

Forslag til produksjonsområder

RAPPORT TIL NÆRINGS- OG FISKERIDEPARTEMENTET

Bjørn Ådlandsvik



Foto: Hage Iren Svensen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett

Rapport til Nærings- og fiskeridepartementet
27. november 2015

Bjørn Ådlandsvik
Havforskningsinstituttet

Sammendrag

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

Arbeidet er gjort ved naturvitenskapelig metodikk. Ved hjelp av spredningsmodellering er det utviklet en influensmatrise som kvantifiserer potensiell smittedose 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. Arbeidet baserer seg på dagens geografiske struktur i næringen, men et scenario viser at så lenge en tar hensyn til områdestrukturen på kysten ved nye tildelinger vil det fungere med framtidige nye lokaliteter.

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 imellom. 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 Stad 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.

Når det gjelder dimensjonen fra fjord til kyst til havs, presenteres noen relativt lukkede områder som kan danne unntak i områdestrukturen. Det vurderes også hvor langt produksjonsområdene skal gjelde for anlegg til havs.

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 om å 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 Havforskningsinstituttet med Fiskeridirektoratet og Mattilsynet 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. En tilleggsbestilling ber om mer informasjon knyttet til føringene fra Innst. 361 S, med frist 27. november 2017.

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

Tolking av mandat

Det tas utgangspunkt i dagens geografiske struktur av næringen, men et alternativ uavhengig av dagens struktur behandles i appendiks A3. 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 Endringer fra første versjon av rapporten

Den vesentligste forskjellen fra første versjon av 1. november 2015 er et nytt kapittel 5 som tar for seg produksjonsområdene ut fra et fjord-/kyst-/offshore-perspektiv samt en vurdering av endret geografisk struktur i næringen. Det siste spørsmålet er også vurdert nærmere i appendiks A3. I samsvar med kapittel 5.1 er områdegrensene mot åpent hav tegnet på nytt. Diskusjonskapitlet, nå kapittel 6, er noe omarbeidet i samsvar med endringene beskrevet over.

Det er også noen språklige forbedringer, takk til Ingunn Bakketeig, Havforskningsinstituttet.

1.3 Arbeidsmåte

Havforskningsinstituttet har allerede arbeidet med problemstillingen. Etter bestillingen ble dette arbeidet intensivert. Det ble holdt et innledende møte 18. september 2015 med Fiskeridirektoratet og Mattilsynet. Hovedforfatter av rapporten er Bjørn Ådlandsvik med bidrag fra Lars Asplin, Ørjan Karlsen, Anne Sandvik og Terje Svåsand (alle Havforskningsinstituttet). 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.

1.4 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 sjøørret 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 et anlegg som treffer et annet anlegg som infektive 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 imellom. 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 prosentsatsen. 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. Slike vurderinger 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.

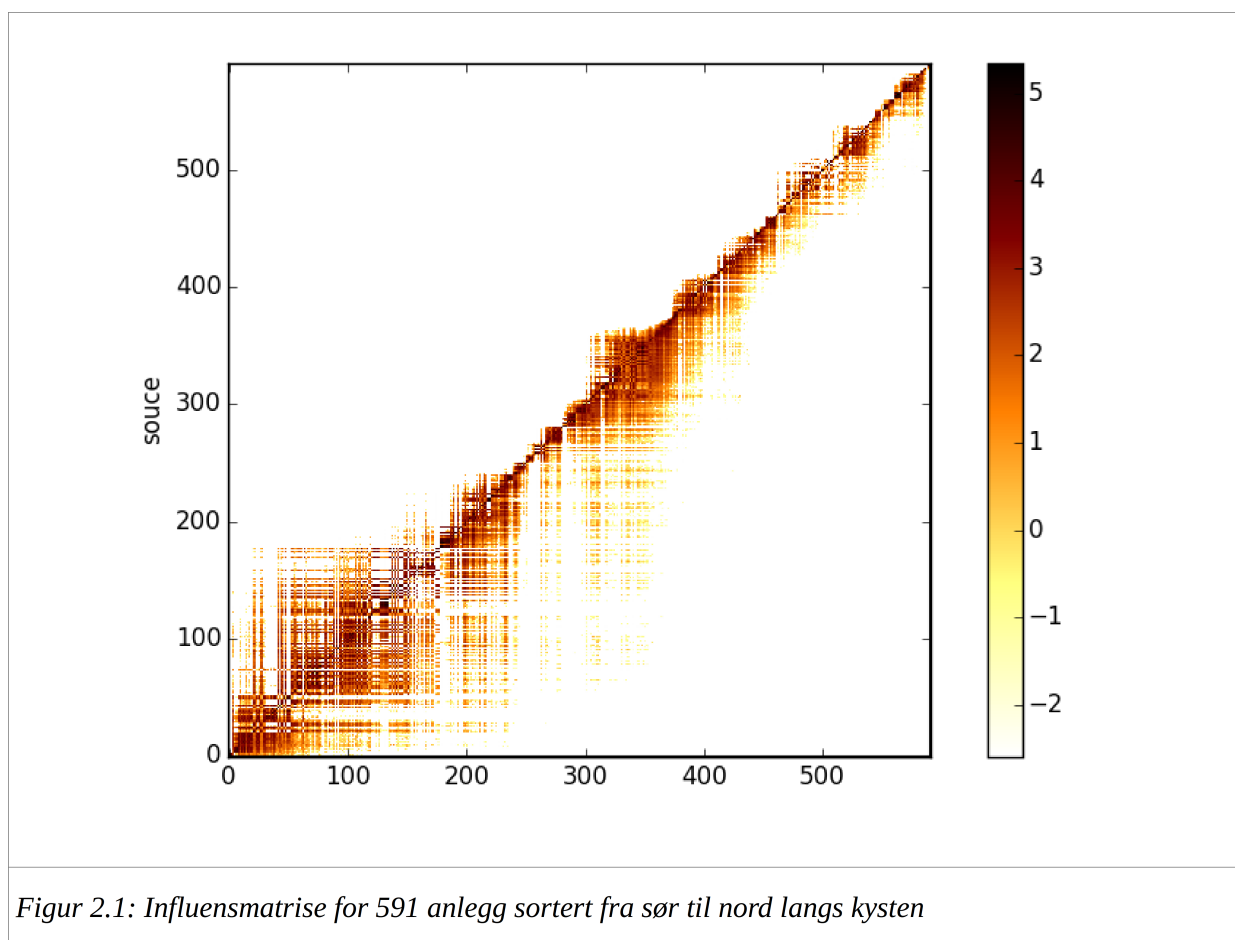
1.5 Kort om lakselusas biologi

Her beskrives forhold i lakselusas biologi som er av betydning for modellstudiene. Eggene er festet til moren i eggstrenger. 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 sjørret. 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 forttere når vannet er varmere. Døgngrader, tid i døgn multiplisert med temperatur i grader Celsius, er en praktisk enhet for å beskrive utviklingen. Stien mfl. (2005) oppgir at de to nauplie-stadiene til sammen varer i 30-50 døgngrader, mens kopepoditt-stadiet har en varighet på opptil 100 døgngrader (Asplin mfl., 2011). Dødeligheten er stor i hele den planktoniske fasen. Stien mfl. (2005) oppgir den til 17 % per døgn. En kopepoditt som ikke har funnet en vert etter totalt 150 døgngrader 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 hundrevis av kilometer. Kunnskap om strømforholdene langs kysten er derfor sentralt i evalueringen.

Det viktigste verktøyet er en *influen্সmatrix* som estimerer potensiell lusesmitte mellom anleggene. Figur 2.1 viser en slik matrix for de 591 anleggene som rapporterte lusetall i 2014. Anleggene er sortert nordover langs kysten, etter modellens X-koordinat (figur 3.3). Hvert anlegg opptre 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 én enhet svarer til tidobling 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.



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.

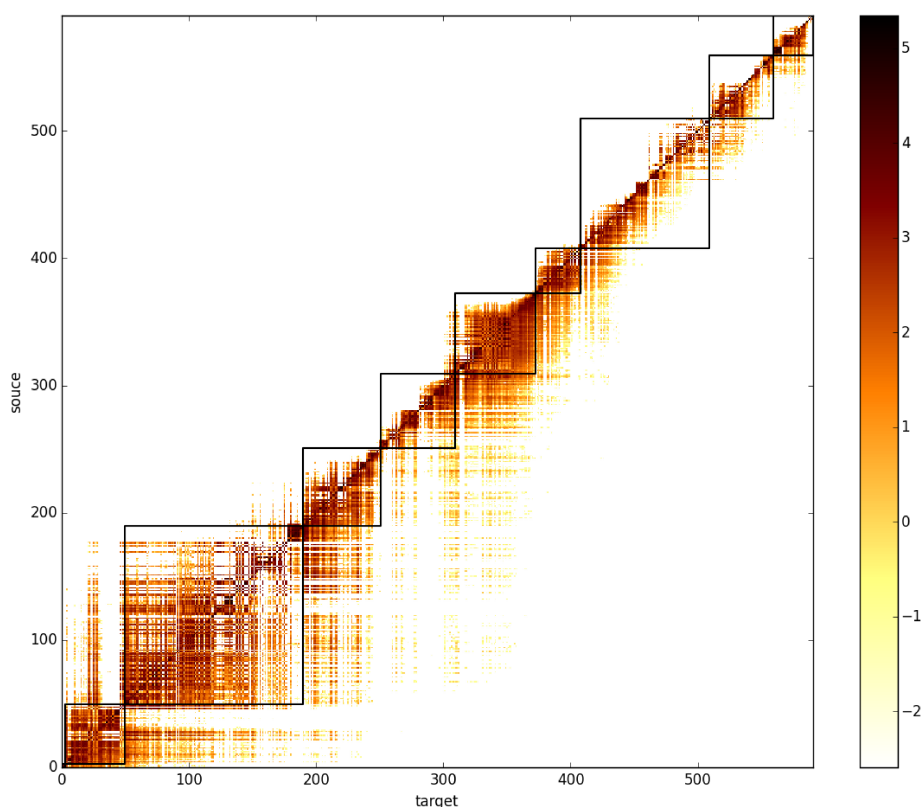
Matrisen er laget ved at vi har brukt resultater fra en strømmodell, NorKyst-800m (Albretsen mfl., 2011). Dette modelloppsettet er laget ved nasjonal dugnad mellom Havforskningsinstituttet, Meteorologisk institutt og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). HIs modell for transport og spredning av lakselus (Asplin mfl., 2014; Johnsen mfl., 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 ti fylker fra Vest-Agder i sør til Finnmark i nord. Figur 2.2 viser en omordnet influensmatrise 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 hvert fylke er også ordnet langs kysten.

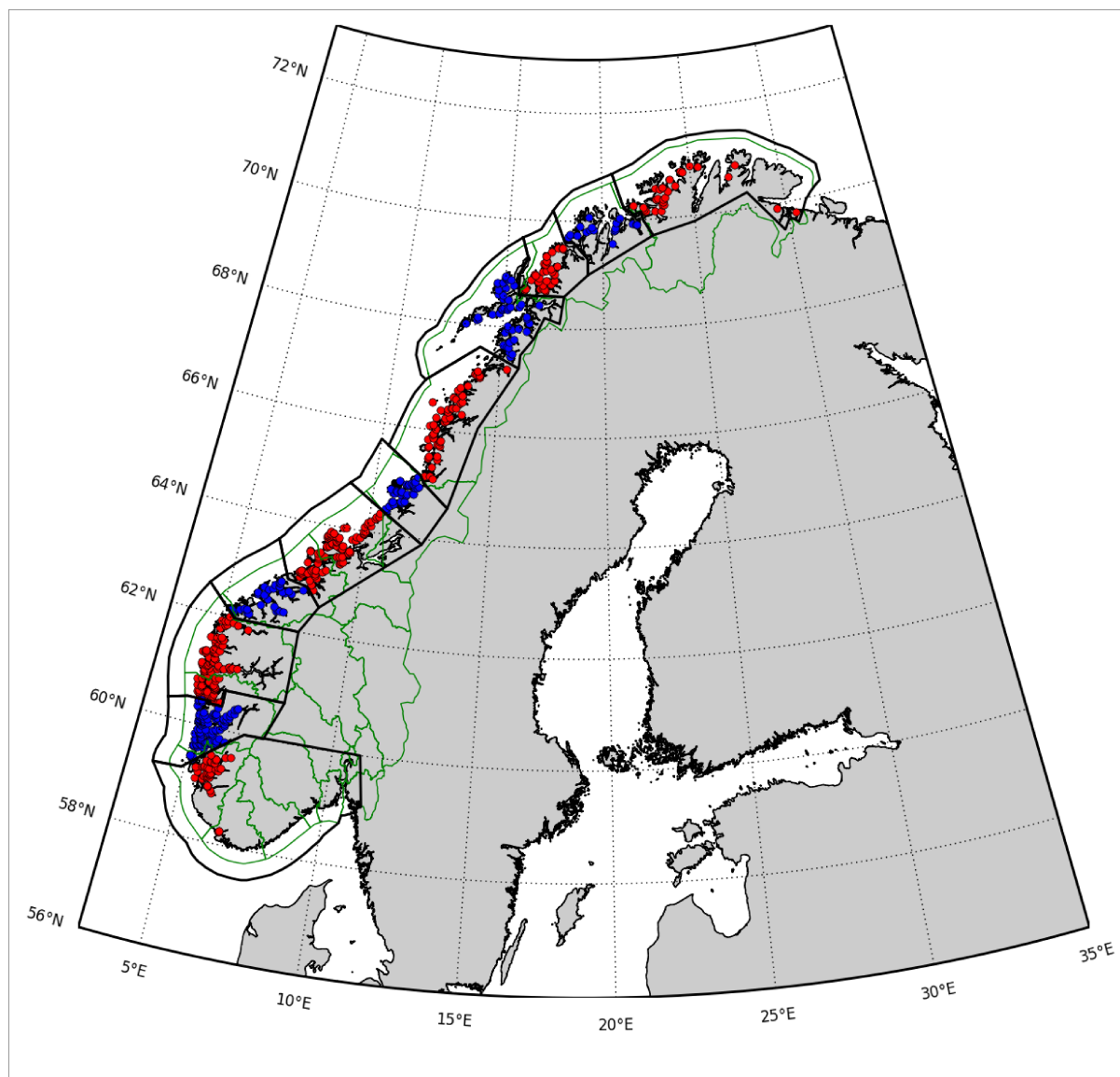
Tabell 2.1 under kvantifiserer utvekslingen. Her er Vest-Agder veldig lite i volum, mens Hordaland blir veldig stort. Det er betydelig transport av lus fra Rogaland til Hordaland, fra Hordaland til Sogn og Fjordane og fra Møre og Romsdal til Sør-Trøndelag. I relative tall kommer Sogn og Fjordane dårligst 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.

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.

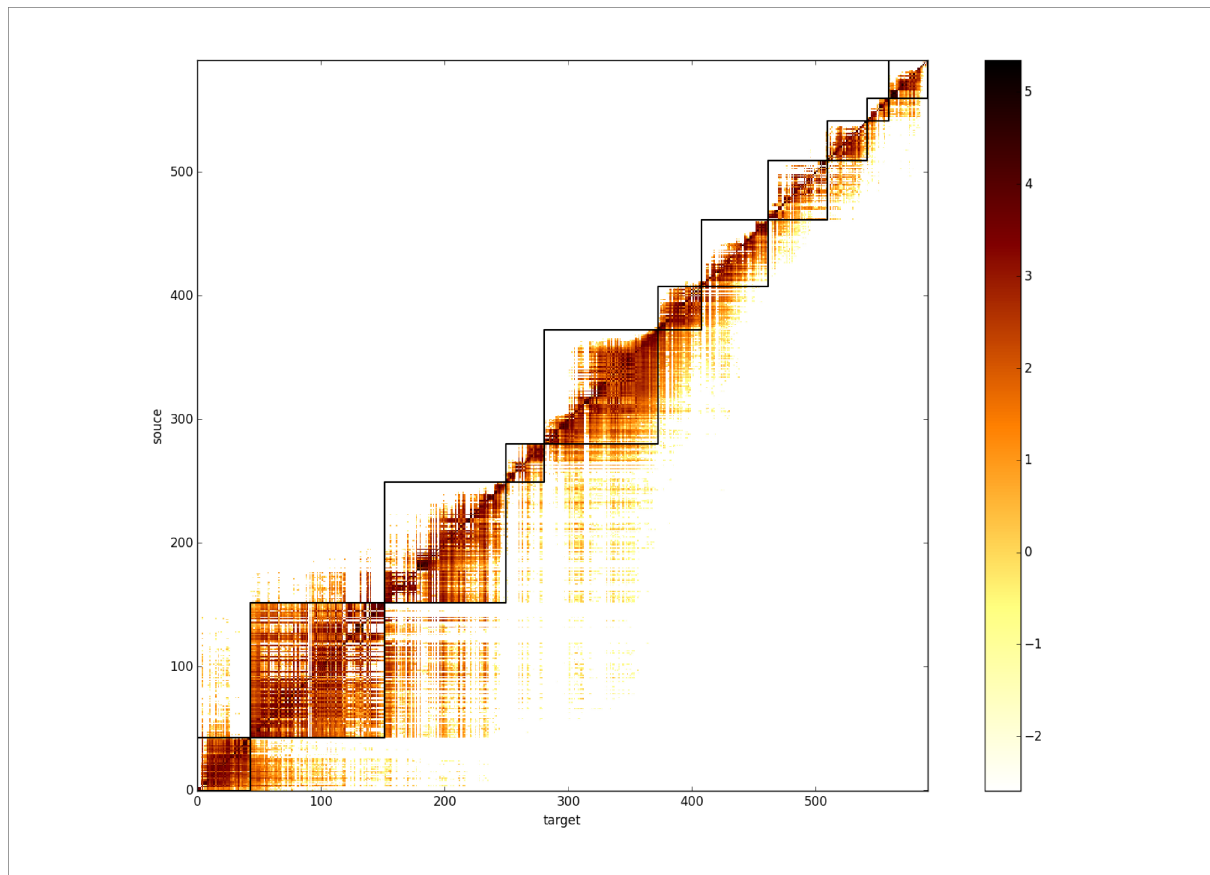
3. Forslag til områdeinndeling

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 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 lakselussmitte. 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 Stad med en tredjedel av alle anlegg. Den største relative importen er fra Sør- til Nord-Trøndelag.

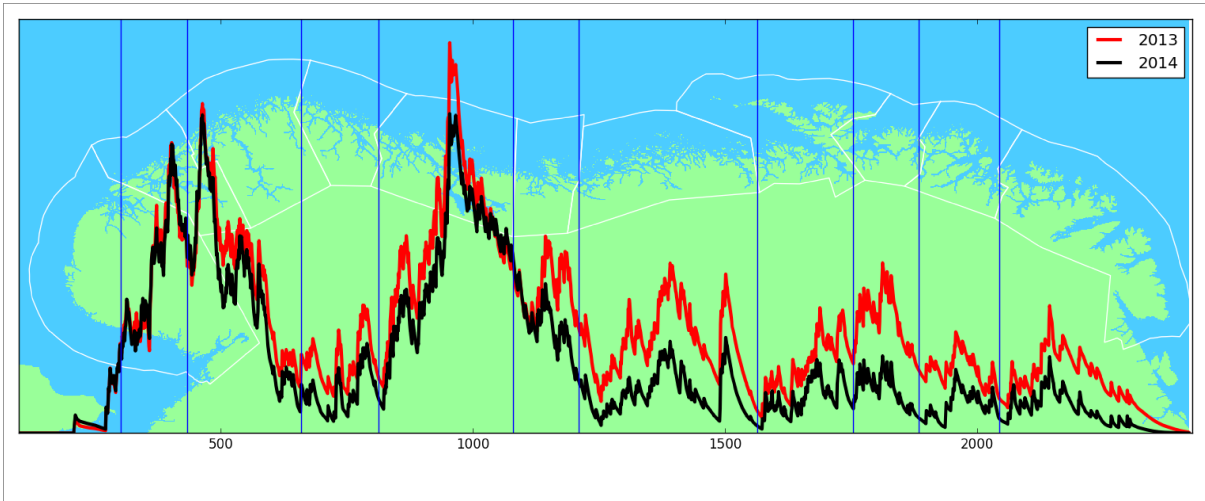
Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	43	5	56	0,1	1,6
2	Karmøy → Sotra	109	144	302	1,1	2,2
3	Nordhordland → Stad	98	297	94	3,3	1,0
4	Stad → Hustadvika	31	3	33	0,3	2,8
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	92	36	76	0,5	1,1
6	Nord-Trøndelag	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 til 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.

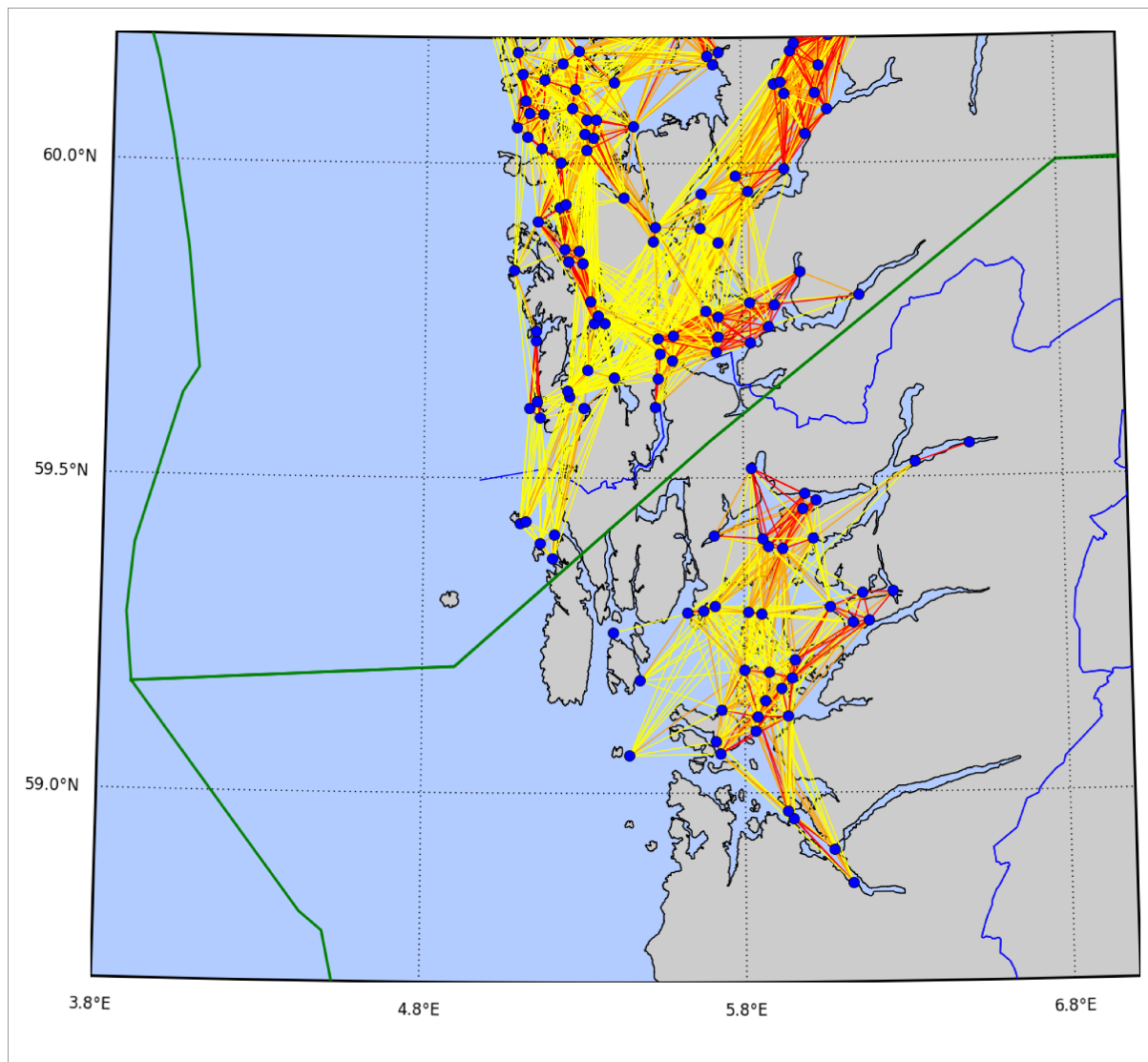
Denne analysen viser at Vestlandet er vanskelig, men at grensen ved Sotra ligger i et lokalt minimum. De andre grensene ligger også i områder med lav transport. Analysen kan antyde at det kan være lurt å flytte Nord-Trøndelag-området litt nordover. Dette er forsøkt. Å flytte grensen i sør nærmere Vikna ga noe høyere utveksling. Grunnen til forskjellen mellom nordover-analysen og klyngeanalysen er at strømmen transporterer mange partikler ut i havet sør for Vikna. Disse partiklene påvirker nordover-analysen, men bidrar ikke med smitteoverføring siden de ikke treffer noen anlegg. Derimot kan nordgrensen flyttes slik at området inkluderer Bindal kommune. Dette har ikke nevneverdig effekt på eksport/import-statistikken.



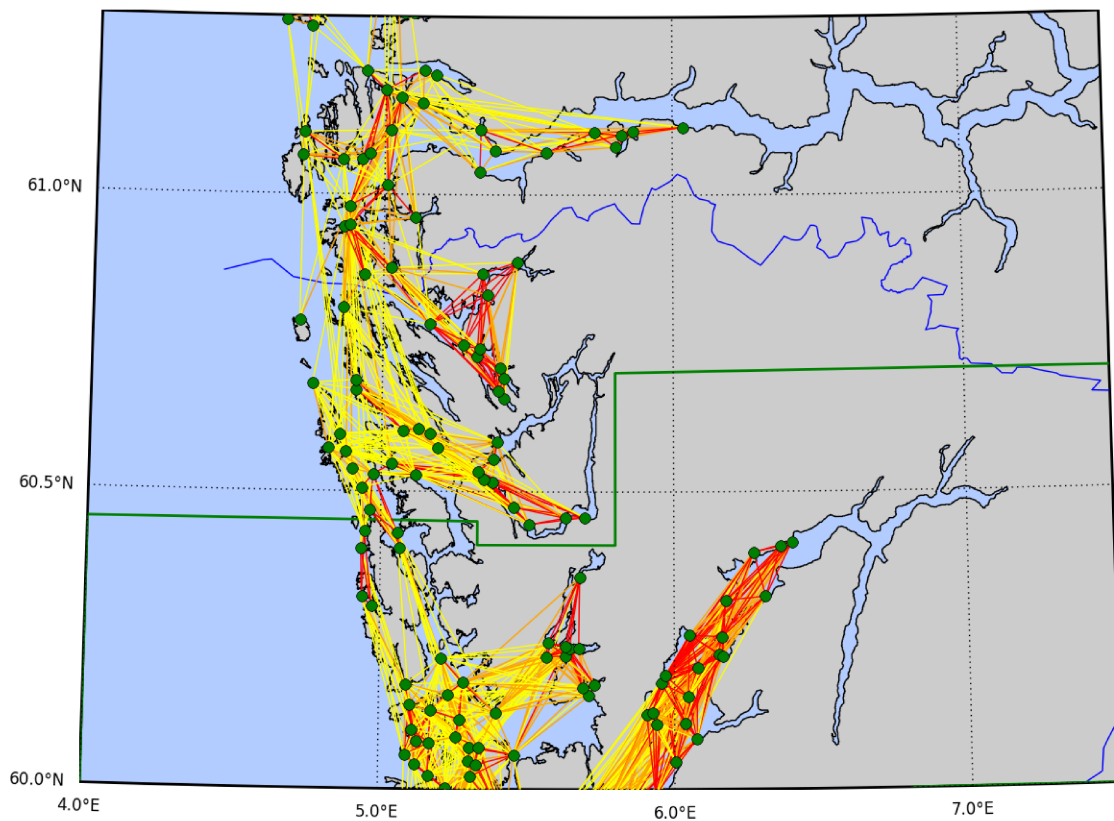
Figur 3.3: Nordover-analyse for 2013 og 2014 basert på 591 anlegg. Forslaget til områdeinndeling er skissert i hvitt. De vertikale blå linjene er trukket der sonegrensen treffer kysten.

3.2 Detaljer ved områdegrensene

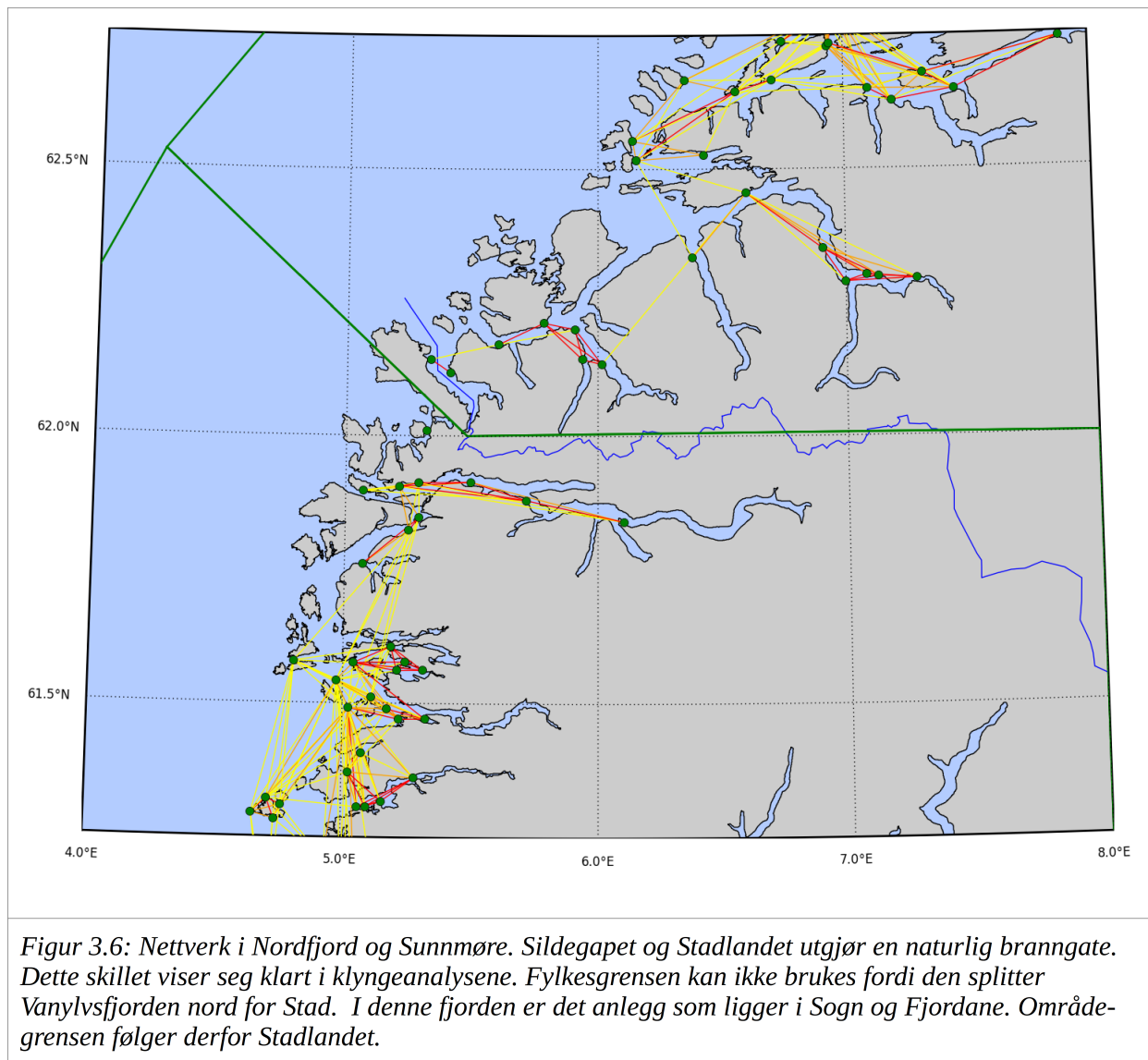
Her skisseres nærmere grensene mellom de foreslåtte områdene. Metoden er en enkel nettverks-analyse, hvor det trekkes linjer mellom anlegg med sterk innbyrdes innflytelse (uavhengig av hvilken vei innflytelsen går). Ved svak eller ingen kopling trekkes det ingen linjer, mens gule, oransje og røde linjer 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.

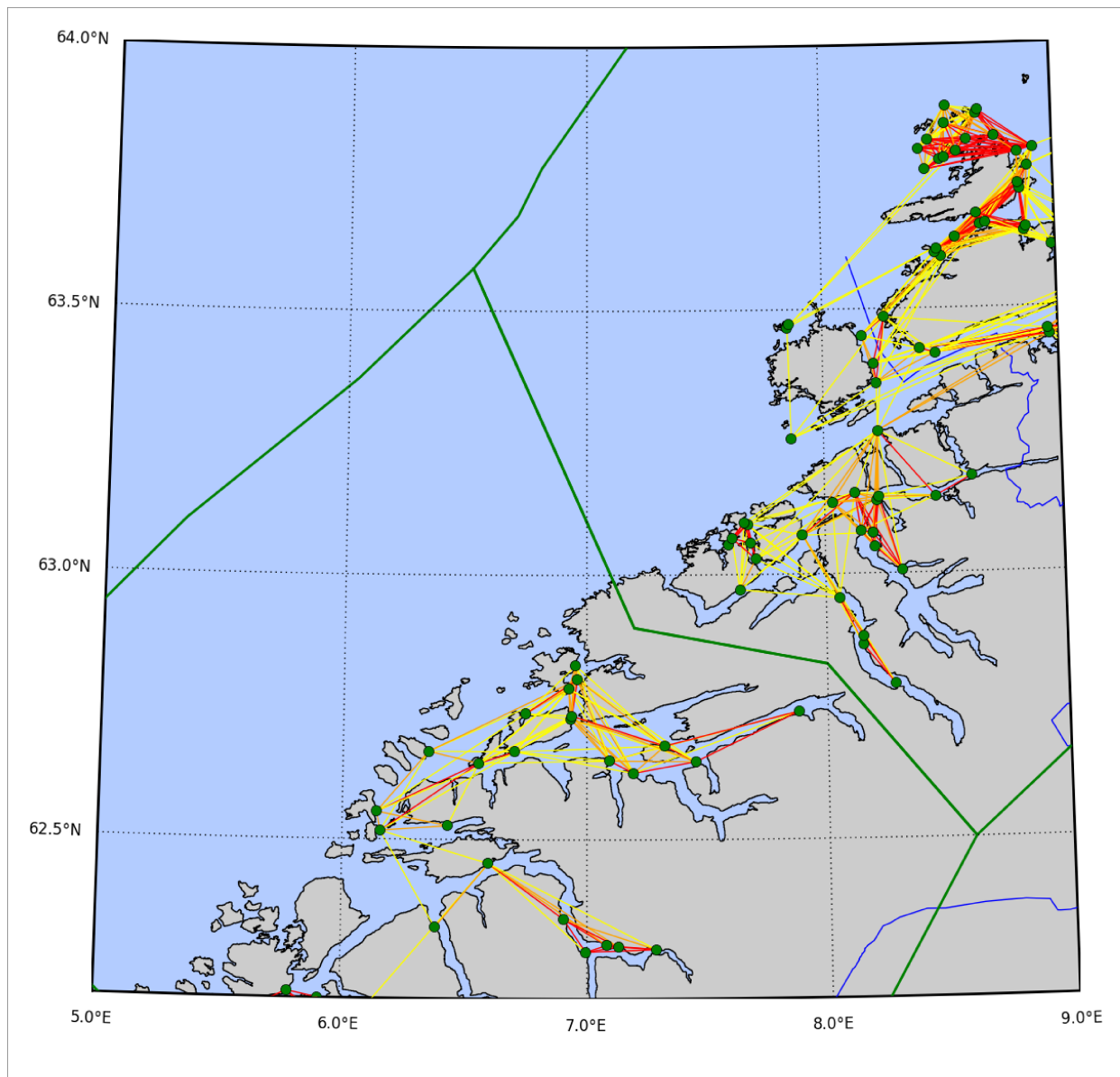


Figur 3.4: Nettverk i Rogaland og ytre Sunnhordland. Lokalitetene i Ryfylke er klart avgrenset fra Sunnhordland. Anleggene nord på Karmøy er mer forbundet med Sunnhordland enn Ryfylke. Resten av Karmøy utgjør en naturlig branngate.

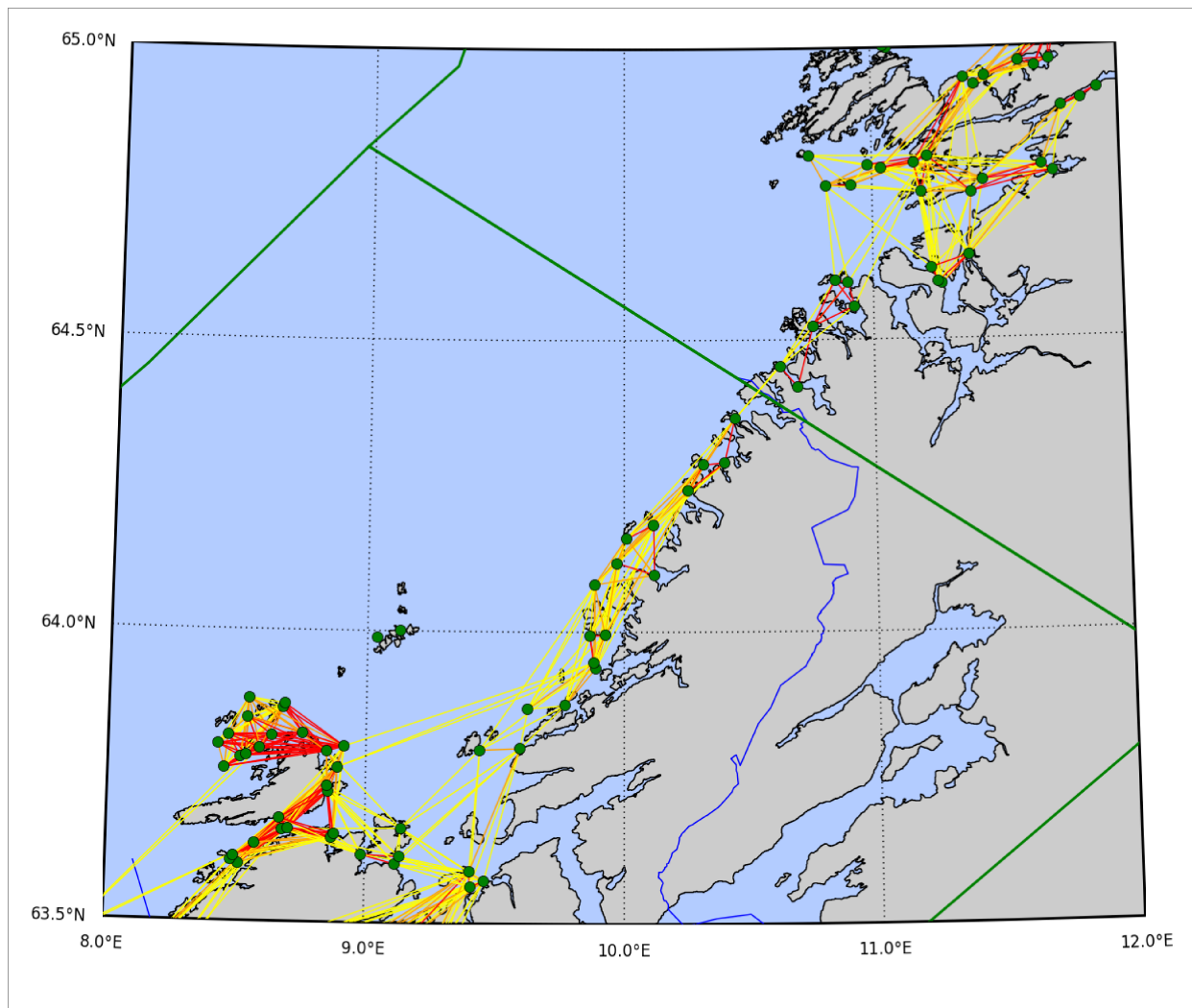


Figur 3.5: Nettverket i Nordhordland og Sogn. Her er det ingen branngate, det er anlegg hele veien. Anleggene i Nordhordland er mer tilknyttet Sogn enn Bjørnefjorden og Hardanger. Klyngeanalyse foreslår at dersom vi ønsker et skille mellom Karmøy og Stad, er Solsviksundet mellom Sotra og Misje det beste valget.

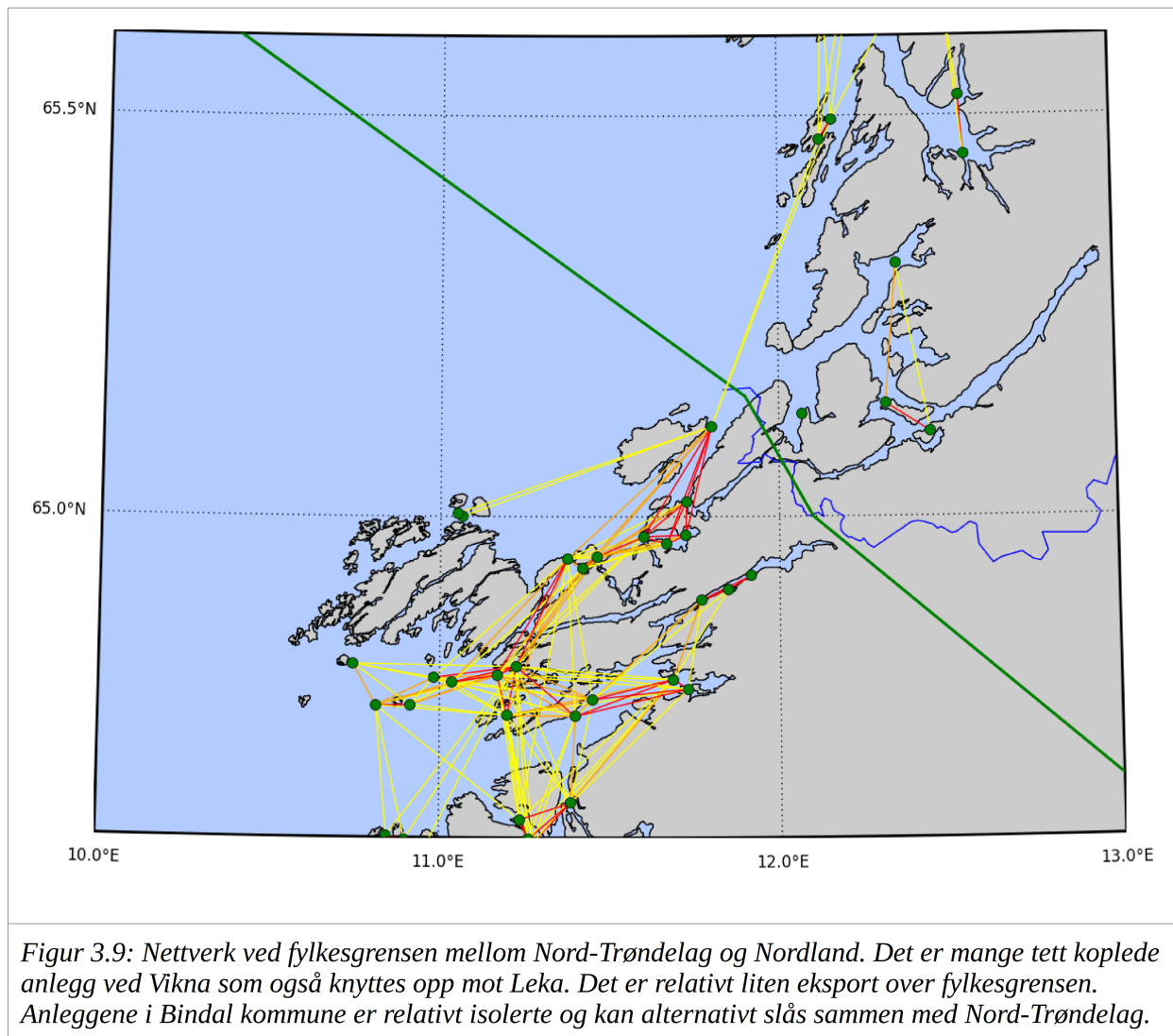


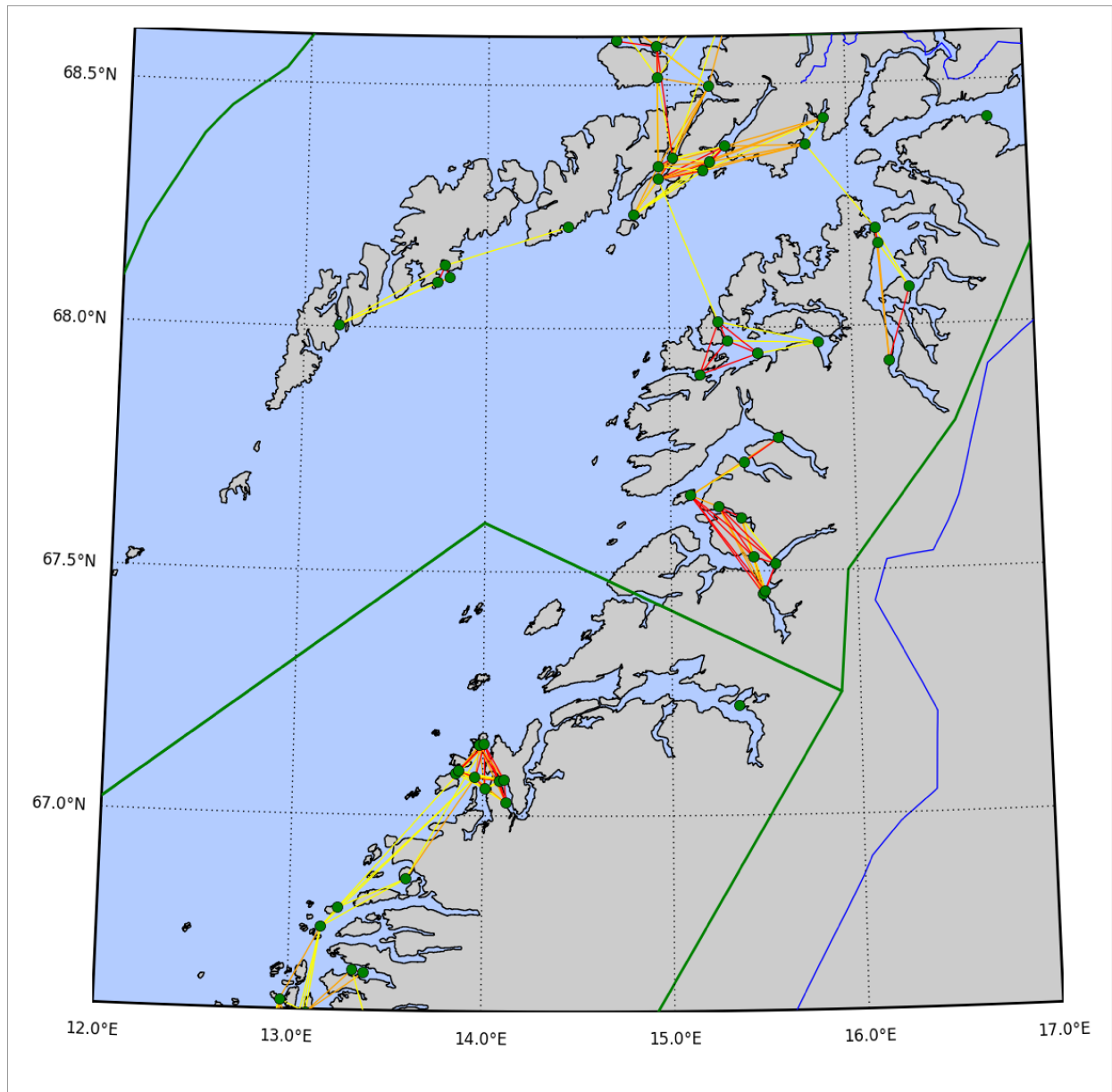


Figur 3.7: Nettverket i Romsdal og Nordmøre. Hustadvika utgjør en naturlig branngate som skiller klynger i enhver analyse. Dette er trolig det mest markante skillet vi har langs kysten.

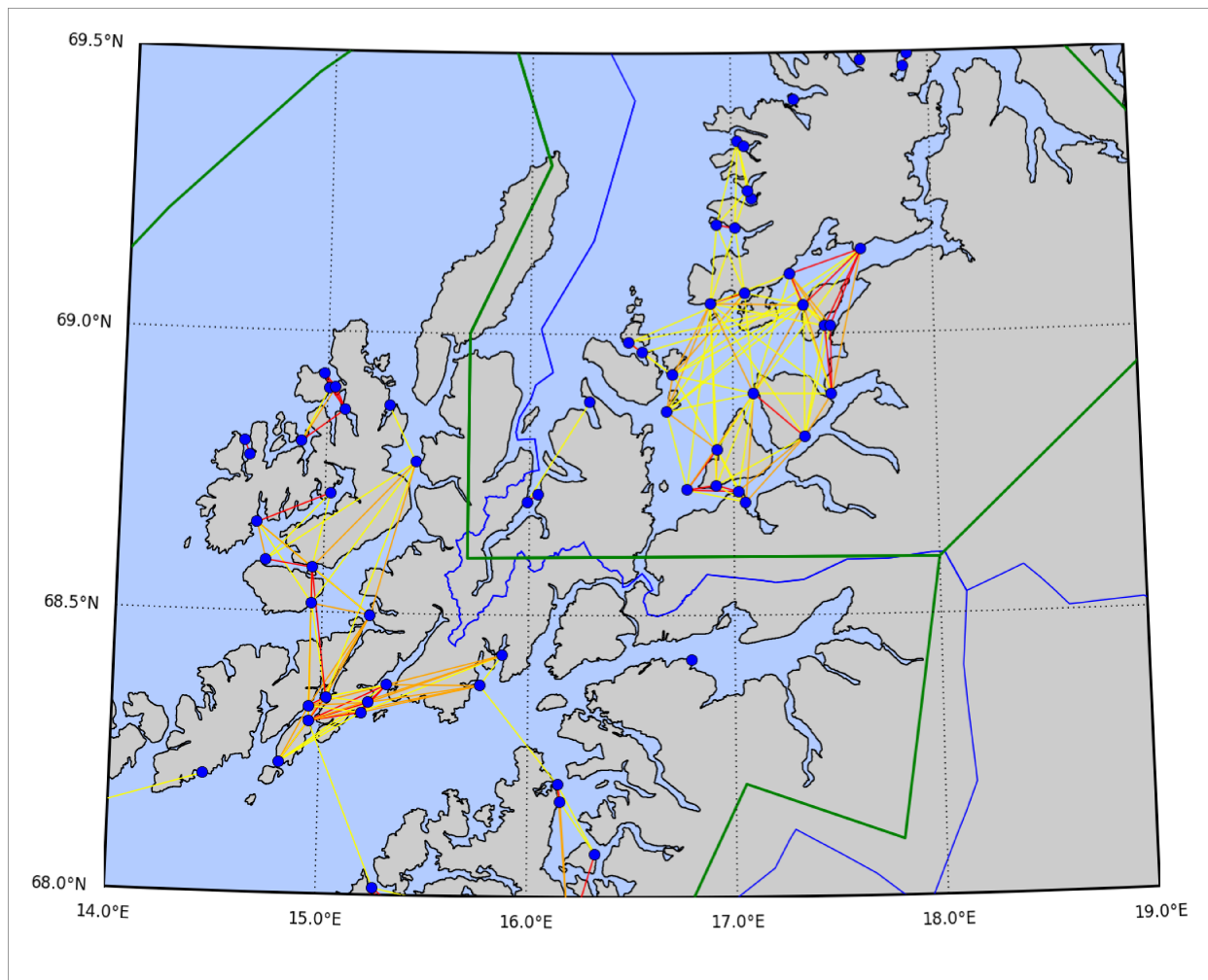


Figur 3.8: Nettverk rundt fylkesgrensen mellom Sør- og Nord-Trøndelag. Anleggene ved Hitra og Frøya gjør området rundt Trondheimsfjorden uegnet som sonegrense. Videre nordover er det anlegg hele veien, men klyngeanalyse antyder en oppdeling ved fylkesgrensen. Figuren viser også at dette er den svakeste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

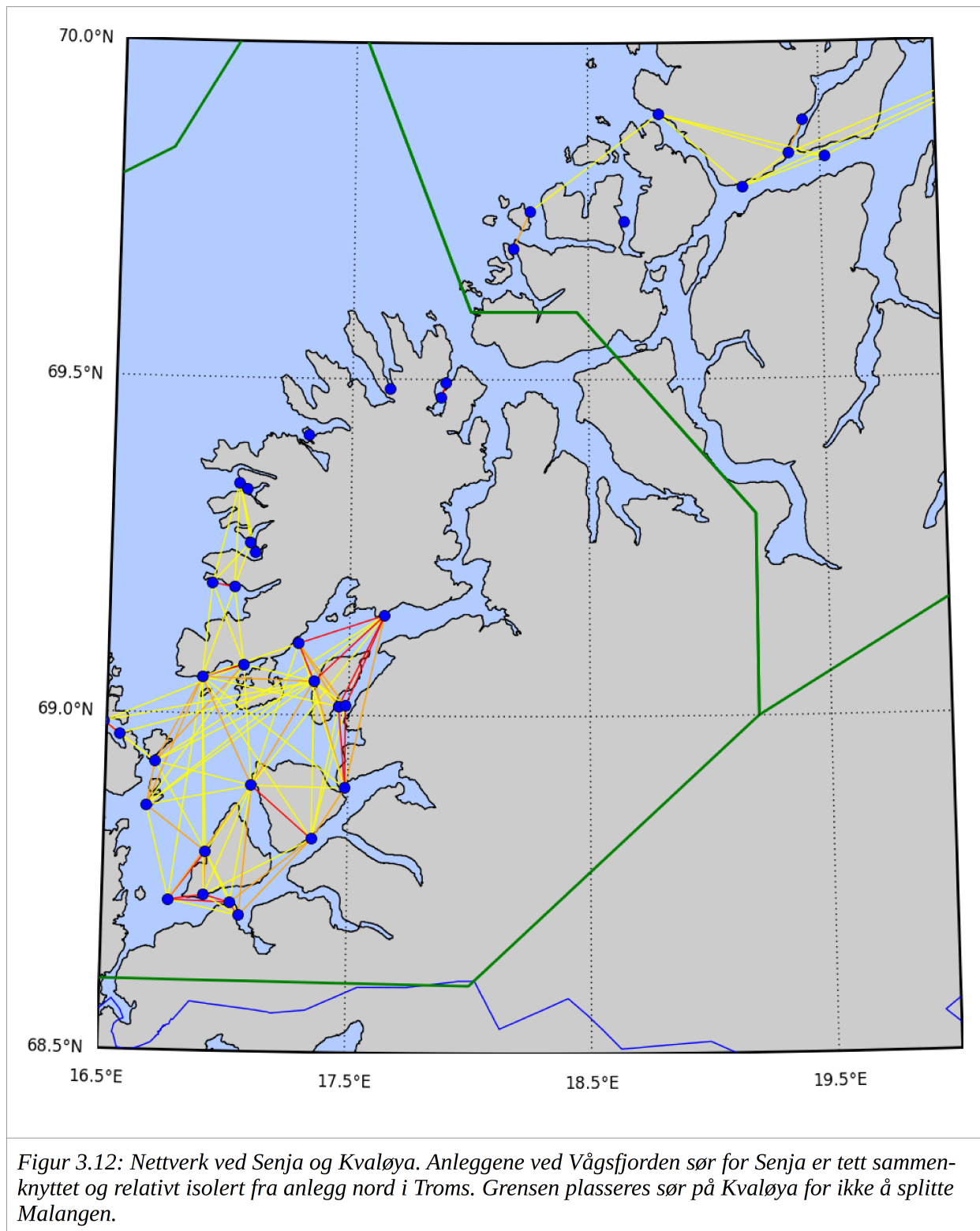


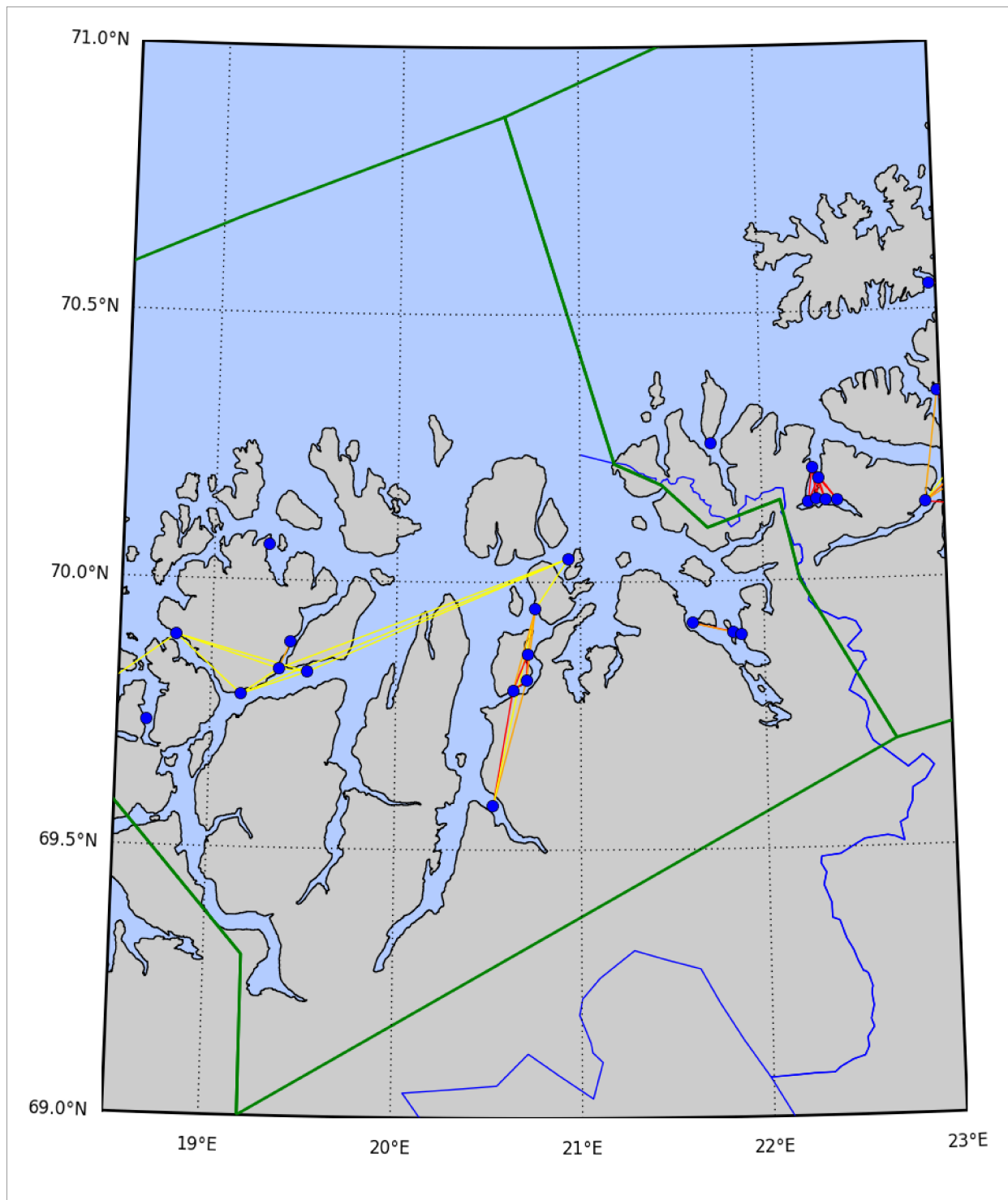


Figur 3.10: Nettverk ved Salten. Langs Helgelandskysten er det jevnt med komplette anlegg. Området mellom Saltfjorden og Folda er i praksis en branngate og det er naturlig å legge en områdegrense her. I klyngeanalysen blir Folda en egen liten klynge. I forslaget slås denne klyngen sammen med anleggene på begge sider av Vestfjorden.



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 så vidt 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. Loppavet danner i praksis en branngate mellom anleggene i Nord-Troms 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 finnmarksområdet. Klyngeanalysen foreslår også Øst-Finnmark som eget område.

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 de 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 inneholder 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 noen klart definert områdegrense, en eventuell 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 lenger nord, og er totalt upåvirket av luse-situasjonen 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-/importtabellen (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 Stad 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.

Lenger 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 gjennom Raftsundet. En må faktisk opp i 54 klynger før Raftsundet blir et skille. Ytre Langøya blir egen klynge allerede ved 15 klynger.

Motsatt, 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 Stad. Dette blir urimelig stort som produksjonsområde og viser at det er lite å hente ved sammenslåing på Vestlandet.

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

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

4.2 Forslag med færre områder

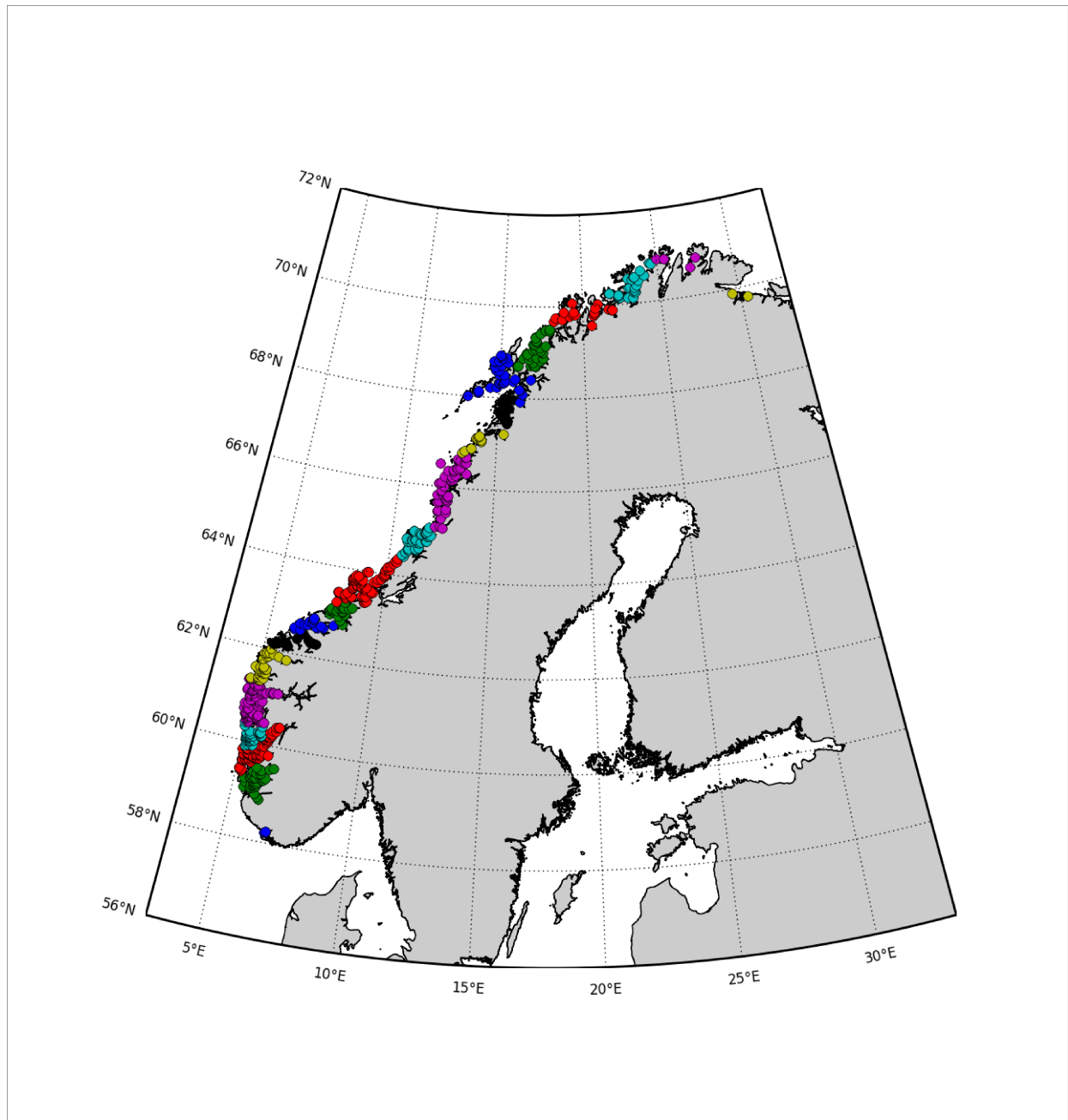
Her kommer et konkret forslag med færre områder. Et kriterium som er brukt er at intet område skal ha mer enn 20 % av anleggene. Dette gir en begrensning på 118 med de 591 anleggene som er brukt i analysen. Dette gjør at vi ikke får noen endringer på Vestlandet. Forslaget framkommer med at Nord-Trøndelag slås sammen med Helgeland og Salten, Vestfjorden + Vesterålen strekkes til og med Senja, mens Nord-Troms slås sammen med Finnmark. Eksport-/importstatistikken 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 → Stad	98	297	94	3,3	1,0
4	Stad → 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	Nord-Troms + Finnmark	49	7	0	0,2	0,0
Total		591	574	574	1,3	1,3

Tabell 4.2: Eksport-/importstatistikk for forslag med åtte 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 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.



Figur 4.1: Områdeinndeling med 20 produksjonsområder basert på klyngeanalyse med 28 klynger.

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. Andre spørsmål

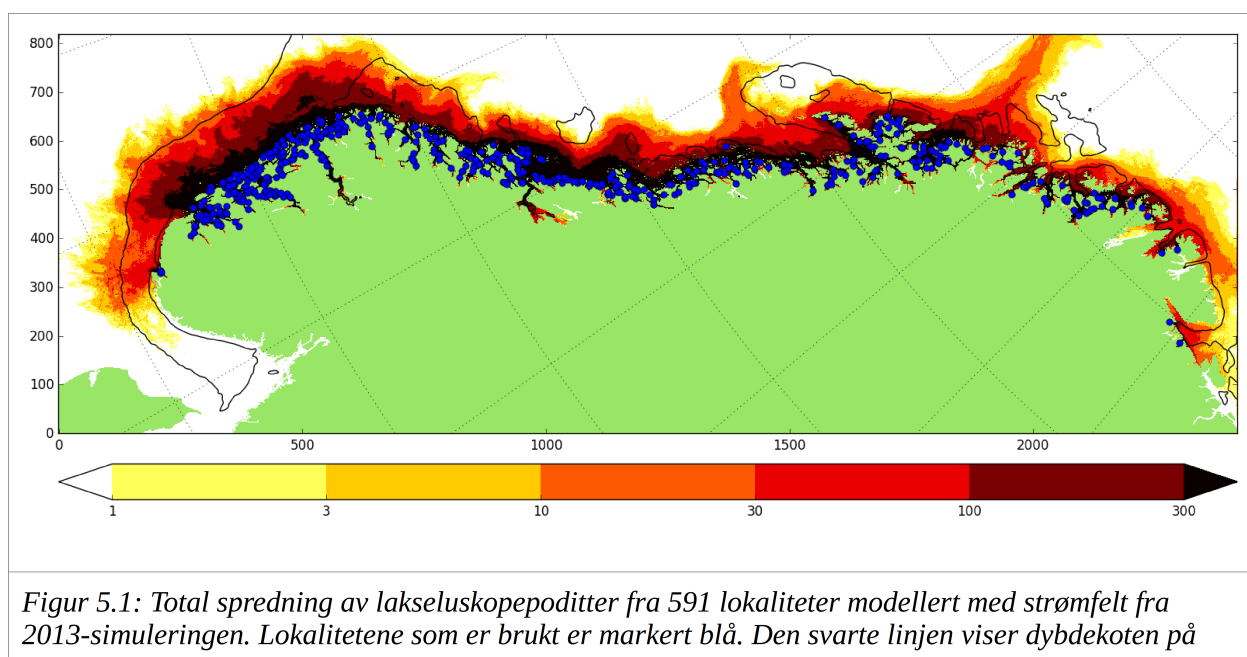
Analysene til nå har i hovedsak tatt for seg nord-sør-dimensjonen. Dette kapitlet ser på dimensjonen fra fjord via kyst til åpent hav. Tidsdimensjonen berøres også ved å vurdere hvor robust forslaget til områdeinndeling er for framtidige endringer i den geografiske strukturen i nærheten.

5.1 Avgrensning av produksjonsområdene mot åpent hav

Teknologisk utvikling kan gi oss produksjonsplattformer for laksefisk i åpent hav. Her er en vurdering av situasjonen for slike anlegg, både mulig import av lakselus-koepoditter fra eksisterende anlegg langs kysten og eksport av koepoditter til kysten.

Import av koepoditter fra kysten

Figur A3 viser spredning av koepoditter fra et tilfeldig anlegg på kysten. Det viser at en ikke ubetydelig andel havner til havs. Figur 5.1 oppsummerer den totale spredning fra de standard 591 anleggene langs kysten. Figuren viser også dybdekoten på 200 meter. Bemerk at fargeskalaen er logaritmisk, slik at smitten tynnes kraftig ut når en beveger seg ut fra kysten. Skalaen er valgt for å vise det geografiske mønsteret både ved høye og lave konsentrasjoner. På Vestlandet kan smitte nå over Norskerenna i konsentrasjoner tilsvarende det vi finner ved Finnmarkskysten. Dette er en avstand på 2 grader øst-vest, omtrent 110 km. Langs kysten nordover er smitteområdet noe smalere, men med enkeltområder hvor topografien styrer strømmen og dermed koepodittene mye lenger til havs, slik som ved Sklinnabanken, nord for Trænadjupet sør for Lofoten og aller tydeligst vest for Nordvestbanken og Tromsøflaket.

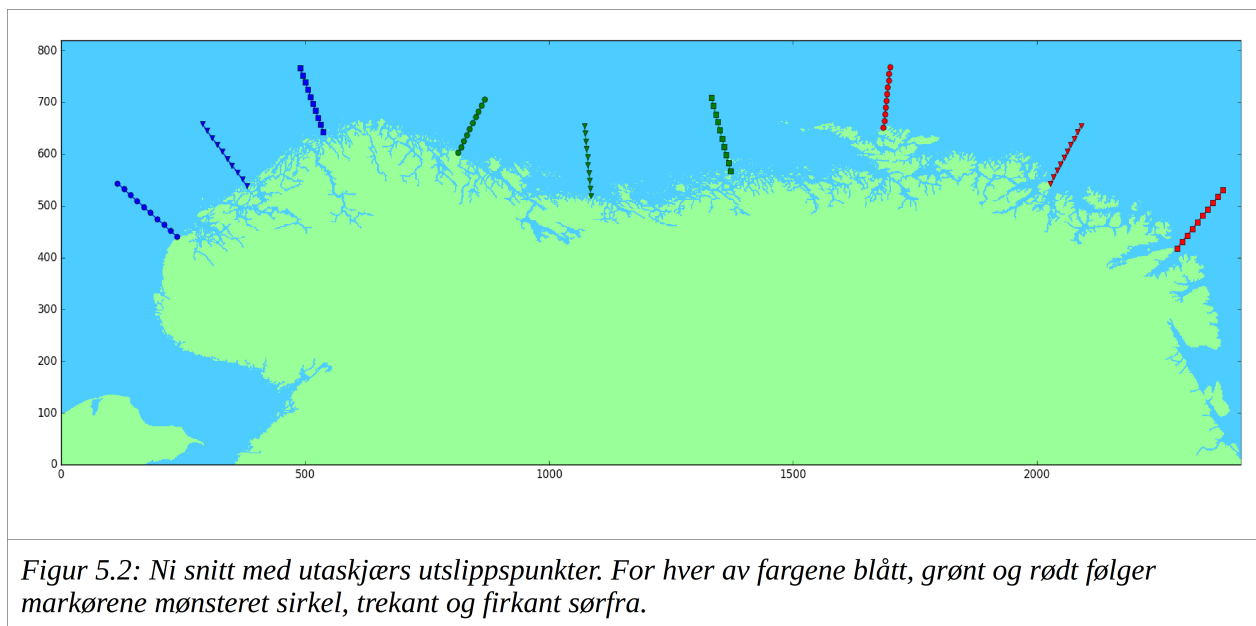


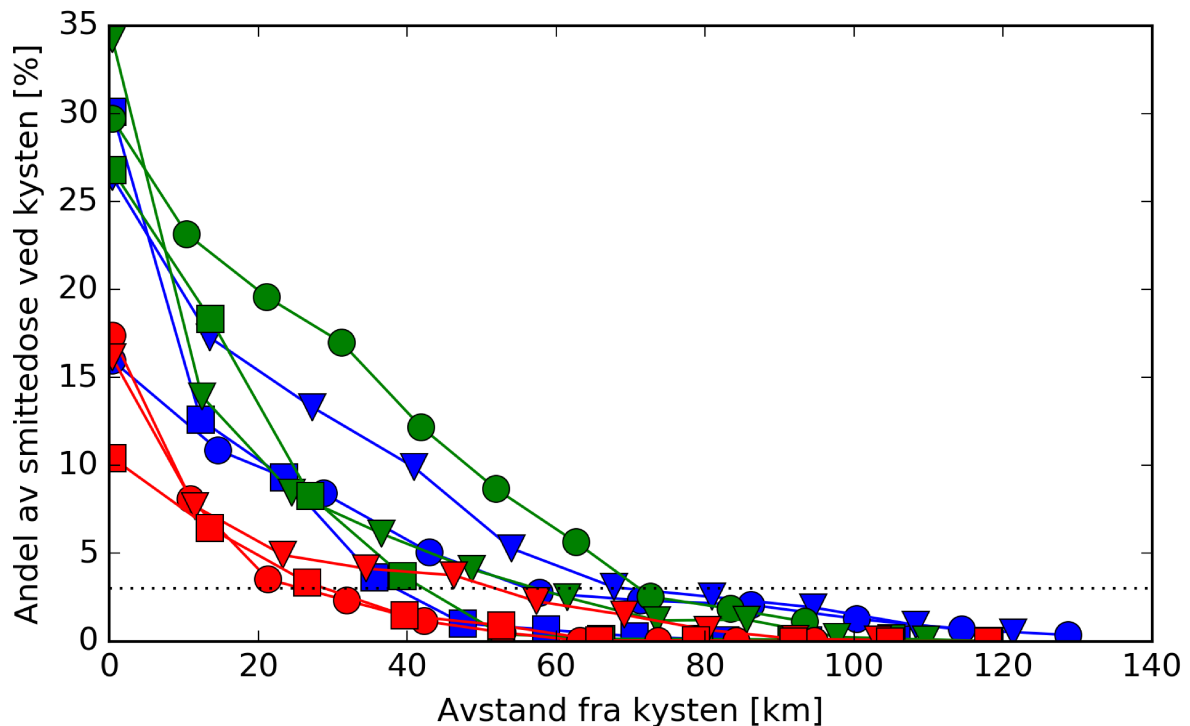
200 m. Fargeskalaen er logaritmisk.

Eksporert av kopepoditter til kysten

Tilsvarende kan en se på sannsynligheten for at kopepoditter fra et utaskjærs anlegg treffer kysten. Det er ikke mulig å teste alle mulige utaskjærs lokaliteter (det er flere millioner gridceller). Det er derfor valgt ni snitt med ti lokasjoner hver fra kysten og ut i åpent hav, tre i vest, tre i midten og tre i nord (se figur 5.2). Fra disse lokalitetene er det spredt lakseluspartikler i modellsystemet. Figur 5.3 viser den relative smittedosen ved kysten, forventet andel av den infektive perioden en kopepoditt befinner seg ved kysten, som funksjon av avstand fra lokaliteten til kysten. Ikke uventet vil partikler sluppet ved kysten påvirke kysten mest, med dose fra 10 % til 35 %. Kystdosen avtar raskt med avstanden fram til 40-70 km hvor den er kommet under 3 %. Det ser ut til å være regionale forskjeller, men det er for få modellresultater i analysen til å dra bastante konklusjoner. De røde kurvene for Nord-Norge har systematisk lavere kystdose allerede inne ved kysten og ligger stort sett lavere hele veien utover. Vi har ikke kunnskap til å fastslå hvor stor kystdosen må være før det er skadelig for villfisk. Dette vil blant annet avhenge av hvor på kysten smitten slår inn.

Anleggene ved kysten må naturlig være med i sine produksjonsområder. De som påvirker kysten mye har en kystdose rundt 30 %. En tidel av dette er 3 %, et nivå som ligger godt under alle de ni kystposisjonene. Kurvene i figur 5.3 flater ut omtrent ved dette nivået, slik at man må mye lenger ut for å få lavere dose ved kysten. En verdi på 3 % svarer også til det som er høye, men akseptable, verdier for eksport mellom produksjonsområdene, tabell 3.1. Avstandene er da 30-50 km i Nord-Norge og 40-70 km i Sør- og Midt-Norge.





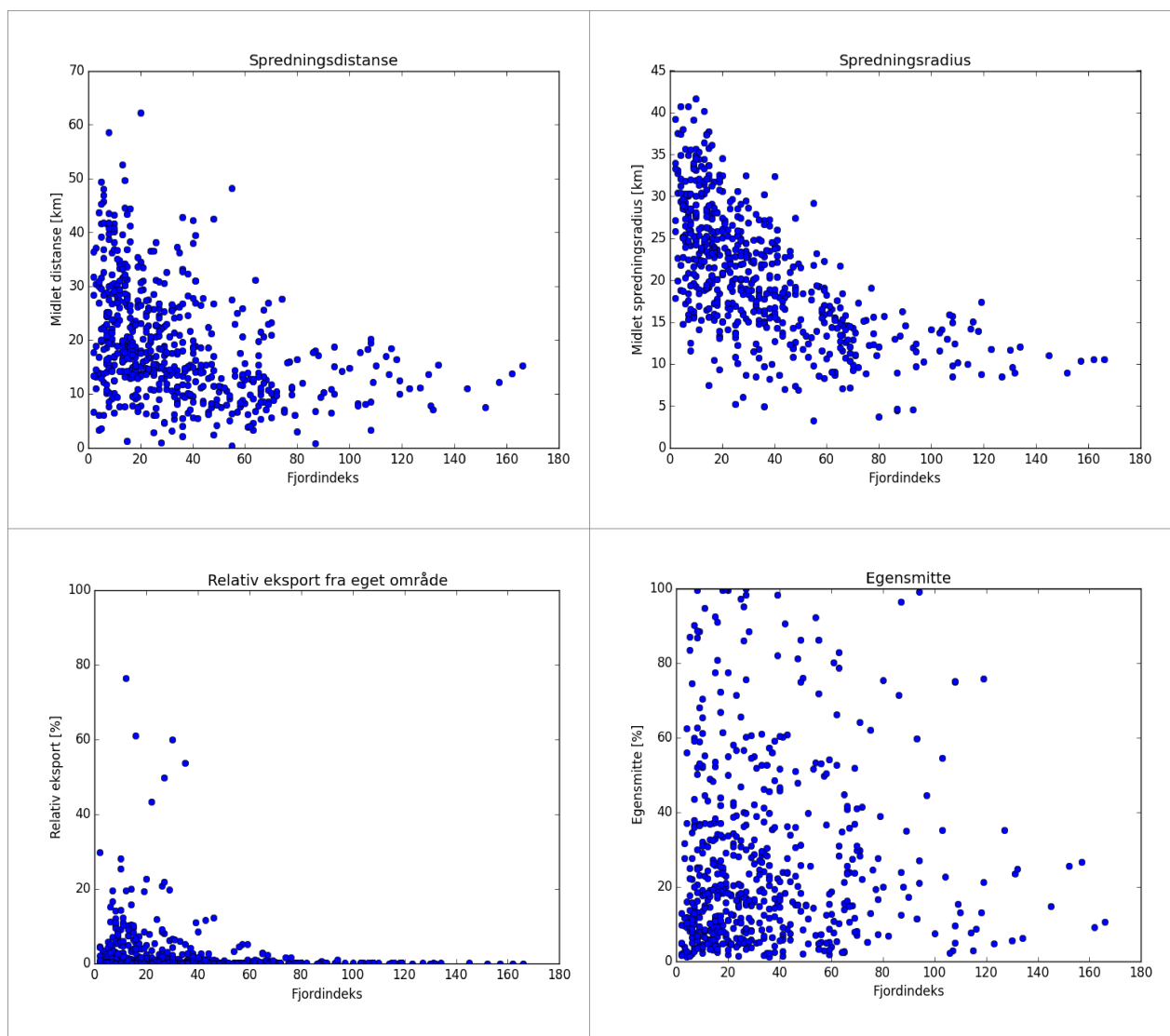
Figur 5.3. Relativt smittepress ved kysten i prosent som funksjon av utslippspunktets avstand i km fra kysten. Kurvene følger de ni snittene. Fargekode og markører som i figur 5.2. Den prikkede horisontale linjen angir 3 % av smittedosen ved kysten.

5.2 Kyst og fjord

Et naturlig spørsmål er om det er systematiske forskjeller mellom lokaliteter på kysten og inne i fjordene. For å studere dette innfører vi to indekser som supplerer nordover-indeksen. Den første, *fjord-indeksen*, sier noe om hvor langt inne i fjorden en er. En sjøcelle fra modellgitteret får indeks 0 dersom kvadratet på 7x7 celler (5,6 km) omkring cellen bare består av sjøceller. Resten av sjø-cellene er i utgangspunktet udefinert. Slike udefinerte sjø-celler med en sidekant felles med en celle med indeks 0 får indeks 1, i neste runde vil de udefinerte som grenser til en celle med indeks 1 få indeks 2. Ved å fortsette på denne måten får til slutt alle sjøceller en indeks, som varierer fra 0 i åpent hav, 3 ved en rett kyst, til 305 innerst i Sognefjorden. De 591 lokalitetene havner i celler med verdier fra 2 til 166. Denne fjordindeksen sier ikke alt, en kan være langt inne i en stor bred fjord eller nær kysten i en liten smal fjord. Dette måles med en *lukket-indeks*. Den tar også utgangspunkt i kvadrater på 7x7 gridceller rundt gridcellene. Lukket-indeksen er antall av disse cellene som er på land. Åpent hav har en lukket-indeks på 0. Inntil en rett kyst er indeksen 21, maksimumsverdien er 41 inne i en trang fjordgrein. (Strømmodellen har begrensning på hvor trang en fjord kan være). Lokalitetene har indeksverdier fra 1 til 41.

Figur 5.4 viser spredningsdistanse (avstand fra startcellen til tyngdepunkt i spredningsområdet) og spredningsradius (radius som gir samme areal som standardavviks-ellipse til spredningsområdet). Spredningsdistansen beskriver hvor *langt* kopepodittene spres, mens radiusen beskriver om

spredningsområdet er konsentrert eller spredt over større areal. Nedre rad gir den relative eksporten fra lokaliteten ut av produksjonsområdet det tilhører (områdeinndeling som i kapittel 3) og egensmitte (smitte fra lokalitet som treffer lokaliteten selv dividert med smitte som treffer anlegg totalt). For spredningsdistanse og radius ser vi at verdiene alltid er lave når en kommer langt inn i fjordene. Nær kysten har vi både kort og lang spredningsdistanse, mens spredningsradius øker systematisk mot kysten. For eksport er det noen få lokaliteter som bidrar sterkt, alle relativt nær kysten. Anlegg inne i fjordene bidrar i veldig liten grad til spredning på tvers av områdegrensene. Egensmitte har en skeiv fordeling. Verdiene spriker fra 1 til 100 %, med en median på 18 %. Man ville kanskje forvente høyere egensmitte langt inne i fjordene, men figuren viser ikke noen slik sammenheng. Grunnen er at nevneren i brøken, antall kopepoditter som treffer anlegg, også øker innover i fjorden.

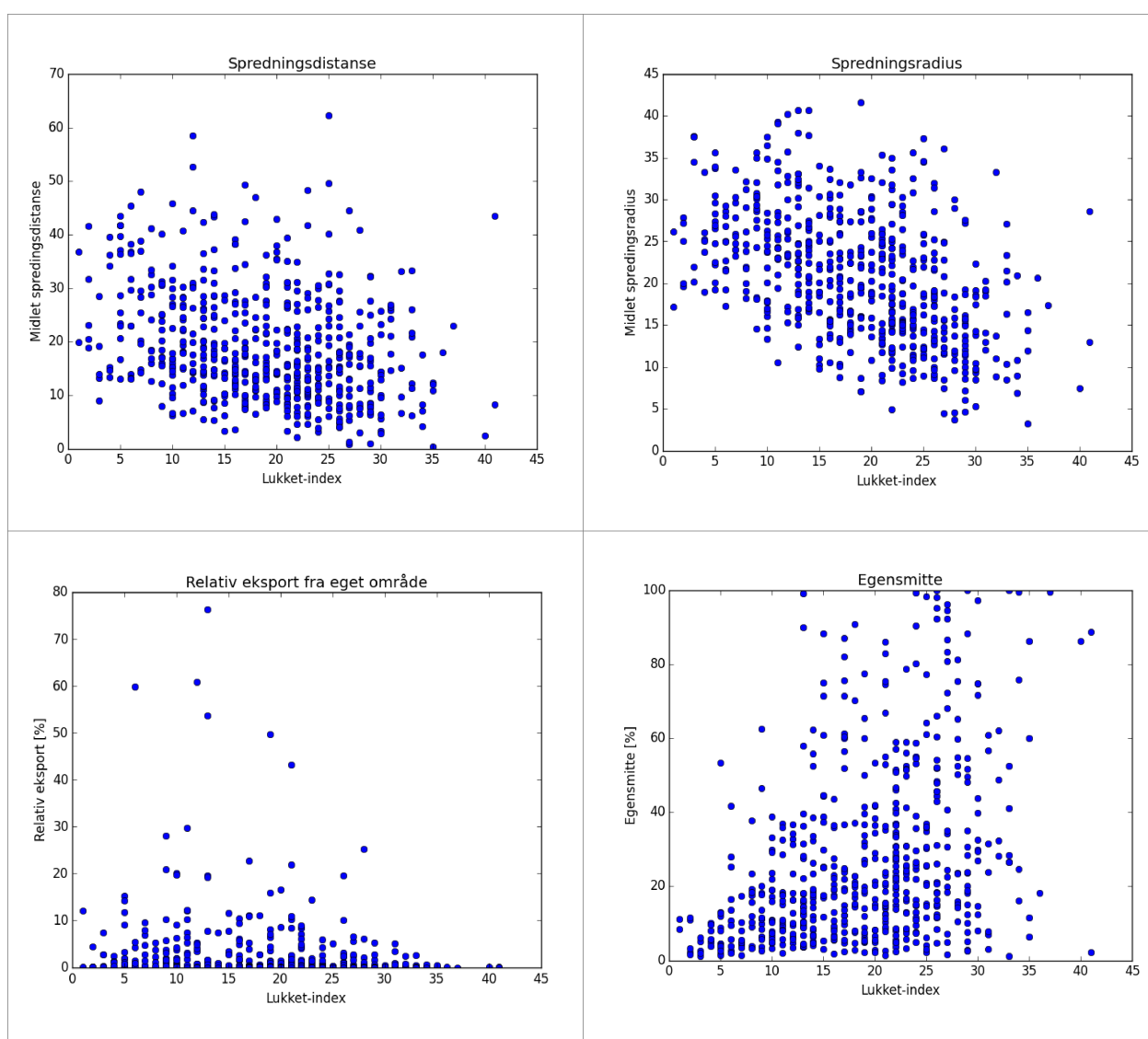


Figur 5.4: Spredningsdistanse, spredningsradius, relativ eksport og egensmitte som funksjon av fjordindeks.

Figur 5.5 plotter de tilsvarende delfigurene som funksjon av lukket-indeksen. Det er stor variasjon i både spredningsdistanse og radius, men det er en klar tendens til økte verdier for begge i mer åpne farvann. For eksporten er sammenhengen mindre klar enn for fjordindeksen, relativt lukkede farvann

nær kysten og områdegrense kan eksportere lusesmitte på tvers av produksjonsområdene. For egensmitte derimot er det en klarere tendens, lukkede farvann gir mer egensmitte.

En kan også stille spørsmål om omfanget av smitte mellom fjord- og kystfarvann. Klyngeanalysene viser ikke noe slikt skille ved moderat antall klynger. Ved 30 klynger kommer Sognefjorden ut som egen klynge, mens en trenger 40 klynger før Hardangerfjorden blir en egen enhet. Dette tyder på stor utveksling mellom kyst og (store) fjorder. Vi vil se under at en del mindre fjordområder har begrenset utveksling med kysten i 800-metersmodellen. Medianverdien til fjordindeksen er 19, og vi definerer de lokalitetene med lavere indeks enn medianen som kyst og de med høyere som fjord. Med denne oppdelingen bidrar fjordanleggene 70 % mer til det totale smittepresset, fordi kyst-anleggene har større "tap" av smitte til åpent hav. Relativ eksport fra fjord til kyst er 15,5 %, mens eksporten motsatt vei er 11,4 %. Dette bekrefter at det er stor utveksling mellom kyst og fjord.



Figur 5.5: Spredningsdistanse, spredningsradius, relativ eksport og egensmitte som funksjon av fjord-indeks.

5.3 Unntak fra produksjonsområder

Spørsmålet dreier seg om det er avgrensede områder som av naturgitte forhold ikke bør inngå i et produksjonsområde, eller omfattes av unntaksbestemmelser innenfor et produksjonsområde.

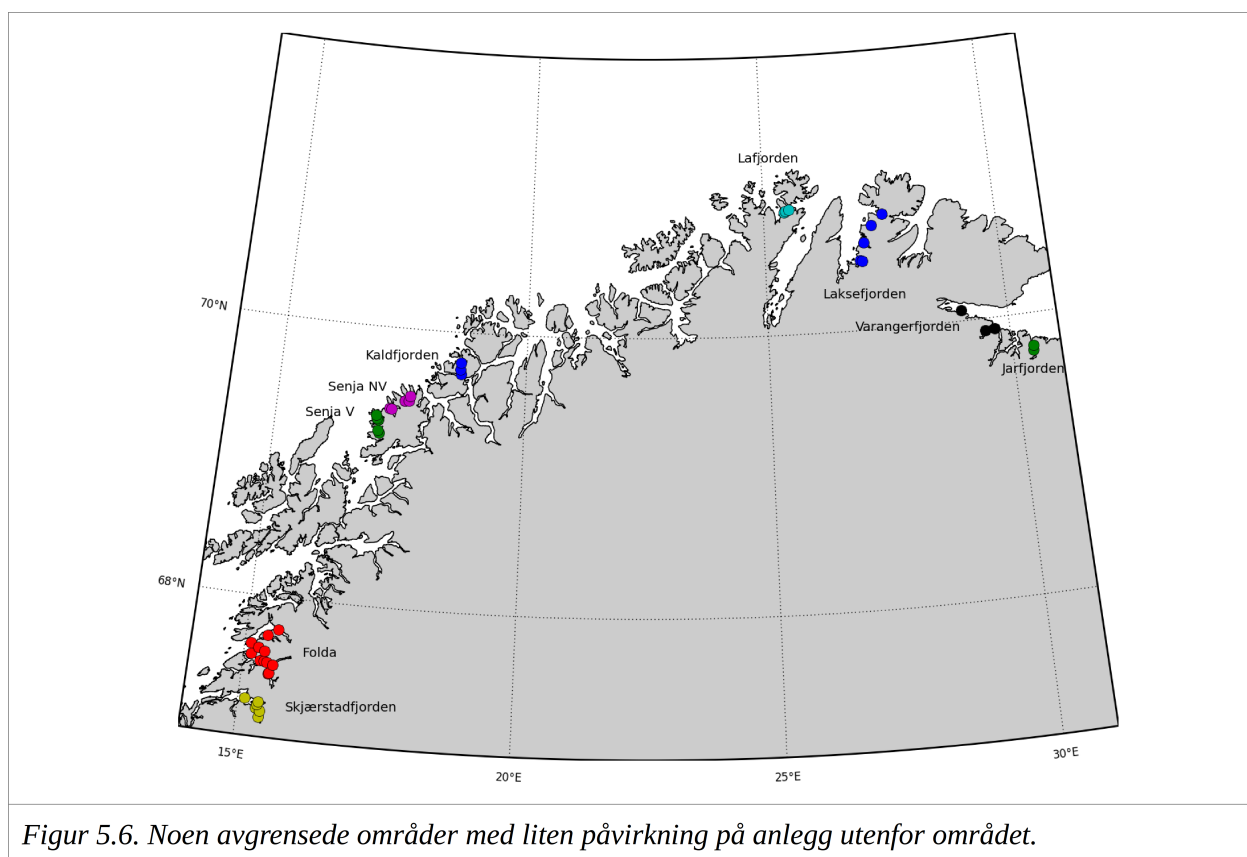
En mulig tolking av spørsmålet er om det er områder som av naturgitte forhold ikke er egnet for produksjon av laksefisk. Som eksempel har kysten av Østlandet og det meste av Sørlandet så høye sommertemperaturer at det går ut over vekst og velferd hos fisken. Det er ikke lakseproduksjon her nå, og den globale oppvarmingen gjør det enda mindre aktuelt med produksjon i åpne anlegg i dette området i framtiden. Det betyr at øst-grensen for det første foreslåtte området kan flyttes fra Svenskegrensen til Agder uten praktiske konsekvenser. Andre områder som er ekstra eksponert for vind, bølger og strøm har ikke produksjon i dag, men ny og bedre teknologi kan gjøre slike områder aktuelle i framtiden.

En annen og mer interessant tolkning er å identifisere avgrensede områder hvor lakselussituasjonen i svært liten grad påvirker situasjonen i de større produksjonsområdene. Dette er en omfattende oppgave, det er vel 32 000 gridceller i NorKyst-800 langs kysten av Norge. En grundig undersøkelse bør ta for seg de enkelte produksjonsområdene med mange mulige utslippslokaliteter i finskala modeller og vurderes av regional ekspertise. Her presenteres en litt overordnet analyse av problemstillingen med relativt grov oppløsning. For å få flest mulig utslippslokaliteter brukes simuleringen med de 921 anleggene fra appendiks A3. En klyngeanalyse med 40 klynger gir en rekke mindre områder. For å se på områdets naturgitte spredning til omgivelsene, uavhengig av antall lokaliteter fra området som inngår i analysen, fokuseres det på den midlere eksporten av infektive lakseluskoepoditter, den absolutte eksporten dividert på antall lokaliteter. I tillegg vurderes den relative eksporten, som beskriver hvor stor andel eksporten utgjør av alle lusepartikler som treffer anlegg i eller utenfor området. Det er ikke vurdert hvor stor eksporten må være for at unntaksområdet influerer vesentlig på produksjonsområdet utenfor. Her presenteres de ni områdene med høyst 12 anlegg og midlere eksportdose på under 1000 lakseluspartikler, vektet med dødelighet. Områdene er identifisert i tabell 5.1 og vist i kartet i figur 5.4. Kommuneneavn er den kommunen som har flest lokaliteter i området, to navn er gitt dersom det er omtrent likeverdige. Tabellen inneholder også relativ eksport.

Område	Kommune	Antall anlegg	Midlere eksport	Relativ eksport %
Laksefjorden	Lebesby	5	1	0,0
Jarfjorden	Sør-Varanger	2	65	0,0
Folda	Sørfold/Steigen	12	78	0,1
Lafjorden	Nordkapp	3	115	0,1
Senja, nord-vest	Berg	6	211	0,1
Skjærstadjfjorden	Fauske/Saltdal	6	243	0,3
Indre Varangerfjord	Sør-Varanger	3	281	0,5
Kaldfjorden	Tromsø	3	611	0,3
Senja, vest	Torsken	6	615	0,4

Tabell 5.1: Mulige unntaksområder med eksport-statistikk ordnet etter midlere eksport.

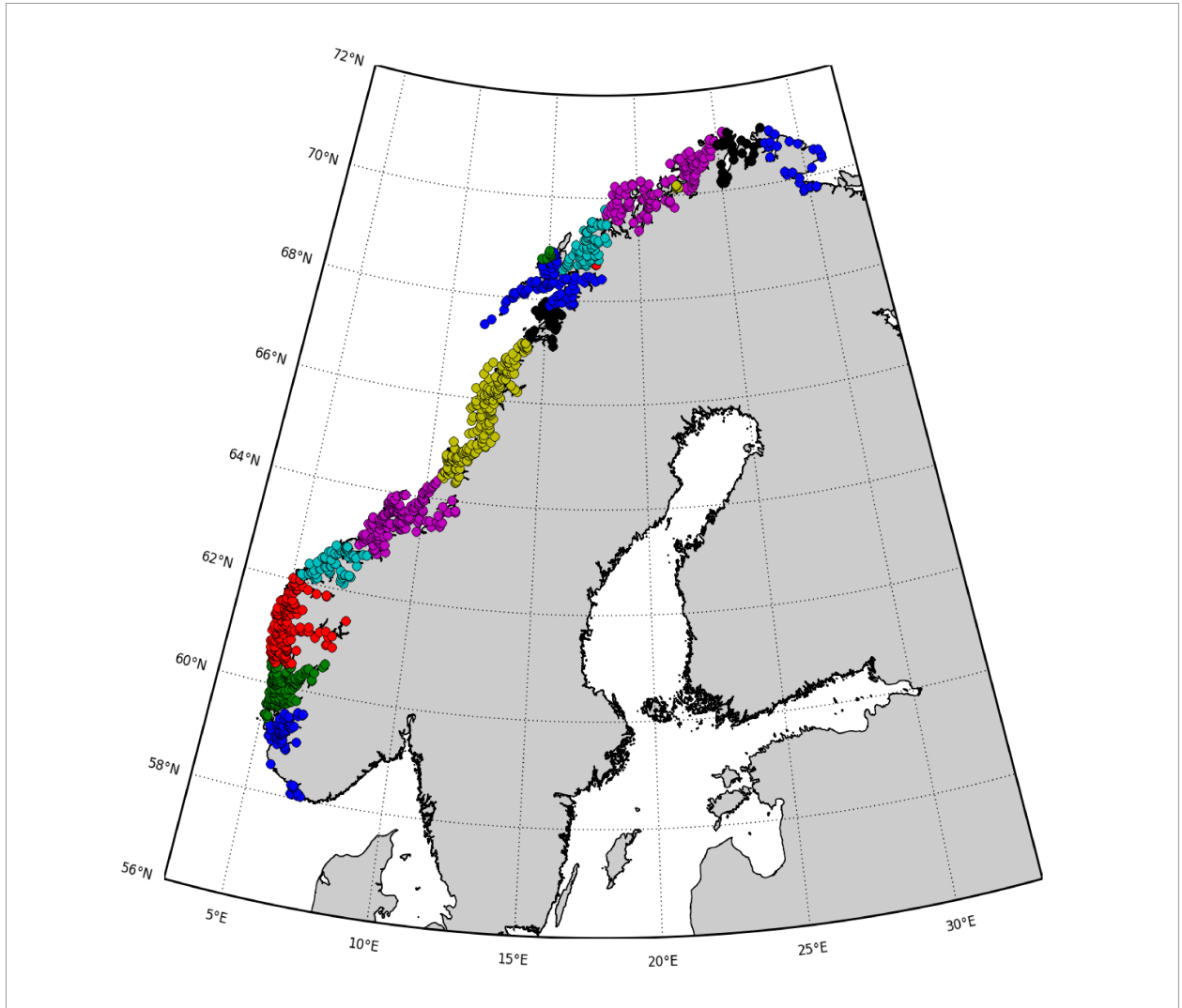
Alle områdene er i Nord-Norge. Vi må ned på 12. plass for å finne et område i Sør-Norge. Det er Grønsfjorden i Lyngdal med to anlegg, midleleksport på 1466 og relativ eksport på 0,9 %. Områdene i Sørfold og Torsken har hatt noe problemer med lakselus.



Figur 5.6. Noen avgrensede områder med liten påvirkning på anlegg utenfor området.

5.4 Effekter av endret geografisk struktur

I appendiks A3 testes effekten av flere lokaliteter med dagens struktur og en totalt løsrevet geografisk struktur. Her betraktes et mer realistisk scenario, at dagens lokaliteter bevares og nye lokaliteter blir uavhengige av dagens struktur. De eneste kravene til de nye lokalitetene er at de skal respektere områdegrensene fra kapittel 3, at de ikke legges nærmere enn 16 km (20 gridceller) fra punktet der områdegrensen treffer kysten. Dessuten legges ingen nye anlegg øst for Lindesnes. Med utgangspunkt i de 645 tilfeldige lokalitetene i appendiks A3, gir dette 594 nye lokaliteter i tillegg til de 591 standard lokalitetene. Posisjonen til alle de 591 + 594 lokalitetene er plottet inn i figur 5.7. Figuren viser en klyngeanalyse med 15 klynger, basert på den kombinerte influensmatrisen. Denne analysen er svært lik standardanalysen (figur A4). På Vestlandet er strukturen den samme, mens det er noen endringer i Nord-Norge. De største forskjellene er at det nå er et eget område for Porsangerfjorden og Laksefjorden, mens Vest-Finnmark og Nord-Troms er slått sammen. I tabell 5.2 er den nye store influensmatrisen plugget inn i de 11 standardområdene fra kapittel 3. Absolutte tall er ikke umiddelbart sammenlignbare med tabell 3.1 siden antall anlegg er fordoblet. De relative tallene viser en klar sammenheng. Maksimum relativ import er på 3,8 % til Nord-Trøndelag i begge tilfeller. Den nest-største verdien er til Nordhordland og Sogn og Fjordane i begge tilfeller, men importverdien reduseres fra 3,3 % til 2,2 %. Store relative eksporttall er forbi Sotra, Hustadvika og grensen mellom Trøndelags-fylkene i begge tilfellene. Faktisk reduseres den totale relative eksport fra 1,4 % til 1,3 %. Dette viser at den foreslåtte områdestrukturen i kapittel 3 kan fungere godt med endret struktur i næringen, så lenge nye tildelinger av konsesjoner tar hensyn til områdegrensene.



Figur 5.7: 15 klynger med dagens struktur + nye lokaliteter som unngår områdegrensene.

Nummer	Område	Antall anlegg	Absolutt import	Absolutt eksport	Relativ import %	Relativ eksport %
1	Svenskegrensen → Karmøy	71	8	108	0,1	1,3
2	Karmøy → Sotra	145	230	489	1,0	2,1
3	Nordhordland → Stad	166	481	152	2,2	0,7
4	Stad → Hustadvika	67	20	131	0,3	1,8
5	Nordmøre + Sør-Trøndelag	165	141	249	0,7	1,3
6	Nord-Trøndelag	63	257	172	3,8	2,6
7	Helgeland + Salten	136	175	90	1,9	1,0
8	Vestfjorden + Vesterålen	120	80	57	0,9	0,6
9	Andøya → Senja	67	54	65	0,9	1,1
10	Kvaløya → Loppa	65	66	80	1,3	1,6
11	Finnmark	120	80	0	1,1	0,0
Total		1185	1593	1593	1,3	1,3

Tabell 5.2: Import-/eksportstatistikk for scenario med gamle + nye anlegg vurdert i forslaget til områdestruktur.

6. Diskusjon

6.1 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 mfl. 2014; Johnsen mfl. 2014) og internasjonalt (Amundrud og Murray 2009; Adams mfl. 2012). Kombinasjonsmodellen er også sentral i Havforskningsinstituttets 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 knyttet til ett eller to områder, som etablering av branngater, unntaksområder eller 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 bare er gyldig for modellperioden om 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. Dette tyder på at modellperioden er lang nok til å få med det meste av variabiliteten i strømmen og at strukturen i influensmatrisen er robust.

En annen viktig faktor er lokalitetene som inngår i analysen. Her er det også brukt et alternativ i følsomhetsanalysen (A3), med 921 anlegg. Dette endrer ikke noe vesentlig på strukturen i influensmatrisen. Begge alternativ er hentet fra Fiskeridirektoratets akvakulturregister og representerer dermed dagens struktur i laksenæringen. Det er også gjort et idealisert modell-eksperiment med en kunstig generert geografisk struktur, totalt uavhengig av hvor en finner dagens lokaliteter. Dette gir vesentlig endring av influensmatrisen og klyngestruktur. Et mer realistisk scenario er at dagens anlegg beholdes mens nye lokaliteter får en uavhengig struktur. Dette er testet i kapittel 5.4. Konklusjonen er at dette fungerer godt så lenge områdegrensene ute på kysten respekteres ved tildeling av nye konsesjoner.

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 mfl. 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. Dødeligheten påvirker import-/eksport-ratene betydelig, men gir bare mindre endringer i klyngestrukturen.

Oppsummert er konklusjonen at influensmatrisen er representativ. 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 stedet for vår smitteinfluens. 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.

6.2 Forslag til områdestruktur

I kapittel 3 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; antall klynger er redusert fra 15 til 11, og det er 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 ganger 800 meter kan undervurdere utskiftningen. De andre småklyngene, som ytre Langøy og Øst-Finnmark (liten i volum), er godt oppløst i modellen og har nok reelt liten utveksling med resten av anleggene. De er likevel tatt med i omliggende område for ikke å ha et geografisk lite område eller en stort område 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 Stad 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-/eksportverdiene blir vesentlig dårligere enn det optimale. Verktøyet med influensmatrisen er godt egnet 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 områder 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. 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 et superområde 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. Kapittel 5.1 tar for seg denne problemstillingen. Lusesmitte fra anlegg ved kysten spres langt ut i havet samtidig som den fortynnes, men den kan nå over 100 km på Vestlandet med konsentrasjoner tilsvarende de en finner ved Finnmarkskysten. For villfisken er den motsatte problemstillingen avgjørende, i hvilken grad smitte fra et utaskjærs anlegg kan smitte ved kysten. I kapittel 5.1 foreslås en skranke på at 3 % av smittedosen når kysten. Det samsvarer med de høyeste eksportverdiene mellom områdene og representerer en vesentlig reduksjon i forhold til de 10 % til 35 % kystsmitte man finner i anlegg ved kysten. Figur 5.1 viser at en oppnår 3 % ved en avstand fra kysten på 40-70 km i Sør- og Midt-Norge og 30-50 km i Nord-Norge. Figur 3.1 viser Havforskninginstituttets forslag til marine grenser, 30 nautiske mil (56 km) til og med Nord-Trøndelag og 20 nautiske mil (37 km) i nord. Begge grenser er trukket i forhold til grunnlinjen. For område 1 og 11 er grensene justert mot nabostatene slik at områdene ligger innenfor Norsk territorialfarvann/Norsk økonomisk sone.

Smitte til kysten fra et havanlegg avhenger av at anlegget først må oppleve en vesentlig smittedose selv. Dette gjør slik smitte til kysten mindre sannsynlig. På den annen side vil gjerne havanlegg ha stor biomasse, slik at hvis det først er infisert kan den totale smittedosen og dermed kystandelen bli stor. Det er også mulig at havanlegg kan smitte vill laks i havet. Dette avhenger av hvor anlegget er plassert i forhold til laksens vandringsruter i havet. På grunn av fortynning av smitten over lange avstander vil dette normalt ikke være et problem. Smitte mellom havanlegg vil heller ikke være et problem dersom de ikke legges for tett. En utaskjærs produksjonsplattform vil i alle fall innebære en betydelig investering og grundig planlegging. Dette bør innbefatte en konsekvensvurdering i forkant med både strømmåling og mer detaljert strømmodellering.

Det er systematiske forskjeller mellom lokaliteter ved kysten og inne i fjordene. Kopepoditter fra kystanlegg spres over større avstander og dekker større areal. De har høyere sannsynlighet for å påvirke andre produksjonsområder. På den annen side bidrar fjordlokalitetene mer til det totale smittepresset ved at en større andel av smittedosen berører oppdrettslokaliteter. Lokaliteter i relativt lukkede farvann har også høyere egensmitte. På tross av disse forskjellene er det stor utveksling av smitte mellom kysten og store fjorder. Dette bekreftes av klyngeanalysen som ikke foreslår noen av de større fjordområdene som egne produksjonsområder.

Noen mindre og trange fjorder kommer ut som egne klynger. Ved å øke antall klynger finner vi flere slike områder. I kapittel 5.3 oppsummeres de avgrensede områdene som i modellen bidrar minst med smitte per anlegg til produksjonsområdene. Dette dreier seg om trange fjordområder i Nord-Norge.

Denne analysen er imidlertid ufullstendig. Områder som i dag ikke har produksjon av laksefisk er ikke vurdert. Strømodellen NorKyst-800, som ligger til grunnlag for arbeidet, har for dårlig oppløsning i trange farvann. Det er heller ikke vurdert om disse delområdene bør ha begrenset produksjon av andre årsaker. Nøyere vurdering av eventuelle unntaksområder bør gjøres for hvert produksjonsområde med strømodell med oppløsning på 200 meter eller bedre. Avgrensede områder som i dag er uten lakseproduksjon, bør også vurderes.

Noen særlig utsatte områder utgjør naturlige branngater, områder uten oppdrettsaktivitet som skiller produksjonsområder. Andre områder fungerer i praksis som branngater fordi det er ingen eller veldig få lokaliteter i området. Følsomhetsanalyse viser at slike de facto branngater påvirker klyngeanalysene. 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 områdegrensene enn de som presenteres i denne rapporten kan bli aktuelle. Analysen i kapittel 5.4 viser også at et mindre drastisk tiltak, bevare dagens anlegg men unngå å legge nye anlegg nær områdegrensene, gjør områdeinndelingen robust for framtidige endringer. Modellverktøyet presentert i appendiks, fortrinnsvis med bedre oppløsning, er godt egnet til å regionalt vurdere effekt av mulige branngater.

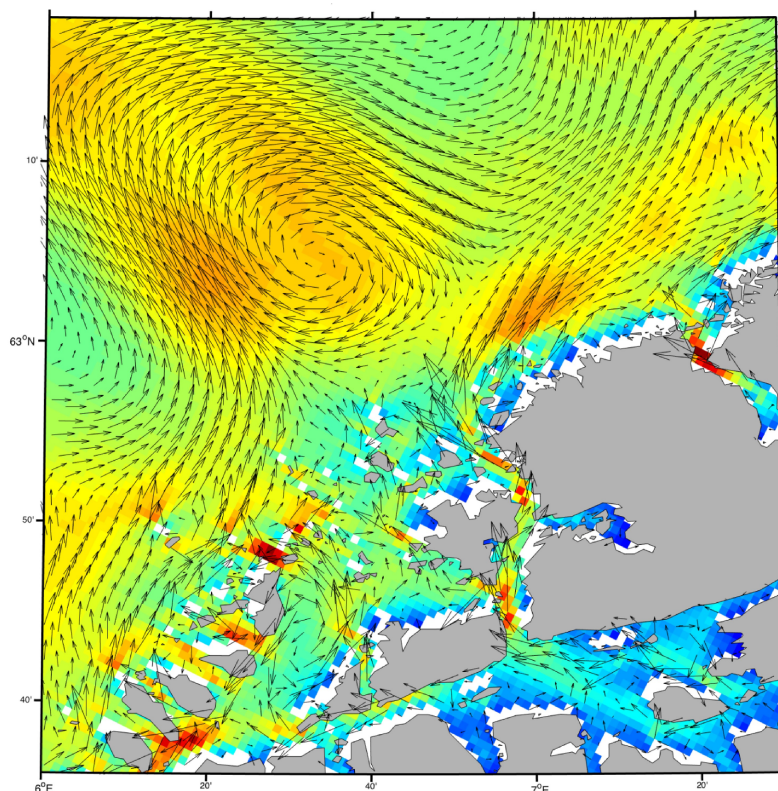
Appendiks: Bakgrunnsstoff

A1. Modell

Regional sirkulasjonsmodell

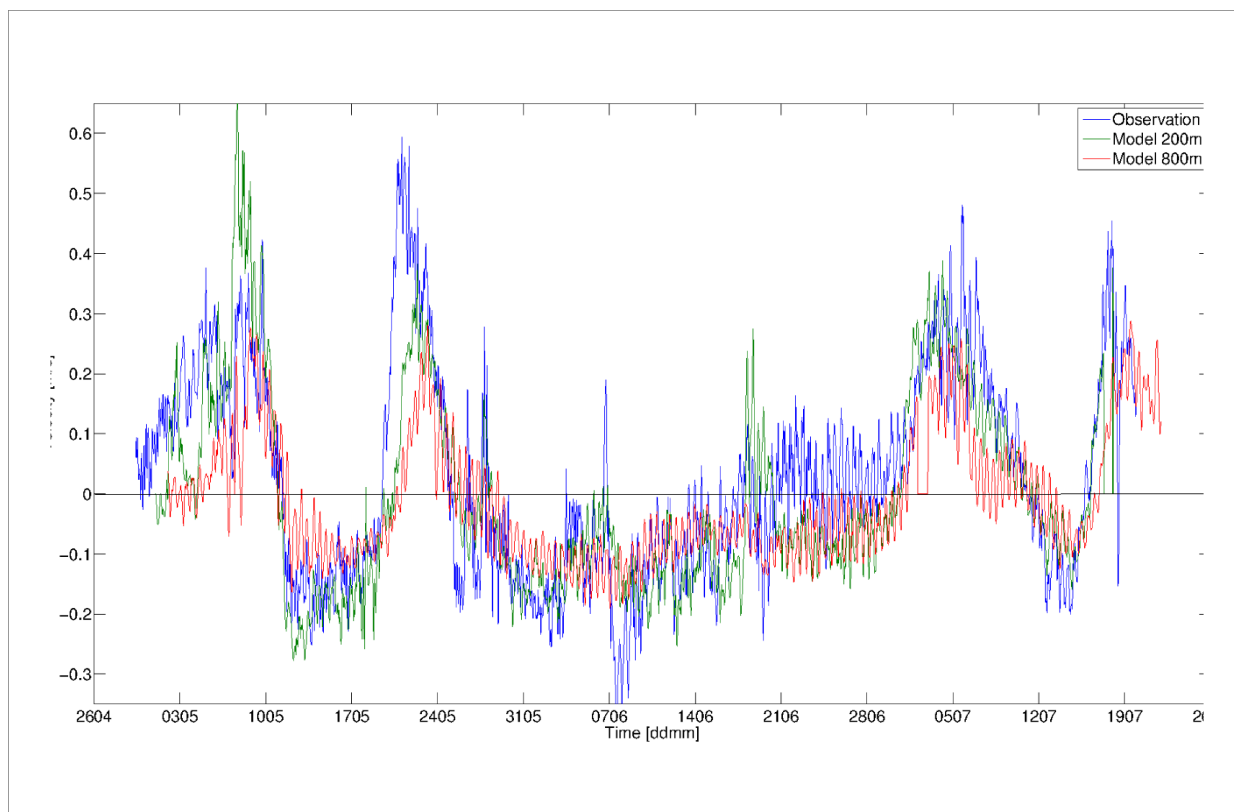
Som hydrodynamisk strømmodell bruker Havforskningsinstituttet Regional Ocean Model System (ROMS; <http://myroms.org>) (Shchepetkin og McWilliams, 2005; Haidvogel mfl. 2007). Dette er en internasjonal “community” modell med hovedutviklere i New Brunswick og Los Angeles. Modellen har et stort brukermiljø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

Det aktuelle modelloppsettet kalles NorKyst-800m (Albretsen mfl. 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 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 3 ganger 3 km, noe som gir et detaljert bilde av vinden langs kysten og i fjordene. Hydrografi og strøm på randen av området kommer fra Meteorologisk institutts operasjonelle 4 km-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 mfl. (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), er statistikken bra. Det er nettopp denne statistikken som er viktig for å kvantifisere smitteveiene i sjø.



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.

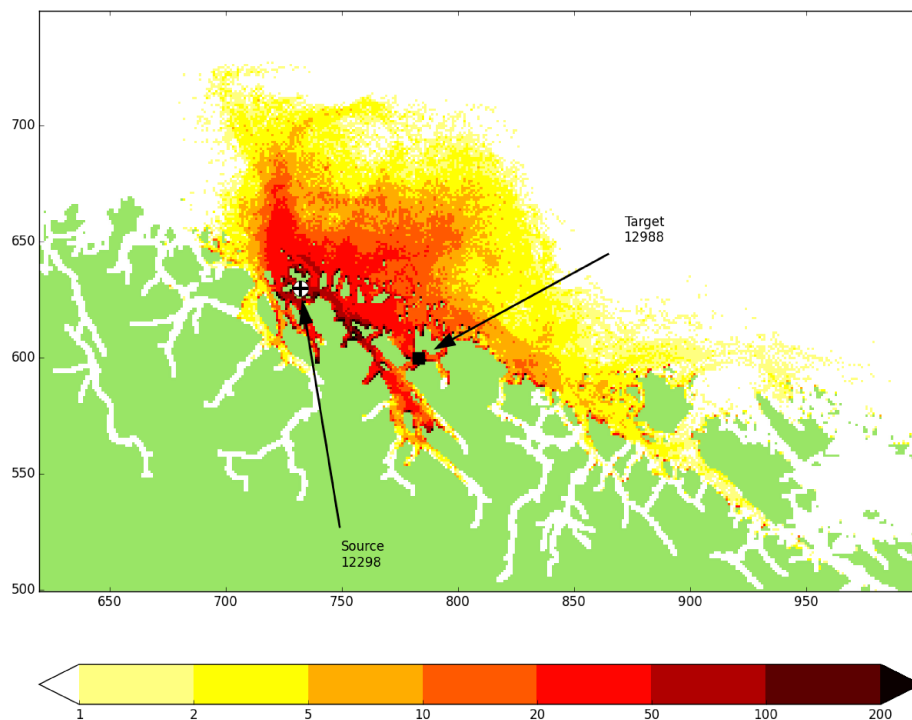
Spredningsmodell

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 mfl. 2011), forurensning (bl.a. Heldal mfl. 2013) og ikke minst for lakselus (Asplin mfl. 2014; Johnsen mfl. 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 mfl. 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 døgngader, dvs 5-15 dager dersom sjøtemperaturen 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 akkumulert smittedose som sier hvor en kan forvente å finne infektive lakseluskopepoditter. 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 verdier 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.



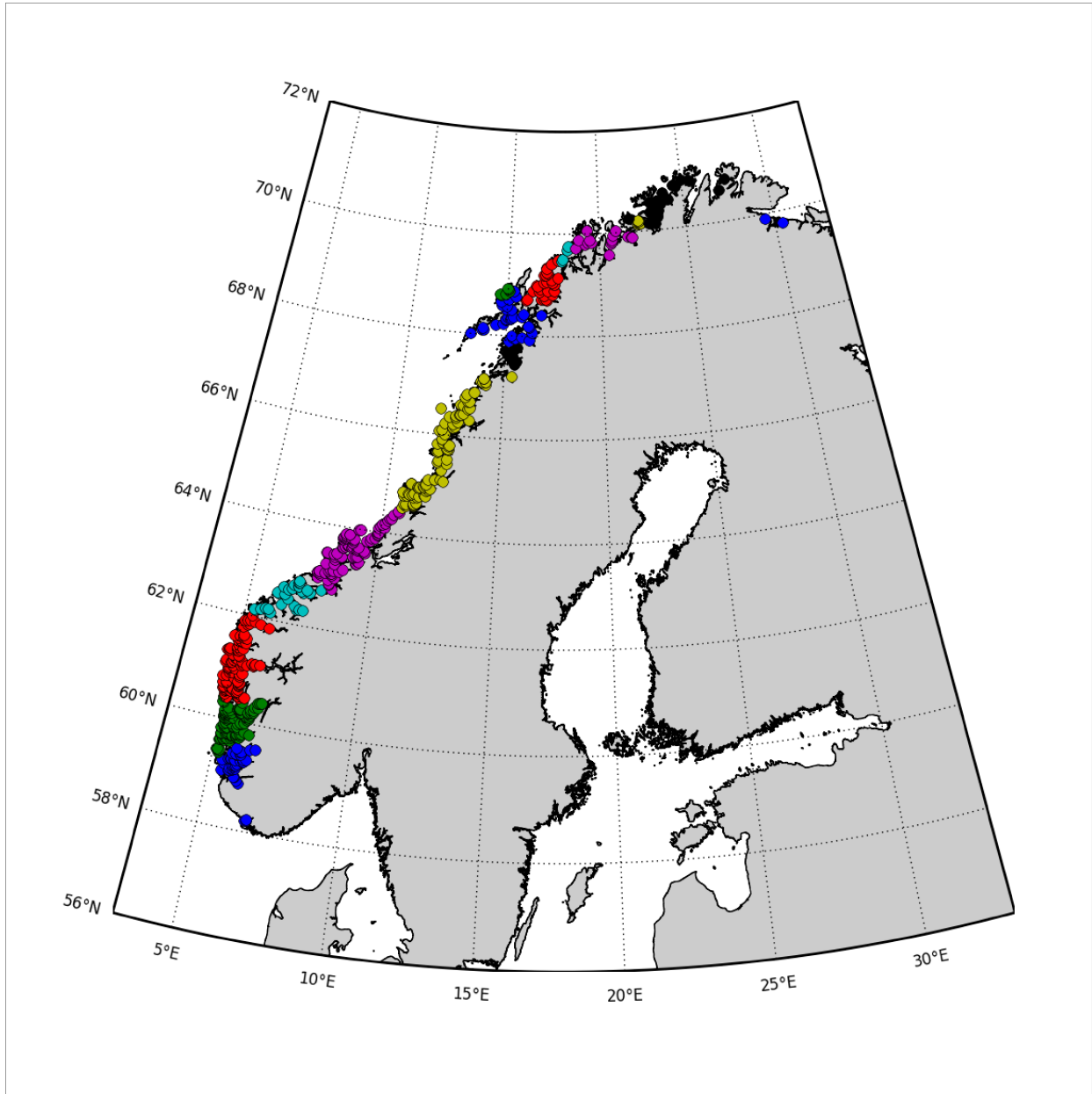
Figur A3: Spredningsplott fra lokalitet 12298 Røysa i Giske. Også vist er 5x5 gridceller omkring lokalitet 12988 Aukrasanden i Aukra.

A2. Influensmatrise og klyngeanalyse

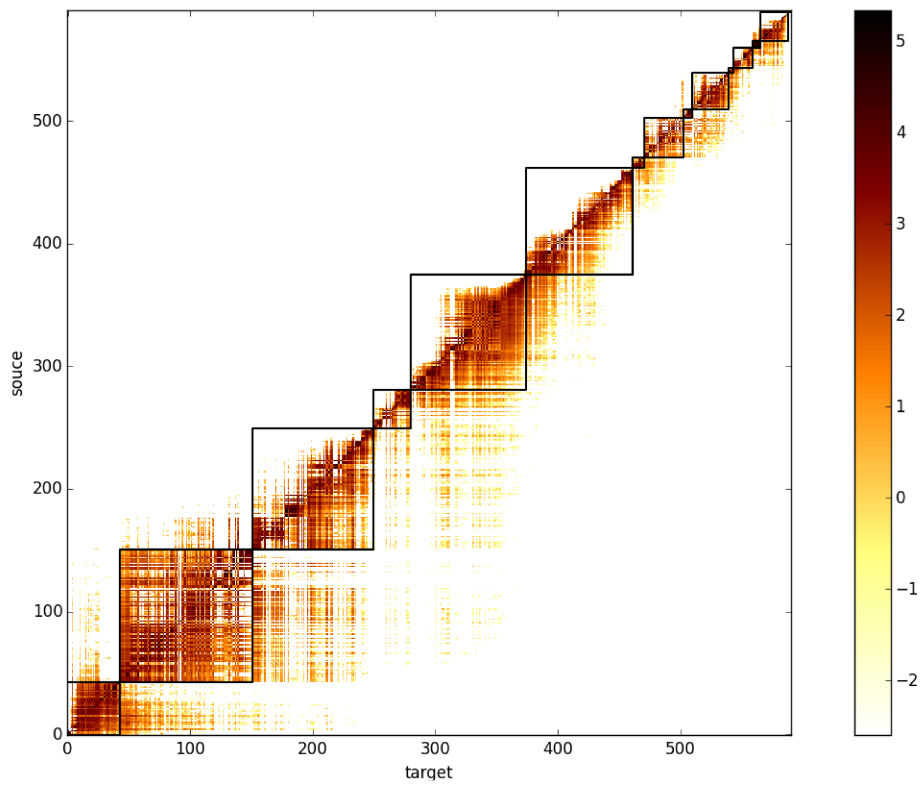
Influensmatrisen beregnes ut fra partikkeltransporten. Figur A3 viser også et nedstrøms anlegg (12988). Siden det er veldig få modellpartikler sammenlignet med antall lakseluslarver i naturen, kan vi ikke forvente direkte treff på anlegg. For standardoppsettet teller vi treff på 5x5 gridceller (4x4 km) 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 lokalitetnr. 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 egensmitte 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 mfl. (2001) og vi bruker implementasjonen i maskinlæringspakken scikit-learn (Pedegrosa mfl. 2011) for programmeringsspråket python. Algoritmen krever at vi oppgir antall 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-/importtallene 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 A4: Standard klyngeanalyse med 15 klynger med strømfelt fra 2013.



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 → Stad	99	290	80	3,2	0,9
4	Stad → 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-/importstatistikk for standard klyngeanalyse med 15 klynger.

A3. Følsomhet

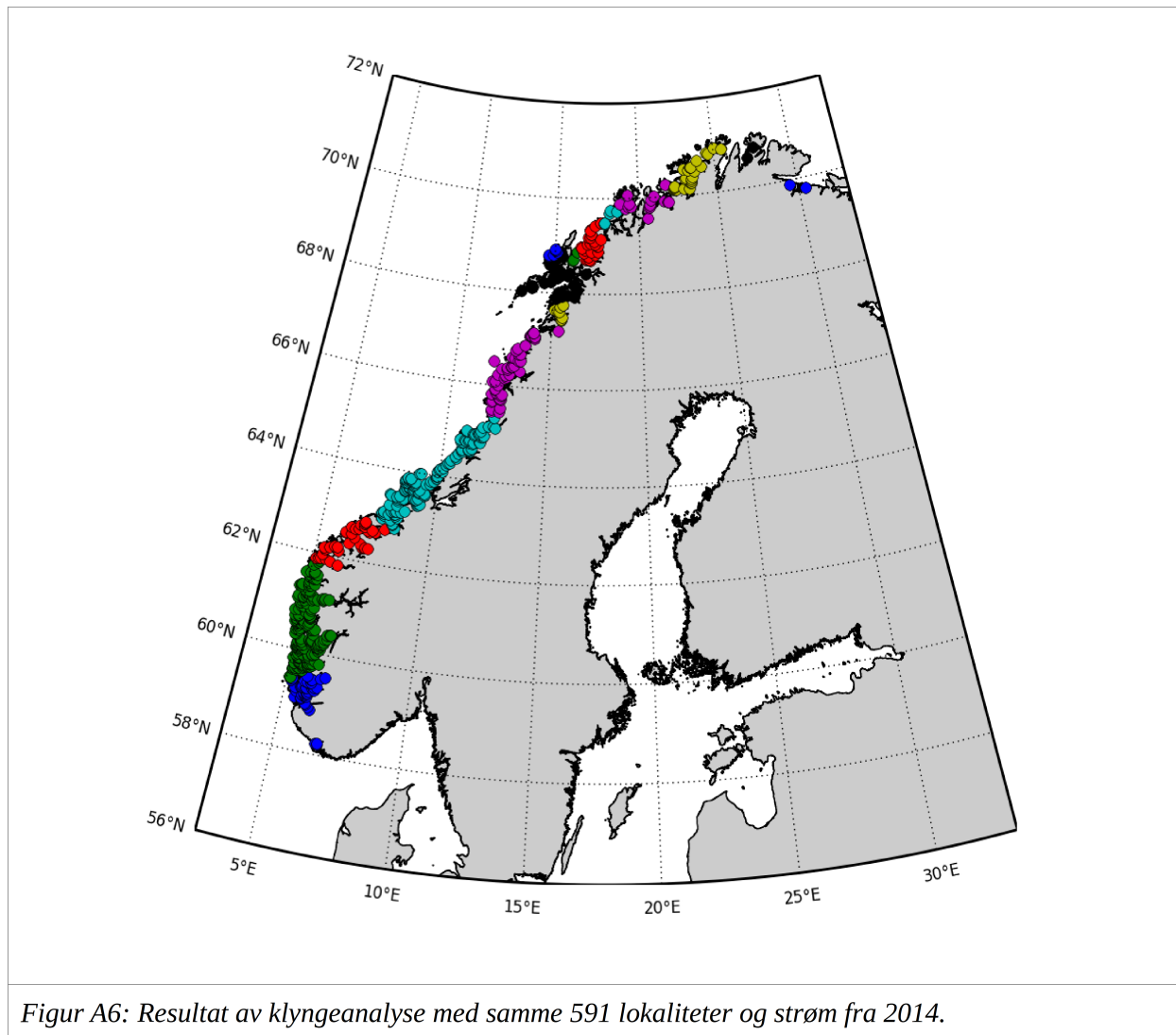
Målet er å finne en områdeinndeling som er allmenngyldig. Det er gjort en del valg underveis. Det er derfor viktig å finne ut om resultatene er robust eller om de avhenger kritisk av disse valgene.

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 Stad. 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 Øksfjord 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 absolutt-verdier 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 → Stad	98	318	83	3,0	0,8
4	Stad → 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-/importstatistikk med influensmatrise for 2014.

Geografisk lokalitetsstruktur

For å teste avhengigheten av geografisk lokalitetsstruktur er det gjort to modellkjøringer. Den ene tester flere anlegg, spesielt i nord, med dagens struktur. Den andre kjøringen tester hvordan resultatet påvirkes dersom en bruker mer tilfeldige utslippspunkt helt løsrevet fra dagens struktur.

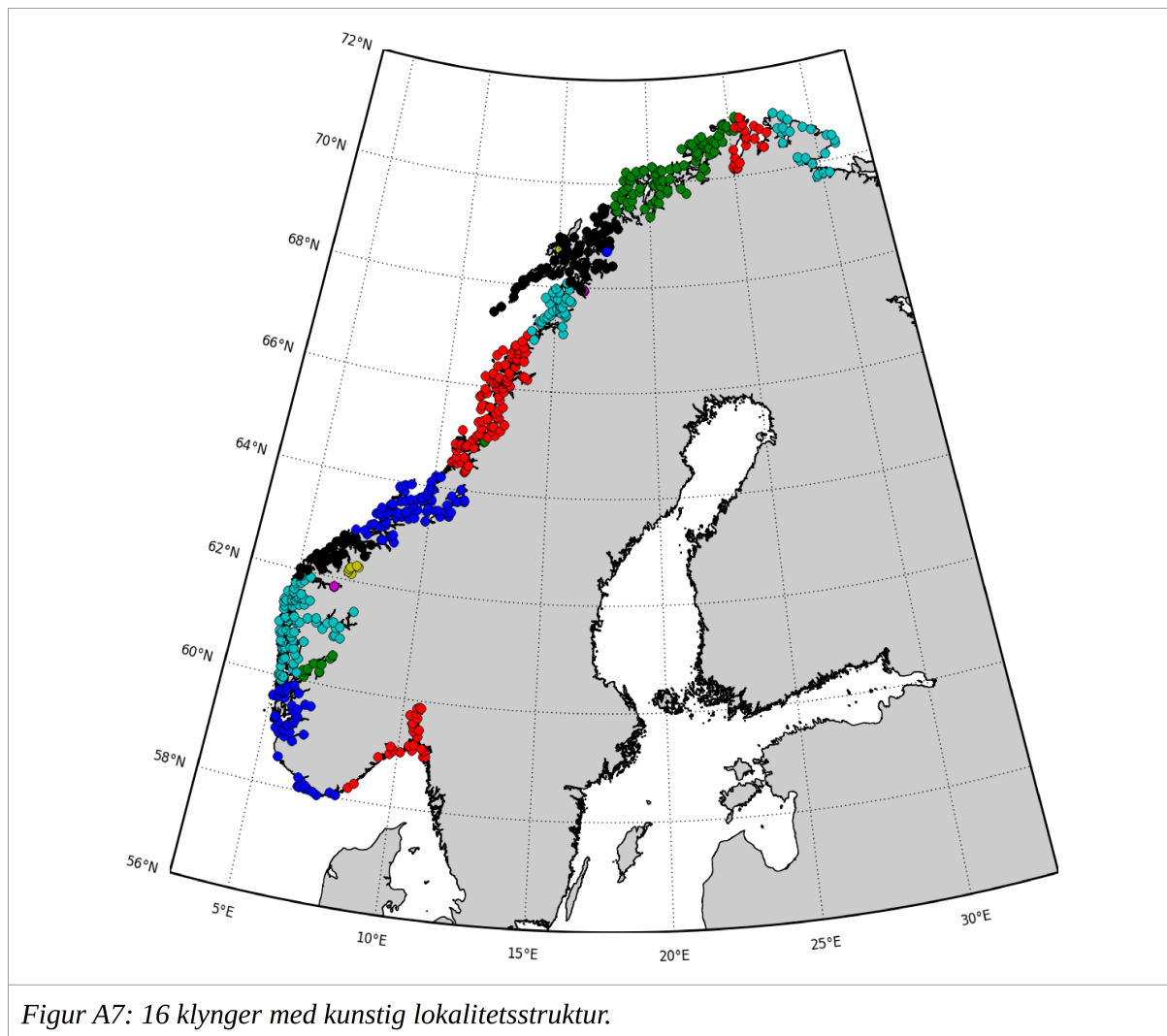
Den første kjøringen omfatter 921 lokaliteter, 537 av disse er felles med de 591 i standardkjøringen. Denne kjøringen er gjort med strøm fra 2014. Klyngeanalyse med 15 klynger sammenlignes med 2014-analysen over med 591 anlegg. Fra Svenskegrensen til Salten er resultatene svært like, bl.a. med en "superklynge" fra Karmøy til Stad. 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 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 → Stad	131	501	122	2,8	0,7
4	Stad → 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-/importstatistikk med 921 anlegg.

For å definere en geografisk struktur uavhengig av dagens struktur, velges det ut utslippslokaliteter langs hele kysten. En kystcelle defineres her som en sjøcelle hvor minst én av de fire nabocellene er på land. Langs Norskekysten er det vel 32 000 slike kystceller i NorKyst-800. Hver femtiende av disse cellene brukes som utslippslokalitet for lakselus. Dette gir 645 slike lokaliteter, som vist i figur A7. Samme figur viser også en klyngeanalyse med 16 klynger (en ekstra for å håndtere Østlandet). Dersom en ser bort fra noen småklynger gir dette 11 hovedområder. Grensene blir Kristiansand, Stord, Vågsøy sør for Stad, Hustadvika, Osen, Gildeskål, Tysfjord, Senja, Porsangerhalvøya og Nordkinnhalvøya. I tillegg er Hardangerfjorden markert som eget område. Sammenlignet med standardanalysen (figur A4) er der en del forskjeller. Det er nå et område for Østlandet og Sørlandet, Hardangerfjorden er blitt et eget område, ytre Sunnhordland går sammen med Ryfylke, grensen ved Stad er flyttet sør for Sildegapet, Lofoten-klyngen er blitt mye større, et stort område for det meste av Troms og Vest-Finnmark samt et eget område for Porsangerfjorden og Laksefjorden. Dette viser at områdeinndelingen er følsom for anleggsstrukturen.

En del områder som har få eller ingen anlegg fungerer i praksis som branngater. Med de standard 491 anleggene (figur A4) er dette bl.a. Jæren, Karmøy, Stadlandet, Hustadvika, Hamarøy, Andøya, Loppa og Nord-Finnmark. Bortsett fra Jæren opptrer alle disse områdene som skille mellom klynger. De 645 kunstige lokalitetene har også noen områder som i praksis utgjør branngater, Aust-Agder, Jæren, Haugesund, Hustadvika, Osen, Gildeskål og Andøya. De fleste av disse definerer grenser mellom klynger i denne strukturen. Det tyder på at de facto branngater er viktige for områdestrukturen.



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 valgt, 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-/importstatistikken 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 → Stad	98	12,7	5,7	2,4	1,1
4	Stad → 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	29,2	1,0	1,0

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

Dødelighet

Dødeligheten av lakselus-nauplier og kopepoditter avhenger trolig av eggkvalitet, stadium/alder, temperatur, predatorer og annet. Dette er dårlig kjent. Standardverdien i litteraturen er 17 % dødelighet per døgn (Stien mfl. 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 lenger 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 Stad 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 11 standard-områdene. Her er tendensen klar. Høyere dødelighet gir kortere spredningsdistanse og dermed lavere 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 mfl., 2007. Regional Ocean Forecasting in Terrain-following Coordinates: Model Formulation and Skill Assessment, *J.Comp. Phys.*, 227, 3595-3624.
- H.E. Heldal, F. Vikebø og 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 mfl., 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.