


The background of the entire page is an underwater photograph of a school of cod fish. The fish are primarily brown and grey with a mottled pattern, and some have a lighter, silvery-grey hue. They are swimming in clear, blue water. The fish are of various sizes, with the largest ones in the foreground and middle ground, and smaller ones in the background. The lighting is natural, coming from above, creating a sense of depth and movement.


SYMBIOSES

Rapport



I dette omfattende prosjektet er det utviklet et modellsystem "SYMBIOSES" for å kunne beregne effekt på skreibestanden (den norsk-arktiske torskebestanden) etter et tenkt oljeutslipp. Modellsystemet er satt sammen av flere enkeltmodeller, inkludert en oljedriftsmodell, en oseanografisk modell, en modell som omhandler utvikling av tidlige livsstadier (fiskeegg og fiskelarver), og en flerarts bestandsmodell. Modellene er satt sammen i et integrert

rammeverk og gjør det mulig å simulere effekter av oljeutslipp under ulike forhold. Modellen som omhandler tidlige livsstadier tar høyde for både akutte og subletale effekter av olje. Simuleringene viste at et verstefalls-tilfelle oljeutslipp med 4500m³/dag i 90 dager medførte inntil 43 % reduksjon i overlevelse av tidlige livsstadier (egg og larver) i årsklassen (utslippsåret). De fleste av disse simuleringene resulterte i mellom 0 og 10 % reduksjon i over-

A large eagle is captured in mid-flight, its wings spread wide, as it dives towards the water. The eagle's dark feathers contrast sharply with the bright blue sky and the lighter blue water below. In the background, a range of jagged, snow-capped mountains rises against a sky filled with soft, white clouds. The water in the foreground is a deep blue, with some white foam visible where the eagle is about to land.

levelse av egg og larver. Den naturlige dødelighetsraten på egg og larver er imidlertid svært høy, men våre beregninger viser at rekrutteringen av ungfisk til voksen bestand forblir tilstrekkelig til å opprettholde reproduksjonsevnen til skreien, selv med verstefalls-tilfellet. I de fleste utslippsscenarioer ble biomassen (voksen skrei) redusert med mindre enn 3 %. Skreibestanden er i god forfatning, og er derfor mindre sårbar for rekrutteringstap. Disse resul-

tatene gjelder under gitte forhold som beskrevet i detalj i artikkelen under. Bestandstapet er modellert fra et enkelt års nedgang i rekruttering i skreibestanden. Potensielle effekter på andre fiskearter, eller økosystemet rundt Lofoten generelt, er ikke medregnet. En videreutvikling av systemet vil kunne inkludere flere arter og deres gjensidige påvirkning i forbindelse med et oljesøl.

Innledning

Denne oppsummeringsrapporten beskriver utviklingen av det avanserte modellsystemet SYMBIOSES - SYStem for BIOlogy-based asSEssments, som beregner effekter av et tenkt oljeutslipp på den norsk-arktiske torskebestanden, skreien. Rapporten beskriver hvordan modellen er bygd opp og oppsummerer resultatene fra en rekke simulerte oljeutslipp i det marine økosystemet utenfor Lofoten i det nordlige Norskehavet.

Lofoten-Vesterålen-området er kjent for sin vakre natur og tiltrekker seg årlig titusener av turister som ønsker å oppleve severdigheter. Havet utenfor Lofoten-Vesterålen inneholder naturressurser som henger tett sammen med tre av Norges største økonomiske næringer: turisme, fiskeri/havbruk og olje/gass. Dette havområdet er det viktigste gyteområdet for skreien. I 2016 ble det fisket 900 000 tonn skrei. Under havbunnen kan det imidlertid finnes store olje og –gassressurser som kan være en energikilde for land både i og utenfor Europa. I følge Oljedirektoratet kan så mye som 1270 millioner fat olje/gass befinne seg i området utenfor Lofoten, Vesterålen og Troms, kalt Nordland 6 og 7 og Troms 2.

Norges politiske rammeverk for utnyttelse og forvaltning av ressursene i havet er svært omfattende. I 2005 ble Norge verdensledende innen havmiljøforvaltning da man vedtok en avansert miljøstyring for havområdene rundt Lofoten og i Barentshavet, kjent som Økosystembasert forvaltning (1,2). I 2008 implementerte også EU en tilsvarende forvaltningsmodell (3). Økosystembasert forvaltning hviler på prinsipper fra Miljødirektoratets forvaltning (4):

«Økosystemtilnærming til havforvaltning er en integrert forvaltning av menneskelige aktiviteter basert på økosystemenes dynamikk. Målsetningen er å oppnå bærekraftig bruk av ressurser og goder fra økosystemene og opprettholde deres struktur, virkemåte og produktivitet.»

En rekke sentrale spørsmål om sameksistens mellom petroleumsaktivitet og fiskerier må besvares for å kunne forvalte ressursene best mulig. To sentrale spørsmål knyttet til effekter av uhellslutslipp av olje på fisk i det nordlige Norskehavet er:

1) Hvor stort vil tapet av fiskelarver fra gyteområdene i Norskehavet være?

2) Hva vil dette bety for de høstbare bestandene?

Spørsmålene over er foreløpig besvart under forutsetning av at det kun er de marine organismene skrei og raudåte som påvirkes. Effekten av et oljeutslipp kan være forskjellig på fiskearter med ulik livshistorie (f.eks. forskjellig livslengde, forskjeller i antall gytende årsklasser). Andre fiskearter kan derfor være mer sensitive eller mere tolerante for olje enn skrei. En videreutvikling av systemet vil kunne inkludere flere arter og deres gjensidige påvirkning under ytre påvirkning ved f.eks. et oljesøl. Andre effekter av forurensning på hele det lokale økosystem og potensielle effekter på næringer som turisme og havbruk er ikke evaluert.

For å beregne påvirkningen fra et større akutt oljeutslipp på skreibestanden må vi ha en gjennomgående forståelse av flere nøkkelprosesser:

- Oljens omvandling og bevegelse i havet
- Spredning, egenbevegelse og samspill mellom skreilarver og deres næringsgrunnlag (raudåte mm)
- Sammenhengen mellom biologiske effekter og giftigheten/toksisiteten til råolje
- Effekter på skreilarver ved eksponering for oljekomponenter
- Naturlige dødelighetsprosesser og bestandsregulerende mekanismer

Det er ikke ønskelig å utføre reelle eksperimenter med store oljeutslipp for å skaffe til veie denne kunnskapen. Den eneste måten å få svar på disse spørsmålene på, er å legge den tilgjengelige kunnskapen til grunn for avanserte datamodeller. Modeller er forenklete versjoner av den virkelige verden, men de kan brukes til å vurdere et stort antall mulige utfall og konsekvenser av oljeutslipp på miljøet. I dette tilfellet vil modellene være rettet mot å analysere mulige konsekvenser for skrei.

I en artikkel som oppsummerer 15 år med forskning på miljøet i Prince William-sundet etter

Exxon Valdez-ulykken skriver forfatterne: "Det er et stort behov for risikovurderingsmodeller som kan estimere påvirkning på naturen fra et utslipp, og slik gi et bedre grunnlag for miljøforvaltningen." Det ble også etterlyst utvikling av avanserte modeller som kan brukes til å evaluere langsiktig, indirekte og forsinket effekt av stressfaktorer som f.eks. ulike oljekomponenter som tas opp i marine organismer. Artikkelen stod på trykk i verdens mest anerkjente tidsskrift for forskning, Science (5). Nylig har EU-organisasjonen "Den europeiske myndighet for næringsmiddeltrygghet" anbefalt å kombinere biologisk effektmodellering med risikovurderingsmetoder.

Forskerne som har utviklet SYMBIOSES har hatt som mål å belyse de to spørsmålene nevnt over.

Ved å sette sammen avanserte og veletablerte delmodeller til SYMBIOSES er vi for første gang i stand til å simulere fordelingen, opptaket og effekten av olje på skrei i det nordlige Norskehavet fra egg- til svømmestadiet med realistisk byttedyr-tilgjengelighet. Vi kan også beregne utviklingen til den voksne torskebestanden etter lignende beregninger som ligger til grunn for forvaltning av torskebestanden pr. i dag. Modellsystemet kan bidra til å identifisere viktige spørsmål for videre forskning relatert til effekter av oljeutslipp på torskebestanden.

Torsk

Voksen torsk som stammer fra Barentshavet gyter på flere gyteplasser langs norskekysten fra tidlig mars til sent i april. Egg, larver og yngel driver med havstrømmer mot nord og øst og inn i Barentshavet. I løpet av august-september oppholder yngelen seg i de øverste 100 meterne av det sørlige Barentshavet, men søker til dypere nivåer i løpet høsten. De vokser opp i Barentshavet, og begynner å bli store nok til å bli fisket rundt 3 års alder. Deretter blir den unge torsken forvaltningsmessig regnet med i bestanden. Skrei produserer ekstremt store mengder egg med en veldig høy, naturlig dødelighetsrate. Dette resulterer i stor reduksjon av antall individer som rekrutteres inn i voksen bestand. I et hvilket som helst år er det bare en svært liten andel av egg/larver/yngel som overlever på grunn av endringer i miljøforholdene; som temperatur, spredning med havstrømmene, lysforhold, turbulens og tilgjengeligheten på mat og predasjon (6). Etter tre år er det kun ca. seks av de en million eggene som har overlevd og dermed inngår i rekrutteringen til den voksne bestanden (7).

Hvordan ble SYMBIOSES laget?

SYMBIOSES ble designet og utviklet gjennom et samarbeid av forskere fra flere institusjoner i Norge og utlandet. Prosjektet fikk i 2011 støtte fra Forskningsrådets PETROMAKS-program med tilleggsstøtte fra BP Exploration Operating Company Limited, ConocoPhillips Skandinavia, ExxonMobil Upstream Research Company, Eni Norge, Norske Shell, Equinor og Total E&P Norge. Da arbeidet ble ferdigstilt i 2014 var systemet komplett og installert på et tungregneanlegg ved UiT – Norges arktiske universitet. Systemet er bygget opp for å være fleksibelt, så det vil være mulig å oppgradere modellen etter hvert som det kommer ny kunnskap.

Det ble etablert en mindre testgruppe som bestod av spesialister fra Akvaplan-niva, Havforskningsinstituttet, SINTEF og UiT – Norges arktiske universitet. Gruppen fikk støtte fra Forskningsrådets Demo 2000-program (2014-2016) for å utføre modelleringene som presenteres i denne rapporten. Forskningsresultater knyttet til arbeidet med utviklingen av SYMBIOSES er publisert i vitenskapelige tidsskrifter, og på internasjonale forskningsarenaer.

Hva består simuleringssystemet SYMBIOSES av?

Simuleringssystemet SYMBIOSES kombinerer modeller fra fiskeriforvaltning med modeller for risiko og påvirkning av oljeutslipp. Systemet ble utviklet ved å koble eksisterende, velprøvde modeller sammen i et større rammeverk.

Det er i dag fire uavhengige modeller som utgjør grunnlaget for SYMBIOSES, hvor hver av disse har blitt utviklet og brukt i en årrekke, med kontinuerlige forbedringer og valideringstester over tid. Modellene beregner:

- Oljens omvandling og bevegelse ("olje")
- Oseanografi og økologien lavt nede i næringskjeden, dvs. planteplankton og rauåte ("hav")
- Bevegelse og utvikling av fiskeegg og larver som kommer fra gyteområder langs kysten ("tidlige livsstadier")
- Utvikling av gytebestanden i det sentrale Barentshavet ("skrei")

Oljemodell

Det er benyttet en 3-dimensjonal oljedriftsmodell (©SINTEF) for å forutsi bevegelsen og omvandlingen av olje i det marine miljøet. Under et oljeutslipp er oljens egenskaper, været og andre forhold i havet avgjørende for oljens skjebne. Modellen sporer oljen i dens forskjellige faser (overflate, innkapslede dråper og oppløst) i 25 forskjellige kjemiske grupper. Hver gruppe inkluderer de hydrokarbonene som oppfører seg likt i miljøet. Modellen har vært brukt i tilknytning til flere, historisk sett, store oljeutslipp, og har gitt gode prediksjoner for oljens skjebne (8).

Havmodell

Havmodellen, som også er utviklet ved SINTEF, simulerer havstrømmer, temperatur, og saltholdighet. Den benytter drivkrefter som atmosfæriske forhold og ferskvannsavrenning fra elver og land. Modellen simulerer sirkulasjonen i Norskehavet og på den norske kontinentalsokkelen på en realistisk måte. Modellen har en komponent for de lavere nivåene i næringskjeden i det marine økosystemet, og kan dermed beskrive næringssaltkonsentrasjoner, planteplankton og dyreplankton (9). Den simulerer også bestandsstrukturen for dyreplankton, utvikling, yngling og spredningen i miljøet gitt tilgangen på mat (planteplankton) og vanntemperatur. Modellen kan også simulere hvilke effekter de ulike gruppene av olje har på dyreplankton (10).

Tidlige livsstadier-modell

Denne modellen er utviklet av Havforskningsinstituttet. Den simulerer bevegelse, vekst og dødelighet for skrei fra egg til larvestadiet, samt fysiologiske og atferdsmessig responser på endringer i miljøforhold (11). Modellen sporer utvikling og spredning av larver i drift inntil de søker mot bunnen og blir mer stasjonære (~7 mnd.). Modellen er evaluert på grunnlag av observasjoner gjort i Norskehavet og Barentshavet.

Skreimodell

For å simulere månedlige endringer i skreibestands struktur, er det tatt i bruk en "flerartsmodell" som bygger på bestandsvurderingsmetodene i "International Council for the Exploration of the Sea" (ICES) (12). Modellen vedlikeholdes av Havforskningsinstituttet. Versjonen som brukes i prosjektet bygger på tellinger av skreibestanden som er gjort over en periode på mer enn 20 år. Dette datagrunnlaget brukes også til å fastsette de årlige fiskekvotene. Nøkkeltall i modellen er antallet og gjennomsnittlig vekt av individene (biomassen) i de forskjellige alders- og lengdegruppene hos fisken. En hel rekke biologiske prosesser er inkludert, som f.eks. vekst, modning, og dødelighet. Modellen bygger på resultatene fra tidligere simuleringer av tidlige livsstadier, og simuleringen begynner fra slutten av skreiens første leveår. For å få dette til har man justert estimatene fra tidlige livsstadier-modellen ved å anta at størrelsen på bestanden fra starten av "svømme selv-alderen" til slutten av det første leveåret varierer med tettheten av bestanden. Tettheten til bestanden defineres som antallet organismer som holder til innenfor et definert areal. En viktig faktor som regulerer tettheten av bestanden er kannibalisme.

Modellens begrensninger

Per i dag er simuleringene begrenset til å se på effekter av oljeeksponering på skreibestand basert på et enkelt års nedgang i rekruttering. Det tas ikke høyde for andre påvirkninger (andre typer forurensning og potensiell påvirkning fra andre næringer). Vi antar at oljen er borte etter et år og at overlevende skrei er sunn. Effekter av oljeutslipp på andre fisk og økosystemet rundt Lofoten generelt er ikke inkludert.

Modeller er basert på dagens begrensede kunnskap oversatt i forenklede matematiske uttrykk. Man må derfor være varsom når resultatene fra modeller tolkes. Dagens kunnskap er begrenset når det gjelder livshistorie for tidlige livsstadier av fisk, deres bytte og predatorer, samt kunnskap om toksikokinetiske og toksikodynamiske egenskaper til olje på ulike organismer. Disse begrensningene må tas høyde for når resultatene fra SYMBIOSES tolkes med tanke på sameksistens og økosystem-basert forvaltning.

Om kannibalisme

- Kannibalisme er normalt i naturen og skjer hos hundretusenvís av arter
- De alle fleste fiskeartene i norske farvann spiser sin yngre brødre og søstre
- Fiskeegg, larver og yngel finnes i enorme mengder, men er små i størrelse, og derfor lett å spise. De har stor næringsverdi
- For torsken øker kannibalismen med mengden yngel tilgjengelig, og ved redusert tilgang på annen mat, som for eksempel lodde.
- Å redusere mengden voksen torsk gjennom fiske reduserer kannibalismen på de yngre årsklassene.

Økotoksikologiske effekter

Nedbrytning og potensiell effekt av de ulike oljeforbindelsene på ulike organismer vil være avhengig av både kjemiske, biologiske og fysiske faktorer. Effekten av biotilgjengelige forbindelser kan være avhengig av art, og effekt kan også variere mellom ulike livsstadier av samme art. Generelt betraktes tidlige livsstadier som mer sensitive enn voksne individer. Av de oljerelaterte forbindelsene er det PAH' er som har gitt mest bekymring. Effektene kan være både akutte (dødelig) eller kroniske, som for eksempel forsinket utvikling. Både akutte og kroniske effekter kan modelleres ved hjelp av biologi-baserte modeller. Oljerelaterte forbindelser induserer effekt først når terskelverdien for den gitte forbindelsen overskrides. Hvor sterk effekten er kvantifiseres ved hjelp av dødelighetsraten. Hvor raskt kjemikaliene bygges opp i organismene, og når man kan forvente effekt etter at terskelverdi er overskredet, kvantifiseres ved hjelp av eliminasjonsraten. Sammenhengen mellom parameterne, samt eksponeringstid og konsentrasjon er avgjørende for effekt. Det legges ofte til en sikkerhetsfaktor på terskelverdier da det ofte er mangel på økotoksikologiske data som trengs for å generere terskelverdi. Ved å bruke sikkerhetsfaktorer økes sannsynligheten for at den mest sensitive arten og det mest sensitive livsstadie er inkluderte i økotoksikologiske analyser.

Hvordan simulerer SYMBIOSES den giftige effekten av olje på skrei?

Etter et utslipp av olje er bakteriell nedbrytning og fordampning en av de viktigste mekanismene for naturlig fjerning av hydrokarboner fra det marine miljø. Vannet inneholder naturlig mange typer bakterier, og olje er mat for visse typer bakterier. Etter et utslipp vil oljens fysiske og kjemiske egenskaper endres over tid på grunn av ytre påvirkning. Denne prosessen kalles forvitring og er avhengig av en rekke faktorer som blant annet temperatur, vind, strøm, sollys og værforhold. Oljens egenskaper og forvitring har betydning for den videre håndteringen av et utslipp.

Den kjemiske gruppen av olje som gir størst grunn til bekymring er som sagt polyaromatiske hydrokarbonforbindelser (PAH). Selv om PAH-forbindelser finnes naturlig i miljøet, så har menneskelig aktivitet økt nivåene av disse stoffene i mange områder. Nedbrytning av PAH skjer

via bakteriell nedbrytning, fotooksidering (via lys), og kjemisk oksidering (13). Disse prosessene påvirker de ulike PAH'ene forskjellig fordi PAH'ene har ulik struktur og ulike fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper.

Det er påvist en rekke effekter av PAH på fisk under kontrollerte laboratorieforsøk. Effektene kan være både akutte, for eksempel redusert overlevelse, og kroniske effekter (for eksempel kreft, genetiske forandringer, effekter på utvikling og effekter på immunsystemet). Hvordan sammenhengen mellom resultater utarbeidet i laboratoriet og reelle effekter i felt vil være et komplekst og sammenhengende spørsmål.

Effekten av olje på skreiegg og -larver vil være avhengig av den varierende eksponeringen av oljekonsentrasjoner i miljøet over tid, og egenskapene til oljen som skreiegg og -larver utsettes for. I SYMBIOSES kalkuleres effekt på individuelle skreiegg og -larver som en funksjon av kjemisk konsentrasjon i vannet og temperatur.

Effekten av olje ble modellert ved å bruke DEBtox modell systemet (14), som er basert på "Dynamic Energy Budgets theory" (15). DEBtox bruker tre parametere for å vurdere toksisk effekt.

- En terskelverdi - konsentrasjoner under denne verdien gir ikke effekt
- En dødelighetsrate som beskriver intensiteten av effekt
- En eliminasjonsrate som er relatert til tidsforløpet av toksiske effekter (tiden det tar før terskelnivået overskrides).

Generelt benyttes begrepet terskelverdi om den konsentrasjonen av et kjemikalie som ikke fører til en effekt på organismen. Om denne terskelverdien overskrides kan effekt oppstå avhengig av eksponeringstid (eksponeringen må vare lenge nok til at substansen akkumuleres i organismen). Modellen kvantifiserer hvor fort kjemikaliene bygges opp i kroppen (eliminasjonsraten), når effekten starter og hvor sterk denne effekten er (ved hjelp av dødelighetsraten). Interaksjonen mellom disse parametrene fører til ulik respons og sensitivitet, avhengig av eksponeringsnivå og eksponeringstid (16).

SYMBIOSES tallfester den giftige effekten oljen har på organismene ved å simulere den varierende eksponeringen over tid sammen med parametrene terskelverdi, dødelighetsrate og eliminasjonsrate. Dette gjør det mulig å forutsi mer nøyaktig når og hvor oljeeksponering har effekt på egg og larver i bevegelse.

Det er viktig å vurdere ulike terskelnivåer når man vurderer effekten av eksponering for olje. Tradisjonelle miljørisikovurderinger benytter den umiddelbare giftreaksjonen organismen får fra oljesammensetninger ved å bruke terskelverdier hentet fra standardiserte laboratorietester. Disse testene går f.eks. over fire dager, og man ser på overlevelse av fiskelarver eller -yngel. Det er imidlertid slik at en rekke laboratorietester har vist at forsinkede effekter kan føre til dårligere svømmeevne, dårligere evne til å fange mat og større sannsynlighet for å bli spist, noe som igjen kan tenkes å redusere overlevelseshastigheten og antall yngel som overlever til voksen fisk. I SYMBIOSES har vi derfor valgt å benytte ulike terskelnivåer, fra de som kan hentes fra observasjoner i felt og i laboratorier, til terskelnivåer som benytter ulike former for sikkerhetsfaktorer og konservative estimater, for å inkludere forsinkede effekter.

Som nevnt, er det PAH som er den kjemiske gruppen av oljebestanddeler som gir størst grunn til bekymring, og det er derfor fokusert ekstra mye på denne i SYMBIOSES. I SYMBIOSES har vi valgt ut flere terskelnivåer, som svarer både på umiddelbare og forsinkede effekter forårsaket av oljeeksponering (effekter som vi kjenner til

i dag). For å sikre at usikkerheten dekkes godt nok, evalueres effekten ved å bruke fire sett med terskelnivåer. Verdiene ble utviklet gjennom en omfattende evaluering av tilgjengelig data, modellerte toksisitetsestimater og ekspertvurderinger. Det første basisnivået (nivå 1) ble utledet fra tilgjengelig forsøksdata (på andre fiskearter enn her undersøkt) for forskjellige livsfaser til fisk (egg, larve, ung, voksen) med en sikkerhetsfaktor på 50 for hver kjemisk gruppe (17). Sensitiviteten kan variere mye fra art til art, og sikkerhetsfaktoren ble benyttet for å være sikker på at de mest sensitive artene og livsstadiene ble inkludert i kalkuleringene. Sikkerhetsfaktorer brukes rutinemessig i økotoksikologiske beregninger når det er usikkerhet rundt data. I nivå 1 brukes alle de tre økotoksiparametrene kalkulert i DEBtox modellen for å beregne effekt.

For å ta ytterligere forbehold i modellen, ble en høyere sikkerhetsfaktor benyttet i nivå 2. For de fleste hydrokarboner er terskelverdiene på nivå 2 de samme som nivå 1, men PAH-gruppene har en sikkerhetsfaktor på 500 istedenfor 50 på terskelnivået for å inkludere toksiske mekanismer fra PAH'er som pr. i dag ikke dekkes av eksisterende modeller.

Nivå 3 parametre for PAH inkluderer ikke den tiden det tar for en effekt å oppstå. Istedenfor antar man umiddelbar død for de organismene som er eksponert for PAH konsentrasjoner på 1,0 deler per milliard eller høyere. På denne måten har man i modellen tatt høyde for potensielle forsinkede effekter i modellsimuleringene.

I nivå 4 ble det brukt de samme prinsippene som i nivå 3, men konsentrasjon der umiddelbar effekt forventes ble redusert til 0,1 deler per milliard eller høyere.

Nivå 3 og 4 er utformet konservativt gitt dagens kunnskap om effekter. Ny kunnskap kan gi grunnlag for å angi terskelverdiene med større nøyaktighet.

Hvordan rapporteres resultatene fra SYMBIOSES-simuleringene?

I denne rapporten drøftes samlet overlevelse for en hel årsklasse fra egg og larve til voksen torsk for hvert av de fire terskelnivåene (nivå 1-4). Etter å ha fulgt utviklingen fra egg gjennom larvestadiet til svømmestadiet (omtrent 7 måneder), beregnes ulikheten i styrken av denne årsklassen, med og uten effekten av et oljeutslipp. Det er korrigert for tetthetsavhengig dødelighetsrate, da høy tetthet kan medføre økt dødelighetsrate på grunn av matmangel. Utviklingen av denne årsklassen simuleres til den rekrutterer til gytebestanden og videre i utvikling av bestanden. Vi definerer effekten på bestanden av 10 ulike årsklasser som en reduksjon i biomasse (voksne) når man inkluderer ikke-eksponert og oljeeksponerte årsklasser. Effekten beregnes omlag syv år etter et oljeutslipp, da den eksponerte årsklassen av egg og larver innehar sin største del av bestanden på dette tidspunkt.

For å svare på spørsmål 1 – hva vil tapet av skreilarver være – må funnene drøftes ut fra prosentvis forskjell i overlevelse av egg og larver med og uten oljeeksponering for den aktuelle årsklassen. For å svare på spørsmål 2 – hva vil påvirkningen på skreibestanden være – drøftes de prosentvise forskjellene i den voksne torkebestanden med og uten effekter av et akutt oljeutslipp.

Casestudie av skrei

SYMBIOSES muliggjør mange simuleringer av ulike scenarier etter et oljeutslipp. Så langt har vi simulert utslipp av to forskjellige oljetyper fra en posisjon på sokkelen ved Nordland VI (67,700N 10,841Ø). Alle simuleringer begynte 1. mars fordi det var ønskelig at simuleringene skulle sammenfalle med den første gytingen i ni forskjellige gyteområder langs norskekysten. Vi valgte årene 1995, 2001 og 2002 for våre simuleringer. I 1995 var biomassen av voksen skrei estimert til 530 000 tonn, i 2001 var den 360 000 tonn og i 2002 var den 505 000 tonn. Ved å bruke et utvalg av år hvor størrelsen på ungfiskbestanden og alderssammensetningen på voksenbestanden varierte, ga det oss muligheten til å undersøke hvordan bestandsvariasjoner henger sammen med utfallet av et oljeutslipp.

Vi valgte utslippsmengder på 1500 eller 4500 m³/dag og varigheter på 14, 45 og 90 dager. Det totale utslippsvolumet til sjø varierte etter dette mellom 18 000 og 349 000 tonn. Vårt lengste utslippsscenario tilsvarer halvparten av utslippet fra Deepwater Horizon-ulykken (DWH) i Mexico-gulven. Utslippsmengder påvirkes av reservoarets egenskaper. Basert på geologien i Lofoten argumenteres det med at brønner ved en ukontrollert utblåsning vil ha maksimalt halve utslippsraten som DWH grunnet trykk og andre egenskaper ved reservoaret. Ingen oljevernaktivitet er tatt med i disse utslippsberegningene.

Totalt ble 38 unike kombinasjoner av utslippsrate, utslippsdyp, utslippsvarighet og oljetype (scenarier) simulert for alle de fire terskelnivåene, til sammen 152 oljeutslippssimuleringer. Vi simulerte 20 utslipp fra havoverflaten og 18 utblåsninger fra havbunnen. Vi simulerte også hver av de 38 scenariene uten utslipp av olje for å sammenlikne utviklingen i årsklassen med og uten påvirkning av olje.

Hva er tapet av tidlige livsstadier av skrei fra gyteområdene utenfor Lofoten?

Terskelnivå 1 og 2 gav ikke noe tap av tidlige livsstadier inn i den unge bestanden sammenliknet med ikke-utslippsscenarioet. Overlevelse er redusert for simuleringer med terskelnivå 3 og 4 hvor vi forutsetter øyeblikkelig død for alt av egg og larver som eksponeres for konsentrasjoner av polyaromatiske hydrokarbonforbindelser (PAH) på 1,0 deler per milliard eller 0,1 deler per milliard. Mens de fleste av disse simuleringene resulterte i mellom 0 og 10 % reduksjon i overlevelse av egg og larver sammenliknet med scenarioet uten utslipp, oppnår vi, ikke overraskende, størst reduksjon i overlevelse for den høyeste utslippsraten (4500 m³/dag) kombinert med den lengste varigheten på 90 dager (kalkulert uten oljevern respons). Maksimal reduksjon i overlevelse er 14 % for nivå 3 og 43 % for nivå 4 for den aktuelle årsklassen. For alle utslippsscenarioer vil rekruttering av tidlige livsstadier inn i den unge bestanden fortsette å være relativ høy, og populasjonen vil fortsatt være sunn.

Hva er effekten på skreibestanden i Barentshavet?

Resultatene for redusert overlevelse av egg og larver for en årsklasse som en følge av eksponering overfor et akutt oljeutslipp, ga ingen reduksjon i biomassen av voksen torsk for terskelnivå 1 og 2. En mindre reduksjon i biomassen av voksen torsk oppstod for nivå 3 (< 3 %), mens for vårt mest konservative terskelnivå, nivå 4, fant vi en reduksjon i voksen biomasse på ca. 12 %. Basert på alle simuleringer fant man at bestanden vil rekruttere et tilstrekkelig antall ungfisk til å vedlikeholde den voksne bestanden.

Betydningen av resultatene fra denne casestudien

Å opprettholde en fiskebestand krever kontinuerlig rekruttering fra et tilstrekkelig antall yngel til voksen populasjon. En frisk bestand produserer langt flere egg enn det som overlever naturlig, og rekrutteringssuksessen avhenger av hvordan miljøforholdene påvirker overlevelsen til ung fisk. En utarmet voksen bestand vil produsere færre egg, som igjen kan føre til redusert rekruttering avhengig av miljøforholdene ellers.

Bestanden av skrei er godt forvaltet, og selv de mest konservative antagelsene for økt dødelighet grunnet oljeeksponering, vil ikke påvirke bestanden av voksen fisk til et kritisk nivå. Midlertidig redusert fiske er et tiltak som vil kunne kompensere for eventuelle effekter av de scenariene som er modellert. For torsk vil de seks-syv årene fra ung fisk til moden fisk være tidsrommet hvor slike tiltak kan vurderes.

Simuleringsresultatene fra SYMBIOSES beskriver mindre konsekvenser for skrei enn det mange trodde. Hva er de viktigste årsakene?

Olje i sjø omvandles, fordamper og brytes ned

I de fleste tilfeller vil oljen fra et utslipp konsentreres på havoverflaten, deretter begynner de mest flyktige delene raskt å fordampe. I de påfølgende dagene vil oljeflak brytes opp, blandes ned i vannmassene som dråper og løse seg opp avhengig av vind og havstrømmer. Foto-oksidering og biologiske prosesser bidrar til nedbrytning av oljen. Oljen kan også ta opp vann og danne stabile emulsjoner som kan drive på land. I våre simuleringer fant vi at 43-61 % av oljen som ble sluppet ut gjennomgikk fordamping eller biologisk nedbrytning. Mesteparten av den gjenværende oljen ble spredd svært bredt og kun en relativt liten andel (<3 %) havnet på land.

Omtrent 40-60 % av oljeutslippet fordampet eller ble biologisk nedbrutt ifølge modellen.

- Vi kan simulere oljens interaksjon med organismer mer realistisk

Ved å bruke SYMBIOSES kunne vi spore variasjonene i bevegelsen og spredningen av individuelle torsk og dyreplankton i tid og rom sammen med forskjellige konsentrasjoner av ulike oljekomponenter i miljøet. Vi tok også høyde for tidsvariabel oljeeksponering i vurderingen av biologiske effekter. Våre simuleringer indikerer at torsk som utsettes for et oljeutslipp i Nordland VI generelt er utsatt for lave konsentrasjoner av olje i åpent hav. I de fleste scenarier har utslippet liten påvirkning på overlevelsen, selv når vi anvender høyeste terskelnivå (nivå 4) som tar høyde for forsinkede giftige effekter (ved lavere konsentrasjoner enn det som indikeres ved laboratorietester og eksisterende toksisitetsmodeller).

I dette området og for denne arten medførte akutte oljeutslipp begrensede effekter på fiskeegg og larver

- Vår modell viste at et stort oljeutslipp påvirker i dette tilfellet en eneste generasjon, mens den voksne bestanden av skrei består av fisk fra mange generasjoner

Biomassen av den voksne torsken i Barentshavet består av fisk som er opptil 20 år gammel. Arter som har flere årsklasser som bidrar til biomassen i bestanden er lite påvirket av hendelser som medfører alvorlig dødelighet hos én årsklasse (18). Store tap i en årsklasse medfører altså ikke vesentlige endringer. I vårt casestudie fant vi at de tapene som påføres den ene årsklassen ikke påvirker den totale biomassen eller fremtidige reproduksjon av skreibestanden.

Aldersspredningen i skreibestanden demper effektene fra eventuelle oljeutslipp som én årsklasse utsettes for

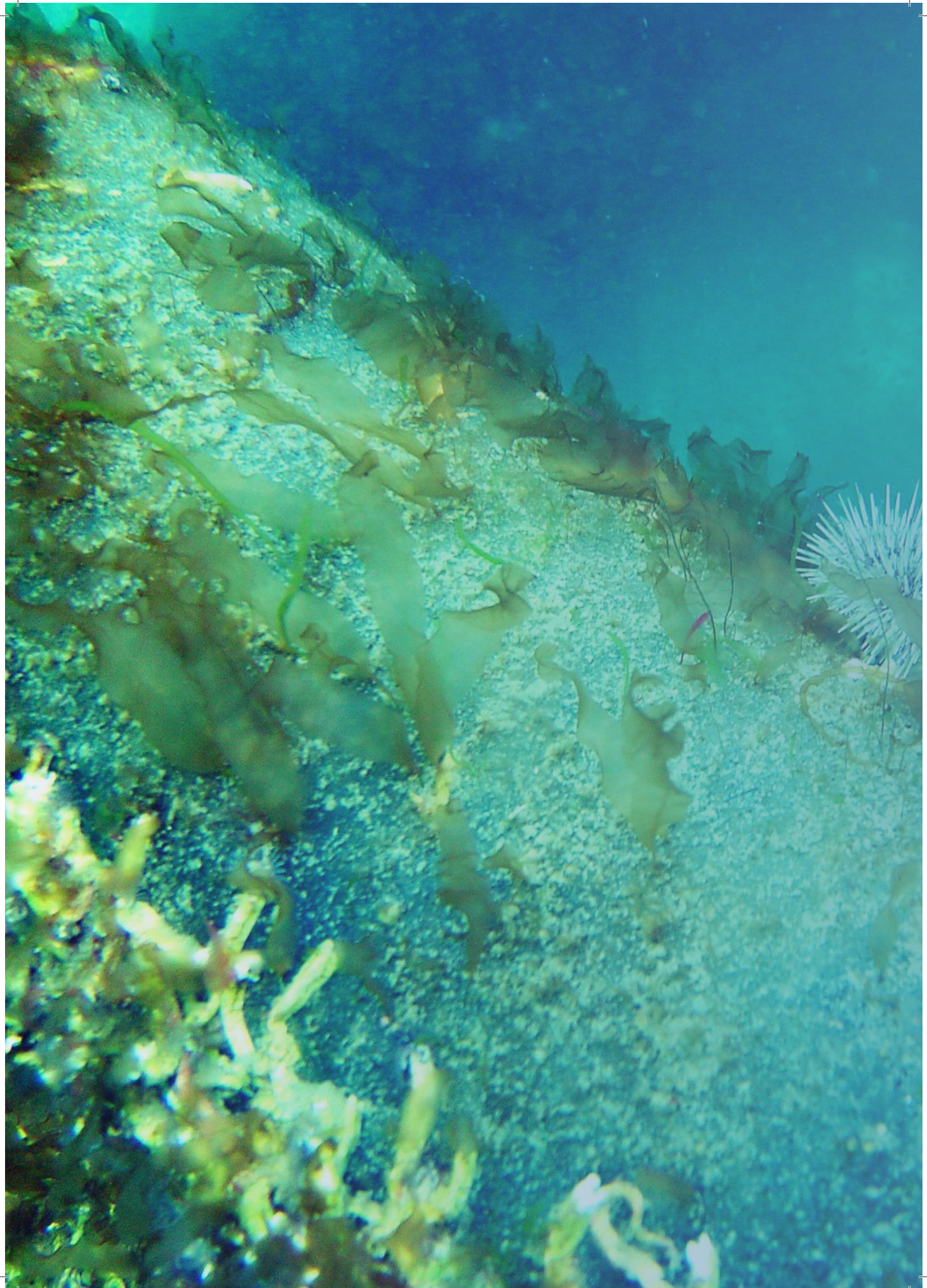
- Bestanden er sunn/frisk og derfor mindre sårbar for tap i rekrutteringsbestanden

Det er mange forhold som påvirker utviklingen av en fiskebestand. Raske endringer henger sammen med variasjoner i miljøet og interaksjon mellom artene, mens endringer over tid gjerne er assosiert med eksterne krefter, som overfiske og klimaendringer. For en frisk bestand vil det typisk være flest år med dårlig til gjennomsnittlig rekruttering av ungfisk til voksen bestand og bare unntaksvis vil det være år med stor rekrutteringsuksess. Lite press fra fiskeriene i senere år og høy rekruttering i 2004-2005 har resultert i høy vekst og stor aldersspredning i skreibestanden. Disse trendene reduserer sannsynlighetene for nedgang i bestanden. Bestandsstørrelsen er i dag godt over det nivået som behøves for å opprettholde full reproduksjonskapasitet, og bestanden er i dag like, eller mer, motstandsdyktig mot reduksjon i et enkelt års nedgang i rekruttering sammenliknet med 90-tallet og tidlig 2000-tallet.

En frisk bestand er mer motstandsdyktig mot rekrutteringstap.

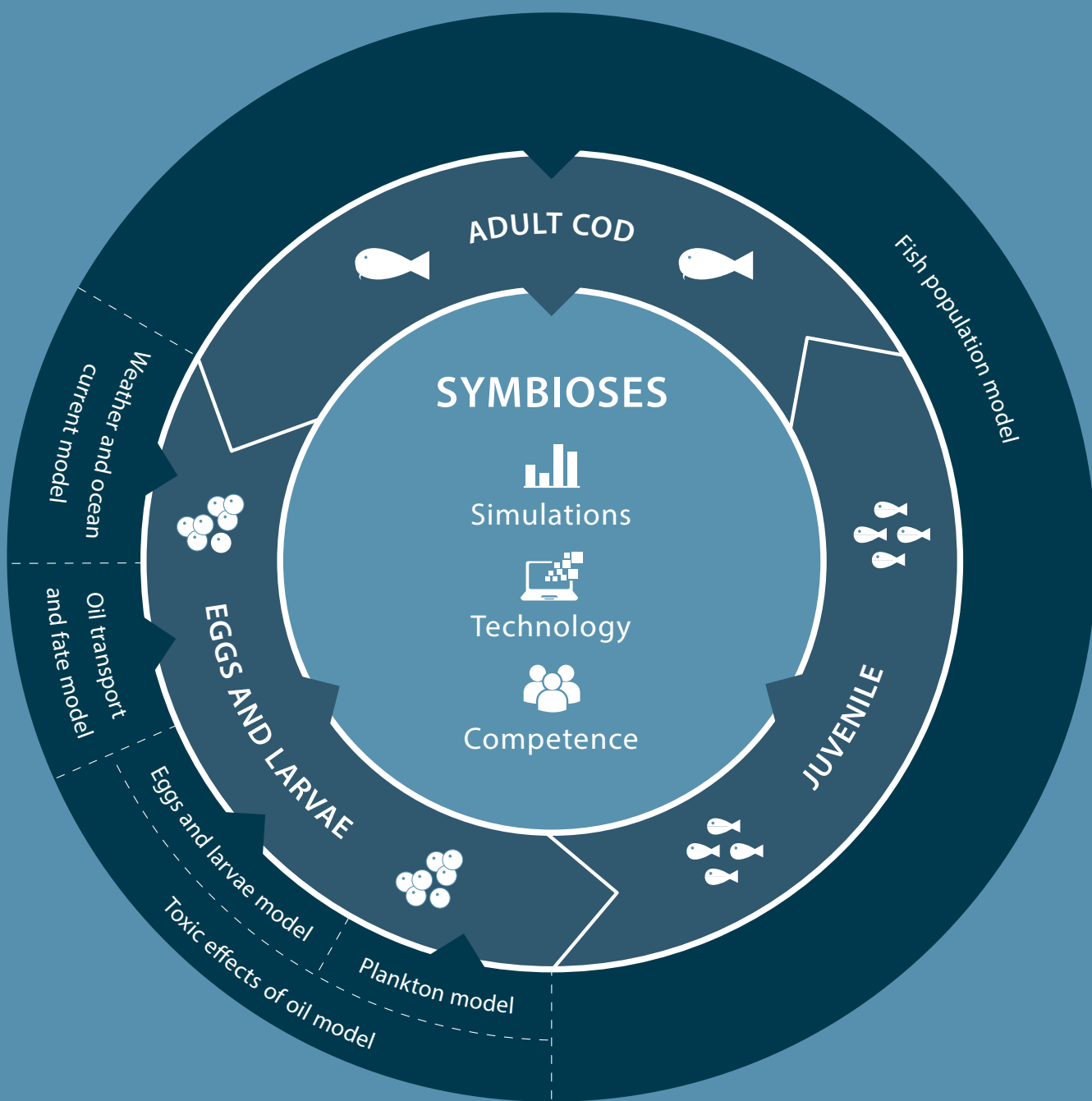
Referanser

- 1) St.meld. nr. 8 (2005-2006) Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (forvaltningsplan). Tilråding fra Miljøverndepartementet av 31. mars 2006, godkjent i statsråd samme dag. (Regjeringen Stoltenberg II).
- (2) Meld. St. 20 (2014–2015) Oppdatering av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten med oppdatert beregning av iskanten. Tilråding fra Klima- og miljødepartementet 24. april 2015, godkjent i statsråd samme dag. (Regjeringen Solberg)
- (3) European Council 2008. Council conclusions on the Commission communication on the role of the CFP in implementing an ecosystem approach to marine management. 2892nd Agriculture and Fisheries Council meeting. Brussels, 29 and 30, September 2008.
- (4) <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Vann.og.hav/Marin-forvaltning/Okosystembasert-forvaltning/>.
- (5) Peterson, C. H.; Rice, S. D.; Short, J. W.; Esler, D.; Bodkin, J. L.; Ballachey, B. E.; Irons, D. B., Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science* 2003, 302, (5653), 2082-2086.
- (6) Ottersen, G.; Bogstad, B.; Yaragina, N. A.; Stige, L. C.; Vikebø, F. B.; Dalpadado, P., A review of early life history dynamics of Barents Sea cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 2014.
- (7) Bogstad, B.; Yaragina, N. A.; Nash, R. D. M., The early life-history dynamics of Northeast Arctic cod: levels of natural mortality and abundance during the first 3 years of life. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2015, 73, (2), 246-256.
- (8) Reed, M., Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. *Environmental Modelling & Software* 2004, 19, (7-8), 681-690.
- (9) Alver, M. O.; Broch, O. J.; Melle, W.; Bagøien, E.; Slagstad, D., Validation of an Eulerian population model for the marine copepod *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea. *Journal of Marine Systems* 2016, 160, 81-93.
- (10) de Hoop, L.; Broch, O. J.; Hendriks, J.; de Laender, F., Crude oil affecting the biomass of the marine copepod *Calanus finmarchicus*: comparing a simple and complex population model. 2016.
- (11) Vikebø, F. B.; Jørgensen, C.; Kristiansen, T.; Fiksen, Ø., Drift, growth, and survival of larval Northeast Arctic cod with simple rules of behaviour. *Mar Ecol Prog Ser* 2007, 347, 207-219.
- (12) Lindstrøm, U.; Smout, S.; Howell, D.; Bogstad, B., Modelling multi-species interactions in the Barents Sea ecosystem with special emphasis on minke whales and their interactions with cod, herring and capelin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 2009, 56, (21–22), 2068-2079.
- (13) Reddy, C. M. et. al., Composition and fate of gas and oil released to the water column during the Deepwater Horizon oil spill. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2012, 109, 20229-20234.
- (14) Jager, T. *Marine Ecotoxicology- Current Knowledge and future issues* 2016, 71-98. Chapter 3. Dynamic modelling for uptake and effects of chemicals.
- (15) Kooijman, S. A. L. M. and Bedaux, J. J. M. *The analysis of aquatic toxicity data*. VU University Press, Amsterdam, 1996.
- (16) Ashauer, R., Albert, C., Augustine, S., Cedergreen, N., Charles, S., Ducrot, V., Focks, A., Gabsi, F., Gergs, A., Goussen, B. et al. Modelling survival: exposure pattern, species sensitivity and uncertainty. *Sci Rep* 2016, 6 (July), 29178.
- (17) Klok, C.; Nordtug, T.; Tamis, J. E., Estimating the impact of petroleum substances on survival in early life stages of cod (*Gadus morhua*) using the dynamic energy budget theory. *Mar Environ Res* 2014, 101, 60-8.
- (18) Ohlberger, J.; Langangen, Ø., Population resilience to catastrophic mortality events during early life stages. *Ecological Applications* 2015, 25, (5), 1348-1356.



Konklusjon

- De fleste utslippsscenarier (basert på et enkelt års nedgang i rekruttering) som er modellert resulterte i en reduksjon i overlevelse for egg, larver og ung fisk/ungel på $\leq 10\%$ i årsklassen. Et verstefalls-tilfelle (maksimal utblåsningsrate, 90 dager varighet, ingen oljevern, verste tidspunkt og sted) medførte 43 % reduksjon i overlevelse i årsklassen.
- Resultatene av simuleringene indikerer at rekrutteringen av ung fisk til voksen bestand forblir tilstrekkelig for å opprettholde reproduksjonsevnen til skreien, selv med verstefalls-tilfellet.
- De fleste utslippsscenarier reduserer biomassen til den voksne bestanden med mindre enn 3 %. Et verstefalls-tilfelle medførte 12 % reduksjon i den voksne generasjonen.
- Moderate tiltak i form av reduserte fiskerier i en periode kan dempe effekter av en redusert årsklasse på den voksne skreibestanden.
- Bestanden er mindre sårbar for rekrutteringstap delvis fordi bestanden er frisk, og dermed har en buffer mot potensielle tap.
- Det ble modellert tap fra et enkelt års nedgang i rekruttering i skreibestanden. Potensielle effekter på andre fiskearter, eller økosystemet rundt Lofoten generelt, er ikke medregnet.
- Andre faktorer som for eksempel potensielle langtidsvirkninger, andre typer forurensning, og potensiell påvirkning fra andre næringer er ikke inkludert i SYMBIOSES.



SYMBIOSES –

An ecosystem-based modeling system for predicting potential impact on the Northeast Arctic cod fishery from petroleum accidents

As a substitute for real-life experimentation, combining proven scientific models allowed us to examine how an oil spill would impact on cod stock within relevant space and time-based scales;

- To simulate the effects on fish eggs and larvae an oil fate and transport model was combined with a model simulating plankton growth and the development of eggs and larvae in the environment.
- For juvenile and adult cod a well-established model for predicting the development of the fish population – also used to calculate fishing quotas – was utilized to simulate effects, with and without an oil spill scenario.

152 oil spill simulations, with a wide range of data, were performed on the nursing grounds of the Northeast Arctic cod, focusing on

- how oil is transported
- the biological effects of oil compounds
- the behavior and interaction of biological material in the environment.

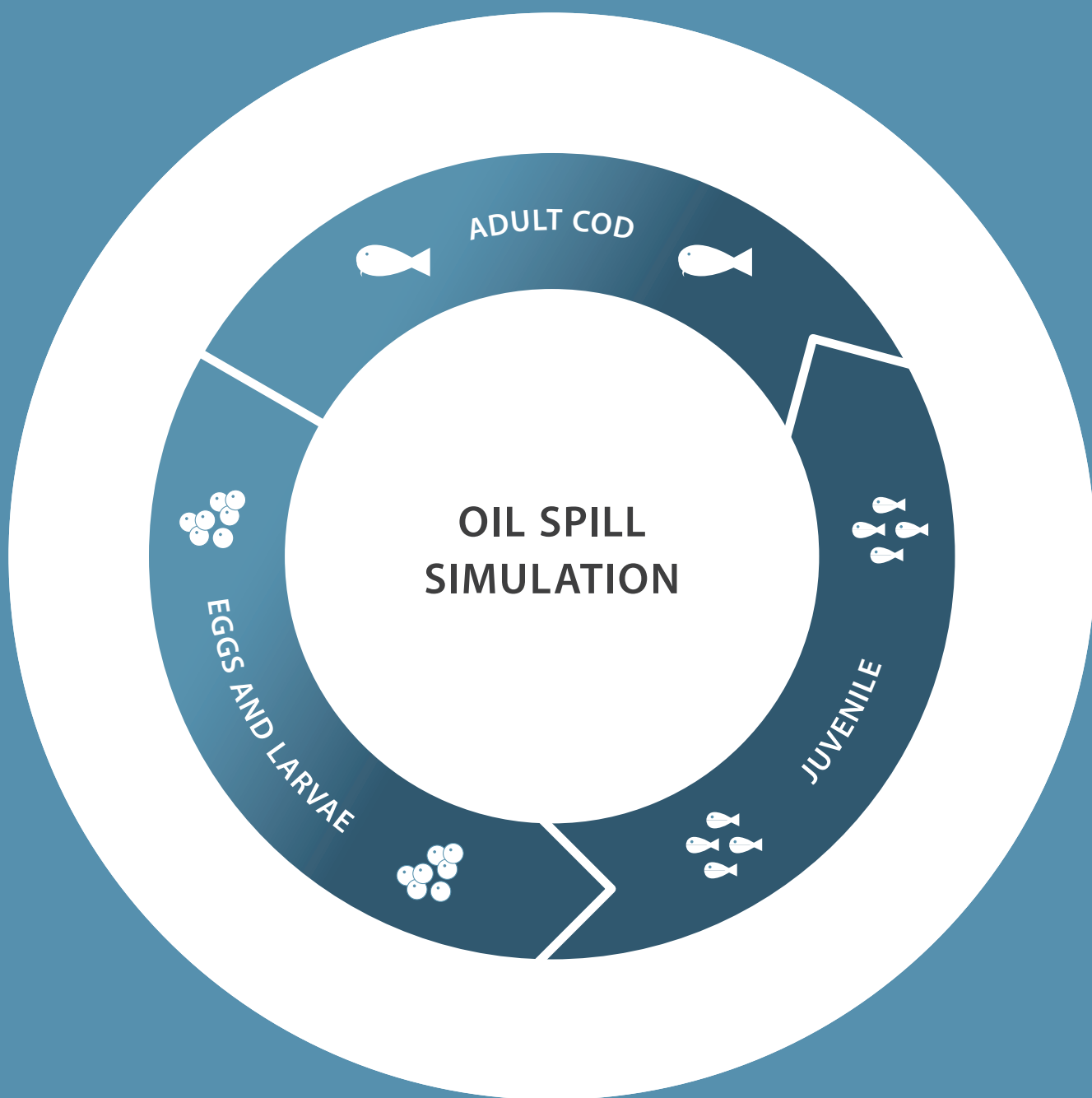
The simulations focus on the toxic sensitivity of fish eggs and larvae to oil, addressing both immediate and long-term effects of an oil spill.

COWI



NIVA
Norsk institutt for vannforskning





For more information about SYMBIOSES and the impact simulation results c

Northeast Arctic cod stock is more robust against oil spill impacts than assumed

- Our simulations of major oil spills suggest that recruitment of juveniles into the adult stock is sufficient to maintain the reproductive health of Northeast Arctic cod
- Most oil spill scenarios reduce the biomass of the adult stock by less than 3%. A worst case scenario leads to a 12% reduction in the adult stock biomass
- The North Arctic cod stock remains at a sustainable level

For mer informasjon om SYMBIOSES og virkningen av
simuleringsresultatene kontakt leder av prosjektet,
JoLynn Carroll, jc@akvaplan.niva.no



170041/02.2020 Foto cover: Peter Prokosch - http://www.grida.no/photolib/detail/atlantic-cod-gadus-morhua-alesund-aquarium-norway_cf29