, twine thickness and solidity, while a ruler can be used to measure mesh width (no.: helmaske) and mesh opening. The latter can also be quantified by image processing.

### 3 Introduksjon

Målet med RobustNot-prosjektet har vært å etablere kunnskap og metoder som er viktig for å fremme utvikling av robuste oppdrettsnoter. Hovedmotivasjonen for dette arbeidet er å redusere rømming av fisk. I perioden 2010-2016 har tre av fire rømt laksefisk rømt gjennom hull i not. Det er slitasje-skader på notlin og riveskader ved håndtering av lodd som er de største årsakene til hull i not<sup>1</sup>.

Prosjektet har hatt følgende aktiviteter:

1. Øke kunnskapen om skader og svekkelser i notlin
2. Spesifisere testutstyr og testmetoder relatert til slitasje og aldring av not
3. Utvikle grunnlag for tekniske standarder og retningslinjer

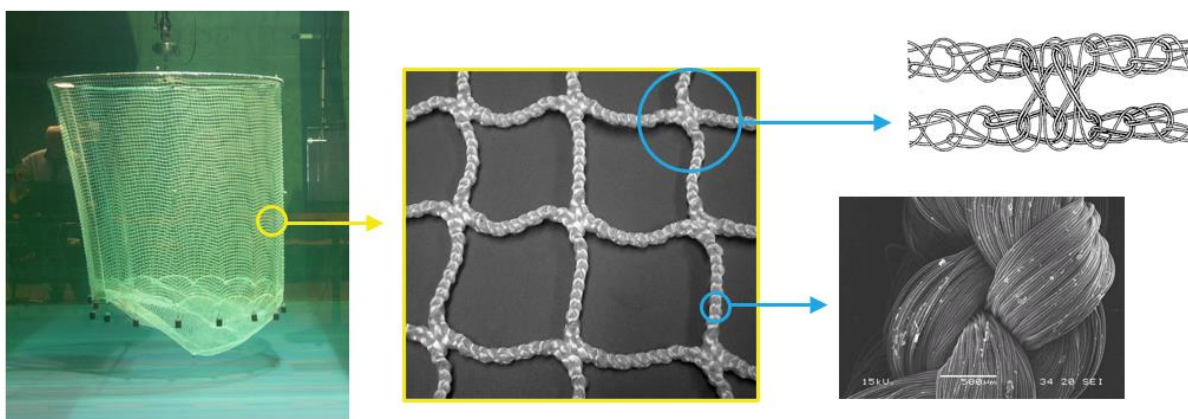
Prosjektet har ført til etablering av et bransjeforum som har samarbeidet om å løse felles FoU-utfordringer, finne felles forståelse, kunnskap og testmetoder. Det har vært åtte partnere i prosjektet: Egersund Net, Mørenot Aquaculture, Aqualine, Selstad, Vónin Refa, Badinotti, SINTEF Ocean og SINTEF Materialer og kjemi.

Forskningsaktiviteter i RobustNot-prosjektet har blitt finansiert av Norges Forskningsråd (Innovasjonsprosjekt i Næringslivet, prosjektnummer 245485). I tillegg har industri-partnerne bidratt med egeninnsats. Arbeidet er gjennomført i perioden januar 2015 til juni 2018.

Resultater fra prosjektet har blitt kommunisert fortløpende til prosjektpartnerne, og et utvalg fra prosjektinterne rapporter og presentasjoner er lagt i vedlegg. Hoveddelen av rapporten oppsummerer resultatene av prosjektet.

#### 3.1 Notlin

Prosjektet har fokusert på tradisjonelt Raschel-strikket nylon notlin. Notlinet har en kompleks strikkestruktur (Figur 1) som består av flere multifilament-bunter. Det er flere hundre tynne nylon-fiber (polyamid 6) i en notlin-tråd. Fibrene er vanligvis ca. 30 mikrometer (0,03 mm) tykke med et sirkulært tverrsnitt. Skader på notlin må derfor studeres på mikro-nivå, og det er benyttet lysmikroskop og elektronsveipemikroskop (SEM) i dette arbeidet.



Figur 1: Notlin har som funksjon å holde fisken på plass. Notlinet har en kompleks strikkestruktur og består av multifilament.

<sup>1</sup> Moe Føre H. og Thorvaldsen, 2017. Årsaker til rømming av oppdrettslaks og ørret i perioden 2010-2016. SINTEF Ocean, rapport nummer OC2017 A-116.

## 4 Skader og svekkelser i notlin

Prosjektet har etablert ny kunnskap om skader og svekkelser som kan oppstå i notlin i løpet av levetiden til en not. Arbeidet har inkludert studier av oppdrettsnøter som har vært i drift med tanke på å identifisere skader og svekkelser fra spesielt vasking, slitasje og aldring. Det er søkt å finne årsak til forskjellige typer skader, og beskrive skaden. Denne kunnskapen kan benyttes til å utvikle mer robuste oppdrettsnøter.

Utvalgte deler av arbeidet er beskrevet i følgende vedlegg:

Vedlegg 1: Studier av notlin fra brukte nøter

Vedlegg 2: Egenskaper til nylonfiber i nye og brukte nøter

Vedlegg 3: Krymp i PA 6 fiber i luft og vann

Vedlegg 4: Siging av tråd i notlin og slitasje

Vedlegg 5: Inspeksjon av not med skader fra høytrykksspyling

Vedlegg 6: Strekkstyrke til nylon notlin utsatt for forskjellige konsentrasjoner av desinfiseringskjemikalier

Levetiden til en not er vanligvis rundt 3 år (produksjonssykluser), men kan også være lengre. Nota kasseres når notlinet har en styrke på under 65 % av krav til nytt notlin (NS9415), eller tidligere av forskjellige årsaker. I RobustNot har vi undersøkt hva som er årsaken til at notlinet får redusert styrke.

Vi har undersøkt notlin fra flere brukte nøter (Figur 2 til Figur 7, Vedlegg 1 til 6), og basert på dette kan vi si følgende om årsakene til redusert styrke i notlin:

- **"Krymp" i notlin.** Notlinet vil som regel krympe når nota er i bruk, maskestørrelsen blir mindre og trådykkelsen øker. Krymp skyldes bevegelser i notlinet (for eksempel fra vask), impregnering, begroing og annet som trenger inn i notlintråden. Krymp fører til strukturelle endringer og at de lastbærende egenskapene til notlinet endres. Ved produksjon av notlin er man nøye på strammingen av de forskjellige fiber-buntene. Om en bunt er for stram, vil denne bære mye av lasten og ryke før de andre. Dermed vil man ikke utnytte det fulle potensialet til notlinet. Når notlinet krymper, forstyrres denne balansen, slik at man får lokale brudd i enkelte fiberbunter ved relativt lav last, og bruddlasten til notlinet blir redusert.
- **Harde partikler mellom fibre.** Harde partikler som skjellrester, kisel-alger, kobberkrystaller og annet som har trengt inn i strikke-strukturen vil kunne skjære seg inn i fibre når notlinet strekkes slik at bruddstyrken til notlinet reduseres. Økt friksjon mellom fibre fra forurensing vil også påvirke styrken.
- **Slitasje-skader.** Notlin er sårbart for slitasje. Man finner lokale slitasjeskader på nøter fra kontakt mot utstyr som loddsystem, dødfisksystem, flytekrage, haneføtter, vaske-utstyr (høytrykksspylere) og annet. Notlinet er ekstra utsatt for slitasje hvis det er stramt, for eksempel i nærheten av tau, og hvis det kommer i kontakt med røe overflater, spesielt av metall.

I tillegg er det observert andre, men trolig mindre omfattende og mindre vanlige årsaker til redusert styrke:

- **skader på fiberoverflata** på grunn av høye temperaturer
- langvarig strekk i notlin og påfølgende **siging**
- **aldring** av nylon

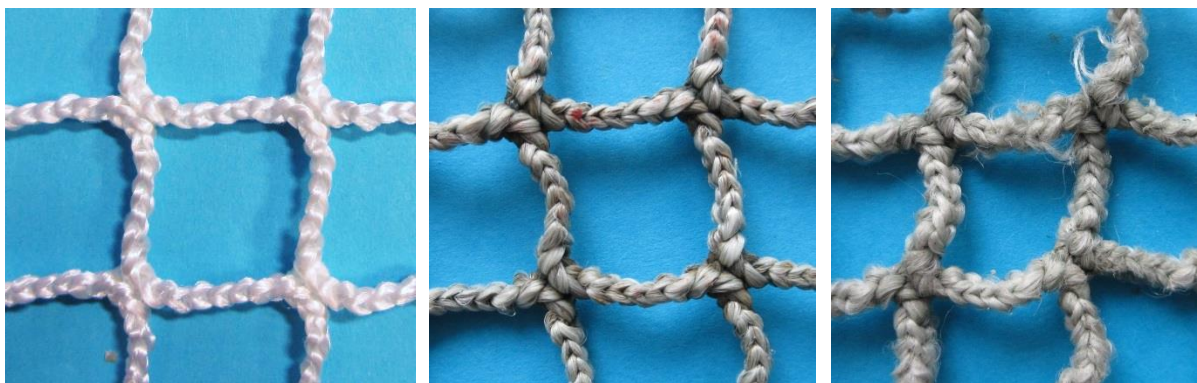
Hoppenettet er den delen av nota som er over vann, og denne er sannsynligvis utsatt for skader fra **UV-stråling**. Det er også eksempler på at søl av høykonsentrerte **desinfiseringskjemikalier** kan gi skader i hoppenettet. Desinfisering på notverksted kan også redusere styrken til not lokalt eller globalt dersom for høye konsentrasjoner av desinfiseringsmidler benyttes (Vedlegg 6). Det er eksempler på at

not med desinfiseringskjemikalier har fått lav bruddstyrke lokalt etter å ha blitt lagt i galvanisert container (Vedlegg 5).

**Ofte er selve nylon-fibrene uskadd i brukt notlin**, selv ved høy reduksjon i maskestykke (Vedlegg 2). I områder med slitasje kan man derimot finne abrasjon-skader på fibrene, dvs at deler av fiberen er "pusset" bort (Figur 6). Minst like vanlig er det at fibrene i områder med slitasje har røket som følge av en overbelastning i strekk og skjær. Det betyr at de har satt seg fast i slitasjelegemet (for eksempel en rusten kjetting), og blitt dratt og/eller skjært av.

Dersom notlinet har blitt utsatt for **høye temperaturer**, for eksempel i forbindelse med tørking eller ved eksoterme kjemiske reaksjoner med desinfiseringskjemikalier, kan man oppleve at overflaten til nylon-fibrene kan bli sprø. Dette kan føre til at overflata sprekker opp og at sprekken vokser inn i fiberen når den strekkes, med den konsekvens at fiberen ryker ved en lav belastning.

Undersøkelser (sige-forsøk) viser at langvarig **strekk i notlin** kan føre til deformasjon av fibrene, både i form av endret tverrsnitt og permanent bøyning av fiber (Vedlegg 4). Dette kan påvirke kraftfordelingen i tråden slik at styrken reduseres. Det er observert at notlin som står i strekk er svært følsomt for slitasje, og kan gå til brudd når et smergelpapir blir gnidd forsiktig langs notlinet. I praksis kan dette gjenspeile en situasjon der roterende skiver i høytrykksspyling kommer i kontakt med notlin som står i strekk. Dette kan være medvirkende årsak til observerte slitasjeskader i notlin ved sidetau, hvor det er observert tilsvarende deformasjon av fiber som i sige-forsøk, abrasjon av fiber og brudd i fiber (Figur 5 og Figur 6).



Figur 2: Fra venstre: Nytt notlin og brukt notlin med 10 % og over 20 % krymp.





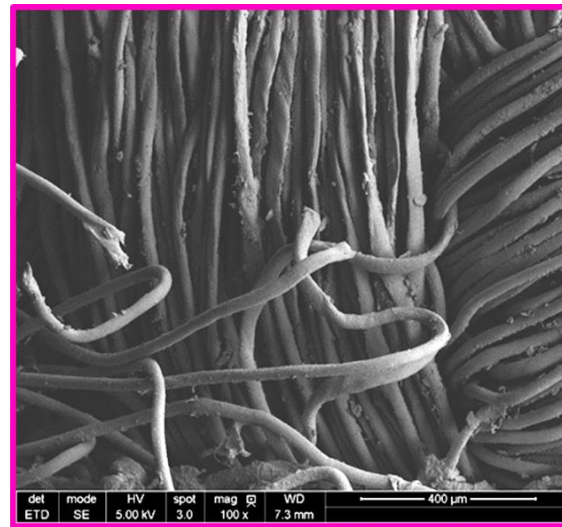
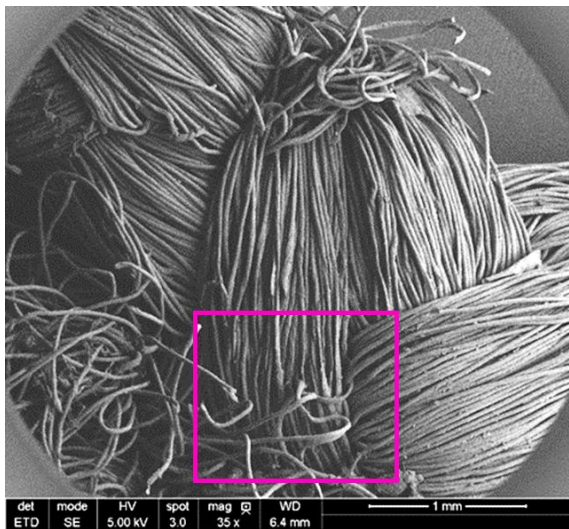
*Figur 3: Notlin-tråd fra brukt notlin. Her ser man at tråden har krympet, har impregneringsrester og flere partikler inni tråden mellom fibrene, og lokale brudd i fiberbunter.*



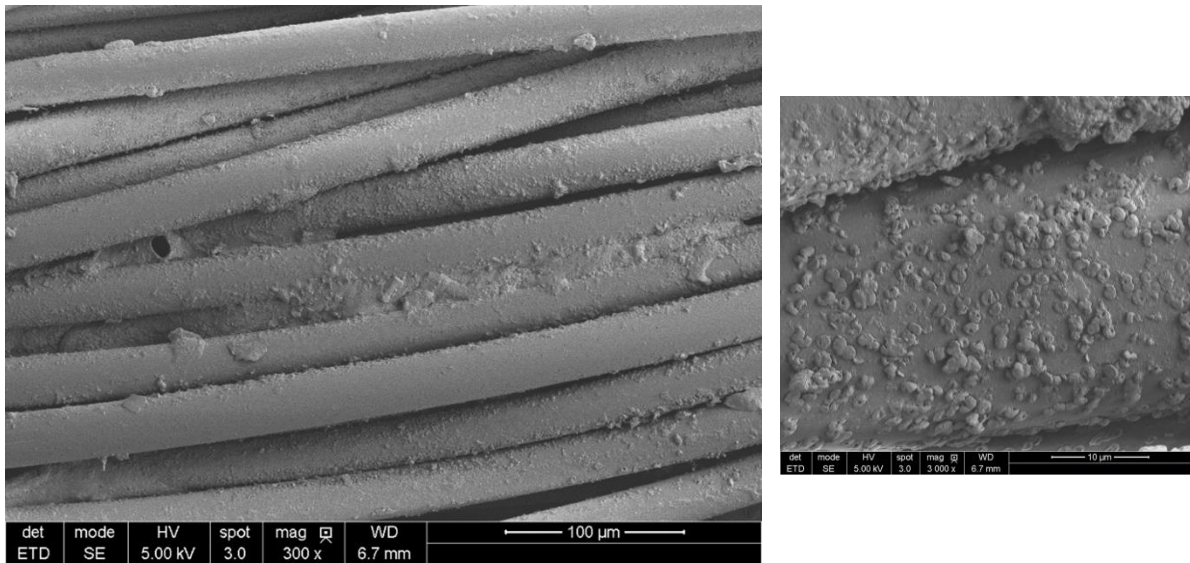
*Figur 4: Slitasje på notlin og begroing som har vokst inn i notlinet.*



*Figur 5: Slitasje på not fra kontakt med utstyr for høytrykksspyling.*



*Figur 6: Notlin med slitasje som trolig stammer fra høytrykksspyling. Fibrene er deformerte og har abrasjons-skader.*



*Figur 7: Partikler som inneholder kobber ble identifisert i knuten til brukt notlin etter eksponering for konsentrert desinfiseringsmiddel med pereddiksyre.*



## 5 Testutstyr og testmetoder relatert til slitasje og aldring av not

Prosjektet har spesifisert utstyr for slitasjetesting av notlin og bidratt i utvikling og uttesting av kommersielt testutstyr. Det har vært et spesielt fokus på slitasje på not fra høytrykksspyling, da dette har vært identifisert som en viktig utfordring. I tillegg er det gjennomført tester i forbindelse av aldring av notlin.

Studier av skader og svekkelser i notlin viste at aldring av nylon i notlin som følge av langvarig belastning fra omgivelsene trolig har en liten effekt på den observerte levetiden til nylon nøter. UV-stråling i øvre del av nota er kanskje den viktigste årsaken til aldring av notlin. Dette oppleves ikke som kritisk for rømming, og anerkjente tilsetningsstoffer for UV-beskyttelse finnes og benyttes. Derfor er det ikke arbeidet videre med testmetoder for aldring i dette prosjektet ut over de metodene som ble benyttet i arbeidet med å studere skader og svekkelser i notlin. Det ble derfor prioritert å utvikle testutstyr og testmetoder for slitasje og høytrykksspyling av notlin. Dette arbeidet baserer seg på kunnskapen man har opparbeidet seg i den første aktiviteten i prosjektet (kapittel 4 Skader og svekkelser i notlin).

Utvalgte deler av arbeidet er beskrevet i følgende vedlegg:

Vedlegg 7: Forsøk med høytrykksspyling av notpaneler

Vedlegg 8: Slitasjetesting av notlin

### 5.1 Skader fra høytrykksspyling

Både oppdrettere, utstyrprodusenter og andre bransjeaktører uttrykker bekymring for at nota kan skades av høytrykksspyling. Mange oppdrettere har opplevd en betydelig økning i rengjøring av not i sjø, mye motivert ut fra at rensefisk skal fungere optimalt som lusespiser. Det observeres skader på innsiden av nøter som spyles mye, og spesielt i nærheten av sidetau i nota.

I prosjektet har vi etablert følgende hypoteser for hvilke skader høytrykksspyling kan påføre ei oppdrettsnot:

- Krymp i notlin
- Slitasjeskader / abrasjon
- Kuttskader
- Rive-skader fra belter på utstyr
- Utvidelse av eksisterende hull og skader

Forsøk med høytrykksspyling av nytt, ubehandlet notlin ga ingen synlige slitasjeskader på notlinet og ingen reduksjon i styrke (Vedlegg 7). Disse forsøkene føyer seg inn i rekken av flere tester med høytrykksspyling som ikke gir skade på notlin. Likevel finner oppdrettere, dykkere og andre skader på not som man mener skyldes spyling. Hvorfor lykkes man så ikke i å gjenskape denne skaden i akselererte forsøk? Det kan være flere grunner til det. Det ene er at man i slike tester benytter utstyr av god kvalitet og uten skader. I tillegg kan dette antyde at langtidseffekter, for eksempel begroing som utvikler seg på nota, kan ha stor betydning i denne sammenhengen. Begroing kan representere partikler som kan trenge inn i tråden og muligens virke som et slipemiddel i kontaktflaten mellom notlin og høytrykksspyler.

Man observerer slitasjeskader på notlin som man mener skyldes høytrykksspyling (Figur 8). Slitasjeskadene ligner på skadene man framprovoserer med slitasjetesting (se kapittel 5.2). Det observeres tydelige abrasjonsskader, med fiber-brudd som ligner på høvelspon på den ene siden og "rufsete" brudd på den andre siden. Derfor er det trolig at en generell slitasjetest kan benyttes for å vurdere notlin sin motstand mot slitasjeskader fra spyling.

## 5.2 Slitasjetesting av notlin

Slitasje på notlin kan skyldes overbelastning i strekk og skjær av fiber som følge av at fibrene har blitt heftet i ujevnheter i slitasjelegemet, og blitt dratt og/eller skjært av. Ved kontakt med en glattere overflate, som for eksempel en roterende vaskeskive, vil fibrene kunne bli utsatt for abrasjonsslitasje. Førstnevnte er direkte koblet opp mot fibrenes strekkstyre, tykkelse og materialegenskaper. En tykkere og sterkere fiber vil generelt øke motstanden mot strekk- og skjærbelastning. I tillegg kan fiberen gjøres mindre tilgjengelig for å hekte seg i ujevnheter gjennom en coating eller ved å øke strammingen i produksjonsprosessen slik at notlinet blir med hardslått.

Slitasjetesting vil kunne bidra til å kvantifisere abrasjons-egenskapene til notlin. I prosjektet ble utstyr for slitasjetesting som var tilgjengelig ved prosjektets oppstart vurdert, og det ble konkludert at det ikke eksisterte utstyr som egnet seg til abrasjonstesting av notlin. Følgende utfordringer ble indentifisert:

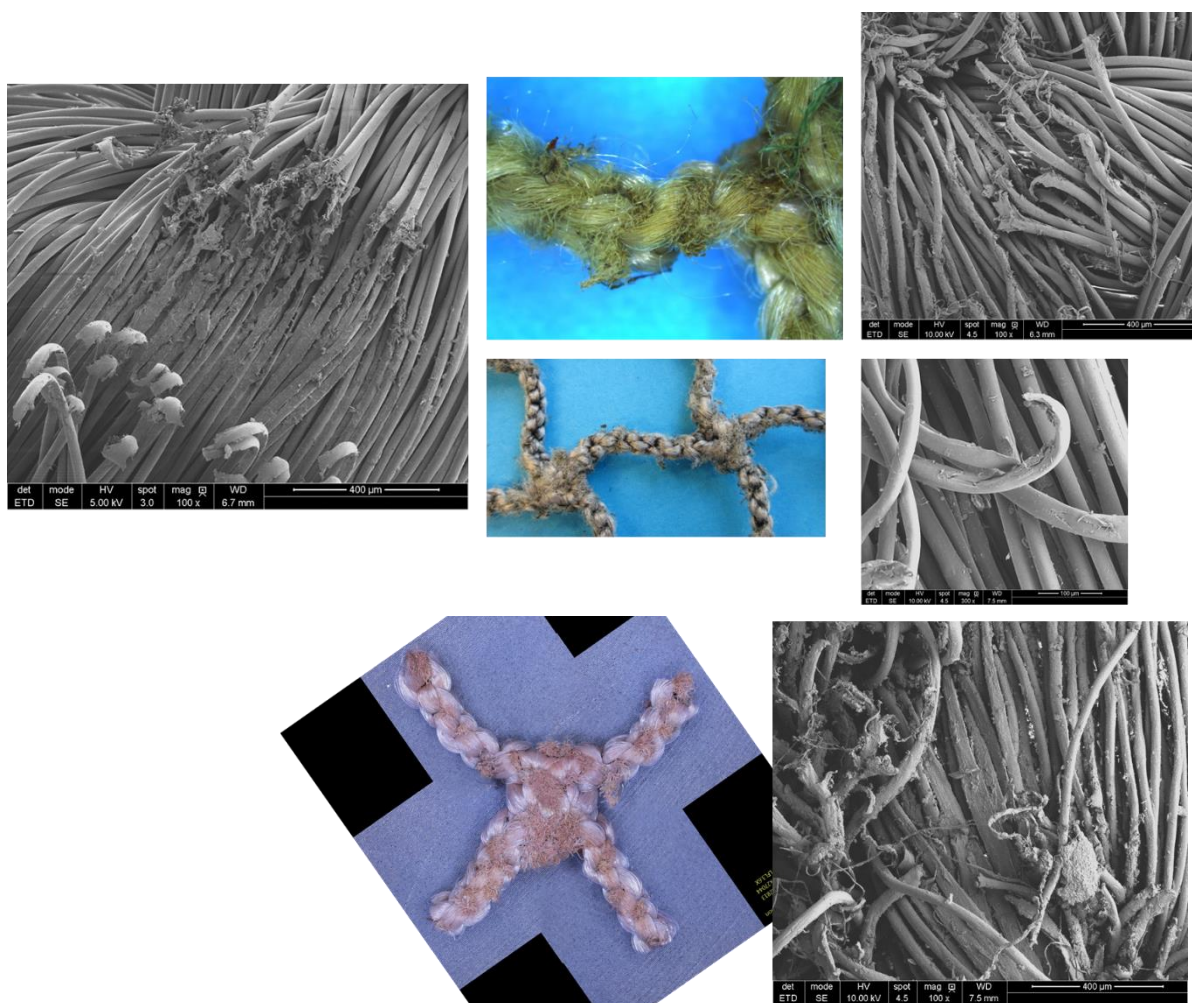
- Dårlig repeterbarhet og ujevn slitasje
- Svidde og smeltede nylonfiber
- Utfordrende å finne riktig ruhet på slitasjeobjekt
- Slitasje og tetting av slitasjeoverflate
- Elastisitet i notlinet kan påvirke forspenning

Basert på dette ble det gitt spesifikasjoner av egnet slitasjeutstyr (abrasjon):

- Overflaten til slitasjeobjektet må være finkornet, ha et stort areal i forhold til notlinet det er i kontakt med, og kan utformes som en roterende trommel
- Notlin må strammes opp med en konstant last, for eksempel fra et lodd
- Kontaktflatene må være våte

Slitasje måles som reduksjon i strekkstyrke til notlinet.

I løpet av prosjektperioden ble det utviklet testutstyr basert på denne spesifikasjonen av en ekstern, kommersiell aktør (Figur 9, Buraschi), og dette utstyret ble evaluert som en del av dette prosjektet (Vedlegg 8). I etterkant har produsent gjort endringer av utstyret basert på resultatene av denne evalueringen. Effekter av disse endringene har ikke blitt evaluert i dette prosjektet.



*Figur 8: Sammenligning av slitasje fra abrasjonstest og notlin med slitasjeskader. Venstre: Slitasje på notlin etter abrasjonstest (SEM). Høyre: Notlin med slitasje fra brukte nøter, trolig fra høytrykksspyling, og SEM-bilder av disse.*



*Figur 9: Utstyr for slitasjetesting (abrasjon) av notlin.*

## 6 Tekniske standarder

Prosjektet har hatt som mål å bidra til **utvikling av tydelige og objektive standarder** som har riktig funksjon og virker etter definerte formål. Dagens tekniske standarder, med NS9415 som hoveddokument, oppleves til dels som upresise. Dette gjelder hvordan notlin skal måles, beskrives, dokumenteres og testes. Prosjektet har bidratt med konkrete endringsforslag som er meldt inn og behandles av komiteen som arbeider med pågående revisjon av NS9415.

Det er identifisert og tatt tak i utfordringer med **definisjon og måling av dimensjoner** til notlin som brukes i oppdrettsnøter, inkludert **maskestørrelse, trådtykkelse og soliditet**. Det er identifisert behov for objektive målemetoder, og det har ført til at prosjektet har arbeidet med å utvikle **måleutstyr basert på bildebehandling**.

Utvalgte deler av arbeidet er beskrevet i følgende vedlegg:

Vedlegg 9: Forslag til endringer i NS9415 -Dimensjoner og styrke til notlin

Vedlegg 10: Automatisk måling av soliditet, maskeside og trådtykkelse

Å måle dimensjoner til Raschel-strikket notlin er krevende fordi det er så fleksibelt. Maskene kan lett strekkes ut, og tråden kan klemmes sammen (Figur 10). I tillegg vil tykkelsen til en tråd variere langs lengden av tråden, og hvilket mål som er riktig har ikke vært definert hverken i standarder eller uformelt i bransjen (forslag til mål er gitt i Vedlegg 10). Definisjonene av maskestørrelse er i dag uklare, noe som i praksis medfører at leverandører måler størrelsen forskjellig.

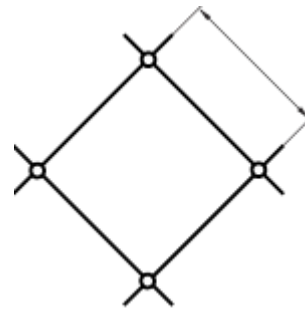
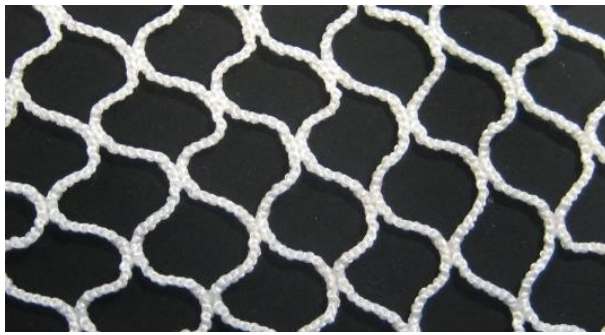
Prosjektet har definert hvilke størrelser som er viktige å måle og dokumentere: Maskeside, helmaske, maskeåpning (Figur 10 og Figur 11), trådtykkelse og soliditet. Definisjoner som er tydelige og objektive er foreslått i Vedlegg 9.

Tidligere var det vanlig praksis å estimere soliditet som to ganger trådtykkelse delt på halvmaskevidde. Dette gir vanligvis en noe lavere verdi enn om man finner soliditet ved hjelp av bildebehandling. I praksis er det ofte trådtykkelse og maskeside man har bruk for i en beregning, og disse kan ikke finnes fra soliditetsmålinger. Analyseprogrammer bruker ofte soliditet for å finne maskeside og trådtykkelse. Når analyseprogrammer ønsker soliditet som input, er det ofte riktig å benytte to ganger trådtykkelse delt på maskeside.

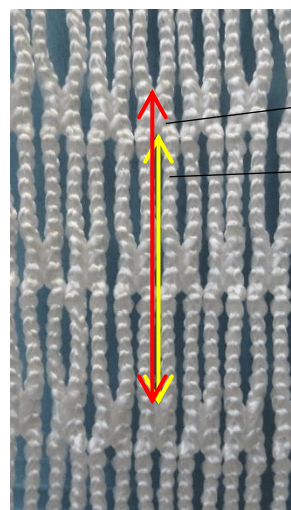
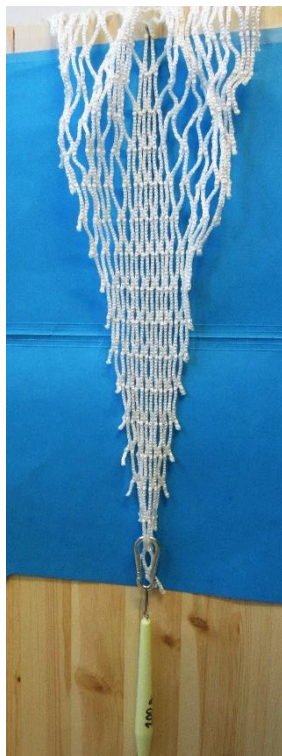
Basert på dette arbeidet, er det anbefalt å benytte bildebehandling ved måling av maskeside, trådtykkelse og soliditet (Vedlegg 10), mens linjal kan benyttes til å måle helmaske og maskeåpning. Sistnevnte kan også bestemmes ved bildebehandling.

I første omgang ble det beskrevet forslag til prosedyrer for å måle dimensjoner ved hjelp av skyvelær og linjal. Andre metoder som Omega-måler for maskeåpning ble også vurdert. Manuelle målemetoder ble forkastet ut fra for stor variasjon avhengig av operatør, mens Omega-måler for måling av maskestørrelse til fiskegarn (OMEGA Mesh Gauge ®) ble vurdert til ikke å være egnet for materialer brukt i oppdrettsnøter på grunn av liten maskestørrelse og stor fleksibilitet. Det ble gjennomført en test for måling av trådtykkelse med skyvelær basert på en definert prosedyre (Figur 12). Etter å ha vurdert resultatet ble det konkludert at målingene var for følsomme overfor egenskaper til benyttet skyvelær og hvordan det ble benyttet. Som eksempel ble tykkelsen til tre spesifikke notlin målt med en variasjon på +/- 0,5 mm blant deltagerne i prosjektet (6 notprodusenter og SINTEF). Dette er svært stor variasjon tatt i betraktning at gjennomsnittstykkelsen lå på mellom 2 og 2,5 mm.





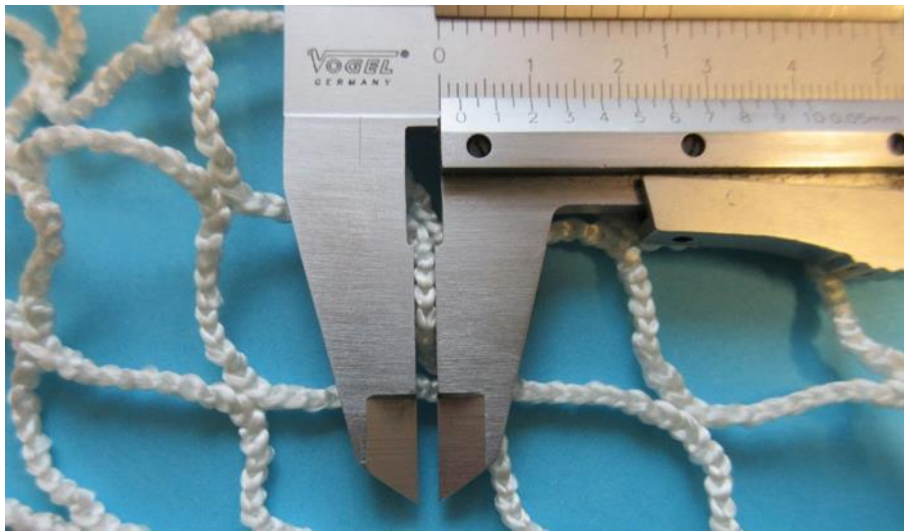
Figur 10: Måling av maskeside (høyre). Å strekke ut notlin til kvadratiske masker er ikke alltid uproblematisk (venstre).



Helmaske

Maskeåpning

Figur 11: Helmaske og maskeåpning. Maskene strekkes med 200 g og størrelser måles med linjal.



*Figur 12: Måling av tråddykkelse ved bruk av skyvelær kan gi stor variasjon i resultatene og er ikke en anbefalt metode.*

## Vedlegg 1: Studier av notlin fra brukte nøter

Forfattet av Heidi Moe Føre.

I RobustNot-prosjektet er det gjennomført studier av notlin fra brukte nøter for å finne ut hvor mye de mekaniske egenskapene til notlinet, for eksempel stivhet og styrke, har endret seg og hva som er sannsynlig årsak til disse endringene. Dette ble gjennomført ved hjelp av strekktesting, og undersøkelser i lysmikroskop og sveipeelektronmikroskop (SEM). I tillegg er fibre fra brukte nøter studert i vedlegg 2.

Studier av utvalgte notlin-prøver som presenteres i dette vedlegget:

1. Kassert smoltnot fra 2010
2. Notlin med slitasje, trolig fra høytrykksspyling
3. Studier av not fra feltforsøk

### 1 Notlin fra kassert smoltnot

SINTEF mottok i desember 2014 notlin fra en kassert smoltnot som ble produsert i oktober 2010. Nota ble satt i sjøen første gang våren 2011, og har totalt vært brukt to ganger i en periode på ca. 10 måneder hver gang. Før bruk ble den begge gangene impregnert med kobberholdige anti-groe middel. Nota har vært vasket på servicestasjon to ganger.

Notlinet hadde i utgangspunktet et innvendig maskemål på ca. 40 mm, og maskestyrke på ca. 136 kg.

Notlinet som ble gjenstand for nærmere undersøkelser besto av tre paneler på ca. 1 m<sup>2</sup> hver, hentet fra:

- a. rett under vannlinja / hovedtauet (Figur 1)
- b. ved ca. halve dybden (ved sidetau)
- c. rett over bunntauet (ved sidetau) (Figur 2 og Figur 3)

Notlin-stykke a og b hadde større områder med synlige slitasjeskader.

Undersøkelser av notlinet i mikroskop viste ingen tegn til skader på fiber (Figur 3).

Soliditeten til notlinet ble målt ved bruk av bildebehandling<sup>1</sup>. Nytt notlin av tilsvarende dimensjoner hadde en målt soliditet på 0.275. Soliditeten ble primært målt i områder uten synlig slitasje, og hadde økt med 10, 13, og 15% for henholdsvis notlin a (topp), b (side) og c (bunn). I områder med oppflising var soliditeten høyere. Økning i soliditet skyldes det man kaller "krymp" i notlinet: Maskestørrelsen reduseres og trådtykkelsen øker.

Det ble klipt ut fire prøvestykker fra hvert panel på 7 x 7 hele masker. Prøvestykkene ble bløtlagt over natten (16-24 timer) og maskestyrke ble testet i henhold til ISO 1806. Strekkraft som funksjon av forlengelse ble logget underveis i testene.

Resultatene fra maskestyrketestene er gitt i Figur 4. Styrken er redusert i alle notlinstykkene, og var i snitt henholdsvis 75, 71 og 61 % av styrken til nytt notlin for områder uten synlig slitasje i notlin a, b

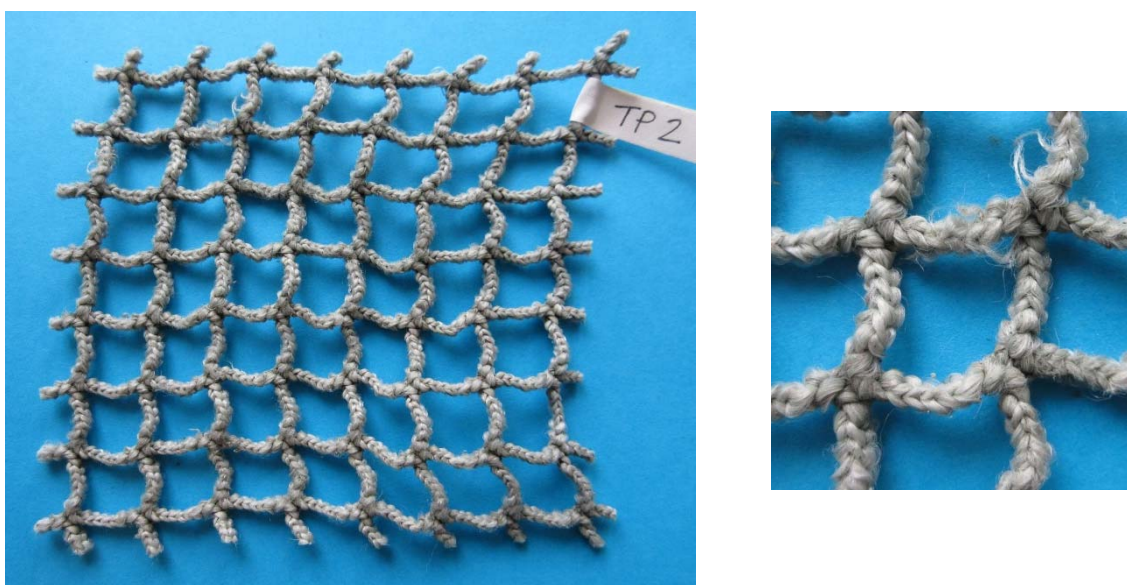
---

<sup>1</sup> Faktaark: Hvordan bestemme soliditet og trådtykkelse til notlin. FHF, SINTEF og FHL, oktober 2009.

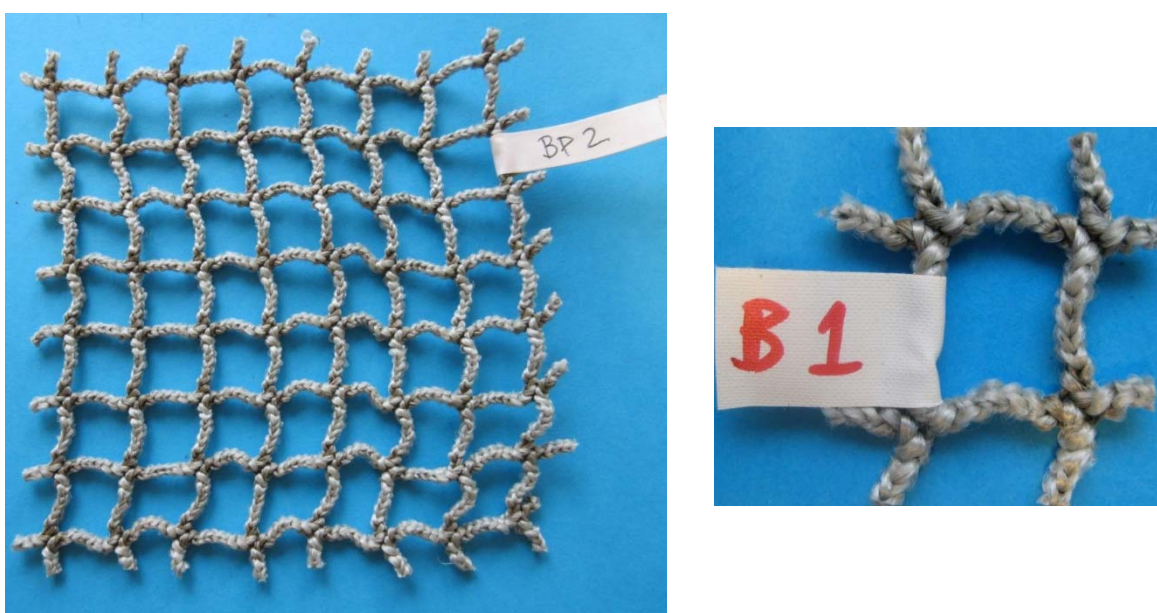


og c. Styrken reduseres nedover i nota og dette sammenfaller med økning i soliditet ("krymp" i notlinet). Samtidig observeres det at redusert bruddstyrke sammenfaller med redusert forlengelse ved brudd.

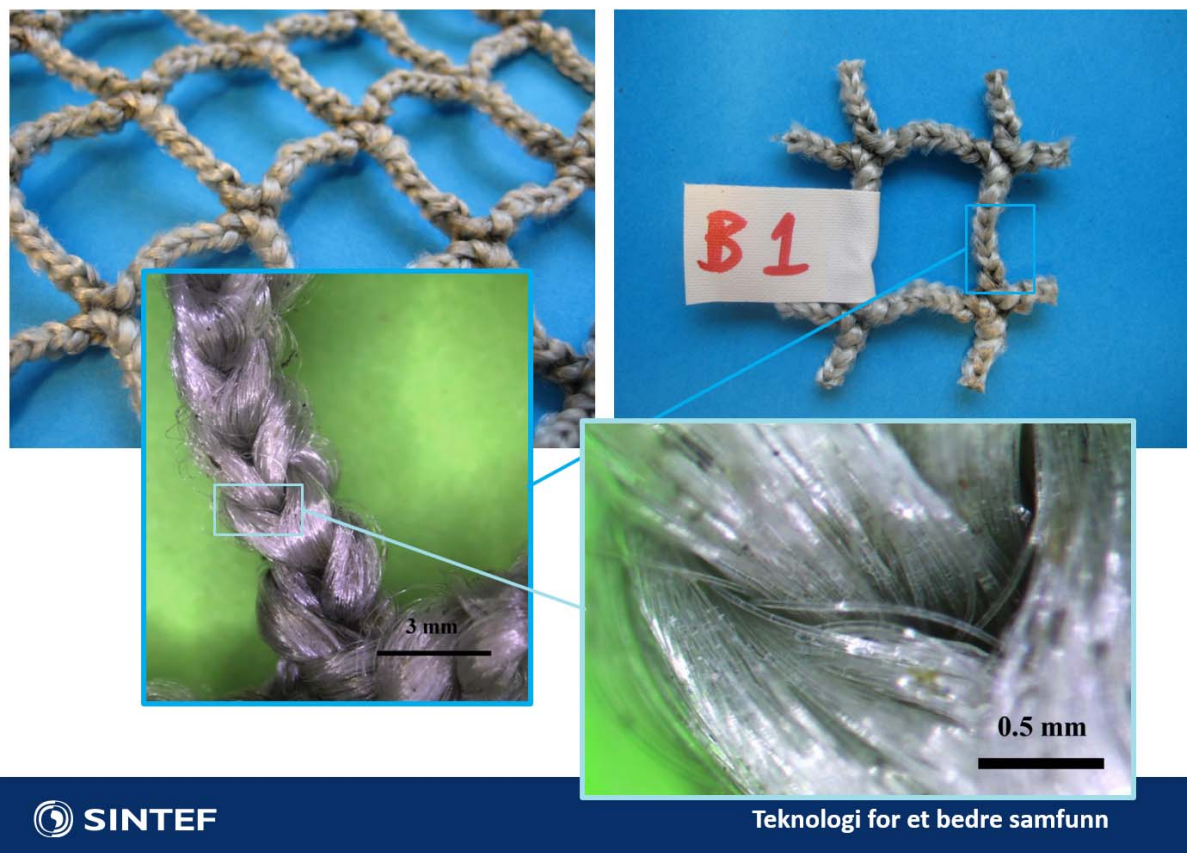
Slitasje på notlin ga en ytterligere styrkereduksjon på opptil 23 % for det undersøkte notlinet (Figur 4 og Figur 5).



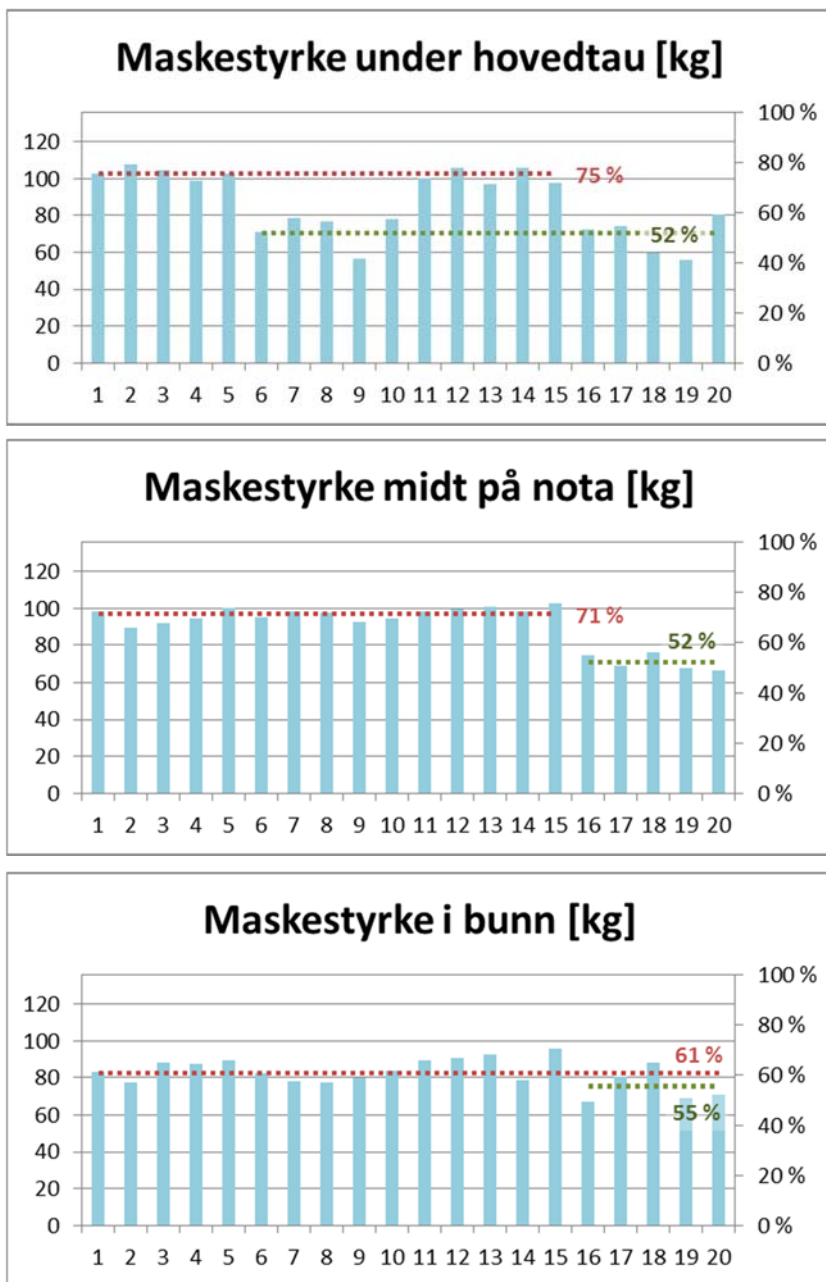
**Figur 1: Prøvestykke av notlin fra rett under vannlinja. Notlinet har synlige slitasjeskader i noen områder.**



**Figur 2: Prøvestykke av notlin fra rett over bunntauet.**



Figur 3: Notlin ved bunntauet studert i lysmikroskop.

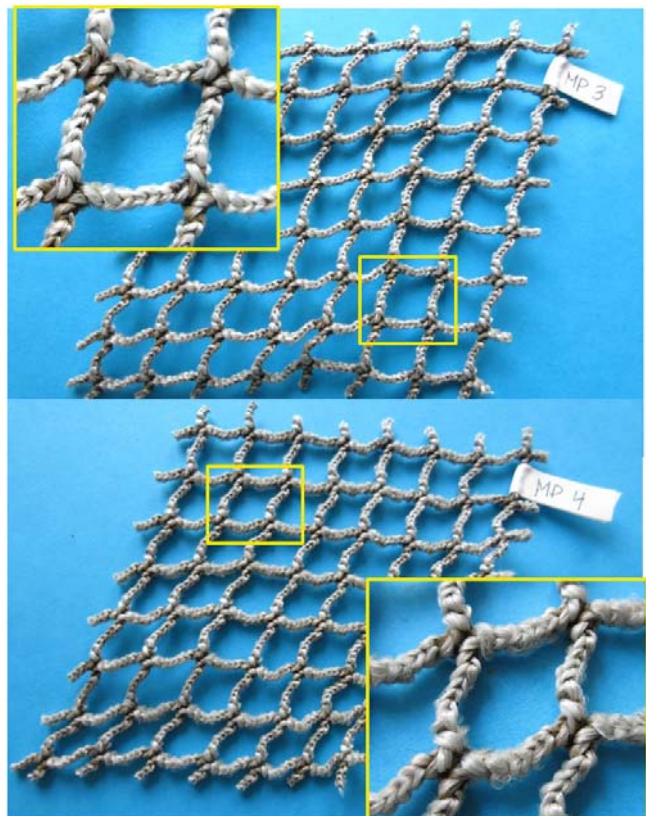


**Figur 4: Målt maskstyrke for prøvestykker fra forskjellige områder i den kasserte nota, gitt i kg (venstre akse) og relativt til nytt notlin (høyre). De blå søylene gir resultat for hver enkeltprøve. Rød stiplet linje gir gjennomsnittlig relativ styrke for notlin uten synlig slitasje, mens den grønne gir gjennomsnittlig styrke for notlin med slitasje.**



MP –Notlin fra midt på nota

- MP 3 –lite slitasje (gnag)
  - MP3, test 2: 73 %
- MP 4 –tydelig slitasje
  - MP4, test 4: 50 %
- Moderat gnagslitasje står for styrkereduksjon på ca 20 %



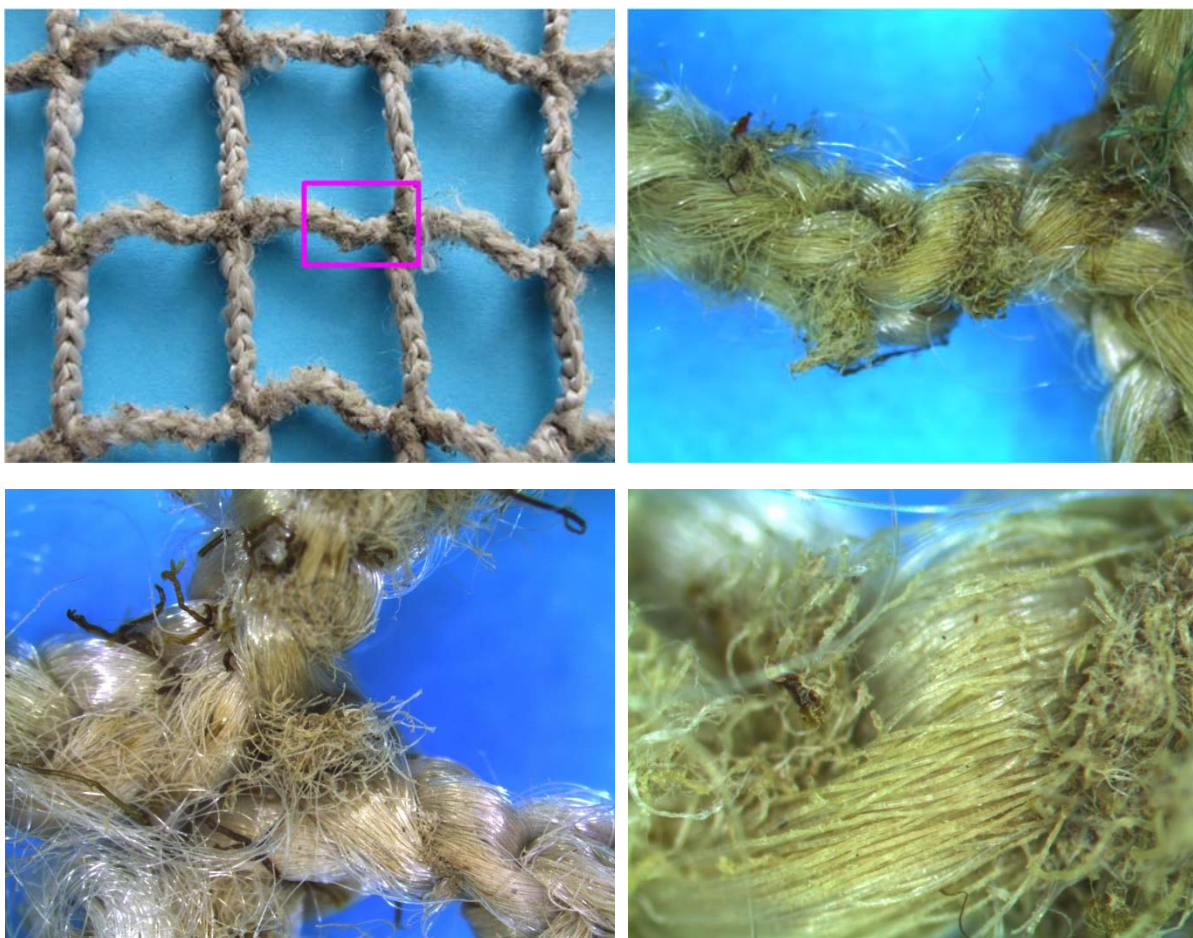
**Figur 5: Effekt av slitasje på notlin.**

## 2 Notlin med slitasje, trolig fra høytrykksspyling

Våren 2015 mottok SINTEF prøver med notlin fra ei not med og uten synlig slitasje (Figur 6 og Figur 7). Det var oppgitt at denne nota hadde vært utsatt for mye høytrykksspyling i sjø. Notlinet hadde som nytt en maskestyrke på ca. 136 kg. Maskestyrken til notlinprøvene ble målt ved SINTEF til 74 % av styrken til nytt notlin for områder uten synlig slitasje, og 42 % for områder med slitasje. Undersøkelse ved bruk av elektronmikroskop (SEM) viser abrasjonsskader på notlin-fibrene (Figur 8).

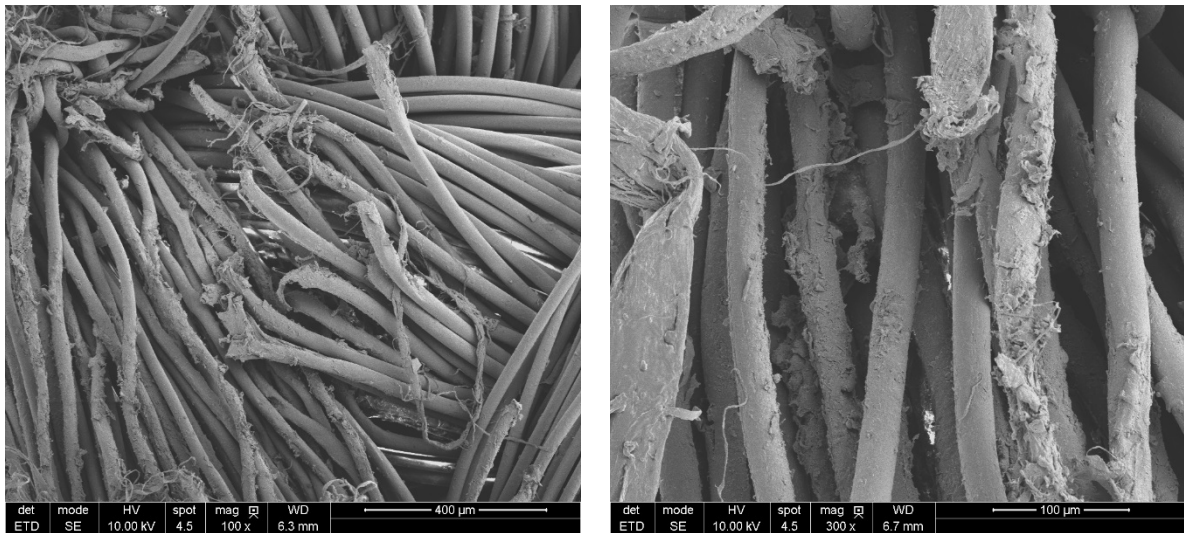


**Figur 6: Notlin fra brukt not med og uten synlig slitasje**



**Figur 7: Bilder av slitasje på notlin.**





**Figur 8: Bilder fra elektronmikroskop viser abrasjonsskader på fibrene.**

### 3 Studier av not fra feltforsøk

En not som er benyttet i feltforsøk i et annet prosjekt har blitt studert i dette prosjektet for å se etter redusert styrke i notlin. Nota besto av ubehandlet nylon notlin og sto i sjøen i 7 måneder. Nota ble vasket med høytrykksspyler hver 14. dag. Styrketester i etterkant viste at styrken til notlinet var redusert med ca. 20 % rett under vannlinja og midt på hoppenett, mens styrken var uforandret rett over vannlinja. Styrkereduksjonen kan skyldes henholdsvis begroing og UV-skader, men dette er ikke nøye undersøkt. Lengre ned i nota, på 2 meters dyp, var styrken upåvirket. Les mer i følgende lys-ark:

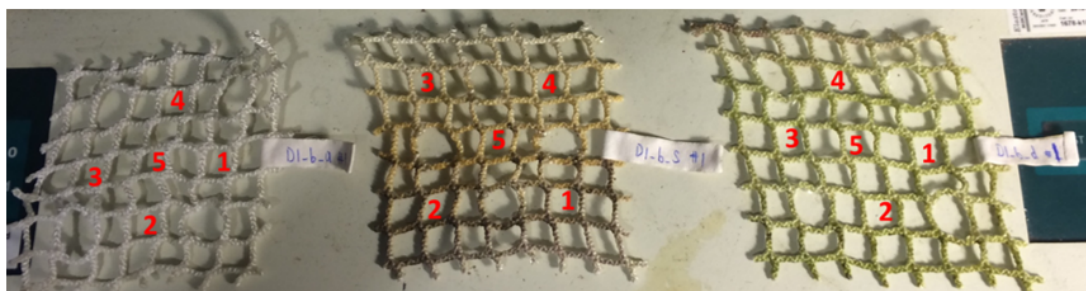
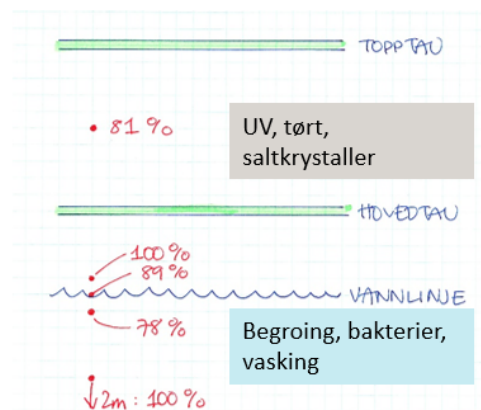
## Testnot

- Forsøksnot med ubehandlet PA6 notlin
- Nota sto i sjøen fra 1. april til 1. oktober
- Ble vasket hver 14. dag (13 ganger)
- Maskestyrke ble testet
  - For ubrukt notlin
  - I hoppenettet
  - Rundt vannlinja
  - Ved 2 meters dyp
- Enkelte områder ble studert med elektronmikroskop
  - Ubrukt notlin
  - Fra hoppenettet
  - Ved 2 meters dyp



## Maskestyrke til testnot

- Ny maskestyrke ca 82 kg
- Maskestyrke redusert med:
  - 19 % midt på hoppenett
  - 22 % rett under vannlinja
- Maskestyrke var uforandret
  - på 2 m dyp (vasket)
  - rett over vannlinja



## Vedlegg 2: Egenskaper til nylonfiber i nye og brukte nøter

Forfattet av Rune H. Gaarder. Sist revidert 2018-10-08

### 1 Motivasjon for enkeltfibertester

Motivasjonen for testing av nylonfibre har vært å se om tidligere funn og/eller tegn på skade av fibrene samt reduksjon av maskestyrke til notlin også gir seg til kjenne ved redusert strekkstyrke av det enkelte filament. Fra strekktester av maskene kan man få et uttrykk for reduksjon av maskestyrke, men det er ikke alltid like enkelt å finne årsaken til dette. Et fall i styrke kan skyldes at enkeltfibrene har blitt eldet av fysiske eller kjemiske påvirkninger eller at strukturen til selve linet er endret. Strukturendringer kan skyldes toving eller krymp av fibrene og/eller fremmedpartikler etc. som gir opphav til skader på enkeltfilamenter når linet strekkes. Resultatet blir det samme – linet ryker ved en lavere kraft enn da det var nytt.

Testing av enkeltfibre kan gi resultater som er vanskelige å tolke. Dette skyldes at fibre er enkeltelementer som av produksjonsmessige årsaker ender opp med forskjellige egenskaper. I bruk vil alltid et stort antall fibre bære last i parallell og da spiller dette mindre rolle, men når man skal forsøke å forklare endringer i oppførsel til en struktur med et stort antall fibre ved å undersøke enkeltfibre denne strukturen er bygd opp av, så kan det by på utfordringer. I dette tilfellet må et relativt stort antall fibre undersøkes for å kunne trekke sikre konklusjoner.

NB: Alle fibrene i denne studien er testet tørt, det vil si at fibrene har et fuktinnhold som står i direkte relasjon til luftfuktigheten i testlokalet. I perioden testene ble utført varierte relativ luftfuktighet mellom 40 og 60%.

### 2 Prøver av forskjellige nylonfibre

Det ble laget monofilament strekkprøver av fibre fra forskjellige fiberbunter og notlin. I tilfellene hvor fibrene ble tatt ut fra et notlin var det alltid den lengste tråden (hekletråden) fra en oppraknet stolpe som ble separert i enkeltfibre. De to andre trådene var for korte til å gi en håndterbar prøve så fremt man jobbet med en stolpe og ikke raknet-opp knuten. Enkeltfibre ble tatt ut på vilkårlige posisjoner og det var meget vanskelig å si om de var nær ytterkant- eller kjerne av tråden.

Prøver av følgende PA 6 fibre ble testet:

1. Nye fibre fra forskjellige fiberbunter – merket A, B og C. Med andre ord fibre som ikke har vært igjennom prosessen med produksjon av nytt notlin.
2. Prøver tatt ut av nytt notlin, dvs. raknet opp fra en stolpe.
3. Prøver fra brukt notlin som har fremvist betydelig reduksjon i maskestyrke

Prøvene fra fiberbuntene i punkt 1 ovenfor (nye fiber) ble mottatt fra en av deltakerne i prosjektet og er antatt å være nye, dvs. rett fra spolen til fiberprodusenten. Med andre ord har fibrene sannsynligvis ikke vært utsatt for påkjenninger fra notlinets produksjonsprosess og har heller ikke vært kokt for å fjerne spinnfinish (opprinnelig overflatebehandling av fibrene) og redusere krymp.

Prøver fra nytt notlin er av ukjent filamenttype og produsent. Vi kan ikke si med sikkerhet om linet er kokt eller ikke etter produksjon for å fjerne finishen fra fibrene og for å redusere krymp. Fibrene ble frigjort ved å rakne opp en stolpe fra en utklippet knute med tilhørende fire stolper. I motsetning til fibrene fra de nye fiberbuntene var disse fibrene "krokete" og måtte "rettes ut" før de ble limt på en ramme av papp. De var dog ikke like krokete som bunter fra de brukte notlinene.



De siste prøvene er fra brukt notlin som i noen tilfeller viste tegn på såkalt "gnag-slitasje" og som i andre tilfeller så ganske fint ut. Prøvestykkene kom fra ei kassert not og notlinet som ble undersøkt hadde ca. 50% reduksjon i maskestykke (store variasjoner). Panelene var tatt nær toppen av nota, midt på nota og nær bunnen. Fibre fra disse stedene er heretter referert til som topp, midt og bunn. Et "kryss" ble klippet ut fra disse maskene og så ble de enkelte stolpene i krysset raknet opp. Fibrene ble valgt ut helt tilfeldig. Alle var veldig "krokete" og enkelte hadde relativt mye rester av belegg. Friksjonen mellom de forskjellige trådene i stolpen var relativt høy og det var tidvis problematisk å få det fra hverandre på en skånsom måte. Figur 1 viser en oppraknet hekletråd fra et kryss i nota klippet ut fra "midtpanelet". Brunfargen er fra rester av impregnering.

## 2.1 Fremstilling av monofilament strekkprøver

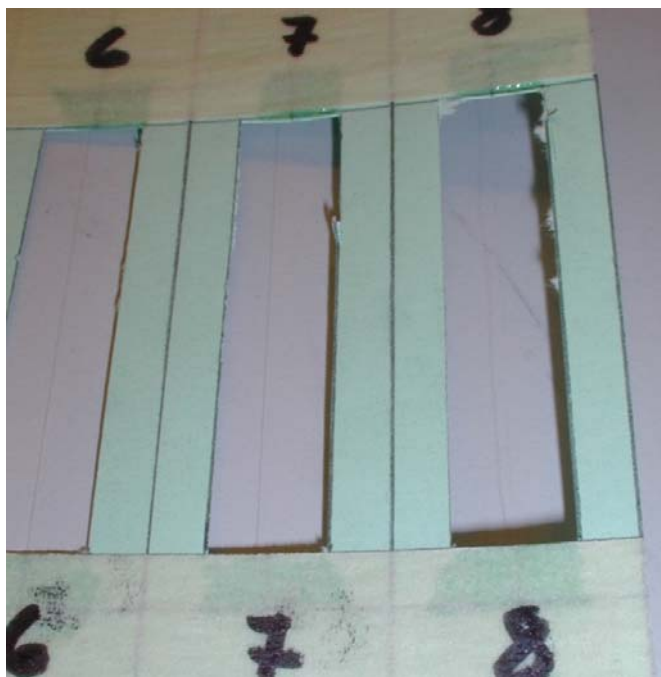
Strekkprøver av enkeltfiber ble laget ved bruk av en sjablong tegnet i programmet Rhino som så ble skrevet ut på ganske stivt papir. Etterpå ble følgende trinn i prosessen fulgt slavisk:

- Skjære opp alle åpne felter i sjablongen med skalpell. Feltets lengde tilsvarer lengden på fiberen som vil bli strukket, dvs. 50 mm.
- Feste teip med limflaten opp over og under feltet med prøver for test av fibrene
- Forsiktig splitte eller gre buntene med fibre vist i figurene ovenfor slik at det var mulig å trekke ut vilkårlige fibre uten bruk av kraft eller så lite kraft som mulig.
- Deretter feste fibrene til tapen på sjablongen med en liten slakk
- Så benytte et lynlim for å lime fibrene fast til pappen og samtidig feste en liten bit med teip over.
- Etter at 12 – 14 fibre var festet, ble alle fibrene undersøkt i et stereomikroskop for å se om det var synlige defekter på dem

Undersøkelse ved bruk av lysmikroskop ga ingen entydige resultater, dvs. om fibrene hadde defekter eller liknende som kunne føre til redusert styrke. Generelt kan man si at fibrene så meget "homogene" ut. Med "homogene" menes jamntykkede og med glatt overflate. De typiske brune områdene som kan sees i Figur 1, finner man igjen som et tynt brunfarget, nærmest transparent, belegg på fiberen eller som distinkte klumper med samme farge. Figur 2 viser fibre raknet opp fra buntene limt på papplata klar til å bli klippet opp i enkeltprøver.



**Figur 1:** *Hekletråd etter at kryss er raknet opp. Fra panel klippet ut midt i nota*



**Figur 2:** *Pappsjablong med utkappede felter hvor enkeltfibre er synlige. NB: Dette er en tidlig forsøksversjon. Lengden på utkappet er 50 mm*

Før testing ble hver enkelt pappprøve klippet fra de andre og festet i grepene på strekkmaskinen. Deretter ble papprammen klippet over slik at fiberen da var det eneste som forbandt øvre- og nedre grep i testmaskinen.

### 3 Strekktesting

Strekktestingen ble foretatt i en Zwick Z250 universal strekkmaskin med en kapasitet på 25 tonn. Med riktig lastcelle er det mulig å foreta strekktesting med en oppløsning i kraften på under 0.1 gram, men det er på grensen av hva som er mulig med ei lastcelle på 10N. Testhastigheten var 10 mm/minutt. Temperatur og fuktighet i testlaboratoriet var 23°C og 50%. Fibrene ble ikke kondisjonert på noen annen måte enn at de lå i laboratoriet en stund før testingen fant sted.

Tøyningen i fiberen ble beregnet basert på en korrigert referanselengde (50 mm, korrigert for eventuell slakk i fiberen) og forskyvning av det nedre grepet fiberen ble holdt fast i. Dersom fiberen sitter godt fast oppe- og nede gir dette rimelig korrekte verdier. Fibre som gikk i stykker ved innfestingen til pappmalen ble vurdert å ha ugyldige brudd og sett bort i fra.

Fibre fra disse panelene er tidligere undersøkt i sveipeelektronmikroskop. Her viste det seg at diameteren på en del undersøkte fibre var rimelig konstant og ca. 0.030 mm. Men det kan nok forekomme unntak og dette kan gi opphav til forskjeller i kraft/tøyning- eller spennings-tøyningkurver.

E-modulen ble målt mellom 0.1 og 0.5% tøyning dersom kurvene fra strekkmaskinen så fornuftig ut i dette området. Det er verdier det er vanlig å benytte i mekaniske testing av plastmaterialer. Som sagt ble diameteren for hver enkelt fiber ikke målt, men antatt å være 0.030 mm.

### 3.1 Resultater fra test av brukt notlin

Kraft mot tøyning for enkeltfibre tatt ut av brukt notlin merket "midtpanel" er vist i Figur 3. Alle kurvene følger stort sett samme mønster; først en liten lineært elastisk del, så en lang del hvor fibre fremviser monotont økende stivhet for så å gå over i siste fase med fallende stivhet og brudd. Spredningen i kurvene kan skyldes at fibre har noe forskjellige diameter og stivhet. Tøyningen og tøyningen til brudd er normalt ikke påvirket av diametervariasjoner.

Vi ser at forskjellen mellom prøvene i starten er liten. Dog blir forskjellen større når tøyningen øker og ved for eksempel 25% tøyning er forskjellen i kraft over 40%. Dette kan tyde på at prøvene har noe forskjellig mikrostruktur, dvs. hvor effektivt eller hvor raskt polymerkjedene i fibre er i stand til å bære eller ordne seg inn etter belastningen og interaksjonen mellom dem.

Tabell 1 viser alle resultater fra testing av brukt notlin. Standardavviket i bruddkraft og tøyning til brudd ligger på noe over 10%.

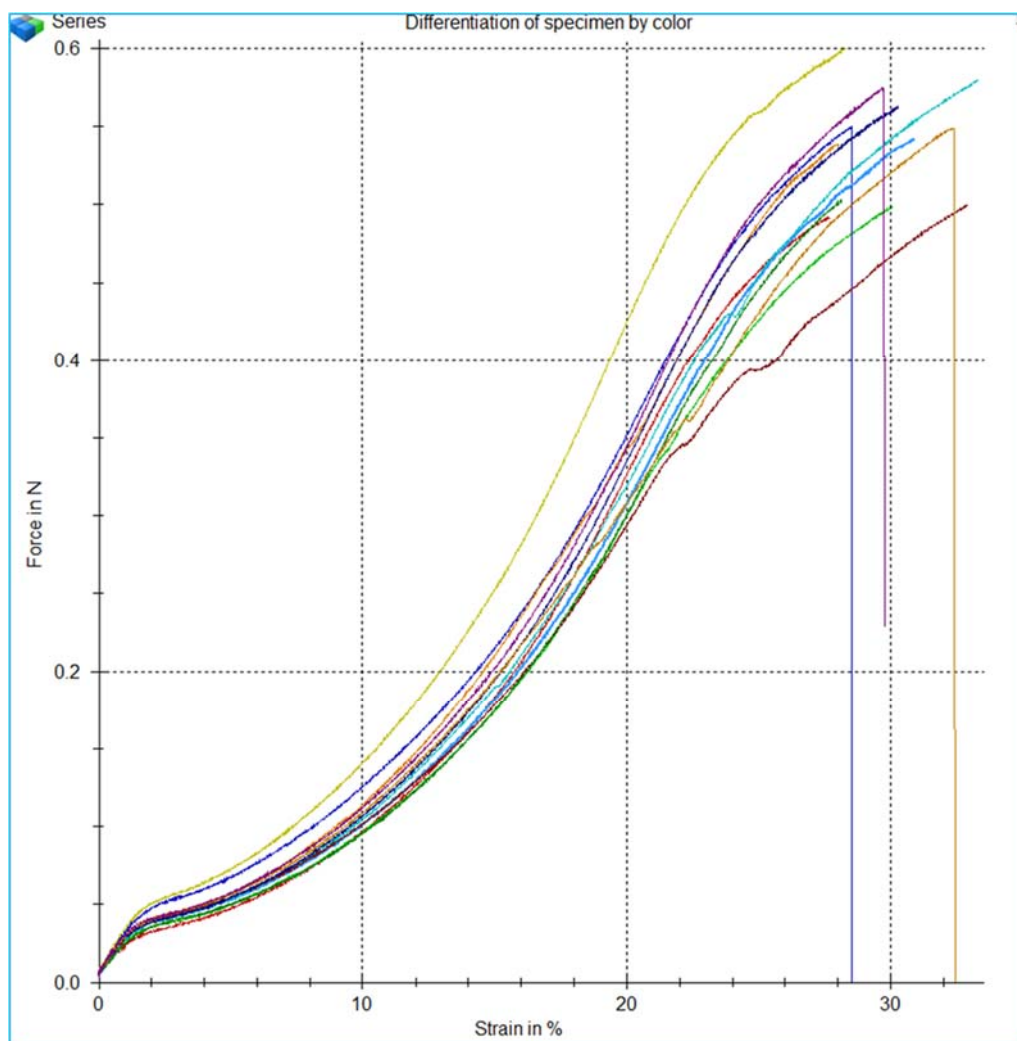
**Tabell 1:** *Resultater fra testing av fibre fra brukt notlin. Gjennomsnittsverdier vist samt standard avvik i %. Fiberdiameter antatt å være 0.030 mm ved beregning av E-modul og spenning*

Lokasjon av nopanel	E-modul	Bruddkraft /std. avvik	Bruddspenning	Tøyning ved brudd/std. avvik	Arbeid til brudd/std. avvik
	[MPa]	[g]	[MPa]	[%]	[Nmm]
Topp	4270	51.6 (6.9)	720	28.4 (3.2)	3.2 (0.76)
Midt	3540	55.1 (3.7)	765	30.0 (2.0)	3.7 (0.49)
Bunn	3900	51.5 (5.7)	714	28.5 (3.1)	3.3 (0.64)

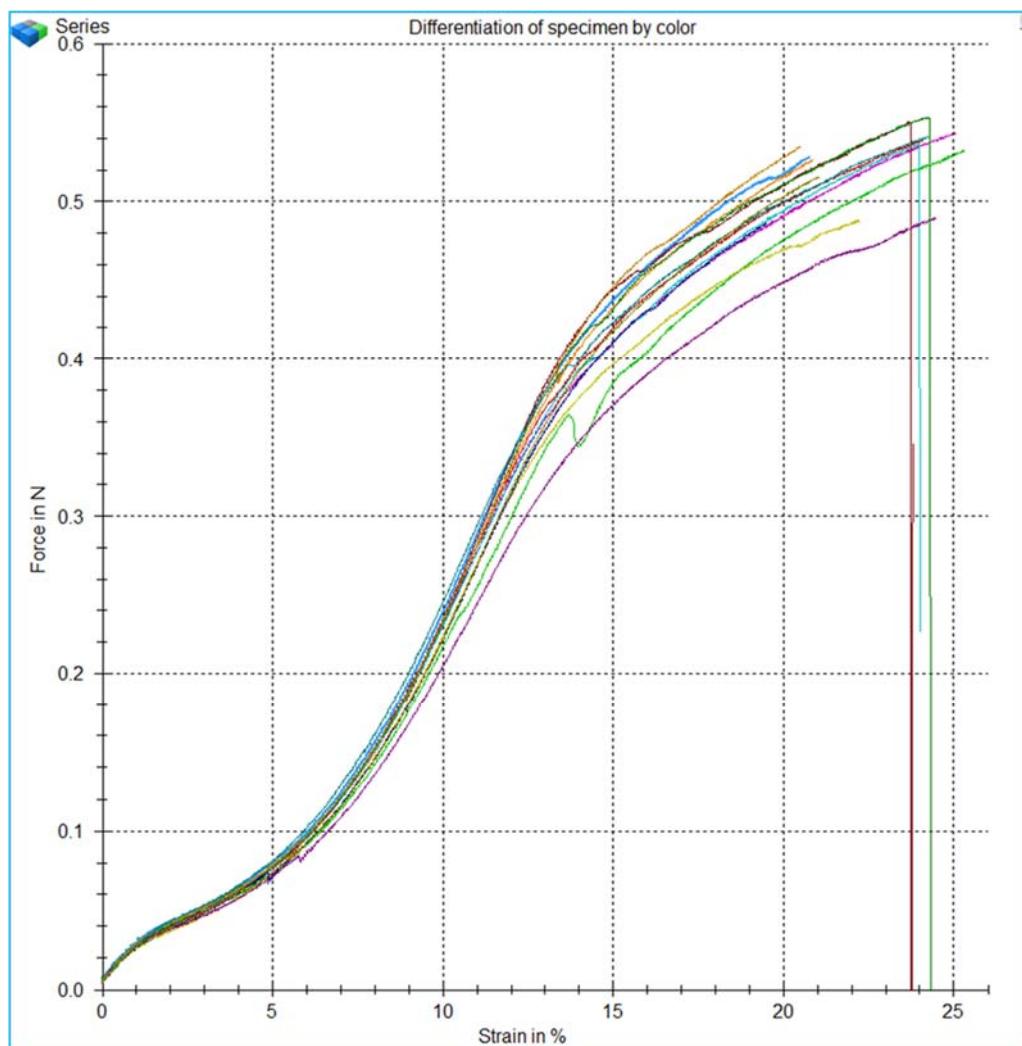
### 3.2 Enkeltfibre fra nytt notlin

Fibre som ble testet fra nytt notlin har en annen respons enn de som er tatt fra den brukte nota. Kraft-tøyingsresponsen opp til ca. 10 % tøyning er meget repeterbar og spredningen i resultatene lav. Dog er styrken noe lavere enn det som er rapportert for bunter av fibre med forbehold om det kan være noe ulike diameter på fibre. Deretter krummer kurven noe som tyder på at fibre begynner å deformeres plastisk. Den initiale E-modulen er relativt lav, men så sørger orienteringseffekter av strukturen i plastfibre (som er delkrystallinske) at stivheten øker raskt og tilnæringsvis dobbelt så raskt som for de brukte (lik respons for topp, midt og bunn). Sammenlikner vi responsen fra de nye med de brukte, ser vi at fibre som har vært i bruk ikke har samme karakteristiske plastiske område.

Sammenlikning av målte verdier på nye og brukte fibre kan være vanskelig grunnet mangelfulle data på fiberdiameter. Måling av diameter på enkeltfibre er vanskelig og ikke minst meget tidkrevende med mindre man er utstyrt med automatisert utstyr for dette. I et forsøk på å sjekke dette ble det foretatt undersøkelser av noen nye fibre i et lysmikroskop. En typisk fiber er vist i Figur 5. Denne har en diameter på ca. 28.3 mikrometer. Flere andre fibre ble undersøkt og gjennomsnittlig diameter var ca. 29.3 mikrometer. Denne forskjellen er så liten at vi valgte å beholde 30 mikrometer som en referansediameter for lettere å kunne sammenlikne resultater fra nye og brukte fibre.



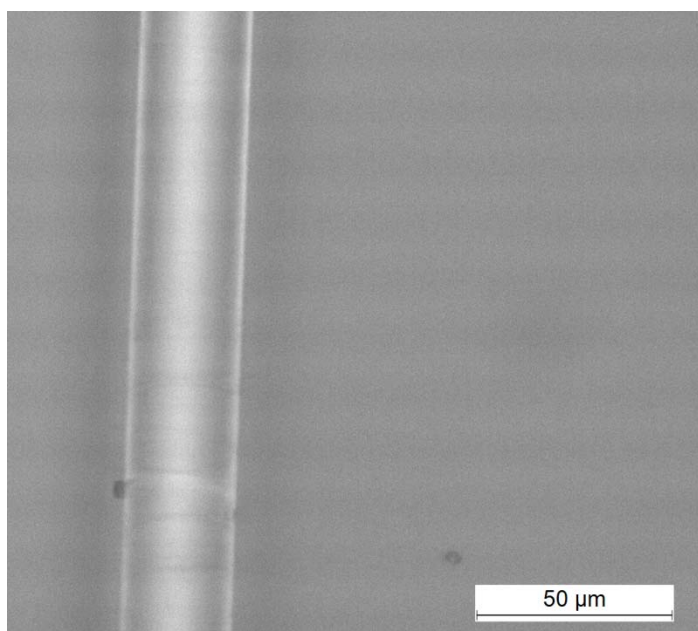
**Figur 3:** *Kraft mot tøyning for monofilamenter tatt ut fra brukt notlin merket "midtpanel"*



**Figur 4:** *Kraft mot tøyning for monofilamenter tatt ut fra nytt notlin*

**Tabell 2:** *Resultater fra testing av fibre fra nytt notlin. Gjennomsnittsverdier vist samt standard avvik i %. Fiberdiameter antatt å være 0.030 mm ved beregning av E-modul og spenning*

E-modul	Bruddkraft /std. Avvik	Bruddspenning	Tøyning ved brudd/std. avvik	Arbeid til brudd/std. avvik
[MPa]	[g]	[MPa]	[%]	[Nmm]
3370	53.6 (2.3)	744	22.8 (1.9)	3.2 (0.48)



**Figur 5:** *PA 6 fiber fra nytt notlin i lysmikroskop. Estimert gjennomsnittlig fiberdiameter ca. 29.3 mikrometer*

### 3.2.1 Test av tre forskjellige nye PA6 fibre

Tre typer av nylonfibre viklet opp på små pappstykker ble mottatt fra en notlinprodusent. Fibrene var betegnet A, B og C. Fiberen benyttet i de tidligere testede brukte panelene (topp-, bunn- og midtpanel) er av type A. Det ble laget 14 prøver for hvert enkelt materiale eller fibertype.

En enkel undersøkelse ved bruk av optisk mikroskopi viste at målt diameter på en vilkårlig fiber var som følger:

- Fibertype A: 28.7 – 29.6 mikrometer
- Fibertype B: 27.8 – 29.1 og 56.0 – 56.5 mikrometer
- Fibertype C: 29.6 mikrometer

Det er litt merkelig at fibre av type B avviker såpass mye i diameter fra A og C og fra andre fibre vi har testet tidligere. Vanligvis ligger diameteren meget stabilt i området 30 mikrometer,  $\pm 2$  mikrometer. For å lette sammenlikningen har vi valgt å sette lik diameter på alle, dvs. 30 mikrometer. Ingen "tykke" type B-fibre ble testet.

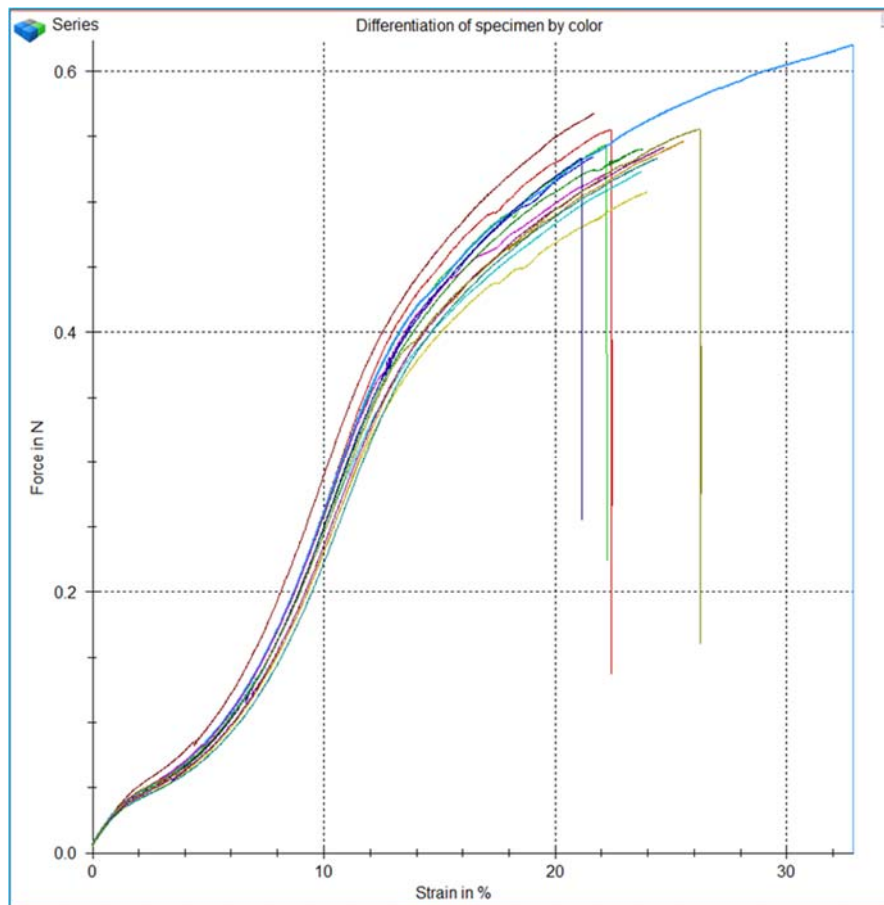
Fibrene ble splittet opp i individuelle fibre som så ble limt fast til ei pappramme og strekktestet. Effektiv lengde på fibrene som ble testet var 50 mm. Resultatene er vist nedenfor. Figur 6 viser kraft mot tøyning for monofilamenter av typen A.

Vi ser at strekkkurvene er vesentlig forskjellige fra dem som er vist i Figur 3. Vi ser også at en enkelt fiber utmerker seg ved å ha en meget høy forlengelse ved brudd og følgelig høy strekkstyrke. Kurvene for fiber av typen B og C er vist nedenfor. Tabell 3 viser alle resultatene. I disse data er resultater fra "anormale fibre" utelatt.

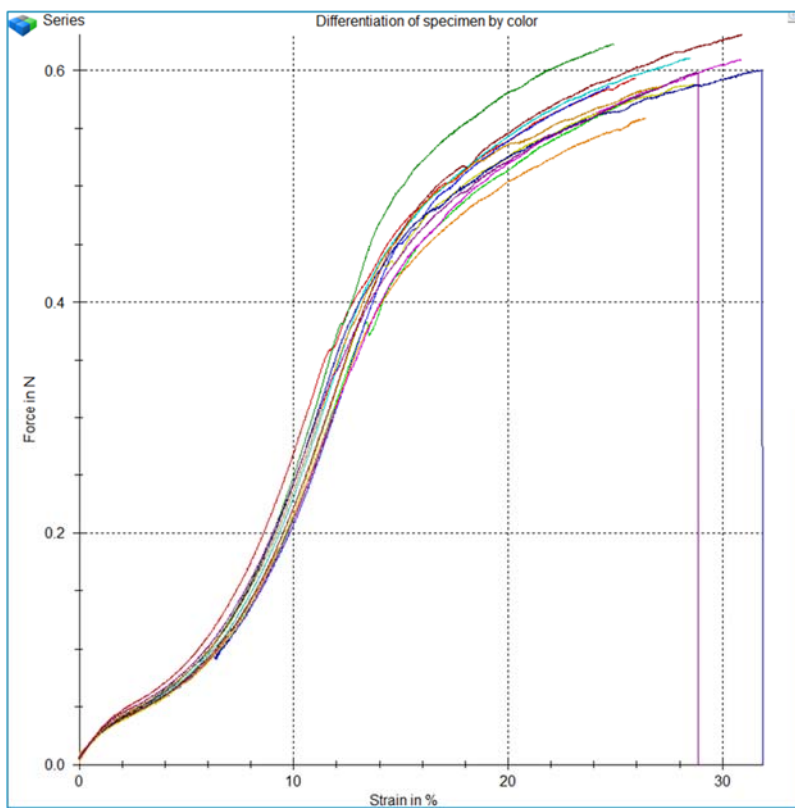
Sammenliknet med fibre av typen A fra det nye notlinet er de målte verdiene for E-modul og bruddkraft hhv. ca. 12% og 3% høyere. Tøyningen til brudd er også redusert ca. 3% og dette kan gi en



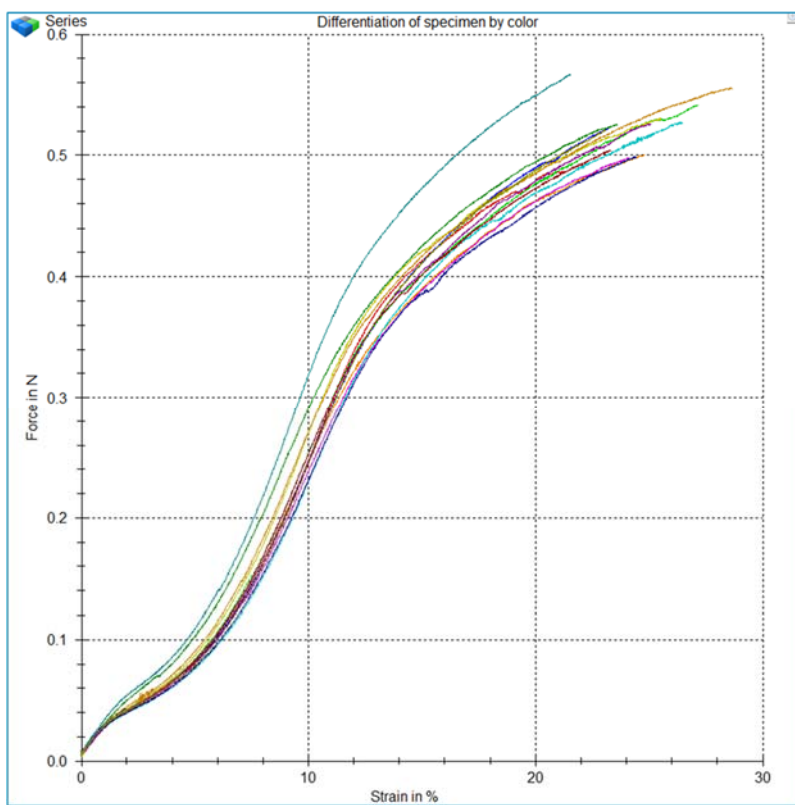
indikasjon på hvor stor reduksjonen er i styrke på fibre fra den forlater spolen, til et nytt notlin er produsert og kokt for å framprovosere krymp.



**Figur 6:** *Kraft mot tøyning for nye monofilamenter av typen "A"*



**Figur 7:** *Kraft mot tøying for nye monofilamenter av typen "B"*



**Figur 8:** *Kraft mot tøying for nye monofilamenter av typen "C"*



Med forbehold for forskjeller i fiberdiameter, ser vi at fibertype B oppfører seg forskjellig fra fibertype A. Materialet er både sterkere og tåler mer deformasjon før det ryker. Figur 8 viser strekkraft mot tøyning for materiale C. Bortsett fra en prøve, så er forskjellen i kraft-tøyningskurvene meget liten for fiber C, spesielt ved høyere tøyninger. Igjen tyder dette på at polymeren på mikronivå oppfører seg repeterbart og at viktige iboende egenskaper som f.eks. krystallinitet, orientering av krystaller, mengden amorf fase etc. er rimelig lik fra fiber til fiber. Det er også ensbetydende med god produksjonsteknikk og –styring. Tabell 3 viser alle resultatene oppsummert. Det er tydelig at fibertype B er den PA 6 fiberen som fremviser de beste mekaniske egenskapene av de tre testede.

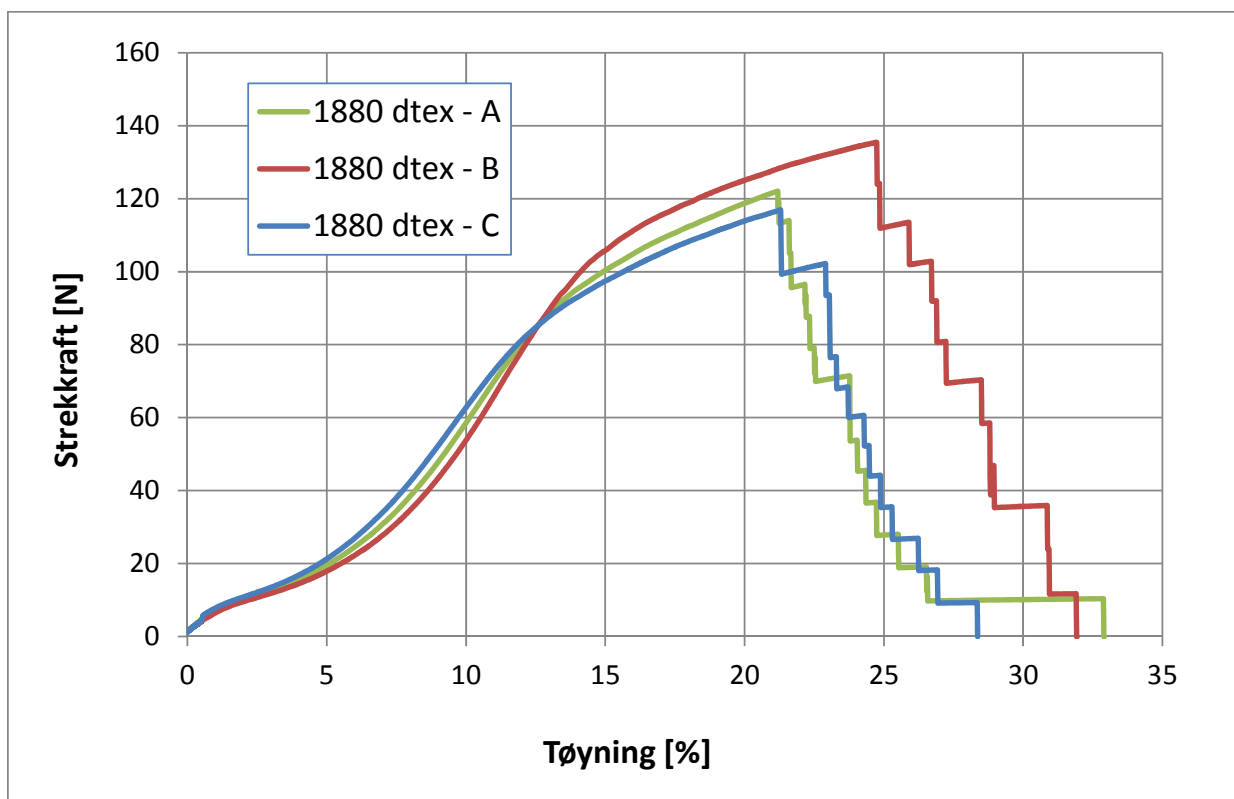
**Tabell 3:** *Resultater fra testing av nye fibre rett fra spole. Fiberdiameter er antatt å være 0.030 mm ved beregning av E-modul og spenning*

Fibertype	E-modul	Bruddkraft (std. avvik)	Bruddspenning	Tøyning ved brudd (std. avvik)	Arbeid til brudd (std. avvik)
	[MPa]	[g]	[MPa]	[%]	[Nmm]
A	3790	55.0 (1.6)	762	23.4 (1.6)	3.4 (0.35)
B	3300	60.9 (2.0)	845	27.9 (2.4)	4.9 (0.70)
C	3480	53.2 (2.3)	738	24.4 (2.0)	3.6 (0.52)

For å få et inntrykk av hvordan forskjellene slår ut på en fiberbunt, er det forsøkt å lage en sammensatt strekkurve. Figur 9 viser en sammensatt strekkurve for en fiberbunt med en vekt på 1880 dtex, dvs. 1880 gram fiber per 10 000m lengde ( $l$ ). Med en antatt egenvekt ( $\rho$ ) for PA 6 på  $1.13 \text{ g/cm}^3$  og en fiberdiameter på 0.003 cm, så tilsvarer dette en bunt på 235 ( $n$ ) fibre. Dette fremkommer fra:

$$n = \frac{dtex}{\rho \cdot l \cdot A} = \frac{1880}{1.13 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi}{4} (0.003)^2} = 235$$

$A$  er tverrsnittsarealet av en fiber. I bunten er det antatt at fordeling av strekkstyrke blant alle fibrene er identisk med det som fremkommer fra testing av 12 – 14 enkeltfibre. NB: et lite avvik i fiberdiameter vil ha en stor innvirkning på kurvene som vist da antall fibre vil avvike fra det som er estimert ovenfor. Ergo så må figuren tolkes med forsiktighet. F.eks. en reduksjon fra 30 til 28 mikrometer i diameter øker antallet fibre fra 235 til 270. Så kurvene i figur 8 er kun vist som en sammenlikning av respons på buntnivå med data fra testing av monofilamenter. Dette viser klart at fibertype B er sterkere og har større evne til å absorbere energi før det siste enkeltfilamentet ryker.



**Figur 9:** *Konstruert strekkurve for en 1880 dtex fiberbunt basert på resultater fra strekking av PA 6 monofilamenter med en antatt diameter på 0.03 mm og en antatt tetthet på 1.13 g/cm<sup>3</sup>.*

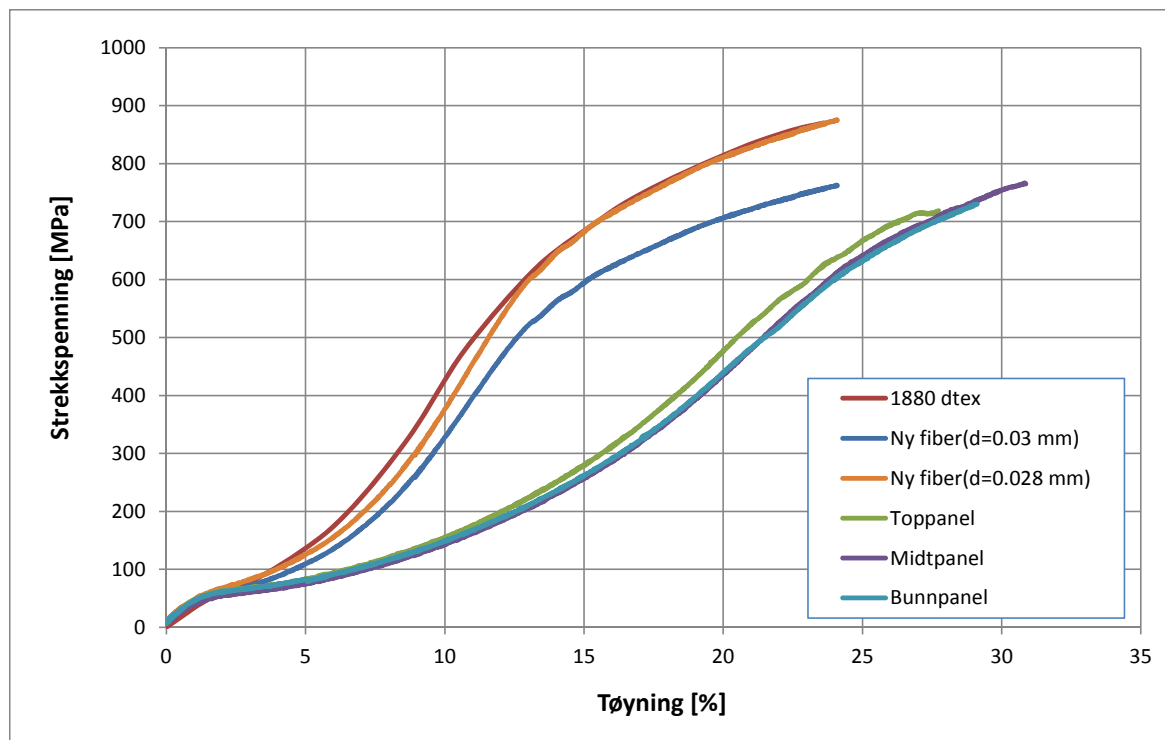
#### 4 Diskusjon

Gjennomføring av enkeltfibertester var vellykket og ingen prøver gikk i stykker under håndtering og testing. Under utvelgelsen av fibre var det ingen som gikk i stykker så man kan ikke si at man hadde en "naturlig utvelgelse" under håndtering og fastmontering av fibre i pappsjablongen. Hadde det vært en stor andel med kraftig degraderte fiber med lav styrke så hadde sannsynligvis dette gitt problematisk håndtering og prøvefremstilling. Dette var ikke tilfelle.

Testingen viser dog forskjeller i kraft-tøyningsresponsen på fibre fra brukt notlin og nye. Men som nevnt ovenfor, i og med at vi ikke vet om de er av samme type, er det vanskelig å si noe sikkert om forskjellene. Responsen kan dog tyde på at mikrostrukturen i de brukte fibre er endret som følge av fysisk og/eller kjemisk påvirkning og effekten av vann (fra koking av nota og fra bruk i lang tid). Dette er forsøkt vist i Figur 10 hvor en 1880dtex fiberbunt (data fra produsent) er sammenliknet med resultatene fra en enkelt ny fiber fra dette arbeidet. Det er forsøkt valgt ut en "gjennomsnittlig fiber" fra kurvene for det brukte notlinet.

Legg merke til hvor lik spennings-tøyningskurven er for fiberbunten og den ene nye fiberen testet her. Dersom man benytter en diameter på 28 mikrometer og ikke 30, blir kurvene så og si identiske. Antar man at fibre i de brukte panelene har en diameter på 30 mikrometer og at de nye fibre har en gjennomsnittlig diameter på ca. 28 mikrometer, blir effekten av aldring en gjennomsnittlig reduksjon i styrken på mellom 12 og 15% på det brukte notlinet.

Sammenlikner man bruddkraft (og ikke spenning) for nye og brukte fiber er forskjellene små for to av panelene (ca. 4% reduksjon for topp og bunn), mens for midtpanelet er fibrene i gjennomsnitt litt sterkere enn de nye. Men i det store og hele er forskjellene små.



**Figur 10:** *Sammenlikning av strekkspenning mot tøyning for en 1880 dtex fiberbunt, ny fiber (A-type) og for en enkelt "gjennomsnittlig" fiber fra de tre brukte notlinene testet ovenfor*

## Vedlegg 3: Krymp i PA 6 fiber i luft og ferskvann

Forfattet av Rune H. Gaarder. Sist revidert 2018-10-08

### 1 Bakgrunn

Hensikten med denne studien var å se på hvor fort fibre av typen polyamid 6 (PA6) krymper når de utsettes for høy temperatur i tørt eller fuktig miljø. Korttids koking er en vanlig benyttet måte å ta ut krymp i notlin av nylon hos produsenten før linet sendes til kunde.

### 2 Test av krymp i luft og vann

To tråder (nylon multifilament) med ukjent vekt (tex) på ca. 1.2 m lengde ble eksponert for henholdsvis vann fra springen (ferskvann) og luft, begge ved 100°C. En autoklav av rustfritt stål ble benyttet i det våte tilfellet. Vannet i autoklaven ble regelmessig skiftet. Ved forskjellige tidspunkt ble fiberbuntene tatt ut og lengden ble målt, i våt tilstand for den ene bunt. Deretter ble begge buntene lagt i et klimakammer i et døgn forut for veiing. En analysevekt med 5 sifre (0.00001 g oppløsning) ble benyttet til å veie fiberbuntene så raskt som mulig etter at de ble tatt ut av klimaskapet. Deretter ble lengden på begge trådene målt under en belastning på 30 gram.

Etter at all testing var ferdig ble størstedelen av fibre løst opp i kjemikalie m-cresol. Deretter ble det gjort en analyse av viskositeten til blandingen med polymeren i oppløst tilstand. Resultatene ble sammenliknet med verdier fra tidligere tester av denne polymeren for å se om polymerens gjennomsnittlige kjedelengde hadde endret seg under eksponering i våt- og tørr tilstand.

### 3 Resultater

Figur 1 viser krymp av tråden etter ett døgn kondisjonering i klimakammer. Første måling er gjort etter en times eksponering som også er det som vanligvis benyttes hos produsentene for å ta ut krymp i nytt notlin etter produksjon. En times koking tar ut ca. 92% av krympen for fiberen benyttet i denne studien. Figuren viser klart at det ikke er praktisk mulig å fjerne krymp i fibre ved eksponering i luft ved 100°C. I dette tilfellet øker krympen langsomt for så å stabilisere seg på en verdi på litt over 1%.

Koking av PA6 eller eksponering av fibre i vann ved 100°C representerer en eksponering av materialet over dets glassomvandlingstemperatur ( $T_g$ ) og følgelig så går alle reaksjoner hurtig.  $T_g$  for PA 6 i tørr tilstand er oppgitt til å ligge i området 50 til 60°C, men siden fibre har høy krystallinitet er påvirkningen på f.eks. mekaniske egenskaper liten når temperaturen går over  $T_g$ . Langtidstesting i vann for å studere aldringsegenskapene bør utføres ved temperaturer godt under dette, f.eks. 40°C [1]. I denne studien ble fibre eksponert for kokende vann utover tiden som var nødvendig for å fjerne all krymp i fiberbunt. Dette ble gjort for å se effekten av en forsert, og urealistisk aldring av fibre.

Figur 2 viser at selv om krympen i all hovedsak har inntruffet etter en time ved 100°C i vann, så er ikke det samme tilfellet for vektreduksjonen. Vektreduksjon kan grovt deles inn i tre faser:

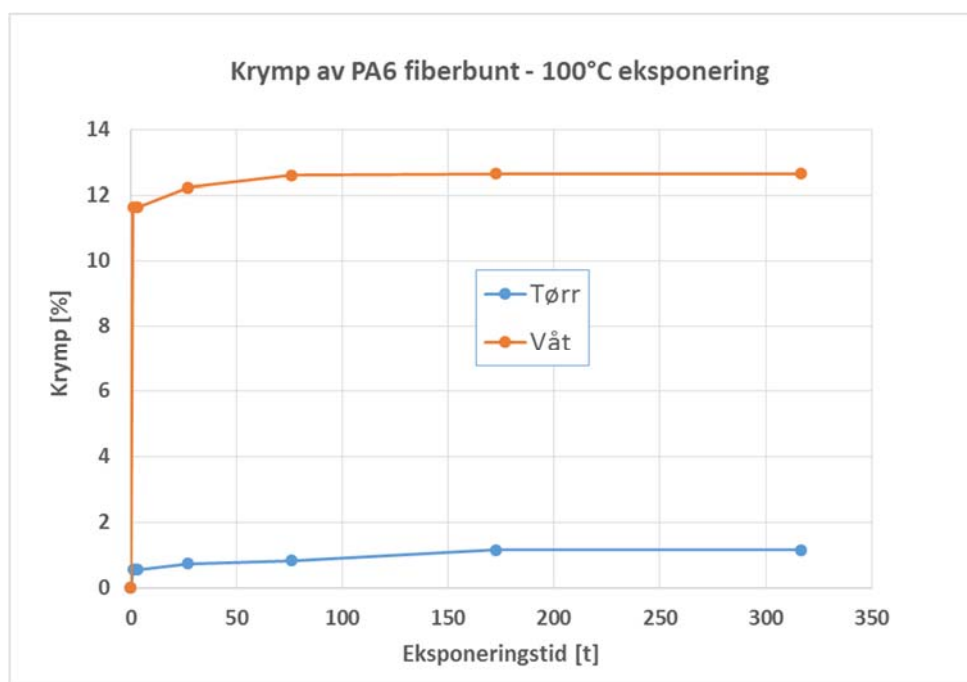
- Fjerning av belegg på utsiden (ofte kalt size)
- Uttrekk av løste bestanddeler; fyllstoffer, lavmolekylære forbindelser som f.eks. ikke-reagert materiale etc.
- Tap av masse fra degradering av polymeren, dvs. hydrolyse eller oksydasjon fører til brudd i polymerkjedene og til lavmolekylære bestanddeler som løses i vannet.

Vi ser at vekttapet for den tørre fiberbunten etter 150 – 300 timer er tilnærmet det samme som vekttapet for bunten som har vært kokt i 1 time. Med andre ord, i hovedsak fjerning av belegg på fibrenes overflate. Det er nærliggende å tro at termo-oksydasjon ikke er noe stort problem for PA 6 fibrene i luft ved denne temperaturen.

Vektendringen for bunten eksponert i kokende vann avtar etterhvert og når en asymptotisk verdi etter ca. 75 timer. Men vekttapet stabiliserer seg ikke helt og fortsetter å øke langsomt. Dette kan tyde på fibrene kan være i ferd med å degraderes når de aldres over 75 timer i kokende vann.

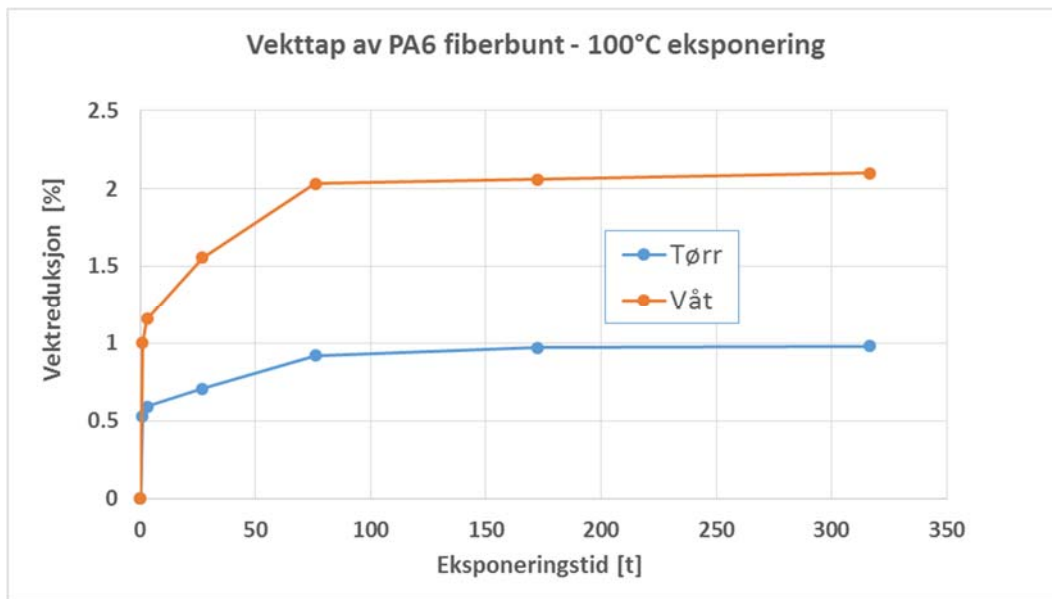
Figur 3 viser fibrene etter at eksponeringen i vann/luft var ferdig. Vi ser at fiberbunten til høyre, som er eksponert i vann, har fått et svakt gul-/brunskjær, noe som tyder på begynnende oksydasjon. Hydrolyse, en annen velkjent degraderingsmekanisme for PA-materialer i vann, gir seg ikke til kjenne med endret farge på polymeren. I og med at løseligheten til oksygen i vann faller med økende temperatur skulle man tro at potensialet for oksydasjon av polymeren i vann vil være langt mindre enn i luft som inneholder 21% oksygen.

Likevel viser resultatene at polymeren som er eksponert i luft ikke viser tegn på oksydasjon, mens den som er neddykket i vann har tegn til oksydasjon. En mulig forklaring på dette kan være at vannet har en effekt på stabilisatoren (antioksidantene) i polymeren, dvs. at vannet løser ut stabilisatoren, noe som gjør polymeren mer utsatt for degradering som følge av tilstedeværelse av oksygen. Man burde kanskje ha tatt gode bilder av de prøvene under samme eksponeringsbetingelser etter hvert uttak for å se om endringen i farge på nylonmaterialet kommer med en gang eller etter f.eks. en inkubasjonsperiode hvor stabilisatoren fortsatt er virksom.



**Figur 1:** *Krymp av fiberbunt etter eksponering for vann og luft – begge ved 100°C*





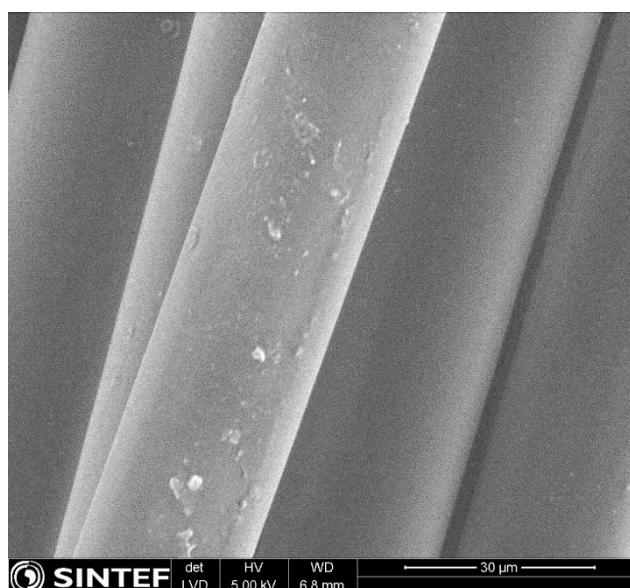
**Figur 2:** *Vektreduksjon i kondisjonerte prøver for fiberbunter eksponert i vann og luft ved 100°C*



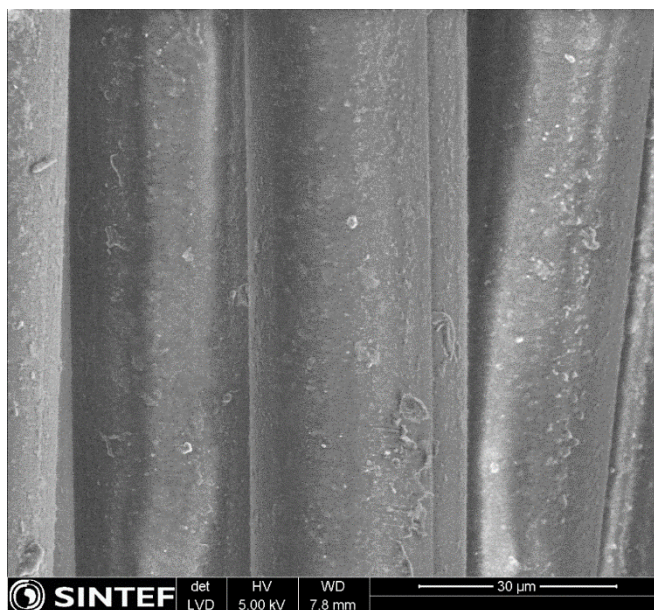
**Figur 3:** *Fiberbunter etter 317 timers eksponering – bunt til høyre eksponert i vann og bunt til venstre i tørr luft*

Figur 4 og Figur 5 viser SEM bilder av overflatene på noen fibre før koking i vann og etter 317 timers koking. Effekten av kokingen kommer klart frem på bildet, men siden de nye fibre vist som referanse har spinnfinish/size vet vi ikke om overflatene kan sammenliknes direkte. Det hadde kanskje vært best å sammenlikne en fiber kokt i en time med en kokt i 317 timer. Dog kan man nok anslå at forringelsen eller den knudrete strukturen i overflaten kommer som følge av langvarig eksponering i kokende vann.

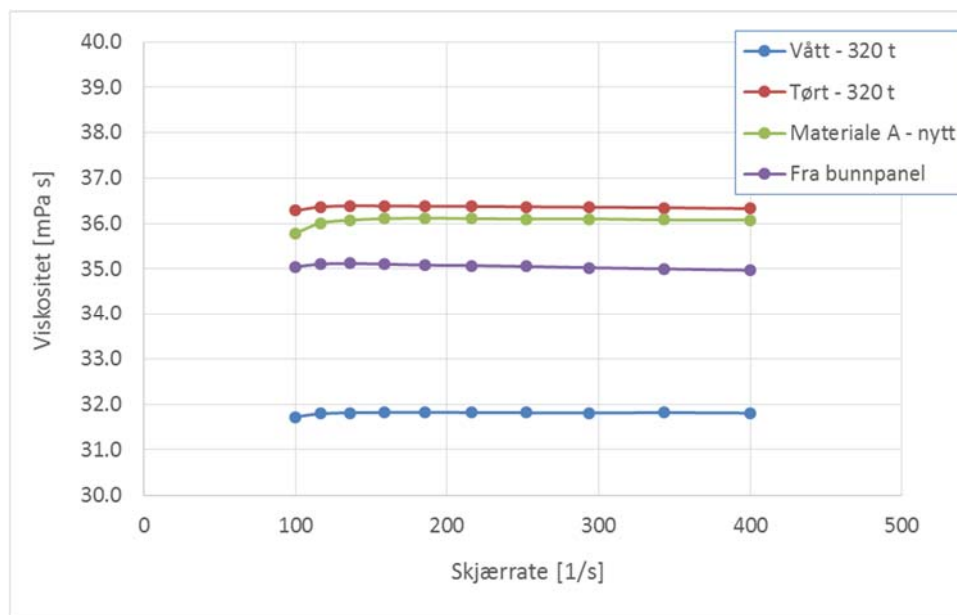
Figur 6 viser viskositet til løsninger av polyamidfibre i m-cresol. Kurvene presenterer et gjennomsnitt av fire målinger. Vi ser at viskositeten i løsningen med fibre som er aldret i varmluft faktisk ligger noe over prøver fra det nye materialet. Dette kan skyldes at ved tørking ved 100°C så fjernes en del lavmolekylære bestanddeler som ellers ville ha bidratt til å redusere viskositeten og polymeren er fortsatt tilstrekkelig stabilisert mot oksydasjon. Men forskjellen er ikke stor.



**Figur 4:** *Fibre før koking (sannsynligvis med finish/size)*



**Figur 5** *Fibre etter 317 timers koking*



**Figur 6:** *Viskositet i en løsning av PA6 fibre i m-cresol. Fibrene fra denne studien (Vått og tørt) er vist med nye "A-fibre" og fra fibre fra et kassert notlin (bunnpanel)*

Det som derimot skiller seg ut er viskositeten til løsningen med fibre aldret i kokende vann. Her ser vi et fall noe som er ensbetydende med en redusert gjennomsnittlig molekylvekt, noe som skyldes oksydasjon og/eller hydrolyse av den amorfe fasen i fibrene. Med andre ord kan vi med rimelig god sikkerhet fastslå at fibrene er i ferd med å endre seg kjemisk. Sammenlikner vi målingene av denne med målinger av tilsvarende fra bunnpanelet på den kasserte nota, ser vi at fibre eksponert ved 100°C i vann i over 300 timer har langt større grad av aldring. Effekten av aldring i fibrene fra bunnpanelet på mekaniske egenskaper målt ved enkeltfibertesting, var tilnærmet null.

Hvor stor effekten av den målte viskositetsendringen (fra 36.5 til 32 mPa·s) er på mekaniske egenskaper, ja det vet vi ikke. Erfaring fra andre polyamider som PA 11 og PA12 viser at et slik reduksjon har liten effekt. Om det også gjelder for PA6, det har vi ingen sikre opplysninger om.

Hva betyr en eksponering i 317 timer ved 100°C i vann for aldring av PA6 ved en lavere temperatur? I og med at aldringen har skjedd over  $T_g$ , hvor realistisk er dette for situasjonen fibrene utsettes for i normal drift hvor temperaturen i stor del av tiden ligger under 15°C?

Hvis vi antar at en aldring ved f.eks. 20°C og ved 100°C skyldes det samme fenomenet så kan man anta at en temperaturøkning har akselererende effekt, med andre ord, tid og temperatur er ekvivalente størrelser (Arrhenius). Øker vi eksponeringstemperaturen så kan man redusere eksponeringstiden og omvendt. I dette tilfellet vil reaksjonsraten (og degraderingsraten) doubles for hver økning i temperatur på 10°C. Det betyr at en reduksjon i eksponeringstemperatur fra 100 til 10°C betyr det samme som å øke eksponeringstiden med en faktor  $2^9 = 512$ . I vårt tilfelle betyr dette da  $512 \cdot 317 = 162304$  timer, dvs. 18år og 6 mnd. ved eksponering i kaldt vann ved 10°C.

Men som sagt, denne metodikken kan være beheftet med betydelig usikkerhet. Erfaring med aldring av PA11 og PA12 i vann har vist at ekstrapolering av resultater fra korttidstester ved høy temperatur kan være utfordrende. Hovedgrunnen er at aldringsmekanismene ved høye temperaturer nødvendigvis

ikke er de samme eller dominerende ved lavere temperaturer. Dette gjør akselerert aldring av polymerer kompleks og følgelig er det vanskelig å fastslå levetid eller restlevetid på fibre. P.-Y. Le Gac et al.<sup>1</sup> aldret PA6 fibre for bruk i tau i sjøvann ved 40°C i nesten ett år. Test av fibre ved forskjellige uttak viste at aldringen hadde ingen effekt overhodet på egenskapene til fibre. Testene viste faktisk at fiberbunten aldret vått hadde samme stivhet og bruddstyrke som nye bunter testet tørt.

Nå vil fibre i sitt normale liv i ei notlin bli utsatt for andre degraderingsfaktorer i tillegg som kan ha større effekt. Andre faktorer som f.eks. UV, kjemikalier, abrasjon etc. er nok viktigere og i disse prosessene kan vann virke forsterkende.

#### 4 Konklusjon

- Eksponering av PA 6 fibre i kokende vann har vist at over 90% av den permanente krympen tas ut etter ca. 1 time. Koking ut over dette fører til tap av vekt av fibre og langvarig koking har vist seg å føre til endring i mikrostruktur (viskositet – midlere molekylvekt) av fibre, mest trolig grunnet oksydering.
- Det er lite sannsynlig at vann i samspill med normal operasjonstemperatur vil føre til forringelse av betydning for PA6-fibrenes mekaniske egenskaper i et notlin (som følge av oksydasjon og hydrolyse), men mer omfattende aldringstester må til for å bekrefte dette. Andre faktorer som f.eks. UV, kjemikalier, abrasjon etc. er nok viktigere og i disse prosessene kan vann virke forsterkende.

---

<sup>1</sup> P.-Y- Le Gac, P. Davies and D. Choqueuse, *Evaluation of long term behaviour of polymers for Offshore Oil and Gas applications*, Oil and Gas Science Technology – Rev. IFP Energies Nouvelles, Vol 70 (2015), No. 2, pp. 279-289



## Vedlegg 4: Siging av tråd i notlin og slitasje

Forfattet av Rune H. Gaarder. Sist revidert 2018-10-08

### 1 Bakgrunn

Undersøkelser av brukt notlin har i noen tilfeller vist å ha en spesiell form for "vertikal gnagslitasje" ved at stolpene i vertikalretningen i notlinet har vært slitt og delvis "loete". Mikroskopi av stolpene viser ikke bare slitte fibre og fiberbrudd, men også deformerte fibre. I arbeidet som er gjennomført nedenfor er det forsøkt å finne ut om dette kan skyldes en kombinasjon av høy strekkspenning i notlinet i vertikalretningen og kontaktslitasje.

Alle tester er utført med en tråd av PA 6 for produksjon av notlin. Materialet er av typen "A" og er tidligere blitt testet på forskjellige måter i prosjektet, bl.a. er det foretatt strekktesting av enkeltfibre av dette materialet og det er også foretatt en måling av viskositeten til en løsning av polymeren i m-cresol – et egnet løsemiddel for polyamid.

### 2 Siging av fiberbunt

Nytt notlin med ukjent fiberprodusent ble klippet opp slik at belastningen gikk langs en rekke med stolper og knuter. Den ene halvdel av prøven er vist i figur 1. Prøven ble belastet med en konstant last (lodd) på 170 N i ei uke ved romtemperatur, det vil si 22 – 23°C. Fiberbunten var pakket inn i vått papir med flere lag med aluminiumsfolie på utsiden. Vann ble jevnlig tilsatt på toppen for å holde bunten konstant fuktig. I og med at bruddstyrken er ukjent er det vanskelig å si hvor høy denne belastningen er, men med en antatt maskestykke i området 100 – 120 kg tilsvarer sigelasten ca. 28 – 34% av bruddlast.

Ved testens slutt, og fortsatt under belastning, ble et fint smergelpapir med korning 500 festet til ei lang skinne og gnidd forsiktig langs prøven. Kontakten var på trådens side hvor knutene bygger mer enn stolpene (vrang side). Dette førte i all hovedsak til kontakt med knutene og slitasje på disse. I tillegg ble slipepapiret ført forsiktig mot en stolpe og dette resulterte umiddelbart i en del fiberbrudd og et plutselig brudd i stolpen. Antallet fibre som røyk som følge av kontakten med slipepapiret var relativt lavt. Viktigere var at andre høyt belastede fibre begynte å ryke omtrent samtidig, noe som førte til det plutselige bruddet.

Etter bruddet ble deler av en stolpe klippet ut og undersøkt i sveipeelektronmikroskop (SEM) for å se om fibre hadde blitt varig deformert under den én uke lange belastningen.



**Figur 1:** Halvdel av prøve benyttet i sigetesting av en tråd i notlinet



### 3 SEM-undersøkelse av stolpe

Som sagt ble en del av stolpen hvor bruddet hadde inntruffet undersøkt i SEM. Denne gangen ble ikke fibre belagt med karbon- eller gull. Dette kan man gjøre i en SEM som opererer ved lavt vakuum og lav styrke på elektronstrålen. Overflatene vil da ikke belegges, men oppløsningen ved høye forstørrelser vil reduseres.

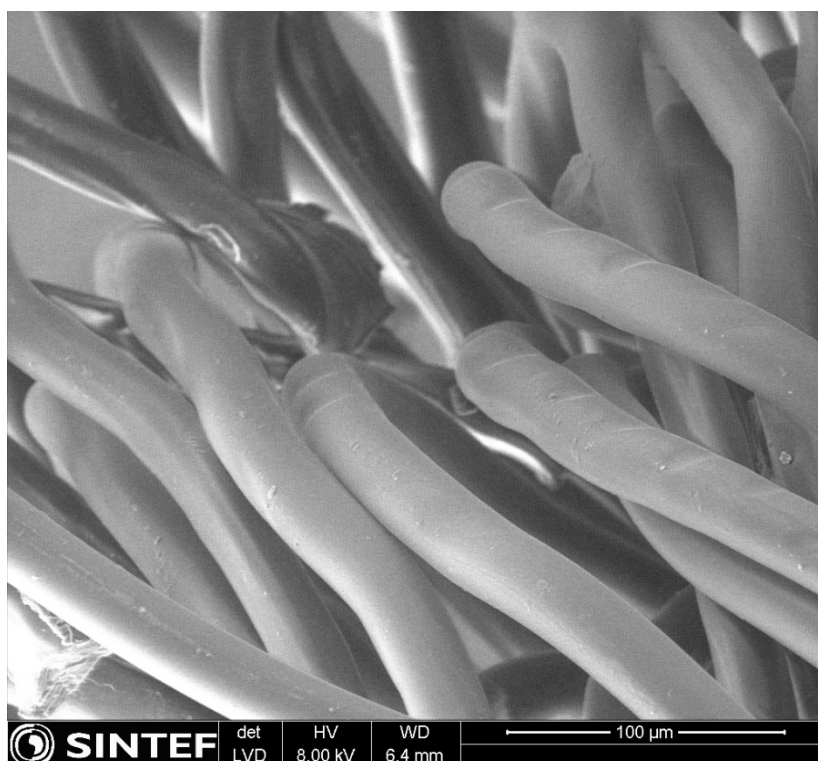
Vi var på jakt etter å se om vi kunne se deformerte fibre som følge av den langvarige belastningen. Figur 2 og 3 viser bilder av en del fibre. Det fremkommer tydelig at fibre er preget av belastningen. De har variabelt tverrsnitt, klare merker av kryssende fibre og knekker.

Figur 4 viser et klart tilfelle hvor fiberen er så høy presset på tvers at den er blitt til noe som likner på "båndspagetti". De hvite langsgående strekene på siden av noen av fibre skyldes oppladningseffekter i SEM'en og er ikke reelle observasjoner.

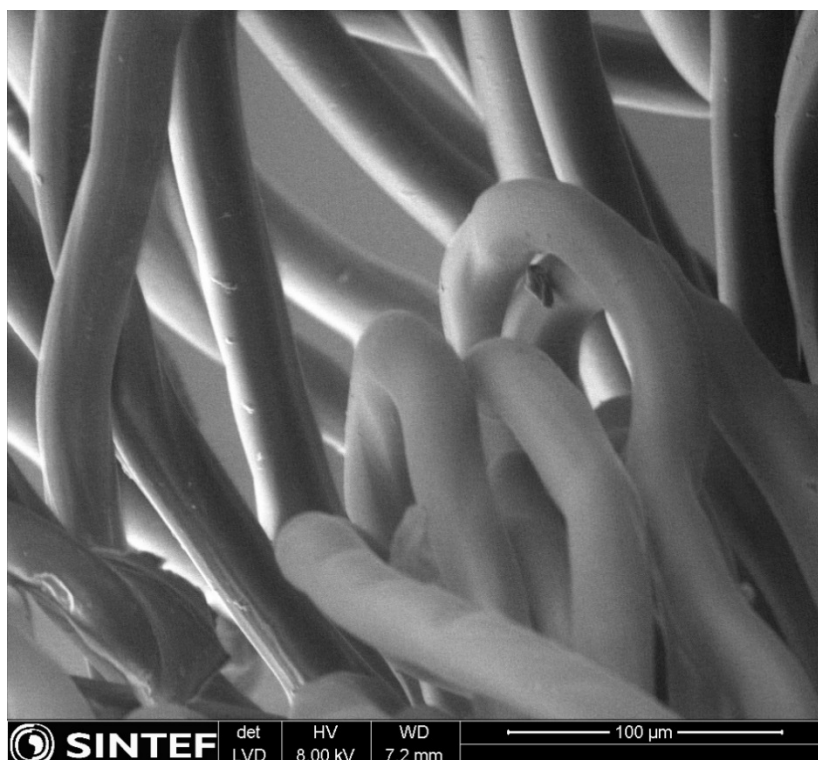
Figur 5 viser typiske overflater på noen av fibre og vi ser at disse er relativt like det vi har sett tidligere med pådamping av gull forut for undersøkelsen.

Denne undersøkelsen har vist at stolpene er meget sårbare for abrasjon når de står under moderat til høy strekkpåkjenning. Den har også vist at langvarig belastning fører til deformasjoner i fibre og at dette igjen kan føre til en ubalanse i hvordan de individuelle fibre og trådene bærer last. Hypotesen er at hvis man ved f.eks. abrasjon river av en del av de som bærer mest, så vil lasten de opptok måtte bæres av de resterende fibre. Hvis disse er ulikt strekt eller forspent, så vil de som er mest strukket bære mest. Overbelastes disse, dvs. de ryker, så vil lasten igjen måtte overføres til andre, og slik fortsetter det til bunten ryker tvers av grunnet overbelastning. Husk at lasten er konstant og jo færre fibre det er igjen jo høyere blir belastningen på dem.

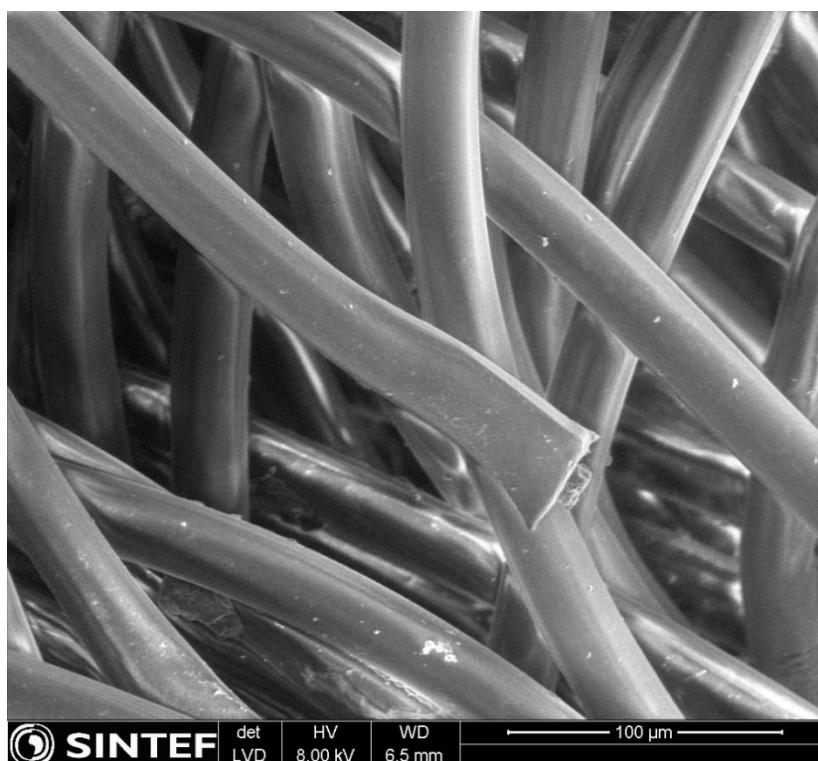
Dette betyr at slitasje fra tau, kjetting, vaskeutstyr etc. på notlin som av en eller uheldig grunn bærer last i vertikalretningen kan gi skader. Nylon, som er meget resistent mot abrasjon og har høy styrke, kan i dette tilfellet, grunnet sitt format (les: tynne fibre) og struktur (notlin – stolpe), faktisk vise seg å være et ganske sårbart materiale.



**Figur 2:** *Bilde av fibre fra stolpe utsatt for en sigelast på ca. 30% av bruddlast i ei uke i romtemperatur i fuktig tilstand*

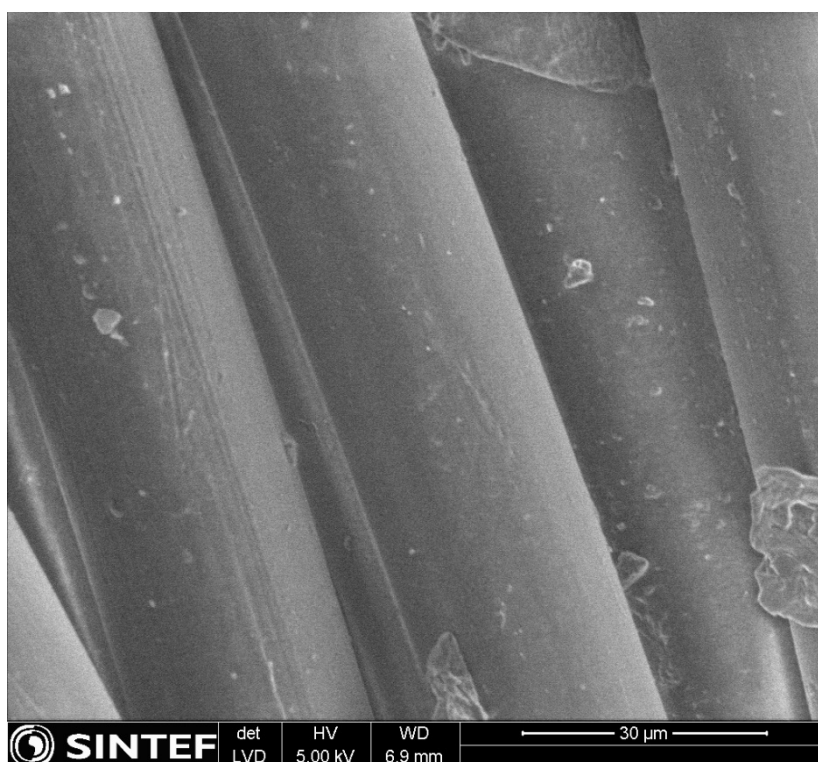


**Figur 3:** *Krøkte og deformerte fibre som følge av siging*



**Figur 4:**

*Brudd i fiber grunnet overbelastning etter siging og forsiktig sliping av stolpe*



**Figur 5:**

*Typiske overflater på PA6 fibre fra stolpe utsatt for siging (ikke pådampet gull eller karbon – noe som er ganske vanlig for å lede bort oppladning fra elektronstrålen)*

#### **4 Konklusjon**

På bakgrunn av arbeidet rapportert her kan vi slå fast at:

- Polyamidfibre deformeres, ikke bare i lengderetningen, ved en langvarig og konstant strekkbelastning. Dette skyldes i hovedsak belastninger som oppstår i den komplekse strukturen fibre er satt sammen til
- Stolper i et notlin er sårbare for abrasjon når de står under betydelig strekk og brudd kan inntreffe selv etter tap av et relativt lite antall monofilamenter

## Vedlegg 5: Inspeksjon av not med skader fra høytrykksspyling

Forfattet av Heidi Moe Føre

### 1 Bakgrunn

I begynnelsen av 2017 ble SINTEF satt i kontakt med en service-stasjon som hadde fått inn en not som oppdretter mente hadde omfattende skader fra høytrykksspyling. Nota ble inspisert av SINTEF og ansatte ved servicestasjonen med formål å dokumentere skader fra høytrykksspyling.

Den aktuelle nota var produsert våren 2014 og hadde ifølge oppdretter vært i drift i én periode. Det var ei smoltnot som var levert inn til servicestasjonen på sensommeren i 2016. Nota hadde tydeligvis vært bøtt, så det er mulig at den har vært på service også tidligere. Nota hadde skrå sider og bunntau på 29 m dyp. Ved bunntauet var det lagt inn en notlinbunn med krysstau og opplegg for dødfisk-pumpe i senter. Nedenfor denne bunnen var det en "falsk-bunn" med en dybde på 7 m, med funksjon å danne festepunkt for sentralt bunnlodd (Figur 1). Nota over bunntauet var sydd slik at annethvert sidetau fulgte stolperett på notlinet, mens ved de øvrige sidetauene var notlinet skrånkjært og sydd sammen, og denne sømmen var så sydd fast i sidetau.

Notlinet var fremstilt med tråd nummer 24 med krav til minste bruddstyrke på 95 kg. Standard styrketester av nota som gjennomføres i forbindelse med service, viste at styrken til notlinet i gjennomsnitt var mellom 88 % og 96 % av minstekrav til bruddstyrke til ny not. Nota hadde betydelige rester av impregnering, noe som kan bidra til å redusere styrken til notlin (vanlig med 10-15 % reduksjon i styrke for nyimpregnert not). Den opprinnelige styrken til notlinet vil kunne gjenvinnes, helt eller delvis, når impregnering slites av notlinet i drift. Det generelle inntrykket av nota var at den bar lite eller ingen tegn på slitasje og andre skader som for eksempel maskebrudd.

Ved nærmere inspeksjon av notlin i nærheten av sidetau, ble det avdekket flere områder med slitasje på notlin (se Figur 2 til Figur 14). Slitasje ble funnet på begge sider av notlinet (innsiden og utsiden av nota) i områder der notlin har direkte kontakt med sidetau. Det ble også observert at notlinet raknet noen steder (Figur 5). Notlinet var festet til tau på vanlig måte ved at en notlin-søm eller en maske i notlinet ble lagt inntil tauet og sydd fast med maskin. Notlinet på den ene siden av sømmen blir da liggende inntil tauet, og det er i dette området vi finner slitasje på notlinet.

Det ble utført noen få styrketester av masker med tydelig slitasje, tilsvarende Figur 2 og Figur 3, og disse avdekket som forventet en betydelig reduksjon i styrke. Styrken ble målt til å ligge mellom 50 og 60 kg, noe som tilsvarer 53-63 % av opprinnelig bruddstyrke. Et stykke unna disse områdene, ble styrken målt til ca 90 kg.

Det ble også gjennomført styrketester i et område med notlin som har vært i kontakt med sidetau, men som ikke viste tegn til slitasje (ikke synlig for det blotte øyet). Her ble det gjennomført ti tester, og til sammenligning ble det tatt ytterligere ti tester et stykke til siden for tauet. Notlinet som har ligget inntil sidetauet hadde i gjennomsnitt 8 % lavere styrke enn notlinet lengre unna.

Det er tydelig fra denne inspeksjonen at notlin som blir liggende inntil sidetau kan være utsatt for slitasje. Selv om slitasjen ikke er synlig ved første øyekast, kan notlinet ha redusert styrke. Notlin med synlig slitasje må man regne med at har en betydelig reduksjon i styrke, og slike områder av notlinet bør bøtes eller erstattes med nytt notlin. Slike områder kan være lette å overse, da tråden nødvendigvis ikke har forandret tykkelse eller utseende som oppdages umiddelbart. En tilsynelatende beskjeden slitasje kan gi betydelig reduksjon i styrke.



Oppdretter forklarer utbredt slitasje langs sidetau på denne nota med hyppig høytrykksspyling, og det kan være en rimelig forklaring. Det ble observert slitasje på begge sider av notlinet, og skaden kan ha oppstått som konsekvens av at notlinet har havnet i klem mellom sidetau og vaskeutstyr i bevegelse. Både rotasjon av skiver og bevegelse av vaskeutstyr langs nota kan ha ført til at notlinet har blitt påført slitasje fra tau og vaskeutstyr. Det er trolig at områder ved tau med tung nedlodning, og områder med stramt notlin er spesielt utsatt for slitasjeskader. Strekk i tau fra tung nedlodning kan bidra til økt kontaktmellom vaskeutstyr, notlin og tau, og dermed økt slitasje. Notlin i strekk er sårbart for kontaktslitasje (Vedlegg 4).

## 2 Skader på Nylon-filament fra høytrykksspyling

Figur 10 viser Nylon-filamentene i notlinet sett gjennom et elektronmikroskop. Det er tydelig at fibre er deformert, har slitasjeskader og det observeres brudd med ulikt utseende. Vi har tidligere utført sigeforsøk der notlin har blitt belastet over tid. Det ble da observert at fibre ble deformert fordi de ble klemt mot hverandre, og lignende deformasjoner er observert på disse fibre i områder med skader fra spyling. Det kan tyde på at notlinet i dette området har vært relativt stramt over lengre tid, noe vi også har erfart at vil gjøre notlinet spesielt sårbart for kontaktslitasje (Vedlegg 4).

Fibre er flere steder flatklemt og har en ru overflate som kan skyldes slitasje mot et relativt glatt legeme, og det er mulig at denne skaden skyldes at en roterende, glatt spyleskive har blitt klemt mot notlinet.

Videre observeres det to typer brudd: Noen rene brudd som tilsvarer det man typisk ser når man skjærer i notlin med en annen skarp gjenstand, mens andre brudd er mer "rufsete". Dette sammenfaller med funn etter slitasjeforsøk med finkornet pussepapir, hvor vi ser at bruddene er rene der pussepapiret treffer notlinet og rufsete der kontakten mellom papir og notlin opphører.

## 3 Andre observasjoner, inkludert flekker med sinkoksid

Inspeksjon av not avdekket også betydelig slitasje fra dødfiskpumpe (innenfor dobbelt notlin, Figur 14), og områder med et hvitt belegg (Figur 15). Det ble målt betydelig reduksjon i styrke i ett av disse områdene med hvitt belegg (maskestyrke på 55 og 65 kg).

Det hvite belegget er blitt identifisert som sinkoksid (vha elementanalyse), dvs oksidert sink, og er trolig et resultat av kontakt mellom not med desinfiseringsmiddel og sink på innsiden av galvanisert stålkontainer. Vi har også tidligere sett at desinfiseringsmidler som inneholder pereddiksyre (Aqua Des, Perfectoxid, Addi Aqua m.fl.) kan reagere med kobber i impregneringsrester, og ved høye konsentrasjoner av desinfiseringsvæske kan dette føre til at styrken til notlin reduseres (Vedlegg 6). Det er grunn til å tro at de observerte hvite flekkene skyldes at det dannes sinkoksid-krystaller. Disse kan skade notlinet når det strekkes, dras over et gulv, eller kommer i kontakt med andre objekter. Sinkoksid løser seg ikke opp i vann, så dette kan være en utfordring også når nota er i drift. Det er ikke undersøkt hva som skjer med notlin med sinkoksid når nota blir impregnert og satt i sjøen, om sinkoksid-krystallene vil forsvinne eller kunne gi en varig reduksjon i styrke.

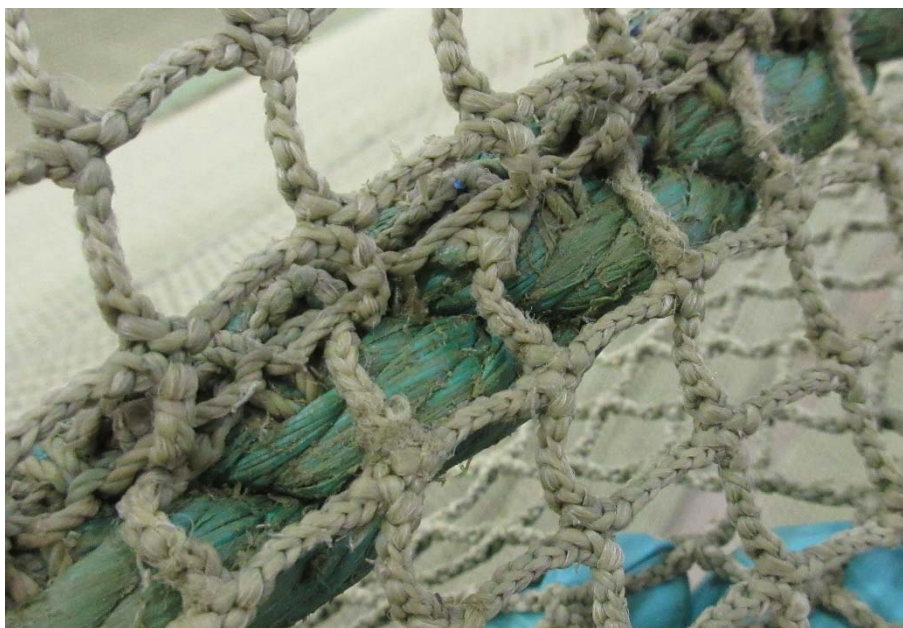


**Figur 1: Not hengt opp for inspeksjon. Bildet viser fra venstre "falskbunn", bunntau og bunnpanel og notsiden med sidetau til høyre.**



**Figur 2: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (innsiden av not).**





**Figur 3: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (innsiden av not).**



**Figur 4: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (innsiden av not).**

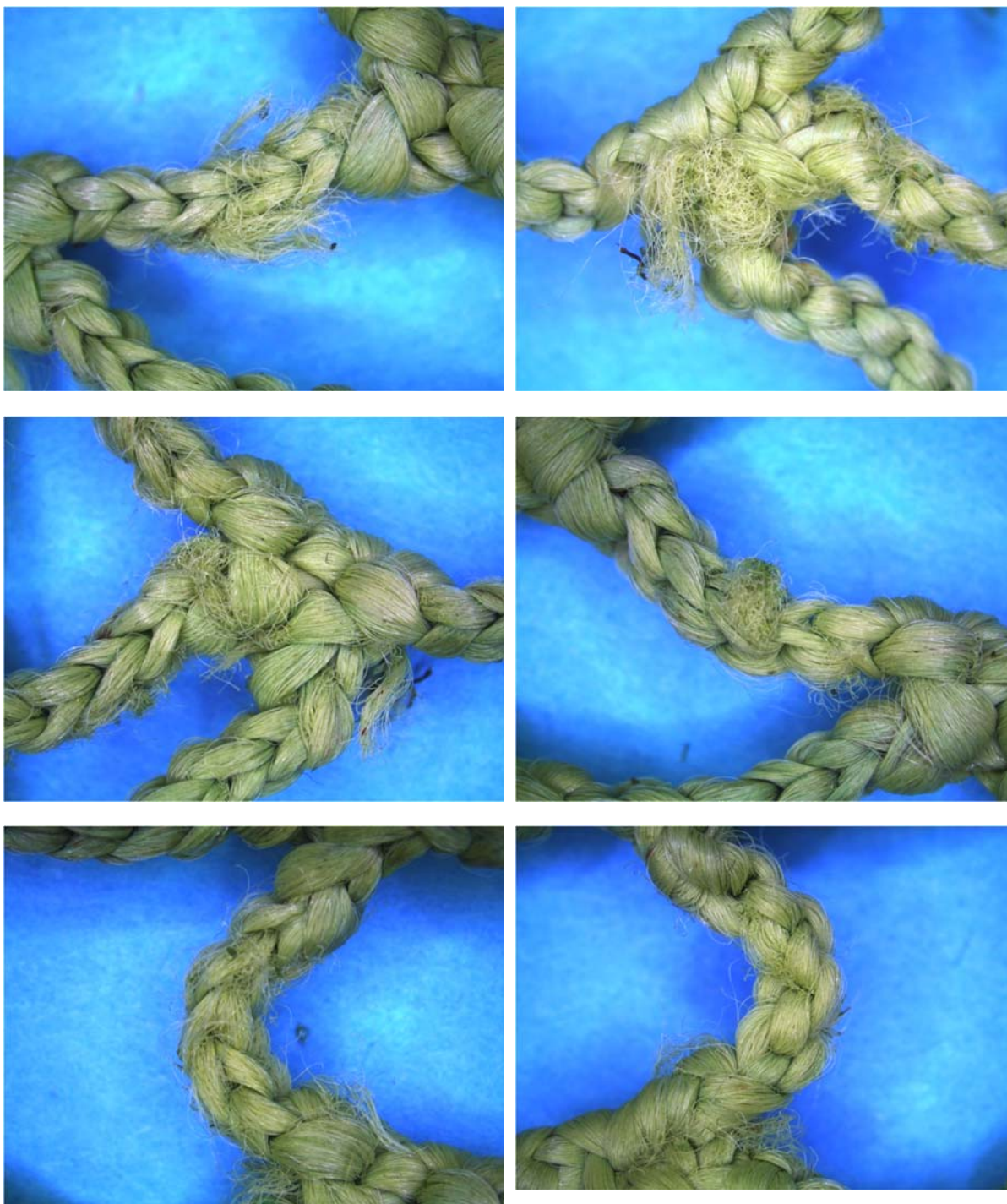


**Figur 5: Rakning**



**Figur 6: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (innsiden av not).**





**Figur 7: Slitasje på notlin fra Figur 6. Fra øverst til venstre: Bilde 1, 3, 4 og 5 er fra utsiden av nota, dvs der notlinet er i kontakt med sidetau. Bilde 2 og 6 er fra innsiden av nota, dvs der notlinet er i kontakt med vaskeutstyr.**

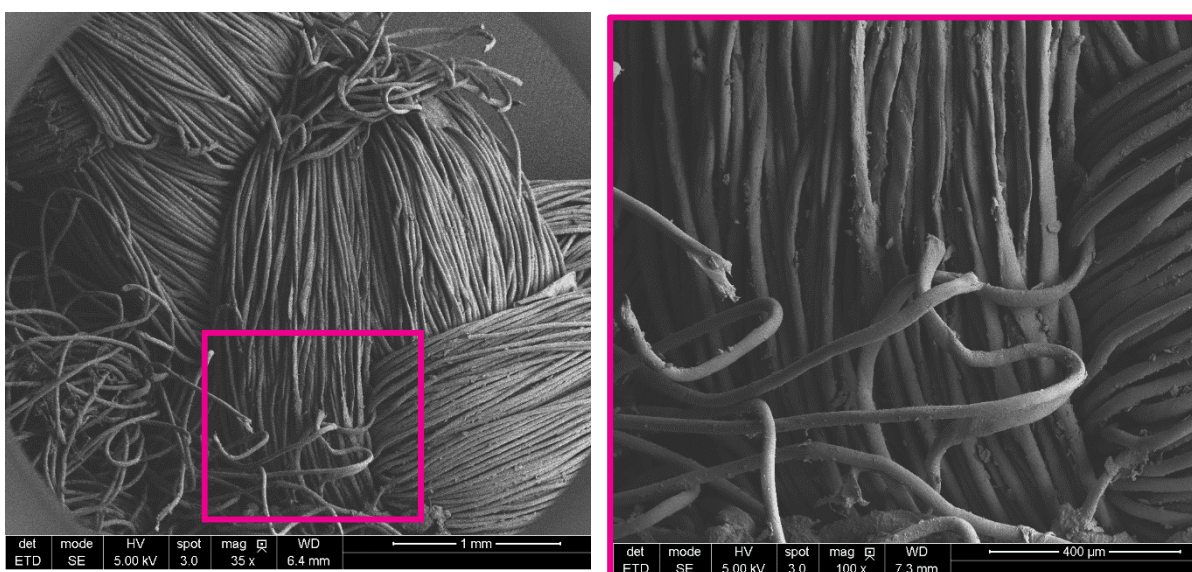




**Figur 8: Slitasje på notlin i Figur 6 (side i kontakt med vaskeutstyr).**



**Figur 9: Fibrene ser ut til å bli klemt og bøyd, og deformeres betydelig.**



**Figur 10: Notlin med slitasjeskader (Figur 8) studert i elektronmikroskop.**



**Figur 11: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (utsiden av not). Tauet er vridd nedover for å vise notlinet.**

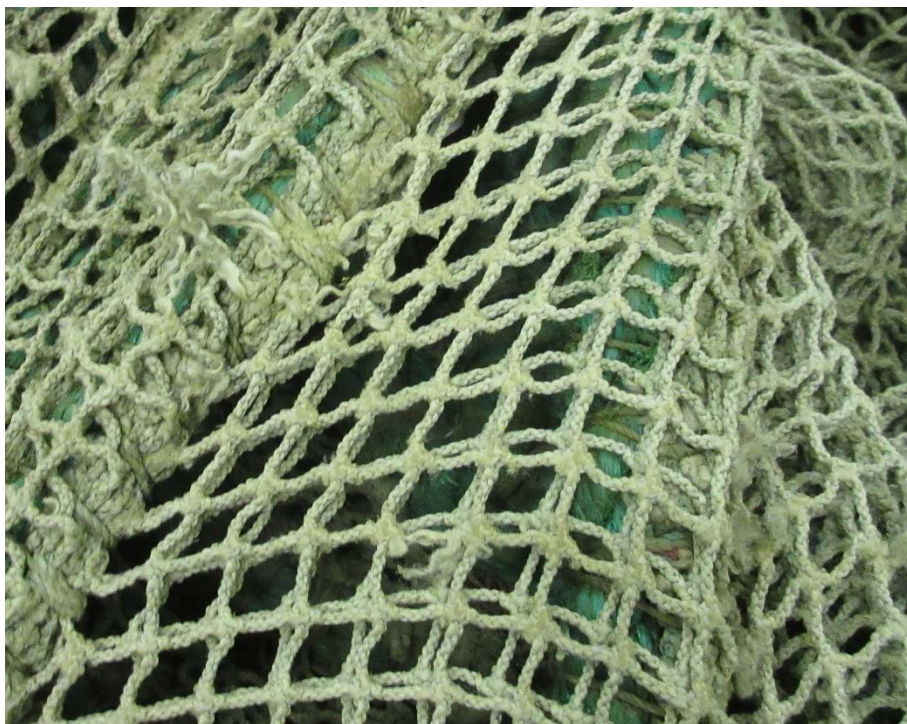


**Figur 12: Slitasje på notlin i kontakt med sidetau (utsiden av not). Tauet er vridd nedover for å vise notlinet.**

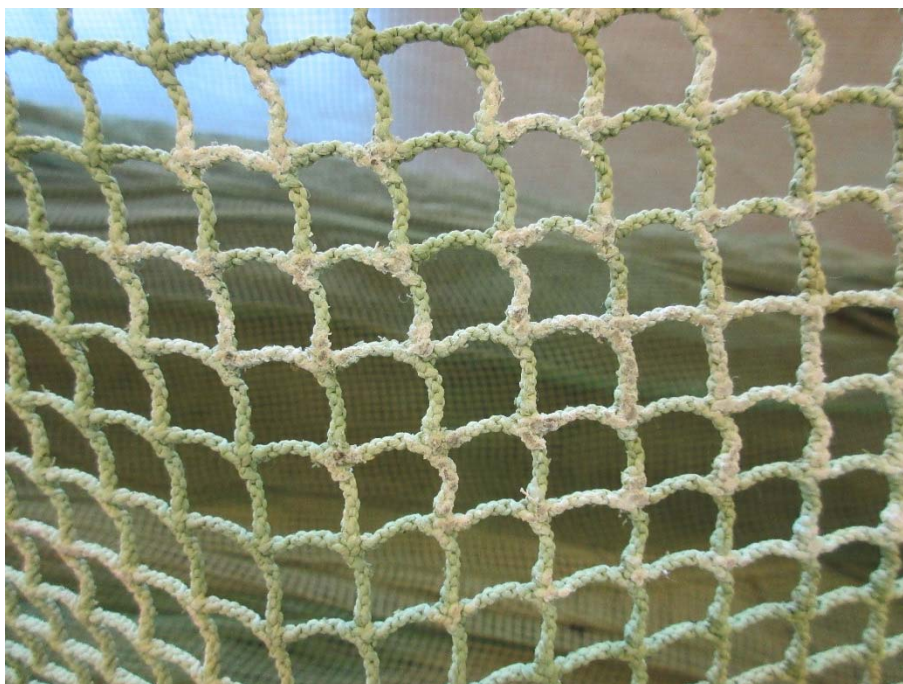




**Figur 13: Notlin som ikke er i kontakt med sidetau (utsiden av not).**



**Figur 14: Slitasje ved plassering av dødfiskepumpe.**



**Figur 15: Område med hvitt belegg.**

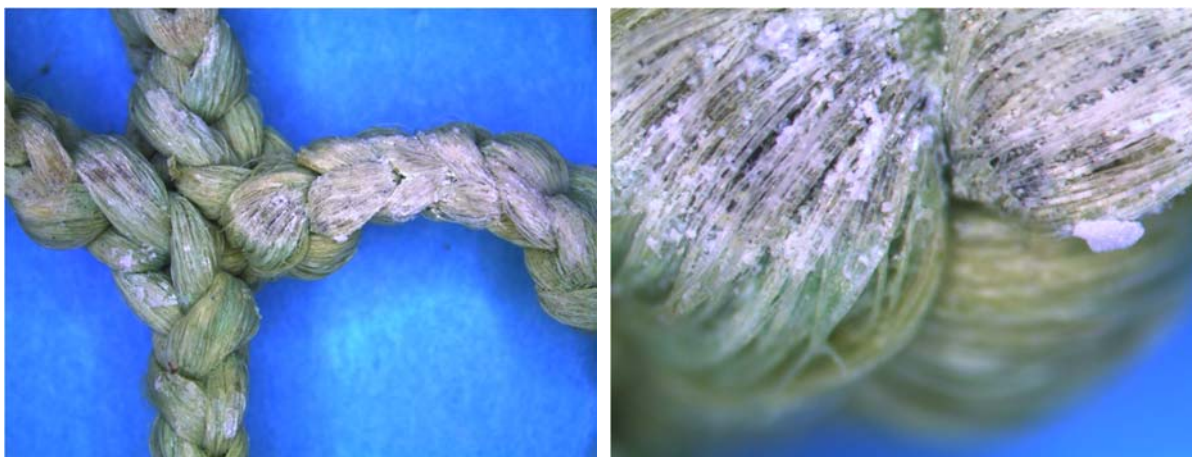


**Figur 16: Notlin med og uten hvitt belegg.**

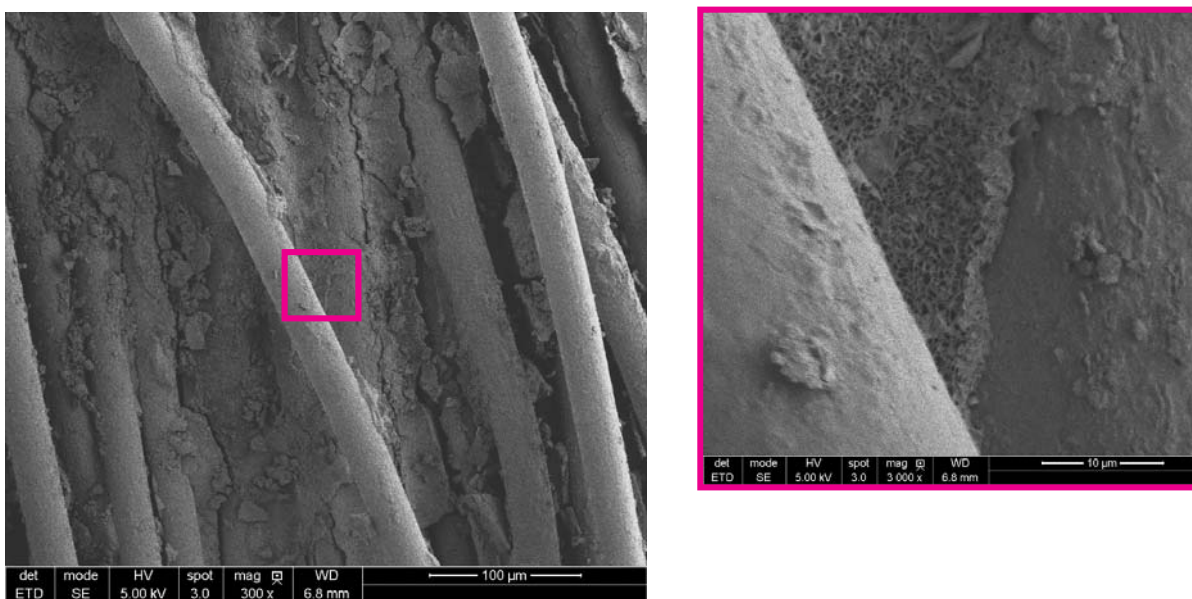




Figur 17: Hvitt belegg.



Figur 18: Hvitt belegg på notlin.



Figur 19: Bilder av notlin med sinkoksid studert med elektronmikroskop.



## **Vedlegg 6: Strekkstyrke til nylon notlin utsatt for forskjellige konsentrasjoner av desinfiseringskjemikalier**

### **Eng: Tensile strength of nylon netting subjected to various concentrations of disinfecting chemicals**

Dette arbeidet har blitt publisert i forbindelse med konferansen OMAE 2017 (Proceedings of the ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2017), og i Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering:

Moe Føre, H., Dahle, S.W., Gaarder, R.H. (2017). *Tensile strength of nylon netting subjected to various concentrations of disinfecting chemicals*. OMAE2017, Trondheim, Norway.

Moe Føre, H., Dahle, S.W., Gaarder, R.H. (2018). *Tensile strength of nylon netting subjected to various concentrations of disinfecting chemicals*. J. Offshore Mech. Arct. Eng, doi: 10.1115/1.4040562.

#### **ABSTRACT**

This paper presents a study of traditional netting materials subjected to disinfecting chemicals during fish farming and treatment of net cages. A series of tests were performed in order to study the effect of various concentrations of disinfecting chemicals on the tensile strength of Raschel knitted Nylon netting materials.

Simulated spill of diluted hydrogen peroxide to the jump fence during de-lousing did not affect the strength of the applied new and used knotless nylon netting samples. Hydrogen peroxide reacted with biofouling forming gas bubbles, but this did not result in reduced netting strength.

The performed tests did not indicate any effect on netting strength from a simulated single, traditional bath disinfection as performed at service stations applying the disinfectant Aqua Des containing peracetic acid. However, increasing the Aqua Des concentration from 1 to 10 % resulted in a strength reduction of 3-6 %. Simulated spill of concentrated Aqua Des on the jump fence of a net with copper coating residuals resulted in a severe reduction in strength of 45 %. This strength loss was probably a consequence of chemical reaction between copper and Aqua Des, and uncoated netting did not experience any loss in strength subjected to the same chemical exposure. These findings from application of Aqua Des should also apply to other peracetic acid disinfection chemicals with trade names as for example Perfectoxid and Addi Aqua.

#### **INTRODUCTION**

Control of parasites and diseases is one of the greatest, if not the greatest, challenge in industrialized fish farming worldwide. Consequently, disinfecting chemicals are applied regularly to remove parasites from fish and to prevent spreading of virus and bacteria between farms.

Net cages for aquaculture are subjected to chemicals for disinfection both indirectly during parasite control, typically de-lousing of fish and removal of amoeba causing AGD (Amoebic gill disease), and through disinfection of net cages at service stations before repairs and recertification. These chemicals contain substances such as hydrogen peroxide and peracetic acid, which may degrade polyamide resulting in reduced strength and elasticity [1][2]. Polyamide 6 (PA6) is a common material in net cages for aquaculture, and in Norway most nets are made of this. There has been a couple of reported incidents with net damage due to spills of disinfecting chemicals in the jump fence [3], i.e. above the water surface. The industry seeks more knowledge about the possibility that disinfecting chemicals may damage or degrade the nets.

The use of hydrogen peroxide in the aquaculture industry has increased in previous years. According to the Norwegian trade magazine Intrafish, 30.000 tons active substance was applied in de-lousing of cultured fish during 2014, four times as much as in 2013 [4]. During in-cage de-lousing, the net cage volume is reduced and a tarpaulin is applied enclosing the net volume. Hydrogen peroxide is supplied to the net volume through perforated hoses until a concentration of approximately 0.2 % (2000 ppm) is achieved. The recommended treatment duration is

approximately 20 minutes after ended application of hydrogen peroxide, but may in practice be longer [5]. Hydrogen peroxide for use in fish farming is supplied at a concentration of 49,5 %. For HSE reasons, it is often diluted with seawater down to a concentration of 15 % in a closed tank before it is applied to the fish cage.

Disinfection of nets at service stations involves submerging the nets in a bath consisting of disinfecting chemicals diluted by seawater. Either the net is submerged in a disinfecting bath, or chemicals are added to the washing machine. Peracetic acid is a commonly applied disinfecting chemical, with trade names as Aqua Des, Perfectoxid and Addi Aqua. Aqua Des is normally applied in a concentration of 0.5 % (dilution rate of 1:200, [7]), sometimes slightly higher to account for negative disinfection effects due to bio-fouling remains (dilution rate of 1:125, [7]). The treatment duration is from 30-40 minutes for a standard net to 60 minutes for nets previously containing fish with viral disease. After the disinfection, some service stations will rinse the net with seawater, while others do not.

Peracetic acid (PAA) is the peroxide of acetic acid (AA) and is a strong oxidant and disinfectant. Aqua Des and other commercial PAA products contains a quaternary equilibrium mixture containing AA, hydrogen peroxide (HP), PAA and water. HP will contribute to the disinfection properties of the PAA mixture, however PAA is a more potent antimicrobial agent than HP, and HP require much larger doses than PAA for the same level of disinfection. When peracetic acid dissolves in water, it disintegrates to hydrogen peroxide and acetic acid, which finally will result in the formation of water, oxygen and carbon dioxide [6]. PAA has a half-life in seawater of 4-6 hours at concentrations of 100 – 300 mg/l, corresponding to Aqua Des dilution rate between 1:500 and 1:167, and less for lower concentrations. In concentrated form, Aqua Des has a pH less than 1 [7].

PAA may be consumed in an aqueous solution through three reactions: spontaneous decomposition, hydrolysis and transition-metal-catalyzed decomposition [6]. Copper is regarded a transition-metal and may accelerate decomposition of PAA.

Both hydrogen peroxide and Aqua Des disinfect through release of active oxygen, which will oxidize and damage organic materials and metals. Peroxides are in general thermodynamic instable, and the chemical reaction may be instable, involving a risk of ignition and fire [6].

There is not much available literature concerning chemical damage or degradation of polyamides exposed to hydrogen peroxide and peracetic acid. It is established that sterilization of polyamides using hydrogen peroxide plasma may have noticeable effect on long-term stability of conventional PA 6 [8]. A study of possible effects of diluted hydrogen peroxide vapor disinfection of transportation systems, resulted in less than 10 % loss of strength of a Nylon textile subjected to 35 % hydrogen peroxide [9]. According to technical data, Nylon has a limited resistance towards diluted hydrogen peroxide and acetic acid [1][2]. In addition, acetic acid and PAA may cause metal corrosion (including copper) at very low concentrations [6][11], indicating that copper particles from anti-fouling coating residuals may be involved in chemical reactions with disinfecting chemicals. Both organic materials and heavy metal ions, for instance of copper, will accelerate decomposition of PAA and HP.

As previously described, disinfecting chemicals are applied in closed volumes with seawater until the requested treatment concentration is achieved, which is typically below 1 %. However, the chemicals are delivered at significantly higher concentrations, and it is important to investigate whether higher concentrations, spills and application of concentrated chemicals may damage the net. Possible effects of biofouling and copper particles are also of interest: Fish farmers report that hydrogen peroxide will react with biofouling during de-lousing, resulting in the formation of gas-bubbles, and are concerned that this may affect the strength of netting. Copper is often present at nets through application of anti-fouling coatings, and it is important to investigate whether copper may accelerate chemical reactions involving hydrogen peroxide and/or peracetic acid.

This paper presents a study of traditional netting materials subjected to disinfecting chemicals during fish farming and treatment of net cages. A series of tests were performed in order to study the effect of various concentrations of disinfecting chemicals on the tensile strength of Nylon netting materials. The study included traditional Raschel knitted Nylon netting, with and without bio-fouling and copper coating residuals, and disinfecting chemicals containing hydrogen peroxide and peracetic acid.

## MATERIALS AND METHODS

The disinfecting chemicals hydrogen peroxide (from Akso Nobel, Sweden) and Aqua Des (from Aqua Pharma, Norway) were applied to netting samples with different concentrations and exposure time. Three different netting materials were applied in these tests as described by mesh size and strength in Table 1. All netting materials were traditional Raschel knitted PA6 multifilament netting, so-called knotless netting. Pictures are given in annex A (**Figure A-1**). Netting N1 was unused and without coating. N1\_bf was samples of netting N1 submerged at a Norwegian fish farm for 6 months (April-Sep), accumulating bio-fouling consisting of mainly Hydroids in addition to smaller amounts of moss animals, mussels, snails and barnacles. During the 6 month field trial the mesh size of the netting was reduced by approximately 10 %. Netting sample N2 had been applied in fish production two times, each time for a period of approximately 10 months. The net was treated with anti-fouling coating containing copper

prior to each production period, in total two times. It had been at a service station after each of the production periods. At service, the net was washed in a net washing machine and treated with disinfecting chemicals.

**Table 1: Netting materials applied in chemical exposure tests.**

Netting material (used/original)	Mesh size	Mesh strength	History
	[mm]	[kg]	
N1	- / 30	- / 82	New, unused netting
N1_bf	27 / 30	70 / 82	N1 with fouling. Uncoated netting immersed at a fish farm for 6 months.
N2	38* / 42	88, 97** / 136	Used two times for approx. 10 months. Residuals of anti-fouling coating.

\* Estimated as two times mesh side

\*\* Two different net samples were applied

The applied hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) was of the same type as used during de-lousing at fish farms, and was supplied at a concentration of 49.5 %. Aqua Des in concentrated form consists of 20-25 % hydrogen peroxide, 5-10 % peracetic acid and 10-15 % acetic acid. Both chemicals contained stabilizers to prevent unwanted reactions during storing and transport.

Each chemical exposure test included five dry net panels (room conditioned) of 7x7 meshes that were put into a 500 ml mix of filtrated seawater and chemicals. All tests were performed in room temperature varying from 18-21 degrees Celsius. After the chemical exposure, the net samples were dried for 24 hours before being rinsed in fresh water by letting them soak for 24 hours. For the experiments with high concentrations of chemicals, the water was changed at least once during the first hour.

The weight of five panels was approximately 27 and 60 grams in room atmosphere for netting N1 and N2 respectively, i.e. the chemical exposure tests involved 54-120 g netting per liter chemicals. In practice, the relationship between amount of netting and disinfection fluid will vary significantly depending on the size of the net and tank. Assuming a 4-ton net and a tank with 20 m<sup>3</sup> fluid, involves 200 g netting per liter, however this number may be both higher and lower. The applied relationships between amount of netting and fluid are considered to be within the lower parts of normal conditions, and thus a conservative condition.

A series of tests were performed, involving several combinations of the tree netting materials and different concentrations of the two applied chemicals. The different tests are presented in Table 2, where X marks a tested combination, and the following note indicates the period of time for which the netting samples were immersed in the given chemical concentration. The various concentrations were achieved by diluting with filtrated seawater.

First, uncoated netting with and without fouling (N1 and N1\_bf) were immersed in a fluid of 15 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, which is equal to the concentration of applied de-lousing chemical. The samples were left in the fluid for two hours to study the reaction. Next, spilling of high concentration chemicals to parts of the net above water was simulating by submerging netting samples for 5-10 seconds and letting them dry in air. This would allow for air (oxygen and carbon dioxide) to participate in chemical reactions, and resulting development of e.g. heat, oxidants and acids may be concentrated on the netting surface. Finally, disinfection of nets at service stations were simulated, both as a "worst case" normal disinfection and by applying high concentration of Aqua Des (peracetic acid). For the normal disinfection, netting was submerged in a solution of 1 % Aqua Des for 1 hour. In order to study the possible effect of higher concentrations of Aqua Des during disinfection, the same test was performed with a concentration of 10 % Aqua Des. The acidity of the fluid was measured during these tests using a digital pH-meter with an accuracy of +/- 0.2, calibrated at pH 4.0. The tests with 1 % and 10 % Aqua Des was repeated using samples from another part of N2 and 25 replicates.

The results from the chemical exposure tests were compared with reference samples not subjected to any chemical exposure tests.

**Table 2: Chemical exposure tests performed for the different netting materials (N1, N1\_bf and N2).**

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Aqua Des			
	15 %	30 %	1 %	10 %	50 %	100 %
N1	X <sup>1)</sup>	X <sup>2)</sup>			X <sup>2)</sup>	X <sup>2)</sup>
N1_bf	X <sup>1)</sup>	X <sup>2)</sup>				
N2	X <sup>2)</sup>		X <sup>3)</sup>	X <sup>3)</sup>		X <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 2 hours immersion, <sup>2)</sup> 5-10 seconds immersion, <sup>3)</sup> 1 hour immersion

The effect of chemical exposure was evaluated through tensile testing. The netting samples were wetted in tap water for 16-48 hours. Traditional mesh strength tests were performed [10], and changes in strength, dimensions and stiffness were assessed. All strength tests were performed with at least 20 replicates, and average values, standard deviation and 95% confidence interval were calculated for each test and reference samples. Statistical differences were investigated using ANOVA, assuming normal distribution, and applying a t-test and a significance level of 0.05.

SEM (Scanning Electron Microscope) was applied to study the surface of netting N2, including the reference sample and samples subjected to 15 % hydrogen peroxide or concentrated Aqua Des. Each SEM-sample consisted of a piece of a netting twine, which was coated in gold for improved conductivity.

## RESULTS

### Mesh strength

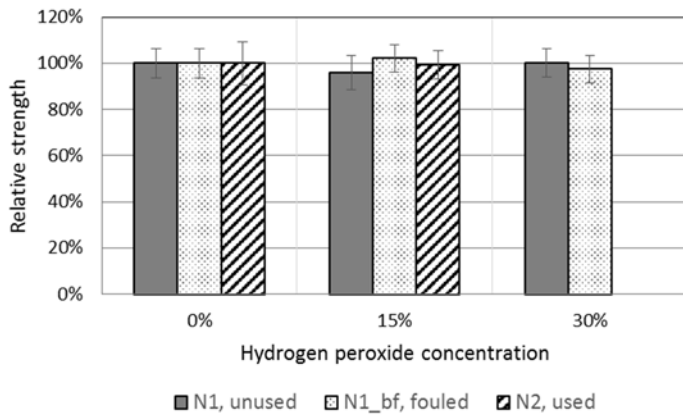
Figure 1 shows the strength of netting materials subjected to hydrogen peroxide relative to the average strength of the reference test. Assessing the confidence intervals of the different tests, indicate that there are no significant differences between the calculated average strength values. Thus, the tests performed in this work do not identify any effect on netting strength due to spill of 15-30% hydrogen peroxide.

Figure 2 shows the relative strength of netting materials subjected to Aqua Des. Assessing the confidence intervals of the different tests of unused netting, N1, indicate that there are no significant differences between the calculated average strength values. Thus, the tests performed in this work do not identify any effect on netting strength due to spill of 50-100% Aqua Des on unused netting without coating.

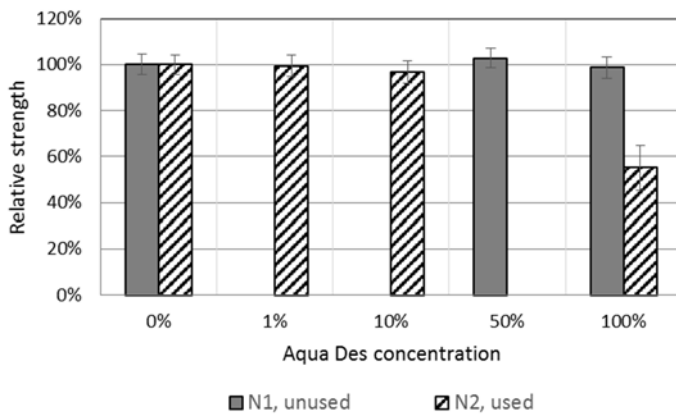
The "worst case" disinfection test involving 1 % AD had no effect on the strength, stiffness or color of used netting (N2). The panels subjected to the high concentration disinfection involving a fluid of 10 % Aqua Des, had an average strength 3 % lower than the reference tests, and the ANOVA test indicate that the reduction in strength was significant. The tests with 1 % and 10 % Aqua Des was repeated using samples from another part of N2 and 25 replicates. Mesh strength test resulted in a significant average strength reduction of 6 % after treatment with 10 % Aqua Des compared to treatment with 1 % Aqua Des. It is thus probable that a disinfection applying a relatively high concentration of 10 % Aqua Des will reduce the strength of netting with copper residuals by a few percentage. Used netting subjected to concentrated Aqua Des had a reduction in strength of 45 %.

### Dimensions and stiffness

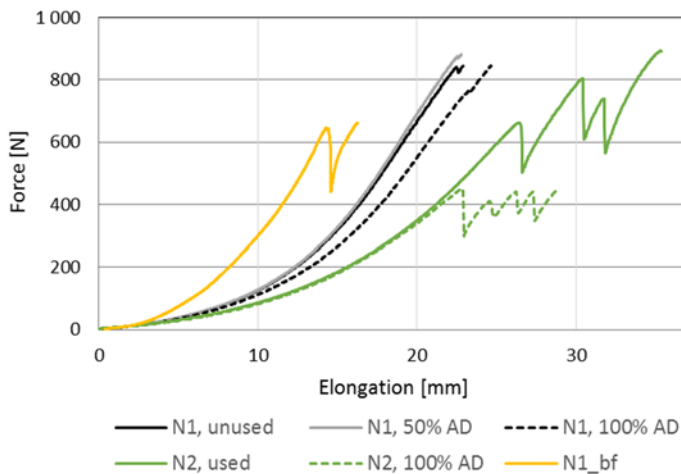
Figure 3 shows force-elongation curves for single tests, which represent the average of the full test series. The used netting experienced several drops in tensile force during the final stages of stretching before the ultimate force was reached. This is common in used netting and is due to local fractures in individual bundles of filaments prior to global fracture of the twine. Unused netting, N1, exposed to 100 % Aqua Des showed a reduction in mesh size of 2 mm and correspondingly increased elongation at break. Apart from this, no changes in dimensions or stiffness were observed for any of the netting samples after exposure to chemicals. This includes netting N2 subjected to concentrated Aqua Des, which in spite of the 45 % reduction in mesh strength showed no changes in dimensions or stiffness: The force-elongation curves from the mesh strength tests were similar to the reference sample up to the point where local fractures started to occur. Netting with biofouling, N1\_bf, had an initial mesh size that was 10 % smaller than the unused N1, and its stiffness (slope of force-elongation curve) was increased by approximately 50 %.



**Figure 1: Strength of netting subjected to diluted hydrogen peroxide relative to strength of reference test (0% hydrogen peroxide). Given in percentage as average value with standard deviation.**



**Figure 2: Strength of netting subjected to diluted and concentrated Aqua Des relative to strength of reference test (0% Aqua Des). Given in percentage as average value with standard deviation.**



**Figure 3: Representative force-elongation curves from mesh strength tests of unused (N1) and used (N2) netting. Results from reference tests, netting with biofouling (N1\_bf) and netting subjected to concentrated Aqua Des (AD) and fluid with 50% AD are given.**



## Observations

For all chemical exposure tests with 1 or 2 hours immersion, development of gas bubbles was observed. The formation of gas was most prominent for netting with biofouling and used netting in 10 % Aqua Des.

N1 had no effects of chemical exposure visible to the eye, i.e. no changes in color or shine. Hydrogen peroxide exposure had some visual effects on fouled netting; the panels with biofouling (N1\_bf) were bleached and a lot of the biofouling was removed (**Figure A-2**). Microscopy showed that parts of hydroids growing into the netting were still present (**Figure A-3**). The used netting, N2, obtained a brownish tint after the hydrogen peroxide exposure, while exposure to 100 % Aqua Des gave the netting a blue-green tint.

Temperature was measured during chemical exposure, and apart from N2 in 10 % Aqua Des (AD), the fluid temperature was constant. A gradual increase in temperature from 20.5 to 22.5 °C was observed for N2 in 10 % Aqua Des. Simultaneously, an increase in pH from 2.7 to 3.1 was measured. However, this is on level with the accuracy of the pH gauge, so no firm conclusions can be made. For the 1 % AD test, the temperature was 21 °C throughout the exposure time, and pH was measured to be 4.0 at the beginning and 4.1 at the end of the test. After the simulated bath disinfections (1 % and 10% Aqua Des), the fluid had a turquoise color.

For the high concentration chemical spill tests, i.e. test with 5-10 sec immersion duration (Table 2), temperature was not measured during immersion, but during drying in air. Except for used netting in 100 % AD, no change in temperature was observed. For N2 in 100 % AD, fume emission was observed during drying after chemical exposure. After a few seconds, the fuming ended and the temperature was measured as 60 °C. During the drying, the color of the netting changed from grey to a mixture of brown and turquoise spots. After 24 hours, the netting had regained its grey color with distinct turquoise areas (**Figure A-4**).

## DISCUSSION

The results from this work show no indications of reduced netting strength due to de-lousing operations with hydrogen peroxide (HP). No damage was observed after simulated spills of relatively highly concentrated HP, and bath disinfection at much lower concentrations should not have any immediate effect on netting quality. However, it cannot be disregarded that other net materials and coatings, and even higher concentrations of HP may lead to damages to the net cage. In particular due to spills from accidental or incorrect application of chemicals to parts of the net above the water surface.

It has been shown that hydrogen peroxide may oxidize fouling organisms on the net during de-lousing, resulting in formation of gas bubbles as observed by fish farmers. Effects of repeated exposure to H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> has not been studied, however the results from this study and other studies of used netting does not indicate that de-lousing with low concentrations (approximately 0.2 %) of hydrogen peroxide may damage the net. Further, test involving repeated and long-term exposure is required to make firm conclusions in this matter. The possible effect of amount of copper residuals in the net should also be investigated, as increased copper content may increase chemical damage.

These tests did not indicate any effect on netting strength from a simulated single, traditional net disinfection as performed at service stations. However, the application of disinfecting chemicals with peracetic acid, such as Aqua Des, Perfectoxid and Addi Aqua, should be performed with care. Concentrated Aqua Des may severely damage netting, and also diluted peracetic acid at relatively high concentrations may affect the strength of netting.

Based on the observed residual products of blue-green color and published investigations of copper corrosion by acetic acid [11], it is probable that Acetic acid in Aqua Des reacts with copper forming copper acetate. Copper acetate are crystalline solids that are soluble in water. Other, insoluble crystals containing copper, like cuprite, may also have been formed [11]. Using a light microscope, it was observed that parts of the netting fibers had acquired a turquoise color (**Figure A-5**). Nylon is known to absorb water and may absorb solved Copper acetate, which in practice may dye Nylon fibers though chemical bounds with the Polyamide polymers. This process may be facilitated by acetic acid.

The cause of the severe loss in strength of used netting subjected to peracetic acid was sought through application of SEM. This work involved a limited study applying SEM to single samples of netting twine (**Figure A-6**). The results indicate that surface damage can be found in some areas, while other areas appeared undamaged. In the same area as possible surface damage was observed, small particles were present, but the chemical composition of these particles was not identified.

It is considered probable that strength reduction was caused by damage to the fiber surface and/or crystalline reaction products. It is possible that both surface damage and crystalline particles will occur locally in areas with copper coating residuals. By visual inspection, most coating residuals seemed to be located in the knots. Local development of high temperatures due to an exothermic reaction between copper and Aqua Des may result in

damage of the fiber surface, making it brittle. Further, the brittle surface would form surface cracks, which may develop and propagate through the fiber during stretching, leading to premature failure and reduced mesh strength. Peracetic acid has the ability to degrade Nylon, affecting the bulk properties of the fibers. Since the stiffness of the netting has not been changed, global degradation of Nylon is probably not a major cause of reduction in strength for these short-term chemical exposure tests. Hard, sharp crystals within the netting structure may cut the fibers during stretching; forming notches that may facilitate crack propagation and premature tensile failure.

The tests were performed in room temperature. Lower ambient temperatures will be expected to reduce chemical reactions, while increased temperatures will typically accelerate decomposition of disinfectants. Room temperature will thus probably represent a high reaction condition, within normal conditions for the simulated bath disinfections. For simulated spills, the temperatures may in worst case be even higher, as sunlight may increase the temperature in the jump fence.

## CONCLUSIONS

This work did not identify any reduced strength in traditional Raschel knitted nylon netting due to simulated spill of diluted hydrogen peroxide to the jump fence during de-lousing. Hydrogen peroxide may react with biofouling, but this did not result in reduced netting strength.

The performed tests did not indicate any effect on netting strength from a simulated single, traditional bath disinfection as performed at service stations applying the disinfectant Aqua Des containing peracetic acid. However, increasing the Aqua Des concentration from 1 to 10 % resulted in a strength reduction of 3-6 %. Simulated spill of concentrated Aqua Des on the jump fence of a net with copper coating residuals resulted in a severe reduction in strength of 45 %. This strength loss was probably a consequence of an exothermic reaction between copper and Aqua Des, and uncoated netting did not experience any loss in strength subjected to the same chemical exposure. These findings from application of Aqua Des should also apply to other peracetic acid disinfection chemicals with trade names as for example Perfectoxid and Addi Aqua.

Applying Aqua Des, in accordance with guidelines for bath disinfection of nets [7] will probably not affect the strength of netting. However, it is important to avoid fluids with high concentrations of peracetic acid to get into contact with nets with copper coatings or copper coating residuals. It is of particular importance to avoid spilling of disinfecting chemicals, especially with high concentrations, at parts of the net in direct contact with air. In air, chemical spills may lead to development of concentrated heat, acids, oxidants and other products that may damage the net.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was funded by the Norwegian Research Council through the RobustNet-project (no.: RobustNet) and the research platform Secure (Securing fish-farming technology and operations to reduce escapes). The work is performed in collaboration with producers of net cages for fish farming. This includes Egersund Net AS, Aqualine AS, Badinotti Slovakia s.r.o., Mørenot Aquaculture AS, Vónin Refa AS and Selstad AS.

## REFERENCES

- [1] Polyamide high performance, 2005. "Polyamide Yarn Properties 2005."
- [2] Newman Tools Inc. "Nylon chemical resistance and technical data," [http://www.newmantools.com/pipestoppers/NYLON\\_chem\\_resistance\\_nt.pdf](http://www.newmantools.com/pipestoppers/NYLON_chem_resistance_nt.pdf)
- [3] iLaks, 2014. "Hydrogenperoksid kan skade nøter," <http://ilaks.no/hydrogenperoksid-kan-skade-noter/>
- [4] Intrafish, 2015. "Brukte fire ganger mer hydrogenperoksid," [http://www.intrafish.no/gratis\\_nyheter/article1406284.ece](http://www.intrafish.no/gratis_nyheter/article1406284.ece)
- [5] Arff, J., Forbord, S., Steinhovden, K. B., 2016. "Avlusing med Hydrogenperoksid og Miljøfaktorer," SINTEF report A27879, Trondheim, Norway.
- [6] Kitis, M., 2004. "Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review," *Environment International* 30, pp. 47-55.
- [7] Solvay, 2005. "The use of Aqua Des in Aquaculture". <http://www.aquatic.no/en/aqua-pharma/aqua-pharma/aqua-des>
- [8] Kubyshkina1, G., Zupančič, B., Štukelj, M., Grošelj, D., Marion, L., Emri, I., 2011. "The Influence of Different Sterilization Techniques on the Time-Dependent Behavior of Polyamides," *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* 2, pp. 361-368

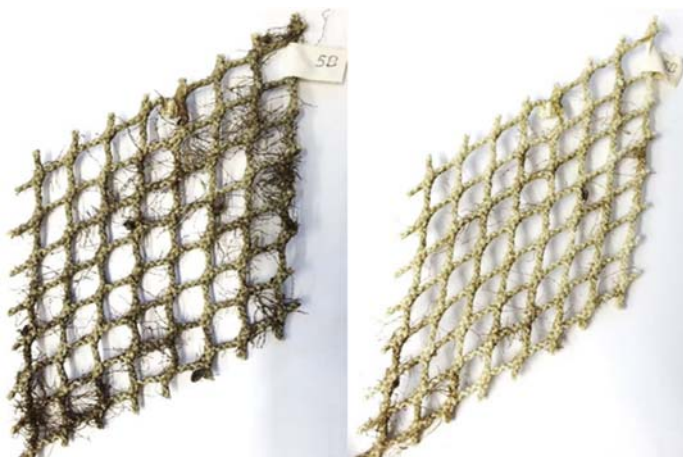
- [9] S.F. Chou, R. A. Overfelt, Gale, W. F., Gale, H. S., Shannon, C. G., Buschle-Diller, G., Watson, J., 2009. "Effects of Hydrogen Peroxide on Common Aviation Textiles," Office of Aerospace Medicine, Federal Aviation Administration, Washington DC.
- [10] The International Organization for Standardization, 2002b. ISO 1806 Fishing nets—Determination of mesh breaking force of netting.
- [11] Lopez-Delgado, A., Cano, E., Bastidas, J. M., Lopez, F. A., 2001. "A Comparative Study on Copper Corrosion Originated by Formic and Acetic Acid Vapours," Journal of Materials Science, 36, pp. 5203-5211.

## ANNEX A

### PICTURES OF NETTING SAMPLES

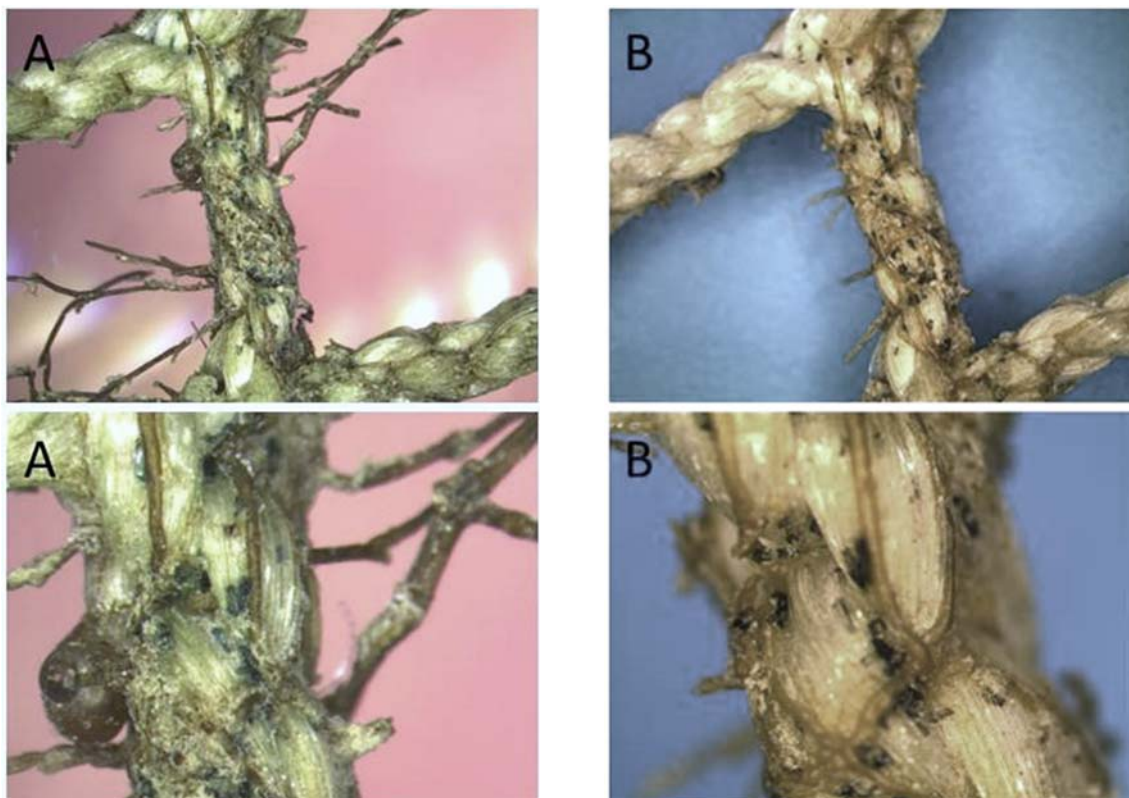


**Figure A-1: Netting materials subjected to chemical exposure tests. From left: N1, N1\_bf and N2.**



**Figure A-2: Netting with biofouling (N1\_bf) before (left) and after (right) exposure to hydrogen peroxide.**





**Figure A-3: Detailed view of a selected area of netting before (A) and after (B) exposure to hydrogen peroxide, seen through a light microscope.**



**Figure A-4: Used netting with copper residuals, N<sub>2</sub>, subjected to 10 % Aqua Des (left) and concentrated Aqua Des (right).**



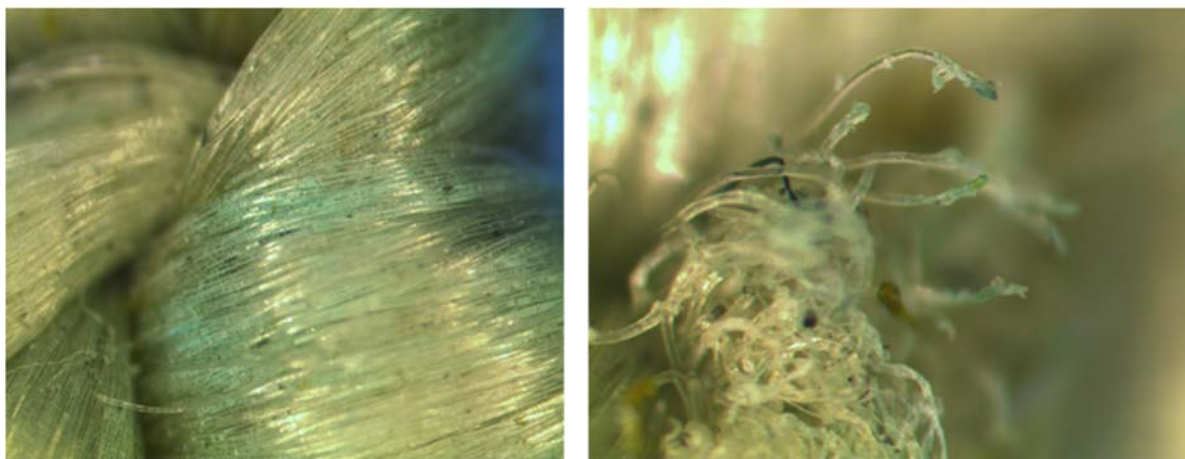


Figure A-5: Dying of Nylon fibres by reaction products containing copper.

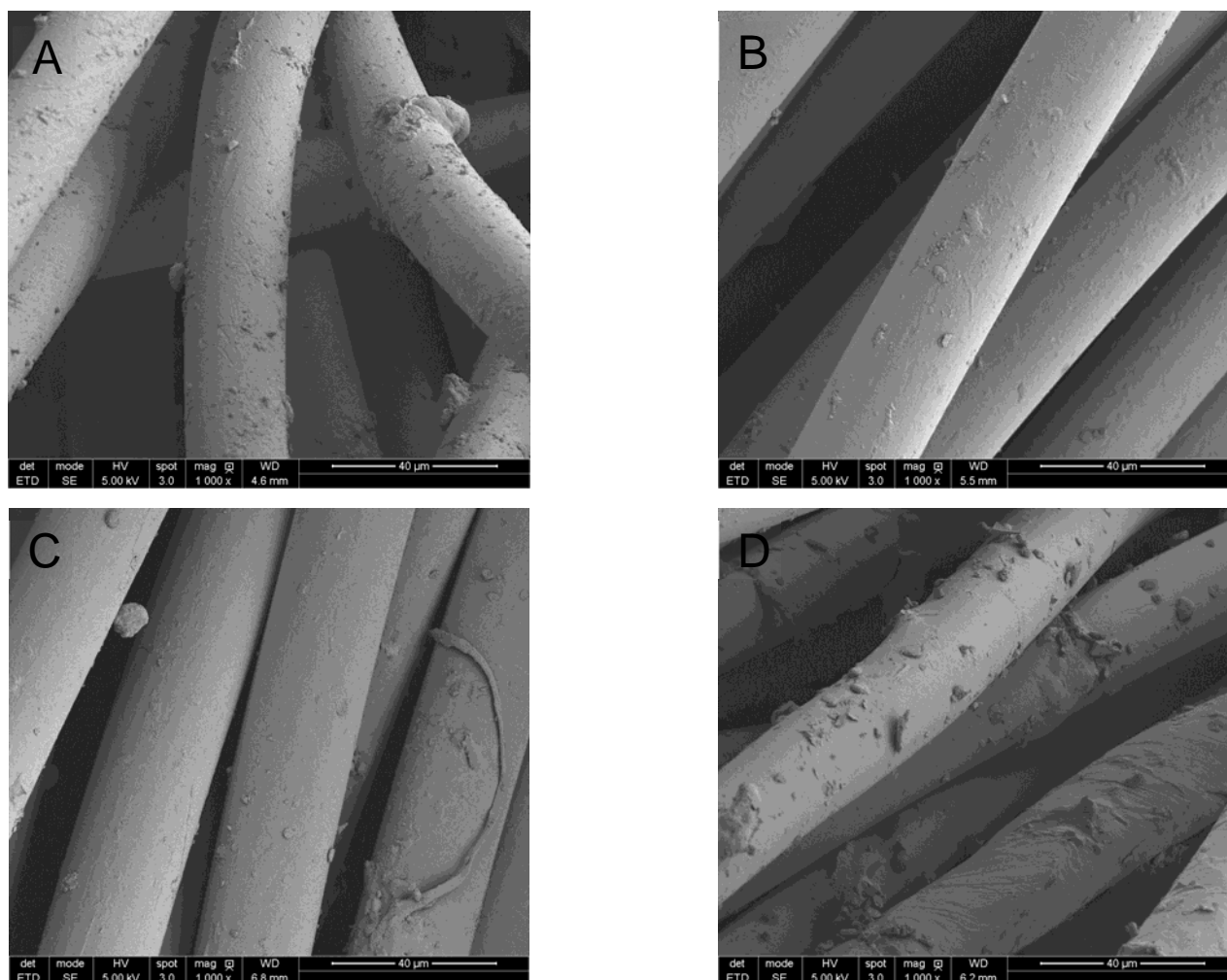


Figure A-6: SEM of used netting, N2, A) before chemical exposure test, B) after 15 % hydrogen peroxide test, C and D) after 100 % Aqua Des test

## Vedlegg 7: Forsøk med høytrykksspyling av notpaneler

Forfattet av Heidi Moe Føre og Eirik Svendsen

### 1 Bakgrunn

Som en del av RobustNot-prosjektet testes spyling av notlin med roterende vaskeskiver. For å undersøke dette har nytt notlin med og uten telne (tau) blitt testet under to scenarier i Multi Pump Innovation sine lokaler på Sollihøgda i Bærum kommune. Testene ble gjennomført 29. august 2017.

Testene har hatt til hensikt å fremprovosere skader på not, samt å utvikle en testmetode for å dokumentere notlin sin motstand mot spyleskader. Det var planlagt en rekke tester, men på grunn av praktiske utfordringer med utstyr og spesielt vanntemperatur i tanken ble det kun gjennomført to tester. I utgangspunktet ønsket vi å teste hypoteser gitt i Tabell 1. Vi fikk gjennomført test av "slitasje" og "strek i notlin".

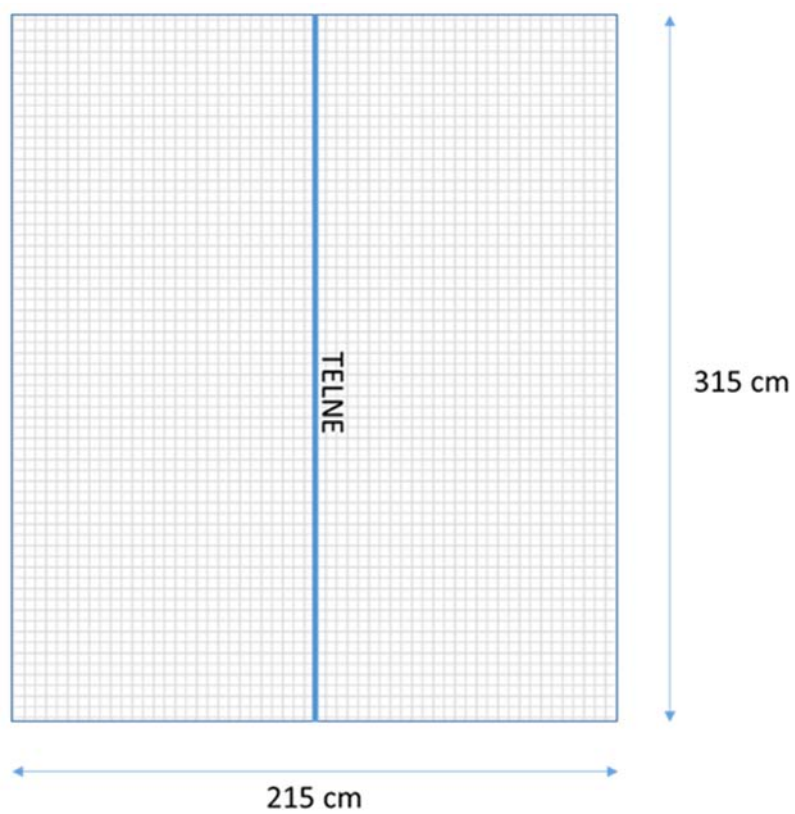
**Tabell 1: Hypoteser som ligger til grunn for planlagte tester.**

Testparameter	Hypotese
Krymp	Høytrykksstråler blåser opp eller "tover" notlinet. Notlinet krymper og styrken reduseres. Dette kan være et økende problem ved bruk av trange dyser.
Slitasje	Notlinet havner i klem mellom vaskeskive og legeme på andre siden, for eksempel tau, flytekrage o.a. Dette fører til at notlinet kommer i direkte kontakt med den roterende vaskeskiva og "poleres". Man kan også observere slitasje på den andre siden av notlinet etter gnag mot f.eks. tau eller flytekrage.
Kutt	Skader og feil på utstyr kan føre til kuttskader på notlin. Dette kan skyldes dyser eller skruer som stikker ut av skiva, eller skader og sprekker i utstyret.
Skader fra belter	Flere mistenker at notlinet kan bli skadet i forbindelse med belter på beltegående vaskeutstyr.
Strek i notlin	Undersøkelser viser at dersom det er strekk i notlinet så tåler det lite slitasje. Dette kan muligens oppstå ved hovedtauet der nota festes til flytekragen og generelt ved innfesting av tau.
Eksisterende hull utvides	Kan høytrykksspyling bidra til å utvide eksisterende hull eller maskebrudd ved å rakne notlinet?

### 2 Forsøksoppsett og gjennomføring

Det ble gjennomført to forsøk (hhv. forsøk 1 og forsøk 2). I begge forsøkene ble notprøvene stripset fast i en forsøksramme av metall med innvendige mål på 305 cm X 205 cm.

Forsøk 1 hadde til hensikt å framprovosere skadet på notlin som havner i klem mellom vaskeskive og legeme på andre siden, i dette tilfellet et sidetau. Hypotesen er at notlin i slike tilfeller kan komme i direkte kontakt med den roterende vaskeskiva og utsettes for slitasje. For forsøk 1 ble nytt notlin med isydd telne i lengderetning montert i forsøksramma (Figur 1 og Figur 2).



**Figur 1: Illustrasjon av notlin isydd telne.**



**Figur 2: Innfesting av notlin i metallramme.**



Strips ble benyttet for å stramme opp telnen: én strips ble festet rundt selve telnen, og to andre strips festet i denne og rundt rammen til oppstramming (Figur 3). Til oppstrammingen ble det benyttet en HellermannTyton MK6 stripspistol satt til høyeste spenningsnivå, tilsvarende 390 N. Hvor stor spenning vi påfører tauet er noe usikkert fordi både tau og strips vil sige (gi etter). Tauet ble strammet med to strips som ble stegvis strammet slik at begge bærer last.

Måten telnen spennes opp på (Forsøk 1) er relevant fordi telnene utgjør den lastbærende delen av merdkonstruksjonen. På generelt grunnlag nevnes at oppstramming av tau og not er utfordrende å kvantifisere pga. at notlinet siger / er elastisk, og at spenningen forandrer seg når det blir utsatt for belastning og vann. Strekket forårsakes av den kombinerte vekten av not, bunnring, nedlodding av spiss og eventuelt annet utstyr plassert i merden som ligger i kontakt med noten, eksempelvis systemer for fjerning av dødfisk. Det ventes at den totale vekten medfører et aksialt strekk i telnene notpanelene er sydd fast i, på samme måte som forsøkt gjenskapt i Forsøk 1. I praksis kan stekket være betydelig høyere. Tungt belastede tau vil vri seg og dra med notlinet som kan bli ekstra utsatt for slitasje ved spyling.

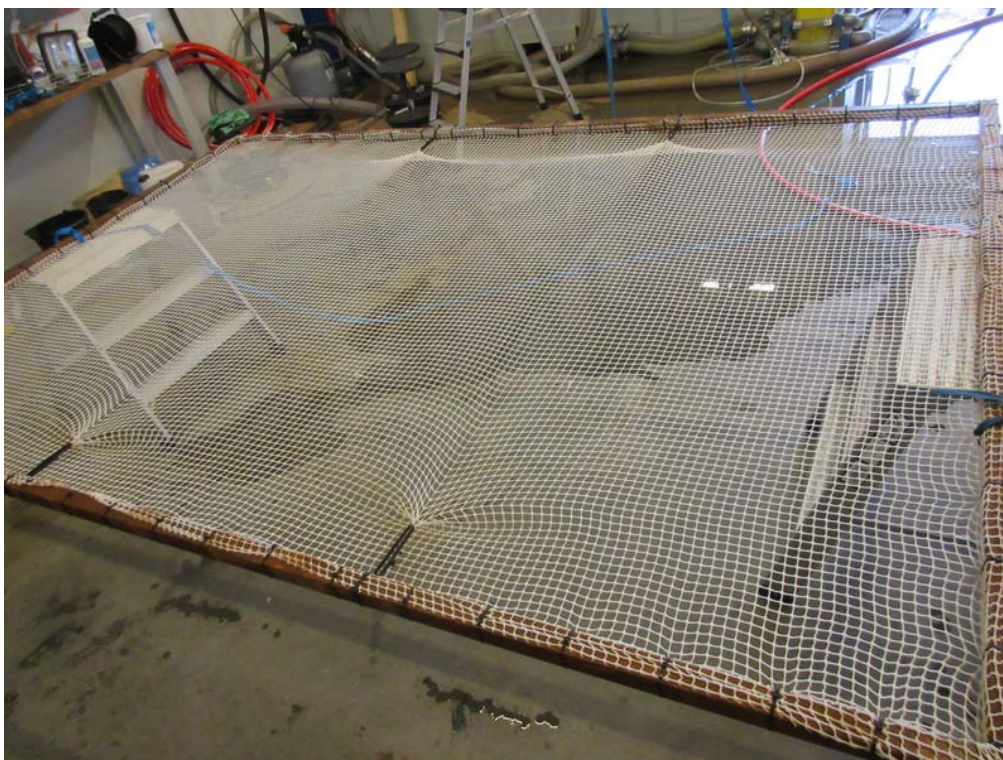
Forsøk 2 hadde til hensikt å undersøke hypotesen om at strekk i notlinet kan gi økt slitasje ved spyling. Strekk i notlinet kan blant annet oppstå der hovedtauet festes til flytekragen og generelt ved innfesting av tau. I forsøk 2 ble nytt notlin stripset fast i metallrammen (Figur 4). To enkeltråder ble deretter spent opp med strips forankret i rammen med et strekk opp mot 390 N (Figur 5).

Testene ble gjennomført ved at rammen med notlin ble plassert i testtanken, og deretter ble en vasker med 7 skiver og 1 mm dyser plassert oppå notlinet i lengderetning (Figur 6). Nota ble deretter spylt i 20 minutter med et indikert trykk på 280-290 bar. Etter spyling ble rammen tatt ut av tanken, og notlinet hengt til tork for senere inspeksjon.



**Figur 3: Oppstramming av telne**





**Figur 4: Innfesting av notlin i ramme.**



**Figur 5: Oppstramming av enkeltråd i notlin.**



**Figur 6: Terminator høytrykkspyler med 7 skiver.**

Vasking av ei not tar fra en til flere timer, og vaskeutstyret går eller trekkes langs nota med en hastighet opp til et par meter i sekundet. Vi antar at gjennomsnittlig vaskehastighet er ca. 0,5 m/s, noe som stemmer over ens med tidligere samtaler vi har hatt med firma som vasker not. Tidsbruken er avhengig av mengde begroing, da mye groe gjør at vaskehastigheten må reduseres og kan også føre til at deler av nota må vaskes flere ganger før den er ren (fra SINTEF-rapport " Utredning og tiltak mot skader på not ved vasking i sjø").

Vi antar at vaskeutstyret har en bredde på 0,5 m (samme retning som bevegelsen). Dermed vil et gitt punkt i nota være i kontakt med vaskeutstyret i ca. ett sekund per vaskerunde. En vaskeoperasjon kan inkludere at man vasker over nota en eller flere ganger. Vi antar at en gjennomsnittlig vask medfører at ethvert punkt i nota blir vasket i 3 sek. Hvis nota blir vasket 20 ganger i året blir hvert punkt da vasket i totalt 1 minutt per år. Å holde spyleren i ro i 20 minutt representerer sammenlignet med dette en ekstrem belastning.

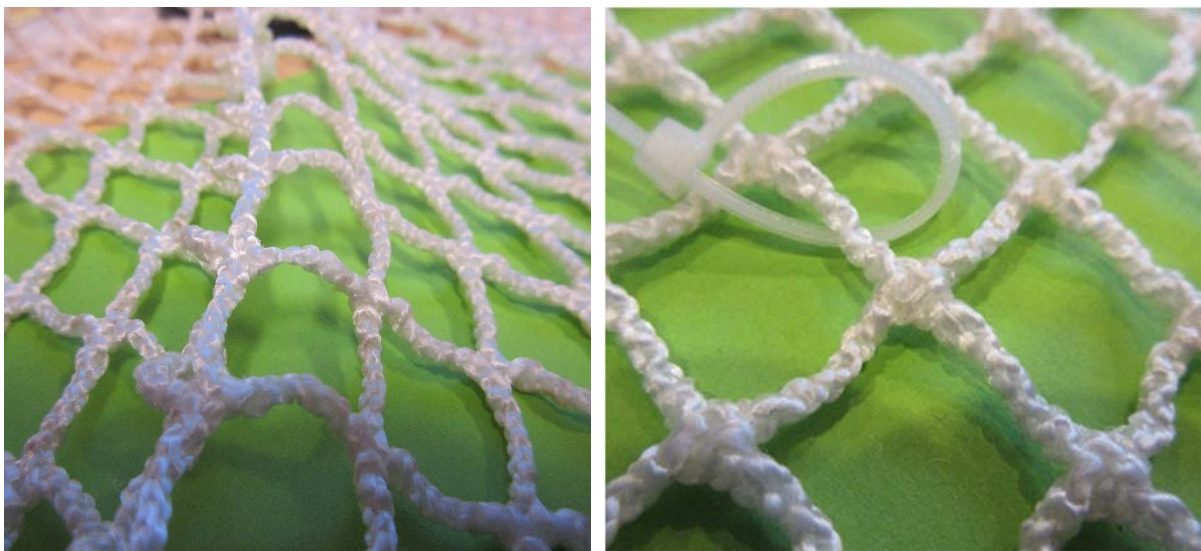
Vi må regne med at noen lokaliteter vasker mer enn dette, og da må man gjøre en lignende lokalitetsspesifikk betraktning for disse. Man kan også se for seg at spesifikke områder er ytterligere belastet, for eksempel midten av bunn som blir vasket flere ganger. I tillegg kan vaskeutstyr stoppe opp ved tau, noe som kan øke belastningen der.



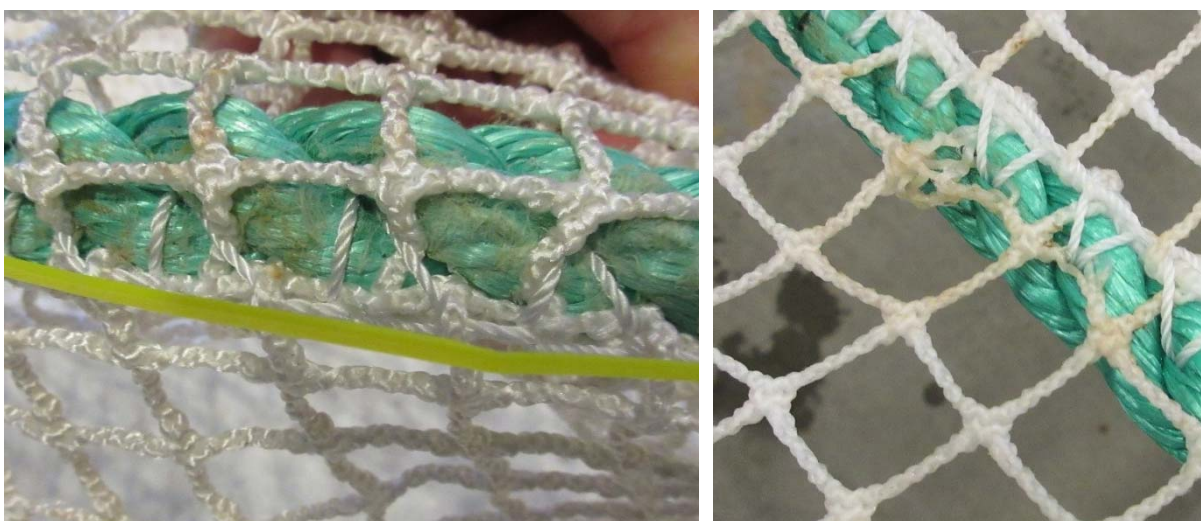
### 3 Resultater

Etter testene ble notlinet inpsisert og det ble gjennomført strekktester av utsatte områder. Det ble sett etter slitasjeskader og reduksjon i styrke. Det var ingen tegn til slitasjeskader på notlinet, verken notlin ved tau eller notlin i strekk (Figur 7). Det var derimot tegn til slitasje på tau, og det ble funnet en skade i notlinet (Figur 8). Skaden i notlinet skyldes sannsynligvis at søm som fester tau til notlin har gått igjennom notlintråden to steder og trolig kuttet noen fiber i notlinet. Dette har altså skjedd ved produksjon av notlinet, og høytrykksspylinga kan så ha ført til at notlinet har raknet.

Styrketester viste ingen reduksjon i styrke i notlinet: Gjennomsnittlig maskestyrke før og etter høytrykksspyling ble målt til 90 og 90,5 kg for notlin som har vært i klem mellom tau og høytrykksspyler, mens notlin i strekk hadde en gjennomsnittlig maskestyrke på 90 kg før og etter spyling.



**Figur 7: Ingen slitasje på notlin ved tau (venstre bilde, tau er fjernet) eller notlin i strekk (høyre).**



**Figur 8: Slitasje på tau (venstre) og skade på notlin (høyre).**

#### 4 Konklusjon

Forsøk med høytrykksspyling ga ingen synlige slitasjeskader på notlinet og ingen reduksjon i styrke. Disse forsøkene føyer seg inn i rekken av flere tester med høytrykksspyling som ikke gir skade på notlin. Likevel finner oppdrettere, dykkere og andre skader på not som man mener skyldes spyling. Hvorfor lykkes man så ikke i å gjenskape denne skaden i akselererte forsøk? Det kan være flere grunner til det. Det ene er at man i slike tester benytter utstyr av god kvalitet og uten skader. I tillegg kan dette antyde at langtidseffekter, for eksempel begroing som utvikler seg på nota, kan ha stor betydning i denne sammenhengen. Begroing kan representere partikler som kan trenge inn i tråden og muligens virke som et slipemiddel i kontaktflaten mellom notlin og høytrykksspyler.

Det ble derimot observert slitasje på tau og skader som trolig skyldes at søm er stukket gjennom notlintråden under produksjon av panel. Det er viktig å unngå at søm går gjennom notlintråd når man produserer nøter, da dette kan føre til rakning og hull.

Det har ikke latt seg gjøre å framprovosere skader fra høytrykksspyling på et notlinpanel. Samtidig observerer oppdrettere, dykkerfirma og notbøteri stadig slitasjeskader på notlin som man mener må skyldes høytrykksspyling. Derfor er det trolig at en generell slitasjetest kan benyttes for å vurdere notlin og coating sin motstand mot slitasjeskader fra spyling.



## **Vedlegg 8: Slitasjetesting av notlin**

### **Eng: Abrasion testing of netting**

Written by Heidi Moe Føre and Rune H. Gaarder.

#### **1 Background**

In the RobustNet-project, one goal has been to develop methods and evaluate possible equipment for abrasion-testing of netting. It was established that suitable testing equipment was not available at the beginning of the project period (2015), and the main features of a suitable equipment was identified (Figure 1).

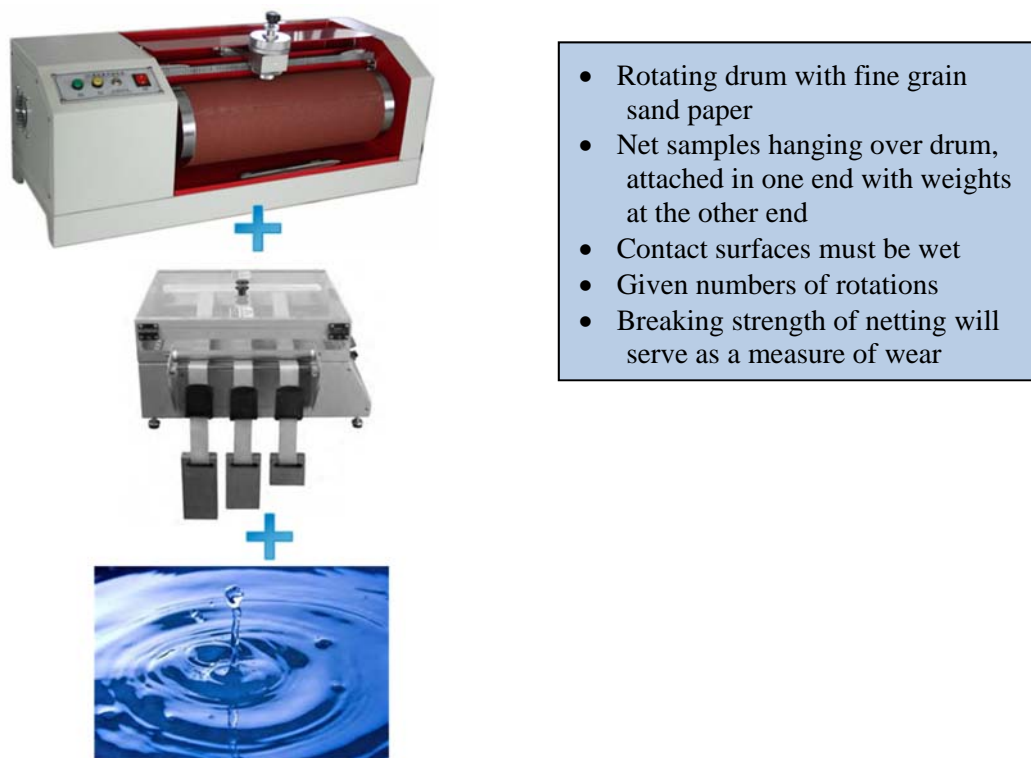
Buraschi has developed a testing machine called "Mila200 wet", which satisfy these basic requirements (Figure 2). The machine was assessed at Badinotti's facilities in Slovakia on 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> of July 2017. Present during these initial tests were Heidi Moe Føre from SINTEF, Torben Andersen from Badinotti and Lorenzo Buraschi from Buraschi. Rune H. Gaarder from SINTEF has contributed in the evaluation of the results and testing equipment.

The goal was to evaluate the following:

1. General performance of the machine, including
  - a. Performance and wear of sand paper
  - b. Pretension
  - c. Assess risk of heating of water and equipment
2. Resulting wear on net samples, including
  - a. Distribution of wear
  - b. Properties of wear. Is the applied damage similar to practical observations?
3. Suitable test regime
  - a. Side of net to be tested
  - b. Pretension, drum rotational speed and number of rotations
  - c. Direction of rotation with respect to how the netting is fixed and weighted

During this initial testing, two different netting materials were tested:

1. White netting: Mesh strength of 93 kg, mesh side approx. 16 mm
2. Black netting: Mesh strength of 140 kg, mesh side approx. 25 mm



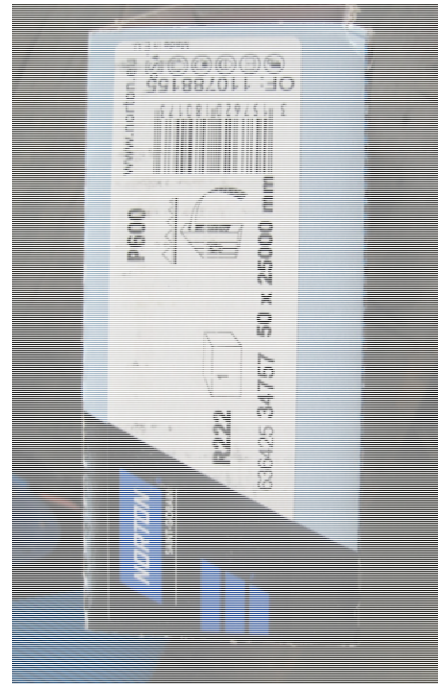
**Figure 1: Specification of set-up for abrasion testing of netting.**



**Figure 2: Mila200 wet.**

## 2 Test set-up

- The rotating drum was covered in 50 mm wide grinding paper band with grit size R600 (Figure 3). The same grinding paper was used for all tests, i.e. it was not replaced.
- A strip of wetted netting was fixed with a rod at one end and placed along the circumference of the lower half of the rotating drum, which was submerged in tap water (Figure 4). At the other end the netting was fixed with another rod. This rod was connected to pneumatic cylinders with the purpose of applying a constant tension in the netting material. This tension was set to approximately 0.5 bar, which corresponded to 1 kg distributed over the total netting width for this equipment.
- Strip width was approx. 293 mm (18 meshes) for the white netting, and 325 mm (13 meshes) for the black netting. (Not including the cut twines at the ends)
- Rotational speed was 10 m/min (of the circumference), equal to 0.17 m/s. The direction of rotation was from the fixed bar to the tensioned bar.
- The diameter of the rotating drum was 20 cm, and the circumference was thus 63 cm
- Each test specimen was subjected to 20 revolutions.
- White test specimens gave 4 mesh strength tests, while the black gave 3 (Figure 5).
- Strength tests were performed at the first mesh that was fully submerged at the beginning of the test area. This is where the greatest damage was observed.
- An alternative set-up applying weight bars with a total weight of 480 g instead of the pneumatic cylinders were tested (Figure 6)

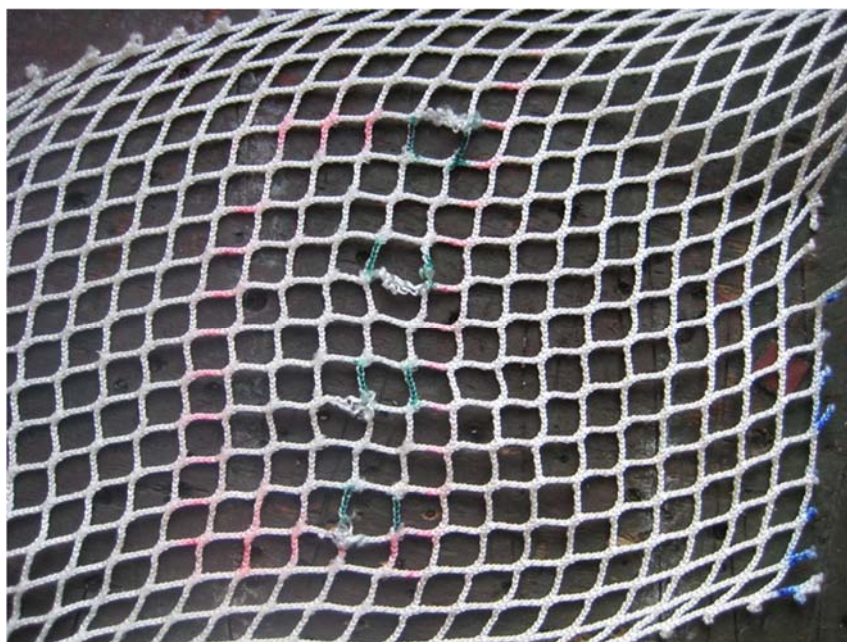


**Figure 3: Applied grinding paper.**



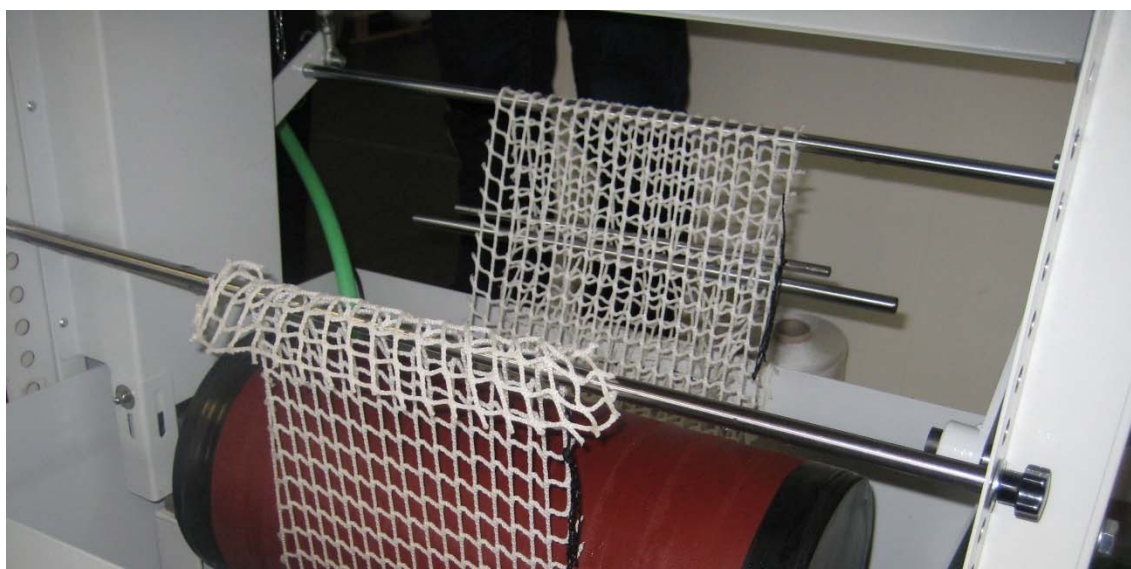


**Figure 4: Test set-up.**



**Figure 5: Strength tests after abrasion.**





**Figure 6: Alternative set-up with weight bars.**

Performed abrasion tests are presented in Table 1, and they were performed in the given order. Results from mesh strength tests of these test specimens subjected to abrasion tests are given in Table 2. Results are given as average mesh strength with standard deviation and 95 % confidence interval. See also Figure 7 for detailed graphical presentations of some of the individual mesh strength test results.

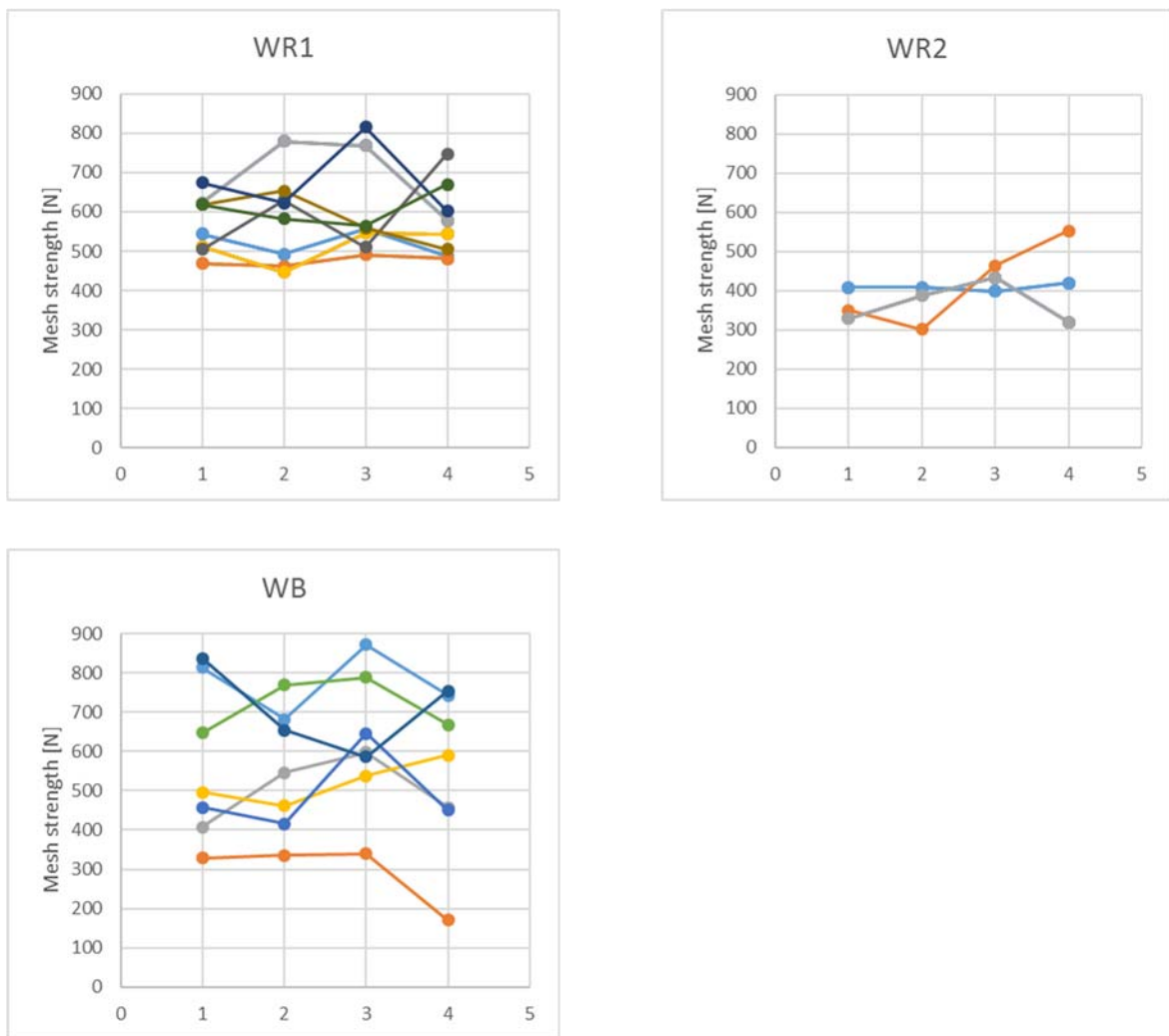
**Table 1: Overview of performed abrasion tests given in chronological order.**

Netting	Tension	Short name	Side*	Repetitions/strength tests	Comment
White	0.5 bar -1 kg	WR1	Right side	8 / 32	To assess repeatability
		WB	Back side	8 / 28	To assess differences between the two sides
		WR2	Right side	3 / 12	Originally to assess wear of grinding paper
Black	0.5 bar -1 kg	BR	Right side	7	
		BB	Back side	7	
White	480 g	WR3	Right side	5 / 20	To test applying weight bars instead of pneumatic cylinders

\*Right side was defined as the side with "V"-stitches, the other side is called back side (alt. wrong side).

**Table 2: Results from mesh strength tests following abrasion test.**

Netting	Test	Mesh strength [kg] (rel. to reference)	Standard deviation [kg]	Confidence interval (95 %) [kg]
White	Reference (no abrasion)	93 (100%)	+/- 5	3 (10 tests)
	WR1	59	+/- 10	4
	WB	58 (63%)	+/- 18	7
	WR2	41 (44%)	+/- 7	5
	WR3	37 (39%)	+/- 11	7
Black	Reference	140 (100%)	+/- 11	8 (10 tests)
	BR	80 (57%)	+/- 26	12
	BB	116 (83%)	+/- 20	9



**Figure 7: Results from individual mesh strength tests for white netting subjected to wear (see table above). The separate colours represent separate abrasion test replicates/repetitions, the numbers on the horizontal axis represent the four different mesh strength tests (Figure 5).**

### 3 Findings and observations

- Observed wear looks relevant (Figure 8)
- In general, the variation in strength of abraded netting samples are higher than for reference tests. Some tests yield a 4-5 times increase in standard deviation
- Test results are most likely dependent on tension in the sample. It is possible that the pneumatic cylinders are not precise enough, including the adjustment of the pressure, where 0,5 bar probably is in the lowest range of the pressure regulator. There may be uncertainties in the actual level of pressure applied.
- The third test with white netting right side, WR3, gave a higher average reduction in strength than the first test. I.e. with half the assumed tension in the cylinders (480g vs 1 kg), the abrasion damage was not lower. This may indicate that (should be studied further)
  - The tensile force generated by the pneumatic cylinders at very low air pressures was inaccurate and not repeatable
  - The tests were not sensitive to these differences in tension

- The wear on the grinding paper was negligible
- No visible wear of the grinding paper was observed
- No heating of water or equipment was observed. Water temperature was measured in the range of 17-23. The water was applied at approx. 17 degrees and the temperature increased to room temperature during the day. Water was changed at the beginning of day 2.



**Figure 8: Observed wear.**

The machine shows promising results, but some minor modifications should be made to the test routine. The variation in strength test results in some of these initial tests are too high, and the large wear at the point of first contact with netting may contribute to this. The repeatability of the test could be improved with a more even wear. We suggest the following adjustments, which may improve the performance of the testing machine:

- The grain size of the grinding paper should be reduced, and the pretension of the netting increased. This should give a more evenly distributed wear along the circumference of the grinding paper. P1000/1200 should be tested. In addition, high quality grinding paper should be chosen, as "on the shelf" grinding paper could have a larger variation in grit size. We recommend silicon carbide (SiC) grinding paper of high quality, used for e.g. grinding/polishing of materials for microscopy investigation.
- We believe pretension should be increased to at least 2 kg. Weights may be preferred over the use of pneumatic cylinders at low tensile loads. Alternatively, the pulling force generated by the pneumatic cylinders must be checked thoroughly.
- The sample should be subjected to much more than 20 revolutions of the cylinder, maybe 10 times as many, and the netting wear per revolution should be reduced (i.e. finer grinding paper). This may reduce the observed variation in wear over the length of the netting.
- It would be interesting to get a measure of the electric motor torque during testing. This could give interesting information regarding the friction between the grinding paper and the netting.

Although the grinding paper seemed to perform well, it should be considered using single sheets of paper wrapped around the cylinder instead of a narrow band winded onto the cylinder.



## Vedlegg 9: Forslag til endringer i NS9415 -Dimensjoner og styrke til notlin

Forfattet av Heidi Moe Føre

### Bakgrunn

Det er identifisert behov for endring av tekniske standarder for notlin i oppdrettsnøter basert på arbeid gjennomført i RobustNot-prosjektet, med fokus på NS9415. Dette inkluderer ikke alle ønskede og nødvendige endringer av standarden, men enkeltinnspill relatert til måling av notlindimensjoner og styrke. Den følgende teksten gir forslag til endring av tekst. For en full forståelse bør den leses sammen med tekst i eksisterende NS9415<sup>1</sup>. Endringsforslag må anses å være foreløpige, og et utgangspunkt for diskusjon og videre arbeid.

Eksisterende tekst er gitt med svart skrift, forslag til **ny tekst er gitt med blå skrift**, og *kommentarer er gitt i kursiv*. **Beskrevet metode (forenklet) som bør legges inn i hoveddokument eller bransjestandard er gitt i grønn skrift.**

### Forslag til endringer

#### Norsk Standard

#### NS 9415:2009

Flytende oppdrettsanlegg - Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift

### Kapittel 3: Definisjoner

#### 3.71 maskestørrelse [NS-EN ISO 1107]

(...)

#### 3.71 maskeside

Siden til en rektangulær eller kvadratisk maske i notlin når alle stolpene i notlinet er strukket ut med lett håndkraft. Gitt som rettlinjert avstand mellom senter av to påfølgende knuter/sammenføyninger.

---

<sup>1</sup> Standard Norge, 2009. NS9415 *Flytende oppdrettsanlegg - Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift*

Måles for et tørt notlinestykke der hver stolpe i begge retninger er stukket ut med lett håndkraft (ca 100 g) på en flat overflate. Mål over minst 10 masker (rundet av til nærmeste millimeter) tre forskjellige steder og finn gjennomsnittlig verdi for maskeside. Verdien rundes av til nærmeste halve millimeter.

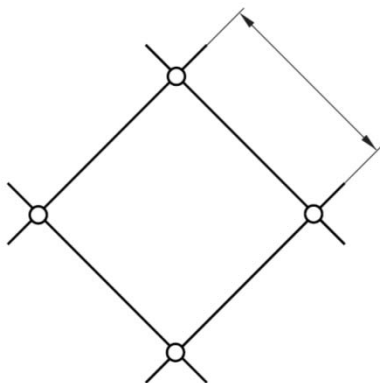


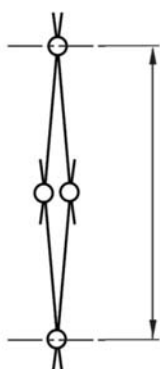
Figure 1 — Length of mesh side

### 3.72 maskelengde

#### helmaske

Avstand mellom senter av to motstående knuter/sammenføringer i samme maske når denne er strukket [ut i produksjonsretning med lett håndkraft \(totalt ca 200 g over to stolper\)](#).

Måles på tørt notlin over minst 5 masker (rundet av til nærmeste millimeter) minst tre forskjellige steder. Finn gjennomsnittlig verdi for helmaske basert på målingene, og rund av til nærmeste millimeter.



### 3.73 halvmaske

[Halvmaske er lik en halv maskelengde/helmaske](#)

### 3.74 maskåpning

Indre avstand mellom to motstående knuter/sammenføyninger i en maske når denne er strukket **ut i produksjonsretning med lett håndkraft (200 g)**.

Måles med samme oppsett som helmaske. Bruk linjal og mål åpning for 10 masker. Maskeåpning oppgis som gjennomsnitt av disse rundet av til nærmeste millimeter. Alternativt kan knutelengden måles, og gjennomsnittet av 10 målinger trekkes fra oppgitt helmaske.

### 3.107 soliditet

forholdet mellom projisert notlinareal og totalt areal på et notpanel

## Kapittel 8: Krav til notpose

### 8.6.4 Fastsettelse av dimensjoneringskrav

- *Passe på å skille mellom halvmaske og maskeside.*
- *Vedlegg J kan fjernes. Evt. erstatte maskeside og maskelengde med halvmaske og helmaske. Hva betyr målene for sekskantmasker og er dette relevant info?*
- *Poengtere at helmaske og maskeside skal måles på tørt notlin. Referere til ISO 1806 for atmosfære for testing. Fravike fra krav om kontroll av luftfuktighet (relativ fuktighet) da det ikke er praktisk gjennomførbart, men notlinet skal tørkes/oppbevares tørt i minst 24 timer før testing. I følge ISO 1806 skal temperaturen være 18-22 grader. Om dette ikke er praktisk gjennomførbart bør temperatur ved testing oppgis.*
- *Poengtere at maskestyrke skal måles på vått notlin (ISO 1806).*
- *Poengtere at for knuteløst notlin skal tester av maskestyrke der bruddet oppstår ved innfestingen forkastes. Dette er ikke gitt i ISO 1806 som er basert på knutelin.*
- *Antall tester som skal gjennomføres i en maskestyrketest bør omhandles i standarden*

### 8.8.3 Tråd

- *Sytråd og knutelin "blandes sammen". Er det OK?*
- *Tråddiameter finnes ut fra bildebehandling. Tråden kan strekkes med lett håndkraft (opptil 100 g).*
- *Andre metoder som gir tilsvarende resultat kan benyttes*
- *Soliditet kan estimeres som to ganger trådykkelse delt på maskeside for tradisjonelt knutfritt (strikket) notlin. Metode benyttet ved estimering av soliditet skal oppgis.*

### 8.10.2 Prosjektering

Som et minimum skal følgende dokumenteres for notposens prosjektering:

-(...)

- ~~trådnummer~~ (er ikke definert i standarden, evt må man legge inn tabell med trådnummer på nytt)  
minste maskestyrke, maskelengde, maskeåpning, masketype, trådtykkelse, maskeside, maskeåpning, soliditet og tautype

- *Foreslår at målemetoder og type måleutstyr skal oppgis*



## Vedlegg 10: Automatisk måling av soliditet, maskeside og tråddykkelse

Forfattet av Morten Bondø og Heidi Moe Føre.

### 1 Utstyr for automatisk måling

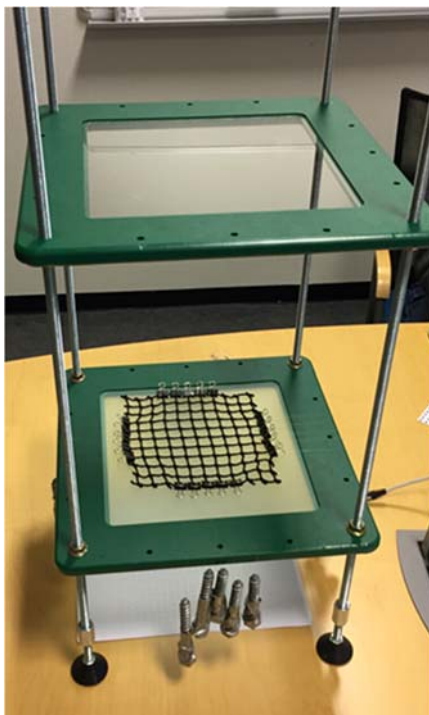
Det har blitt utviklet en rigg og et dataprogram som automatisk måler maskeside, tråddykkelse og soliditet til notlin. Utstyret benyttes ved at et notlinestykke plasseres på en plate, og det festes lodd til kantene (Figur 1). Deretter tas det et bilde som behandles i et spesiallagd dataprogram for å finne ønskede dimensjoner. Følgende notlindimensjoner bestemmes i dagens utgave av software:

- Maskeside: Siden til en rektangulær eller kvadratisk maske i notlin når alle stolpene i notlinet er strukket ut med lett håndkraft (ca 100 g). Gitt som rettlinjert avstand mellom senter av to påfølgende knuter/sammenføyninger.
- Tråddykkelse: Tråddykkelsen måles midt på maskesiden over en trådlengde lik 35 % av maskesiden. Tråddykkelsen finnes som et gjennomsnitt av flere målinger (10 målinger pr millimeter).
- Soliditet: Soliditet er definert som forholdet mellom projisert notlinareal og totalt areal på et notpanel (ref. NS9415). Finnes ved å ta antall piksler dekt av notlin delt på totalt antall piksler.

Merk at analyseprogram for nøter og oppdrettsanlegg ofte baserer seg på en soliditet som er beregnet som  $2 \cdot \text{tråddykkelse} / \text{maskeside}$ . Denne størrelsen er ofte mindre enn soliditet funnet ved arealberegninger som i definisjonen over.

Målingene bør gjennomføres flere ganger for hver type notlin avhengig av hvor stor variasjon man får i resultatene. Som et minimum anbefaler vi at det benyttes tre forskjellige prøvestykker av hver type notlin. Etter at prøvestykkene er montert i riggen kan man dra forsiktig i det for å få mest mulig kvadratiske masker.

Det er mulig å beregne andre størrelser også ved bruk av dette utstyret, for eksempel maskeåpning. Det vil kreve mer arbeid med definisjon av maskeåpning og software.



**Figur 1: Tidlig versjon av utstyr for montering av notlin.**

### **1.1 Kamera og belysning**

Det ble først forsøkt å benytte mobilkamera og speilreflekskamera, men det ga for ujevne målinger og for store variasjoner avhengig av blant annet benyttet kamera-teknikk og belysning. Det ble derfor byttet til et maskinsynkamera av typen FLIR Black Fly S (BFS-U3-200S6M-C). Dette er et maskinsynkamera med USB3.0 interface og en sort/hvitt bildebrikke på 20megapixler (5472x3648). Kamera benyttes sammen med en 16mm linse med en arbeidsavstand på ca 35cm. Dette valget gir en kompakt rigg med et greit perspektiv for å måle nøyaktig. (For å få et noe bedre perspektiv med litt mindre følsomhet for plassering av kalibreringsark og varierende tykkelse på notlin kan 25mm linse og 55cm avstand til kamera vurderes for senere versjoner.)

Oppløsningen gir en teoretisk målenøyaktighet på 0.05mm, sett bort fra effekt fra midling og subpikselnøyaktighet.

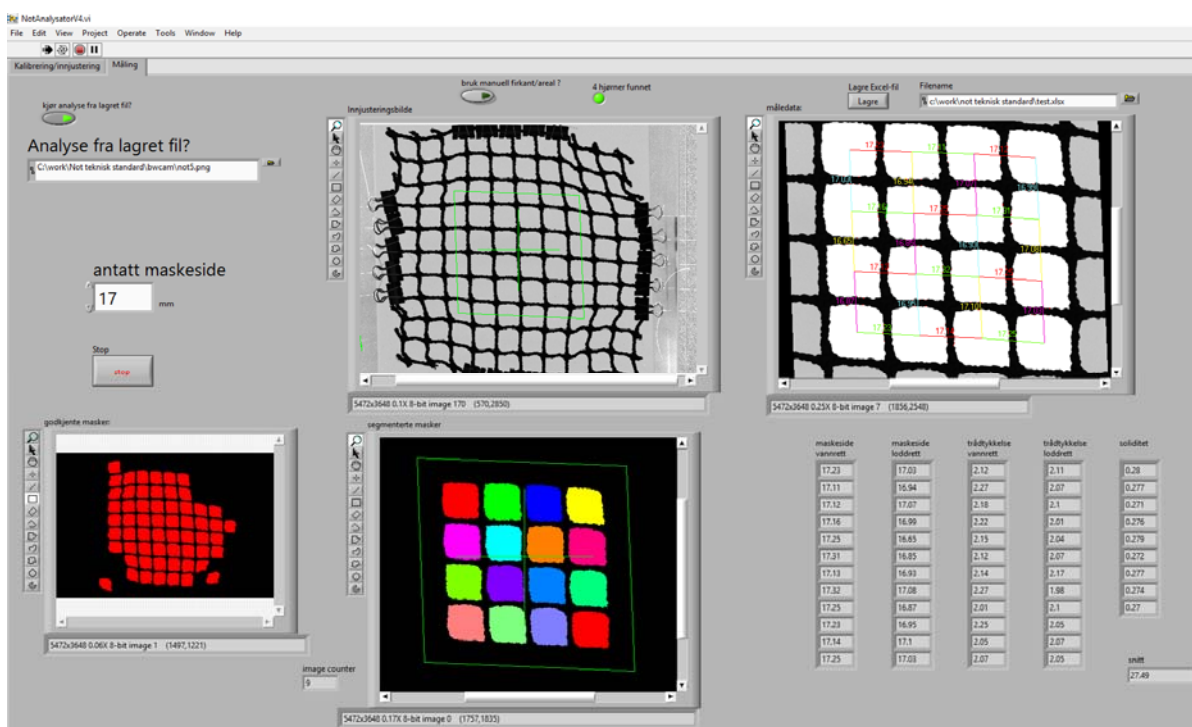
Det ble først benyttet passiv belysning, men dette viste seg å gi for stor variasjon avhengig av belysning i rommet, og fungerer dårlig for hvitt/lyst notlin. Det ble derfor montert en LED bakgrunnsbelysning som gjør det mulig å måle presis silhuett av not uansett farge på notlinen. Det tolereres normalt belyst rom, men sollys bør ikke treffe riggen under måling. For lyst notlin er det likevel en fordel om riggen er skjermet for direkte belysning mot noten f.eks. fra taklys.

### **1.2 Bruk av rigg og software**

I riggen skal det plasseres et notlinestykke som er minst 5x5 masker stort, og det henges lodd på 5 tråder på alle 4 sidene slik at 4x4 masker strekkes jevnt ut. Dette sikrer en lik/jevn oppspenning av notlinet slik at målingen utføres likt hver gang.

Det er utviklet et LabVIEW-program for maskinsynskamera som utfører kalibrering og måling. For kalibrering benyttes en plate/ark med prikkemønster med forhåndsdefinert avstand mellom prikkene. Dette korrigerer for kamerageometri gjennom en tredjeordens polynomisk forvrengningsmodell. For presis deteksjon av kantene på notlinen mot bakgrunnsbelysningen og for å korrigere for variasjoner i bakgrunnsbelysningen benyttes det et "hvitreferanse".

Deteksjonen finner automatisk 4x4 ruter i senter av bildet og detekterer områder med notlin og hull (Figur 2). Deretter defineres 3 x 3 firkantede areal med hjørner i senter av hvert hull (øverst til høyre i Figur 2), og det er disse firkantene som benyttes i videre beregninger av maskeside og soliditet. Det utføres en beregning av soliditet for hver av de 9 arealene i måleområdet. Programmet gir også ut en gjennomsnittsnittverdi for soliditet. Maskesiden måles som lengdene til de ni firkantene (avstand senter-senter mellom hvert hull), og den gis for vannrette og loddrette sider separat. Gjennomsnittlig maskeside kan deretter finnes som middelverdien mellom vannrette og loddrette sider. Tråddiameteren måles over 35% av maskesiden midt på tråden mellom knutene, beregnet ut fra antatt maskeside (denne oppgis i software og justeres slik at den sammenfaller med målt maskeside). Tråddiameteren måles på både vannrette og loddrette tråder. Programmet har mulighet for å eksportere måleresultatene til en Excel-fil for videre bearbeiding, statistikk eller dokumentasjon.



Figur 2: Skjerm bilde fra analyse-software.

## 2 Brukermanual

### Del 1: "Kalibrering":

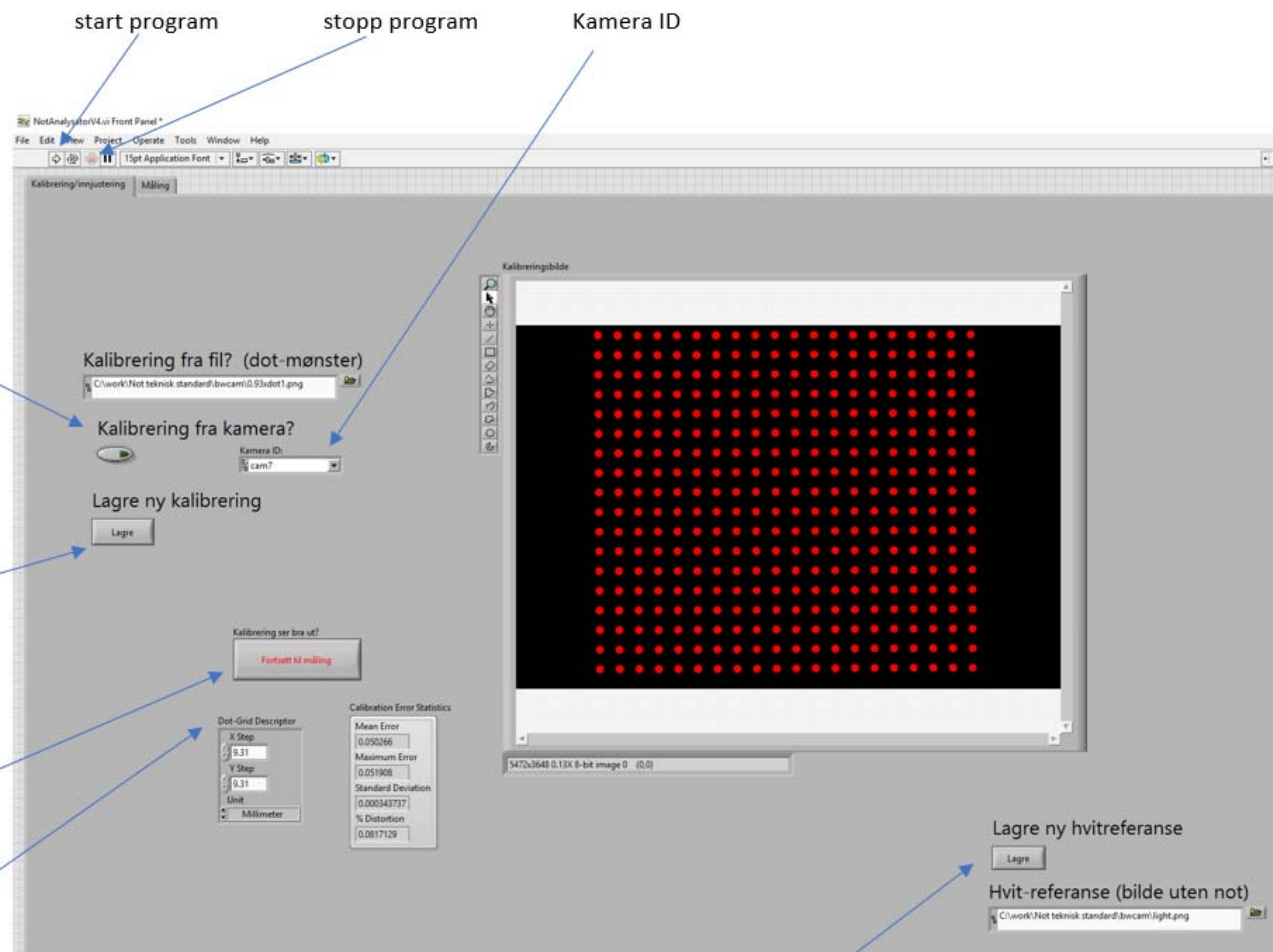
Første del av programmet kalibrerer inn kamera slik at målingen blir riktig.

Knappen "Kalibrering fra kamera?" henter bilde fra kameraet. Da kan nytt bilde av Dot-mønster/kalibrering lagres til fil. Som default brukes fil. Dersom det skal byttes fil, stoppes og startes programmet på nytt.

Det kan også lagres en ny Kalibrering – et bilde av dot-mønster slik at man slipper å legge på dette hver gang.

Når det er klart for å gå videre, og "Calibration Error Statistics" viser gode resultater med Error rundt 0.05 er det klart for å trykke på knappen "Fortsett til måling"

Avstand mellom prikkene på DOT-kalibreringsplaten



Det kan også lagres ny hvitreferanse - dvs et bilde med lyset på, men hverken not eller kalibreringsobjekt på platen. (dette er viktig for riktig måling/deteksjon!)



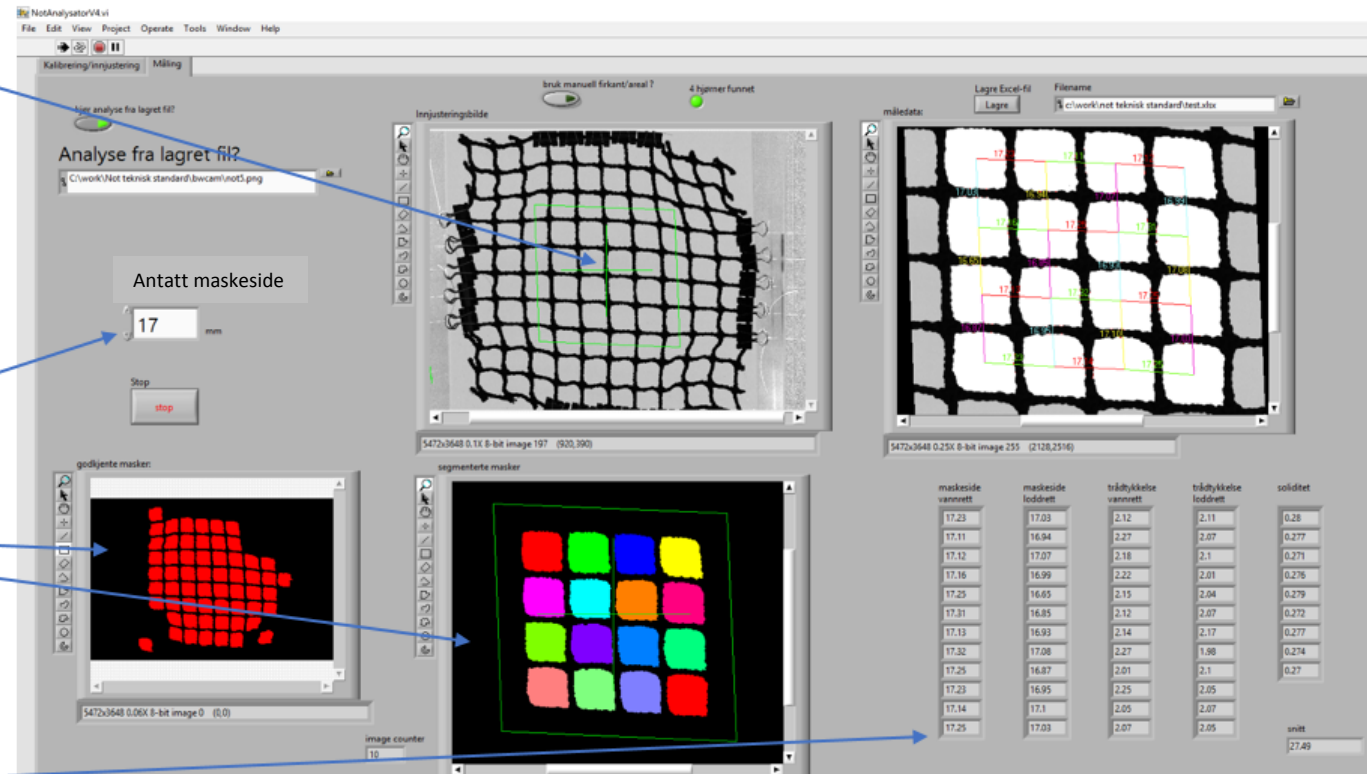
## Del 2: "Måling":

For å utføre måling legges not med lodd på riggen, og sentreres slik at krysset treffer midt på det oppstrammede området. Notlinet kan strekkes forsiktig slik at maskene blir tilnærmet kvadratiske. Om notlinet er lyst i fargen bør det ikke være for mye lys i rommet.

"Antatt maskeside" gis inn. Verdien endres til den tilsvarer målt maskeside.

Viser godkjente masker funnet, og autodetektert 4x4 område.

Når 4x4 ruter er riktig detektert presenteres målingene. Sjekk at verdier for maskeside og trådtykkelse ikke har feilmålinger (enkelte høye verdier). Feilmålinger kan skyldes rusk på glassplaten.



The screenshot shows the NotAnalysatorV4.vi software interface. It features a main window with a net image, a zoomed-in view of a 4x4 grid, and a data table. The data table is as follows:

maskeside varnrett	maskeside loddrett	trådtykkelse varnrett	trådtykkelse loddrett	soliditet
17.23	17.03	2.12	2.11	0.28
17.11	16.94	2.27	2.07	0.277
17.12	17.07	2.18	2.1	0.271
17.16	16.99	2.22	2.01	0.276
17.25	16.65	2.15	2.04	0.279
17.31	16.85	2.12	2.07	0.272
17.13	16.93	2.14	2.17	0.277
17.32	17.08	2.27	1.98	0.274
17.25	16.87	2.01	2.1	0.27
17.23	16.95	2.25	2.05	
17.14	17.1	2.05	2.07	
17.25	17.03	2.07	2.05	
				snitt 27.49

Bildet og målingene oppdateres ca 1 gang per sekund – så det er mulig å justere litt på noten slik at målealgoritimene får tatt de riktige målene. Lavest mulig soliditet kan antyde riktig mål.

Når målingene ser riktige ut kan disse lagres til Excel-fil ved å trykke på knappen for lagring.