

2019:00668 - Åpen

Rapport

Tekniske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret

For perioden 2014-2018

Forfattere

Heidi Moe Føre

Trine Thorvaldsen, Astrid Bjørgum, Eivind Lona og Jan Tore Fagertun



SINTEF Ocean AS

Postadresse:

Otto Nielsens vei 10

7052

Sentralbord: 464 15 000

E-mail: ocean@sintef.no

Foretaksregister:

NO 937 357 370 MVA

Rapport

Tekniske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret

For perioden 2014-2018

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2019:00668	302002524	2	2019-06-19

EMNEORD:

Havbruk

FORFATTERE

Heidi Moe Føre

Trine Thorvaldsen, Astrid Bjørgum, Eivind Lona og Jan Tore Fagertun

OPPDRAUGSGIVER(E)

Fiskeri- og Havbruksnæringens forskningsfinansiering, FHF

OPPDRAUGSGIVERS REF.

Kjell Maroni

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

30 + vedlegg

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

ISBN

978-82-14-06361-5

SAMMENDRAG

Denne rapporten presenterer en detaljert oversikt over direkte og tekniske årsaker til rømming av laks og regnbueørret i perioden 2014-2018, i tillegg til utredning av utvalgte årsaker til rømming.

64 % av all fisk som er registrert rømt i perioden 2014-2018 har rømt gjennom hull i not. Og hull i not representerer drøyt en tredjedel av alle rømmingshendelsene. Av medvirkende årsaker til hull i not er det konflikt med hanefot, not og nothåndtering, bunnringkjetting, og håndtering av lodd som har ført til rømming av flest fisk. Til forskjell fra perioden 2010-2013 er dødfiskpumpe ikke lenger blant de største medvirkende årsakene, mens kontakt med hanefot i fortøyning og not og nothåndtering har stått for et større antall rømt fisk og rømmingshendelser i den siste perioden.

Det er gjennomført utredninger av utvalgte tekniske årsaker til rømming. De tre hovedtemaene er ekstrautstyr og fare for rømming, slitasje på oppdrettsnøter og rustdannelse i stålkomponenter.

**UTARBEIDET AV**

Heidi Moe Føre

KONTROLLERT AV

Per Christian Endresen

GODKJENT AV

Hanne Digre

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2019-06-14	Utkast til styringsgruppe

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
2	2019-06-19	Endelig versjon

Sammendrag

Denne rapporten presenterer en detaljert oversikt over direkte og tekniske årsaker til rømming av laks og regnbueørret i perioden 2014-2018, i tillegg til utredning av utvalgte årsaker til rømming.

64 % av all fisk som er registrert rømt i perioden 2014-2018 har rømt gjennom hull i not. Og hull i not representerer drøyt en tredjedel av alle rømmingshendelsene. Videre har relativt mye fisk rømt fra sjøanlegg som følge av at øverste del av not har havnet under vann, og fra landanlegg. Rømming under transport og ved håndtering av fisk representerer et betydelig antall hendelser, men kun et begrenset antall rømt fisk.

Av medvirkende årsaker til hull i not er det konflikt med hanefot, not og nothåndtering, bunnringkjetting, og håndtering av lodd som har ført til rømming av flest fisk. Til forskjell fra perioden 2010-2013 er dødfiskpumpe ikke lenger blant de største medvirkende årsakene, mens kontakt med hanefot i fortøyning og not og nothåndtering har stått for et større antall rømt fisk og rømmingshendelser i den siste perioden.

Mesteparten av den rømte fisken (82%) var forbundet med hendelser som inntraff under normal drift, i forbindelse med uvær eller ved håndtering av lodd og nøter (forberedelse til avlusing).

Det er gjennomført utredninger av utvalgte tekniske årsaker til rømming. De tre hovedtemaene er ekstrautstyr og fare for rømming, slitasje på oppdrettsnøter og rustdannelse i stålkomponenter.

Stadig mer utstyr brukes i eller ved nota, og flere er bekymret for at dette kan øke faren for rømming. Dersom utstyr kommer i utilsiktet kontakt med nota, kan det føre til hull i not og rømt fisk. En rekke tiltak for sikker bruk av ekstrautstyr er foreslått. Bruk av risikoklassifiserte sikkerhetssoner for ekstrautstyr i og rundt not kan bidra til å hindre hull i not, og dermed rømming.

Den vanligste årsaken til slitasje er at nota kommer i kontakt med annet utstyr på oppdrettsanlegget. Standard nylon notlin er sårbar for slitasje. Gjennomførte laboratorietester viser at not-impregnering og andre notlinmaterialer kan bidra til å øke notlinet sin motstand mot slitasje.

Nøter og luseskjørt er hovedsakelig lagd av plastmaterialer, men det er vanligvis en stålring i senter av notbunnen der tauene samles og festes i denne ringen, og stålkomponenter er i bruk i loddsystem og i festepunkt i luseskjørt. I flere tilfeller har man erfart at disse stålkomponentene har rustet, og det har oppstått brudd etter kun få måneder i sjøen. Kun stålkomponenter med høyt innhold av krom (som superdupleks) er anbefalt for ubeskyttede stålkomponenter som er permanent neddykket eller i skvalpesonen i havbruksanlegg. Lavlegert stål kan beskyttes med offeranoder og belegg.

Abstract

This report presents a detailed overview of direct and technical causes of escape of farmed salmon and rainbow trout during the period 2014-2018, in addition to reviews of selected causes of escape.

64% of all fish that were registered as escapees during the period 2014-2018 had escaped through holes in the net. And holes in the net represent just over one third of all escape episodes. Furthermore, a relatively large amount of fish has escaped from fish farms at sea due to the upper part of the net becoming submerged, and from land facilities. Escapes during transport and handling of fish represent a significant number of events, but only a limited number of escaped fish.

The contributing causes to holes in nets that has led to most escaped fish are conflict with mooring lines, net structure and handling of nets, bottom ring chain, and handling of weights. Dead fish pump is no longer among the largest contributing causes, as it was during the period 2010-2013, while contact with mooring lines and net structure and handling of nets has led to increased number of escaped fish and escape events in the last period.

Most of the fish (82 %) escaped during normal operation, in connection with storms or during handling of weights and nets (in preparation for de-lousing).

Selected technical reasons for escapes has been reviewed. The three main topics are auxiliary equipment and the risk of escapes, wear on nets for fish farming and corrosion in steel components.

Use of various auxiliary equipment at fish farms has increased, and several are concerned that this may increase the risk of escapes. If equipment comes into unintended contact with the net, it can lead to holes in the net and escaped fish. Several measures for safe use of auxiliary equipment is suggested.

The most common cause of wear on nets is that the net comes into contact with other equipment at the fish farm. The standard nylon net is vulnerable to wear. Performed laboratory tests show that coatings and other netting materials can help increase resistance against wear.

Nets and lice skirts are mainly made of plastic materials, but there is usually a steel ring in the centre of the net bottom where the ropes are assembled and secured in this ring, and steel components are used in the weight system and in attachment points in the lice skirt. In several cases, it has been found that these steel components have corroded, and severely damaged after just a few months in the sea. Only steel grades with a high content of chromium (such as super duplex) are recommended for unprotected steel components that are permanently submerged or in the splash zone in aquaculture facilities. Low alloy steel can be protected with sacrificial anodes and coatings.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	3
Abstract	4
1 Innledning	6
2 Direkte og tekniske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret i perioden 2014-2018	7
2.1.1 Metode.....	7
2.1.2 Resultater.....	7
3 Utredning av utvalgte årsaker til rømming.....	14
3.1 Bruk av ekstrauststyr.....	14
3.1.1 Hva er ekstrauststyr?.....	14
3.1.2 Hindre rømming på grunn av ekstrauststyr	14
3.1.3 Sikkerhetssoner	16
3.2 Slitasjeskader på not.....	19
3.2.1 Metode.....	19
3.2.2 Resultater og diskusjon.....	21
3.2.3 Konklusjon	22
3.3 Rustdannelse i stålkomponenter	25
3.3.1 Metode.....	27
3.3.2 Resultater og diskusjon.....	27
3.3.3 Oppsummering og konklusjon	29
4 Referanser.....	30

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg: Korrosjon i stålkomponenter i oppdrettsnøter

1 Innledning

For å finne målrettede tiltak som kan hindre rømming av fisk fra oppdrettsanlegg trenger man kunnskap om årsaker til tidligere rømmingshendelser. Denne rapporten presenterer en detaljert oversikt over direkte og tekniske årsaker til rømming av laks og regnbueørret i perioden 2014-2018, i tillegg til utredning av utvalgte årsaker til rømming.

Rapporten er en del av prosjektet "Kunnskap og metoder for å forebygge rømming" (FHF-prosjektnr. 901295), som er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF). Prosjektets hovedmål er å gi oppdatert kunnskap om årsaker til rømming av fisk i perioden 2010-2018, og utvikle metoder for rømmingsforebyggende arbeid i form av gransking og formidling. Prosjektet ble startet i 2016, avsluttes i 2019 og ledes av SINTEF Ocean, med SINTEF Digital og Høgskulen i Volda som forskningspartnere.

2 Direkte og tekniske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret i perioden 2014-2018

Resultatene som presenteres her bygger videre på rapporten *Årsaker til rømming av oppdrettslaks og ørret i perioden 2010-2016* (Føre og Thorvaldsen, 2017) hvor direkte og tekniske årsaker til rømming, og årsakskategorier for tekniske årsaker og omstendigheter ved rømming ble presentert.

Her presenteres funn for 2017 og 2018, og samlet kunnskap for 5-årsperioden 2014-2018. Tilsvarende data for hele perioden fra 2010 til 2018 er gitt i prosjektets faglige sluttrapport (Føre m. fl., 2019).

2.1.1 Metode

Det er utarbeidet en oversikt over direkte og tekniske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret (heretter kalt "fisk") for perioden 2014-2018. Datakilder inkluderer oversikt over rømmingshendelser utarbeidet av Fiskeridirektoratet, rømmingsmeldinger og rapporter fra oppdrettere til Fiskeridirektoratet, samt Fiskeridirektoratets tilsynsrapporter. Omstendigheter ved rømming er presentert for alle rømmingshendelser som involverte 500 eller fler rømt fisk.

2.1.2 Resultater

I 5-årsperioden 2014-2018 ble det registrert 900.000 rømt fisk fra norske oppdrettsanlegg fordelt på 201 bekreftede rømmingshendelser.

Årsakskategorier

Det er identifisert fem hovedkategorier for direkte årsaker til rømming:

- Hull i not på sjøanlegg
- Not under vann på sjøanlegg
- Rømming fra landanlegg
- Rømming ved transport av fisk
- Rømming ved håndtering av fisk

Hull i not er en skade på not som kan føre til at fisk svømmer eller presses ut av nota. *Not under vann* innebærer at øverste del av not har havnet under vannoverflaten slik at fisk har kunnet svømme over nota og ut i frie vannmasser. *Rømming fra landanlegg* (tidl. kalt *lekkasje fra kar*, ref. Føre og Thorvaldsen 2017) er rømming fra kar med fisk på land. *Rømming ved transport av fisk* er rømmingshendelser som inntreffer når fisk flyttes til og/eller fra landanlegg, sjøanlegg og slakteri. *Rømming ved håndtering av fisk* (tidl. kalt *mistet fisk*) er hendelser som skjer under håndtering av fisken, blant annet under lusetelling og annen prøvetaking. I noen få tilfeller har rømmingshendelser hatt en direkte årsak som ikke passer inn i de fem hovedkategoriene over (*annet*). De fire første direkte årsakene er tekniske årsaker, mens rømming ved håndtering av fisk også kan kobles mot direkte menneskelige faktorer. Et eksempel på dette er fisk som glipper ut av hender under håndtering (Thorvaldsen m.fl. 2018).

Årsakskategorier for direkte og tekniske årsaker til rømming og omstendigheter ved rømming er gitt i

Tabell 1 og Tabell 2. Dette er basert på de mest vanlige årsakene til rømming i perioden 2010-2018. Når man bruker disse, må man være åpen for at det kan være andre årsaker enn de som er inkludert i sjekklister, særlig på det mest underliggende nivå som ikke er utfyllende.

Tabell 1: Kategorisering av direkte og tekniske årsaker til rømming

Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	
Hull i not på sjøanlegg	Loddsystem	Kontakt med loddssystem	Bunnringkjetting
			Lodd, bunnring, loddtau
		Håndtering av lodd	Heving av lodd
			Nedsenking av lodd
	Anlegg/hovedkomponenter	Kontakt med fortøyning	
		Kontakt med flytekrage	Sammenbrudd, tap av forankring
			Slitasje
		Not og nothåndtering	Trenging av fisk
	Annet ekstraputstyr		Feil og mangler ved not
		Permanent utstyr	Dødfiskpumpe
		Midlertidig utstyr	Notvasker
	Eksterne faktorer		Kulerekke
Fartøy		Propell	
Predator			
Drivgods			
Not under vann på sjøanlegg	Flytekrage	Brann	
		Tap av forankring	
	Utilstrekkelig innfesting	Utilstrekkelig innfesting	
		For få festepunkt	
	Fartøy	Påkjørsel	
	Nothåndtering	Notskift	
Trenging av fisk			
Rømming fra landanlegg	Åpent avløp	Sikring løsnet	
		Manglende sikring	
	Sortering	Slange løsnet	
	Hull i kar	Sprekk	
Sammenbrudd			
Rømming ved transport av fisk	Transport til brønnbåt	Svikt i slange/slangekobling	
		Oversvømmelse av rist	
		Pumping av fisk på dekk	
	Transport fra brønnbåt	Svikt i slange/slangekobling	
Pumping ut i sjø			
Håndtering av fisk	Avlusing		
	Lusetelling		
	Prøvetaking		
	Sortering		
	Orkast		

Tabell 2: Kategorier for omstendigheter ved rømming

Nivå 1	Nivå 2
Mijø- og værforhold	Uvær
	Sterk strøm
	Mørke
	Mye begroing
	Mye dødfisk
Arbeidsoperasjoner	Avlusing
	Håndtering av lodd og not
	Håndtering av utstyr
	Rengjøring av not
	Notskift
	Lusetelling
Drift og vedlikehold	Normal drift
	Vedlikehold og inspeksjon
Lasting/lossing av fisk	

Direkte årsaker til rømming

Figur 1 viser direkte årsak til rømming av fisk for periodene 2017-2018 og 2014-2018 fordelt på antall registrert rømt fisk og antall hendelser¹. Henholdsvis 74 % og 64 % av all registrert rømt fisk har rømt gjennom hull i not. Og hull i not representerer drøyt en tredjedel av alle rømmingshendelsene. Videre har relativt mye fisk rømt fra sjøanlegg som følge av at øverste del av not har havnet under vann, og fra landanlegg. Rømming under transport og ved håndtering av fisk representerer et betydelig antall hendelser, men kun et begrenset antall rømt fisk. Sammenlignet med perioden 2010-2013 (Føre og Thorvaldsen, 2017) er andelen fisk som har rømt på grunn av not under vann høyere for perioden 2014-2018. Dette sammenfaller med en noe redusert andel rømming gjennom hull i not. Antall rapporterte hendelser som skyldes rømming under håndtering av fisk har økt.

Medvirkende årsaker til rømming

Medvirkende årsaker til rømming på grunn av hull i not er gitt i Figur 2. For perioden 2014-2018 er det hull i not på grunn av konflikt med hanefot, not og nothåndtering, bunnringkjetting, og håndtering av lodd som har ført til rømming av flest fisk. Samlet har disse medvirkende årsakene ført til over halvparten av alle registrerte rømt fisk pga. hull i not, og over halvparten av hendelsene. Til forskjell fra perioden 2010-2013 (Føre og Thorvaldsen, 2017), er dødfiskpumpe ikke lenger blant de største medvirkende årsakene. Videre ser vi at hull i not fra kontakt med hanefot i fortøyning og not og nothåndtering har stått for et større antall rømt fisk og rømmingshendelser i den siste perioden. Kontakt med hanefot har skjedd i forbindelse med dragging av anker og ankerlinebrudd under uvær. Not og nothåndtering inkluderer en stor rømmingshendelse der en senterring i nylon sviktet (se avsnitt 3.3) og flere tilfeller med hull i not som følge av trenging med kulerekke.

Det er et betydelig antall hendelser hvor medvirkende årsak til hull i not er uavklart. Dette inkluderer en større hendelse i 2018 og 16 mindre hendelser i perioden 2014-2018.

I perioden 2014-2018 finner vi at konflikt med eller skade på flytekragen har vært den største medvirkende årsaken til at not har havnet under vann (Figur 3). Skadene har skyltes brann og skader på forankring, samt krenkning av en ny type oppdrettsanlegg.

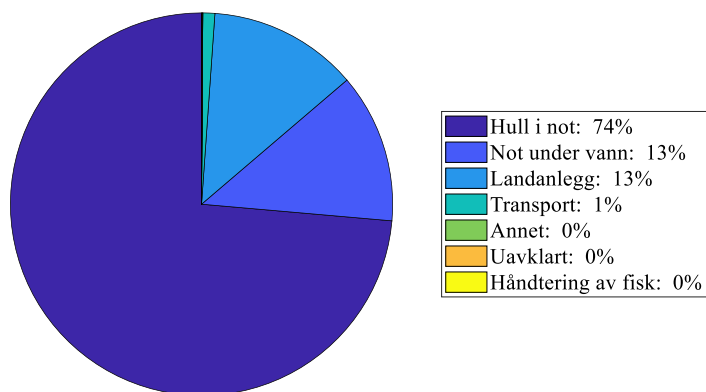
Rømming fra landanlegg har særlig vært knyttet til åpne avløp, som følge av sviktende eller manglende sikring, men også kollaps eller hull i kar. Rømming ved transport har ofte skjedd som følge av hull i slange eller svikt i rist.

Omstendigheter ved rømming

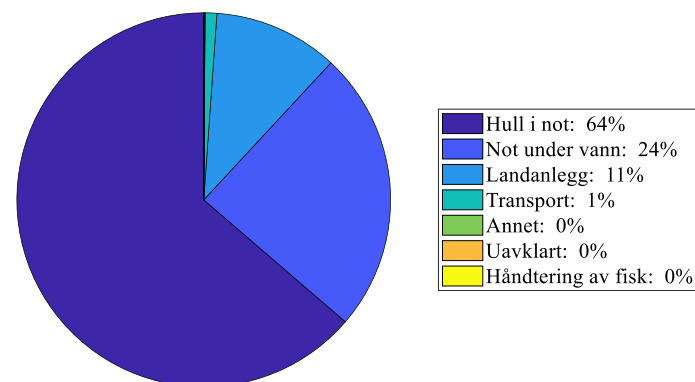
Figur 3 viser under hvilke omstendigheter de store rømmingene (500 fisk eller mer) har inntruffet i perioden 2014-2018. De største og fleste rømmingene skjedde uten noen spesiell omstendighet (normal drift), i forbindelse med uvær eller ved håndtering av lodd og nøter. Totalt representerer disse kategoriene 82 % av all rømt fisk og 74 % av de store hendelser.

¹ I Figur 1, Figur 2 og Figur 3 er rekkefølgen på kategoriene lik som for hele perioden 2010-2018 presentert i Føre m fl, 2019, hvor kategoriene er gitt fra størst til minst ut fra antall rømt fisk de representerer.

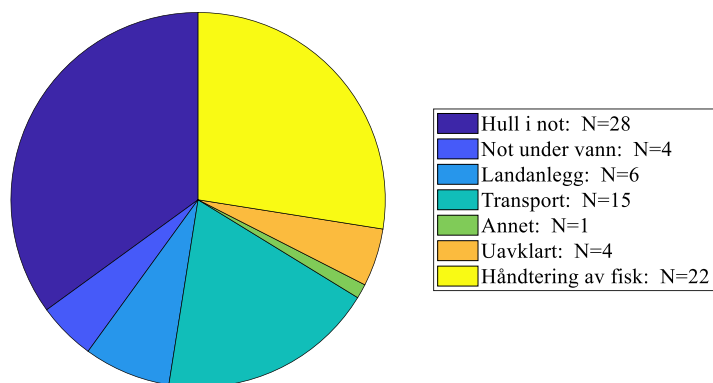
2017-2018, direkte årsak fordelt på antall rømt fisk



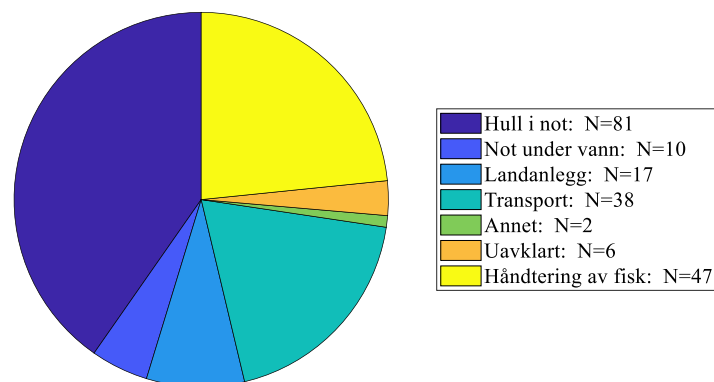
2014-2018, direkte årsak fordelt på antall rømt fisk



2017-2018, direkte årsak fordelt på antall hendelser (N)

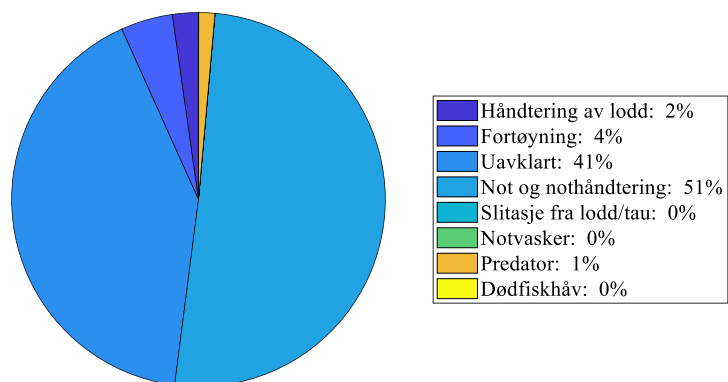


2014-2018, direkte årsak fordelt på antall hendelser (N)

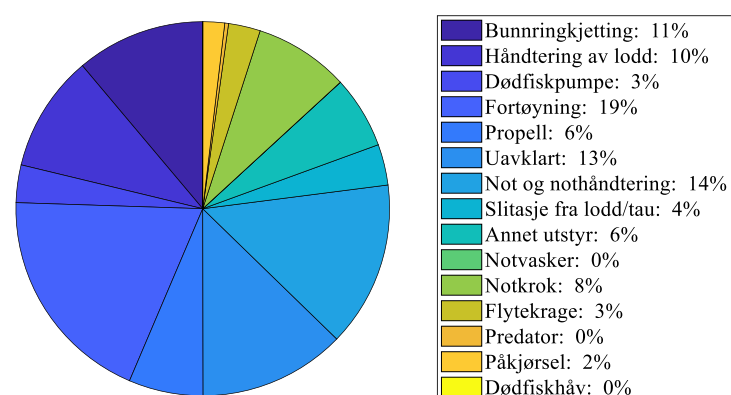


Figur 1: Direkte årsak til rømming for perioden 2017-2018 (venstre, totalt 182.000 fisk fordelt på 80 hendelser) og 2014-2018 (høyre, totalt 900.000 fisk fordelt på 201 hendelser).

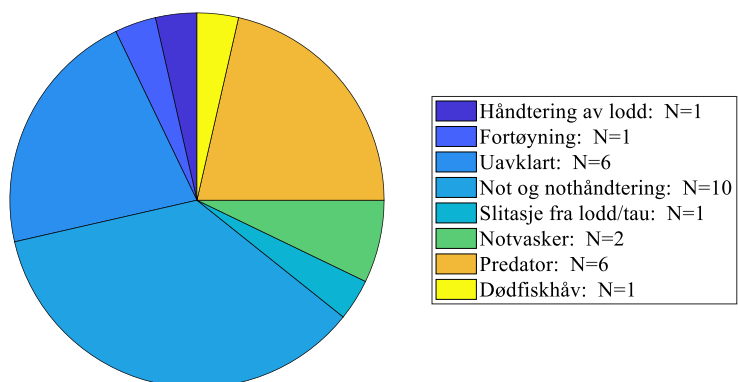
2017-2018, medvirkende årsak til hull i not fordelt på antall rømt fisk



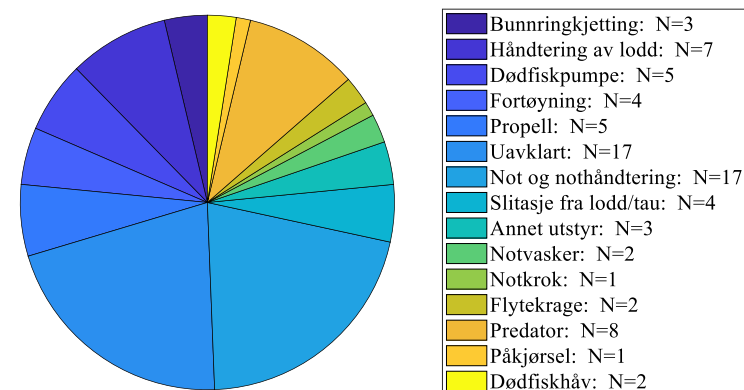
2014-2018, medvirkende årsak til hull i not fordelt på antall rømt fisk



2017-2018, medvirkende årsak til hull i not fordelt på antall hendelser (N)

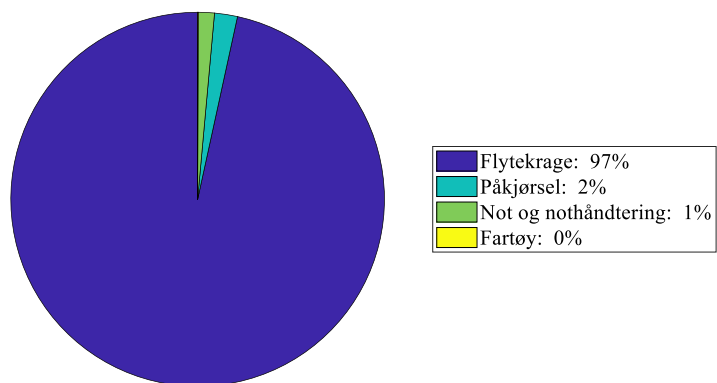


2014-2018, medvirkende årsak til hull i not fordelt på antall hendelser (N)

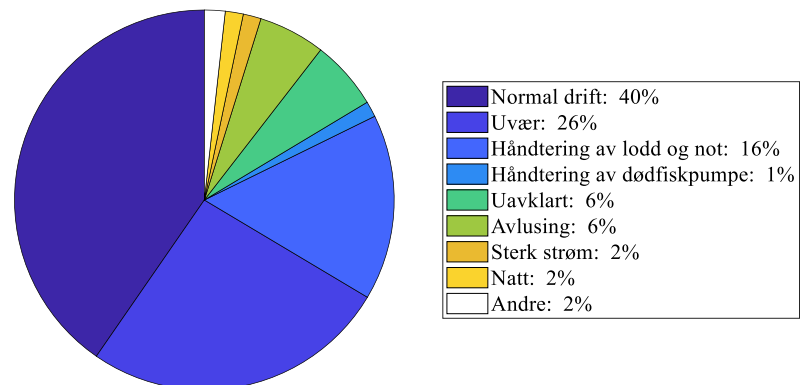


Figur 2: Medvirkende årsak til rømming gjennom hull i not for perioden 2017-2018 (venstre, totalt 134.000 fisk fordelt på 28 hendelser) og 2014-2018 (høyre, totalt 573.000 fisk fordelt på 81 hendelser).

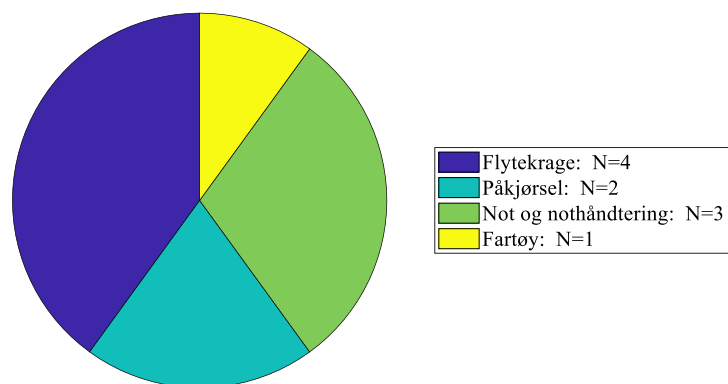
2017-2018, medvirkende årsak til not under vann fordelt på antall rømt fisk



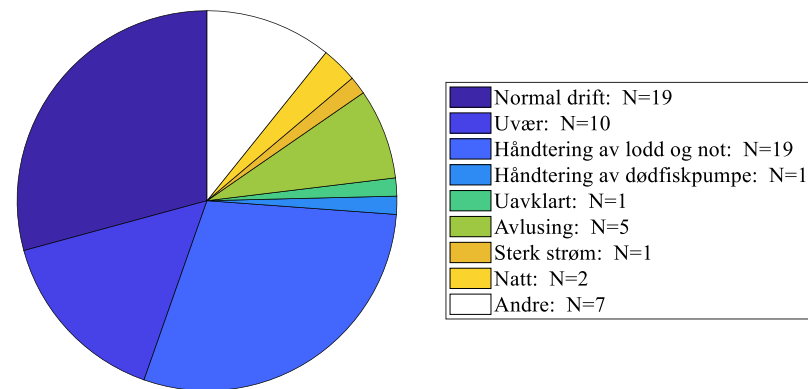
2014-2018, omstendighet ved rømming fordelt på antall rømt fisk



2017-2018, medvirkende årsak til not under vann fordelt på antall rømt fisk



2014-2018, omstendighet ved rømming fordelt på antall rømt fisk



Figur 3: Medvirkende årsak til rømming på grunn av not under vann for perioden 2017-2018 (venstre, totalt 220.000 fisk fordelt på 10 hendelser) og omstendigheter ved rømming for hendelser med 500 eller flere rømt fisk i perioden 2014-2018 (høyre, totalt 894.000 fisk fordelt på 65 hendelser).

3 Utredning av utvalgte årsaker til rømming

For å øke kunnskapen om tekniske årsaker til rømming og ikke minst hvordan man kan forebygge rømming, har man utredet noen utvalgte tekniske problemstillinger. Disse er bruk av ekstrauststyr (inkludert lodd), slitasjeskader på not og korrosjon i stålkomponenter. Arbeid og resultater presenteres i de følgende avsnittene.

3.1 Bruk av ekstrauststyr

Bruk av ekstrauststyr i og rundt not har flere ganger vært medvirkende årsak til rømming. Loddssystem og annet permanent og midlertidig utstyr har vært involvert i mange rømmingshendelser og bekymringsmeldinger, og bidro til halvparten av den rømte fisken i perioden 2010-2018. Stadig mer utstyr brukes i eller ved nota. Dersom utstyr kommer i kontakt med nota, kan det føre til hull i not og rømt fisk.

3.1.1 Hva er ekstrauststyr?

Et oppdrettsanlegg består av flytekrage, not og fortøyning (sertifiserte hovedkomponenter). I tillegg installeres forskjellige typer permanent ekstrauststyr som for eksempel lodd, dødfiskpumpe eller håv, luseskjørt, utstyr til rensefisk, fôringsutstyr og kamera. Midlertidig ekstrauststyr, som notvasker, kulerekke, orkastnot og presenning brukes under operasjoner på oppdrettsanlegg.

Det finnes ingen formell definisjon på hva som skal defineres som ekstrauststyr, selv om begrepet brukes i for eksempel NS 9415. Fiskeridirektoratet har kommet med presiseringer om at "alt ekstrauststyr som brukes inne i not, og eller i umiddelbar nærhet til not/flytekrage er å betrakte som ekstrauststyr etter NYTEK- forskriften", og at "Ekstrauststyr som representerer rømmingsfare, skal ha brukerhåndbok og montasjebeskrivelse" (Fiskeridirektorater, 2015).

3.1.2 Hindre rømming på grunn av ekstrauststyr

Et arbeidsmøte om ekstrauststyr og rømming ble arrangert hos SINTEF Ocean 3.mai 2018. Deltagerne var oppdrettere, utstysleverandører samt representanter fra fiskeridirektoratet, FHF, Sjømat Norge, i tillegg til forskere fra SINTEF Ocean.

Målet med arbeidsmøtet var å utveksle erfaringer om utfordringer med ekstrauststyr og gode tiltak for å hindre skader på not og anlegg. Deltagerne ble etter hvert delt i grupper som fikk i oppgave å diskutere viktige utfordringer i forbindelse med ekstrauststyr;

- Hvordan hindre skader på not fra ekstrauststyr?
- Hva er viktig i utforming av utstyr, brukerhåndbøker, montering og risikovurderinger?

I det følgende oppsummeres viktige innspill og tiltak som kom fram under arbeidsmøtet:

Utforming av utstyr

- Utstyr på oppdrettsanlegg må være brukervennlig og enkelt å vedlikeholde.
- Utstyr bør ha en utforming som reduserer risiko for skader på not dersom det kommer i kontakt med nota. Lodd og haneføtter som har kommet i utilsiktet kontakt med nota er årsaken til en stor andel av den rømte fisken de siste årene, og i tillegg har utstyr som er i direkte kontakt med not, for eksempel dødfiskpumpe/håv, notvasker og kulerekke, ført til rømminger. Inspiser nota ofte og pass på at utstyret ikke har skarpe kanter eller begroing som kan skade nota.
- Utstyrprodusenter må tenke helhetlig design, og løfte blikket for å få det "store bildet". Hvordan kan utforming av ekstraustyret påvirke anlegget og fare for rømming? Sluttbrukeren må involveres i designprosessen.
- Brukerhåndbøker må være lette å forstå og bruke.
 - Det er ønskelig med en oppsummering av viktig innhold, og at viktig informasjon kommer tidlig i brukerhåndboka.
 - Apper, instruksjonsvideoer og sjekklistes som følger med utstyr kan være nyttige og praktiske hjelpemidler for oppdretter.
- Oppdrettere må velge utstyr av god kvalitet med gjennomtenkte og testede løsninger.
- Løst utstyr som benyttes i og rundt merd bør holde seg flytende i vann. Faller dette ned i nota kan det bidra til hull.
- Utforming av utstyr og festepunkt mellom utstyr kan med fordel bli mer standardisert.

Plassering og håndtering av utstyr

- Plasser ekstraustyr der det ikke kan komme i kontakt med nota. Ta hensyn til at både utstyr og not kan bevege seg mye ved kraftig strøm og hardt vær.
- Sørg for god innfesting av utstyr, at plassering av utstyr er i henhold til anbefalinger fra utstyrprodusenter og at forskjellig utstyr samhandler på en god måte. Etabler samarbeid mellom oppdretter og utstyrslleverandører for å finne gode, trygge løsninger.
- Pass på at håndtering av utstyr skjer i god avstand fra nota.
- Sørg for at ansatte får god opplæring i bruk av utstyr og får anledning til å trene på å bruke det. Kunnskap om ekstraustyr inkludert bruk, ettersyn og vedlikehold er viktig for å redusere risiko for rømming.

Risikovurdering og planlegging

- Risikovurdering av ekstraustyr og operasjoner må ta hensyn til forhold ved den aktuelle lokaliteten.
- Planlegg operasjoner og fordel ansvar og arbeidsoppgaver. Det blir stadig mer spesialiserte operasjoner, fartøy blir dedikert til type operasjon, og de ansatte får mer spesialisert kompetanse og kunnskap om bruk av utstyr. Dette kan imidlertid også føre med seg at det blir utfordrende å se helheten. Flere spesialister kan medføre utfordringer rundt kommunikasjon, rolleavklaringer, ansvarsforhold og sikkerhet.

Annet

- Not og **dødfisksystem** må passe sammen. Ved bruk av dødfiskpumpe kan en løsning være å felle inn en lomme i bunnen av nota der oppsamleren ligger mer stabilt. Det er ellers viktig at festetauene til dødfiskpumpe ikke er for stramme, slik at pumpa kan bevege seg med notbunnen. På lokaliteter med mer værharde forhold kan det være utfordrende å bruke dødfiskpumpe, og det kan være til hjelp å knyte pumpa fast i bunnen. Sørg for at slangeklemmer ikke kan gi gnag på not, velg rett type og dekk de til med teip. Dødfiskhåv bør utformes slik at knuter og tau ikke blir liggende mellom ring og not og skape slitasje.
- **Notvaskere** kan medføre økt slitasje og dermed økt fare for hull og rømming. Høy frekvens på vasking pga behovet for rene nøter ved bruk av rensefisk, samt bruk av **luseskjørt**, gir slitasje på nøter. Manglende kunnskap om produktspesifikke egenskaper kan medføre feilbruk av vaskeutstyr og luseskjørt. Slik informasjon burde være en del av brukerhåndbøkene.

3.1.3 Sikkerhetssoner

I dette avsnittet ser vi nærmere på begrepene risikobasert styring, barrierer og sikkerhetssoner ved not.

Risikobasert styring og sikkerhetssoner

Risikobasert styring har vært benyttet i offshore petroleumsindustri siden innføringen av regelverket for helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten (HMS-regelverket) i 2001. Risikobasert styring innebærer at forskriftene stiller funksjonskrav, men at selskapene selv skal formulere konkrete krav og akseptkriterier for risiko for mennesker, miljø og materielle verdier. Risikobasert styring er senere også tatt i bruk i flere samfunnssektorer for styring av helse, miljø og sikkerhet. (Vinnem, 2015). Risikobasert styring innebærer i praksis at man fokuserer ressursene der risikoen anses for å være størst, og der man kan forvente størst virkning av tiltak.

Oppdrettere kan innføre barrierer for å redusere risiko for rømming. Barrierer kan defineres som tekniske, operasjonelle og organisatoriske elementer som enkeltvis eller til sammen skal redusere muligheten for at konkrete feil, fare- og ulykkessituasjoner inntreffer, eller som begrenser eller forhindrer skader/ulempen (Petroleumstilsynet, 2019).

Risikoklassifiserte sikkerhetssoner kan utgjøre en barriere. En sikkerhetssone kan være et fysisk avgrenset område, men det kan også være områder hvor ulike tekniske, operasjonelle og/eller organisatoriske tiltak må utføres. Ulike sikkerhetssoneklassifiseringer (grønn, gul eller rød) brukes for å angi risiko i en gitt sone. Figur 4 viser eksempel på bruk av risikoklassifiserte sikkerhetssoner i forbindelse med av-/påstigning av helikopter.

Sikkerhetssoner ved not

Bruk av risikoklassifiserte sikkerhetssoner for permanent og midlertidig ekstrautstyr i og rundt not kan bidra til å hindre hull i not, og dermed rømming. Figur 5 viser en skisse av sikkerhetssoner for plassering av ekstrautstyr ved not. Grønn sone er områder der det er lite trolig at nota vil befinne seg. Faren for skader på not ved plassering av utstyr i denne sonen regnes som svært liten så lenge utstyret ikke løsner eller forflytter seg til en annen sone. Gul sone representerer områder der nota kan befinne seg under gitte forhold, spesielt deformasjon av nota i strøm vil ha betydning for denne sonen. Soneinndelingen må ta hensyn til at både utstyr og not kan bevege seg mye ved kraftig strøm og hardt vær. Rød sone er i umiddelbar nærhet av notveggen hvor det er sannsynlig at det vil oppstå kontakt mellom utstyr og not.

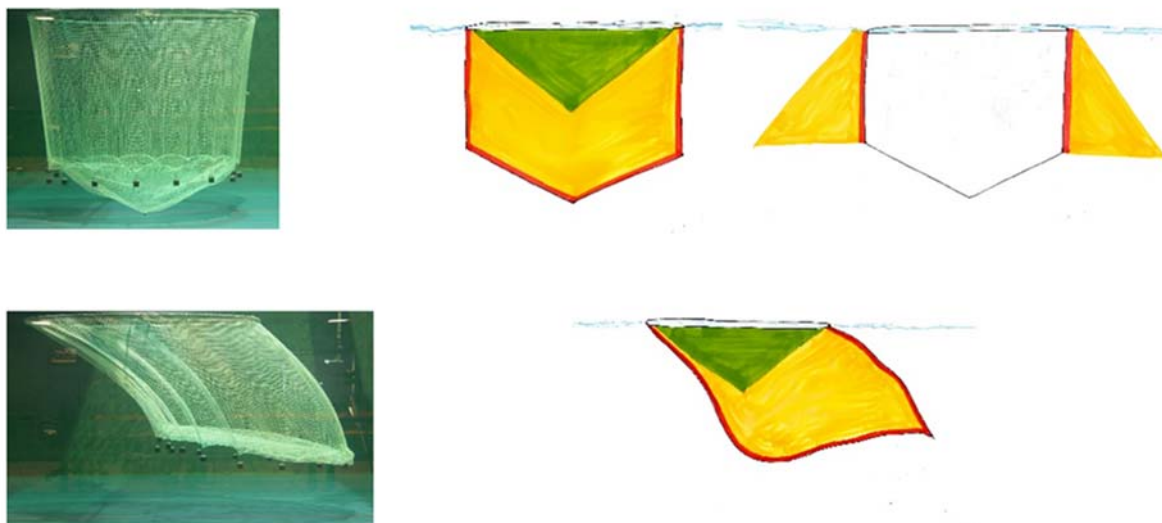
Ser vi videre på konseptet for sikkerhetssoner ved not, kan ulike soner (grønn/gul/rød) ha ulike krav til hvilke tiltak som bør utføres. Grønn sone anses som sikker forutsatt at standard prosedyrer følges. I gul sone kan det være akseptabelt å plassere utstyr under gitte forutsetninger, f.eks. med spesifikke krav til vær- og miljøforhold (inkludert strøm), inspeksjon og vedlikehold. I rød sone bør man vurdere ytterligere risikoreducerende tiltak, for eksempel forsterkning av not som bruk av dobbelt notlin ved dødfiskpumpe.

Figur 6 viser identifiserte årsaker til hull i not i perioden 2010-2016 knyttet opp mot den foreslåtte sikkerhetssoneinndelingen. Vi ser her at minst 80 % av fisken som har rømt gjennom hull i not kan relateres til utstyr i gul sone. Videre ser vi at utstyr i rød sone utgjør 15% av hendelsene. I tillegg er det et eksempel på at også utstyr i grønn sone kan føre til rømming: En større rømmingshendelse skyldtes en fôrflåte som løsnet, forflyttet seg inn i anlegget og lagde hull i not.

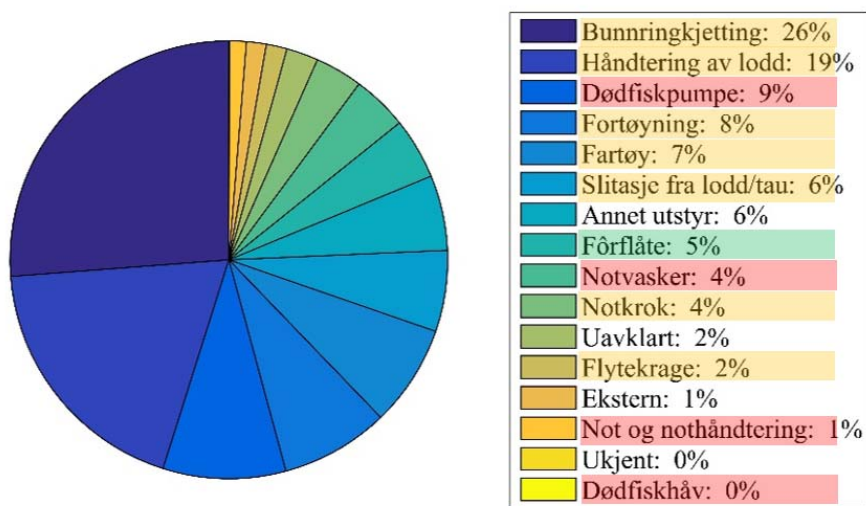
Sikkerhetssonekonseptet kan også være et nyttig hjelpemiddel i forbindelse med ulike operasjoner i eller nær not og for fartøysoperasjoner i anlegget. For eksempel ved håndtering av lodd, der lodd kan forflyttes fra gul til rød sone og i verste fall rive hull i nota.



Figur 4: Eksempel på bruk av sikkerhetssoner (Pterodactyl Helicopters Pty. Ltd., <https://pterodactylhelicopters.com.au/>)



Figur 5: Forslag til risikoklassifiserte sikkerhetssoner ved not. Øverst: Not og sikkerhetssoner i stille vann. Nederst: Not som deformeres i strøm. (Ill.: Heidi Moe Føre og Cecilie Salomonsen, SINTEF Ocean)



Figur 6: Medvirkende årsaker til hull i not i perioden 2010-2016 og sikkerhetssoner (rød, gul, grønn)

3.2 Slitasjeskader på not

Hull i not skyldes hovedsakelig slitasjeskader eller riveskader i notlinet. Den vanligste årsaken til slitasje er at nota kommer i kontakt med annet utstyr på oppdrettsanlegget. Standard nylon notlin er sårbart for slitasje (Føre og Gaarder, 2018). Riveskader skjer som følge av strekkrefter i notlinet som overstiger kapasiteten til notlinet (for eksempel ved håndtering av not). Slitasjeskader som har ført til hull i not og rømming inkluderer slitasje fra bunnringkjetting, loddtau og lodd og haneføtter, i tillegg til slitasje fra dødfisksystem, notvaskere og annet ekstrautstyr. Notlinet er ekstra utsatt for slitasje hvis det er stramt, for eksempel i nærheten av tau, og hvis det kommer i kontakt med ru overflater, spesielt av metall (Føre og Gaarder, 2018).

Utstyr for slitasjetesting av notlin har ikke tidligere vært tilgjengelig, og det stilles ingen direkte krav om slitasjetesting av notlin i teknisk standard NS9415. De siste årene har slikt utstyr blitt utviklet i et samarbeidsprosjekt mellom notprodusenter, forskere og produsent av testutstyr (Føre og Gaarder, 2018). I dette prosjektet har dette utstyret blitt anvendt med mål om å starte arbeidet med å indentifisere tiltak som kan gi sterkere notlin som tåler mer slitasje. Det er gjennomført tester for å undersøke om overflatebehandling (impregnering) og/eller andre notlinmaterialer (Dyneema) kan bidra til å øke notlinet sin motstand mot slitasje.

3.2.1 Metode

Det er utviklet utstyr for slitasjetesting av notlin (MILA 200 WET, produseres av Buraschi Italia, Føre og Gaarder, 2018). Dette består av en roterende trommel med finkornet slipepapir og et vannbad slik at slitasjetesten gjennomføres under vann (Figur 7). I disse testene er det benyttet slipepapir med korn av silisiumkarbid og en korning på P1200 (produkt navn "Matador 991A"). Trommelen hadde en omkrets på 65 cm.

Det ble testet i alt fire typer notlin, alle med tre forskjellige kommersielle impregnerings-produkter. Notlinet som ble testet var produsert av Nylon eller Dyneema fiber (Raschel-strikket) og hadde forskjellig trådnummer. Trådnummer sier noe om hvor mye fiber som er benyttet i hver tråd, og er definert i en tidligere bransjestandard. Økt trådnummer gir vanligvis økt strekkstyrke (maskestyrke).

Testet notlin (kortnavn, materiale og trådnummer):

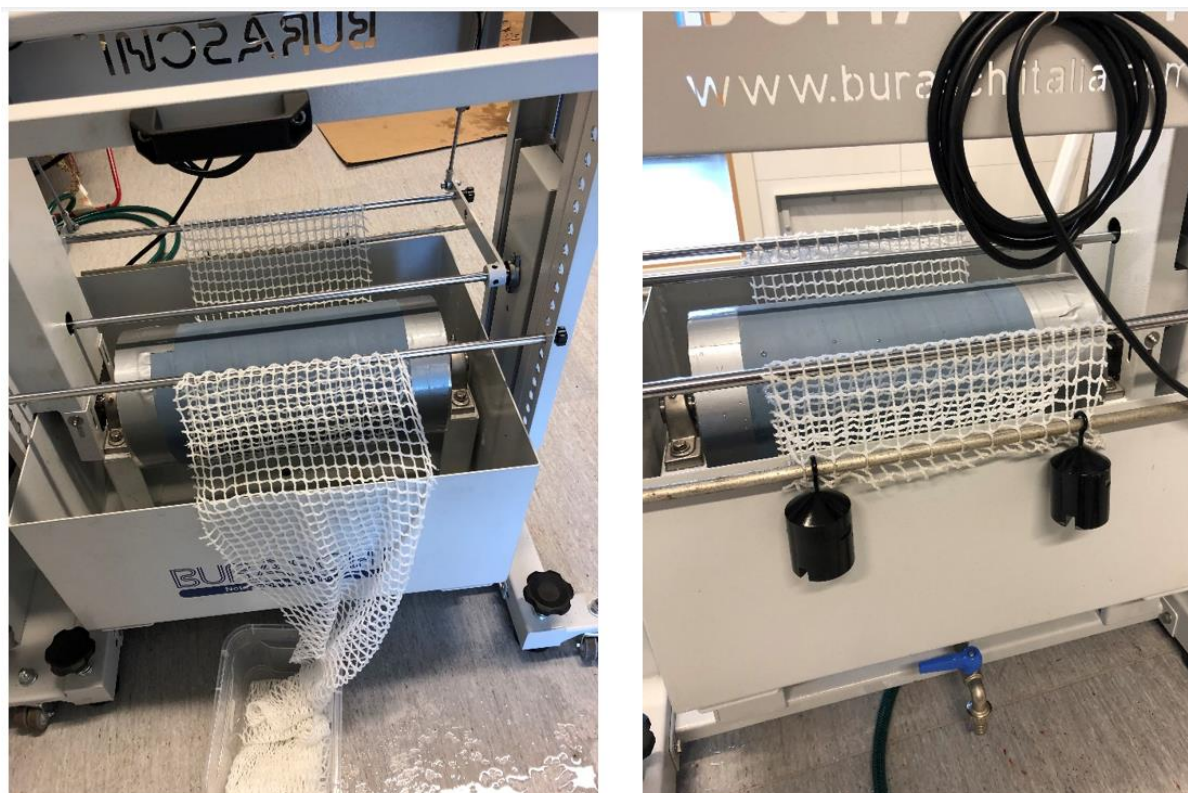
N24	Nylon, tråd nr 24
N46	Nylon, tråd nr 46
D20	Dyneema, tråd nr 20
D24	Dyneema, tråd nr 24

Alle fire notlin-typene ble testet ubehandlet / uten impregnering (U), og med vanlig kobberimpregnering fra to forskjellige produsenter (IK1 og IK2), i tillegg til en impregnering uten kobber (I3). Prøvestykkene benevnes i det følgende som kortnavn_impregnering, for eksempel N24_U.

Notlinet ble lagt i vann før testing og det ble skjært ut prøvestykker med en bredde på 22-30 cm. Et prøvestykke ble så festet i en fast innspent stang på den ene siden, ved å smette stangen inn og ut av maskene over bredden av prøvestykket (Figur 7). Notlinet ble så lagt under trommelen og over en stang på baksiden. Denne frie enden av prøvestykket ble så belastet med vekter tilsvarende ca 100 gram per stolpe i notlinet, inkludert en stang som ble festet i notlinet for å sikre jevn fordeling av vekten. Notlinet ble montert med "rettsiden" inn mot trommelen, definert som siden med "V-mønster" (Føre og Gaarder, 2018).

Slitasjetesten ble gjennomført ved at trommelen ble rotert med laveste rotasjonshastighet (oppgitt som 5,6 m/min) med retning fra den fast innspente enden til den nedloddede enden av prøvestykket. Alle notlinprøvene ble utsatt for 20 rotasjoner med trommelen dekt i slipepapir. Antall rotasjoner ble valgt slik at styrkereduksjonen som følge av slitasje var under 50 % for de antatt svakeste notlinprøvene. Erfaring tilsier at dersom det påføres en større grad av slitasje vil man få stor variasjon i reststyrke og utfordringer med å kvantifisere slitasjen.

Etter slitasjetesten ble maskestyrken til området med mest slitasje målt, dvs fra den første masken som var i kontakt med trommelen ved starten av testområdet og over ca 10 cm av lengden til prøvestykket. I praksis ga dette fra 6 til 12 maskestyrketester for hvert notlinpanel. Det ble kjørt to slitasjetester for hver kombinasjon av notlin og impregnering, samt for notlin uten impregnering. Sandpapiret ble skiftet regelmessig (hver dag). Det ble gjennomført opptil 8 slitasjetester før bytte av sandpapir.



Figur 7: Utstyr for slitasjetesting. Notlinprøven festes til en stang i den ene enden (venstre bilde), den andre enden legges over en stang og påføres vekt (stang og lodd).

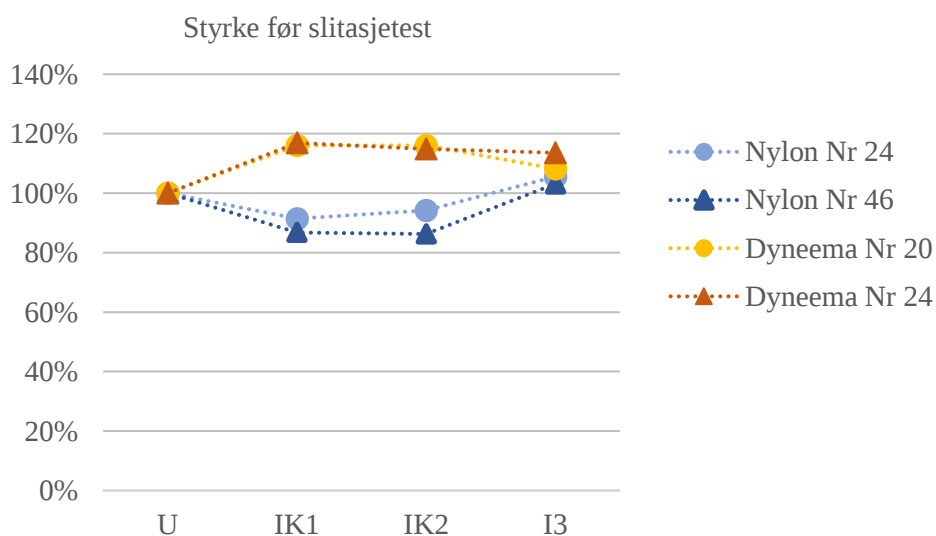
3.2.2 Resultater og diskusjon

Det ble gjennomført referanseprøver for alle prøvestykkene, det vil si at gjennomsnittlig styrke ble funnet for alle prøvestykkene før det ble utført slitasjetesting (ihht ISO1806). Resultatene fra dette er gitt i Figur 8 og Figur 9. Figur 8 viser styrken til impregnert notlin i forhold til ubehandlet notlin (f.eks N24_IK1/N24_U). Begge typer Nylon notlin får redusert styrke etter behandling med kobberimpregnering, noe som sammenfaller med tidligere erfaringer (Moe m. fl., 2007). Dette skyldes trolig at kobberoksidpartikler i impregneringen gir slitasje på notlinet når det strekkes i en strekktest (Moe Føre m fl., 2019). Styrken til nylon notlin med kobberimpregnering var på mellom 86 % og 94 % av styrken til ubehandlet notlin, mens notlin med impregnering uten kobber ikke viser signifikant endring i styrke.

Begge typer Dyneema notlin viser økt styrke etter behandling med impregnering (8 % -17 %). Årsaken til dette er ikke kjent, men impregneringen påvirker tydeligvis de lastbærende egenskapene til notlinet positivt. Det er også trolig at Dyneema i mindre grad enn nylon blir påvirket av kobberoksidpartikler i impregneringen. Dyneema er kjent for å ha relativt høy motstand mot slitasje.

Etter slitasjetest viste flere prøvestykker tegn til slitasje (Figur 10). Maskestyrketester ble gjennomført og resultatene er gitt i Figur 9 for de fire forskjellige notlinene med og uten impregnering. Maskestyrkemålingene etter slitasjetestene viser at variasjonen i maskestyrke innad i samme prøvestykke har økt (standardavvik er vist i Figur 9). I praksis betyr dette at forskjellen i gjennomsnittlig styrke før og etter slitasjetest må være på et visst nivå før man kan si om styrken har endret seg signifikant som følge av slitasjetesten. En enkel vurdering av dette har blitt gjennomført ved å finne konfidensintervall for hver test, og det antas at forskjellen mellom to resultater er signifikant forskjellig dersom konfidensintervallene ikke overlapper hverandre i et søylediagram.

Figur 9 og Figur 11 viser at stort sett alle prøvestykkene med nylon notlin fikk slitasjeskader i form av redusert maskestyrke (opptil 40 %), med unntak av prøvestykke N46_IK2. Det er ikke identifisert noen årsak til at N46_IK2 ikke viste tegn til slitasje i form av redusert maskestyrke. Dyneema notlin viste generelt lite tegn til slitasje, med unntak av ubehandlet notlin med tynneste tråd (D20_U) som viste en reduksjon i styrke på 11 %, og D24 med kobberimpregnering som viste 6-9 % reduksjon i styrke etter slitasjetest.



Figur 8: Styrke til notlin med og uten impregnering (uten slitasje), gitt i prosent av styrke for samme type notlin uten impregnering.

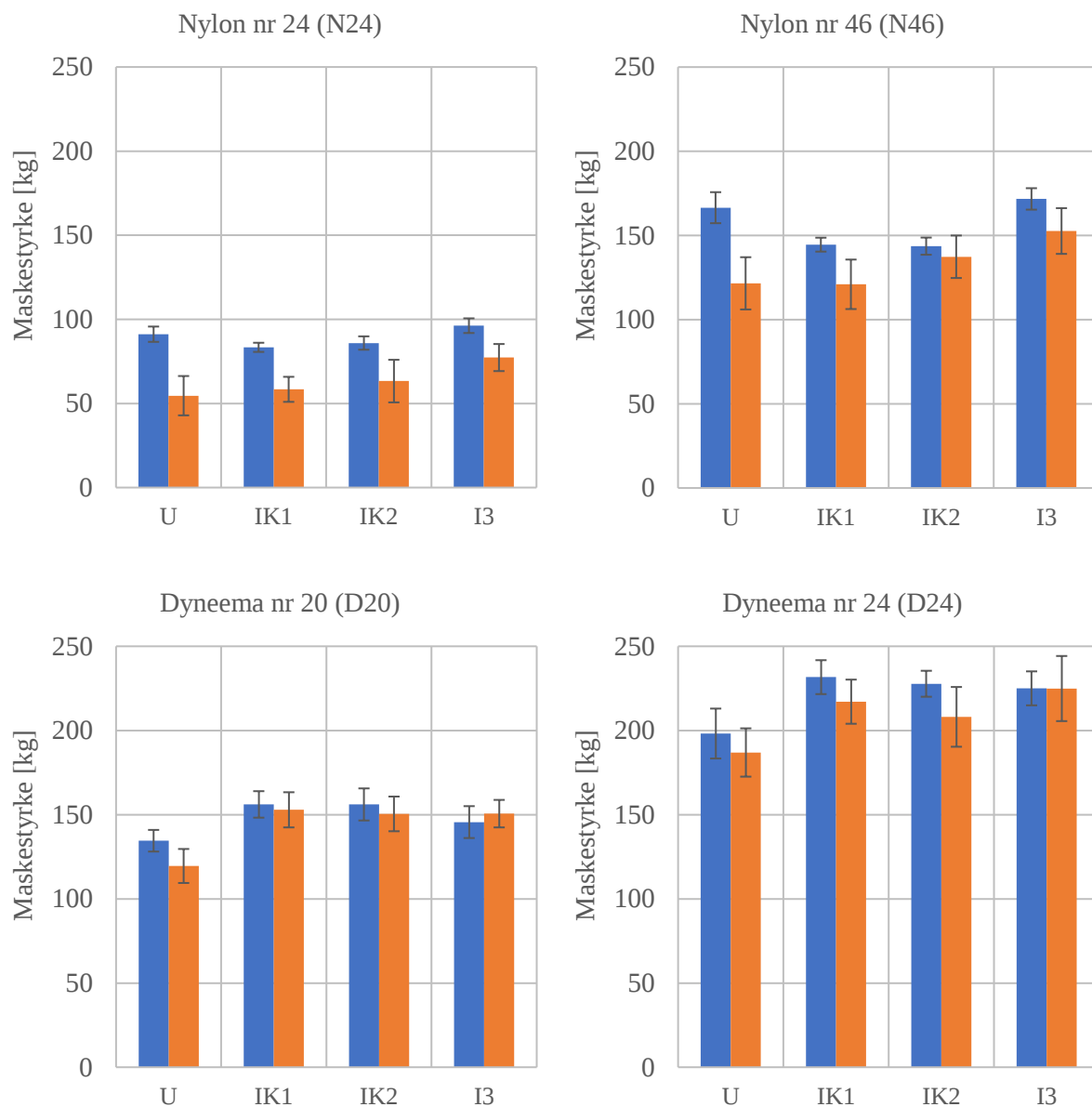
Mulige feilkilder

Det er noe usikkerhet knyttet til om enkelte tester kan være påvirket av slitasje på sandpapir. Ideelt sett burde sandpapir vært skiftet før hver test, men dette var ikke praktisk mulig da det var en krevende prosess å kle trommelen med sandpapir på en vellykket måte, samt at det var begrenset hvor mye sandpapir som var tilgjengelig. Det var tydelig at impregneringsrester festet seg til papiret. Det var ingen tydelige tegn til slitasje på papiret.

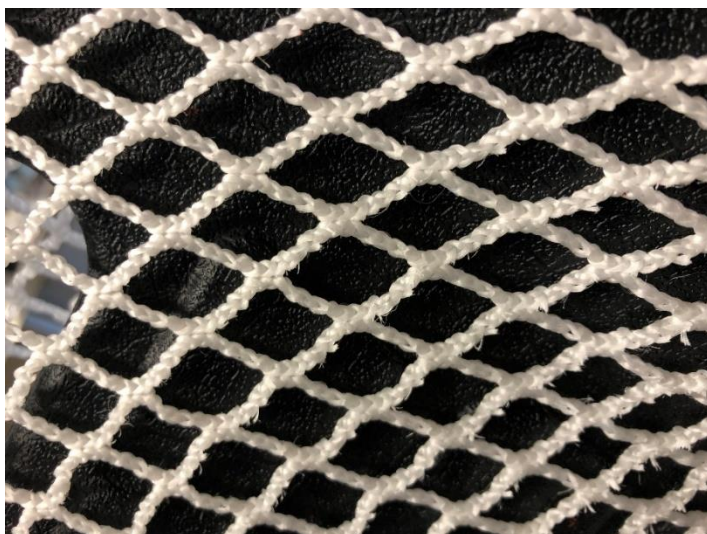
Disse testene involverer to replikater og totalt 6-12 maskestyrketester. Det hadde vært en fordel å ha flere replikater og minst 20 maskestyrketester for hver kombinasjon av notlin og impregnering. Dette ville gitt økt kvalitet på datamaterialet.

3.2.3 Konklusjon

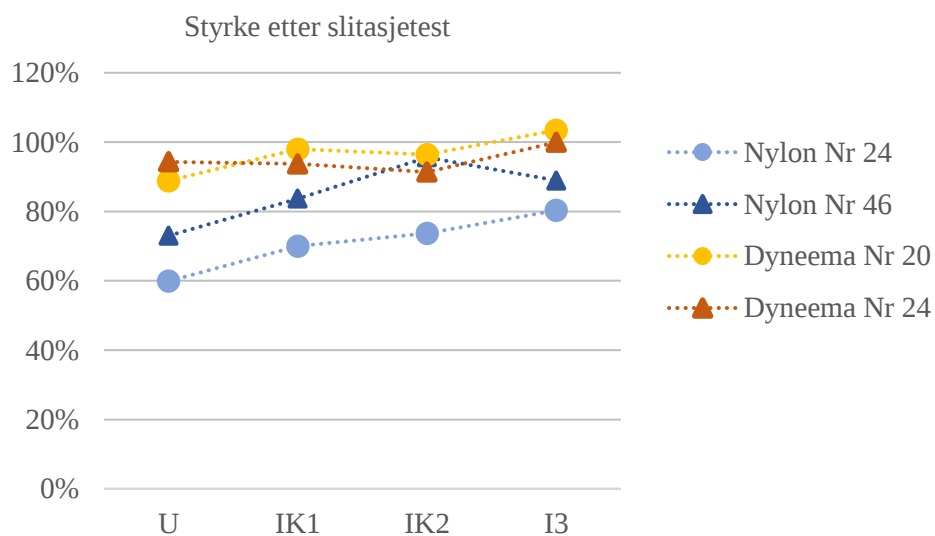
Gjennomførte laboratorietester viser at not-impregnering og andre notlinmaterialer kan bidra til å øke notlinet sin motstand mot slitasje.



Figur 9: Maskestyrke til notlin før (blå søyle) og etter (oransje søyle) slitasjetest. Gitt som gjennomsnittlig verdi med standardavvik for ubehandlet (U) notlin, notlin med to typer vanlig kobberimpregnering (IK1 og IK2) og notlin med impregnering uten kobber (I3).



Figur 10: Slitasje på notlin etter slitasjetest. Området øver til venstre i bildet har ikke hatt kontakt med slitasjetrommel.



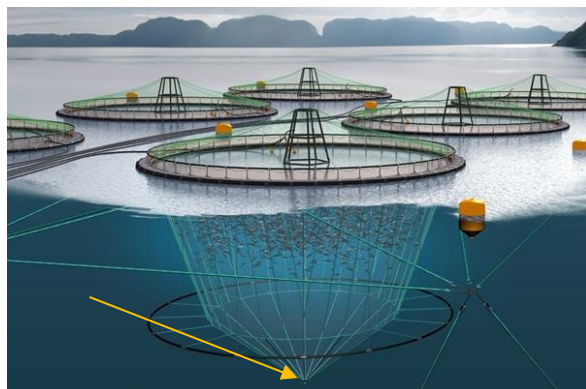
Figur 11: Gjennomsnittlig styrke til notlin med og uten impregnering etter slitasjetest, gitt i prosent av styrke for samme type notlin og impregnering uten slitasje.

3.3 Rustdannelse i stålkomponenter

Nøter og luseskjørt er hovedsakelig lagd av plastmaterialer, men det er vanligvis en stålring i senter av notbunnen der tauene samles og festes i denne ringen (Figur 12), og stålkomponenter er i bruk i loddssystem og i festepunkt i luseskjørt. I flere tilfeller har man erfart at disse stålkomponentene har rustet (korrodert), og det har oppstått brudd etter kun få måneder i sjøen (Figur 13, Figur 14 og Figur 15). Dette til tross for at det er benyttet rustfritt duplexstål med høy styrke. Dette har medført økt risiko for rømming, og har vært medvirkende årsak til rømmingshendelser.

Korrosjon i senterringer har i noen tilfeller blitt opplevd som et tiltagende problem, men det varierer hvor stort problem dette er: Ved bruk av samme type senterring opplever man alt fra ingen synlig korrosjon i løpet av hele levetiden, til ringe som er ødelagt av korrosjon i løpet av få måneder. Det som kompliserer situasjonen er at det er vanskelig å føre tilsyn med disse ringene, da de er dypt nede i vannet og gjerne dekket av en dødfiskoppsamler.

Som følge av dette har flere stålkomponenter blitt erstattet med løsninger i andre materialer, men man har ikke alltid funnet løsninger med tilstrekkelig styrke. Derfor er det gjennomført et arbeid med å kartlegge og beskrive korrosjon i stålkomponenter og foreslå tiltak for å redusere dette problemet.



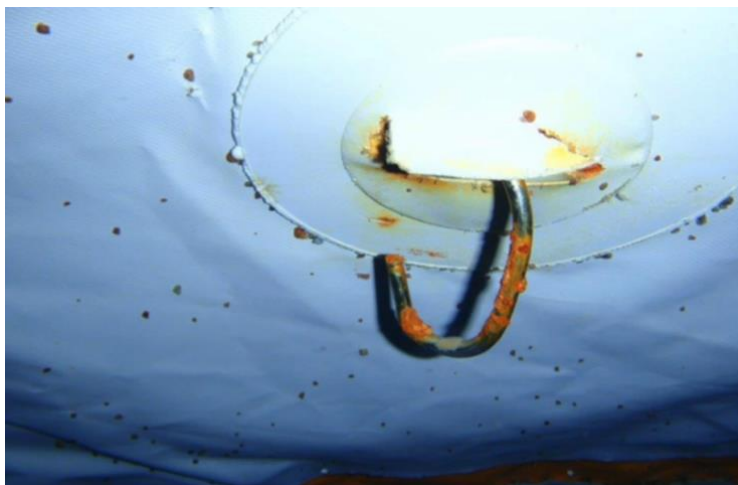
Figur 12: Illustrasjon av oppdrettsanlegg (Egersundgroup.no). Senterringen finner man midt i bunnen av nota der alle krysstauene møtes. Plasseringen er indikert med gul pil.



Figur 13: Senterringer i not med korrosjonsskader.



Figur 14: Senterringer og ringer til loddssystem med korrosjonsskader.



Figur 15: Korrosjonsskader på festepunkt i luseskjørt.

3.3.1 Metode

Det ble formulert følgende forskningsspørsmål:

1. Hvorfor ruster stålkomponenter i rustfritt duplexstål? Og hvorfor observerer man alvorlige lokale skader i form av hull og brudd mens andre deler av komponenten kan se uskadet ut?
2. Hva kan bidra til økt rustdannelse?
 - a. Kan overledning av strøm fra elektrisk anlegg akselerere korrosjon?
 - b. Kan miljøforhold påvirke korrosjon?
 - c. Kan kobber i impregnering påvirke korrosjon?
 - d. Kan desinfisering med pereddiksyre føre til korrosjon?
3. Hvordan kan man beskytte stålkomponenter mot korrosjon?
 - a. Fins det bedre egnede legeringer?
 - b. Kan man beskytte stålet med coating eller offeranoder?

For å besvare disse spørsmålene er de fem ringene i Figur 14 studert av eksperter på korrosjon ved SINTEF Industri.

3.3.2 Resultater og diskusjon

I det følgende gis svar på forskningsspørsmålene. Detaljert informasjon om korrosjon i stålkomponenter i marine miljø finnes i vedlegg.

Hvorfor ruster rustfritt stål?

Den brune rusten vi ser på stålkomponentene er hovedsakelig jernoksid som er dannet som følge av en kjemisk reaksjon mellom jern i stålet og oksygen i vannet. Korrosjon (rusting) fører til tæring på stålet. Innhold av andre legeringselement (som krom) fører til dannelse av en beskyttende oksidfilm på rustfritt stål. Rustfrie legeringer som eksponeres i naturlig sjøvann kan imidlertid være utsatt for lokal korrosjon som raskt kan gi dype angrep og gjennomhulling. Gropkorrosjon (eller pitting) initieres gjerne i små skader eller feil i den beskyttende oksidfilmen. Spaltningskorrosjon oppstår i trange rom (spalter) med liten eller ingen utskifting av sjøvann, for eksempel mellom senterring og tau som er festet til denne. I slike

rom kan det dannes et spesielt korrosivt miljø: Korrosjon i slike spalter fører til forsuring og derved økt korrosivitet. Både grop- og spaltkorrosjon er identifisert på stålringene i Figur 13 og Figur 14. Det er for eksempel observert korrosjon i spalter dannet mellom senterringer og tau som er festet til disse, i tillegg til utstrakt gropkorrosjon i andre områder av ringene.

Hva kan bidra til økt korrosjon?

Når stål kommer i kontakt med sjøvann eller marin atmosfære øker korrosjonshastigheten. Sjøvann og maritim atmosfære kategoriseres som miljø med stor, svært stor eller ekstremt stor fare for korrosjon i NORSOK-standarder (se vedlegg). Korrosiviteten i vann er høyest for naturlig sjøvann, og avtar med lavere og høyere saltinnhold. Både vannets ledningsevne, tilgang på oksygen og temperaturen i vannet påvirker korrosjonshastigheten. Oksygeninnholdet i vannet er trolig tilstrekkelig til å opprettholde høy korrosjonshastighet på stål på alle kommersielle oppdrettslokaliteter. Ved samme oksygeninnhold øker korrosjonshastigheten med økende temperatur. Innhold av forskjellige salter i sjøvann, strømningsforhold, og tilgang på ferskvann (som nærhet til elveutløp) kan også påvirke korrosjon.

Dersom man kobler sammen ulike metaller i et korrosivt miljø kan man oppleve det som kalles galvanisk korrosjon. I nøter kobles sentreringen i stål sammen med kobberimpregnert notlin. Typisk for galvanisk korrosjon er at det ene metallet får økt korrosjon, mens det andre opplever redusert korrosjon. Kobler man sammen stål og metallisk kobber, vil man kunne oppleve økt korrosjon på stålet. Kobberimpregnering består imidlertid ikke av metallisk kobber, men kobberoksider som er ikke-ledende. Dette betyr at kobberimpregneringen ikke representerer fare hverken for galvanisk korrosjon eller økt korrosjon på grunn av lekkasjestrøm. Lekkasjestrøm fra elektriske anlegg kan gi økt korrosjon dersom den ledes gjennom stålkomponenter.

Biofilmer som dannes på stål i naturlig sjøvann kan føre til økt korrosjon. I bunn av notposene utsettes ringene for mye biologisk materiale, alt fra avføring, rester av fiskefor, død fisk og forskjellige organismer som gror på nota. Dette øker sannsynligheten for korrosjon på stålringene ytterligere.

Sure miljø kan bidra til økt korrosjon. Desinfiseringskjemikalier som benyttes på nøter er både svært sure og inneholder kraftige oksidanter. Disse er imidlertid virksomme i begrenset tid før de går over til vann, oksygen og karbondioksid. Det er derfor ikke grunn til å tro at dette er årsaken til rustdannelse i stålkomponentene.

Hvordan hindre at stålkomponenter rustet?

Man kan beskytte stål mot korrosjon ved å hindre oksygen i å nå inn til metalloverflaten, eller man kan benytte spesielle legeringer med blant annet økt innhold av elementer som krom, nikkel og molybden. For å hindre eller redusere omfanget av korrosjon i marint miljø, må lavlegerte stål beskyttes. Offeranoder i aluminium eller sink er den mest effektive beskyttelsen av stål som er permanent neddykket i vann. I tillegg kan maling og galvanisering danne beskyttende belegg på stålet og dermed forlenge levetiden til offeranodene. Alternativt kan man velge mer korrosjonsbestandige stållegeringer i marine miljø, som rustfritt superdupleks stål.

For senterringene kan for eksempel karbonstål kombinert med katodisk beskyttelse (CP) være et rimeligere alternativ sammenlignet med ringer i superdupleks. Offeranoder koblet sammen med senterringene vil gi god beskyttelse av ringene over lang tid. Om det er praktisk mulig å installere anoder, og/eller om anodene kommer i veien for tauene som holder nota sammen, må eventuelt vurderes.

CP kan benyttes alene eller kombinert med malingsbelegg. Hensikten med belegg er at dette skal redusere strømbehovet og dermed forlenge levetiden til offeranoden. Malingsbelegg reduserer også vekt av installerte anoder betraktelig, men det øker normalt kostnadene noe. Maling alene vil trolig ikke gi god nok beskyttelse på grunn av slitasje, blant annet fra tauverket gjennom senterringene. Å kombinere CP og belegg er en fordel siden ringene fortsatt vil være beskyttet selv om skader oppstår på deler av malingsbelegget. Et korrekt CP design vil gi ønsket levetid uten behov for vedlikehold.

Det kan være betenknninger forbundet med bruk av offeranoder i oppdrettsnæringen. Aluminiumanoder (som inneholder 2,5 – 5,75 vekt% sink, se vedlegg), men spesielt sinkanoder fører til dannelse av giftig sinkoksid (ZnO) som i henhold til sikkerhetsdatabladet er klassifisert som svært giftig overfor dyr og vekster som lever i vann. Sinkanoder inneholder i tillegg det giftige tungmetallet kadmium (Cd). Siden anodene vil være plassert i bunnen av nota er det godt mulig at dannelsen av sinkoksid vil ha liten effekt på fisken i nota, men dette må vurderes.

Generelle tiltak for å forebygge lekkstrømskorrosjon i stålkomponenter som kan bli utsatt for dette, kan være å påse at strøm installeres i henhold til eksisterende forskrifter, ha automatisk varsling av overlednings- og jordingsfeil, og generelt sørge for godt isolerte ledninger og kontaktpunkt. Jordning av oppdrettsanlegg er ikke vanlig, da dette er vanskelig i praksis.

3.3.3 Oppsummering og konklusjon

Utredningen har gitt følgende kunnskap og svar på forskningsspørsmålene:

1. Hvorfor ruster komponenter i rustfritt stål?
 - Det benyttes såkalte rustfrie stållegeringer, men med for lav korrosjonsmotstand og uten annen beskyttelse som offeranoder eller belegg. Små, overfladiske skader, innfesting og tau som knyttes fast i stålet kan føre til korrosjonsskader og svikt i stålkomponenter.
2. Hva kan bidra til økt rustdannelse i enkelte nøter?
 - Biologisk materiale fra fisk, fôr og begroing kan gi økt korrosjon
 - Varierende strømningsforhold, temperatur og tilgang på ferskvann innvirker på korrosjonsomfanget
 - Lekkasjestrøm kan i teorien gi økt rustdannelse, men det er lite trolig at strøm kan gå gjennom impregnert, ikke-ledende notlin ned til senterringen i bunnen av nota
 - Kobberimpregnering og desinfiseringskjemikalier har trolig ingen effekt på korrosjon i stålkomponenter
3. Hvordan hindre at stålkomponenter ruster?
 - Kun stålkvaliteter med høyt innhold av krom (som superdupleks) er anbefalt for ubeskyttede stålkomponenter som er permanent neddykket eller i skvalpesonen i havbruksanlegg
 - Lavlegert stål kan eventuelt beskyttes med offeranoder og belegg

4 Referanser

Fiskeridirektorater (2015), Ekstraustyr og fremtidig konfigurasjon ved utstedelse av annleggssertifikat, Brev til akkrediterte organ datert 01.07.2015.

Føre, Heidi Moe, Thorvaldsen, Trine (2017). Årsaker til rømming av oppdrettslaks og ørret i perioden 2010-2016. Trondheim: SINTEF Rapport OC2017 A-116.

Føre, H.M., Gaarder, R.H. (2018). RobustNot -Dokumentasjon av mekaniske egenskaper og dimensjoner til notlin i oppdrettsnøter. SINTEF Ocean, rapport nummer 2018:00971.

Føre, Heidi Moe, Thorvaldsen, Trine, Tinnmansvik, Ranveig K., Okstad, Eivind (2019). Kunnskap og metoder for å forebygge rømming, faglig sluttrapport. SINTEF Ocean, rapport nummer 302002524.

Moe, H., Olsen, A., Hopperstad, O. S., Jensen, Ø., Fredheim, A. (2007). *Tensile properties for netting materials used in aquaculture net cages*. Aquacultural Engineering **37**, 252–265.

Moe Føre, H., Dahle, S.W., Gaarder, R.H. (2019). *Tensile strength of nylon netting subjected to various concentrations of disinfecting chemicals*. J. Offshore Mech. Arct. Eng **141**(1), 011603.

Petroleumstilsynet (2017), Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten – Barrierenotat 2017

Petroleumstilsynet (2019), Veiledning til styringsforskriften, oppdatert 26. april 2019.

Thorvaldsen, Trine, Føre, Heidi Moe, Tinnmansvik, Ranveig, Okstad, Eivind (2018). Menneskelige og organisatoriske årsaker til rømming av oppdrettslaks og regnbueørret. Trondheim: SINTEF Rapport 2018:01362.

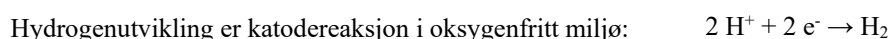
Vinnem, Jan Erik. (2015). Risikobasert styring. Store norske leksikon. Hentet 13. juni 2019 fra https://snl.no/risikobasert_styring.

Vedlegg: Korrosjon i stålkomponenter i oppdrettsnøter

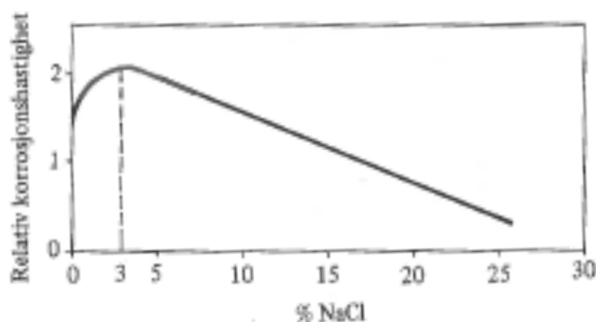
Hva er korrosjon?

Lavlegert stål ruster (korroderer) i fuktig miljø. Det innebærer vanligvis at jern-atomer brytes ned og reagerer med oksygen i vannet slik at det dannes rust (jernoksid).

Korrosjon er en elektrokjemisk reaksjon som betyr at samtidig som stål løses opp anodisk (frigir elektroner), skjer det en katodereaksjon. Reduksjon av oksygen er den mest vanlige katodereaksjonen:



Anode- og katodereaksjonen må gå med samme hastighet, dvs. alle elektroner frigjort i anodereaksjonen må forbrukes i katodereaksjonen. Reaksjonene behøver imidlertid ikke skje på samme sted, men det er en forutsetning at elektroner og ioner kan bevege seg mellom anode og katode. Det må derfor både være elektrisk og elektrolytisk kontakt mellom anode og katode, for eksempel gjennom stålkomponenten og sjøvann. Korrosiviteten av vann øker normalt ved tilsats av salt. Som vist i Figur 1 har korrosjonshastigheten for jern et maksimum i vann med et kloridinnhold som tilsvarer naturlig sjøvann, omlag 3,5 vekt% NaCl.



Figur 1: Effekt av saltinnhold på korrosjonshastighet av jern i løsninger mettet med luft og romtemperatur¹

¹ Bardal, E., Korrosjon og korrosjonsvern. 2 ed. 2001, Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.

Innvirkning av miljø

Korrosjonshastigheten er i tillegg til innhold av salt avhengig av vannets ledningsevne, tilgangen på oksygen og temperaturen. I sjøvann vil tilstedeværelse av andre komponenter som for eksempel salter av kalsium (Ca^{2+}) og magnesium (Mg^{2+}) gi utfellinger på metalloverflaten som til en viss grad hindrer at oksygen diffunderer inn til metalloverflaten og på den måten reduserer korrosjonshastigheten over tid. I skvalpesonen vaskes slike utfellinger periodevis ut samtidig som tilgangen på oksygen er stor. Dette fører til høyere korrosjonshastighet enn ved kontinuerlig neddykking. I marin atmosfære avsettes salt på overflaten som kombinert med fuktig luft også kan gi høy korrosjonshastighet.

ISO 12944-2² klassifiserer korrosiviteten i ulike miljø. Tabell 1 viser ulike korrosjonsklasser for strukturer nedsenket i vann og jordsmonn. Deler av oppdrettsanlegg nedsenket i sjøvann tilhøre korrosjonsklassene Im2 eller Im4. Vi antar at for karbonståldeler neddykket i sjøvann er korrosjonsklasse Im4 og bruk av katodisk beskyttelse mest sannsynlig. I Tabell 2 er korrosjonsklasser ved atmosfærisk eksponering vist. For oppdrettsanlegg antas det at korrosiviteten vil være i henhold til korrosjonsklassene C5 eller CX.

Tabell 1. Korrosjonsklasser for strukturer nedsenket i vann eller jord med eksempler på miljø²

Category	Environment	Examples of environments and structures
Im1	Fresh water	River installations, hydro-electric power plants
Im2	Sea or brackish water	Immersed structures without cathodic protection (e.g. harbour areas with structures like sluice gates, locks or jetties)
Im3	Soil	Buried tanks, steel piles, steel pipes
Im4	Sea or brackish water	Immersed structures with cathodic protection (e.g. offshore structures)
NOTE For corrosivity category Im1 and Im3, cathodic protection can be used with a paint system tested accordingly		

² ISO 12944-2, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems in Part 2: Classification of environments. 2017

Tabell 2. Kategorier for atmosfæriske korrosivitets og eksempel på miljø ²

Corrosivity category	Mass loss per unit surface/thickness loss (after first year of exposure)				Examples of typical environments (informative only)	
	Low-carbon steel		Zinc		Exterior	Interior
	Mass loss g/m ²	Thickness loss µm	Mass loss g/m ²	Thickness loss µm		
C1 very low	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	—	Heated buildings with clean atmospheres, e.g. offices, shops, schools, hotels
C2 low	> 10 to 200	> 1,3 to 25	> 0,7 to 5	> 0,1 to 0,7	Atmospheres with low level of pollution: mostly rural areas	Unheated buildings where condensation may occur, e.g. depots, sports halls
C3 medium	> 200 to 400	> 25 to 50	> 5 to 15	> 0,7 to 2,1	Urban and industrial atmospheres, moderate sulfur dioxide pollution; coastal areas with low salinity	Production rooms with high humidity and some air pollution, e.g. food-processing plants, laundries, breweries, dairies
C4 high	> 400 to 650	> 50 to 80	> 15 to 30	> 2,1 to 4,2	Industrial areas and coastal areas with moderate salinity	Chemical plants, swimming pools, coastal ship and boatyards
C5 very high	> 650 to 1 500	> 80 to 200	> 30 to 60	> 4,2 to 8,4	Industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere and coastal areas with high salinity	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution
CX extreme	> 1 500 to 5 500	> 200 to 700	> 60 to 180	> 8,4 to 25	Offshore areas with high salinity and industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere and sub-tropical and tropical atmospheres	Industrial areas with extreme humidity and aggressive atmosphere
NOTE The loss values used for the corrosivity categories are identical to those given in ISO 9223.						

Korrosjonsbeskyttelse

For å hindre eller redusere omfanget av korrosjon i marint miljø, må lavlegerte stål beskyttes. Hva slags korrosjonsbeskyttelse som kan eller bør benyttes avhenger generelt av miljøet stålet skal eksponeres i.

Belegg er normalt den mest kostnadseffektive korrosjonsbeskyttelsen for stål i marin atmosfære, mens katodisk beskyttelse er mest effektiv for stål som er permanent neddykket i sjøvann. Beleggene kan bestå av maling og/eller metallisering. Ved valg av korrosjonsbeskyttelse er det nødvendig å ta hensyn til at anlegget vil bli eksponert i miljøsoner med varierende korrosivitet:

1. Atmosfærisk sone
2. Skvalpesone
3. Nedsenket i sjøvann

Katodisk beskyttelse (CP), eller en kombinasjon av CP og belegg, kan benyttes på ståldeler nedsenket i sjøvann. Både aluminium- eller sinkanoder kan benyttes, men aluminiumanoder foretrekkes ofte siden disse har høyere elektrokjemisk kapasitet (Ah/kg). CP kan også oppnås ved bruk av påtrykt strøm. For stål nedsenket i sjøvann spesifiserer NORSOK M-501³ en kombinasjon av belegg og CP. CP må utføres i henhold til standardiserte krav, for eksempel i DNVGL RP B-401⁴. Hensikten med belegg er at dette skal redusere strømbehovet og dermed forlenge levetiden til offeranoder benyttet ved CP.

Materialvalg i marine miljø

Det er ofte naturlig å velge mer korrosjonsbestandige materialer enn lavlegerte karbonstål i marine miljø. Ved bruk av rustfrie stål er miljøfaktorer som mikrobiologi, salt/klorider, temperatur og pH viktige med tanke på korrosjon. I kloridholdige miljø vil lokalkorrosjon i form av grop- og/eller spaltkorrosjon være kritisk for valg av legeringsmateriale. Lokale korrosjonsangrep kan raskt føre til gjennomhulling.

Korrosjonsegenskapene for en rustfri legering er hovedsakelig bestemt ut fra materialets kjemiske sammensetning, men andre forhold som intermetalliske utfellinger, varmebehandlingstilstand og overflateegenskaper kan også virke inn. Motstanden mot gropkorrosjon for rustfrie stål kan til en viss grad predikeres ut fra legeringens innhold av elementene Cr, Mo og N. Gropkorrosjonsmotstanden (Pitting Resistance Equivalent number eller PREN) kan beregnes:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3\% \text{Mo} + 16\% \text{N}$$

Selv om denne sammenhengen er funnet for gropkorrosjon, viser erfaringen at PREN også kan brukes for vurdering av spaltkorrosjon. I Tabell 3 er PREN gitt for ulike legeringer⁶. Jo høyere PREN, jo bedre motstand mot lokalkorrosjon.

I henhold til NORSOK M-001⁵, er det kun titan, 25% Cr superdupleks og 254 SMO rustfritt stål som er anbefalt brukt i sjøvann med løst oksygen. Superdupleks er ut fra pris det beste alternativet, men superdupleks er omtrent 5 ganger så dyrt som lavlegert stål. Sammenlignet med dupleks stål ($\text{PREN} < 40$) har superdupleks økt innhold av molybden og nitrogen ($\text{PREN} \geq 40$). Høylegerte stål er utsatt for hydrogensprøhet som kan oppstå som følge av CP i anlegget.

Leverandører anbefaler ofte ulike deler i materialer med lavere innhold av Cr og Mo (som AISI 316L) for bruk i sjøvann. Våre erfaringer er at AISI 316 ikke er korrosjonsbestandig i sjøvann. Vi vil derfor

³ NORSOK M-501, Surface preparation and protective coating, Rev. 6. 2012, Standards Norway

⁴ RP-B401, DNV-GL RECOMMENDED PRACTICE: Cathodic protection design. June -2017, DNV GL

⁵ NORSOK M-001, Materials selection, Rev. 5. 2014, Standards Norway, Lysaker, NORWAY

fraråde bruk av AISI 316 og tilsvarende legeringer for kontinuerlig neddykket utstyr. Dersom CP kan benyttes, kan dette materialet beskyttes mot korrosjon.

Tabell 3. Gropkorrosjonsmotstanden (PREN) for ulike legeringer ⁶

	Co	Mo	N	PREN
2.4819 / Hastelloy C-276	15	16	-	67,8
1.4547 / 254 SMO	20	6,2	0,2	43,7
1.4410 ("superduplex")	25	4,5	0,3	43,0
1.4539 / 904L	20	4,5	-	34,5
1.4462 (UNS S32205)	22	3,0	0,15	34,3
1.4435	17,0	2,5	-	25,3
1.4436 / 4432	16,5	2,5	-	24,8
1.4362 (duplex 2304)	23	-	0,10	24,6
1.4162 (lean duplex 2101)	21	0,1	0,20	24,5
1.4401 / 4404 / AISI 316(L)	16,5	2,0	-	23,1
1.4571 / "AISI 316Ti"	16,5	2,0	-	23,1
1.4521 / AISI 444	17	1,8	-	22,9
1.4301 / 4307 / AISI 304(L)	17,5	-	-	17,5
1.4509 / AISI 441	17,5	-	-	17,5
1.4016 / AISI 430	16	-	-	16,0
1.4034 / AISI 440B (0,43-0,50 C)	14	0,5	-	15,7
1.4057 / AISI 431 (0,12-0,22 C)	15	-	-	15,0
2.4816 / Inconel 600	14	-	-	14,0
1.4021 (0,16-0,25 C)	12	-	-	12,0
1.4003 / AISI 410	11	-	-	11,0

PREN table containing some of the most commonly found grades of stainless steel. The higher the PREN, the better resistance towards pitting corrosion. The colours of the rows refer to the metallurgical structure:

Austenit	Ferrit	Duplex	Martensit	Nikkelleg.
----------	--------	--------	-----------	------------

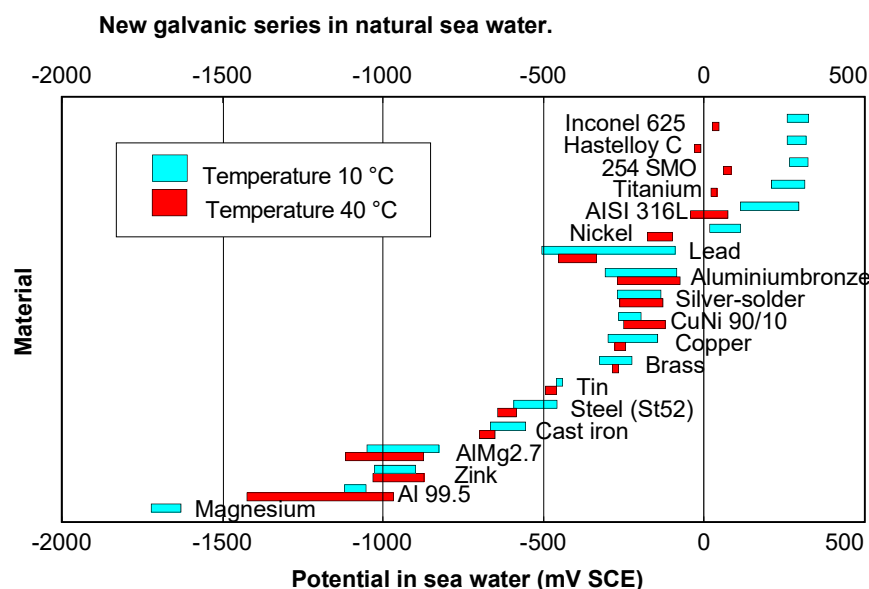
⁶ http://www.damstahl.com/Files/Billeder/2011/PDF/UK/stainless_steel_corrosion.pdf

Galvanisk korrosjon

Galvanisk korrosjon kan skje som følge av sammenkobling av to ulike metaller i et korrosivt miljø. Typisk for denne formen for korrosjon er økt korrosjon på det ene metallet (anoden) og redusert korrosjon på det andre metallet (katoden) i koplingen. Den galvaniske spenningsrekka i Figur 2 er nyttig for å vurdere faren for galvanisk korrosjon mellom ulike metaller. Faktorer som påvirker galvanisk korrosjon er for eksempel plassering av metallene i spenningsrekka, arealforhold mellom metallene og ledningsevne i elektrolytten (som sjøvann). Større areal på katoden enn på anoden er spesielt uheldig. Hvis potensialforskjellen mellom materialene er under 50 mV anses galvanisk korrosjon normalt ikke som et problem.

For å unngå galvanisk korrosjon på for eksempel aluminium i marint miljø, er det beste å unngå direkte sammenkobling med edlere materialer som stål. Hvis ikke dette går, må det benyttes en eller annen form for isolator mellom de to metallene. Dette kan være et ikke-ledende avstandsstykke. Maling av den edleste metalloverflaten kan være en annen mulighet.

Korrosjon som skyldes lekkstrømmer fra elektriske anlegg av forskjellig slag kan inntreffe på alle konstruksjonsmaterialer som er neddykket i vann eller jord. Lekkstrømskorrosjon kan skje dersom det er forbindelse med elektriske anlegg på land, eller ved feil på det elektriske anlegget på installasjonen. Generelle tiltak for å forebygge lekkstrømskorrosjon kan være å påse at strøm installeres i henhold til eksisterende forskrifter, ha automatisk varsling av overlednings- og jordingsfeil og generelt sørge for godt isolerte ledninger og kontaktpunkt.



S.Valen, E.Bardal, T.Rogne, J.M. Drugli: "New Galvanic Series Based upon Long Duration Testing in Flowing Sea Water." 11 Scan. Corr. Congr. Stavanger 1989

E.Bardal, J.M.Drugli and P.O.Gartland: "The Behaviour of Corrosion Resistant Steels in Sea Water. A Review" Advances in Corrosion And Protection, 1992; Corros. Sci. Vol. 35, 1993

Figur 2. Galvanisk spenningsrekke i naturlig sjøvann

Korrosjon på senterringer

Årsaker til korrosjon på ringer dupleks

Korroderende senterringer vist på bildet i Figur 3 er mottatt for evaluering. Bildene viser at senterringene kan ha vært utsatt for spaltkorrosjon under tauet. Spaltkorrosjon oppstår i trange rom med liten eller ingen utskifting av elektrolytt. Lokale korrosjonsangrep er også observert i områder som ikke har vært tildekt under eksponering. Produktsertifikat mottatt for noen av disse senterringene viser at materialet i disse er AISI329 dupleks stål. AISI329 (eller 1.4460 stål) inneholder 25,4% Cr, men innholdet av Mo (og N) er for lavt (PREN = 30,4) til at materialet kan betegnes superdupleks. Som diskutert over (kapittel 0) anbefaler NORSOK M-001 ⁵ superdupleks for bruk i oksygenrikt sjøvann. Duplekslegeringer (som AISI329) kan være utsatt både for utsatt grop- og spaltkorrosjon i naturlig sjøvann. Biofilmer som dannes på stål i naturlig sjøvann kan katalysere katodereaksjonen (reduksjon av oksygen, se kapittel 0), og dermed føre til økt korrosjon. I bunn av notposene utsettes dessuten ringene for biologisk materiale, alt fra avføring, rester av fiskefor, død fisk og forskjellige organismer som gror på nota. Dette øker sannsynligheten for korrosjon på stålringene ytterligere.

Informasjonen vi har fått er at det er ulik erfaring når det gjelder hvor vidt senterringer utsettes for korrosjon eller ikke. Det er imidlertid ikke mottatt opplysninger om eventuelle miljøforskjeller mellom posisjoner med og uten korrosjon. Faktorer som kan påvirke sjøvanns korrosivitet er temperatur, lokale forskjeller i sammensetning og strømningsforhold i vannet.

Andre faktorer som er vurdert her er hvorvidt desinfisering av nota med pereddiksyre og påføring av kobberholdig impregnering på nota for å hindre begroing. Nota tas inn til reparasjon og antigrobehandling på verksted en gang i året, og blir samtidig desinfisert i pereddiksyre (eller annet desinfeksjonsmiddel). Behandling pågår i et par dager. Det er derfor lite trolig at pereddiksyre har noen innvirkning på korrosjon av senterringene. Vi forventer heller ikke at den kobberholdige impregnering på nøtene har noen effekt på korrosjon av stålet. Impregneringen er basert på kobberoksid ⁷, og dermed ikke-ledende noe også gjennomførte målinger av ledningsevne på impregnert not viser.

Kan ringer i karbonstål være et alternativ?

For senterringene kan for eksempel karbonstål kombinert med katodisk beskyttelse (CP) være et rimeligere alternativ sammenlignet med ringer i superdupleks. Offeranoder koblet sammen med senterringene vil gi god beskyttelse av ringene over lang tid. Om det er praktisk mulig å installere anoder, og/eller om anodene kommer i veien for tauene som holder nota sammen, må eventuelt vurderes.

CP kan benyttes alene eller kombinert med malingsbelegg. Hensikten med belegg er at dette skal redusere strømbehovet og dermed forlenge levetiden til offeranoder benyttet ved CP. Malingsbelegg reduserer også vekt av installerte anoder betraktelig, men det øker normalt kostnadene noe. Maling alene vil trolig ikke gi god nok beskyttelse på grunn av slitasje fra tauverket gjennom senterringene. Å kombinere CP og belegg er en fordel siden ringene fortsatt vil være beskyttet selv om skader oppstår på deler av malingsbelegget. Et korrekt CP design vil gi ønsket levetid uten behov for vedlikehold.

Det er visse betenkn timer med bruk av offeranoder i oppdrettsnæringen. Anodene løses elektrokjemisk samtidig som stålet beskyttes katodisk. Aluminiumanoder (som inneholder 2,5 – 5,75 vekt% sink ⁴), men spesielt sinkanoder fører til dannelse av giftig sinkoksid (ZnO) som i henhold til sikkerhetsdatabladet er klassifisert som svært giftig overfor dyr og vekster som lever i vann. Sinkanoder

⁷ Datablad for kobberholdig impregnering.

inneholder i tillegg det giftige tungmetallet cadmium. Siden anodene er plassert i bunnen antas det imidlertid at dannelsen av sinkoksid vil ha liten effekt på fiskene i nota.



Figur 3. Korroderte stålringer mottatt for evaluering