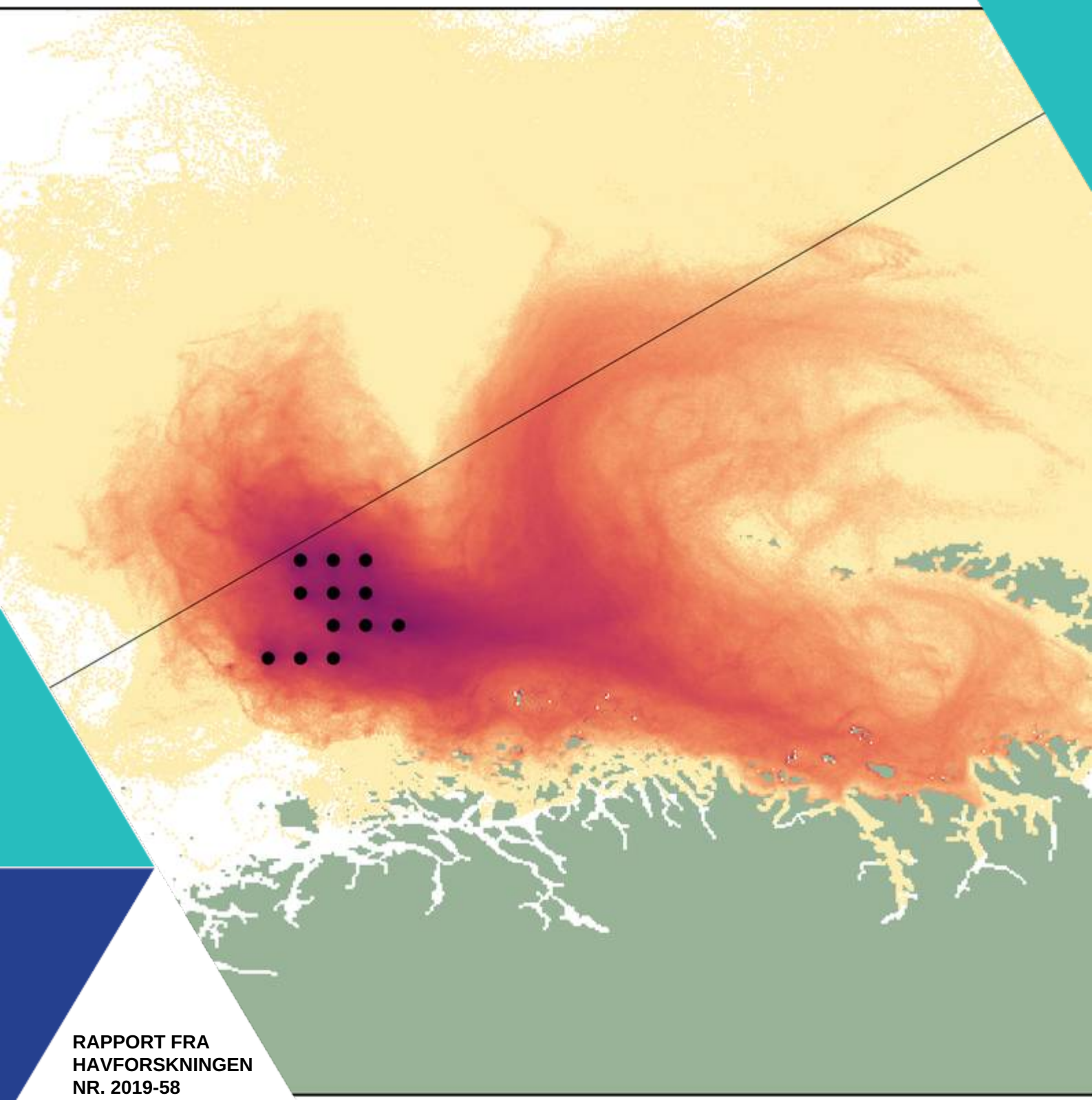
HAVBRUK TIL HAVS – SMITTESPREDNING

Bjørn Ådlandsvik (HI)



RAPPORT FRA
HAVFORSKNINGEN
NR. 2019-58

Tittel (norsk og engelsk):

Havbruk til havs – smittespredning

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2019-58	19.12.2019

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Bjørn Ådlandsvik (HI)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger
Programleder(e): Terje Svåsand

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

14272

Oppdragsgiver(e):

Nærings- og fiskeridepartementet

Program:

Miljøeffekter av akvakultur

Forskningsgruppe(r):

Oseanografi og klima

Antall sider:

42

Samarbeid med

Fiskeridirektoratet

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttets kombinasjon av strømmodell og partikkeltransportmodell er brukt til å studere smittespredning i forbindelse med mulig havbruk til havs. Det dreier seg om smitte fra havlokaliteter til land, kystlokaliteter til havs og mellom havlokaliteter. Lakseluslarver er brukt som modellsmitte, siden de har lang levetid og regnes som et av de største smitteproblemene i dagens laksenæring.

Resultatene peker på at havbruk til havs i åpne anlegg ut til 20 nm i Nord-Norge og 30 nm i sør, anbefales å forvaltes i sammenheng med forholdene for lakselus på kysten og i fjordene. Havlokaliteter som ligger innenfor et mindre område anbefales å plasseres på tvers av dominerende strømretning, adskilt med oppdrettsfrie “branngater”. Fiskeridirektoratets mulighetsområder er analysert. De danner naturlig et sett med klynger som smittemessig er relativt isolerte fra hverandre.

Analysene går bare ut til 60 nautiske mil utenfor grunnlinjen. Dette gjør at noen mulighesområder er mangelfullt dekket. Lokaliteter lengre ute vil ikke påvirke kysten smittemessig i nevneverdig grad. De generelle rådene om å ligge på tvers av strømmen og ha branngater vil gjelde også her.

Innhold

1 Introduksjon 5

2 Bakgrunnsinformasjon 6

2.1 Strøm 6

2.2 Metode 6

3 Smittespredning til land 9

4 Smittespredning fra kyst- til havlokaliteter 12

5 Utveksling av lusesmitte mellom havlokaliteter 14

5.1 Eksport av smitte 14

5.2 Import av smitte 16

6 Klyngeanalyse 18

7 Fiskeridirektoratets mulighetsområder 19

7.1 Smittespredning fra mulighetsområdene 21

7.2 Konnektivitet mellom mulighetsområdene 35

8 Oppsummering og diskusjon 39

Referanser 41

1 – Introduksjon

Nærings- og fiskeridepartementet har bedt Fiskeridirektoratet koordinere en samlet kunnskapsoversikt om havbruk til havs. Havforskningsinstituttets bidrag består av tre delrapporter.

Bakgrunnen er en økende interesse for havbruk til havs, som beskrevet i en inter-departemental rapport "Havbruk til havs" (Anon. 2018). Spredning av lakselus er den regulerende faktor i dagens "trafikklyssystem" for forvaltning av oppdrett på laksefisk. Nye lokaliteter til havs vil være store installasjoner med betydelig biomasse, og dermed potensiale for spredning av lakselus og andre patogener. Sterke strømmer kan bidra til spredning av smitte over store distanser.

Denne rapporten bruker strømmodell og modellert partikkelspredning til å vurdere lokaliteter til havs. Etter litt oppsummering om strøm og metodikken som brukes, analyseres konnektivitet mellom mulige havlokaliteter og lokaliteter på kysten og i fjordene. Videre vurderes det om havbruk til havs naturlig danner klynger med høy konnektivitet internt og lav på tvers slik som produksjonsområdene langs kysten. Fiskeridirektoratet har foreslått 27 "mulighets-områder" for havbruk til havs. Rapporten vurderer konnektivitet mellom 22 av disse områdene.

En begrensning i rapporten er at den bare ser på området fra grunnlinjen og ut til 60 nautiske mil. Å gå lengre ut vil kreve mer ressurser. Utfra signaler om interesse fra næringen synes dette å være tilstrekkelig i første omgang

2 – Bakgrunnsinformasjon

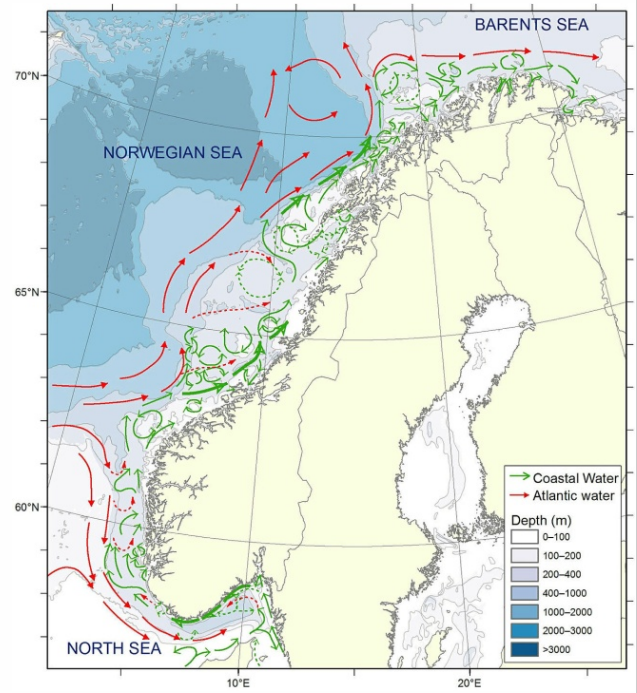
2.1 – Strøm

Havstrømmene i norske farvann domineres av to strømmer, den norske kyststrømmen nærmest land og den norske Atlanterhavsstrømmen (populært kalt Golfstrømmen) lenger ute. Strømmene er skissert i figur 1, både eksperttegnet og hvordan de framkommer i modellverktøyet som brukes i denne rapporten.

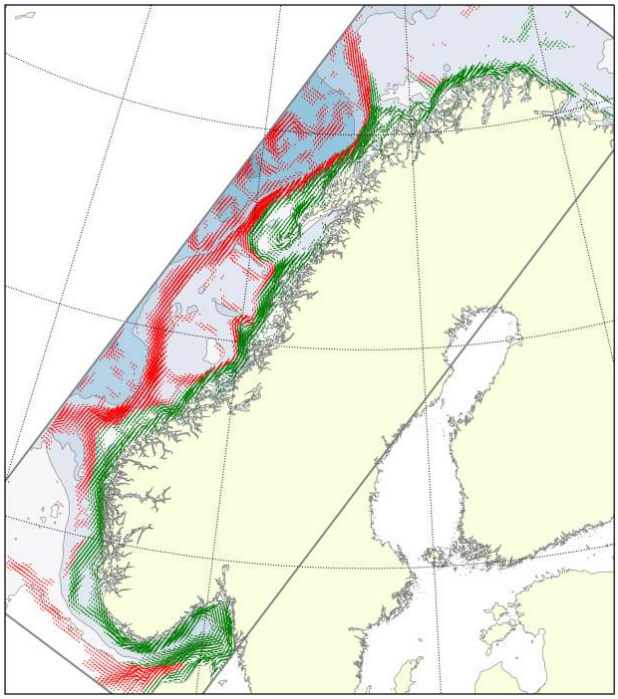
Kyststrømmen har relativt lav saltholdighet og er kald om vinteren. Den kommer hovedsakelig fra Østersjøen og Nordsjøen via Skagerrak og får tilførsel av ferskt elvevann fra fjordene langs Norge. Den salte og varme Atlanterhavsstrømmen kommer fra Atlanterhavet i to greiner på hver sin side av Færøyene, og følger i stor grad Eggakanten (kontinentalsokkelskråningen) nordover. Bunntopografien gir generelt en viktig styring av strømmen med sterkere strøm der bunnkotene ligger tett. Atlanterhavsstrømmen splittes med greiner inn i Nordsjøen og Barentshavet. Dette gjør at de to strømmene går motsatt vei i Norskerenna og Skagerrak, mens de går samme vei nordover langs resten av kysten og ganske tett fra Vesterålen til Tromsøflaket.

Figurene kan gi et ufullstendig inntrykk av strømforholdene da de ikke klarer å vise variabiliteten i systemet. Spesielt i kyststrømmen oppstår det virvler, noen stasjonære knyttet til topografien med de fleste bevegelige som selv påvirkes av strømsystemet. Vind er en viktig drivkraft og nordavind kan i episoder snu strømmene, spesielt nær overflaten. Den variable strømmen dominerer i området på sokkelen mellom de to støms systemene.

Delrapport 2 (Albretsen m.fl. 2019) har mer data og modellresultater med strøm. For en populær framstilling av stømforholdene langs Norskekysten, se kyststrømboken (Sætre, 2007).



Figur 1a. Skisse av strømforholdene i norske farvann. Kart: K. Gjertsen/R. Sætre Havforskningsinstituttet



Figur 1b. Modellområdet til NorKyst-800 med middelstrøm for simuleringsperioden. Kyststrømmen i grønt og Atlanterhavsstrømmen i rødt.

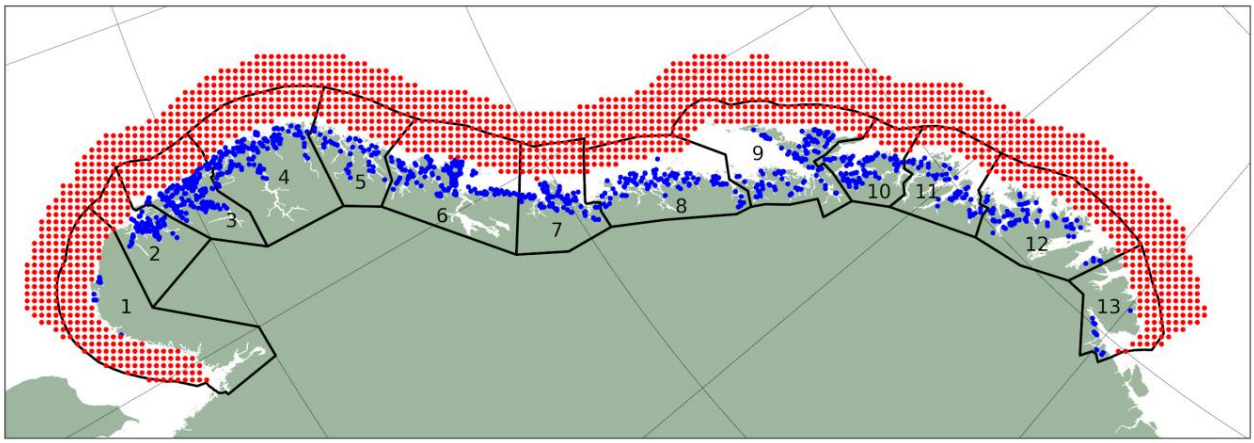
2.2 – Metode

Metodene som brukes er tilsvarende som i produksjonsområderapporten (Ådlandsvik, 2015) og

yttergrenserapporten (Ådlandsvik, 2019). Grunnlaget er samme simulering som brukt i yttergrenserapporten og delrapport 2. En simulering med havmodellen NorKyst-800 (Albretsen m.fl.) reproduserer strømforholdene i 2017 på et 800 meters grid. Modellområdet er vist i figur 2 under. Basert på de lagrede strømfeltene er en partikkeltransportmodell, LADiM (Ådlandsvik, 2019), brukt til å beregne spredning av planktoniske stadier av lakselus. Det samme modellsystemet brukes opp mot trafikklyssystemet og er dokumentert og validert (Sandvik m.fl., 2016, Myksvoll m.fl., 2018).

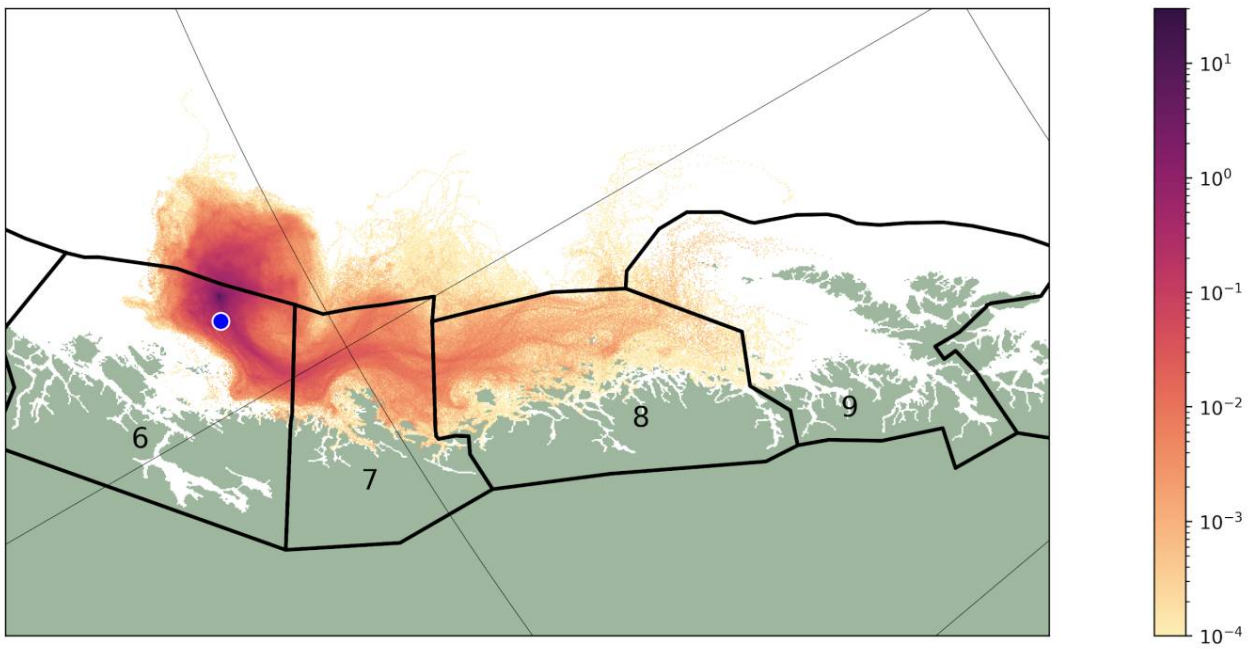
Simuleringene baseres på 1043 eksisterende lokaliteter fra fjord og kyst, hentet fra Fiskeridirektoratets Akvakulturregister, og 1908 virtuelle utaskjærs lokaliteter i norske farvann spredt jevnt fra grunnlinjen til 60 nautiske mil. Med dagens grenser ligger 792 av havlokalitetene innenfor et produksjonsområde. Lokalitetene er vist i figur 2. Fra hver lokalitet slippes tre partikler per time. Vertikalt holdes partiklene i de øvre 20 meter, de svømmer oppover om dagen og nedover om natten og unngår ferskvann. Dødeligheten er satt til 17% per døgn. Partiklene regnes som infektive kopepoditter mellom 40 og 170 døgngrader. Siden formålet er å karakterisere smitteveier og distanse bidrar alle lokaliteter likt, uavhengig av maksimalt tillatt biomasse og historiske tall på lusetetthet.

Simuleringsperioden er 8 måneder, fra februar til og med september 2017, med en oppspinning av LADiM på 15 dager. Dette ga en tung simulering med totalt 25,7 millioner partikler.



Figur 2: Modellområdet til NorKyst-800 med eksisterende kyst- og fjord lokaliteter i blått, virtuelle havlokaliteter i rødt. Polygonene angir produksjonsområdene med “gamle” yttergrenser.

Modellresultatene integreres i tid til spredningskart som viser smittepress. Et eksempel er vist i figur 3 under. Det framkommer ved at partikler som representerer smittsomme kopepoditter telles i gridrutene til NorKyst-800 hver time. Tellingen er vektet utfra dødelighet. Spredningskartene kan tolkes som et midlere smittepress og angir sannsynlighetsfordeling for hvor en kan påtreffe lusesmitte fra lokaliteten. Spredningsmønsteret er representativt for vår og sommer siden det er integrert over en periode på åtte måneder og dermed summerer opp variabiliteten i vind og strøm. I eksemplet er den aktuelle kilden en posisjon i produksjonsområde 6 nord for Frøya. Høyeste konsentrasjoner finnes som forventet i nærområdet, men kyststrømmen gjør at produksjonsområdene 7 og 8 blir påvirket. Det havner også noen partikler i område 9 men da kraftig uttynnet og i liten grad nær kysten.

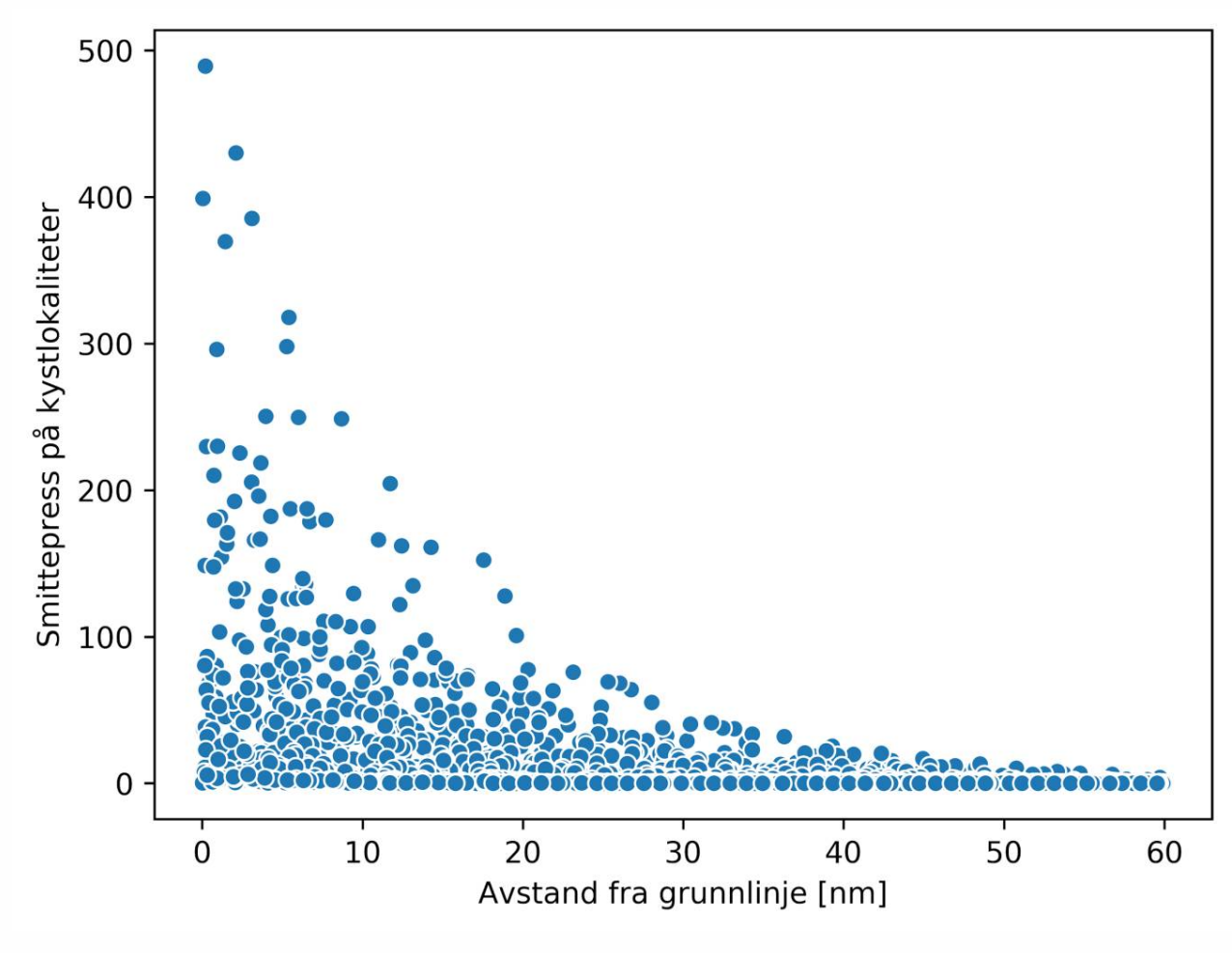


Figur 3: Spredning fra en virtuell havlokalitet nord for Frøya

Enheten som brukes i analysene er litt vilkårlig og brukes bare til å sammenligne smittepress. Den avhenger av simuleringsperioden og hvordan påvirkning beregnes. For påvirkning på en lokalitet summeres smittepresset i 5x5 gridruter rundt lokaliteten. Det divideres deretter med 1000 for å unngå unødig høye tall.

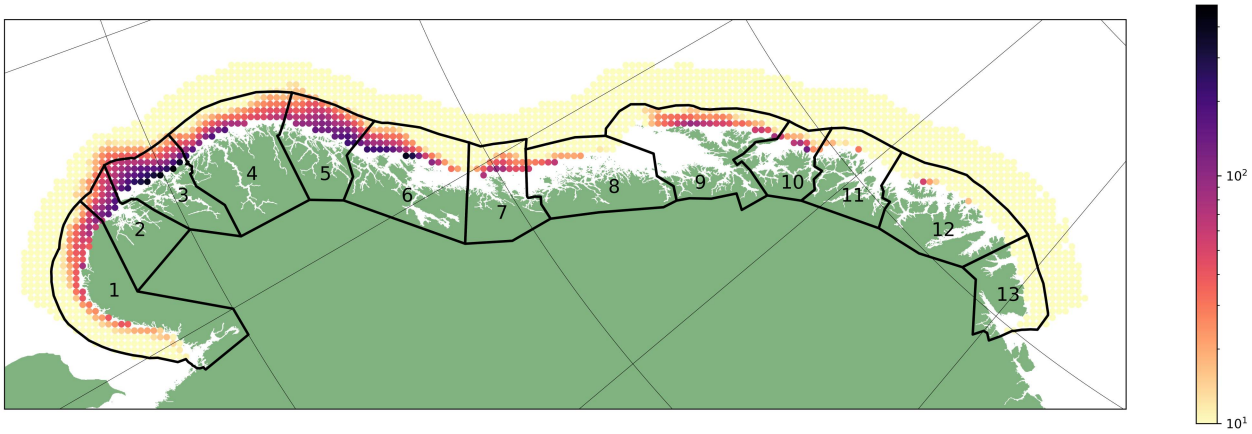
3 – Smittespredning til land

Smittespredning til og fra land er hentet fra yttergrenserapporten (Ådlandsvik, 2019), men med et annet fokus. Figur 4 viser smittepress til kystlokaliteter fra de ulike havlokalitetene. De fleste lokaliteter gir smittepress under 100, men ut til 20–30 nautiske mil er det en del lokaliteter med betydelig høyere smittepress. Deretter synker smittepresset langsomt til under 50. Bemerk at dette er smittepress til eksisterende kystlokaliteter. Dette gjør at verdiene blir naturlig høyere oppstrøms for områder med tett oppdrettsaktivitet.



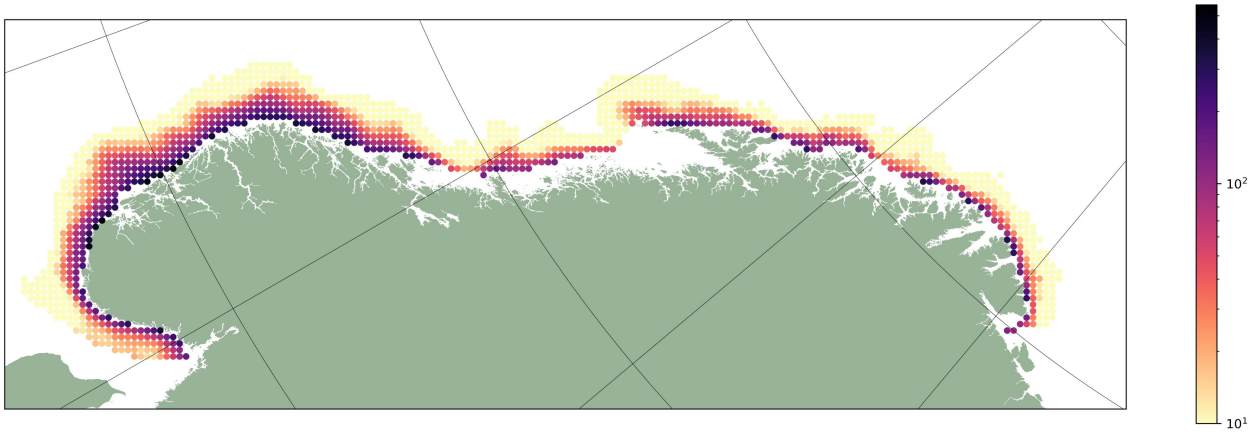
Figur 4. Modellert smittepotensiale til kystlokaliteter på virtuelle havlokaliteter som funksjon av avstand fra grunnlinjen.

Det samme datasettet presenteres geografisk i figur 5. Vi ser at de “gamle” områdegrensene på 30 nm i sør og 20 nm i nord innkapsler havlokalitetene som gir forhøyet smittepotensiale. Høyest smittepress finnes langs kysten av Vestlandet og Trøndelag. Det er også høye verdier utenfor Vesterålen til Senja.



Figur 5. Modellert smittepotensiale til kystlokaliteter fra virtuelle havlokaliteter.

Fordi smittepotensialet beregnes utfra treff nær eksisterende lokaliteter langs kysten kan figur 5 ha en bias, smittepotensialet blir sterkere der det er mange oppdrettslokaliteter med dagens anleggsstruktur. For å undersøke dette nærmere viser figur 6 smittepotensialet til kysten mer generelt, der kysten er definert som sjø-celler med minst en nabocelle som er land. Der anleggene ligger tett, slik som på Vestlandet, viser figuren det samme bildet. Der det er ingen eller få anlegg, som på Sørlandskysten og Nord-Troms og Finnmark, viser denne figuren et betydelig økt smittepotensiale nærmest grunnlinjen. De høye verdiene lengre til havs utenfor Vestlandet i denne figuren kan ikke skyldes at det er tettere med anlegg langs kysten. Av andre årsaker må det bemerkes at grunnlinjen er nærmere kysten her enn langs det konkave området av Norge fra Frøya til Lofoten. I tillegg må det generelle strømbildet bidra til en sterkere transport mot land utenfor Vestlandet enn ved Sørlandet og Nord-Norge.



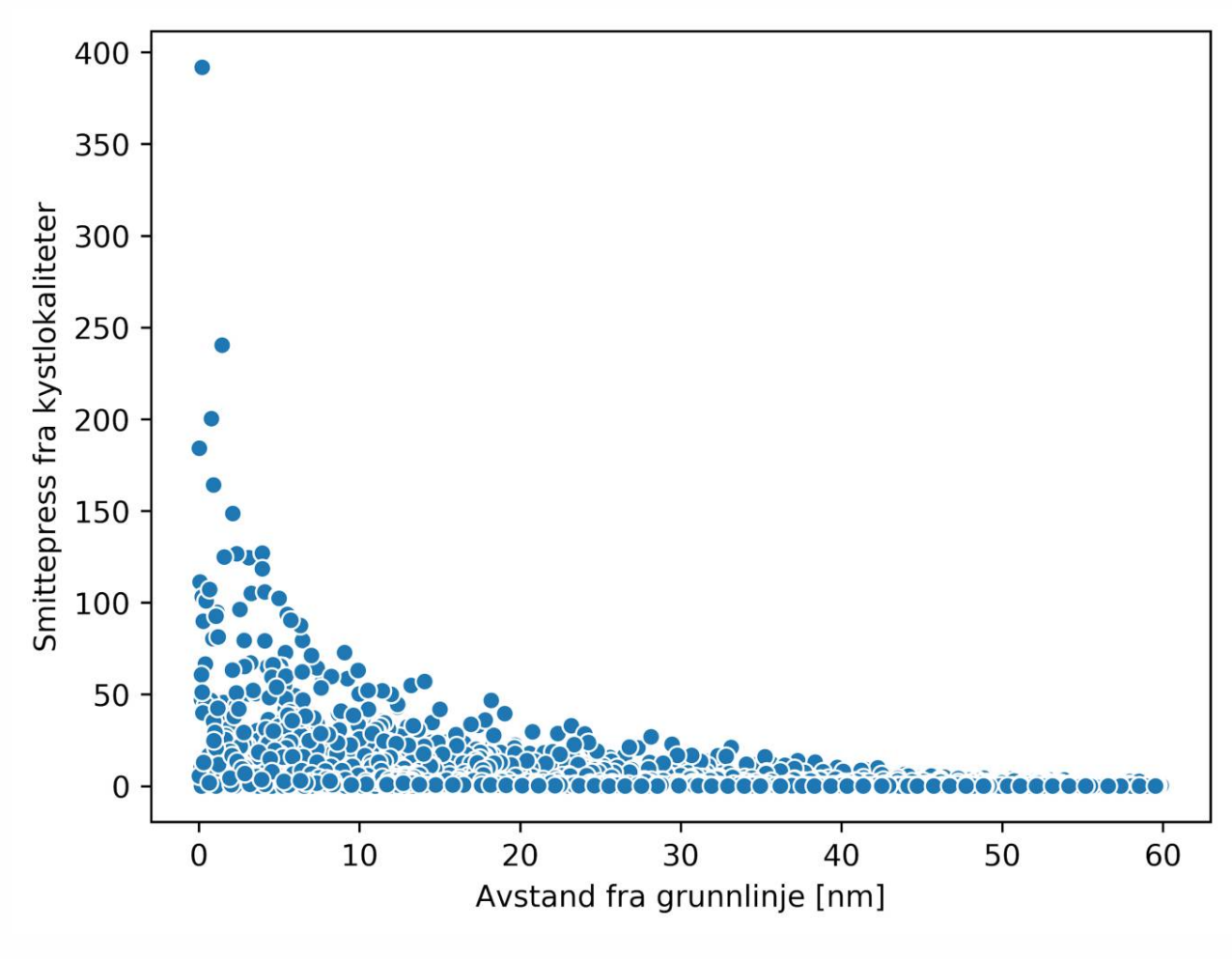
Figur 6. Modellert smittepotensiale til gridceller langs kysten

Dette smittepotensialet til kysten tilsier at havbruk til havs bør ikke forvaltes uavhengig av tilstanden for lakselus

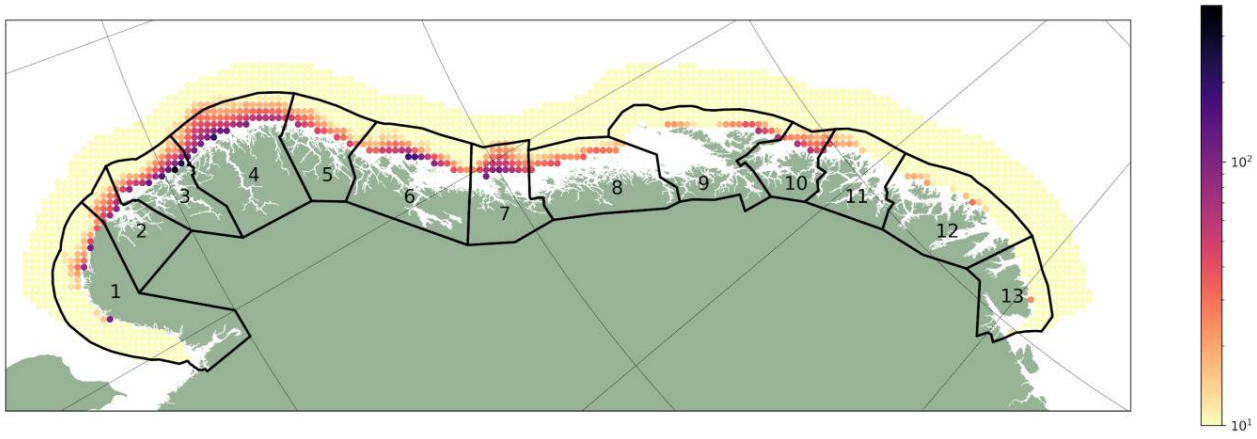
langs kysten og i fjordene. Spesielt gjelder dette ut til 20–30 nautiske mil utenfor produksjons-områder som settes til rødt eller gult i trafikklyssystemet.

4 – Smittespredning fra kyst- til havlokaliteter

For at havlokalitetene skal bli en smittekilde må de først smittes selv. Noe smitte kan komme fra naturlige kilder, men det største smittepotensialet ligger i oppdrettsanleggene langs kysten. Figur 7 er den motsatte av figur 4 over. Den viser modellert smittepress av lakselus fra eksisterende kyst- og fjordlokaliteter på de virtuelle havlokalitetene. Smittepresset er lavere og avtar raskere med avstand fra grunnlinjen. Smittepresset fordeles geografisk i figur 8. Fordelingen ligner figur 5 for smittepress fra havlokalitetene, også her vil områder langs kysten med stor oppdrettsaktivitet bidra til høyt smittepress. Det er imidlertid en geografisk forskyvning. For eksempel kan toppen i figur 5 utenfor sørlige del av PO 3 finnes igjen utenfor Sognefjorden i PO 4. Dette skyldes den dominerende nordgående strømmen, en kystlokalitet vil helst smitte et havlokalitet lenger nord som i sin tur kan smitte en kystlokalitet enda lengre nord.



Figur 7. Modellert smittepress på havlokaliteteer fra kystlokaliteter som funksjon av avstand fra grunnlinjen.

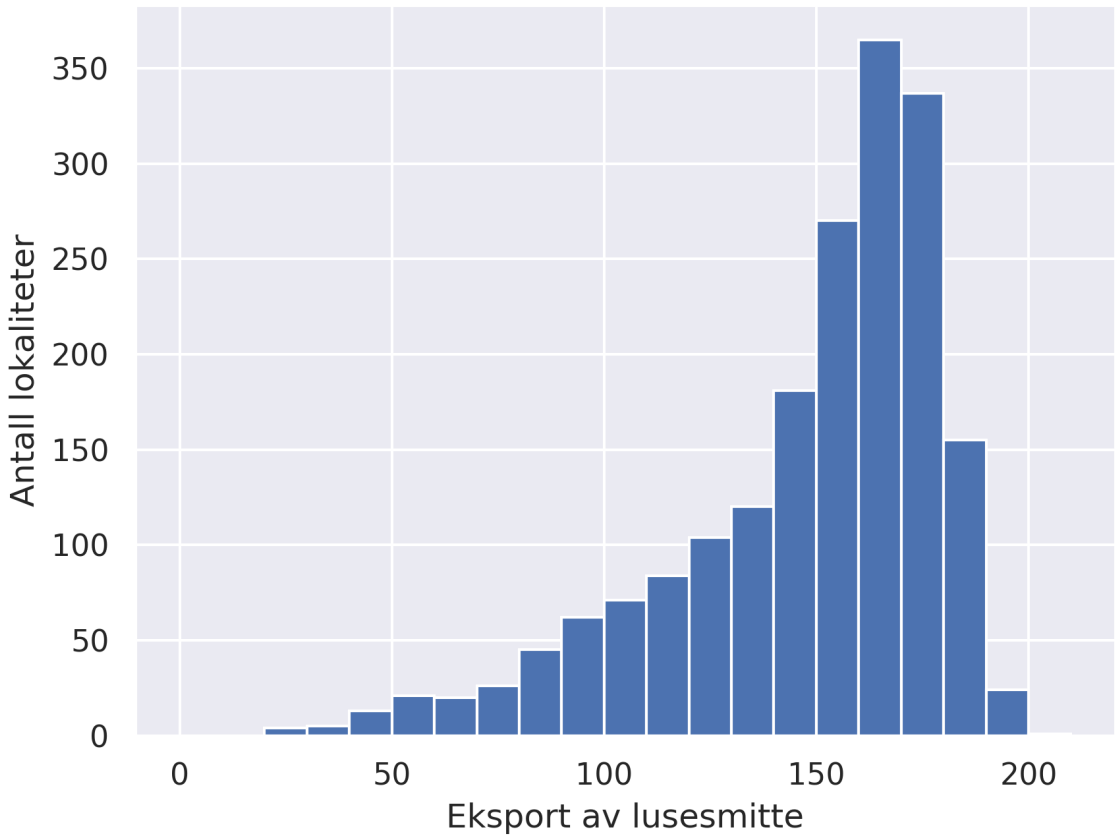


Figur 8. Modellert smittepress på havlokaliteter fra kyst- og fjordlokaliteter.

5 – Utveksling av lusesmitte mellom havlokaliteter

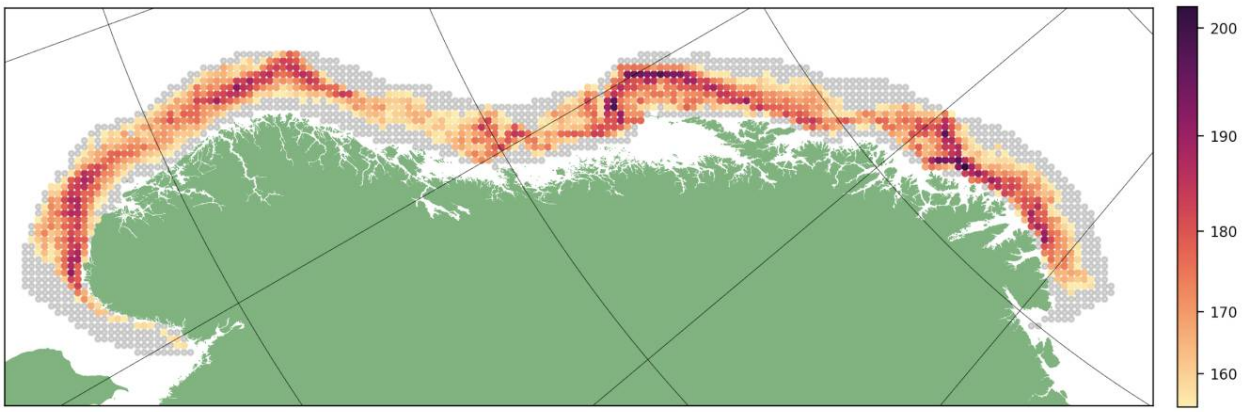
5.1 – Eksport av smitte

Med eksport av smitte menes her smitte som rammer en annen fiktiv havlokalitet. Egensmitte er ikke tatt med. Figur 9 under viser et histogram over smitte fra de ulike lokalitetene. Med våre (vilkårlige) enheter varierer den eksporterte smitten opp til 200 enheter. De fleste lokalitetene ligger mellom 140 og 180 (middel=148, median=158) Fordelingen er skeiv, en lang hale mot lave verdier og en brå avkutting ved maksimum på 202 enheter.



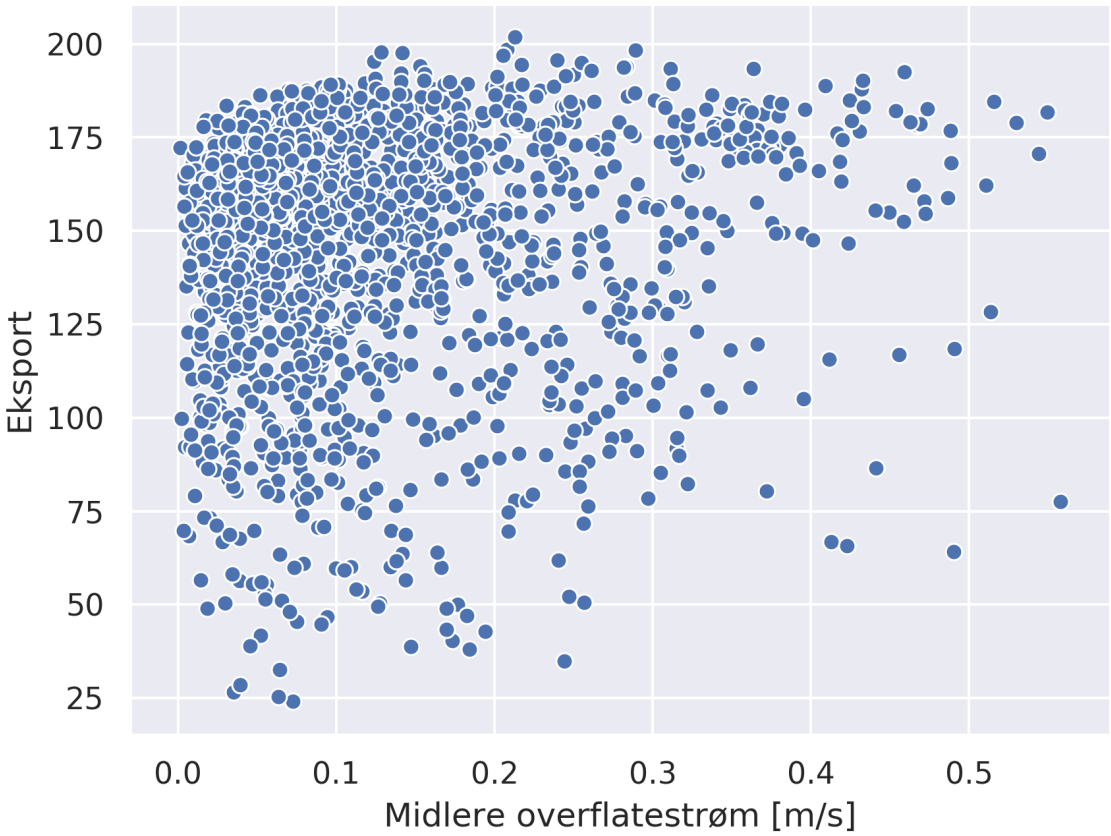
Figur 9: Histogram over eksport av lusesmitte fra havlokaliteter til andre havlokaliteter

Et naturlig spørsmål er om det er geografiske områder med spesiell lav eller høy smitte. Figur 10 viser smitte fra lokaliteter med høye verdier, over 150 enheter. Det er lave eksportverdier i Skagerrak, men ellers er det et bånd med høye verdier langs hele kysten. Innenfor dette er det mer eller mindre veldefinerte bånd med ekstra høye verdier utenfor Rogaland, Stad, Lofoten–Vesterålen og Finnmarkskysten. Slike bånd kan virke som en “motorvei” for smitte. Båndstrukturen unngår de ytterste og innerste lokalitetene. Disse gir lave eksportverdier fordi en stor del av smitten havner inn på kysten eller lengre ut til havs. Med andre ord, båndstrukturen kan være delvis en artefakt som skyldes begrensninger på plassering av de virtuelle lokalitetene.



Figur 10: Havlokaliteter med stor eksport av smitte til andre havlokaliteter

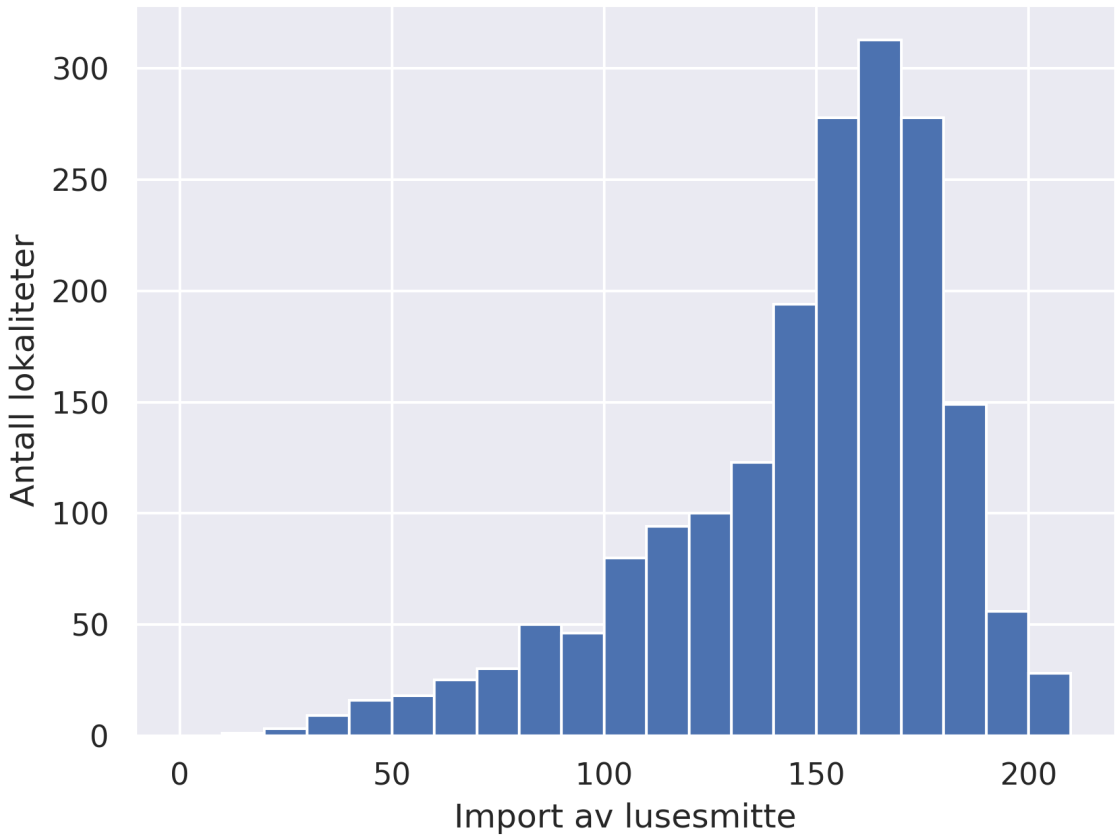
Eksportmønsteret kan også se ut til å henge sammen med strømkartet i figur 1. Dette kan virke rimelig, sterk strøm fører smitten langt og gir lav egensmitte. På den annen side gir sterk strøm mer uttynning av smitten og dødelighet gjør lang transport mindre effektiv. Et spredningsplott av middelstrøm i overflaten versus smitteeksport er vist i figur 11 under. Tyngdepunktet ligger på relativt høy eksport, 120+, og relativt svak strøm (under 20 cm/s). Linjært er det ingen sammenheng, korrelasjonskoeffisienten er 0,05. Sammenhengen kan oppsummeres slik at ved lav strøm er det både høye og lave eksportverdier, mens ved sterk strøm er det ingen lokaliteter med eksport under 60 enheter.



Figur 11. Spredningsdiagram av strømstyrke mot luseeksport for havlokaliteter.

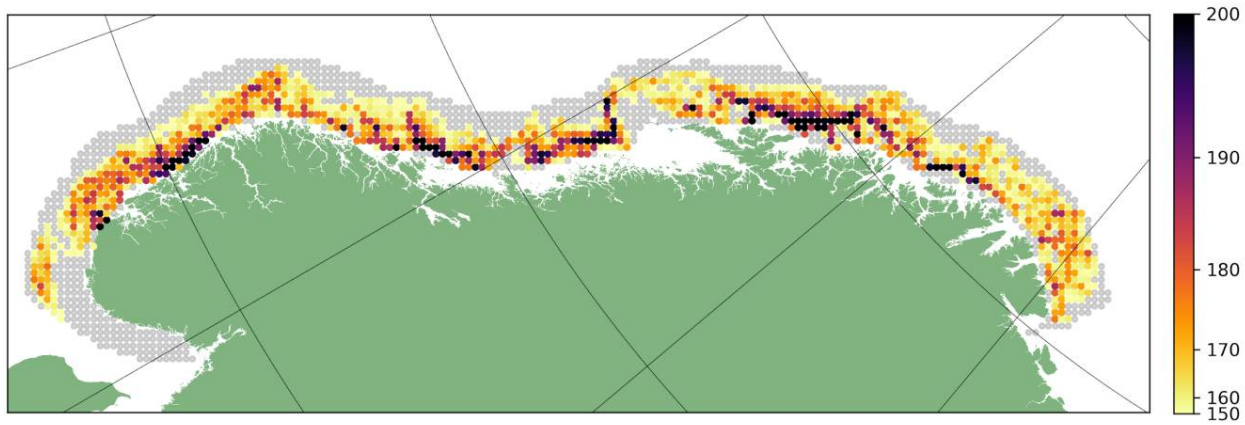
5.2 – Import av smitte

Man kan stille tilsvarende spørsmål for import av smitte. Hvilke områder til havs er mest utsatt for lusesmitte fra andre havlokaliteter? Det besvares her på tilsvarende måte. Figur 12 viser et histogram over smittepress (uten egensmitte) på lokalitetene. Bildet ligner på eksportfiguren (fig. 9), lang hale mot lave verdier og en brå avslutning mot maksimalverdien. Verdiene er også nær eksportverdiene (middel=148, median = 156). Maskimalverdien på 253 er imidlertid vesentlig høyere enn for eksport.



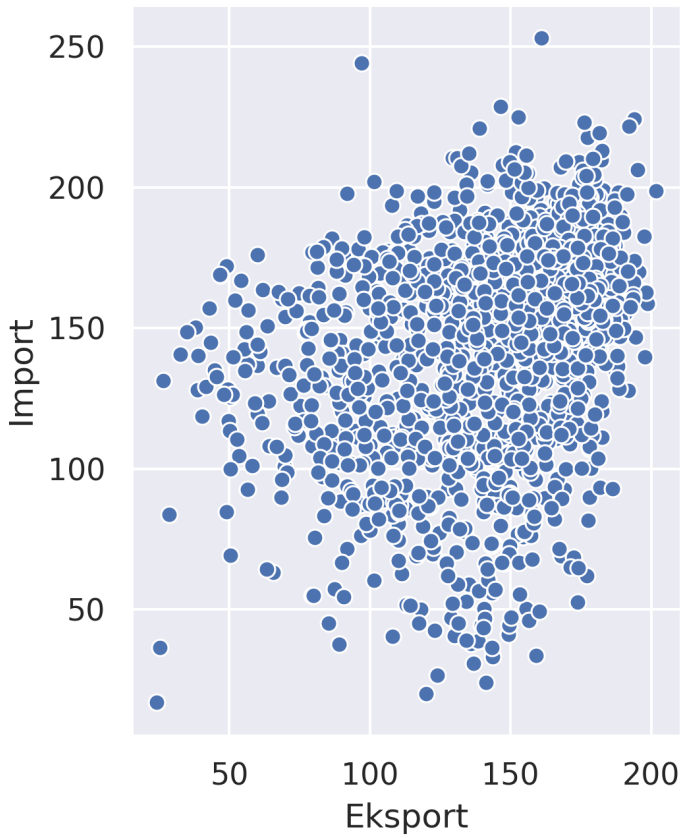
Figur 12: Histogram av import av lusesmitte til havlokaliteter fra andre havlokaliteter.

Importen vises som et geografisk spredningsplott i figur 13. Også her er det sammenheng med eksportkartet (fig. 10). Høye importverdier finnes i et bånd langs hele kysten (bortsett fra Skagerrak). Men det er sterkere gradienter og de høye verdiene ligger mer inn mot grunnlinjen. Noen områder, som sør-vest for Lofoten, har høye eksportverdier men liten import.



Figur 13: Havlokaliteter med stor import av smitte fra andre havlokaliteter

Figur 14 viser et spredningsdiagram av eksport mot import. Det er en viss tendens til at lokaliteter som bidrar med mye smitte også ligger utsatt til for smitte fra andre lokaliteter. Korrelasjonskoeffisienten er 0,37. Dette kan delvis skyldes en randeffekt som skyldes at lokaliteter nær kantene av området, grunnlinjen eller 60 nm, har færre nabolokaliteter og derfor redusert verdi for både eksport og import.



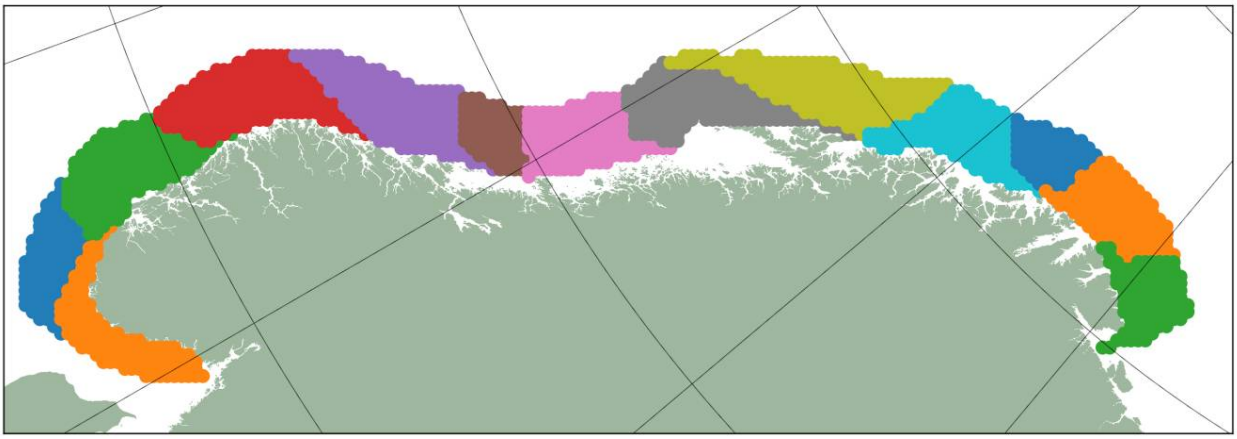
Figur 14. Spredningsdiagram av eksport mot import av lusesmitte til havlokalitetene.

6 – Klyngeanalyse

Grunnlaget for områderapporten var en klyngeanalyse, basert på spectral clustering (Ng m.fl. 2001) som implementert i python-pakken scikit-learn (Pedegrosa m.fl., 2011). Et naturlig spørsmål er om tilsvarende teknikk vil virke til havs. Kan vi dele opp området utenfor grunnlinjen i naturlige områder, med liten smitteoverføring mellom områdene? Eller vil kyststrømmen og Atlanterhavsstrømmen gi så sterk utveksling at det hindrer en områdebasert forvaltning?

Spektral klyngeanalyse tar antall klynger som inndata og gir alltid en løsning. Kvaliteten på løsningen kan imidlertid variere. Her brukes total relativ import, andel av smitte på utaskjærs lokaliteter fra lokaliteter i andre klynger. Til sammenligning, for områdeinndelingen av kyst- og fjordlokaliteter, er denne relative importen på 0,9 %.

Vi prøver først 13 klynger som i områdeinndelingen. Resultatet er vist i figur 15. Ved første øyekast kan dette se ut som en fornuftig inndeling. Men importratene er høye, de varierer fra 4,6 til 14,0 %, total relativ import er 11 %. Med andre ord, områdene i kartet er ikke klart avgrensede når det gjelder lusesmitte.



Figur 15. Resultat av klyngeanalyse på havlokaliteter med 13 klynger

Generelt vil det sterke strømsystemet utaskjærs gjøre at tilstøtende områder får stor utveksling av lusesmitte. Regional inndeling med brede “branngater” mellom områdene kan derimot fungere bra. Dette ses på i neste kapittel.Det hjelper ikke stort å endre antall klynger. Når antall klynger øker, blir de mindre og relativ importrate øker. Med færre klynger avtar riktignok importraten, men selv med 5 klynger er den 3,7 %. Med så få klynger forsvinner hensikten med en regional inndeling.

7 – Fiskeridirektoratets mulighetsområder

Fiskeridirektoratet har, basert på annen bruk av sjøareal, definert 27 foreløpige mulighetsområder (MO). De er vist i figur 16. Figur 17 viser fordelingen av de virtuelle havlokalitetene i de ulike områdene. Mulighetsområdene er til dels langt til havs og dekker havområder utenfor de 60 nautiske mil hvor modellen har virtuelle lokaliteter. Områdene 6, 8 og 9 har derfor ingen modellokaliteter. I MO 12 og i noe mindre grad MO 4 og 7 dekker modellokalitetene bare en liten del av mulighetsområdet. MO 22 og 26 er små og ble uten virtuelle havlokaliteter. Spredningsmønstrene fra disse områdene forventes å være svært likt mønsteret fra de nærliggende områdene 21 og 25. Konnektivitetsanalysen er basert på smitte av lakselus, den smittekilden som har størst spredningsområde.

Figur 16. Fiskeridirektoratets 27 mulighetsområder. Kilde: Fiskeridirektoratet

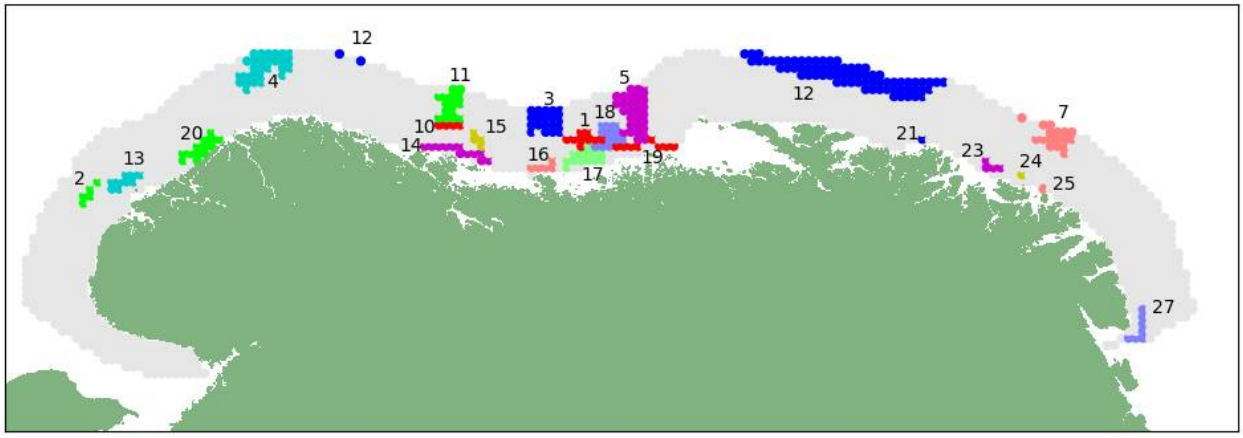


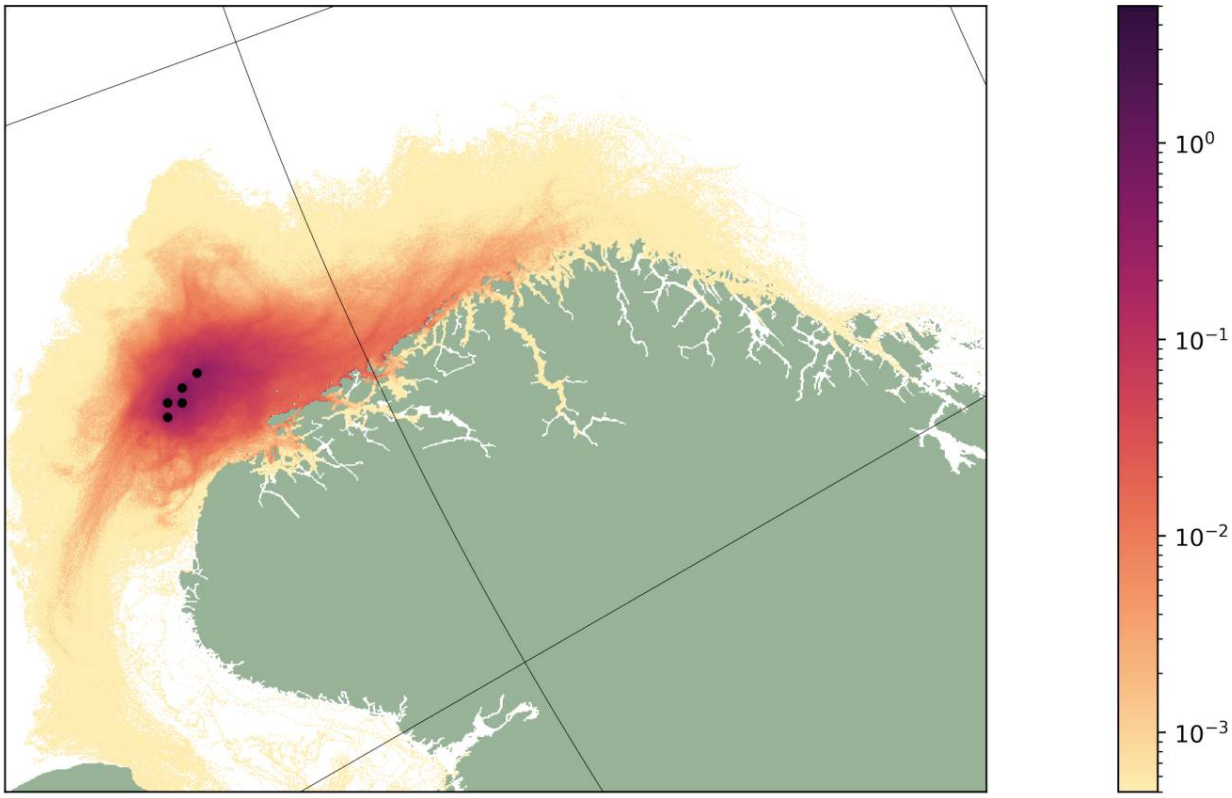
Figure 17. Virtuelle havlokaliteter fordelt på mulighetsområdene. Grå farge er utenfor alle områdene.

7.1 – Smittespredning fra mulighetsområdene

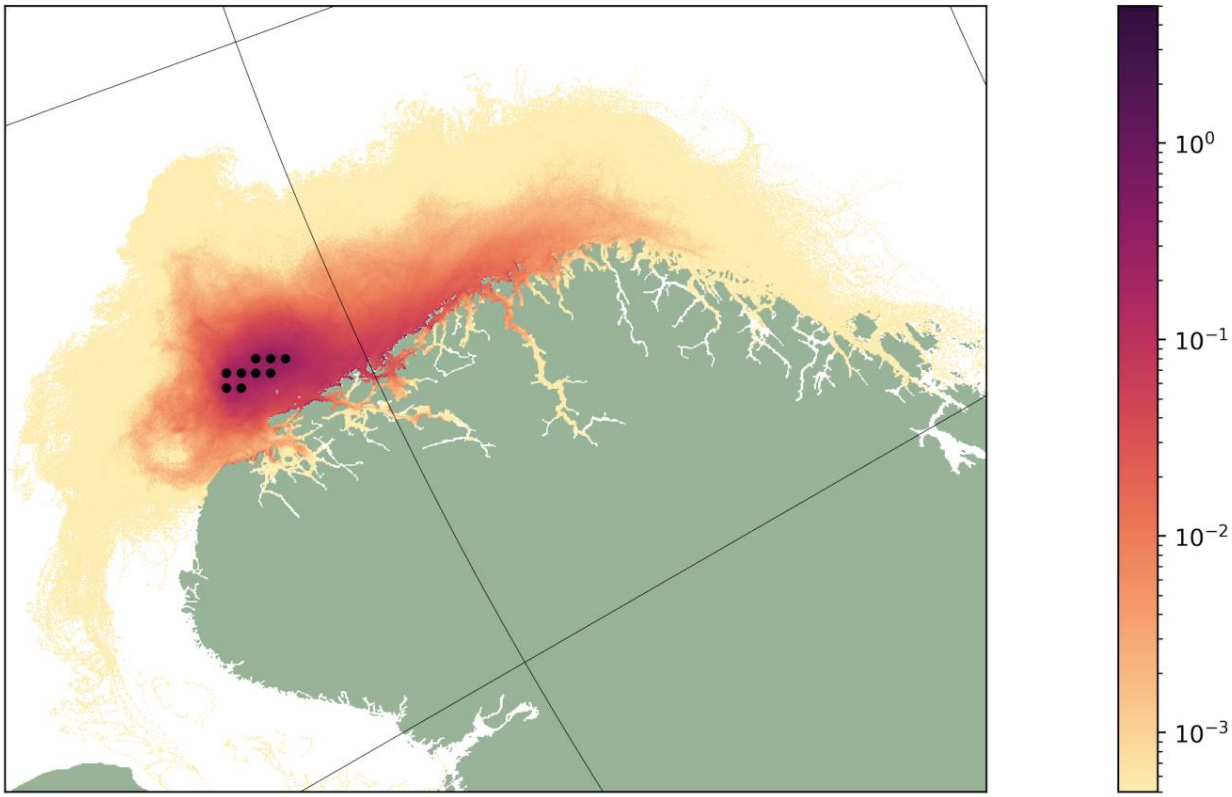
Figurene 18 til 31 viser de modellerte spredningsområdene fra de 22 inkluderte mulighetsområdene. Fortynningen er sterk, figurene vises med logaritmisk fargeskala for å få med detaljer lengre fra kildene. Skalaene er normert slik at alle områder sprer like mye lusesmitte, dette gjør bildene mer uavhengige av antall virtuelle kilder innenfor områdene.

De sørligste områdene MO 2, 13 og 20 sprer smitte langs Vestlandskysten. For MO 2 og 13, som ligger lenger fra land, fanges noe av den ytterste smitten opp av sørgående Atlanterhavsvann i Norskerenna mot Skagerrak. MO 4 som ligger lenger ute får en bred spredning med noe bidrag mot Mørekysten. MO 10, 14 og 15 får en spredning langs Trøndelagskysten, mens MO 11 lenger ute spres mer til havs. Spredningen fra MO 3, 1, 5, 16, 17, 18 og 19 deles i to greiner, en utenfor Helgeland og inn i Vestfjorden mens den andre svinger utenom Lofoten. De kystnære områdene MO 17, 18 og 19 har sterkest bidrag til Vestfjorden.

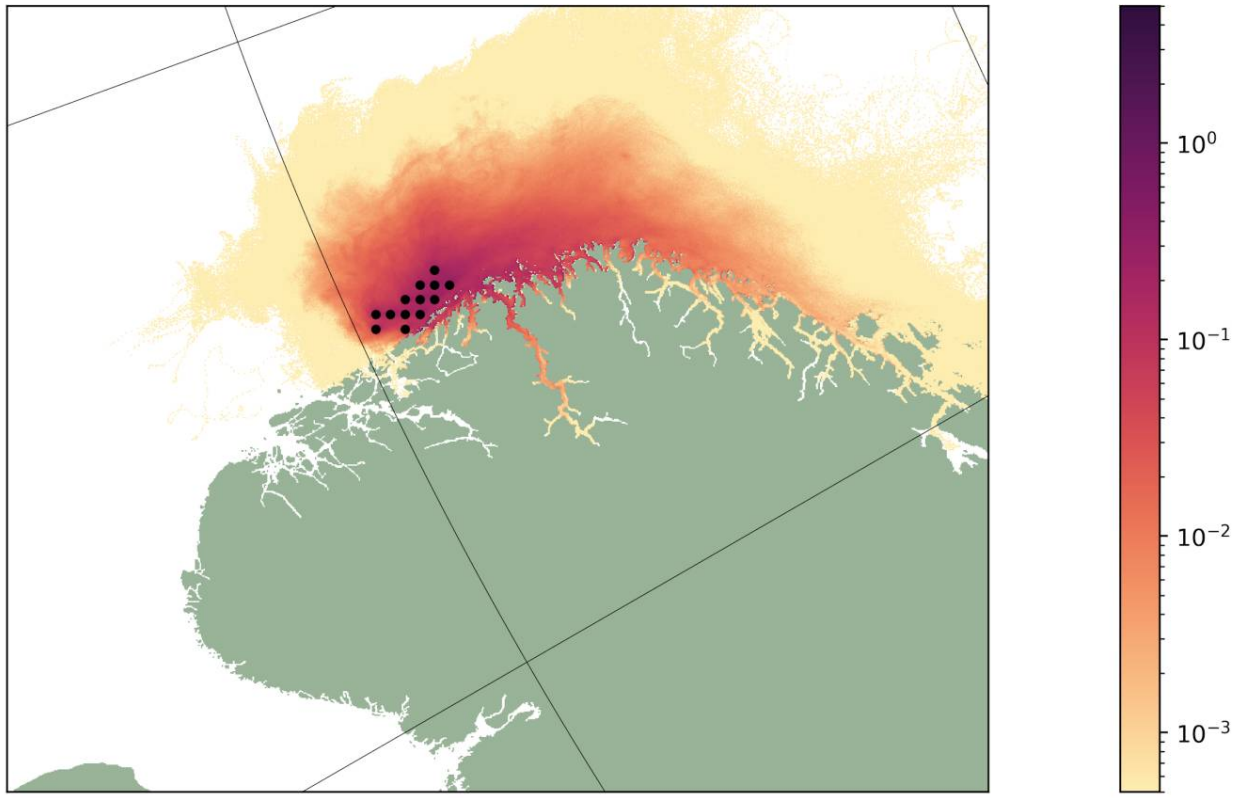
MO 12 er langt ute. Det får stor smittespredning og bidrar i liten grad på kysten. Størstedelen av MO 12 er ikke med i beregningene men forventes i enda høyere grad å bidra til stor spredning og uttynning til havs. MO 7 spres i stor grad over Tromsøflaket. De kystnære områdene MO 21, 23, 24 og 25 spres langs Finnmarkskysten. Det forventes tilsvarende spredningsmønstre fra MO 22 og 26. MO 21 har også en nordgående grein ut på Tromsøflaket. Det siste området, MO 27 sprer smitte til Varangerfjorden og østover inn i russisk sone.



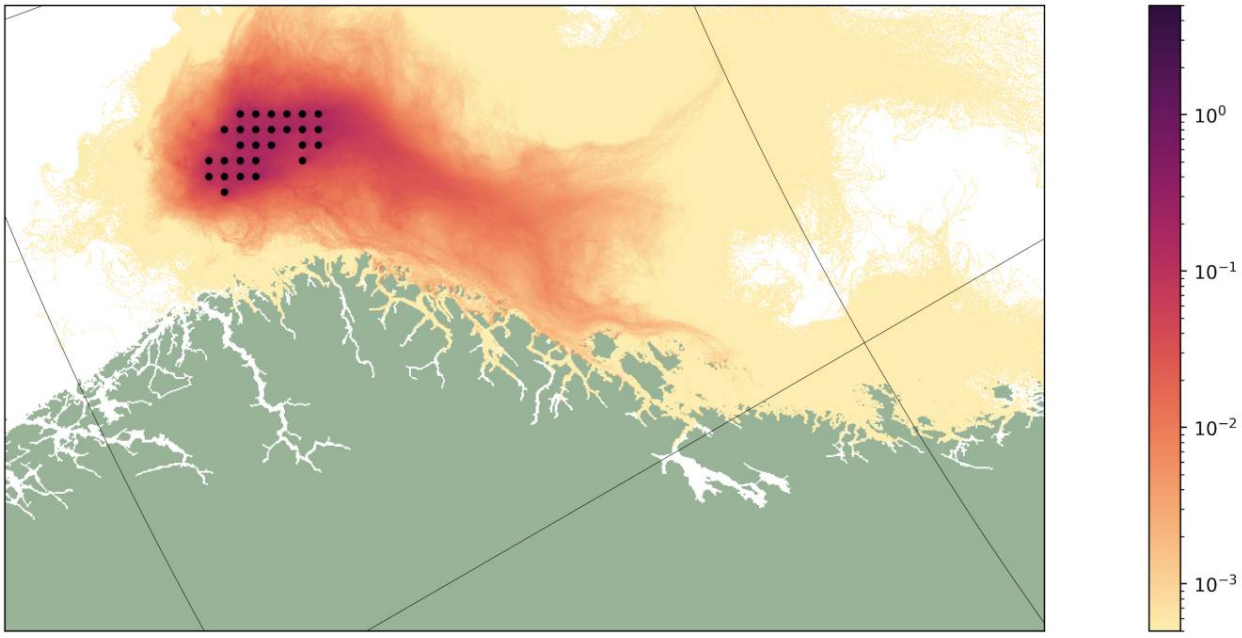
Figur 18. Modellert spredning fra MO 2. Nivået er normalisert til å være uavhengig av antall virtuelle lokaliteter. Lokalitetene er vist som svarte prikker. Fargeskala er logaritmisk. Laveste verdi som vises er 0.1 promille av høyeste konsentrasjon.



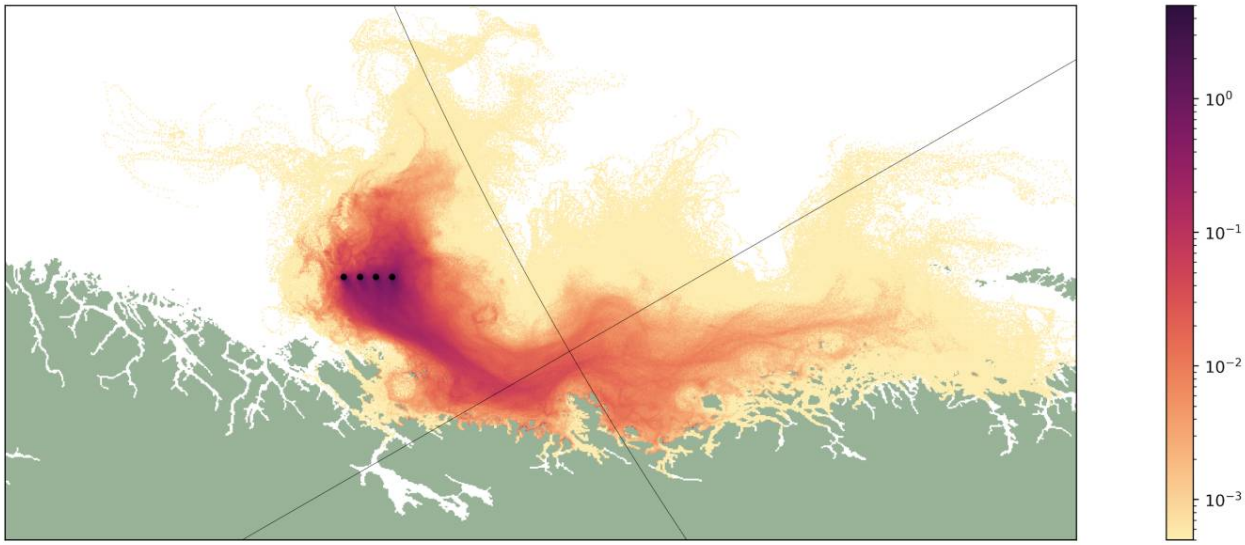
Figur 19: Som figur 18, for MO 13.



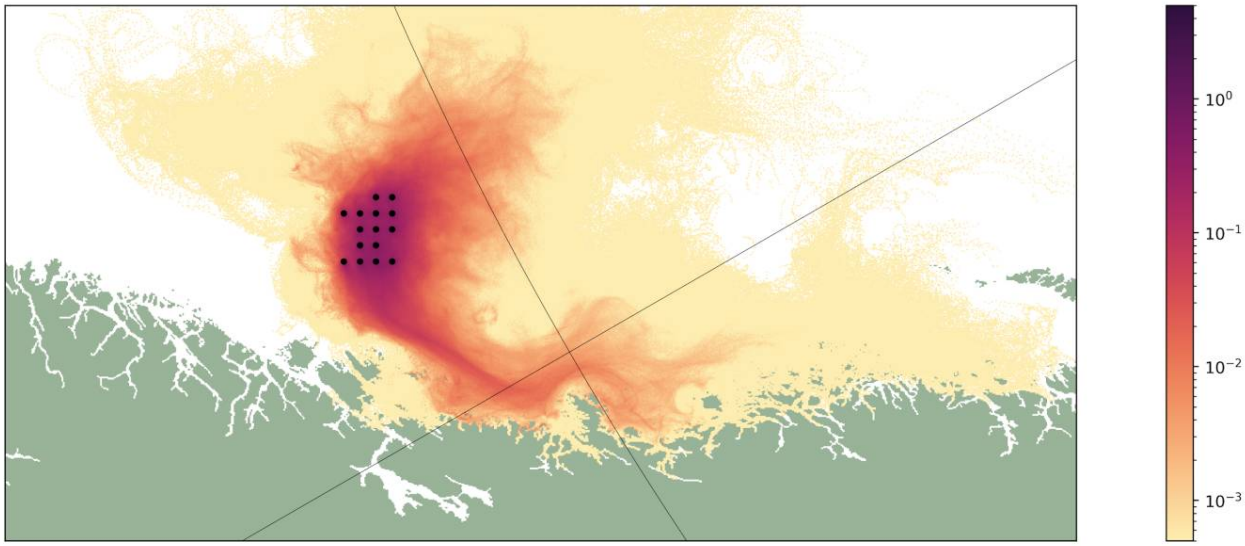
Figur 20: Som figur 18, for MO 20.



Figur 21: Som figur 18, for MO 4.



Figur 22: Som figur 18, for MO 10



Figur 23: som figur 18, for MO 11

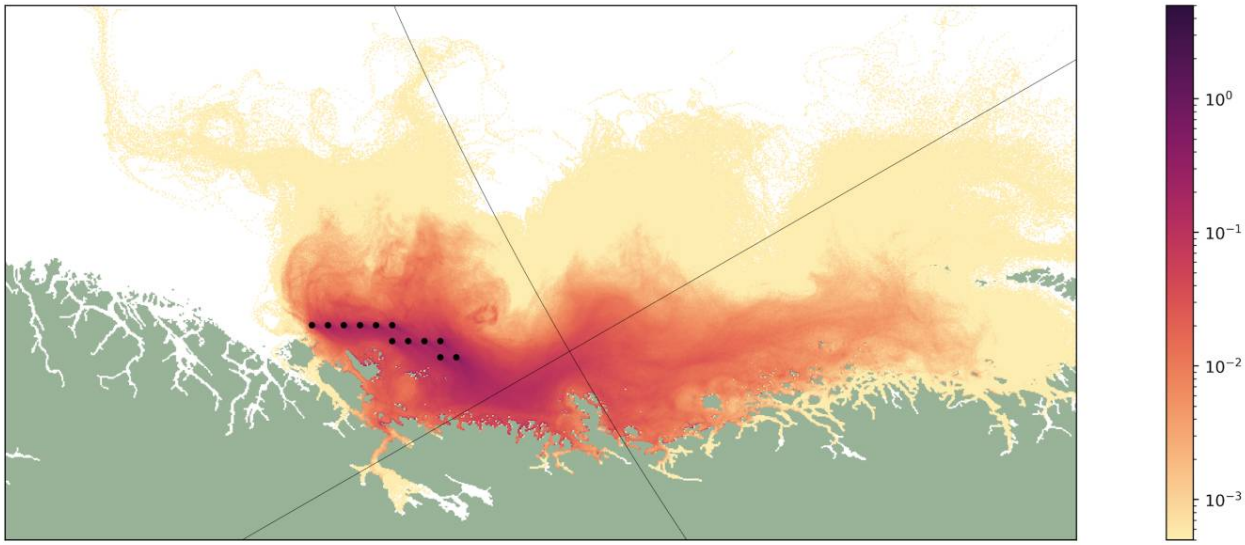
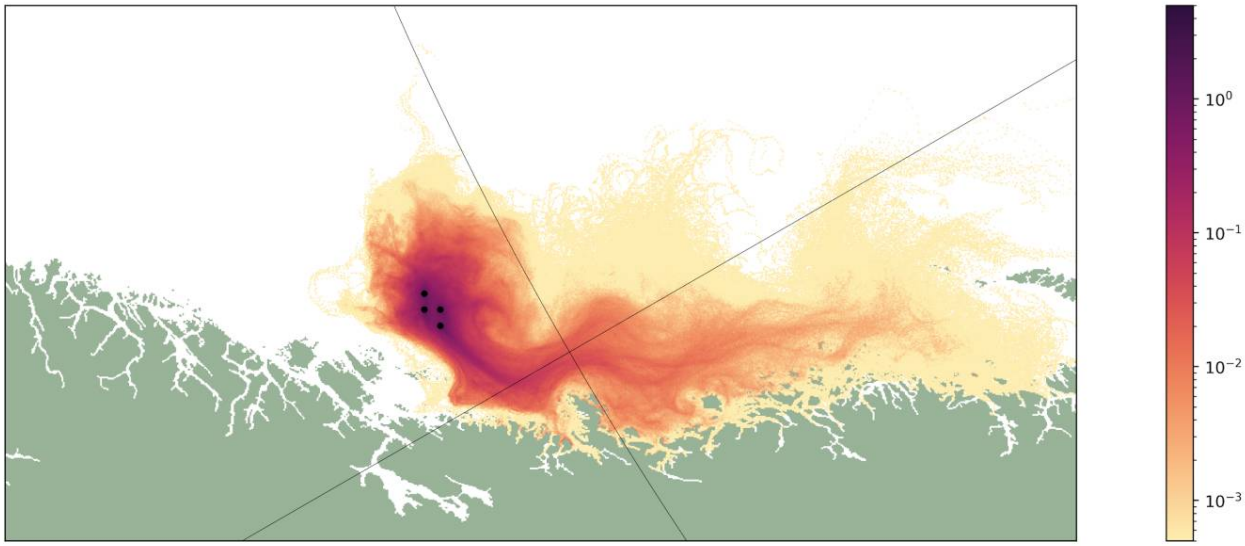
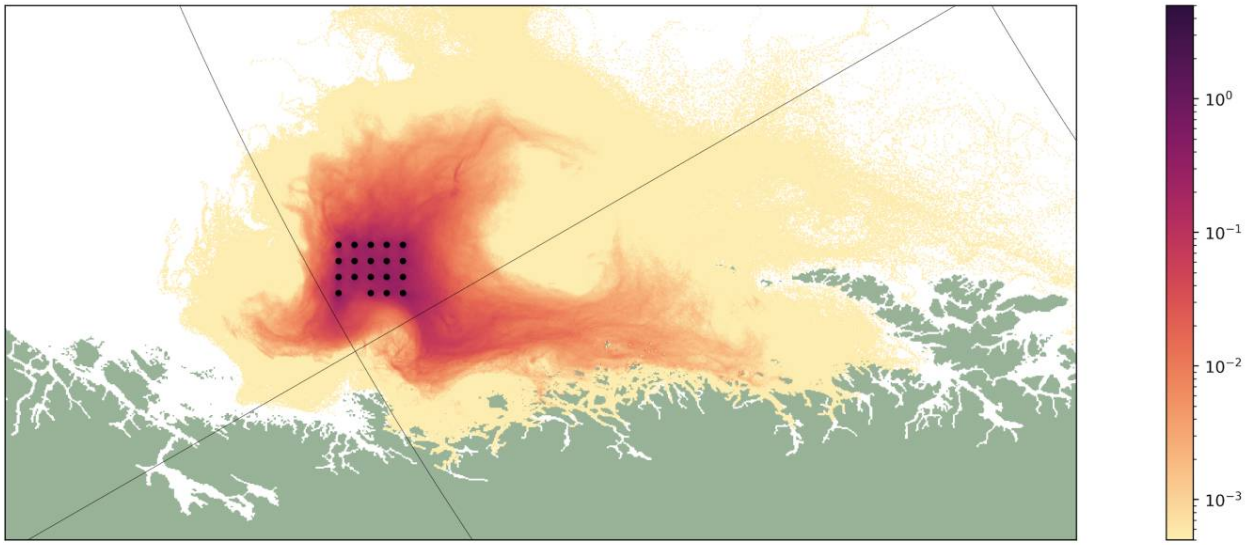


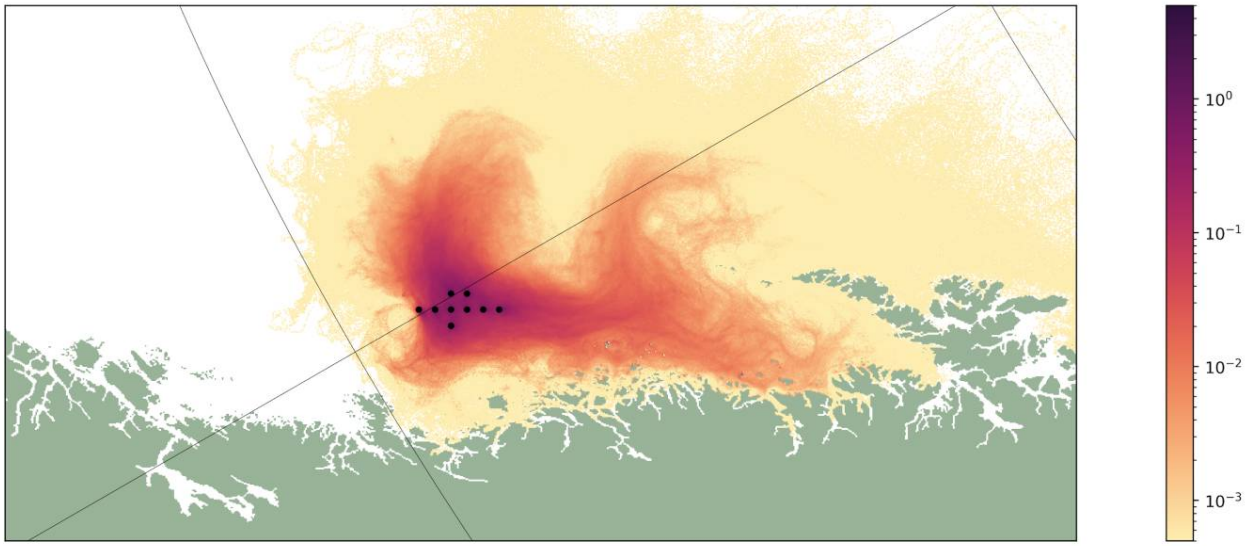
Figure 24: som figur 18, for MO 14.



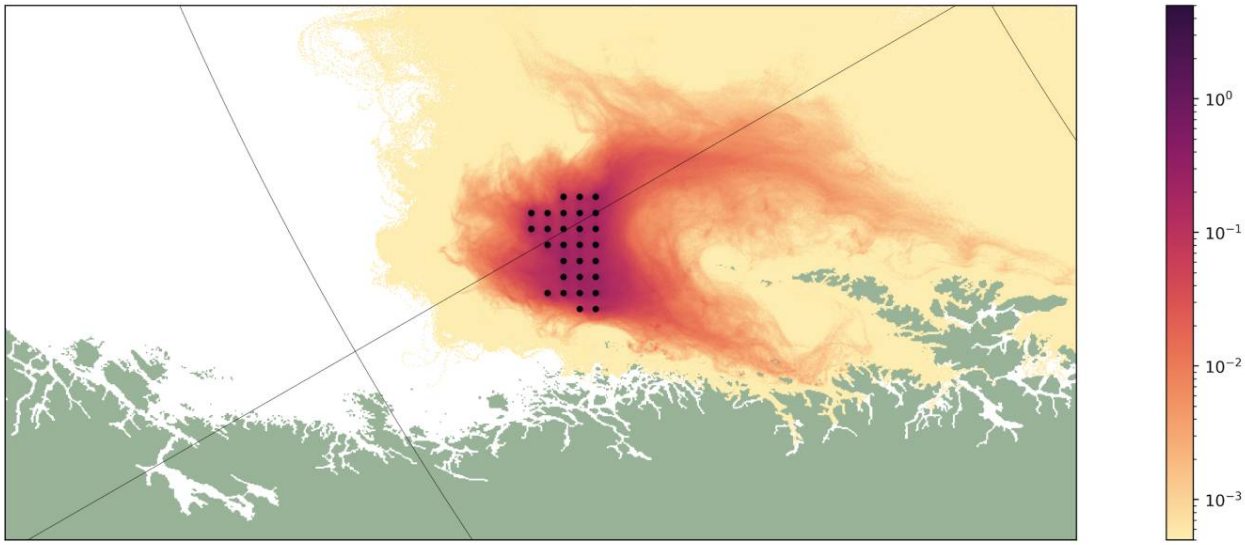
Figur 25: som figur 18, for MO 15.



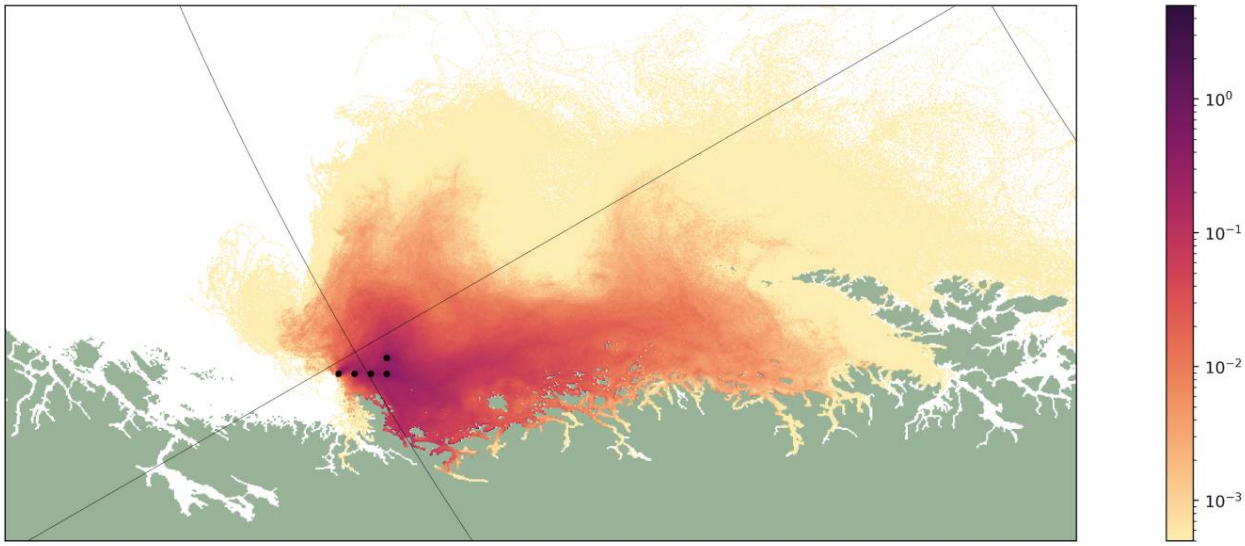
Figur 26: som figur 18, for MO 3.



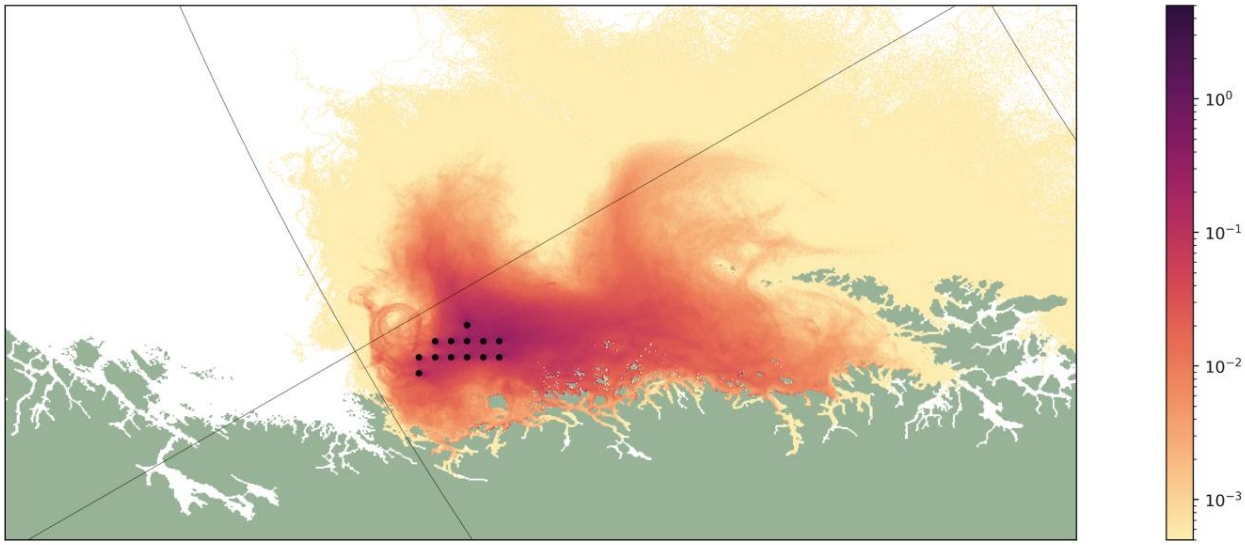
Figur 27: Som figur 18, for MO 1.



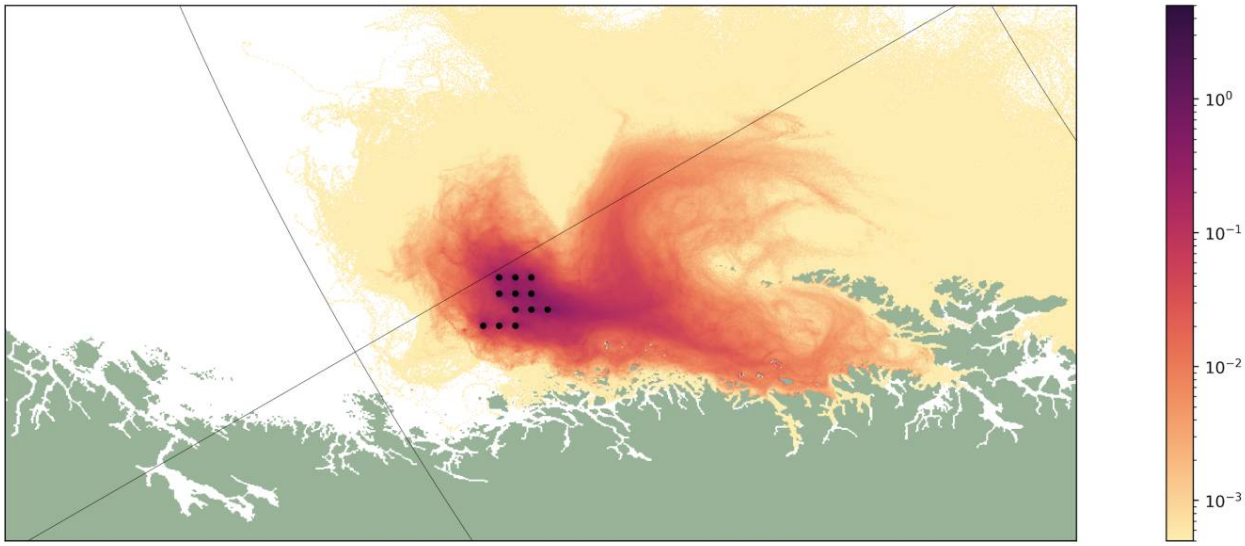
Figur 28: Som figur 18, for MO 5.



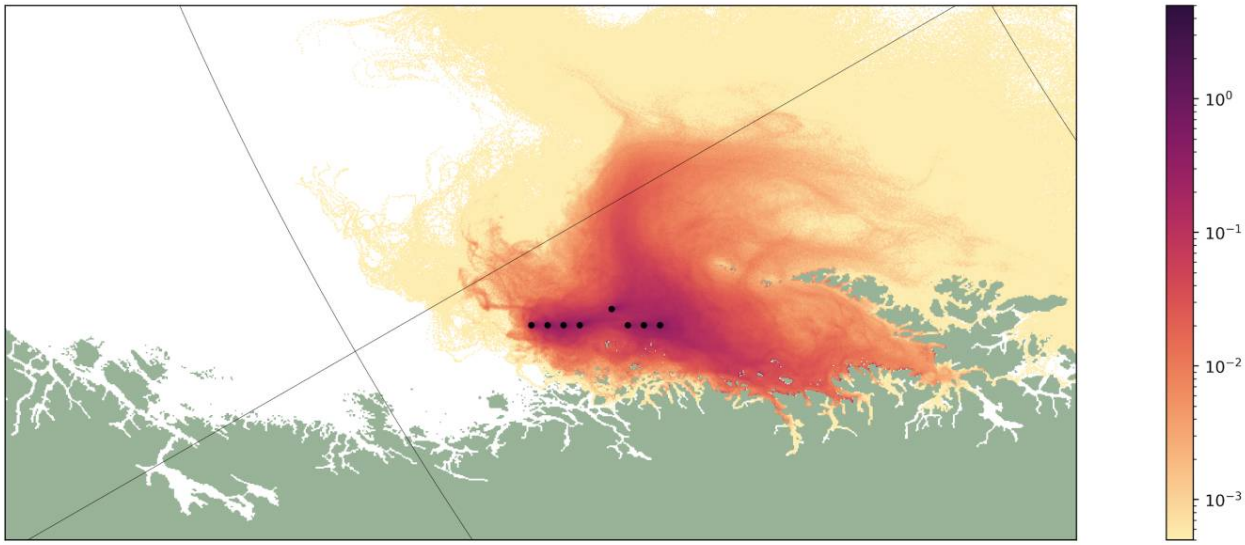
Figur 29: Som figur 18, for MO 16.



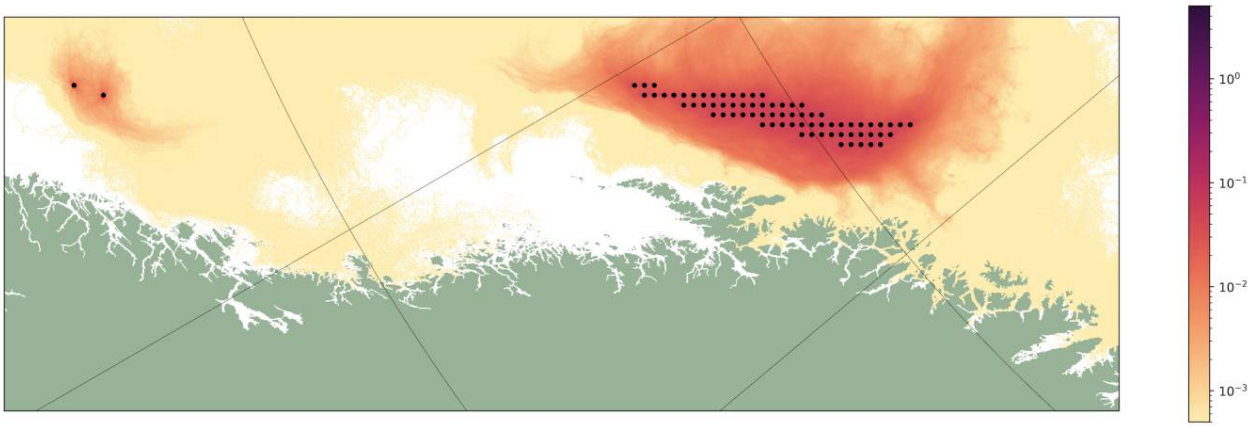
Figur 30: Som figur 18, for MO 17.



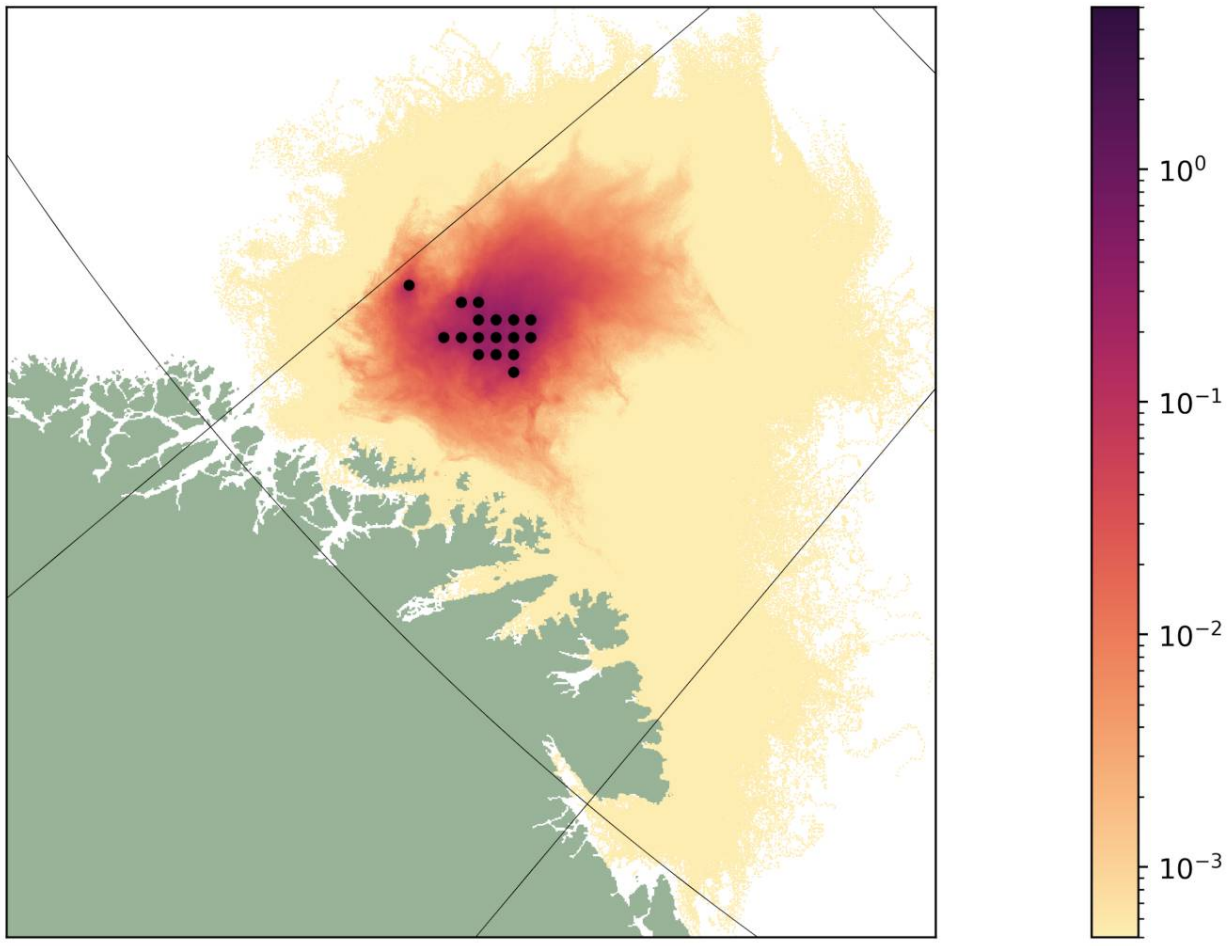
Figur 31: Som figur 18, for MO 18.



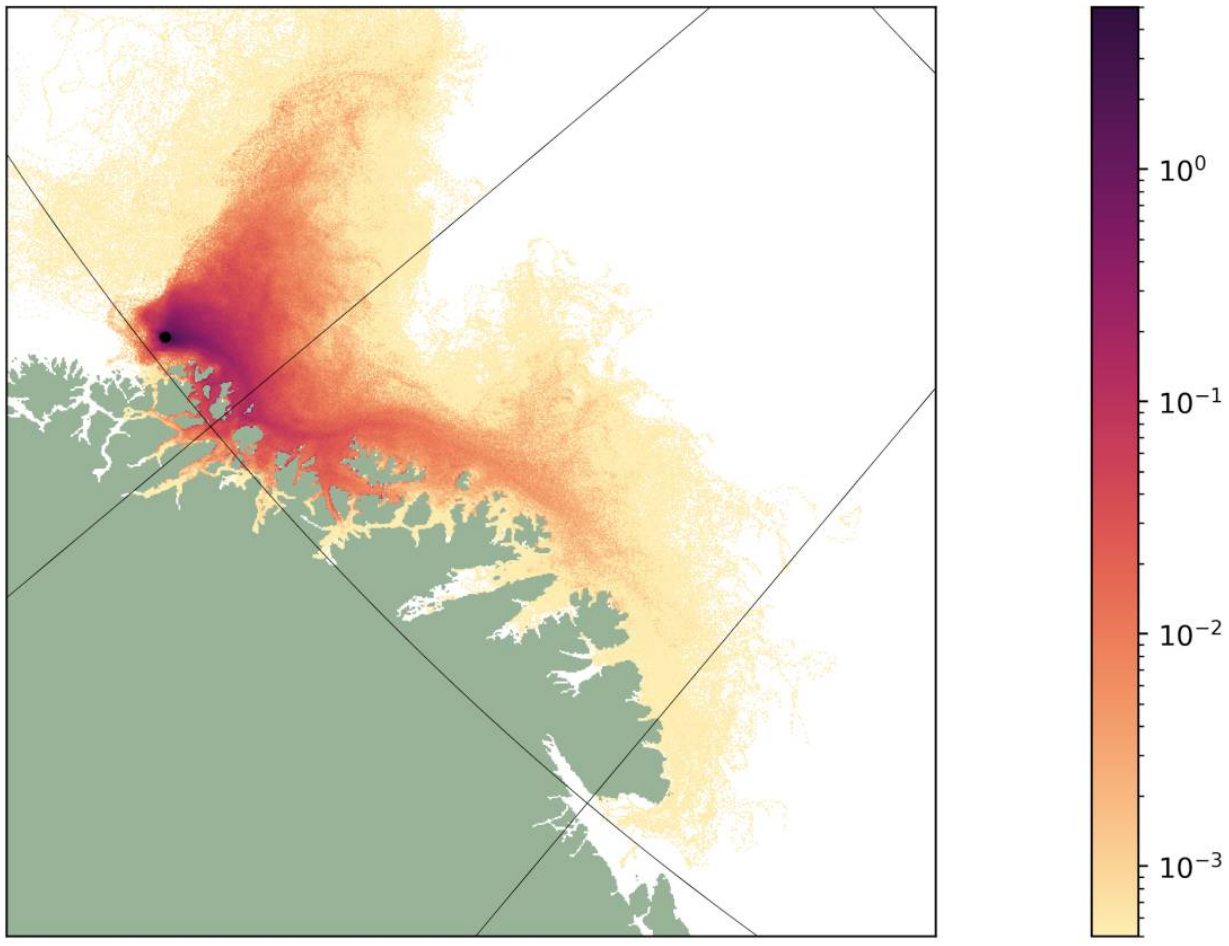
Figur 32: Som figur 18, for MO 19.



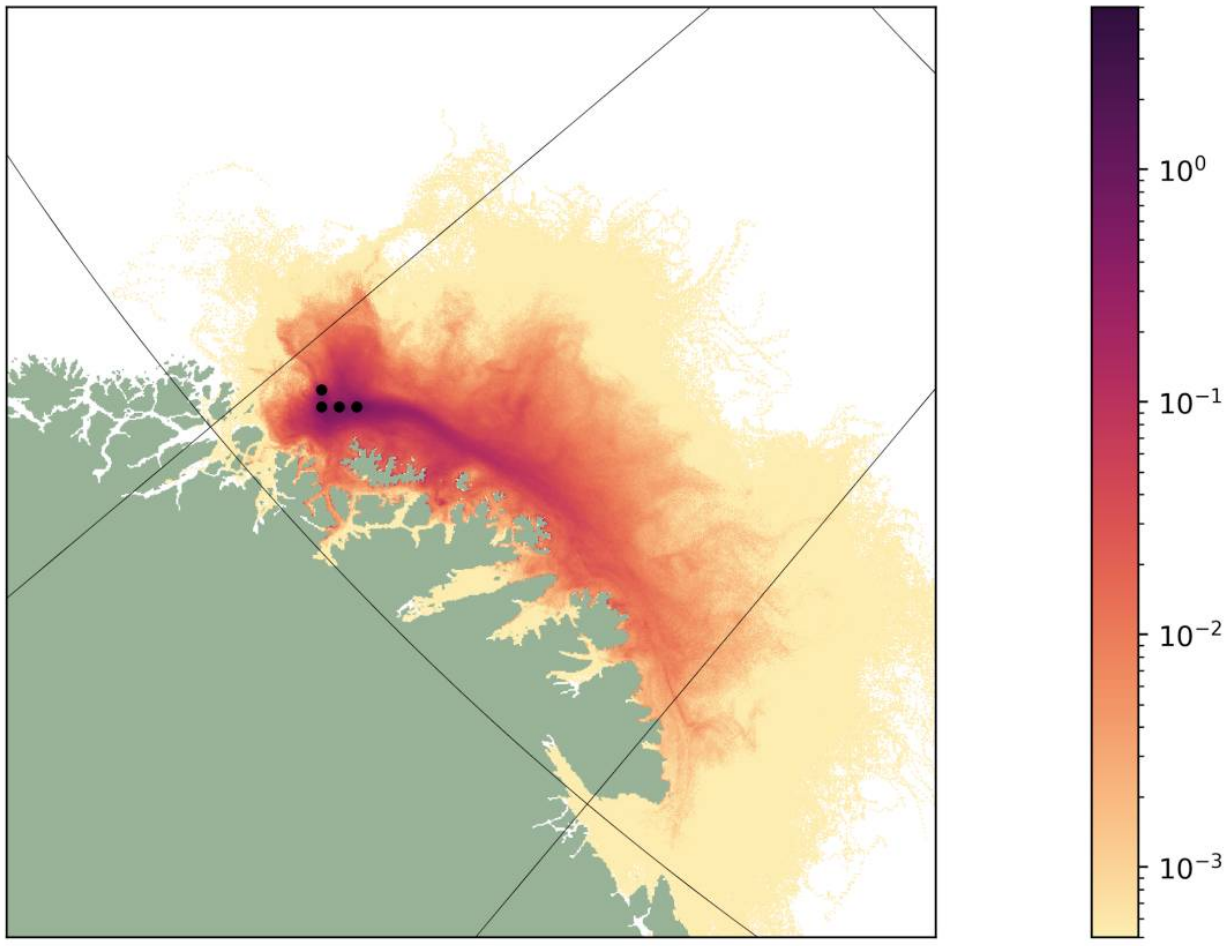
Figur 33: Som figur 18, for MO 12.



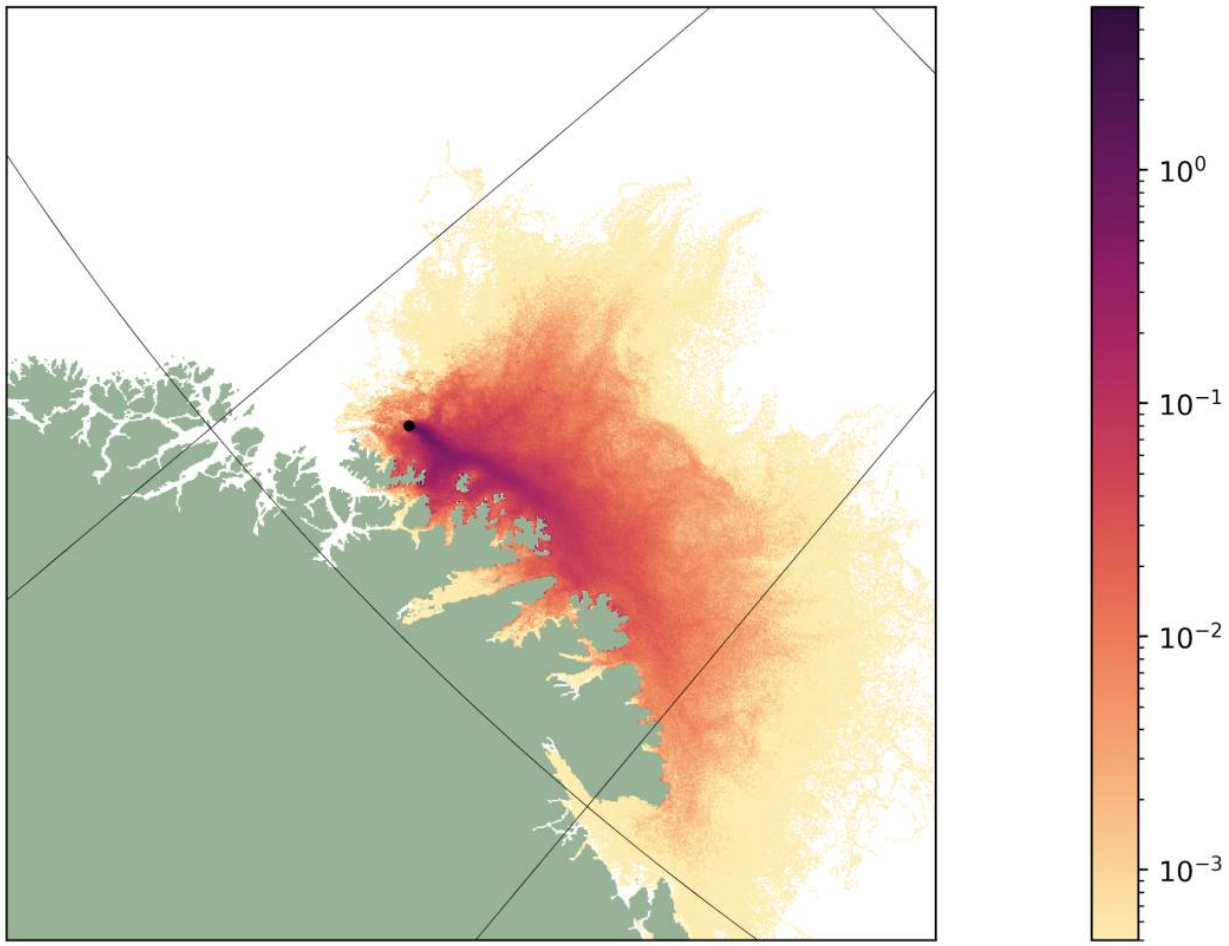
Figur 34: Som figur 18, for MO 7.



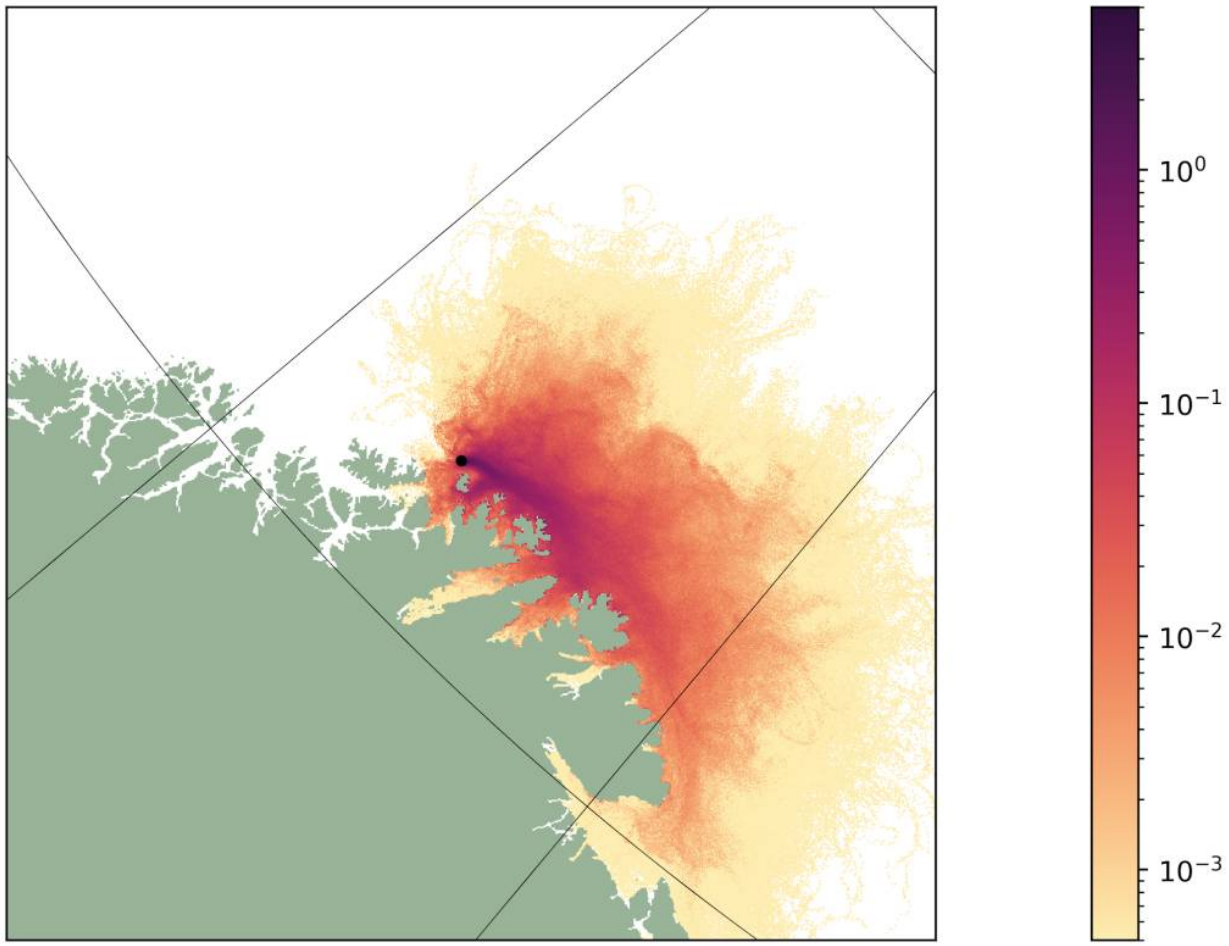
Figur 35: Som figur 18, for MO 21.



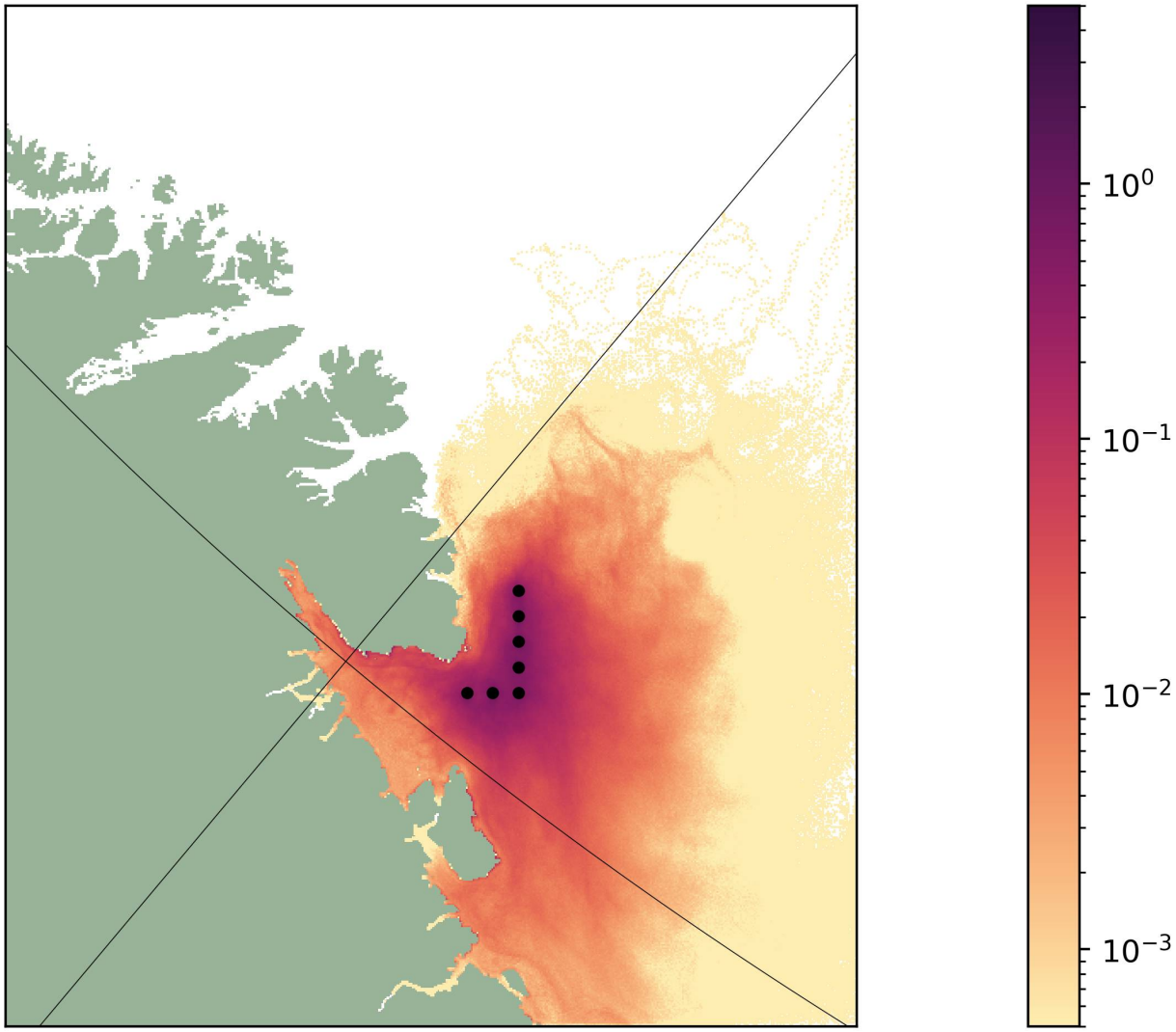
Figur 36: Som figur 18, for MO 23.



Figur 37: Som figur 18, for MO 24.



Figur 38: Som figur 18, for MO 25.

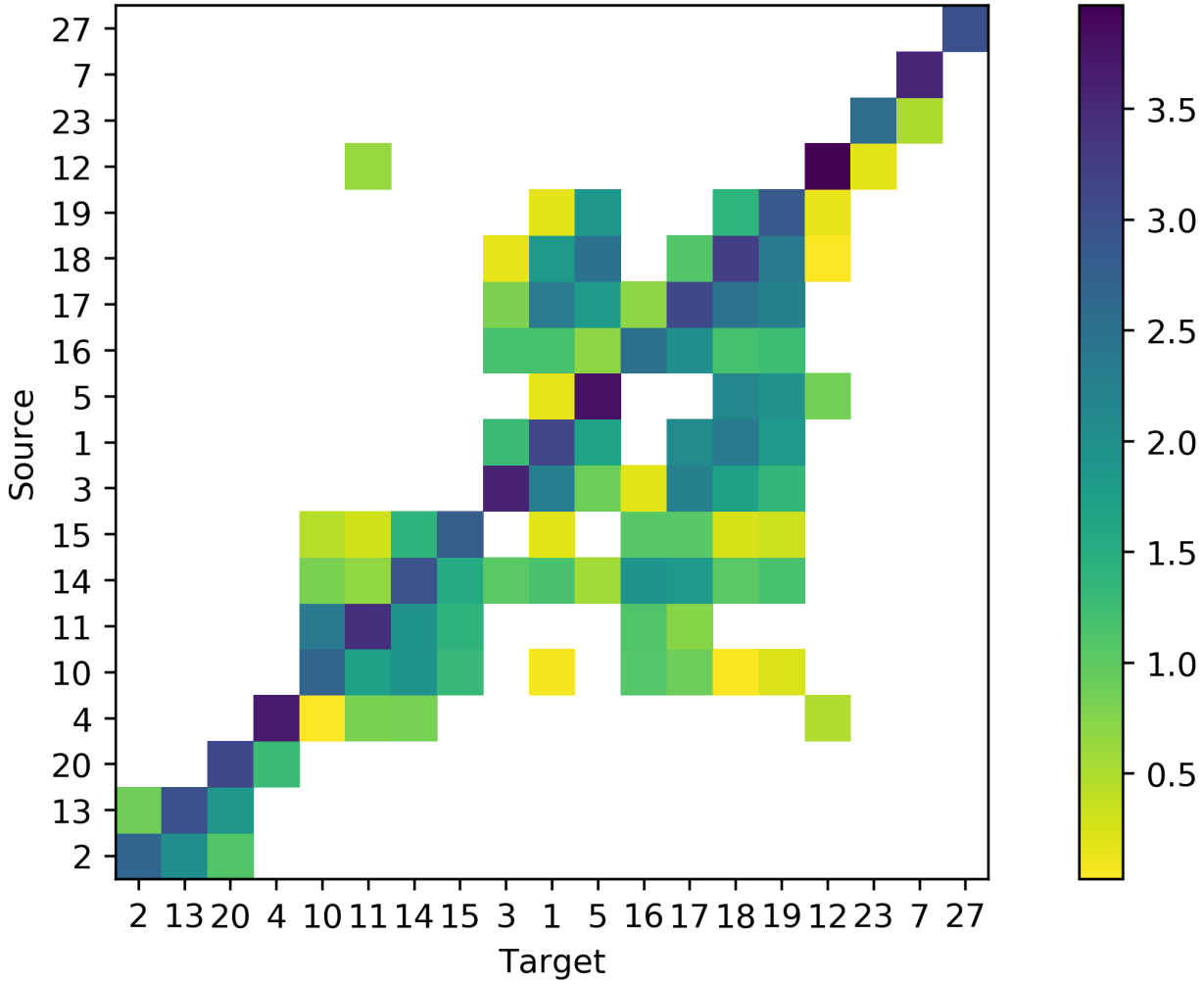


Figur 39: Som figur 18, for MO 27.

7.2 – Konnektivitet mellom mulighetsområdene

Konnektiviteten mellom mulighetsområdene er vist i figur 40. Områdene er sortert etter den dominerende strømretning fra sør til nord langs kysten. Det er ikke justert for antall kilder i området. For eksempel MO 1 smitter mest seg selv og MO 18, deretter 17 og 19 og i mindre grad 5 og 3. Figuren viser en struktur hvor grupper av områder smitter hverandre kraftig innbyrdes. Spesielt områdene 10, 11, 14 og 15 danner en klar blokk. På samme måte danner MO 3, 1, 5, 16, 17, 18 og 19 en blokk. I nedre venstre hjørne er det litt mer uklart om MO 20 skal inngå i en blokk med 2 og 13 eller 4.

Tabell 1 gir en oversikt over mulighetsområdene. Antall er antallet virtuelle havlokaliteter inkludert i analysen. Import er relativ import i prosent, andelen importen fra alle andre områder utgjør av det totale smittepresset i området. Denne importraten varierer stort, fra 0,1 til 46,3%. De største verdiene framkommer i mulighetsområder som ligger tett på men nedstrøms for andre områder.



Figur 40. Konnektivitetsmatrise for spredning av smitte av lakselus mellom mulighetsområder. Bemerk logaritmisk fargeskala.

MO	Antall	Import %	MO	Antall	Import %
1	9	27,0	15	4	11,9
2	5	1,6	16	5	27,6
3	19	1,4	17	13	29,1
4	28	0,4	18	12	30,0
5	29	7,6	19	8	46,3
7	17	0,1	20	13	6,3
10	4	32,1	21	1	2,1
11	15	2,5	23	4	0,9
12	74	0,1	24	1	19,7
13	9	9,7	25	1	25,2
14	12	18,1	27	7	0,1

Tabell 1: Antall lokaliteter og relativ import av lusesmitte per mulighetsområde. Importen er i prosent av totalt smittepress på de virtuelle lokalitetene i området.

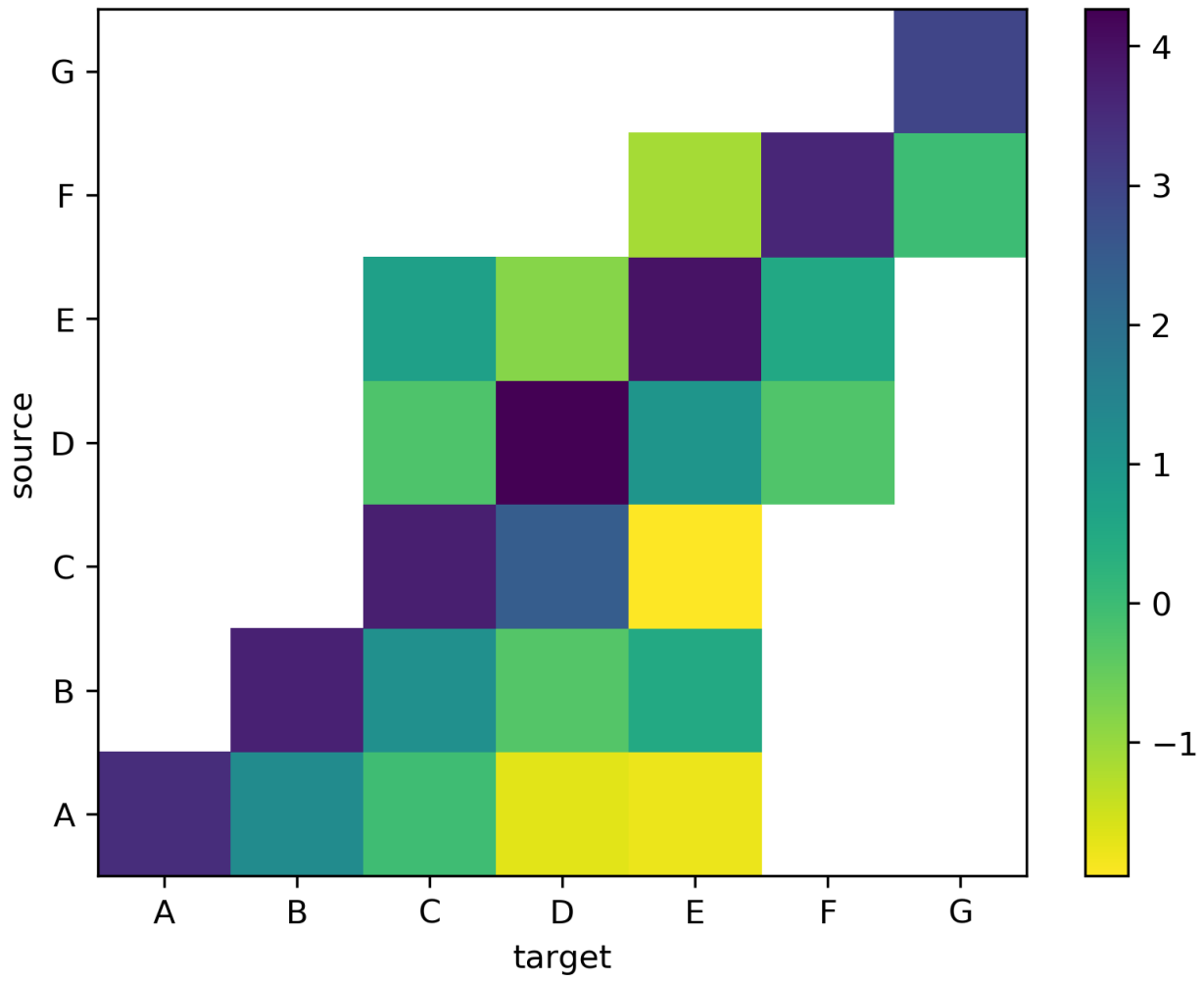
Både figur 40 og tabell 1 over tilsier at det er naturlig å betrakte grupper av mulighetsområder som enheter for

smittespredning. Avgrensingen er også naturlig geografisk, se kart i figur 16.

	Mulighetsområder
A	2, 13, 20
B	4
C	10, 11, 14, 15
D	1, 3, 5, 16, 17, 18, 19
E	12
F	7, 21, 23, 24, 25
G	27

Tabell 2: Inndeling av mulighetsområdene i klynger.

Konnektiviteten mellom disse klyngene er vist i figur 41 under. Her er en veldig dominans av diagonalen, med andre ord klyngene omkapsler lusesmitten. Tabell 3 viser dette kvantitativt. Importert smitte fra andre klynger utgjør 1,5 prosent eller av totalt smittepress i klyngen, faktisk under 0,5 prosent bortsett fra klynge D som ikke ligger alt for langt oppstrøms fra C. For klynge E = MO 12 er bare en liten del av området med i beregningen, eventuell utbygging av lokaliteter utenfor 60 nm kan bidra med mer smitte.



Figur 41: Konnektivitet mellom klyngene av mulighetsområder

Klynge	A	B	C	D	E	F	G
Import %	0,0	0,4	0,4	1,5	0,1	0,1	0,1

Tabell 3: Relativ smitteimport i prosent til de ulike klyngene av mulighetsområder

8 – Oppsummering og diskusjon

Denne rapporten bruker kombinasjon av strømmodell og partikkeltransportmodell til å estimere smitte mellom hav- og kystlokaliteter og innbyrdes mellom havlokaliteter. Metoden er tilsvarende som brukt i områderapporten (Ådlandsvik, 2015). Resultatene bør ikke være overraskende, de stemmer overens med den generelle kunnskapen vi har om strømforholdene i norske farvann. Bruk av modellering gjør at vi får mer kvantitative resultater.

Blant hovedresultatene er at smitte fra åpne anlegg til havs, ut til 20–30 nautiske mil i nord fra grunnlinjen kan smitte kystlokaliteter. Største distansen på 30 nm gjelder Sør-Norge, mens 20 nm er nok i nord. Lengre ute er smittepotensialet lavere og ubetydelig sammenlignet med smittepotensiale mellom eksisterende kystlokaliteter. Samme avstand fra grunnlinjen fungerer også for smitte fra kystlokaliteter til havlokaliteter. Et særtrekk ved smitte til havs er den sterke spredningen med den dominerende strømretning. For Fiskeridirektoratets mulighetsområder vises dette klart i figurene 18–39. En konsekvens er at smitte fra land lett kan ramme havlokaliteter i neste produksjonsområde som så i sin tur kan smitte kystlokaliteter enda lengre nord. Dette gir litt motstridende signaler til forvaltningen. På den ene siden kan anlegg til havs påvirke produksjonsområdene langs kysten, og på den annen side kan de bidra til å øke konnektiviteten på tvers av produksjonsområdene. Dette er behandlet i en egen rapport (Ådlandsvik, 2019) om yttergrensene til produksjonsområdene. Uavhenging av yttergrensene vil havlokaliteter innenfor 20–30 nm utenfor produksjonsområder med dokumenterte luseproblemer i trafikklyssystemet, kunne forverre situasjonen i produksjonsområdet.

Et annet forhold er mulighetene for at havlokaliteter smitter hverandre. Også her ses det på lakselus som transporteres lengst. De virtuelle havlokalitetene ligger tett, og det er betydelig smittespredning fra anlegg til anlegg. Figurene viser at de største smitteeksportørene ligger i et bånd langs kysten. Budskapet fra denne modelløvelsen er at en bør unngå å legge havlokaliteter på rekke og rad langs en dominerende strømretning. Nærliggende lokaliteter bør heller legges på tvers av strømmen. En konsekvens av strømmen og fravær av kyst og øyer, er at det ikke går å etablere tilstøtende områder som er smittemessig isolerte fra hverandre. Det er imidlertid mulig å få til slike områder dersom en har tilstrekkelig brede oppdrettsfrie branngater mellom.

En svakhet med denne rapporten er at den bare omhandler virtuelle lokaliteter ut til 60 nm utenfor grunnlinjen. Lokaliteter lengre ute vil i all hovedsak være smittemessig isolert fra kysten. De generelle rådene over om å legge lokaliteter på tvers av strømgreiner og skille grupper av lokaliteter fra hverandre med branngater, gjelder selvsagt også lengre ute. Det er fullt mulig å gjennomføre modellkjøringer med virtuelle lokaliteter utenfor 60 nm. Dette er vurdert til å ikke være nødvendig bl.a. utfra signaler fra næringen om liten interesse for havbruk så langt til havs.

Fiskeridirektoratet har lansert 27 mulighetsområder (MO) som unngår arealkonflikt med annen bruk. Disse områdene (innenfor 60 nm) er vurdert for konnektivitet av lusesmitte. Noen av områdene ligger tett, med betydelig smittutveksling. Men områdene danner naturlig 7 klynger som er smittemessig isolerte. MO 12 er svært stort utenfor 60 nm, og kan potensielt smitte alle bortsett fra det sørligste av disse klyngene. Området passer ikke inn i klyngestrukturen og kan fortrinnsvis deles opp i flere mindre områder med branngater mellom. Noen av de mindre områdene ligger tett på grunnlinjen og vil kunne smitte produksjonsområdene innenfor. Spesielt MO 13 og 20 vil gi et ekstra smittetrykk til PO 4 og PO 3 som har en vanskelig lusesituasjon i utgangspunktet.

Havbruk til havs kan smitte villaks, både i beiteområder og utvandrende post-smolt. Kapittel 4 i delrapport 2 (Albretsen m.fl. 2019) omhandler laksens områder til havs og vandringsruter. Her pekes det på at kunnskapen

er mangelfull. Utfra dette finner vi at kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig for et eget kapittel her med kvantitativ analyse av smittepåvirkning fra havlokaliteter. Mest interessant er figur 4.4 i delrapport 2 som angir en forventet tetthet av utvandrende post-smolt under forutsetning om at den vandrer rett til havs når den er kommet ut fra fjordene. Dette gir størst tetthet av post-smolt utenfor Trondheimsfjorden. Figurene 22–25 tyder på at denne utvandringen kan være sårbar for smitte fra klyngen med mulighetsområdene 10, 11, 14, 15. Hvis post-smolten derimot følger kyststrømmen nordover etter å ha kommet ut fra fjorden, vil smittefaren være lavere.

Havlokaliteter forventes å være store og kostbare. Det bør derfor være en grundig prosess i forkant av etablering. Strømforhold og smittespredning må være en integrert del av slike undersøkelser. Her er det ikke nok med bare modeller, omfattende strømmålinger i området anbefales i tillegg.

Referanser

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, Havforskningsinstituttet. https://www.imr.no/filarkiv/2011/07/fh_2-2011_til_web.pdf/nb-no

J. Albretsen m.fl., 2019, Delrapport 2: Havbruk til havs – fysiske miljøbetingelser og økosystempåvirkning, Havforskningsinstituttet.

Anon., 2019, Havbruk til havs, rapport fra interdepartemental arbeidsgruppe, Nærings- og fiskeridepartementet, https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/havbruk-til-havs/id2625352/

M.S. Myksvoll, A.D. Sandvik, J. Albretsen, L. Asplin, I.A. Johnsen, Ø. Karlsen, N.M. Kristensen, A. Melsom, J. Skarðhamar, og B. Ådlandsvik, 2018, Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system—From physics to fish, PLoS ONE, 13, e0201338

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.D. Sandvik, P.A. Bjørn, B. Ådlandsvik, L. Asplin, J. Skarðhamar, I.A. Johnsen, M. Myksvoll, og M.D. Skogen, 2016, Toward a model-based prediction system for salmon lice infestation pressure, Aquacult Environ Interact, 8, 527–542.

R. Sætre (red.), 2007, The Norwegian Coastal Current – Oceanography and Climate, Tapir Academic Press, Trondheim.

B. Ådlandsvik, 2015, Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett. Rapport fra Havforskningen. 2015;20, 59 s. Havforskningsinstituttet. https://www.hi.no/filarkiv/2015/12/produksjonsomrader_rapp_20-2015.pdf/nb-no

B. Ådlandsvik, 2019, Havbruk til havs – yttergrenser for produksjonsområdene, Rapport fra Havforskningsinstituttet til Nærings- og Fiskeridepartementet med utsatt offentlighet.

B. Ådlandsvik, 2019, LADiM documentation, https://ladim.readthedocs.io

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no