

Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett

Rapport til Nærings- og fiskeridepartementet
1. november 2015

Bjørn Ådlandsvik
Havforskningsinstituttet

Sammendrag

Som oppfølging til Meld.St. 16 (2014-2015) har Havforskningsinstituttet sammen med Fiskeridirektoratet og Mattilsynet fått i oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet å komme opp med et forslag til inndeling av norsk lakse- og ørretoppdrett i 11-13 produksjonssoner.

Arbeidet er gjort ved naturvitenskapelig metodikk basert på dagens geografiske struktur i næringen. Ved hjelp av spredningsmodellering er det utviklet en influensmatrise som kvantifiserer potensiell smitte av lakselus mellom par av anlegg. Denne matrisen har flere bruksområder. Klyngeanalyse basert på disse influensverdiene danner utgangspunktet for Havforskningsinstituttets forslag med 11 produksjonssoner som vist i figur 3.1.

Influensmatrisen kan også brukes til å evaluere alternative forslag, hvorav noen er presentert i denne rapporten. Vesentlig flere og færre områder gir dårlige løsninger, enten ved stor utveksling av lakseluslarver mellom områdene, eller motsatt ved at områdene inneholder delområder med liten smitteutveksling seg i mellom. Antall områder kan lett økes til 12 eller 13 ved å splitte Finnmark eller skille ut Vest-Agder.

På Vestlandet er det tett med anlegg og det er liten frihet i å endre områdene. Skiller ved Stadt og Hustadvika er naturgitt. Analysene viser at Karmøy og Sotra er de beste områdene for ytterligere oppdeling. Nordover er det færre anlegg og større avstander. Her er det mulig å finne alternative forslag uten å ødelegge tallene for eksport/import av smitte mellom områdene.

I appendiks beskrives metodikken mer utførlig og det presenteres en følsomhetsanalyse. Denne analysen viser at forslaget til områdeinndeling er robust, det vil si at resultatene ikke avhenger for sterkt av valg som er foretatt i modelleringen.

1. Innledning

1.1 Bestilling

Som del av oppfølging av Meld.St. 16 (2014-2015) ber Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) Havforskningsinstituttet (HI) utarbeide forslag til inndeling av kysten i produksjonsområder (Delprosjektet 2.3 Produksjonsområder) i henhold til bestilling av 2 juli 2015 (ref.: 14/5189-24). Arbeidet skal ledes av HI med Fiskeridirektoratet (FDIR) og Mattilsynet (MT) som deltakere. Ut fra føringer i Meld.St. 16 (2014-2015), Innst. 361 S (2014-2015) og tilleggsspørsmål fra NFD, skal det utarbeides et forslag til inndeling av kysten i produksjonsområder. Tidsfrist for bestillingen er satt til 1. november 2015.

Føringer fra Meld.St. 16 (2014-2015):

- Antall produksjonsområder skal være fra 11 til 13.

Føringer fra Innst. 361 S (2014-2015):

- Vurdere inndeling av produksjonsområdene i et fjord/kyst/offshore-perspektiv
- Vurdere om det er avgrensede områder som på grunn av naturgitte forhold ikke bør omfattes av et produksjonsområde.

Tilleggsspørsmål fra NFD:

- Forslag med færre enn 11-13 områder
- Forslag med flere enn 11-13 områder

Tolkning av mandat

Det tas utgangspunkt i dagens geografiske struktur av næringen. Føringerne fra Innst. 361 S (2014-2015) diskuteres, men dersom framtidig oppdrett får en vesentlig forskjellig geografisk fordeling bør områdeinndelingen også revurderes.

Etablering av tilstrekkelig store branngater, uten oppdrett, mellom områdene har stor betydning for utveksling av lakselus mellom områdene. Vi tolker bestillingen slik at dette ikke etterspørres nå.

1.2 Arbeidsmåte

HI har allerede arbeidet med problemstillingen. Etter bestillingen ble dette arbeidet intensivert. Det ble holdt et innledende møte 18. september 2015 mellom HI, FDIR og MT. Hovedforfatter av rapporten er Bjørn Ådlandsvik (HI) med bidrag fra Lars Asplin, Ørjan Karlsen, Anne Sandvik og Terje Svåsand. Utkast til rapporten ble skrevet i google docs (<https://docs.google.com>) med lenke for kommentering og redigering til utvalgt personell ved HI, FDIR og MT. Modellsimuleringene er utført av Anne Sandvik, mens Bjørn Ådlandsvik står for analysen av resultatene.

1.3 Produksjonsområder

Begrepet produksjonsområde ble innført av Arealutvalget i 2011 og beskrives videre i Meld.St. 16 (2014-2015). Kort sagt skal områdene være enheter for endring av kapasiteten i næringen etter en handlingsregel. Anleggene er åpne, og både smitte og andre utslipp fra anlegg transporteres med vannstrømmene. Anleggene påvirker derfor både hverandre i forhold til vannstrøm, og også miljøet. Regjeringen har lagt til grunn at miljøhensyn skal være styrende for om et produksjonsområde skal kunne ha vekst, og da den samlede miljøbelastningen fra alle anleggene i området.

I denne rapporten fokuseres det på lakselus av flere grunner. Stortingsmeldingen framhever organisk og uorganisk utslipp og effekten av lakselus på ville bestander av laks og sjø-ørret som de viktigste begrensningene for forsvarlig vekst i næringen. Mens effekten av utslipp er mer lokal, kan lakselusas planktoniske larvestadier spres over store avstander avhengig av strøm og temperatur. Annen smitte har kortere levetid i åpent sjøvann. Dette gjør lakselus godt egnet som modellorganisme, fordi områder som avgrenser lusesmitte også vil fungere for annen smitte.

Vi har valgt å finne en optimal områdeinndeling som minimerer smitte av lakselus på tvers av områdene basert på en mest mulig objektiv naturvitenskapelig tilnærming. Dette krever en metode for å estimere smitte mellom anleggene. For dette utarbeides det en *influenstrise* som kartlegger potensialet for smitte mellom alle par av anlegg. Potensialet regnes som andel av lus som slipper ut fra ett anlegg som treffer ett annet anlegg som smittsomme kopepoditter, justert for dødelighet. Anleggene teller her like mye, uavhengig av historisk biomasse og lusetall. Dette fordi poenget her er kartlegging av potensielle smitteveier som er varige, mens biomasse og lusetall kan variere raskt. Ved hjelp av en slik influenstrise kan absolutt og relativ eksport og import mellom områdene estimeres.

Det er også ønskelig at områdene er mest mulig sammenhengende eller “koherente”, som her betyr at området ikke kan splittes i delområder med liten smittekontakt seg i mellom. Dette gjør det mer sannsynlig at et område har en ensartet situasjon når det gjelder lusesmitte og dermed at det blir en naturlig

forvaltningsenhet. Videre vil det være upraktisk med svært mange eller svært få lokaliteter i et produksjonsområde.

Det er vanskelig å definere en optimal inndeling med flere slike delvis motstridende kriterier. Det er heller ikke klart hva som er akseptabel utveksling av lusesmitte mellom områdene. Er det f.eks. nok at 95% av lusesmitten i et område skyldes området selv? Eller skal det kreves 98%? Muligens er de absolutte tallene viktigere enn den relative prosentsetningen. Denne rapporten fastsetter ingen slik grense. Den foreslåtte områdeinndelingen gjør det bra med hensyn på alle kriteriene og er optimal i den forstand at endringer stort sett gir dårligere løsning for minst ett av kriteriene.

Basert på diskusjon med FDIR og MT, har vi i denne rapporten ikke vektlagt eksisterende forvaltningsenheter og geografisk fordeling av nødvendig infrastruktur for lakse- og ørretproduksjon. Disse vurderingen vil bli tatt inn i det videre arbeidet som skal gjøres i regi av NFD. Det eneste er at områdene følger fylkesgrenser der dette er naturlig.

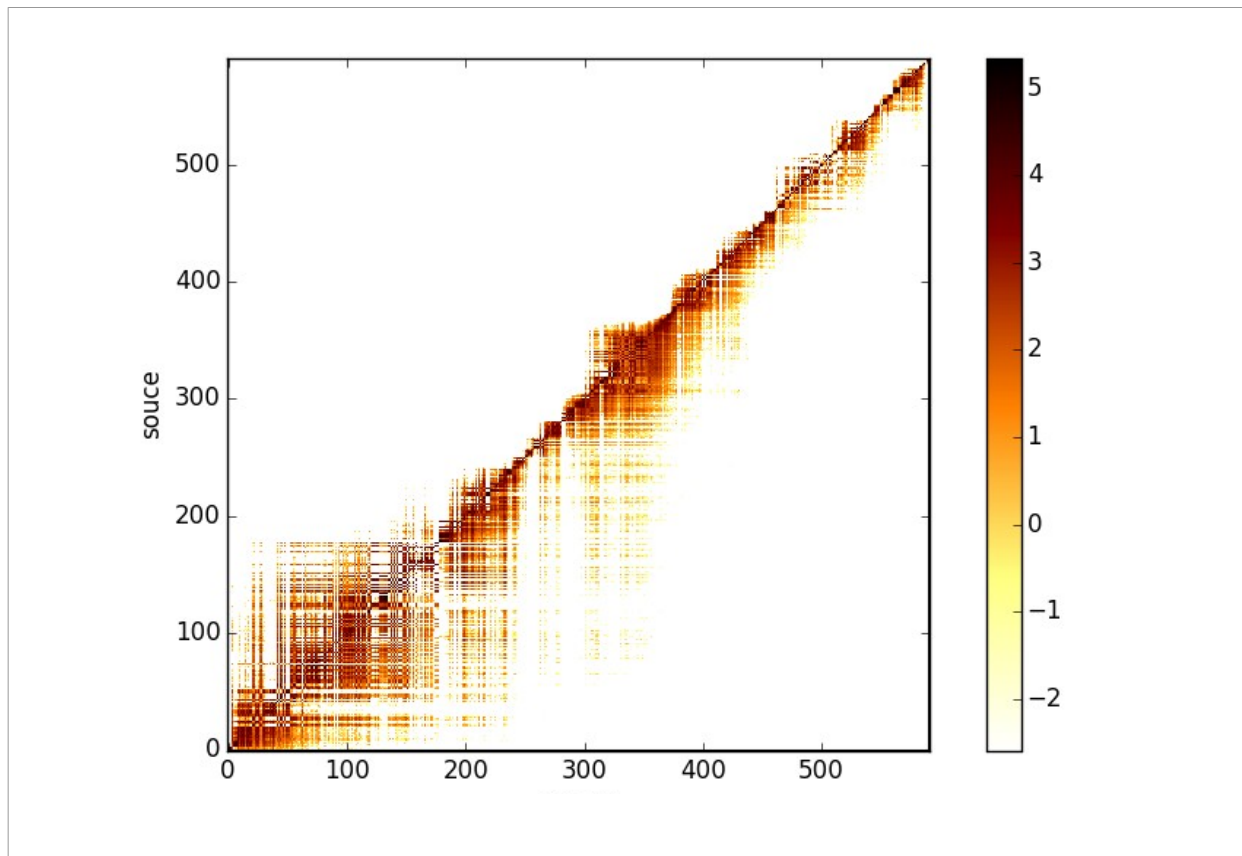
1.4 Kort om lakselusas biologi

Her beskrives forhold i lakselusas biologi som er av betydning for modellstudiene. Eggene er festet til moren i egg-strenger. Når eggene er modne klekkes de til nauplier, som ikke er smittsomme. Etter to nauplie-stadier når lusa kopepoditt-stadiet, hvor den kan infisere en laks eller sjø-ørret. Som nauplie og kopepoditt er lakselusa en del av planktonet. Horisontalt driver den passivt med strømmen. Den kan imidlertid justere sin posisjon vertikalt. Siden strømmen varierer med dypet, er dette av stor betydning for spredningen. Utviklingen av lakselusa er temperaturavhengig, det går fortere når vannet er varmere. Døgngader, tid i døgn multiplisert med temperatur i grader Celsius, er en praktisk enhet for å beskrive utviklingen. Stien m.fl. (2005) oppgir at de to nauplie-stadiene tilsammen varer i 30-50 døgngader, mens kopepoditt-stadiet har en varighet på opptil 100 døgngader (Asplin m.fl., 2011). Dødeligheten er stor i hele den planktoniske fasen. Stien m.fl. (2005) oppgir den til 17% per døgn. En kopepoditt som ikke har funnet en vert etter totalt 150 døgngader i sjøen, vil dø.

2. Evalueringsverktøy

For å vurdere ulike områdeinndelinger mest mulig objektivt trengs et kvantitativt verktøy for å evaluere kvaliteten på inndelingen. Tidlige stadier av lakselus har en pelagisk planktonfase. Med kaldt vann, rundt 5 grader, kan denne fasen vare en hel måned og lusa kan i ekstreme tilfeller transporteres 100-vis av kilometer. Kunnskap om strømforholdene langs kysten er derfor sentralt i evalueringen.

Det viktigste verktøyet er en *influensmatrise* som estimerer potensiell lusesmitte mellom anleggene. Figur 2.1 viser en slik matrise for de 591 anlegg som rapporterte lusetall i 2014. Anleggene er sortert nordover langs kysten, etter modellens X-koordinat (figur 3.3). Hvert anlegg opptrer som kilde (“source” på vertikalaksen) og mål (“target” på horisontalaksen). Med andre ord, horisontale linjer representerer eksport av smitte fra et anlegg mens vertikale linjer gir importen av smitte. Diagonalen gir egensmitte, hvordan anlegget påvirker seg selv. Fargeskalaen er logaritmisk, en økning på en enhet svarer til 10-dobling av smittepress. Det er viktig å merke seg at alle anlegg har samme vekt her, uavhengig av rapporterte lusetall et gitt år, nettopp for å få fram smitteveiene.



Figur 2.1: Influensmatrise for 591 anlegg sortert fra sør til nord langs kysten

Matrisen er ikke symmetrisk, den har en skjevhet nedover og mot høyre som viser at influensen er sterkere langs kysten nordover enn motsatt vei. Dette skyldes Kyststrømmen som går nordover langs kysten. Matrisen har også en del “klumper” langs diagonalen, det vil si områder som er mer “sammensveiset” enn andre. Slike klumper utgjør et utgangspunkt for å finne gode koherente produksjonsområder.

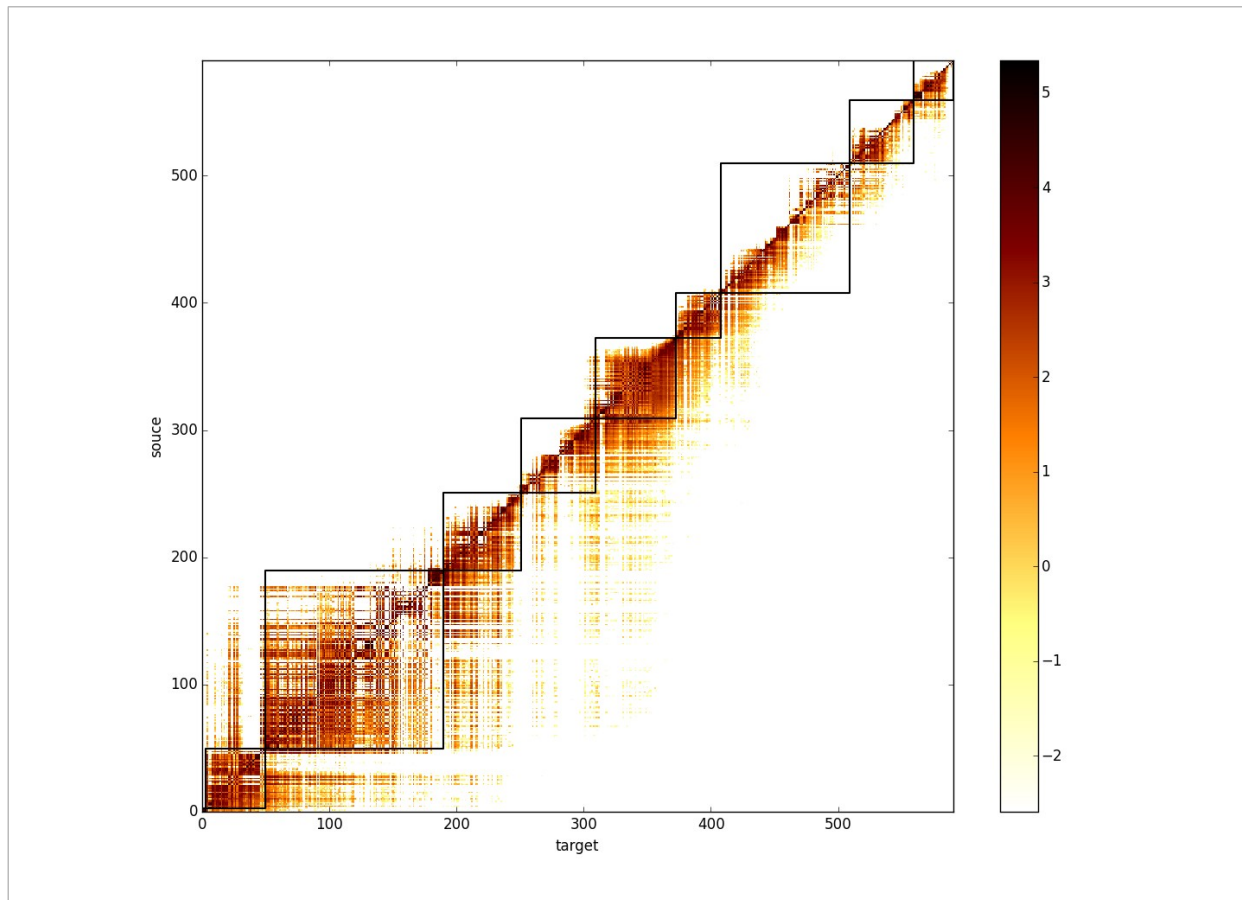
Matrisen er laget ved at vi har brukt resultater fra en strømmmodell, NorKyst-800m (Albretsen m.fl., 2011). Dette modelloppsett er laget ved nasjonal dugnad mellom HI, Meteorologisk Institutt (MET) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). HIs modell for transport og spredning av lakselus (Asplin m.fl., 2014; Johnsen m.fl., 2014) er deretter brukt til å beregne smittepresset mellom anleggene. Mer detaljer om modelloppsettet er gitt i appendiks A1.

For en hvilken som helst områdeinndeling telles antall anlegg innenfor hvert område og det beregnes absolutt og relativ eksport og import. De relative eksportverdiene framkommer fra de absolutte ved å dividere på antall modells fra området som treffer et anlegg enten innenfor eller utenfor området. Beregningene gjøres altså utelukkende på modells som treffer anlegg. Tilsvarende for relativ import, her divideres importverdien med totalt antall treff på anlegg i området. Vi trenger begge typer tall, de absolutte sier noe om totalt smittepress mellom områdene, mens de relative viser i hvilken grad områdene er avgrenset fra hverandre.

Eksempel: fylkesvis inndeling

Som eksempel kan en vurdere en fylkesvis inndeling. De 591 anleggene fordeler seg på 10 fylker fra Vest-Agder i sør til Finnmark i nord. Figur 2.2 viser en omordnet influensmatrisen med inntegnet fylkesstruktur. Eksport illustreres som fargede piksler horisontalt utenfor kvadratene (i hovedsak til høyre dvs. nordover), mens importen framkommer vertikalt (i hovedsak nedenfra dvs. fra sør). Kvadratene klarer i noen grad å fange opp områdene med stor potensiell smitte, men det er en god del lekkasje, spesielt fra Rogaland, Hordaland og Møre og Romsdal.

Figuren illustrerer også i hvilken grad området er sterkt sammenhengende (koherent). Der kvadrater er fylt ut (som f.eks. Rogaland) er det smittesammenheng både nordover og sørover mellom anleggene. Er det bare fylt ut under diagonalen (som f.eks. Møre og Romsdal) er det transport nordover som binder anleggene sammen. Mangler det farge mot hjørnene på begge sider av diagonalen (som f.eks. Nordland) indikerer det at lokalitetene innen området grupperer seg i to eller flere del-områder. Her er det spesielt de nordlige fylkene som blir svakt sammenhengende.



Figur 2.2: Influensmatrise ved fylkesvis inndeling. Fylkene er markert som kvadrater med svarte kanter. Fylkene er ordnet fra sør til nord og lokalitetene innen hver fylke er også ordnet langs kysten.

Tabell 2.1 under kvantifiserer utvekslingen. Her er Vest-Agder veldig lite i volum, mens Hordaland blir veldig stort. Det er betydelig transport av lus fra Rogaland til Hordaland, fra Hordaland til Sogn og Fjordane og fra Møre og Romsdal til Sør-Trøndelag. I relative tall kommer Sogn og Fjordane dårligst ut med 14% av lusepresset importert fra andre fylker (i all hovedsak fra Hordaland). Andre relative tall over 5% er eksport fra Vest-Agder, Rogaland og Møre og Romsdal, og import til Rogaland og Sør-Trøndelag. I neste kapittel vises alternativ som er klart bedre enn denne fylkesvise oppdelingen.

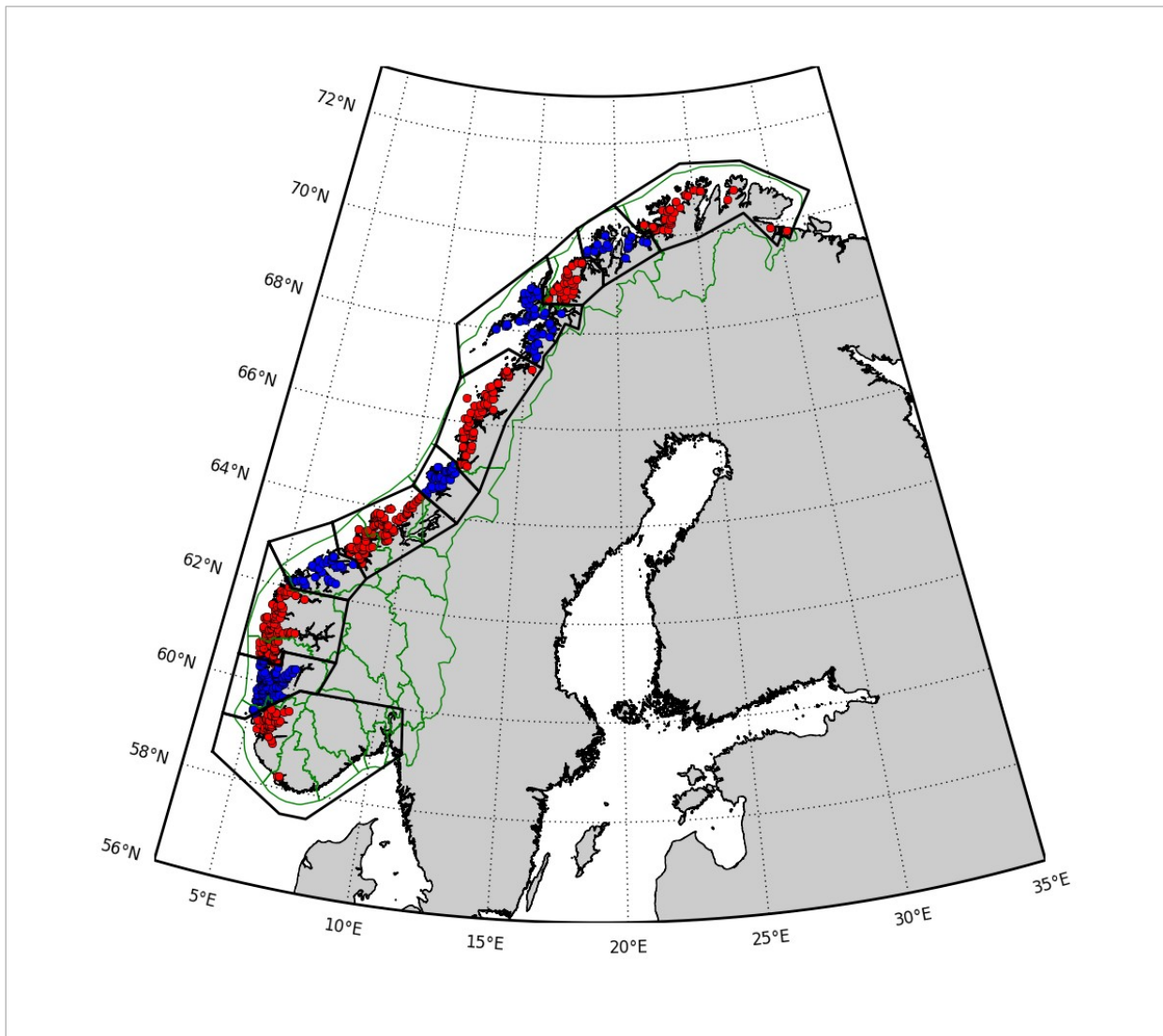
Forslag til produksjonsområder – rapport fra Havforskningsinstituttet 1. november 2015

Fylkesnr		Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
10	Vest-Agder	3	0	5	0,0	10,2
11	Rogaland	47	221	457	5,9	11,4
12	Hordaland	140	482	873	2,8	4,9
14	Sogn og Fjordane	61	668	40	14,0	1,0
15	Møre og Romsdal	59	47	335	1,5	9,6
16	Sør-Trøndelag	63	325	109	6,6	2,3
17	Nord-Trøndelag	35	79	43	3,8	2,1
18	Nordland	102	44	14	1,0	0,3
19	Troms	50	11	5	0,3	0,2
20	Finnmark	31	5	0	0,2	0,0
Total		591	1880	1880	4,1	4,1

Tabell 2.1: Eksport/import-statistikk for fylkesvis områdeinndeling

3. Forslag til områdeinndeling

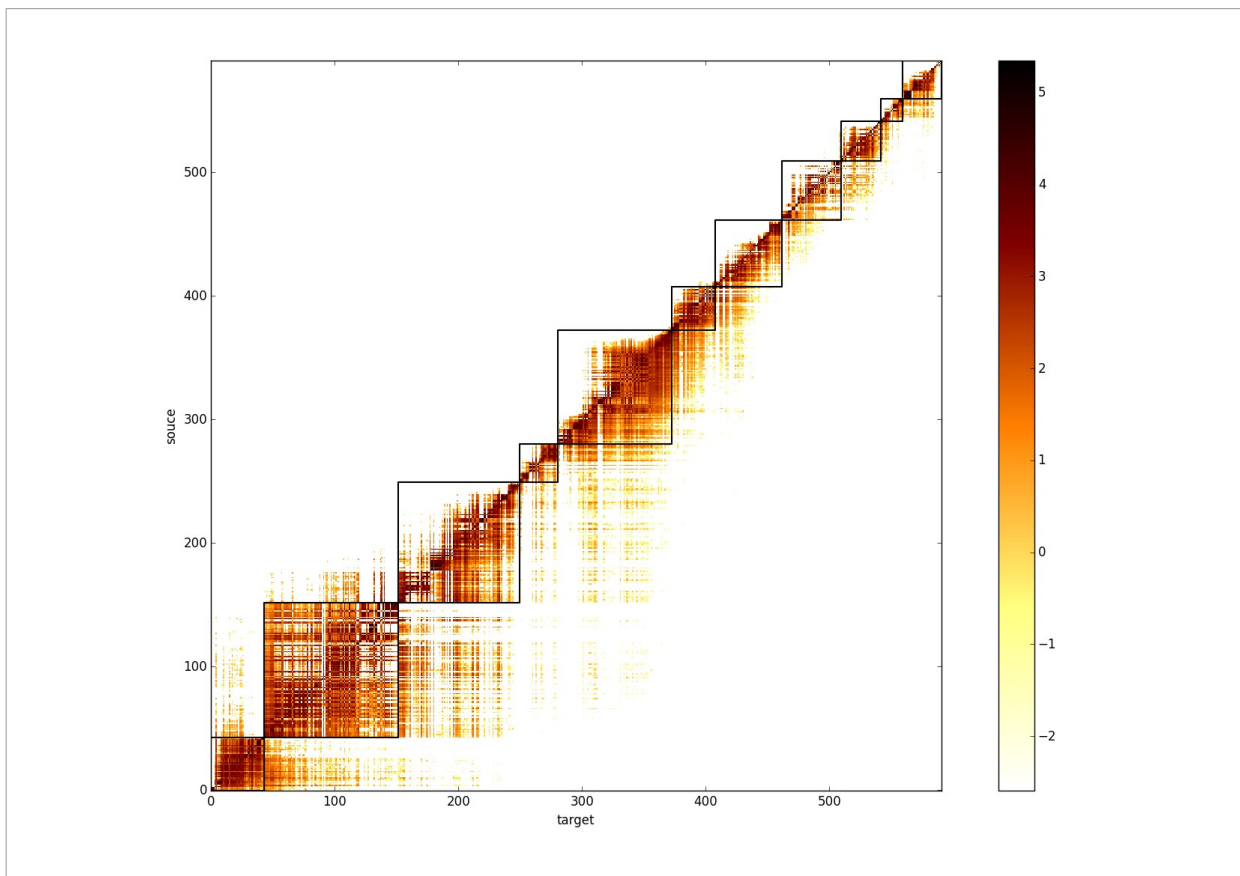
Figur 3.1 viser et forslag til områdeinndeling med 11 områder. Det er basert på en klyngeanalyse av influensmatrisen med 15 klynger presentert i appendiks A2. Antall områder er redusert ved å fjerne uhensiktsmessig små klynger, samt å ta hensyn til fylkesgrensene der dette ikke vesentlig påvirker eksport- og importratene.



Figur 3.1: Havforskningsinstituttets forslag til områdeinndeling. Grensene til områdene er tegnet i svart. Grønne kurver viser fylkesgrensene. Kartet viser også posisjonene til de 591 lokalitetene som er

brukt i analysen. Fargene på anleggene alternerer mellom rødt og blått for de ulike områdene.

Figur 3.2 viser influensmatrisen for denne områdestrukturen. Dette viser en god løsning hvor meste-
parten av lusesmitten holdes innen områdene. Strukturen klarer ikke å eliminere utveksling, det er en
fremdeles en del eksport, spesielt fra område 2 til 3 og fra 5 til 6 (se tabell 3.1 for områdegrensener).
Figuren viser også at områdene er “koherente”, at de ikke kan deles i delområder med liten overføring av
lakselusmitte. Dette ses ved at nedre høyre del av områdene er godt fylt ut. Unntaket i så måte er
område 11, Finnmark, hvor anleggene i Øst-Finnmark er uavhengig av resten.



Figur 3.2: Influensmatrise for den foreslåtte områdeinndelingen. Områdene er innkranset av svarte kvadrater og er sortert langs kysten fra sør til nord. Anleggene innenfor hvert område er også ordnet langs kysten.

Tabell 3.1 under kvantifiserer smitteoverføringen i figuren. Tabellen viser størst utveksling fra sone 2 til sone 3, forbi Sotra. Denne grensen skiller seg også ut ved en betydelig eksport motsatt vei. Dette er imidlertid den optimale inndeling av Vestlandet, alternativ plassering av grensen gir større utveksling. Klyngeanalysen med færre klynger foreslår å fjerne denne grensen, men det gir en upraktisk stor superklynge fra Karmøy til Stadt med en tredjedel av alle anlegg. Den største relative importen er fra Sør- til Nord-Trøndelag.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	43	5	56	0,1	1,6
2	Karmøy → Sotra	109	144	302	1,1	2,2
3	Nordhordland → Stadt	98	297	94	3,3	1,0
4	Stadt → Hustadvika	31	3	33	0,3	2,8
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	92	36	76	0,5	1,1
6	Nord-Trøndelag	35	79	43	3,8	2,1
7	Helgeland + Salten	54	44	9	2,2	0,4
8	Vestfjorden + Vesterålen	48	6	11	0,2	0,5
9	Andøya → Senja	32	11	7	0,6	0,4
10	Kvaløya → Loppa	18	7	5	0,9	0,7
11	Finnmark	31	5	0	0,2	0,0
Total		591	636	636	1,4	1,4

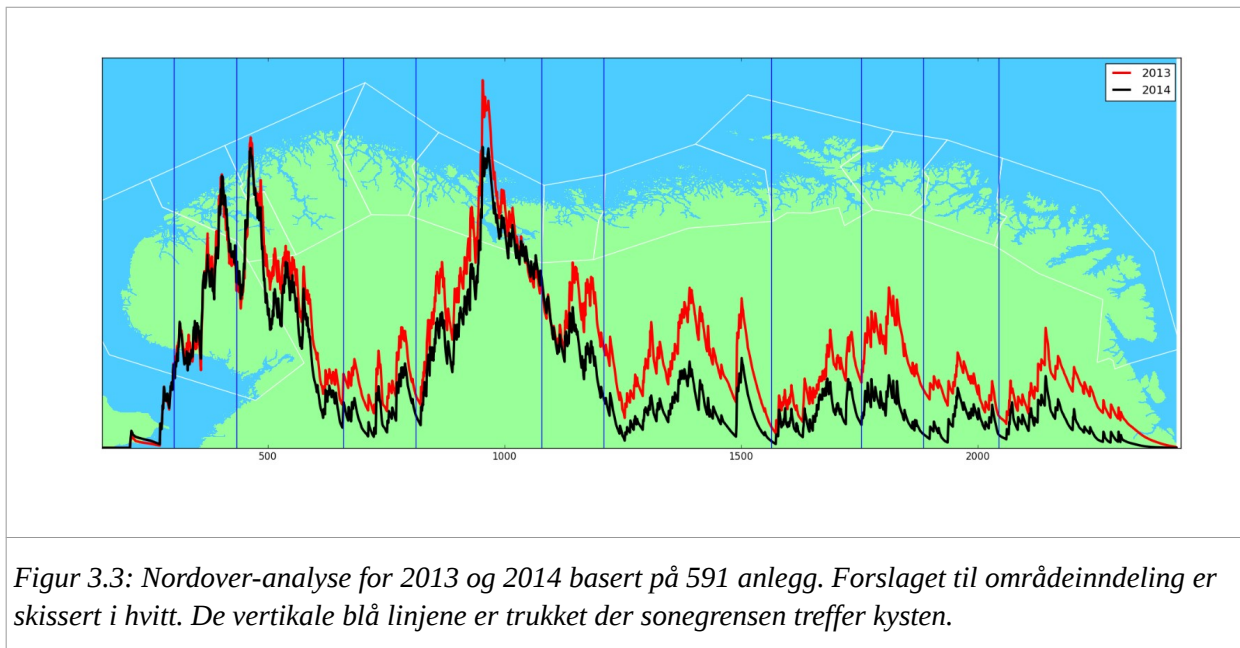
Tabell 3.1: Eksport/import statistikk for den foreslåtte områdeinndelingen

Nordover-analyse

Kyststrømmen gjør at lusesmitte i hovedsak brer seg nordover. Dette kan utnyttes til en supplerende vurdering av områdeinndelingen, som presenteres i figur 3.3. Figurens X-koordinat gir en bedre koordinat langs mesteparten av kysten enn breddegraden. For hver X-verdi beregnes hvor mange modell-lus korrigert for dødelighet fra anlegg fra venstre for X som havner til høyre. Disse “nordover”-verdiene

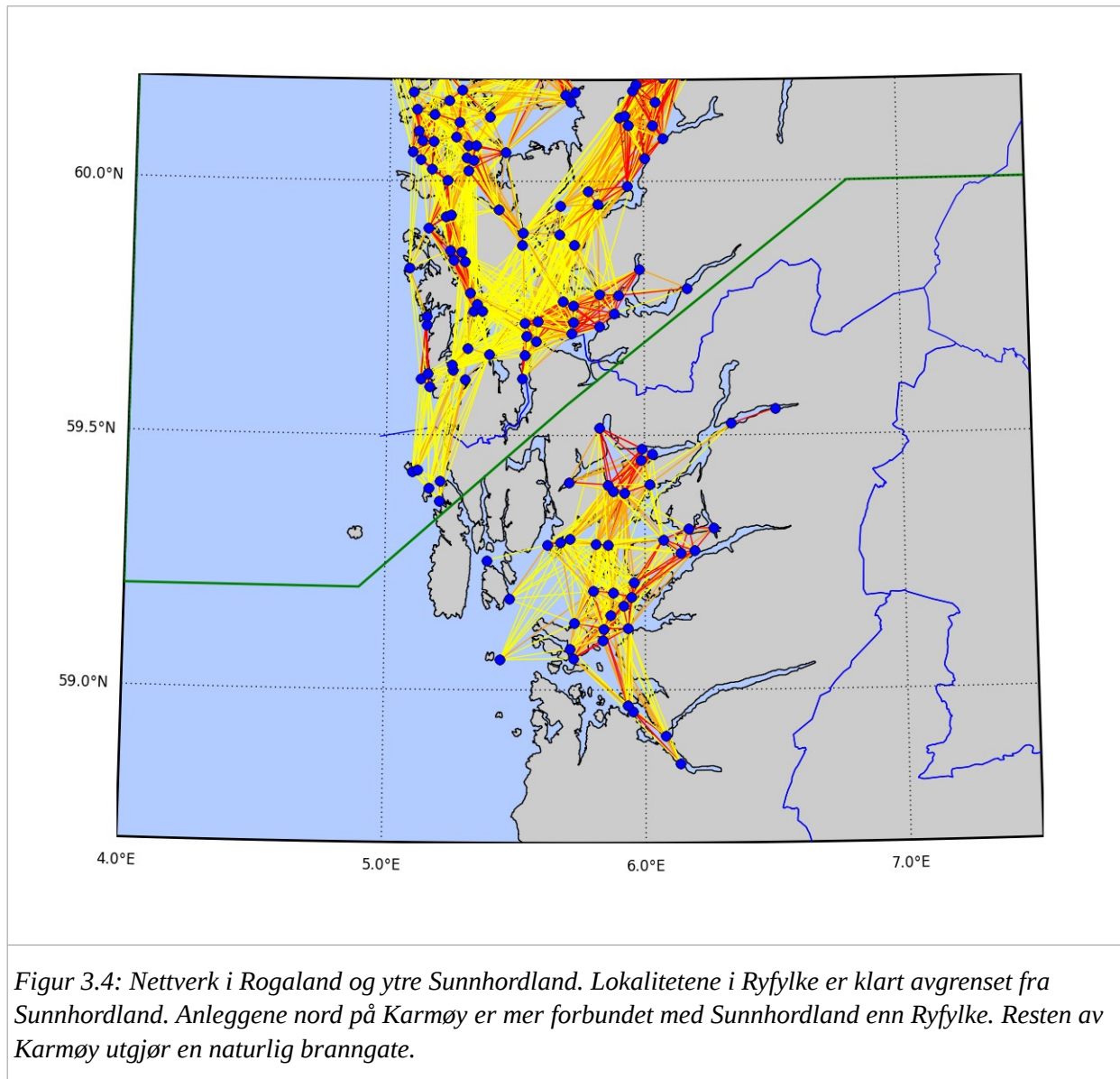
plottes som kurver med kartet som bakgrunn. Utslippene avhenger av den geografiske strukturen til næringen mens spredningen vurderes bare ut fra nordover-transporten. Analysen er gjort med strømfelt fra både 2013 og 2014.

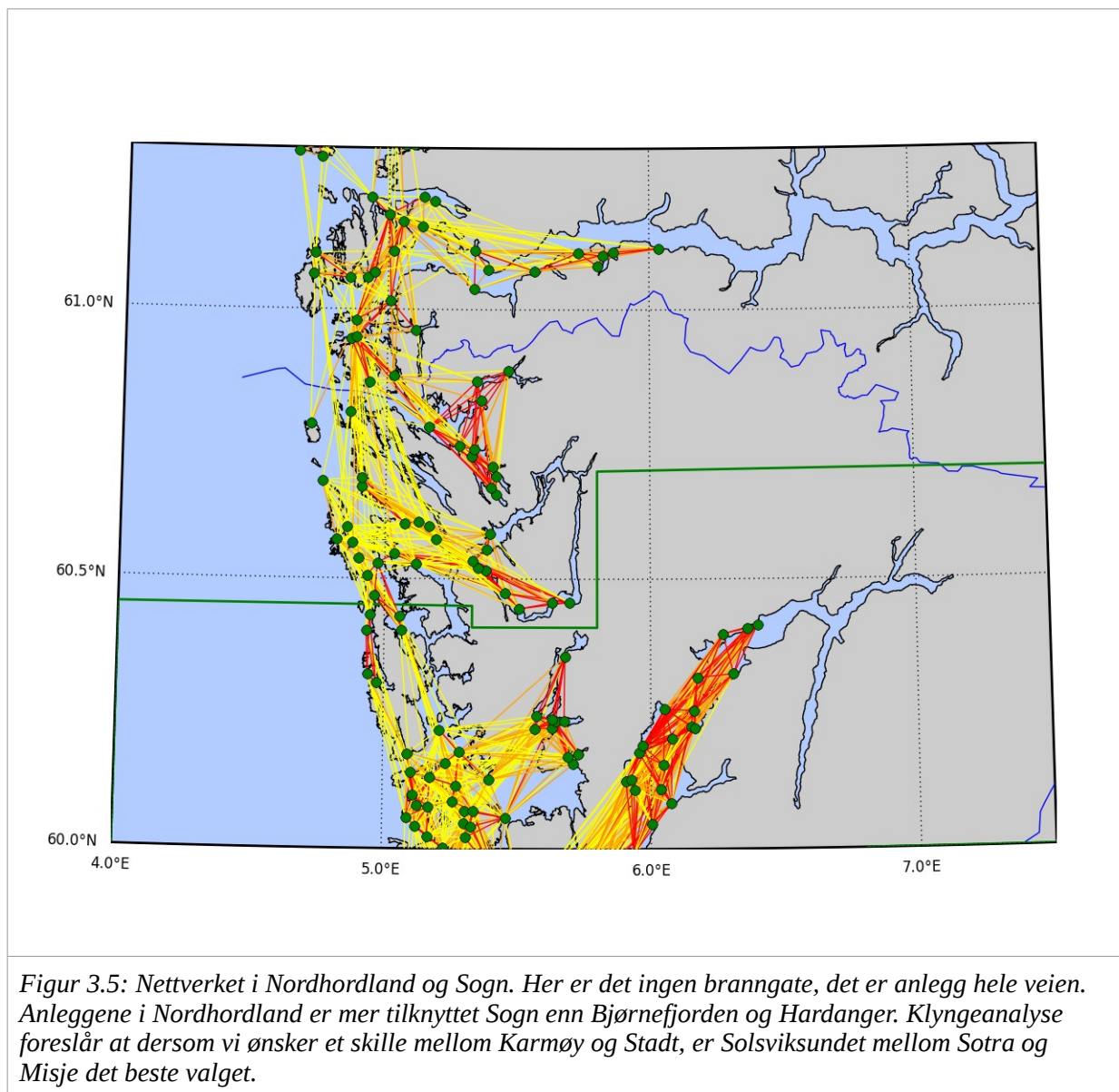
Denne analysen viser at Vestlandet er vanskelig, men at grensen ved Sotra ligger i et lokalt minimum. De andre grensene ligger også i områder med lav transport. Analysen kan antyde at det kan være lurt å flytte Nord-Trøndelag området litt nordover. Dette er forsøkt, men ga noe høyere utveksling. Grunnen er at mange partikler transporteres vekk fra kysten sør for Vikna og Vega. Disse partiklene påvirker nordover-analysen, men bidrar ikke med smitteoverføring siden de ikke treffer noen anlegg.

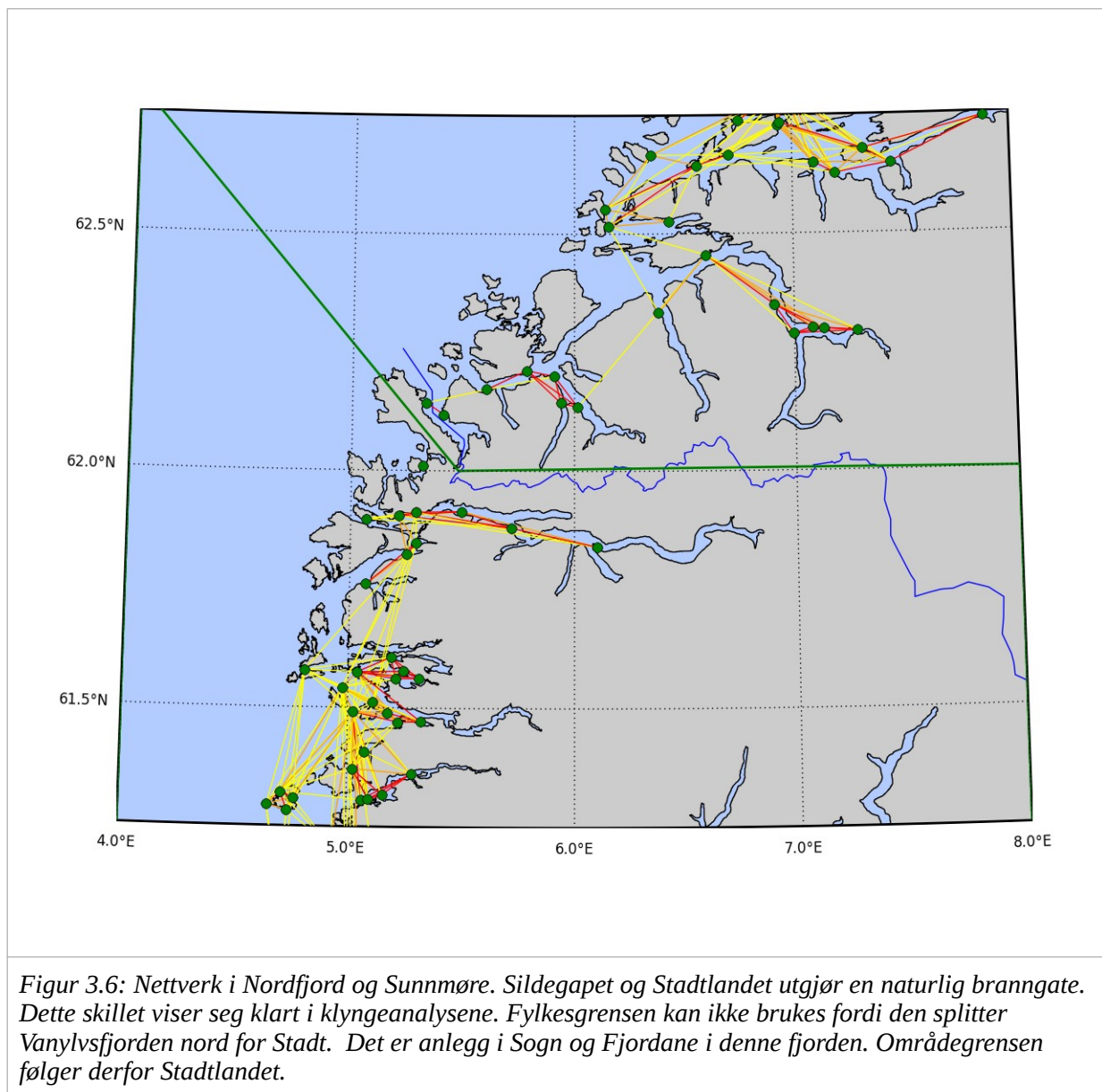


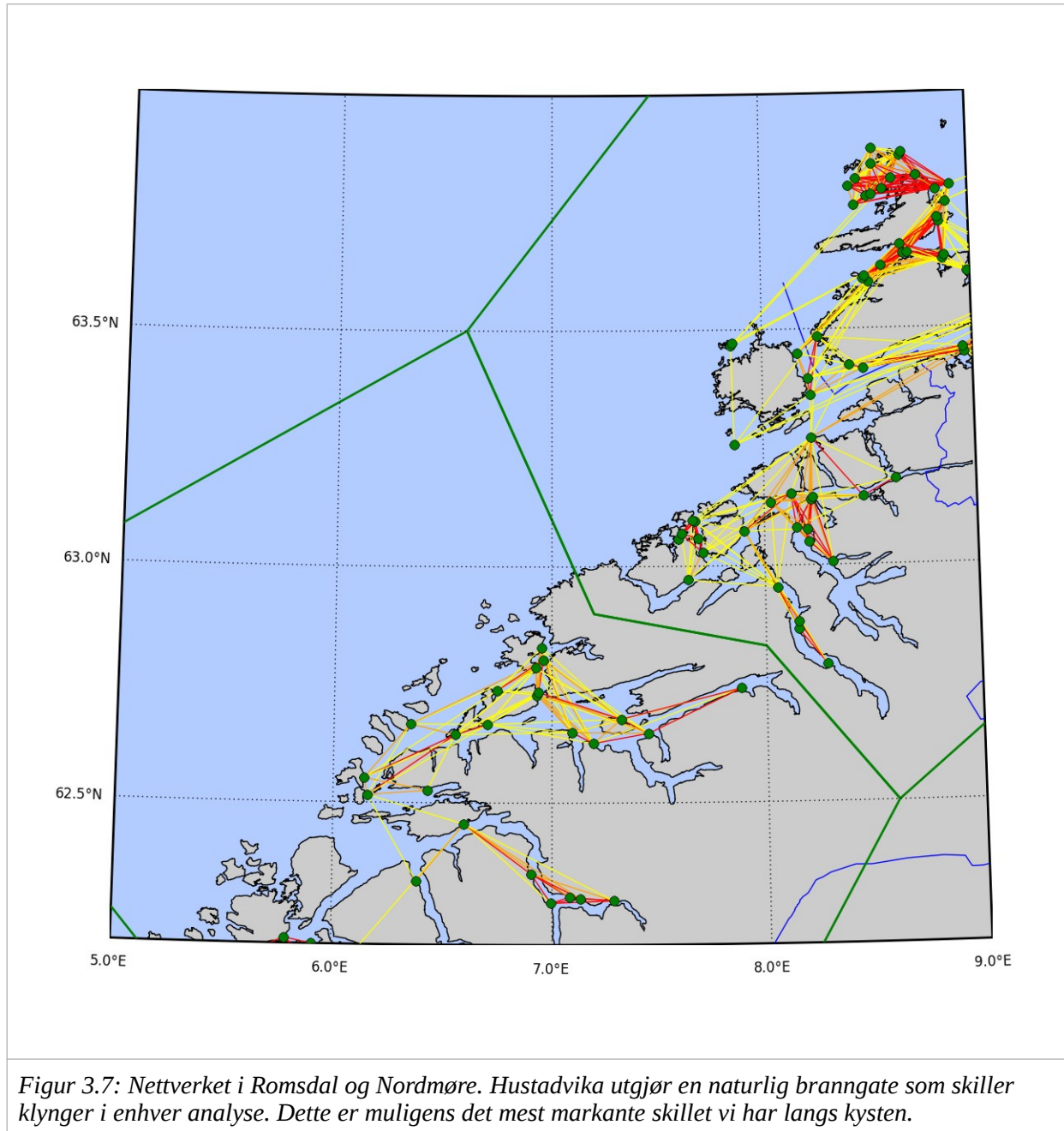
3.2 Detaljer ved områdegrensene

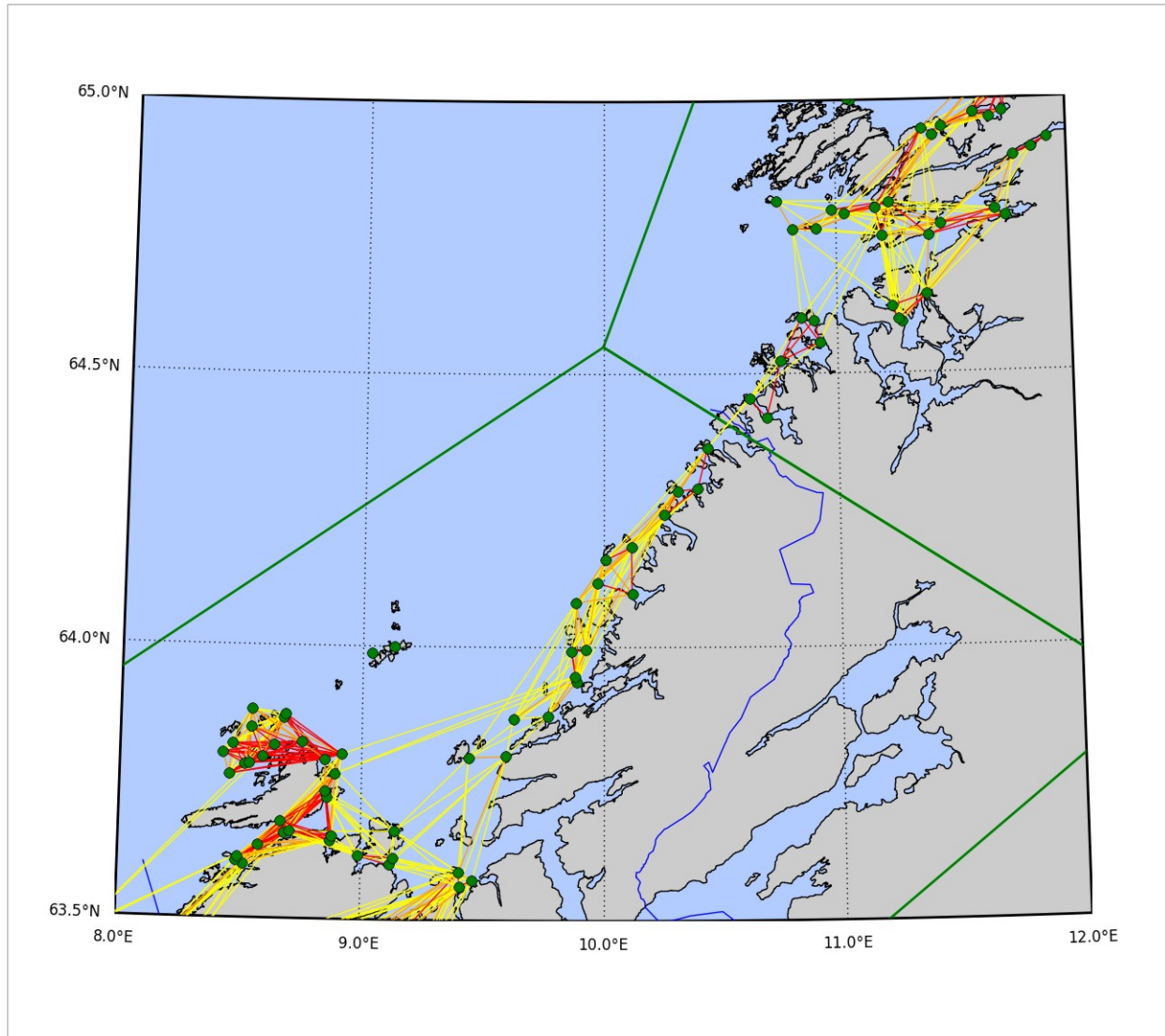
Her skisseres nærmere grensene mellom de foreslåtte områdene. Metoden er en enkel nettverksanalyse, hvor det trekkes linjer mellom anlegg med sterk innbyrdes innflytelse (uavhengig av hvilken vei innflytelsen går). Ved svak eller ingen kopling trekkes det ingen linjer, mens gule, oransje og røde linjer viser økende innbyrdes kopling. Målestokk for influens og grenser mellom fargene er beskrevet i appendiks A2. Figurene er kommentert i billedtekstene. Blå linjer viser fylkesgrenser, mens tykkere og mindre detaljerte grønne linjer er de foreslåtte grensene mellom produksjonsområdene. Bemerk at målestokkene kan variere mellom kartene.



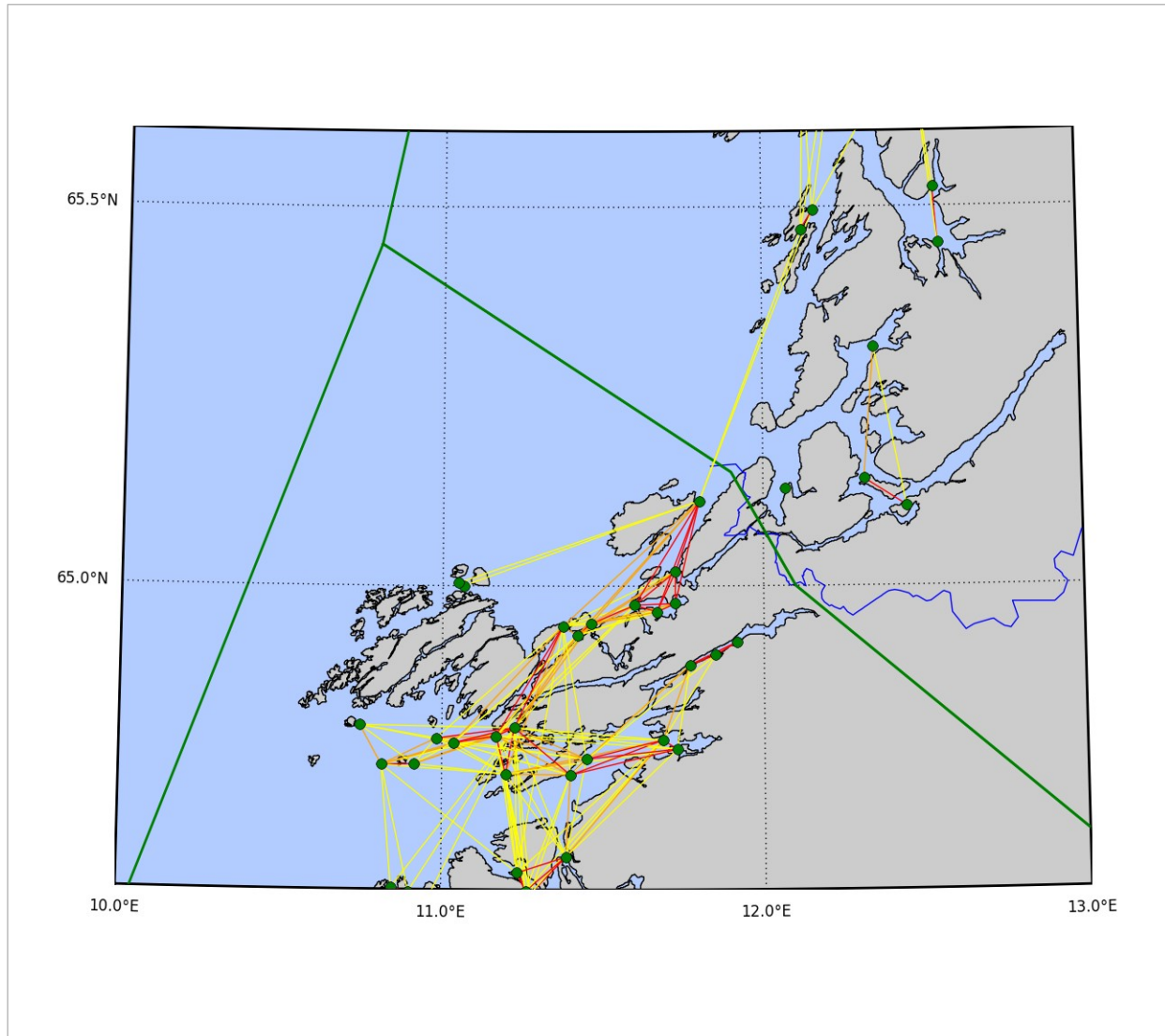




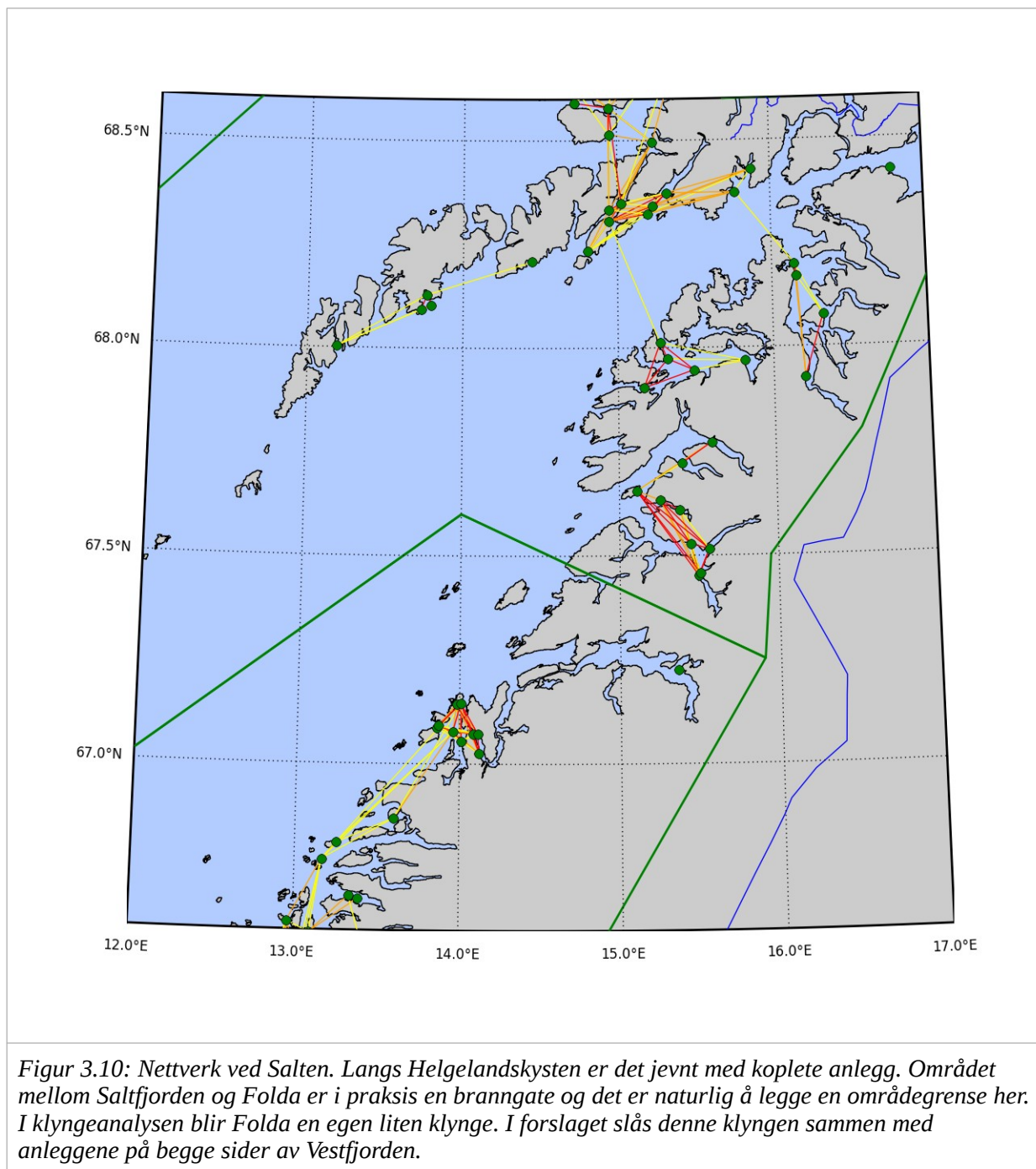


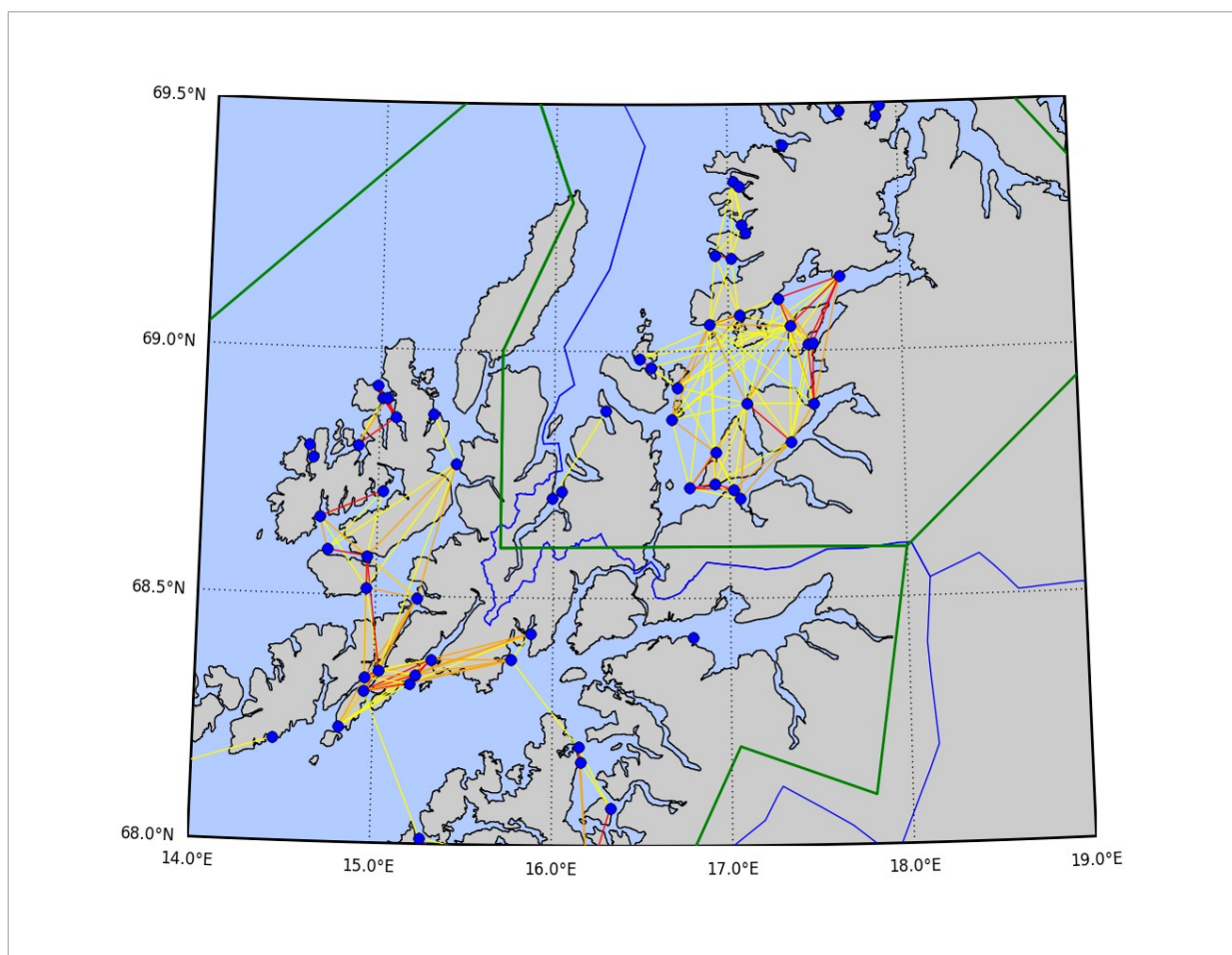


Figur 3.8: Nettverk rundt fylkesgrensen mellom Sør- og Nord-Trøndelag. Anleggene ved Hitra og Frøya gjør området rundt Trondheimsfjorden uegnet som sonegrense. Videre nordover er det anlegg hele veien, men klyngeanalyse antyder en oppdeling ved fylkesgrensen. Figuren viser også at dette er den svakeste koplingen i området.

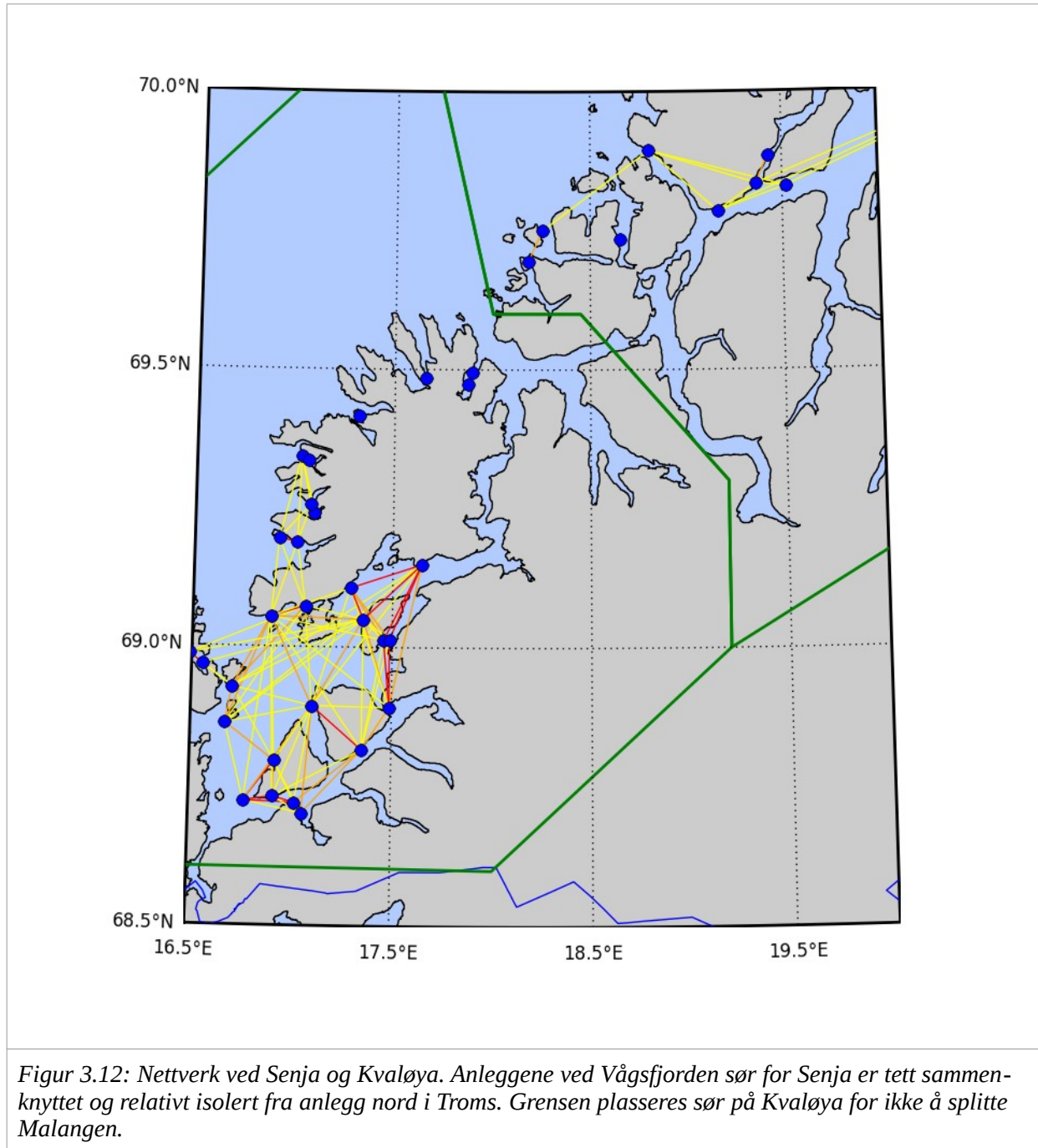


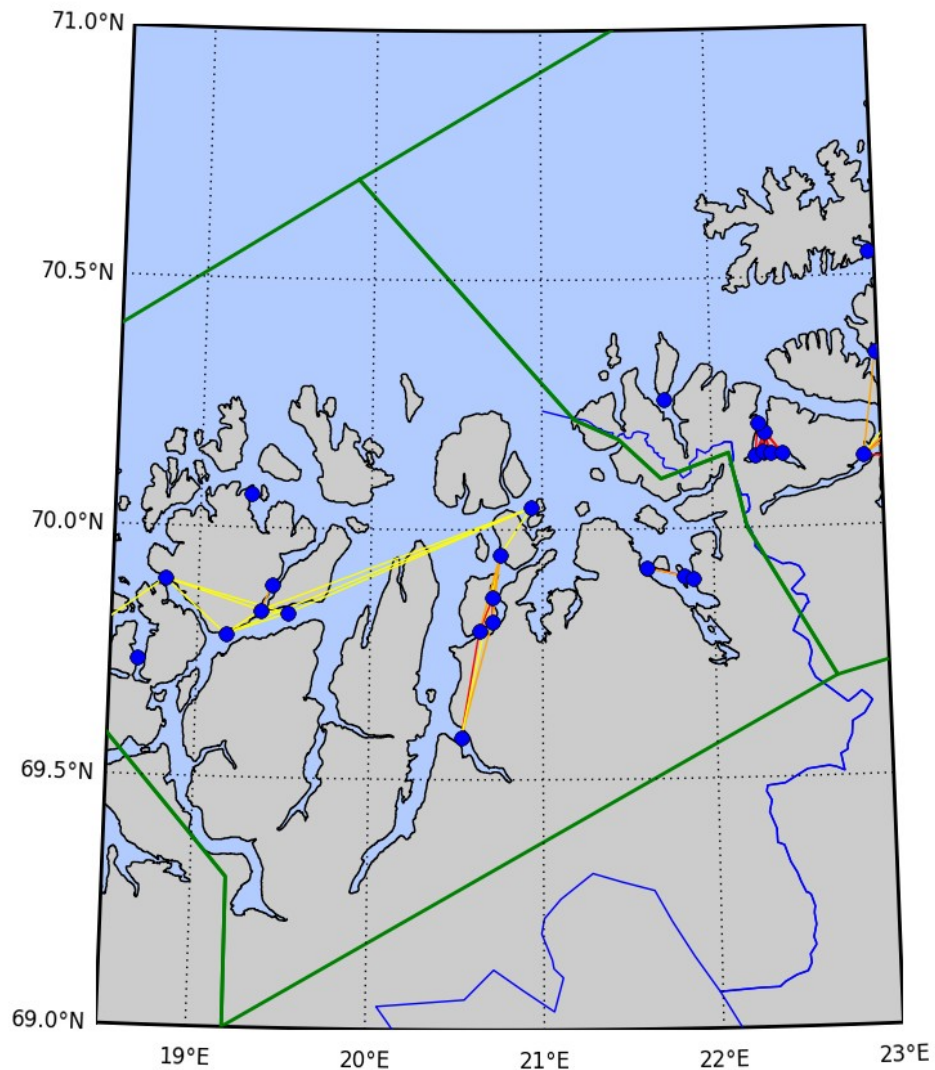
Figur 3.9: Nettverk ved fylkesgrensen mellom Nord-Trøndelag og Nordland. Det er mange tett koblede anlegg ved Vikna som også knyttes opp mot Leka. Det er relativt liten eksport over fylkesgrensen. Anleggene i Bindal kommune er relativt isolerte og kan alternativt slås sammen med Nord-Trøndelag.





Figur 3.11: Nettverket omkring Andøya. Modellen gir en betydelig sammenheng gjennom Raftsundet, slik at Lofoten og Vesterålen havner i samme område. Anleggene på yttersiden av Langøya kommer derimot ut som egen klynge, men slås her sammen med resten av Vesterålen. Gavlfjorden og Andøya utgjør i praksis en branngate. Fylkesgrensen fungerer for såvidt som områdegrense med de anleggene som er brukt i analysen, men grensen bør legges over Andøya for ikke å dele opp Andfjorden.





Figur 3.13: Nettverket ved fylkesgrensen mellom Troms og Finnmark. Loppet danner i praksis en branngate mellom anleggene i Nordtroms og Vest-Finnmark. Fylkesgrensen følger her land og kan dermed brukes som områdegrense. Klyngeanalysen gir en egen klynge for anleggene i Øksfjord, men de tas naturlig med i Finnmarks-området. Klyngeanalysen foreslår også Øst-Finnmark som eget område, men her er det slått sammen.

4. Alternative forslag

Mandatet fra NFD ber om at alternativer med flere og færre områder utredes. Generelt er det slik at færre og større områder gir mindre utveksling mellom områdene, men kan bli så store at de rommer delområder med veldig ulik situasjon når det gjelder smittepress av lakselus (manglende koherens). Flere mindre områder gir økt utveksling slik at områdene ikke blir avgrenset når det gjelder lusesmitte.

4.1 Enkle modifikasjoner av Havforskningsinstituttets forslag.

Forslaget i kapittel 2 inneholde to geografisk store områder i hver sin ende. Øst-Finnmark har få anlegg og disse er smittemessig totalt isolert fra anleggene vest i Finnmark. Klyngeanalysen skiller disse ut som egen klynge. Finnmark kan derfor lett splittes i en vestlig og en østlig del uten å endre eksport- og importstatistikken. Vurderingen her er om det er praktisk å ha et område med så få lokaliteter. Her er få anlegg, så klyngeanalyse gir ikke noe klart definert områdegrense, et grense mellom Mehamn og Vardø vil fungere.

Den samme avveiningen kan gjøres i sør. Selv om den relative eksporten er stor, har anleggene ved Flekkefjord bare en svak innflytelse på anleggene lengre nord, og er totalt upåvirket av lusesituasjonen i Ryfylke. Den eksponerte kysten på Jæren utgjør en naturlig branngate. Disse endringene holder oss innenfor departementets ramme på 11-13 områder. Tabell 4.1 viser de endrede linjene i eksport/import tabellen (tabell 3.1) med disse endringene.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Jæren	3	0	5	0	10.2
2	Ryfylke	40	10	56	0.3	1.6
3-11						
12	Vest-Finnmark	29	5	0	0.2	0.0
13	Øst-Finnmark	2	0	0	0	0
Total		591	641	641	1.4	1.4

Tabell 4.1 Modifikasjon av tabell 3.1 ved å skille ut Vest-Agder og Øst-Finnmark

Et mål på hvor sterkt et område henger sammen kan en få ved å se på hvor mange klynger en må be om i klyngeanalysen før det splittes. Det største området i antall lokaliteter er område 2 fra Karmøy til Sotra. Klyngeanalysen krever 28 klynger før området deles mellom Hardangerfjorden og Bjørnefjorden. Område 3 fra Nordhordland til Stadt er også stort i volum. Ved 18 klynger skilles det ut en liten klynge i Fensfjorden-Masfjorden, mens en må opp i 27 klynger før Vestlandet virkelig splittes ytterligere, da mellom Sogn og Sunnfjord.

Lengre nord er område 4 med Nordmøre og Sør-Trøndelag stort med 92 anlegg (av de 591 i analysen). Med 21 klynger splittes det i en mindre del i sør og et større område fra Smøla og nordover.

I forslaget inngår Lofoten og Vesterålen i samme område. Dette skyldes en ikke ubetydelig utveksling mellom Raftsundet, en må faktisk opp i 54 klynger før Raftsundet blir et skille. Ytre Langøya blir egen klynge allerede ved 15 klynger.

Motsatt vei, kan en slå sammen områder. Ved å redusere standardanalysen til 14 klynger absorberes ytre Langøya i resten av Vesterålen. Det er allerede tatt inn i forslaget med de 11 områdene. Ved 13 klynger framkommer en superklynge på 207 anlegg fra Karmøy til Stadt. Dette blir urimelig stort som produksjonsområde og viser at det er lite å hente på sammenslåing på Vestlandet.

Det minste området, nummer 10, fra Kvaløya til Loppa kan enten slås sammen sørover til et Troms-område eller knyttes sammen med Finnmark. Klyngeanalysen foreslår det siste med 10 klynger, men begge løsninger forbedrer eksport/import-tallene. Et samlet område for Nordtroms og Finnmark blir veldig stort geografisk.

En mulig modifikasjon, som ikke endrer antallet områder, er å utvide området i Nord-Trøndelag ved inkludere de relativt isolerte anleggene i Bindal kommune i Helgeland. Dette påvirker ikke eksport/import-statistikken i nevneverdig grad.

4.2 Forslag med færre områder

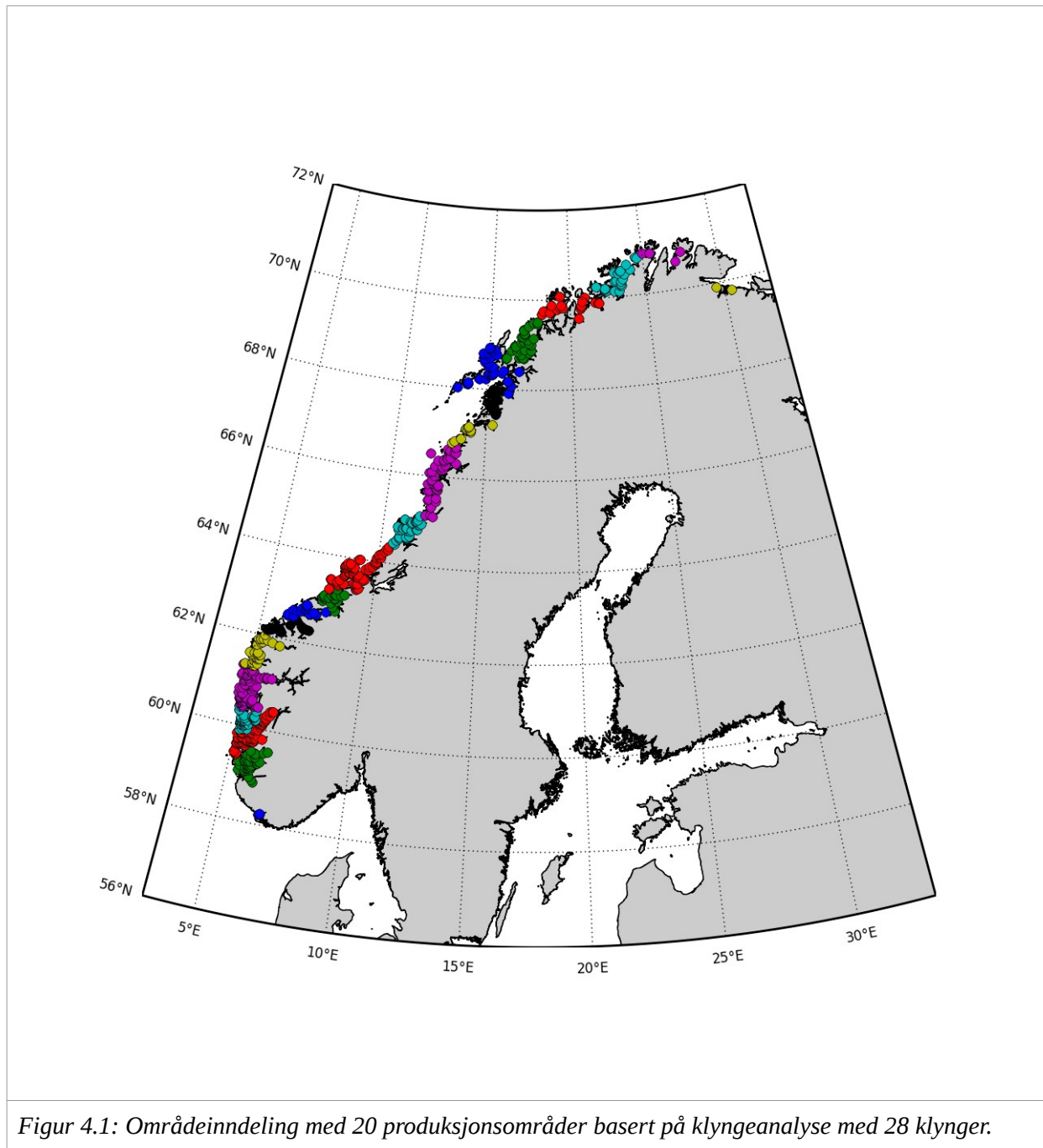
Her kommer et konkret forslag med færre områder. Et kriterium som er brukt er at intet område skal ha mer enn 20% av anleggene, som gir en begrensning på 118 med de 591 anleggene som er brukt i analysen. Dette gjør at vi ikke får noen endringer på Vestlandet. Forslaget framkommer med at Nord-Trøndelag slås sammen med Helgeland og Salten, Vestfjorden + Vesterålen strekkes til og med Senja, mens Nordtroms slås sammen med Finnmark. Eksport/import statistikken er gjengitt i tabell 4.2. Som forventet med færre områder forbedres statistikken litt fra standardforslaget og sonene er mer jamnstore i antall lokaliteter. Ulempen er at noen av områdene blir svært store geografisk og kan romme delområder med svært ulik lusesituasjon.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	43	5	56	0,1	1,6
2	Karmøy → Sotra	109	144	302	1,1	2,2
3	Nordhordland → Stadt	98	297	94	3,3	1,0
4	Stadt → Hustadvika	31	3	33	0,3	2,8
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	92	36	76	0,5	1,1
6	Nord-Trøndelag → Salten	89	76	2	1,9	0,1
7	Vestfjorden → Senja	80	6	7	0,1	0,2
8	Nordtroms + Finnmark	49	7	0	0,2	0,0
Total		591	574	574	1,3	1,3

Tabell 4.2: Eksport/import-statistikk for forslag med 8 produksjonsområder

4.3 Forslag med flere områder.

Som nevnt over gir klyngeanalyse med 28 klynger en del store endringer. Her tas det utgangspunkt i denne analysen og en del småklynger slås sammen til et forslag på 20 produksjonsområder. Områdene er vist i figur 4.1 under og evaluering i tabell 4.3. Det er betydelig utveksling på tvers av flere av de nye grensene. Eksporten over Jæren utgjør over 10% av lusepartiklene fra Flekkefjordsområdet som treffer anlegg. Men siden det er så få anlegg i sør, betyr dette lite i absolutte tall. Eksporten fra Hardanger til Bjørnefjorden er derimot svært stor, både relativt og absolutt. Videre får vi en betydelig eksport fra Bjørnefjorden til Nordhordland. Fjordane får en stor relativ import fra Sogn. Eksporten fra Nordmøre til Sør-Trøndelag er også betydelig. Nordover går det jamnt bedre, bortsett fra Salten som får høyt importtall fra Helgeland.



Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Jæren	3	0	5	0,0	10,2
2	Ryfylke	40	10	56	0,3	1,6
3	Hardanger + Karmøy	68	194	882	2,6	10,6
4	Bjørnefjorden	38	879	439	16,0	8,7
5	Nordhordland + Sogn	72	378	316	5,0	4,2
6	Fjordane	29	281	50	15,2	3,1
7	Sunnmøre	14	1	23	0,2	3,7
8	Romsdal	17	25	33	4,3	5,6
9	Nordmøre uten Smøla	23	20	163	1,1	8,1
10	Sør-Trøndelag + Smøla	69	181	78	3,6	1,6
11	Nord-Trøndelag	35	79	43	3,8	2,1
12	Helgeland	41	44	61	3,0	4,1
13	Salten	13	58	5	10,5	1,1
14	Folda + Sagfjorden	14	6	12	0,8	1,5
15	Vestfjorden + Vesterålen	34	12	11	0,8	0,7
16	Andøya → Senja	32	11	7	0,6	0,4
17	Kvaløya → Loppa	18	7	5	0,9	0,7
18	Vest-Finnmark	25	5	0	0,2	0,0
19	Nord-Finnmark	4	0	0	0,3	0,0
20	Øst-Finnmark	2	0	0	0,0	0,0
Total		591	2189	2189	4,8	4,8

Tabell 4.3: Eksport/import-tabell for forslag med 20 produksjonsområder

5. Diskusjon

5.1 Metodegrunnlag

Kombinasjonen av strømmodell og modell for partikkeltransport er en etablert metode for å studere transport og spredning i hav, kystfarvann og fjorder. Ved Havforskningsinstituttet har denne metoden vært brukt i over 20 år for å se på transport og spredning av fiskeegg og -larver (f.eks. Ådlandsvik og Sundby, 1993). Metoden er også etablert for transport og spredning av tidlige stadier (nauplier og kopepoditter) av lakselus, både ved Havforskningsinstituttet (Asplin m.fl., 2014; Johnsen m.fl., 2014) og internasjonalt (Amundrud og Murray, 2009; Adams m.fl., 2012). Kombinasjonsmodellen er også sentral i instituttets operasjonelle overvåking av lakselus.

Strømmodellen er internasjonalt anerkjent med mange brukere verden over. Analysen er basert på NorKyst-800, et modelloppsett med 800 meters oppløsning. Dette løser opp kysten og større fjorder. For storskala spørsmål, som oppdeling av landet i produksjonsområder, vurderes oppløsningen å være tilstrekkelig. For mer finskala problemstillinger, som etablering av branngater og utsettingssoner innad i produksjonsområdene, anbefales mindre modellområder med høyere oppløsning.

Bærebjelken i rapporten er influensmatrisen (også kalt konnektivitetsmatrise). Den danner grunnlaget for både klyngeanalysen og evaluering av forslag til områdeinndeling. Matrisen er beregnet på grunnlag av 591 lokaliteter og strømfelt fra 120 døgn, april til juli 2013. Det kunne vært ønskelig med en lengre periode for å sikre at strømbildet blir mest mulig representativt, at det ikke gjenspeiler forhold som var spesielle for våren og forsommeren 2013. Følsomhetsanalysen i appendiks A3.1 har en alternativ matrise med de samme lokalitetene, men med strøm fra 2014. Den viser samme struktur, men med litt svakere influens på grunn av noe svakere strøm.

En annen faktor er lokalitetene som inngår i analysen. Her er det også brukt et alternativ i følsomhetsanalysen (A3.2), med 921 anlegg. Dette endrer ikke noe vesentlig på strukturen i influensmatrisen. Begge alternativ er hentet fra Fiskeridirektoratets Akvakultur-register og representerer dermed dagens struktur i laksenæringen. Det er allerede ganske tett med anlegg på Vestlandet, så her er nok matrisen robust. Nordover med lavere tetthet av anlegg vil trolig en vesentlig endring av den geografiske fordeling av anleggene gi vesentlig endring i matrisen. Dette kan testes med modellsystemet.

Av andre forhold som påvirker influensmatrisen kan nevnes dødeligheten til lakseluslarvene og varigheten av den infektive perioden. Her har vi støttet oss til standardverdier fra litteraturen (Stien m.fl., 2005). Begge disse forhold påvirker hvor langt vi kan forvente at lusa transporteres og bidrar dermed vesentlig til strukturen i matrisen. Dødeligheten er kanskje mest usikker og effekten av ulik dødelighet er

dokumentert i appendiks A3.4. Dødeligheten påvirker import/eksportratene betydelig, men gir bare mindre endringer i klyngestrukturen.

Oppsummert er konklusjonen at influensmatrisen er representativ, gitt dagens anleggstruktur, men at den ikke lenger vil være representativ dersom en i framtiden får en vesentlig endret geografisk struktur i næringen i Nord-Norge. Metoden for å evaluere forslag til områdeinndeling består av enkle beregninger av import og eksport ut fra influensmatrisen.

Klyngeanalysen er også styrt av influensmatrisen. Det finnes flere algoritmer for denne type analyse. Mange metoder er imidlertid uaktuelle siden de er basert på et avstandsmål i steder for vår smitte-influens. Den spektrale analysen som er brukt her gir godt samsvar når en varierer antall klynger eller bruker de alternative influensmatrisene fra følsomhetsanalysen i appendiks A3.

Ved å studere nettverket av anlegg og influens ser en at klyngeanalysen gir fornuftige resultater for de enkelte grensedragningene som samsvarer med vårt beste skjønn. Nordover-analysen gir en delvis uavhengig metode som ikke bruker influensmatrisen. Denne metoden bekrefter at oppdelingen i klynger fungerer godt i samsvar med strømforholdene langs kysten.

5.2 Forslag til områdestruktur

I kapittel 2 presenteres et forslag til inndeling av kysten i 11 produksjonssoner. Dette forslaget tar utgangspunkt i de 15 klyngene fra appendiks A2. Her er det gjort to ting, redusert fra 15 til 11 klynger og laget geografiske polygoner som avgrensede områdene. Begge prosessene er delvis subjektive. For reduksjonen er isolerte klynger med få anlegg innlemmet i andre. Noen av de små klyngene, som Øksfjord og Folda, er knyttet til trange fjorder, der en modell med gridruter på 800 meter ganger 800 meter kan undervurdere utskiftningen. De andre småklyngene, som ytre Langøy og Øst-Finnmark (liten i volum), er godt representert i modellen og har nok reelt liten utveksling med resten av anleggene. De er likevel tatt inn for ikke å ha en geografisk liten sone eller en stor sone med få anlegg. Som nevnt i 4.1 kan klyngen i Øst-Finnmark lett skilles ut igjen om det er ønskelig.

Klyngeanalysen gir en oppdeling av anleggene i delmengder uten å angi presist geografiske grenser. Et produksjonsområde må være geografisk avgrenset, blant annet for å kunne avgjøre tilhørigheten av nye anlegg eller eksisterende anlegg som ikke var med i analysen. Her er det laget relativt enkle polygoner som avgrensede de reduserte klyngene.

Noen av grenseområdene er veldig markante og dukker opp i alle analyser. Det gjelder spesielt Stadt og Hustadvika. Det er utsatte områder som naturlig danner branngater. For ytterligere oppdeling på Vestlandet peker Karmøy og Sotra seg ut. Både nettverkene og nordover-analysen viser at på Vestlandet er det ikke mye rom for justeringer. I nord er det lavere verdier for smitte mellom områdene. Dette skyldes at det er færre anlegg og store avstander. Det betyr også at alternative inndelinger er mulig uten

at import/eksport-verdiene blir vesentlig dårligere enn det optimale. Verktøyet med influensmatrisen er viktig for å vurdere slike alternativ.

Som nevnt i kapittel 4.1 kan Finnmark lett splittes i to soner uten å ødelegge statistikken. Tilsvarende kan de få anleggene på Sørlandet skilles ut. Det siste skjer på bekostning av en høy relativ eksport til Ryfylke, men lave tall absolutt siden det dreier seg om få anlegg. Dette kan bringe antall områder opp i 12, eventuelt 13.

En oppdeling med flere områdene på Vestlandet vil gi høy utveksling, og vil dermed ikke fungere etter hensikten. Dette kommer klart fram i eksemplet med 20 produksjonsområder i kapittel 4. I Nord-Norge tillater dagens struktur i næringen å ha flere og mindre områder uten å få høye verdier av smitteoverføring. Det er et spørsmål om hva som er praktiske forvaltningsenheter. Det må påpekes at små områder er mer sårbare for endringer i geografisk fordeling av anlegg og kan gi mindre forutsigbarhet for næringen i framtiden.

Å lage færre områder ved å slå sammen noen av de 11 er uproblematisk sett fra eksport/import-synspunkt. Dette fjerner noen absolutte utvekslinger og reduserer den relative utvekslingen. For Vestlandet kan dette resultere i super-områder med svært mange anlegg. Det kan også være vanskelig å få aksept for tiltak som berører anlegg som ligger i samme område uten gjensidig influens. Den foreslåtte rammen på 11-13 anlegg gir en god balanse mellom liten smitteoverføring og områder som er godt sammenknyttet.

Det stilles og spørsmål om hvor langt ut i åpent hav områdene bør strekke seg. Polygonene i figur 3.1 er ikke et forsøk på å gi et presist svar på dette spørsmålet. De er trukket "tilfeldig" for å få lukkede polygoner. Det er uklart om det trengs en grense mot åpent hav. Om en bruker territorialgrense eller polygonene i figuren spiller ikke noe særlig rolle med dagens anleggstyper. Dersom det blir aktuelt med produksjonsplattformer i åpent hav, er det et vesentlig nytt moment. Slike anlegg vil være ekstremt eksponert og eventuell lusesmitte kan transporteres langt, men blir samtidig tynnet kraftig ut. Avveining mellom transport og uttynning bør vurderes med strømmålinger og modeller i det aktuelle tilfellet.

Deler av kysten er av naturgitte grunner mindre egnet for lakseproduksjon. Det kan være for høye sommertemperaturer i vannet eller sterk eksponering fra vind, bølger eller strøm. Andre områder er uaktuelle på grunn av forurensing. I prinsippet kan man fjerne slike uegnede delområder fra produksjonsområdene. Vi har valgt å ikke følge dette sporet. Uavhengig av områdestruktur må næring og forvaltning sørge for en forsvarlig utbygging av nye lokaliteter. Andre, i utgangspunktet egnede områder, kan være uaktuelle på grunn av verneområder (f.eks. nasjonale laksefjorder), skipstrafikk eller annen arealkonflikt. Også her vil etablering av produksjonsområder ikke endre praksis, slik at det ikke er noen grunn til statistisk å ekskludere slike delområder fra produksjonsområdene. Det må her nevnes at metodikken med spredningsmodellering basert på høyoppløselig strømmodell kan være nyttig for å vurdere effekt av eventuelle lokaliteter på særlig beskyttede områder.

Noen særlig utsatte områder utgjør naturlige branngater, områder uten oppdrettsaktivitet som skiller produksjonsområder. Andre områder fungerer i praksis som branngater fordi det ingen eller veldig få lokaliteter i området. Mandatet fra NFD tar ikke opp spørsmål om å opprette nye branngater ved å fjerne eller flytte anlegg. Bruk av branngater kan redusere smittetransport mellom områdene betydelig. For eksempel, ved å fjerne fire anlegg ved Sotra reduseres import av smitte til Nordhordland og Sogn med 43%. Branngater kan innføres ved områdegrensene med størst smitteoverføring. Bruk av branngater kan også gi større fleksibilitet i definisjon av produksjonsområder, fordi andre områdegrensener enn de som presenteres i denne rapporten kan bli aktuelle. Modellverktøyet presentert i appendiks, fortrinnsvis med bedre oppløsning, er godt egnet til å regionalt vurdere effekt av mulige branngater.

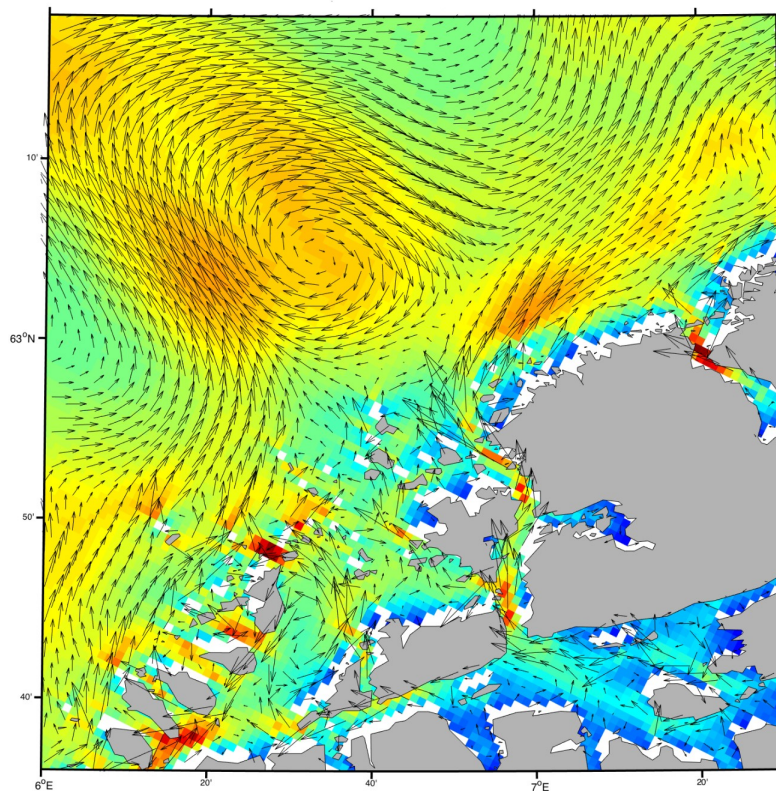
Appendiks: Bakgrunnsstoff

A1. Modell

Regional sirkulasjonsmodell

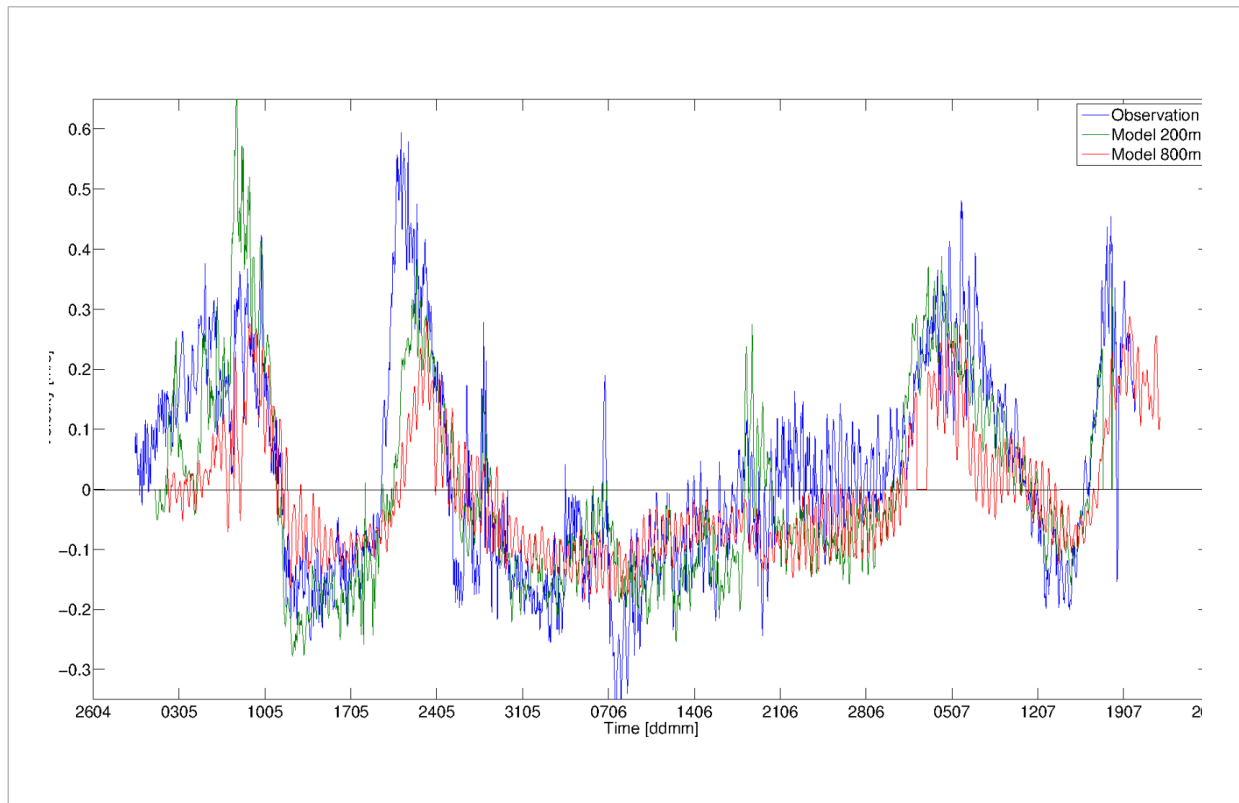
Som hydrodynamisk strømmodell bruker Havforskningsinstituttet Regional Ocean Model System (ROMS; <http://myroms.org>) (Shchepetkin og McWilliams, 2005; Haidvogel m.fl., 2007). Dette er en internasjonal “community” modell med hovedutviklere i New Brunswick og Los Angeles. Modellen har et stort brukermiljø verden over. Nasjonalt har vi et nært samarbeid med Meteorologisk institutt som bruker den samme modellen operasjonelt.

Det aktuelle modelloppsettet kalles NorKyst-800m (Albretsen m.fl., 2011). Dette er et stort modell-system som er utviklet i en nasjonal dugnad med Meteorologisk institutt og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Modellen dekker hele kysten av Norge (se figur 3.3) med gridruter på 800 meter ganger 800 meter og 35 nivåer vertikalt. Oppsettet brukt her har atmosfæriske drivkrefter (vind, varmeutveksling, nedbør og fordampning) beregnet med atmosfæremodell WRF, (Weather Research and Forecasting model; <http://www.wrf-model.org> (2013)). Denne er satt opp med gridruter på 3km ganger 3km, noe som gir et detaljer bilde av vinden langs kysten og i fjordene. Hydrografi og strøm på randen av området kommer fra Meteorologisk institutts operasjonelle 4km-modell for de Nordiske Hav. Data for ferskvannsavrenning fra 247 elver kommer fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Et eksempel på midlet strøm nær overflaten ved Hustadvika er vist i figur 3.1. Bemerk at øyeblikksbilder viser mye større variabilitet både i rom og tid.



Figur A1: Middelstrøm i 3 meters dyp for perioden mai til august 2014 utenfor Hustadvika modellert med NorKyst-800. Fargeskala angir strømstyrke. Legg merke til den store virvelen som bidrar til å transportere lakselus vekk fra kysten.

NorKyst-800 valideres fortløpende, i hovedsak mot observert temperatur og saltholdighet. På grunn av manglende strømobservasjoner har vi mindre systematisk validering av strømmen, men modellen gjør det bra der vi har hatt anledning til å teste. Et eksempel er gitt i figur A2 fra en posisjon i Hardangerfjorden, se Johnsen m.fl. (2014) for detaljer om oppsettet. Figuren viser at i en stor fjord fanger 800-metersmodellen opp hovedtrekkene i utviklingen av strømmen. Generelt viser erfaring at selv om havmodeller kan bomme på tidsforløpet til strøm (virvlene kommer ikke alltid til riktig sted til riktig tid), så er statistikken bra.



Figur A2: Validering av strøm mot observasjonsbøye i Hardangerfjorden. Den blå kurven er observasjonene mens den røde kurven er resultater fra NorKyst-800. Den grønne kurven er modellresultater med 200 meters oppløsning. Den høyfrekvente delen av signalene er tidevann.

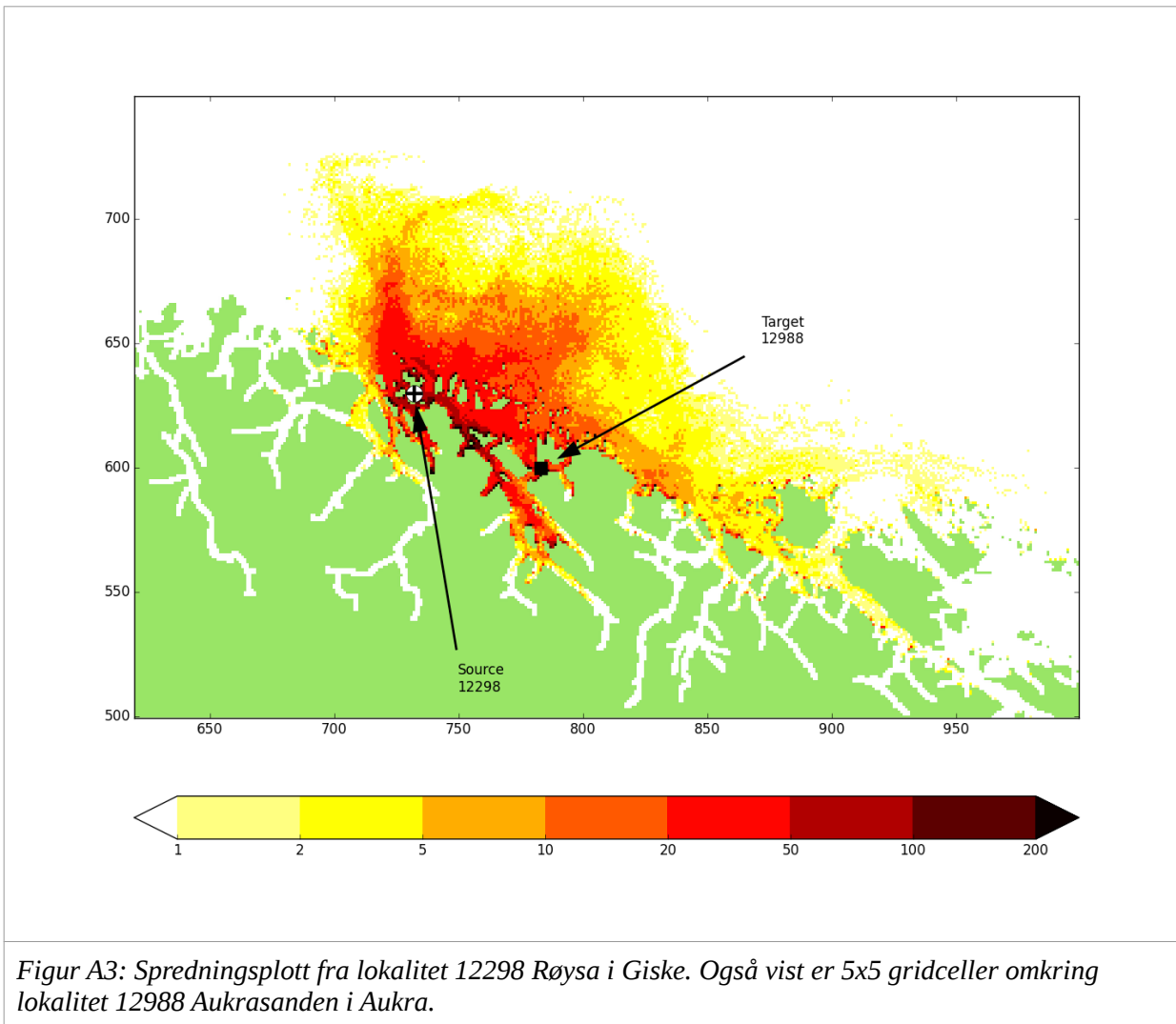
Modellen har vært kjørt fra 1. januar til 16. august 2013, samt samme periode i 2014. Resultatene lagres hver time. Modellresultatene utgjør 6,3 terabyte for hvert år. Modelloppsettet brukes også til å gi randbetingelser for fjordmodeller på 150-200 meters skala. Figur A2 viser at bedre oppløsning gir bedre resultater. Disse modellene anbefales for mer detaljerte studier for finere oppdeling av produksjonsområdene i utsettingsområder og etablering av eventuelle branngater.

Spredningsmodell

Transport og spredning av nauplier og kopepoditter av lakselus gjøres med Lagrangian Advection and Diffusion Model (LADIM). Denne modellen er utviklet ved Havforskningsinstituttet og har vært brukt i studier av fiskeegg og larver (f.eks. Ådlandsvik og Sundby, 1994; Vikebø m.fl., 2011), forurensning (bl.a. Heldal m.fl., 2013) og ikke minst for lakselus (Asplin m.fl., 2014; Johnsen m.fl., 2014).

Modellen har vært kjørt med 591 (resp. 921) utslippslokaliteter med kontinuerlig utslipp på 3 (resp. 5) partikler i timen. Horisontalt føres partiklene med timesverdier av strømmen fra NorKyst-800m. For å få realistisk spredning legges det til en liten tilfeldig forflytning (“random walk”) hvert tidskritt. Simuleringen har en individbasert biologisk modellkomponent som inkluderer det vi kjenner til om atferden til lakselus, for fulle detaljer se (Johnsen m.fl., 2014). Vertikalt har partiklene en vandring opp på dagtid mens de synker ned når det er mørkt. I tillegg vil partiklene aktivt unngå vann ferskere enn 20 g/kg ved å synke ned mot saltere vann. Datamaskinene har ikke kapasitet til å simulere det reelle antall lakselus i naturen. Hver lusepartikkel representerer derfor mange lus. Dette antallet, kalt “vekten” til partikkelen reduseres med 17% daglig for å simulere dødelighet. Partiklene representerer infektive kopepoditter når de er mellom 50 og 150 døgngrader, dvs 5 - 15 dager dersom vanntemperaturen er 10 grader. Simuleringsperioden er 120 døgn fra 2. april til 31. juli.

I denne anvendelsen av modellen beregnes det aggregerte smittetrykket fra et anlegg ved å beregne den dødelighetsvektede summen av infektive partikler for hver time i hver gridcelle. Det er altså ikke et øyeblikksbilde, men viser sannsynlighetsfordeling som sier hvor en kan forvente å finne infektive lakselus kopepoditter. Et eksempel på dette er gitt i figur A3 under. Her vises det modellerte smittepresset fra et anlegg på Røysa i Giske kommune. Størst sannsynlighet for å treffe eventuelle lus fra dette anlegget er i nærområdet fra Sula til Otrøya. Det er også høye konsentrasjoner i Storfjorden og Romsdalsfjorden. En betydelig andel forlater kysten, blant annet ved virvelen sør for Hustadvika (figur A2). Hovedretningen for smitte er nordover, og noe smitte passerer Hustadvika og når så langt nord som til Hitra.

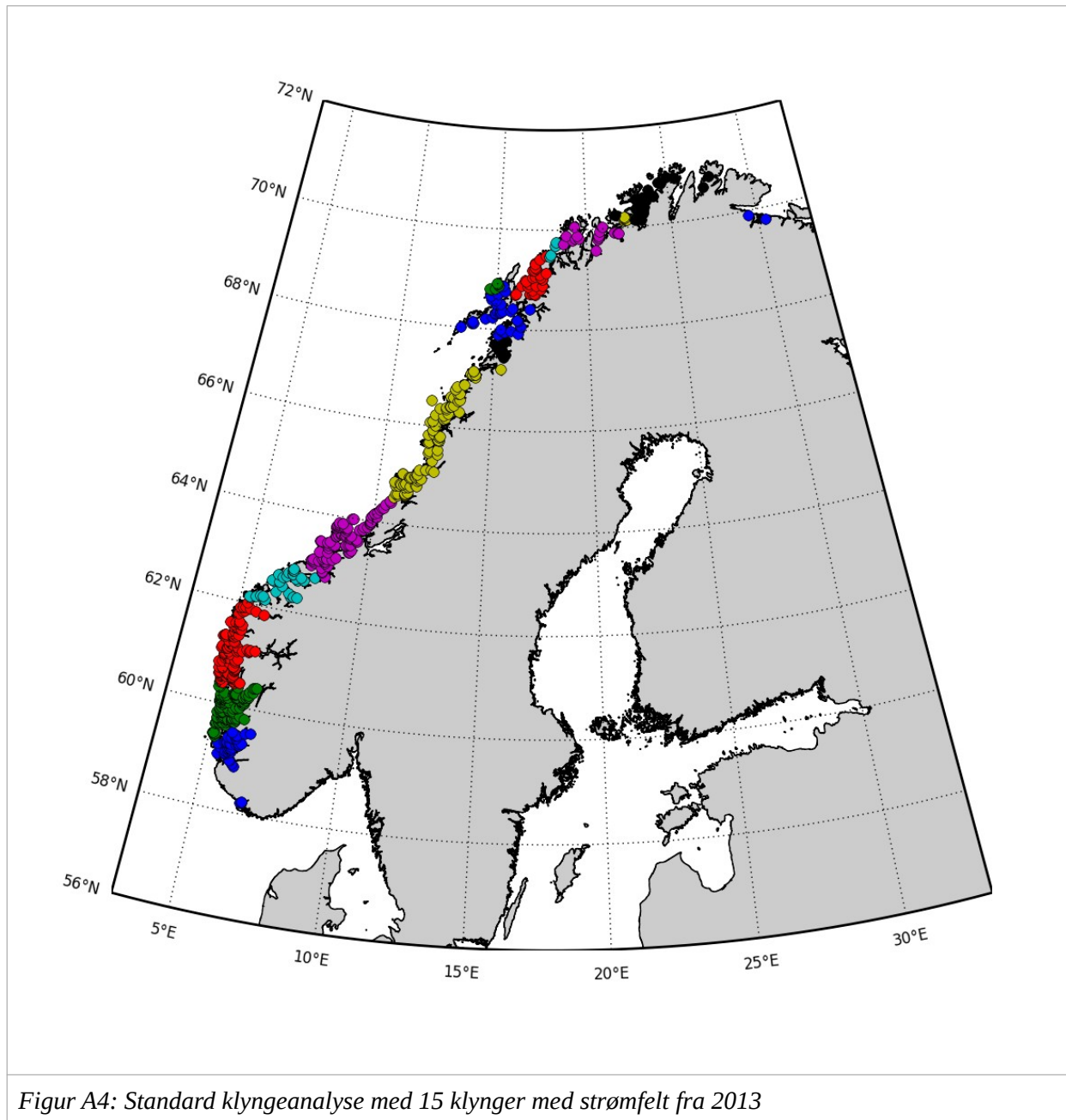


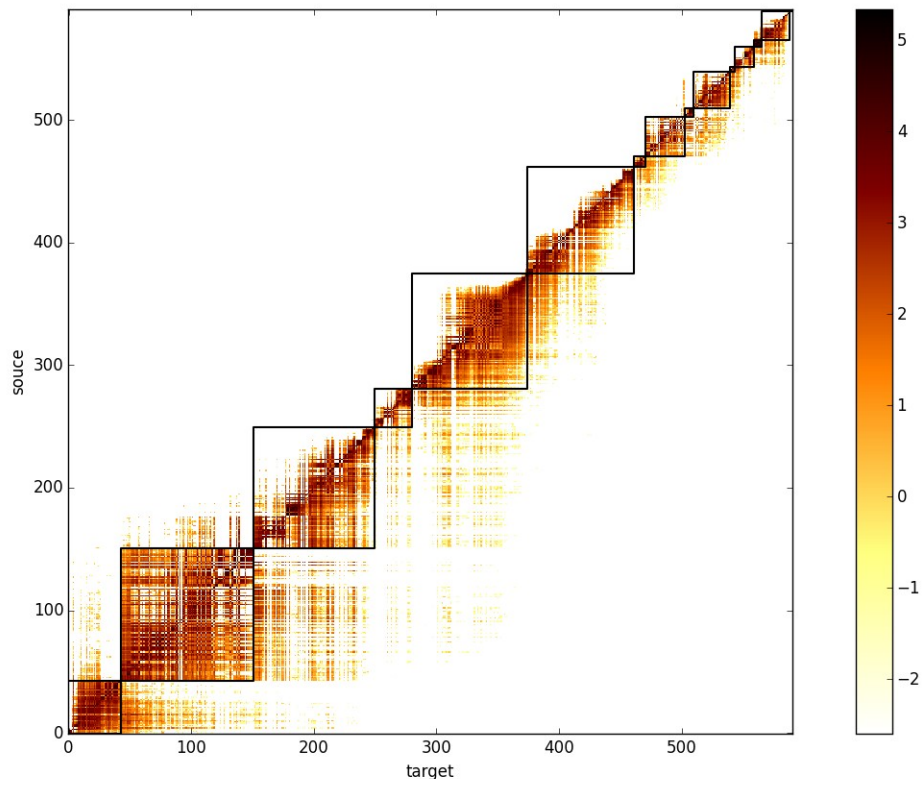
A2. Influensmatrise og klyngeanalyse

Influensmatrisen beregnes ut fra partikkeltransporten. Figur A3 viser også et nedstrøms anlegg (12988). Siden det er veldig få modellpartikler sammenligner med antall lakseluslarver i naturen, kan vi ikke forvente direkte treff på anlegg. For standardoppsettet teller vi treff på 5x5 gridceller (4x4 km) omkring anlegget. Dette området er vist som en liten svart firkant omkring anlegget. Antall treff, justert for dødelighet, er 1372. Ser vi motsatt vei, smittepress fra 12988 på 12298 er verdien 48. For nettverksfigurene (figur 3.4 til 3.12) midles influensen begge veier. Her kreves en verdi på minst 1000 for å få gul strek, over 2000 for oransje strek og rød over 3600. I eksemplet over er begge lokaliteter i figur 3.7, men middelverdien er 710 og det trekkes ingen strek.

Influensmatrisen beregnes ved å gjøre en slik opptelling for alle par av anlegg. Spesielt framkommer selvsmitte på diagonalen. Klyngeanalysen gjøres på bakgrunn av den symmetriserte influensmatrisen (symmetrisk fordi høyt smittepress fra et anlegg til et annet gjør at de bør tilhøre samme klynge enten smitten går den ene eller andre veien). Denne matrisen mates inn i en algoritme som kalles spektral klyngeanalyse. Algoritmen er utviklet av Ng m.fl. (2001) og vi bruker implementasjonen i maskinlæringspakken scikit-learn (Pedegrosa m.fl., 2011) for programmeringsspråket python. Algoritmen krever at vi oppgir antall klynger og resultatet er en oppdeling av anleggene i klynger. Metoden er deterministisk i den forstand at vi får identisk resultat om analysen repeteres. Figur A4 viser klyngene som framkommer ved å be om 15 klynger. Tabell A1 viser de tilhørende eksport/import tallene mens Figur A5 framkommer ved å ordne matrisen etter klyngene og deretter anleggene fra sør til nord i hver klynge. En god måte å forklare klyngeanalysen på er at den endrer sorteringen og finner gode kvadrater langs diagonalen med minst mulig lekkasje av smitte.

Klyngeanalysen gir passende store klynger på Vestlandet. Det er liten utveksling mellom klyngene. Klyngene er dessuten koherente (lokalitetene er forbundet). Dette ses ved at matrisen fyller ut nedre høyre hjørne av kvadratene. Unntaket i så måte er klynge 6 fra Flatanger til Salten. Denne klyngen er også svært stor geografisk. Klyngen splittes ved at Nord-Trøndelag trekkes ut som eget område, i tråd med klyngeanalyse med 17 klynger. Nordover gir analysen noen upraktisk små klynger, det er en bieffekt av metoden. Det foretas derfor en manuell justering av resultatene som gir de 11 områdene i kapittel 2. Små klynger (få lokaliteter) innarbeides i naboklynger. Her dreier det seg om Folda, Ytre Langøy, Malangen, Øksfjord og Øst-Finnmark.





Figur A5: Influensmatrise for standard klyngeanalyse

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Flekkefjord → Karmøy	43	5	56	0,1	1,6
2	Karmøy → Sotra	108	131	295	1,0	2,2
3	Nordhordland → Stadt	99	290	80	3,2	0,9
4	Stadt → Hustadvika	31	3	33	0,3	2,8
5	Nordmøre → Flatanger	94	37	93	0,5	1,3
6	Flatanger → Salten	87	93	6	2,3	0,2
7	Folda	9	5	1	1,2	0,4
8	Vestfjorden + Vesterålen	32	3	17	0,2	1,3
9	Ytre Langøy	7	7	0	1,1	0,1
10	Andfjorden + Senja	30	11	5	0,8	0,4
11	Malangen	4	4	8	0,9	1,7
12	Kvaløya → Loppa	16	9	5	1,3	0,7
13	Øksfjord	6	4	9	0,2	0,5
14	Vest-Finnmark	23	13	3	1,4	0,3
15	Øst-Finnmark	2	0	0	0,0	0,0
Total		591	593	593	1,3	1,3

Tabell A1: Eksport/import-statistikk for standard klyngeanalyse med 15 klynger

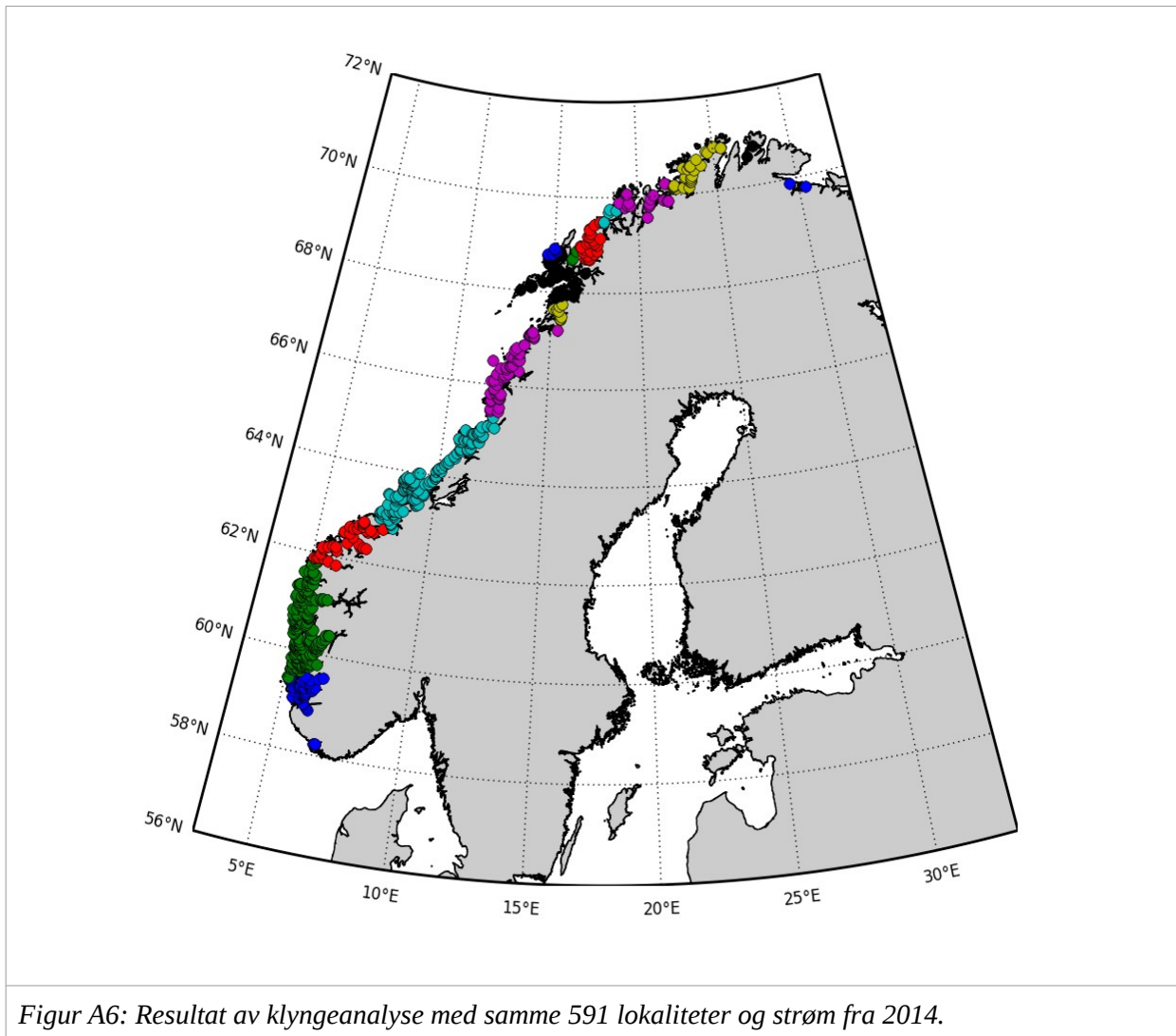
A3. Følsomhet

Målet er å finne en områdeinndeling som er allmenngyldig. Det er gjort en del valg underveis. Det er derfor viktig å finne ut om resultatene er robust eller om de avhenger kritisk av disse valgene.

Simuleringsperiode

I tillegg til standardperioden i 2013 er det brukt modellert strøm fra 2014 med de samme utslippene av modellpartikler. Den tilsvarende klyngestrukturen er vist i figur A6. Det er noen endringer, vi får en bl.a. en “superklynge” fra Karmøy til Stadt. Skillet mellom Sør- og Nord-Trøndelag forskyves mot Brønnøysund. Klyngen som forsvant på Vestlandet kompenseres med en liten klynge i Kvæfjord. Vest-Finnmark samles til en klynge, mens klyngen i Øksjørd kompenseres med en ny klynge nord i Finnmark.

Ved å benytte influensmatrisen fra denne 2014 kjøringen i standardforslaget til produksjonsområder får en tabell A2. Sammenlignet med standardtabellen 3.1 fra 2013 viser den marginalt høyere absoluttverdier på Vestlandet men lavere relative. Nordover og samlet viser den lavere verdier både absolutt og relativt. Dette viser at områdeinndelingen fungerer godt også med strøm fra annet år.



Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	43	2	70	0,0	1,5
2	Karmøy → Sotra	109	147	320	0,9	2,0
3	Nordhordland → Stadt	98	318	83	3,0	0,8
4	Stadt → Hustadvika	31	6	17	0,4	1,0
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	92	17	59	0,2	0,8
6	Nord-Trøndelag	35	74	17	2,9	0,7
7	Helgeland + Salten	54	17	17	0,9	0,8
8	Vestfjorden + Vesterålen	48	2	4	0,1	0,2
9	Andøya → Senja	32	5	4	0,2	0,2
10	Kvaløya → Loppa	18	3	1	0,6	0,2
11	Finnmark	31	1	0	0,4	0,0
Total		591	593	593	1,1	1,1

Tabell A2: Eksport/import-statistikk med influensmatrise for 2014

Antall lokaliteter

Det er gjort en kjøring av partikkelmodellen for 2014 med utslipp fra 921 lokaliteter. Av disse er 537 blant de 591 i standardkjøringen. Klyngeanalyse med 15 klynger gir praktisk talt samme struktur som den andre 2014 analysen fra Svenskegrensen til Salten, bl.a. med en “superklynge” fra Karmøy til Stadt. Nord for Salten er det mindre endringer på klyngestrukturen. Tabell A3 viser en evaluering av standard områdeinndeling med influensmatrisen fra den store kjøringen. Alle områdene har flere anlegg, men økningen er sterkest med i Nord-Norge hvor antall lokaliteter fordobles. Tabellen viser høyere tall for absolutt utveksling, som forventet med 56% flere lokaliteter. De relative verdiene fordeles tilsvarende som de to kjøringene med 591 anlegg, med enda lavere verdier. Dette viser at områdeinndelingen gir gode resultater selv med dobbelt antall lokaliteter i Nord-Norge.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	69	1	85	0,0	0,8
2	Karmøy → Sotra	143	196	502	0,8	1,9
3	Nordhordland → Stadt	131	501	122	2,8	0,7
4	Stadt → Hustadvika	50	11	32	0,3	0,8
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	129	32	110	0,2	0,8
6	Nord-Trøndelag	52	138	38	2,7	0,8
7	Helgeland + Salten	96	39	34	0,7	0,6
8	Vestfjorden + Vesterålen	100	11	30	0,1	0,3
9	Andøya → Senja	55	30	28	0,5	0,6
10	Kvaløya → Loppa	41	22	5	0,8	0,2
11	Finnmark	55	4	0	0,1	0,0
Total		921	987	860	0,9	0,9

Tabell A3: Eksport/import-statistikk med 921 anlegg

Størrelse på målområdet

Standard partikkelmodell involverer 3 partikler per anlegg per time, totalt knappe 4 millioner partikler. Dette er forsvinnende lite sammenlignet med antall lakselus og gjør at sannsynligheten for at en modellpartikkel skal treffe nøyaktig et anlegg er veldig liten. Dette løses ved å gjøre målområdet omkring et anlegg større. I standardkjøringen telles en partikkel når den er innenfor 5x5 gridceller (4x4 km) sentrert omkring gridcellen som inneholder målanlegget. Siden dette er relativt tilfeldig valg, er det gjort følsomheteksperimenter med 3x3 og 1x1 gridceller. Bare resultatene fra 1x1, gridcellen selv, presenteres her. Klyngeanalysen med 15 klynger er identisk sørpå. Nordpå kommer det inn et skille ved Brønnøysund, mens Troms og Vest-Finnmark slås sammen, samt noen mindre justeringer. Eksport/import-statistikken for standardområdene er presentert i tabell A4. Absolutt-tallene er som forventet mye lavere, mens de relative tallene er omtrent på samme nivå siden antall totale treff også går ned. Målområde på 3x3 gridceller gir tilsvarende resultater. Størrelse på målområdet er dermed vist å ha liten innflytelse på klyngeanalysen og de relative ratene. Resultatene med målområde av størrelse 5x5

brukes som standard, fordi spesielt 1x1 involverer færre partikler og gir muligens mindre representativ statistikk.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt. import	Absolutt. eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	43	0.2	2.6	0,1	1,0
2	Karmøy → Sotra	109	8.0	12.9	1,3	2,0
3	Nordhordland → Stadt	98	12.7	5.7	2,4	1,1
4	Stadt → Hustadvika	31	0.1	1.6	0,2	2,9
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	92	1.8	2.8	0,5	0,8
6	Nord-Trøndelag	35	2.9	2.1	1,6	1,1
7	Helgeland + Salten	54	2.1	0.3	1,4	0,2
8	Vestfjorden + Vesterålen	48	0.2	0.6	0,1	0,2
9	Andøya → Senja	32	0.6	0.2	0,5	0,2
10	Kvaløya → Loppa	18	0.2	0.3	0,9	1,1
11	Finnmark	31	0.3	0.0	0,1	0,0
Total		591	29.2	636	1,0	1,0

Tabell A4: Eksport/import-statistikk med en gridcelle som målområde

Dødelighet

Dødeligheten av lakselus-nauplier og kopepoditter avhenger trolig av egg-kvalitet, stadium/alder, temperatur, predatorer og annet. Dette er dårlig kjent. Standardverdien i litteraturen er 17% dødelighet per døgn (Stien m.fl., 2005). Her er det gjort følsomheteksperimenter med å senke dødeligheten til null og øke den til 25% per døgn. Størrelsen på klyngene i de tre tilfellene er vist i tabell A5. Uten dødelighet er det noen mindre justeringer av de 15 klyngene. Anleggene i Romsdal forbindes nordover, slik at Hustadvika ikke lengre er et skille, samt noe justering i Troms. Forklaringen ligger i en økt spredningsdistanse. Dette gjør det lettere for lusepartikler å passere Hustadvika, samtidig som områder i nord knyttes nærmere sammen, Med økt dødelighet, 25%, framkommer superklyngen fra Karmøy til Stadt igjen samt at midtre deler av Finnmarkskysten skilles ut som egen liten klynge. Her er det kortere

spredningsdistanse som gjør det nordlige Finnmark isolert og dette kompenseres ved å slå sammen klyngene på Vestlandet.

Dødelighet															
0%	43	108	99	20	107	84	10	32	7	39	2	6	6	26	2
17%	43	108	99	31	94	87	9	32	7	30	4	16	6	23	2
25%	43	207	31	94	87	9	32	7	30	4	16	6	19	4	2

Tabell A5: Antall anlegg i hver klynge med varierende dødelighet

Ved å bruke de alternative influensmatrisene får en nye eksport/import-rater for de standard 11 områdene. Her er tendensen er klar. Høyere dødelighet gir kortere spredningsdistanse og dermed lavere eksport/import-rater. Tabellene gjengis ikke her i sin helhet, men total-tallene uten dødelighet er 2886 for absolutt utveksling og 2,1% relativ utveksling. Med 17% dødelighet gir tabell A5 636 absolutt og 1,4% relativt. Økes dødeligheten til 25% blir tallene 216 absolutt og 1,1% relativt. Uten dødelighet finnes den høyeste import-raten til Nord- fra Sør-Trøndelag med 9.0% . Ved 17% dødelighet er denne raten fremdeles høyest, nå 3,8%. Ved 25% dødelighet er den høyeste import-raten til Nordhordland fra Sunnhordland med 2,7%.

Referanser

T. Adams, K. Black, C. MacIntyre, I. MacIntyre og R. Dean, 2012, Connectivity modelling and network analysis of sea lice infection in Loch Fyne, west coast of Scotland. *Aquacult. Environ. Interact.*, 3: 51-63

J. Albretsen, A.K. Sperrevik, A. Staalstrøm, A.D. Sandvik, F. Vikebø og L. Asplin, 2011, NorKyst-800 Report No. 1, User Manual and Technical Descriptions, *Fisken og Havet 2/2011*, Institute of Marine Research.

T.L. Amundrud og A.G. Murray (2009) Modelling sea lice dispersion under varying environmental forcing in a Scottish sea loch. *J. Fish. Dis.* 32: 27-44

Anon., 2011, Effektiv og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen – areal til begjær, Fiskeri- og kystdepartementet.

Anon., 2015, Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett, Meld. St. 16 (2014-2015), Nærings- og fiskeridepartementet.

L. Asplin, K. Boxaspen og A. Sandvik (2011) Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. In: S. Jones, R. Beamish (eds) *Salmon lice: an integrated approach to understanding parasite abundance and distribution*. John Wiley & Sons, Oxford, 31–50

L. Asplin, I.A. Johnsen, A. Sandvik, J. Albretsen, V. Sundfjord, J. Aure og K.K. Boxaspen (2014) Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord, *Mar. Bio. Res.* 10, 216-225.

D. Haidvogel m.fl., (2007). Regional Ocean Forecasting in Terrain-following Coordinates: Model Formulation and Skill Assessment, *J.Comp. Phys.*, 227, 3595-3624.

H.E. Heldal, F. Vikebø, and G.O. Johansen 2013, Dispersal of the radionuclide caesium-137 (¹³⁷Cs) from point sources in the Barents and Norwegian Seas and its potential contamination of the Arctic marine food chain: Coupling numerical ocean models with geographical fish distribution data *Env. Pollution*, 180, 190–198.

I.A. Johnsen, Ø. Fiksen, A. Sandvik og L. Asplin, 2014, Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system, *Aquacult. Environ. Interact*, 5, 127-141.

A. Ng, M. Jordan og Y. Weiss, 2001, On Spectral Clustering: Analysis and an algorithm, *Advances in Neural Information Processing Syst.*, MIT press, 849-856.

F. Pedegrosa et al., 2011, Scikit-learn: Machine Learning in Python, *J. Mach. Learn. Res.*, 12, 2815-2830.

A.F. Shchepetkin og J. C. McWilliams (2005). The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography-following coordinates ocean model, *Ocean Modelling* 9, 347-404.

A. Stien, P.A. Bjørn, P.A. Heuch og D.A. Elston, (2005), Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 290: 263-275.

F.B. Vikebø, B. Ådlandsvik, J. Albretsen, S. Sundby, E.K. Stenevik, G. Huse, E. Svendsen, T. Kristiansen og E. Eriksen 2011, Real-Time Ichthyoplankton Drift in Northeast Arctic Cod and Norwegian Spring-Spawning Herring, *PLoS ONE*, 6, e27367.

B. Ådlandsvik og S. Sundby (1994). Modelling the transport of cod larvae from the Lofoten area, *ICES Mar. Sci. Symp.* 198, 379-392.