

# PELFOSS (PELagic Fish Observation System Simulator)

## – Sluttrapport

Morten D. Skogen, Nils Olav Handegard, Arne Johannes Holmin, Solfrid S. Hjøllø, Erik A. Mousing, Kjell R. Utne og Rune Vabø



# Prosjektrapport

**Rapport:**  
RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN

**Nr. – År:**  
30-2018

**Dato:**  
20.08.2018

**Tittel:**  
PELFOSS (PELagic Fish Observation System Simulator)

**Forfattere:**  
Morten D. Skogen, Nils Olav Handegard, Arne Johannes Holmin, Solfrid S. Hjøllø, Erik A. Mousing, Kjell R. Utne og Rune Vabø

**Distribusjon:** Åpen

**Havforskningsprosjektnr.:**  
14883

**Oppdragsgiver(e):**  
FHF

**Oppdragsgivers referanse:**  
FHF prosjektnummer: 901319

**Program:**  
Norskehavsprogrammet

**Forskningsgruppe:**  
Økosystemprosesser

**Antall sider totalt:**  
23

## Sammendrag (norsk):

PELFOSS har utviklet en observasjonssystem-simulator for pelagisk fisk i Norskehavet. Simulatoren er en dataløype der romlig fordeling av fiskebestander fra en økosystemmodell er benyttet til å simulere ulike tokt. Disse er igjen blitt brukt til å estimere mengde fisk ved hjelp av bestandsestimeringsprogrammet StoX. Simulatoren er testet på ulike toktdesign, både de overvåkingstokt som i dag blir gjennomført ved Havforskningsinstituttet, og varianter av disse i tid og rom. Det er også definert helt nye tokt med utgangspunkt i innrapporterte fangster fra fiskeflåten. Effekten av å forskyve et tokt en måned, eventuelt å endre retningen på et tokt varierer, men generelt kan en si at bestandsestimatene for sild er mindre følsomme for dette enn makrell. Et problem med data fra fiskeflåten er at samplingen ikke er tilfeldig og at den dekker et begrenset område. Dagens fiske etter makrell foregår imidlertid i et område og en periode der fisken konsentrerer seg, og et tenkt overvåkingstokt basert på dette fiskeriet gir et godt treff på den modellerte bestanden. Den nyetablerte dataløypen gir et konseptuelt verktøy for å teste ut alternative toktdesign og overvåkningsstrategier, som igjen er nyttig før en etablerer nye toktserier eller overvåkningsprogram.

## Summary (English):

Through PELFOSS an Observation System Simulator has been developed for the Norwegian Sea. The simulator is based on modelled distributions of pelagic fish (Norwegian Spring Spawning herring and mackerel) from an ecosystem model. Sampling has been performed within the modelled distributions to simulate monitoring programs, and the results have been used to estimate stock sizes using StoX. The simulator has been tested on different cruise design, both existing and variations of these, and completely new cruises based on data from the fishing fleet. The simulator is a conceptual tool, to test alternative cruise design and monitoring programs.

## Emneord (norsk):

1. Observasjonssimulator
2. Vandringsmodell
3. Pelagisk fisk
4. Norskehavet

## Subject heading (English):

1. Observation simulator
2. Migration model
3. Pelagic fish
4. Norwegian Sea

-----  
prosjektleder

-----  
faggruppeleder



# Innhold

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning .....</b>                                   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Problemstilling og formål .....</b>                    | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Prosjektgjennomføring .....</b>                        | <b>6</b>  |
| 3.1      | Fiskeridata og toktdata .....                             | 6         |
| 3.1.1    | Fangstfordelinger i tid og rom .....                      | 7         |
| 3.2      | NORWECOM.E2E + vandringsmodell.....                       | 8         |
| 3.3      | StoX .....                                                | 11        |
| 3.4      | Observasjonsstrategier .....                              | 11        |
| 3.5      | PelViz.....                                               | 14        |
| <b>4</b> | <b>Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon .....</b> | <b>16</b> |
| 4.1      | Modellkjøringer.....                                      | 16        |
| 4.2      | Mengdeestimer fra de ulike observasjonsstrategiene. ....  | 16        |
| <b>5</b> | <b>Diskusjon .....</b>                                    | <b>19</b> |
| <b>6</b> | <b>Hovedfunn .....</b>                                    | <b>21</b> |
| <b>7</b> | <b>Leveranser .....</b>                                   | <b>22</b> |

## 1 Innledning

Nordøst-Atlanteren rommer noen av verdens kommersielt sett, viktigste fiskebestander. Dette på tross av at primærproduksjonen er betydelig lavere hos oss enn i de produktive oppstrømningssystemer langs for eksempel Amerikas og Afrikas vestkyst. Grunnlaget for våre store bestander er effektive næringskjeder der en stor del av primærproduksjonen kanaliseres via dyreplankton til fisk og at bestandene vandrer og således høster plankton fra store områder. For å få gode data til å forvalte disse bestandene trengs det derfor overvåkingsdata over store områder. Dette krever store ressurser og det er derfor viktig å gjennomføre denne overvåkingen på en mest mulig effektiv måte.

For å teste ulike overvåkingsstrategier av pelagiske fiskebestander og for å vurdere bruk av data fra fiskeflåten, har prosjektet utviklet et system for å simulere data fra ulike overvåkingsstrategier, etter modell av Observation System Simulation Experiment (OSSE). Kjernen i dette systemet er en modell som simulerer vandringen til makrell og sild basert på økosystemmodellen NORWECOM.E2E som er utviklet ved Havforskningsinstituttet (HI) og Universitetet i Bergen, og bestandsestimeringssystemet StoX som benyttes for å beregne størrelsen på en bestand basert på observasjoner.

Med dette som bakgrunn ble PELFOSS (Pelagic Fish Observation System Simulator) prosjektet startet opp november 2016. Til sammen ti forskere ved faggruppene "Økosystemprosesser", "Økosystemakustikk" og "Pelagisk fisk" har bidratt med i underkant av to årsverk hvorav 50 % er finansiert av FHF og 50 % er finansiert av HI.

Prosjektet har blitt ledet fra HI, og det har vært opprettet en styringsgruppe bestående av representanter fra FHF og næringen. Denne gruppen har hatt ett møte under oppstarten av prosjektet.

## 2 Problemstilling og formål

Hovedmålet for PELFOSS er å utvikle en observasjonssystem-simulator for pelagisk fisk for å optimalisere bestandsovervåkingen basert på data fra fiskeflåten, data fra HI sine tokt og eventuelt andre kilder. Dette er tenkt oppfylt gjennom følgende delmål:

- Utvikle en vandringsmodell for NVG-sild og makrell
- Utvikle en kobling mellom vandringsmodellen og verktøyet som brukes for å estimere mengde fisk fra toktdata
- Evaluere bestandsestimat og overvåking basert på ulike overvåkningsstrategier
- Utvikle et egnet visualiseringssystem

PELFOSS vil gjennom dette ha betydning for næringen gjennom en mer effektiv vurdering av overvåkningsstrategiene av de pelagiske bestandene, inkludert en vurdering av bruk av data fra fiskeflåten. Resultatene fra PELFOSS vil, i tillegg til ordinær rapportering til FHF, bli publisert i en peer-review-artikkel og gjennom deltagelse på nasjonale og internasjonale møter.

## 3 Prosjektgjennomføring

PELFOSS tar utgangspunkt i bruk og videreutvikling av eksisterende modellverktøy ved HI (NORWECOM.E2E og StoX), eksisterende data fra HI sine tokt og data fra fiskeflåten. I tillegg er det brukt ressurser på å utvikle et hensiktsmessig visualiseringssystem for å kombinere modelldata og tokt. Gjennomføring av prosjektet er tredelt:

1. Simulering av romlig fordeling av sild og makrell fra NORWECOM.E2E modellen
2. Simulering av trål-akustiske tokt der akustisk tilbakespredning (tilsvarende ekkolodd-data) og trålfangster er generert fra simuleringsmodellen (NORWECOM.E2E)
3. Estimering av total biomasse fra simulerte observasjoner (punkt 2) ved å benytte ulike observasjonsstrategier og sammenligne disse med teoretisk verdi på bestanden fra NORWECOM.E2E modellen.

Med denne metodikken er det mulig å teste effekten av ulike observasjonsstrategier ved å ta i bruk simulerte data på fordeling av fisk. For å produsere biomasse estimerer fra de ulike simulerte toktene ble bestandsestimerings-programvaren StoX benyttet. Denne programvaren er utviklet ved HI og blir benyttet for bestandsestimering. I forbindelse med PELFOSS er det også utviklet ny programvare i R (<https://github.com/Sea2Data/pelfoss>) til å generere akustiske og biotiske xml-filer som inngangsdata til StoX. Ved å benytte StoX i prosjektet ble det på denne måten mulig å produsere toktestimater med samme metode som det som blir benyttet på reelle tokt-data. Den eneste forskjellen på estimatene fra prosjektet og reelle estimat blir dermed forskjellen på inngangsdataene.

I resten av dette kapittelet gir vi en mer fullstendig beskrivelse av de dataene og verktøyene vi har benyttet og utviklet i PELFOSS. Vi begynner med en beskrivelse av fiskeri og toktdata for sild og makrell (delkapittel 4.1), en kort beskrivelse av NORWECOM.E2E modellen samt den nyutviklede vandringsmodellen for de samme bestandene (delkapittel 4.2), StoX og hvordan sampling er foretatt i simuleringsmodellen (delkapittel 4.3), observasjonsstrategier (delkapittel 4.4) og til slutt en kort beskrivelse av visualiseringssystemet PelViz som er utviklet i prosjektet (delkapittel 4.5).

### 3.1 Fiskeridata og toktdata

Kommersielle fangster anvendt til sammenligningen er basert på utdrag fra fangstdagboken fra 2012. I henhold til Fiskedirektoratets kodeliste B for landing- og omsetning av fisk, ble det for makrell hentet alle fangster med fiskesortskode 2013 (atlantisk makrell), i alt 1123 registreringer. For sild ble det hentet alle fangster med fiskesortskode 0611 (atlantisk sild), i alt 2722 registreringer. I prosjektet fokuseres det på norsk vårgytende sild (fiskesortskode 061101), men da denne registreringen ikke var brukt i fangstdagboken i 2012, ble den mer generelle koden for atlantisk sild brukt. Det er dermed mulig at noen fangster inneholder sild fra andre populasjoner enn NVG-sild (for eksempel nordsjøsild).

Lengde- og breddegrad var ikke tilgjengelig i fangstdagboken, og fangstlokaliteten var i stedet oppgitt som hovedområde samt delområde innenfor hovedområdet definert i Mjanger et al. (Håndbok for prøvetakning av fisk og krepsdyr, Havforskningsinstituttet 2017). Basert på kart gitt i Mjanger et al., ble lengde- og breddegrad for hver fangstlokalitet definert som midtpunktet i delområdet. Størstedelen av de kommersielle fangster er gjennomført i områder med relativ høy romlig oppløsning for hoved-/delområde og lengde-/breddegrad basert på midtpunktet ble derfor vurdert til å være tilstrekkelig for

å danne et bilde av den romlige fordeling av kommersielle fangster av makrell og NVG-sild. Registreringene for fangstdagboken ble deretter redusert til disse som lå innenfor modellområdet med i alt 773 registreringer for makrell samt 1882 registreringer for sild.

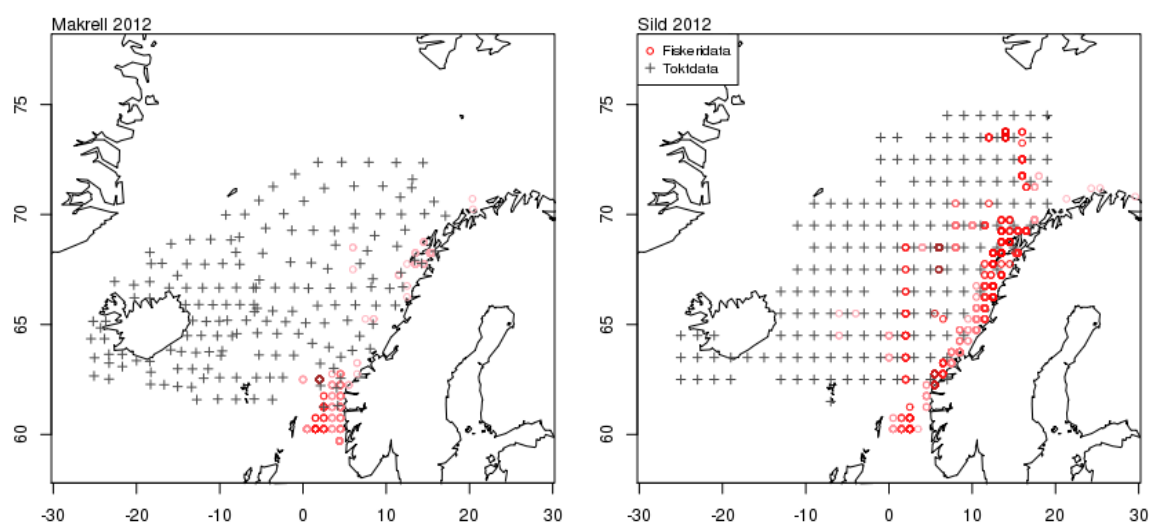
Toktdata fangster anvendt til sammenligning er basert på mengde-estimeringer fra maitoktet for sild (International Ecosystem Survey in the Nordic Seas; IESNS), og økotoktet for makrell (International ecosystem summer survey in the Nordic Seas; IESSNS) fra år 2012. Se i avsnitt 3.4 *observasjonsstrategier* for flere detaljer om toktene. Registreringer for fangster ble deretter redusert til disse som lå innenfor modellområdet med i alt 168 registreringer for makrell og 169 registreringer for sild.

### 3.1.1 Fangstfordelinger i tid og rom

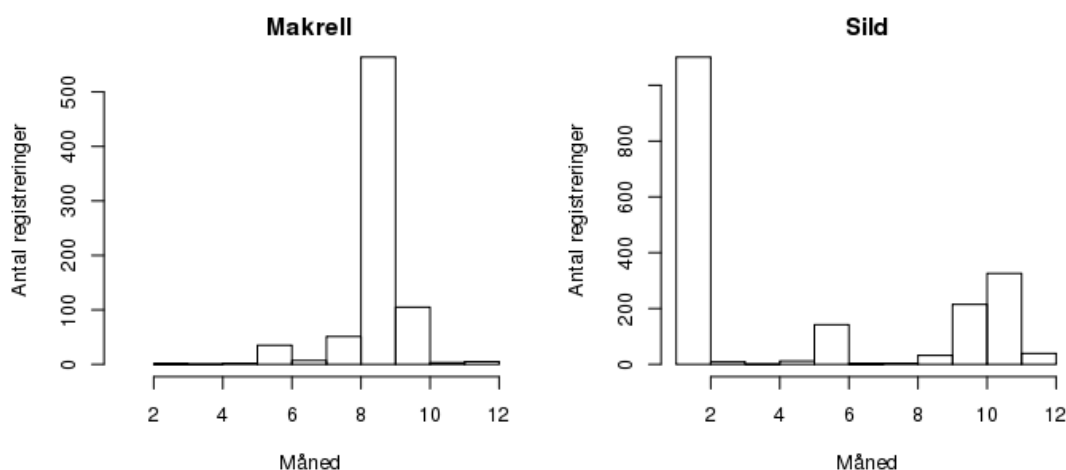
Den romlige fordeling av makrell og silde-registreringer fra overvåkingen samt kommersielt fiskeri fra 2012 er vist i figur 3.1.1. Generelt er det for makrell relativt lite romlig overlapp i registreringene. Overvåkningsdata for makrell (IESSNS) har en jevn fordeling og dekker en relativ stor del av Norskehavet samt Islandshavet. Kommersielle fangstdata er konsentrerte langs norskekysten, primært i den sydøstlige del av Norskehavet med 93 % av alle fangster registrert syd for 63°N. De resterende 7 % av fangstene ble primært registrert i området ut fra Lofoten. Litt over halvdel av alle fangster for makrell ble registrert i et hoved-/delområde på posisjon 62.5°N, 2°Ø. For sild var den romlige overlapp langs kysten større sammenlignet med makrell, men stadig med relativt lite romlig overlapp i store dele av Norskehavet. Overvåkningsdata for sild (IESNS) har, som data for makrell, en jevn fordeling i Norskehavet samt syd for Island. Kommersielle fangster er konsentrert langs hele norskekysten, dog primært i den nordlige del og især i området ut fra Lofoten med ca. halvdel av alle fangster for sild registrert mellom 68 og 70°N.

Den tidsmessige fordeling av kommersielle fangstregistreringer er vist i figur 3.1.2. I likhet med den romlige fordeling, er der lite temporal overlapp mellom fiskeri og toktdata. Langt størstedelen av de kommersielle makrellfangstene er registrert i september sammenlignet med økotoktet for makrell gjennomført i juli. September-/oktoberfiskeriet er konsentrert i den sydøstlige del av Norskehavet i perioden hvor makrellen migrerer ut av Norskehavet mot gyteområdene. Av alle fangster i september (i alt 564) er ca. 75 % registrert i et hoved-/delområde på posisjon 62.5°N, 2°Ø. Makrellfiskeriet er dermed begrenset til en relativ kort periode samt et relativt lite område. Fiskeriet på sild er oppdelt i to perioder: et vinterfiske langs kysten i perioden hvor NVG-sild migrerer langs kysten til gyteområdene; samt et senhøsts-/fjørjulsfiske utenfor Lofoten hvor NVG-sild samles for å overvintre. Der er dermed også lite temporal overlapp med overvåkningstoktet for sild som gjennomføres i mai samt gytetoktet som gjennomføres i februar.

Analysen av de romlige og tidsmessige fordelinger av makrell og sild i fiskeridata danner bakgrunnen for de valgte observasjonsstrategier (se avsnitt 3.4 *Observasjonsstrategier*).



Figur 3.1.1: Romlig fordeling av fangstposisjoner av alle overvåkningsdata (+) samt kommersielle data fra 2012 (o). Fargens intensitet for kommersielle data representerer antallet av fangster i punktet. Posisjoner for fiskeridata er plottet som rødlige sirkler (o) hvor intensiteten av fargen indikerer antallet av fangster på lokaliteten.



Figur 3.1.2. Frekvensdiagram per måned for registreringer av kommersielle fangster.

På grunn av det begrensede overlappet i tid og rom mellom registreringer for fiskeri og toktdata var det ikke mulig å direkte sammenligne disse mellom de to datakildene. En annen mulighet ville vært å sammenligne Catch Per Unit Effort (CPUE), men dette er vanskelig siden fiskeflåten og HI sine fartøyer bruker ulike redskaper. Det kan dog ikke utelukkes at disse i fremtiden vil kunne gjøres mer sammenlignbare hvis der korrigeres for forskjeller i utstyrseffektivitet og samplingstrategi. For fiskeflåten ble det ikke funnet noen sammenheng mellom CPUE og skipsstørrelse hvilket antyder at et slikt estimat kan benyttes på hele flåten.

### 3.2 NORWECOM.E2E + vandringsmodell

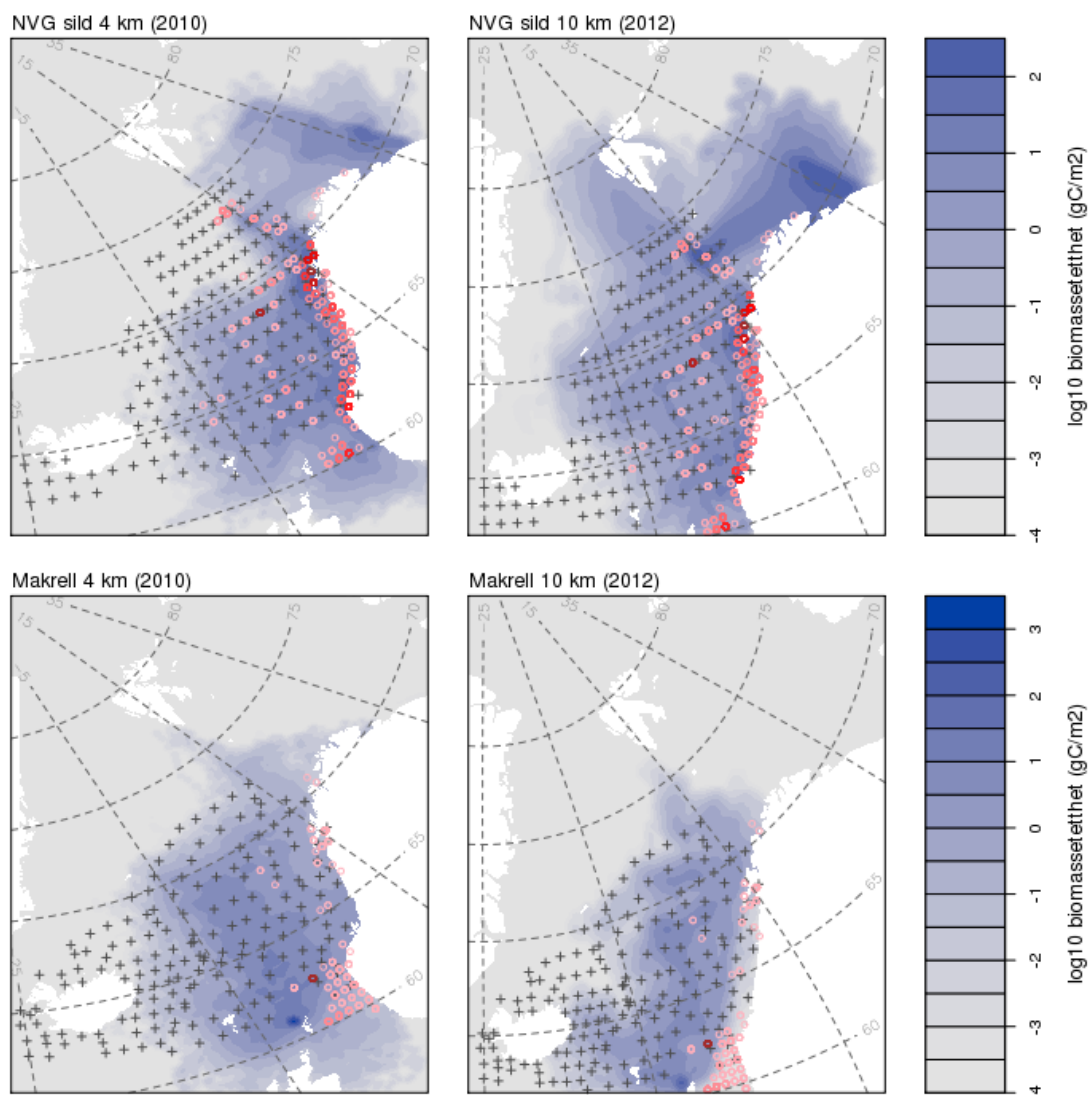
NORWECOM.E2E (The NORWegian ECOlogical Model system – end-2-end) er en økosystemmodell som kombinerer en sirkulasjonsmodell (strøm, salt, temperatur) med en modell for laveretrofiske nivå (næringssalt, planteplankton og dyreplankton), med individbaserte modeller (IBM)

for utvalgte nøkkelarter. Modellen har slike IBM for både NVG-sild og makrell, og kan ved hjelp av et 10000-talls partikler som representerer et varierende antall fisk simulere både vandring, fødeopptak, vekst, gyting og død, samtidig som den holder orden på både alder, lengde og posisjon for hvert individ. Veksten blir beregnet ved hjelp av en bioenergetisk modell parametrisert fra eksisterende litteratur, hvor fødeopptaket baserer seg på tilgangen av modellert dyreplankton fra modellen. Vandringsmodellen baserer seg på kjent årssyklus (overvintring, gyting, fødevandring) og kunnskap om eksisterende overvintrings og gyteområder.

En ny temperatur- og fødedensitetsstyret rutine er utviklet i PELFOSS for å drive fødevandringen for makrell og sild. Formålet med den nye rutinen var å konstruere en metode hvor enkelte superindivider i modellen kan foreta valg om bevegelse basert på endringer i det biofysiske miljø. Tidligere vandringsrutiner anvendt i NORWECOM.E2E modellen har vært basert på kjente sommerfordelinger som modellen har forsøkt å oppfylle ved bruk av forhåndsdefinerte, lokalitetsbaserte vandringsmønstre. I motsetning til de tidligere vandringsrutiner, er den nye vandringsrutine primært drevet av endringer i vannmiljøet og fiskens vandring og fordeling er dermed en funksjon av input fra den fysiske modell samt avlete fordelinger av zooplankton. Modellen gir mulighet for å simulere fiskens vandring uten kjennskap til fiskefordelingen i et gitt år. Videre er det mulig å simulere fremtidige endringer i fiskefordelingen ved framskrivning av den fysiske modell under forskjellige klimascenarier.

Både temperatur- og fødesøkning baserer seg på samme prinsippet: at fisken til enhver tid vil forsøke å optimere sin fitness i forhold til fiskens temperatur- og fødenisje. Temperaturnisjen er for makrell basert på overvåkningsdata (IESSNS 2011-2016) hvor optimumtemperaturen ble estimert til ca. 10.5 °C med en standardavvikelse på ca. 1.7 °C. Sannsynligheten for temperaturstyrt bevegelse ved en gitt temperatur ble deretter beregnet ved at å tilpasse en sannsynlighetskurve basert på en flat Gaussisk fordeling. Fisken vil dermed forsøke å oppholde seg i vann med temperaturer rundt 10.5 °C og sannsynligheten for at fisken beveger seg aktivt for å forbedre sine temperaturbetingelser stiger jo lengere bort fisken er fra sitt temperaturoptimum. Voksne NVG-sild har en bredere temperaturnisje enn makrell, og det ble vurdert at det i norsk farvann ikke forekommer temperaturer som er for høye i forhold til deres utbredelse. NVG-sild forekommer sjelden ved en vanntemperatur på under ca. 2 °C og den vestlige grensen for sildens utbredelse går i hovedsak langs Mohn-ryggen på grensen mellom Norskehavet og Grønlandshavet. Basert på denne kunnskapen, var en full parametrisering av temperaturnisjen for sild unødvendig komplisert. Temperaturstyrt vandring for sild ble derfor implementert som en terskelverdi hvor fisken kun vil lede etter og svømme imot høyere temperaturer hvis den opplever temperaturer under 2 °C.

Beitenisjen for både makrell og sild ble basert på overvåkningsdata (IESSNS 2011-2016). Det var ikke mulig basert på tilgjengelig data, å estimere terskelverdier for sild. De estimerte verdier for makrell ble derfor også benyttet til å modellere beitestyrt vandring for sild. Der er likevel ingen grunn til å anta at verdiene for sild er fundamentalt forskjellige fra makrell. Terskelverdien for aktiv fødesøkning ble estimert til en dyreplankton-konsentrasjon på 60 g m<sup>-2</sup> våtvekt. Ved konsentrasjoner under denne terskelverdien stiger sannsynligheten for at fisken vil søke og bevege seg mot områder med høyere fødetilgjengelighet.



Figur 3.2.1: Oversiktskart over modelldomene, fiskeridata og toktdata. I kartet er vist modellert totalutbredelse samt tidsintegrert biomassetetthet (blått konturområde) for sild og makrell over hele sesongen (1/5-15/10 for makrell, 1/1-31/12 for NVG sild) for de fire modellkjøringene. Posisjoner for toktdata er plottet på kartet for makrell juli-tokt IESSNS (+) samt for sild mai-tokt IESNS (+). Posisjoner for fiskeridata er plottet som rødlige sirkler (o) hvor intensiteten av fargen indikerer antallet av fangster på lokaliteten.

I PELFOSS er det gjort 4 ulike modellsimuleringer med NORWECOM.E2E modellen, 2 for sild og 2 for makrell. I alle simuleringene er en IBM for pelagisk fisk (sild eller makrell) koblet med en IBM modell for *Calanus finmarchicus*, og en såkalt NPZD-modell (næringssalt, planteplankton, dyreplankton, detritus) for lavere trofiske nivå. Havmiljø (strøm, salt og temperatur) er hentet fra en eksisterende simulering med havmodellen ROMS som er gjort ved HI. For de 2 simuleringene som er gjort for hver art, er en simulering gjort på et høyoppløst gitter (4 km horisontal oppløsning) for 2010, mens den andre er gjort på et gitter med horisontal oppløsning 10 km for perioden 2010-2012. Begge modellområdene dekker Norskehavet, Barentshavet og deler av nordlige Nordsjøen (se figur 3.2.1). Modellene for sild og makrell er initiert med alders- og lengdefordelinger fra VPA. For simuleringen med 10 km oppløsning har fokus vært på det siste året av simuleringen (2012), der årene 2010-2011

betraktes som oppspinning. Dette gjør resultatene mindre følsomme for initialfeltet. Den høyoppløselige modellen er bare kjørt for ett år, siden kjøretiden her er betydelig lengre enn for 10 km-modellen.

### 3.3 StoX

Bestandsestimeringsprogramvaren StoX, og det tilhørende R-biblioteket Rstox, er brukt til å produsere toktestimater for en rekke standardtokt hos flere nasjoner, og lagrer alle brukerinnstillinger slik at estimatene kan etterprøves gitt de samme inngangsdataene. I det grafiske grensesnittet kan brukeren velge hvilke prosesser som skal gjennomføres i StoX-prosjektet, som for et trål-akustisk tokt typisk omfatter innlesing og filtrering av inngangsdata (akustiske og biotiske XML-filer), definering av stratum og akustiske transekter, tilordning av trålstasjoner til transektene, omregning fra ekkostyrke til biomasse gitt lengdefordelingen i trålprøvene, og summering av biomasse over toktområdet. Presisjon i biomasse-estimatet estimeres ved hjelp av bootstrapping, som innebærer tilfeldig uttrekk med tilbakelegging av akustiske transekter og trålstasjoner.

For hver kjøring ble et tilsvarende StoX-prosjekt som beskrevet over generert på bakgrunn av modellkjøringene fra NORWECOM-modellen. Basert på stratasystemene for hvert tokt som skulle simuleres ble Rstox brukt til å generere et sikksakk-transektssystem som garanterer lik dekningsgrad gjennom hvert stratum (Harbitz og Holmin, in prep). For hver log-distans (separert med 1 nautisk mil) ble biomasse i gram per kvadratmeter fra NORWECOM-modellen omregnet til akustisk tilbakespredning basert på en tilbakespredningsmodell som kobler ekkostyrke med lengde for hver art. Lenden som ble brukt i denne omregningen var tilpasset til å gi samme totale biomasse som fra modellen, dersom hver grid-celle i biomassefeltet ble samplet akustisk. Akustiske verdier i form av NASC (Nautical Area Scattering Coefficient) ble skrevet til xml-filer tilvarende reelle ekkolodd-data.

Trålprøver ble simulert direkte fra superindividene i NORWECOM-modellen. Trålstasjoner ble trukket ut med en sannsynlighet som en blanding av en jevn sannsynlighet langs transektene og en sannsynlighet proporsjonal med de simulerte NASC-verdiene. Denne blandingen av sannsynligheter var ment å etterligne en reell trålsamlingsstrategi, der det tråles hyppigere i områder med mye fisk på ekkoloddet, men at det likevel tas tilfeldige prøver i mindre tette områder. For hver trålstasjon ble 100 superindivider innenfor en radius på 10 nautiske mil trukket ut med tilbakelegging, og med sannsynlighet proporsjonal med hvor mange enkeltindivider hvert superindivid representerer. De simulerte trålprøvene ble skrevet til xml-filer tilsvarende reelle biotiske data. Alle trålstasjoner i et stratum ble tilordnet hvert akustiske transekt.

For hver kjøring ble 5-, 50- og 95-prosentiler, gjennomsnitt og variasjonskoeffisient (standardavvik delt på gjennomsnitt) lagret sammen med summen av biomasse innenfor surveyområdet.

### 3.4 Observasjonsstrategier

Formålet med å koble NORWECOM.E2E modellen med StoX er å teste ulike observasjonsstrategier. I dette prosjektet har vi testet effekten av å endre tidspunktet for toktgjennomføring, endring i retning av tokt (nord-sør til sør-nord, eller omvendt), variasjoner mellom år, og effekten av å bruke data fra fiskeflåten til å omfordele overvåkingsinnsatsen.

Vi har kjørt simuleringene på makrell og sild, og satt opp simuleringer for mengde-estimeringene fra følgende tre standardtokt gjennomført av eller med deltakelse fra HI: (1) Maitoktet for sild, IESNS (International Ecosystem Survey in the Nordic Seas, Figur 3.4.1-venstre), (2) gytetoktet for sild,

NASSH (North Atlantic Spring Spawning Herring survey, Figur 3.4.1-høyre), og (3) økosystemtoktet for makrell i Norskehavet, IESSNS (International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas, Figur 3.4.2). For IESSNS for makrell er stratumene vest av Island samt et stratum langs norskekysten utelatt fra det originale stratumsystemet. Disse tre toktene er listet som henholdsvis Herring\_IESSNS, Herring\_NASSHS og Mackerel\_IESSNS i Tabell 3.4.1.

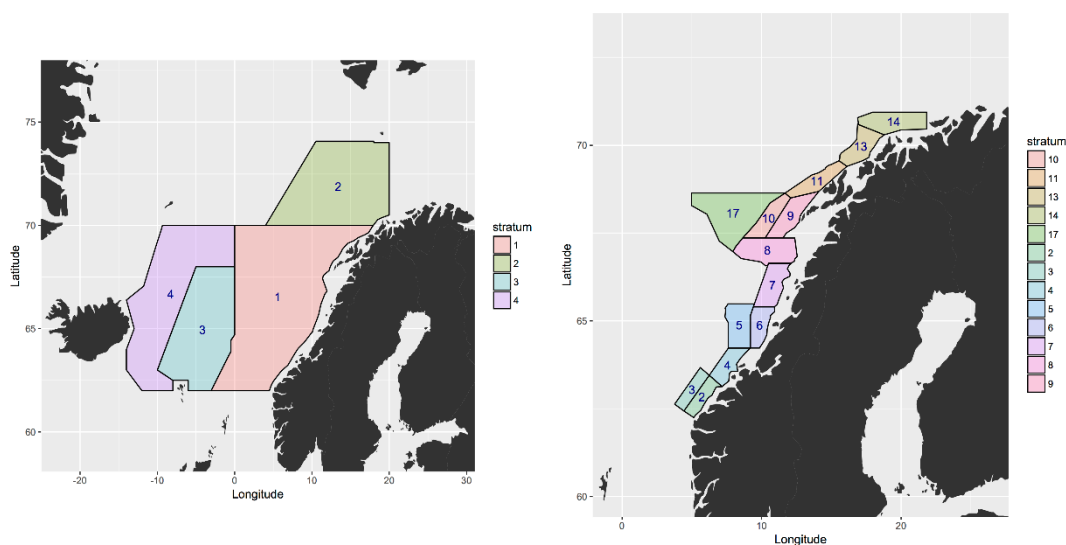
For å vurdere bruk av informasjon fra fiskeflåten har vi brukt data på fangster til å tilordne toktinnsats. Dersom man vil bruke fiskebåtene til å samle inn data, løser ikke denne tilnærmingen problemet med ikke-tilfeldig sampling fra båter i fiskeri, men fremgangsmåten vil likevel illustrere effekten av å samle inn data fra fiskeflåten der fiskeflåten er. Dersom dette fungerer, vil man også måtte løse problemet med ikke-tilfeldig sampling før en kan bruke data fra fiskeflåten direkte.

For NASSHS-toktet skjer fiskeriet samtidig som toktet, og vi brukte fangstene til å allokere innsats direkte inn i de originale toktstrata, det vil si at eksisterende strata får allokert toktinnsats proporsjonalt med fangsten innenfor stratumet. Her falt alle fangster innenfor stratum 2, og det resulterende simulerte toktet Herring\_NASSHS\_fishery (Tabell 3.4.1) hadde derfor all innsats i dette stratumet.

For makrell sammenfaller ikke fiskeriene med IESSNS toktet, og for å teste den fangstbaserte allokeringen av toktinnsatsen definerte vi et tilsvarende tokt to måneder senere (fra juli til september) slik at det sammenfaller med fiskeriinnsatsen i tid (Mackerel\_sept, Tabell 3.4.1, Figur 3.4.2) og kjørte en dekking med innsats skalert etter fiskeriet (Mackerel\_sept\_fishery, Tabell 3.4.1, Figur 3.4.2).

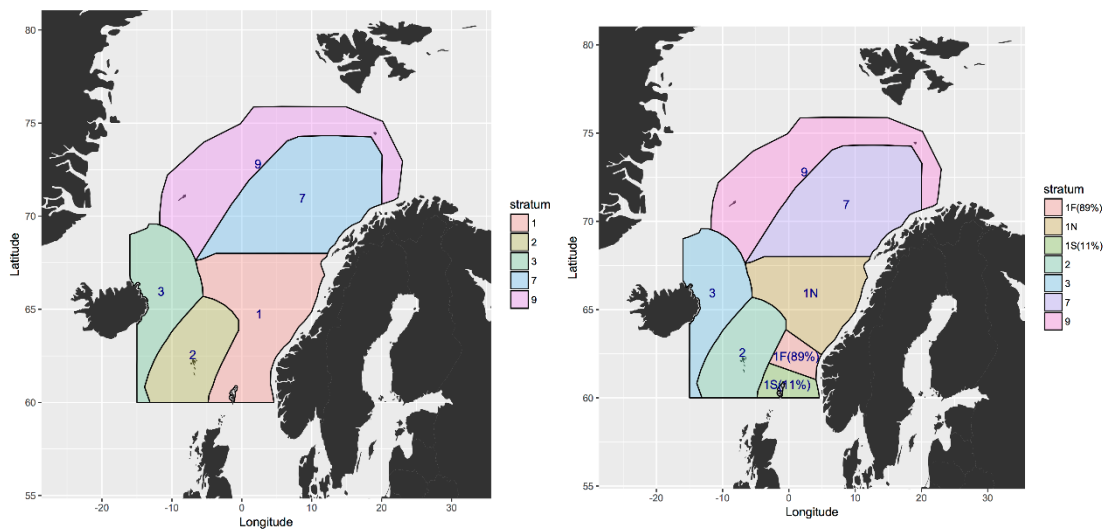
Hvert tokt er simulert med en endring i tidspunkt på en måned, og kjørt i begge retninger med start fra henholdsvis nord og sør, og alle toktene er kjørt for både 2010 og 2012.

De simulerte data for de ulike observasjonsstrategiene er deretter tatt inn i StoX, som beskrevet over, og estimatene kjørt ut. Siden man vet hvor mye fisk som er i modellen, kan man sammenligne estimatet fra StoX med mengde fisk innenfor toktdekningsområdet. Vi har derfor valgt å se bort fra fisk utenfor toktområdet (summen av alle strata) når vi sammenlikner de ulike strategiene. Sammenlikningsmålet er forholdet mellom estimert og modellert mengde og skal ideelt sett være 1.



Figur 3.4.1: Herring\_IESSNS+Herring\_NASSHS. Strata system for IESSNS toktet (venstre) og NASSHS toktet (høyre) – begge sild. IESSNS toktet er kjørt uten innsats fra fiskeriet siden fiskeriet skjer i et annet tidsrom, mens for NASSHS toktet er all fangst fra stratum 2 i perioden toktet gjennomføres

(15/2-25/2). Endringen i innsats for det simulerte toktet Herring\_NASSHS\_fishery basert på fangstene fører til at hele toktinnsatsen allokeres til stratum 2.



Figur 3.4.2: Mackerel\_IESSNS+Mackerel\_sept\_fishery. Strata system for IESSNS toktet for Makrell (venstre) og det samme toktet men med stratum 1 splittet i et sørlig stratum "1S(11%)", et fiskeristratum "1F(89%)" og et nordlig stratum "1N", med innsats basert på fangstene i parentes i stratumnavnene (høyre).

*Tabell 3.4.1. Liste over ulike testscenario. Alle kjøringene er i tillegg gjennomført med en tidsforsinkelse på en måned før og etter det aktuelle toktet, og alle kjøringene er kjørt i normal og reversert retning. Kjøringer med fangstbasert allokering av innsats er markert med "fishery".*

| <b>Tokt</b>            | <b>Tidsperiode</b> | <b>År/oppløsning</b>    |
|------------------------|--------------------|-------------------------|
| Herring_IESNS          | 1/5 - 29/5         | 2010/4 km<br>2012/10 km |
| Herring_NASSHS         | 15/2 - 25/2        | 2010/4 km<br>2012/10 km |
| Herring_NASSHS_fishery | 15/2 - 25/2        | 2010/4 km<br>2012/10 km |
| Mackerel_IESSNS        | 1/7 - 29/7         | 2010/4 km<br>2012/10 km |
| Mackerel_sept          | 1/9 - 29/9         | 2010/4 km<br>2012/10 km |
| Mackerel_sept_fishery  | 1/9 - 29/9         | 2010/4 km<br>2012/10 km |

### 3.5 PelViz

A software visualisation tool, PelViz, has been developed as part of the project. It is written as a Java application running on both Windows and Linux, with the main purpose to visualise outputs from the NORWECOM.E2E ecosystem model. These outputs are typically distributions of key species in the north-east Atlantic ecosystems, such as herring, mackerel and zooplankton among others.

PelViz is able to access these outputs and present them as visualised animations throughout the year. The software can visualise several distributions of various species simultaneously, overlapped or side-by-side for comparison (Figure 3.5.1). Topological data is used to produce an underlying map of bathymetry. Various features have been implemented, facilitating ways in which PelViz becomes a tool for better understanding the dynamics. Among these are both visualisation and quantitative statistical methods showing graphs of various kind. Geographical regions can be selected and masked out in order to investigate corresponding biomasses. Survey lines can be shown and corresponding densities along these lines can be analysed. It is possible to monitor the continues changing densities along a defined geographical section between two coordinates. Simple statistics with histograms of model output throughout the year can be presented. It is possible to show several distributions, e.g. several different species, or different model runs for the same species on top of each other. Distributions can be analysed together, both to visualise and quantify overlap and other correlations. PelViz is fully animated and the user can easily control the timeframe throughout the year. It is also highly interactive through mouse – keyboard in order to select and investigate the data presented. Images can be exported in order to produce videos of animations.

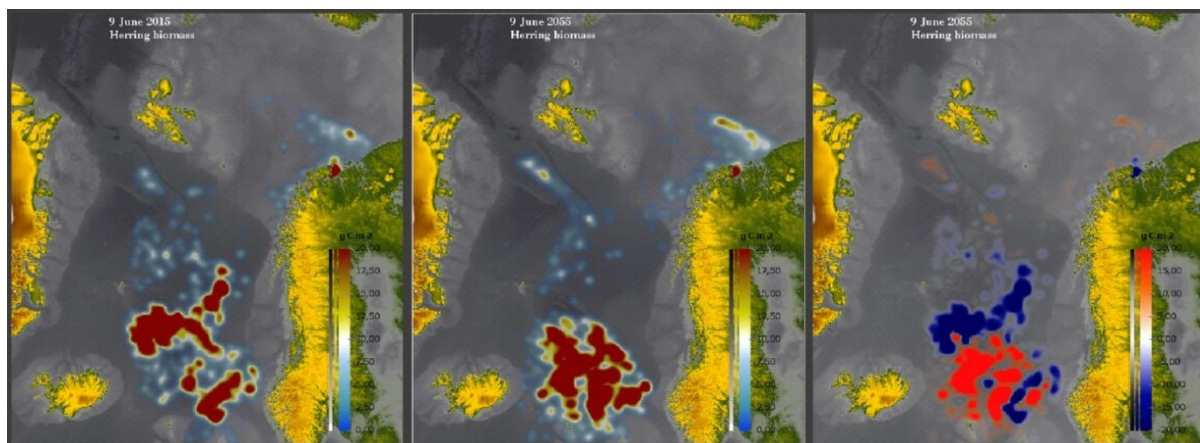


Figure 3.5.1: Herring distribution in June shown with the PelViz visualisation tool. Single frame from an animation showing two model runs of herring for 2 different years, 2015 and 2055 alongside the relative difference between these.

## 4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

### 4.1 Modellkjøringer

Ved hjelp av NORWECOM.E2E modellen er det gjennomført 4 modellsimuleringer, 2 simuleringer med høy romlig oppløsning (4 km) for 2010 (en for makrell og en for NVG sild), samt 2 simuleringer med lavere romlig oppløsning (10 km) for 2012. I alle simuleringene er posisjon, vekt, lengde og antall lagret daglig og videre interpolert til 2-dimensjonale (integret fra overflate til bunn) fordelingskart (figur 3.2.1 og 4.2.3) av modellert sild og makrell.

### 4.2 Mengdeestimerer fra de ulike observasjonsstrategiene.

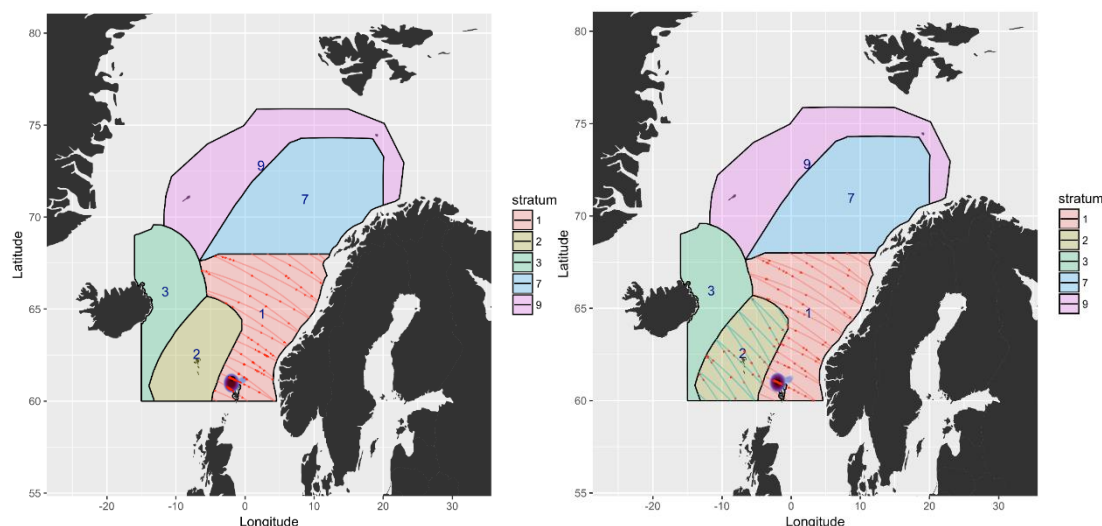
Estimatene fra StoX fra de simulerte toktene (Tabell 3.4.1) er presentert relativt til simulert biomasse i modellen (Figur 4.2.2).

Når vi varierer tidspunkt og retning for de originale toktene (Herring\_IESNS, Herring\_NASSHS og Mackerel\_IESSNS), ser gjennomsnittsverdiene for maitoktet Herring\_IESNS og makrelltoktet Mackerel\_IESSNS mer stabile ut enn for gytetoktet Herring\_NASSHS, men variansen er større. Dette skyldes trolig at området som dekkes er større for maitoktet og makrelltoktet enn for gytetoktet. Samplingsvariansen knyttet til gytetoktet er lavere, men biasen fra endringer i tidspunkt, og i noe mindre grad retning, er større. Det kan ha sammenheng med at fisken er på vandring, men at området er mindre slik at tilsvarende innsats gir lavere samplingsvarians.

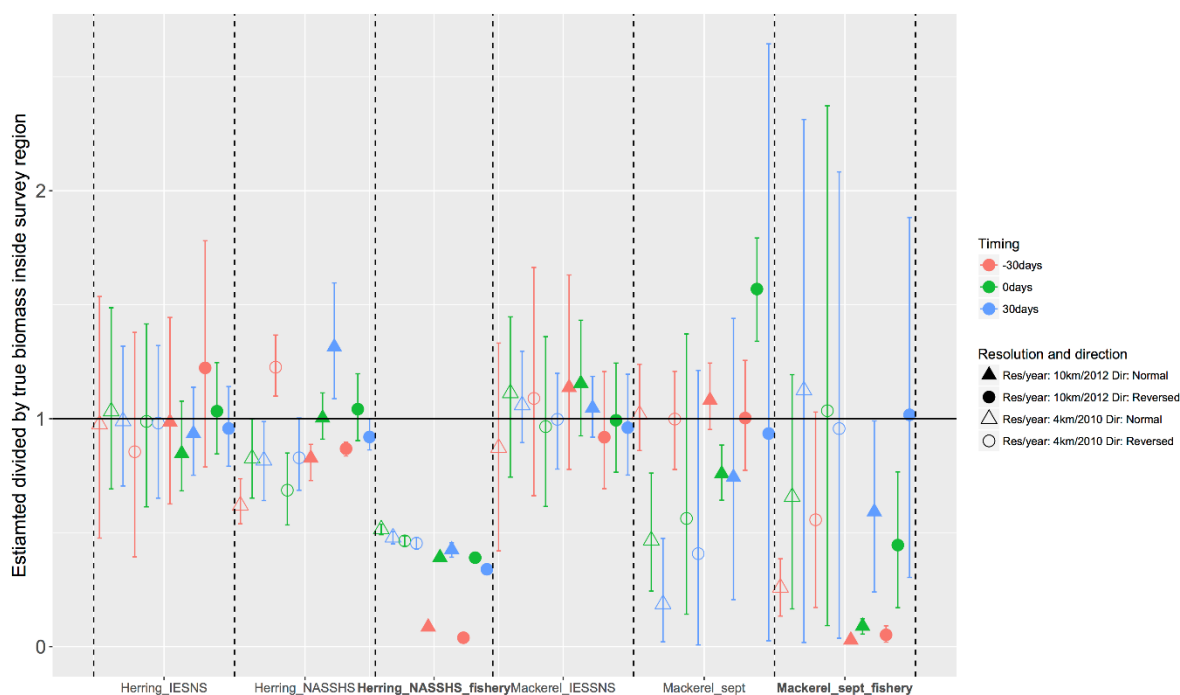
For sammenligningene mellom innsats basert på fangster og original innsats ser vi en generell underestimering dersom vi skulle basert innsatsen på fangstene (Herring\_NASSHS\_fishery vs Herring\_NASSHS; og Mackerel\_sept\_fishery vs Mackerel\_IESSNS). Dette indikerer at området som dekkes av fiskeflåten er for lite til å fange opp hele bestanden.

Makrelltoktet flyttet i tid til september, Mackerel\_sept, viser også en underestimering, særlig for den høyoppløselige modellkjøringen for 2010 og for toktgjennomføring i september eller oktober (ufylte grønne og blå punkter). Denne underestimeringen kan ha sammenheng med at makrellbestanden på denne tiden er svært konsentrert i modellkjøringen, og at de få transektene som sammenfaller med denne konsentrasjonen ikke evner å fange opp denne biomassen. Figur 4.2.1 viser to kjøringene av Mackerel\_sept for 2010, normal retning men flyttet 30 dager bak til oktober med to ulike seed-verdier, der ett av transektene treffer midt på hovedkonsentrasjonen av makrell for seed 2. Dette gir en tidobling av estimert biomasse, fra 0.4468 til 4.7933 millioner tonn for de to seed-verdiene.

En fordel med å allokere innsats etter fangster er at samplingsvariansen kan bli lav, men siden vi ikke dekker fisk utenfor områdene der fiskeriet foregår er det en fare for underestimering av bestanden. Dette illustreres godt i figur 4.2.3 som viser simulert fordeling i perioder med høyest fiskeriintensitet og hvor vi tydelig ser hvordan bestanden er spredt utover et betydelig større område. Andre tidspunkt og strategier kan testes med rammeverket og det er en naturlig fortsettelse av arbeidet.



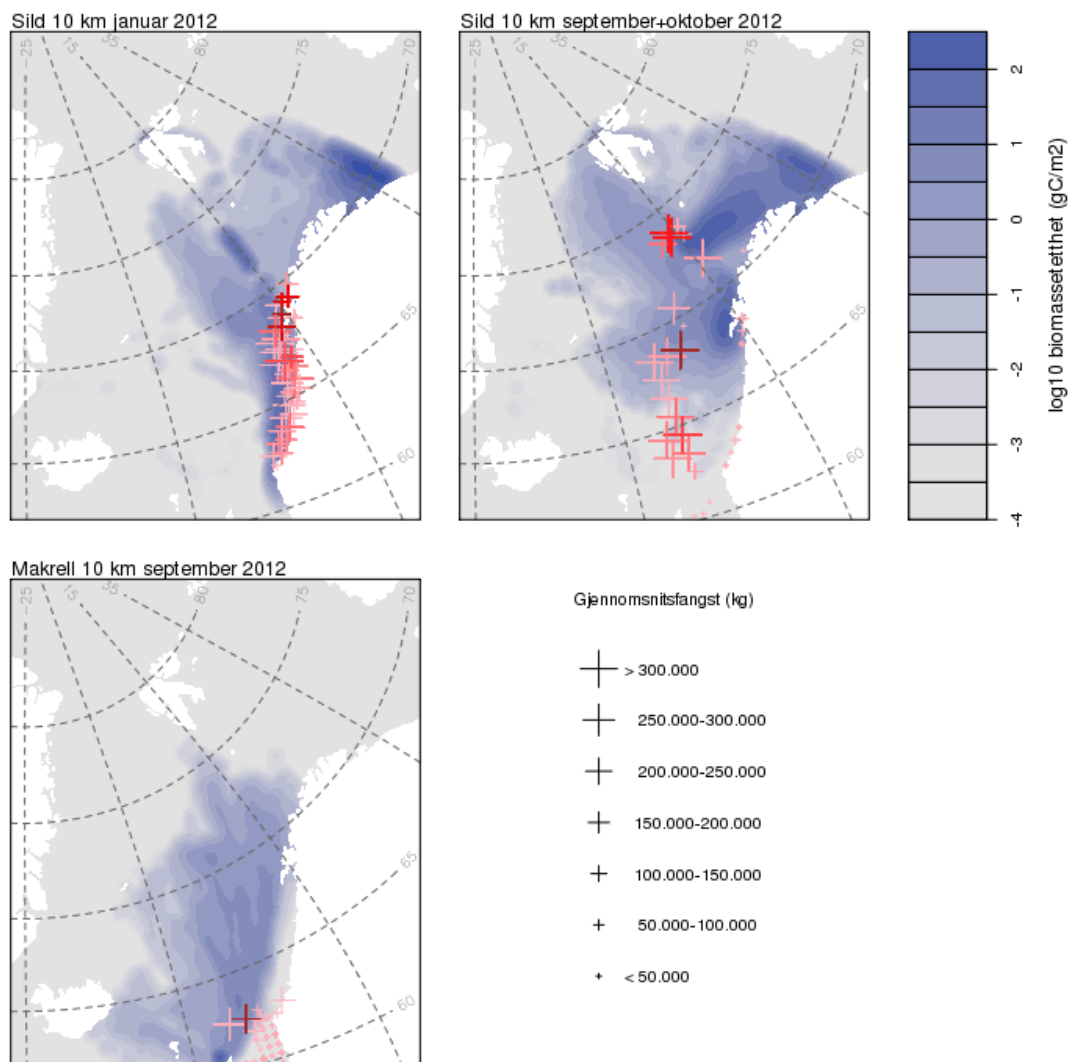
Figur 4.2.1: Det simulerte toktet Mackerel\_sept for to ulike seed-verdier i transektsystemet, seed=1 (venstre) og seed=2 (høyre). Total estimert biomasse for de ulike kjøringene er henholdsvis 0.4468 og 4.7933 millioner tonn.



Figur 4.2.2. Estimatenes fra de ulike observasjonsstrategiene (Tabell 3.4.1) i forhold til mengden fisk i modellkjøringene: 1 betyr at StoX estimerer like mye biomasse som modellestimatet. Røde, grønne og blåe grafer viser estimatene når vi skifter toktet en måned fram, faktisk tid og en måned senere. Fylte og åpne symbol viser data fra 2010 med 4km og data fra 2012 med 10 km oppløsning. Triangler viser reell retning mens rundinger viser resultatene ved å endre retningene på toktet.

Resultatene baserer seg på vandringsmodellen, og denne må gi et riktig bilde av situasjonen dersom rammeverket skal kunne brukes. Et problem som særlig er aktuelt for makrell er at det området som modelleres er begrenset i syd der makrellen vandrer ut og inn av Norskehavet og størstedelen av fiskeriet foregår. Basert på dette vil den sydlige migrasjon i modellen bli endret slik at fisken i større

grad forlater modellområdet i hele transektet mellom Norskekysten og Færøyene. Dette vil bidra til en mer realistisk fordeling av makrell på høsten. Verktøyet gir uansett innsikt i prosessene i overvåkingen av de ulike bestandene, og ofte starter man overvåking uten en klar formening om fordeling. Simuleringene vil kunne hjelpe første fase av å sette opp et tokt.



Figur 4.2.3. Tidsintegrert biomassetetthet (blått konturområde) for sild og makrell for periodene der fiskeriintensiteten er høyest: januar samt september + oktober for sild (øverst) samt september for makrell (nederst). Posisjoner for fiskeridata er plottet som rødlige kryss (+) hvor intensiteten av fargen indikerer antallet av fangster på lokaliteten. Størrelsen på kryss viser gjennomsnittsfangst for alle fangster på posisjonen i perioden.

## 5 Diskusjon

Hovedmålet for PELFOSS har vært å utvikle en observasjonssystem-simulator for pelagisk fisk i Norskehavet. Dette er gjort ved å videreutvikle og tilpasse eksisterende modell for romlig fordeling av fiskebestander, og verktøy for å estimere mengde fisk fra tokt som allerede finnes ved HI. Mer konkret er det utviklet en vandringsmodell for sild og makrell som er koblet mot økosystemmodellen NORWECOM.E2E, og det er etablert verktøy for å hente ut data fra denne modellen for å simulere et tokt, samt å beregne tokttindeks basert på disse virtuelle toktene. Ulike toktdesign har blitt benyttet, der en tar utgangspunkt både i HI sine tokt og en mulig overvåking basert på observasjoner fra fiskeflåten. Denne nyetablerte dataløypen gir et konseptuelt verktøy for å teste ut alternative toktdesign og overvåkningsstrategier, som er et nyttig verktøy før en etablerer nye toktserier eller overvåkningsprogram.

Havforskningsinstituttet bruker årlig store summer på overvåking av havet, og å optimalisere innsatsen er derfor en sentral oppgave for instituttet. Dersom en har historiske data fra en tidsserie kan man kjøre analyser på historisk material for å optimalisere denne innsatsen. En kan for eksempel finne ut hvor mange fisker en må lese alder på, hvor tette toktlinjer en må kjøre osv. Problemet med denne tilnærmingen er at det krever eksisterende data og det er kun tilgjengelig for en liten del av potensielle overvåkingsaktiviteter. En annen tilnærming er å simulere data for å teste de ulike strategiene, noe det etablerte verktøyet gir en mulighet for. En slik simuleringsmodell er rimelig og fleksibel, og en kan i prinsippet teste mange ulike strategier uten å etablere en dyr tidsserie først. Det blir ikke like bra som ved veletablerte tidsserier, men det gir en bedre pekepinn på veien videre enn ved å starte uten noe informasjon.

Observasjonssystem-evaluatoren (OSSE) har blitt brukt til å vurdere ulike toktdesign, både i tid og rom. Effekten av å forskyve et tokt en måned frem eller tilbake, eventuelt å endre retningen på et tokt varierer mellom artene (NVG sild og makrell) og de ulike toktene, men generelt kan en si at bestandsestimatene for sild er mindre følsomme for dette enn tilsvarende for makrell. Mer spesielt er tokttindeksen for IESNS toktet i liten grad avhengig av tidspunktet for toktgjennomføring, mens resultatet for gytetoktet for sild (NASSHS) er mer følsomt til når toktet gjennomføres. For NASSHS og eventuelle andre tokt som er følsomme med hensyn på tidspunktet er det av større nytteverdi å få informasjon om observasjoner fra f.eks. fiskeriene for å justere den opprinnelige planen. Tilbakemeldinger fra fiskeflåten kan dermed sikre at toktet ikke bommer stort på hovedtyngden av fisk. Dette gjelder spesielt tokt som dekker fisk som står klumpvis fordelt og/eller er på rask vandring. Tilsvarende er modellen kun testet innenfor eksisterende dekningsområder. Modellens totale utbredelsesområde (Figur 3.2.1) er ikke alltid i samsvar med dette, og det bør vurderes i hvilken grad en kan bruke modellen til å sjekke hvilket dekningsområde som er hensiktsmessig.

Dersom en skal bruke data fra fiskeflåten mer aktivt, er det flere ting som må tas hensyn til. Den største forskjell mellom data fra fiskeflåten og HI sine observasjoner er at de representerer tilfeldig og ikke tilfeldig sampling. Fiskebåtene er ikke ute til enhver tid og dekker derfor et beskjedent område (men med høy innsats). Dette viser seg f.eks. i Herring\_fishery eksempelet der variansen er svært lav, men hvor det også er en negativ bias siden området som er dekket er begrenset. For å kunne bruke data fra fiskeflåten må dekningen bli større eventuelt kjøres på et annet tidspunkt der flåten dekker en større del av bestanden under fiskeriet. Hvis data fra fiskeflåten skal benyttes vil det også være fordelaktig å

bruke data fra flere nasjoner, siden det vil gi informasjon om fiskeriet i andre områder og til andre tider av året. I vårt arbeid har vi vurdert muligheten for å definere nye overvåkningstokt med en systematisk dekning som i stor grad overlapper i rom og tid med hvordan dagens fiskerier foregår. En alternativ tilnærming vil være å kun benytte data fra fiskeflåten som mulig dekning av bestanden, dvs. rapporterte fangster sammen med akustiske transekt under fiskeriene. Uansett så kommer en ikke utenom å håndtere at data fra fiskeflåten samler skjevt.

Det simulerte makrellfisket tilfredsstiller kravet om å dekke en stor del av bestanden under antagelsen om at makrellen vandrer ut av Norskehavet på høsten. Ved å definere et nytt overvåkningstokt som tar utgangspunktet i dette fiskeriet får vi en god treff på den modellerte bestanden. Dette ser vi godt i scenariet *Mackerel\_sept\_fishery*, som treffer meget godt på den totale bestanden +30 dager, dog med en svært høy varians. Dette antyder at det kanskje vil være et alternativ å overvåke makrellbestanden i dette tidsrommet. For sild er det langt mellom bestandsmålet basert på et overvåkningstokt basert på tilstedeværelsen til fiskeflåten og den totale størrelsen på bestanden (*Herring\_NASSHS\_fishery*). På den annen side er bestandsmålet nærmest uavhengig av toktdesign og med lav varians, noe som potensielt burde kunne utnyttes.

Variansen i estimatene for de ulike kjøringene er basert på bootstrapping, der akustiske transekter og trålstasjoner trekkes med tilbakelegging i hvert stratum. Denne metoden for å estimere varians kan være sårbar for antall transekter og trålstasjoner, og for hvor mye verdiene varierer mellom transekter og trålstasjoner. For *Mackerel\_sept* førte endring av startpunkt i transektsystemet til en tidobling av den estimerte biomassen. Denne variansen, er ikke beskrevet av bootstrappingen, men kan kartlegges ved å gjenta eksperimentene i prosjektet for ulike startpunkt. En slik undersøkelse vil være en naturlig fortsettelse av prosjektet.

Variansen i estimatene kan også bli påvirket av hvor glatt fordelingen av biomasse er i modellkjøringene. Pelagiske arter opererer i perioder i stimer, noe som øker variansen i de akustiske verdiene. En mulig fremgangsmåte for å inkludere denne variansen er å simulere stimstruktur og dybdefordeling basert på biomasse-feltet fra NORWECOM.E2E-modellen

Kvaliteten på de simulerte data er i stor grad avhengig av hvor god vandringsmodellen er. I PELFOSS har vi tatt utgangspunkt i tilgjengelig miljøinformasjon, og parameterisert vandringsmodellen basert på dette. Informasjonen vi har benyttet er imidlertid begrenset, og ikke nødvendigvis tilstrekkelig til å avdekke alle parametere som styrer vandringsmodellen. For å forbedre rammeverket er det derfor viktig å kunne justere vandringsmodellen videre slik at den passer mest mulig med den reelle utbredelsen. Dette kan blant annet gjøres med å samle data fra ulike tilgjengelige plattformer (skip, fiskefartøy etc. Denne type data kan skaffe informasjon som kan brukes til å justere vandringsmodellen videre, og en kan tenke seg at enkle data som presence-absence og mer kvalitativ informasjon også vil kunne brukes. Dersom rammeverket i neste omgang blir brukt til å reallokere tokttinnsats, vil dette også være en elegant løsning for å bruke «løs» informasjon til å redusere usikkerheten i toktdata.

## 6 Hovedfunn

- Rammeverktøy for å evaluere overvåkningsstrategier
- Testet på ulike konfigurasjoner av tokt
- Vandringsmodell for sild og makrell
- Visualiseringsverktøy

## 7 Leveranser

Detaljert oversikt over leveranser i prosjekt

- Ny R-pakke: "pelfoss" (<https://github.com/Sea2Data/pelfoss>)
- Vandringsmodell for sild og makrell som del av NORWECOM.E2E (<https://git.imr.no/norwecome2e/norwecome2e>)
- Visualiseringspakke PelViz (<https://github.com/drRuneV/PelViz-Visualisation->)
- Ny funksjonalitet i R-pakken "Rstox" (surveyPlanner-funksjon) (<https://github.com/Sea2Data/Rstox>)
- Vandringsmodellen for sild og makrell er presentert i 3 foredrag på internasjonale konferanser
  - E.A.Mousing: Modeling niche dependent migration for pelagic fish in the Nordic Seas. *ICES-WGIPEM*, København 16-20. april, 2018.
  - M.D.Skogen, E.A.Mousing, S.S.Hjøllo, K.R.Utne: Climate change effects on growth, reproduction, and distribution of Norwegian Spring Spawning Herring. *4th conference on the Effects of Climate Change on the World Oceans (ECCWO)*, Washington DC, 4-8. juni, 2018.
  - K,R.Utne, S.S.Hjøllo, M.D:Skogen, E.A.Mousing: Distribution of plankton and pelagic fish in a future climate. *4th conference on the Effects of Climate Change on the World Oceans (ECCWO)*, Washington DC, 4-8. juni, 2018.

I tillegg vil resultatene fra prosjektet bli oppsummert i 2 manuskripter som vil bli innsendt til et tidsskrift med fagfelle vurdering i løpet av høsten 2018.

- Artikkel 1: Holmin et al., Towards a PELagic Fish Observation System
- Artikkel 2: Mousing et al., Modelling niche dependent migration for pelagic fish in the Nordic seas

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**Institute of Marine Research**

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes  
NO-5817 Bergen  
Tlf.: +47 55 23 85 00  
E-post: [post@hi.no](mailto:post@hi.no)

**[www.hi.no](http://www.hi.no)**

