

2020:00381 - Fortrolig

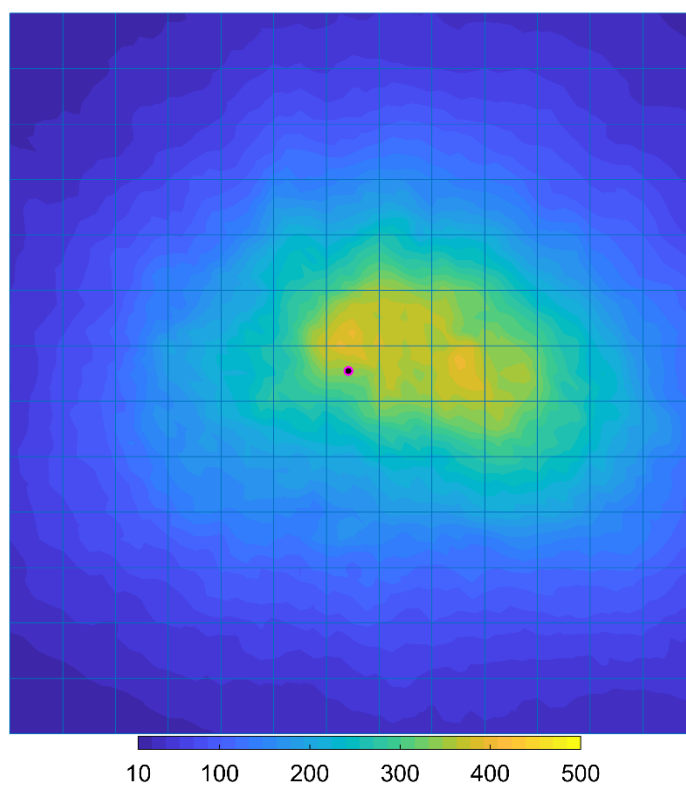
Rapport

Områderelatert konsekvensutredning for Smart Fish Farm

Vurdering av et egnet område for offshore havbruk med SFF
Del G: Modellering av spredning av fekalier og fôrspill

Forfatter(e)

Ragnhild L. Daae
Ole Jacob Broch



SINTEF Ocean AS

Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Områderelatert konsekvensutredning for Smart Fish Farm

Vurdering av et egnet område for offshore havbruk med SFF
Del G: Modellering av spredning av fekalier og fôrspill

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2020:00381	302004750/302006330	6.0	2021-03-19

EMNEORD:
SINMOD
DREAM
Modellering
Spredning
Fekalier
Fôrspill

FORFATTER(E)
Ragnhild L. Daae
Ole Jacob Broch

OPPDRAGSGIVER(E)
MariCulture

OPPDRAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER:
Jan Vatsvåg	15

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Fortrolig	Fortrolig	

SAMMENDRAG

SINTEF har på oppdrag fra MariCulture AS utført studien 'Program for områderelatert konsekvensutredning' for å finne og vurdere et område i produksjonsområde 6 (PO6) for plassering av Smart Fish Farm (SFF).

Gjennom en interaktiv prosess kom SINTEF Ocean og MariCulture fram til et område nordøst for Frøyabanken som ble videre undersøkt for påvirkning gjennom regulære utslipp av fekalier og fôrspill fra SFF gjennom en 12 måneder lang periode.

Det er modellert to ulike år, ett med lavere strømhastighet, og ett med høyere strømhastighet.

Beregningene for fekalier og fôrspill som er brukt i simuleringen er basert på en total biomasse på 19 000 tonn.



UTARBEIDET AV
Ragnhild L. Daae

KONTROLLERT AV
Ute Brønner

GODKJENT AV
Andy Booth

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjeningsprosedyre og er sikret digitalt

PROSJEKTNR
302004750

RAPPORTNR
2020:00381

VERSJON
6.0

Side G1 av G15

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2020-04-21	Første rapportutkast
2.0	2020-04-24	Andre rapportutkast
3.0	2020-10-05	Oppdatert med ny posisjon for SFF
4.0	2020-10-23	Oppdatert med oppskalerte verdier
4.1	2020-10-26	Oppdatert med kolonne i Tabell G1 som viser oppskalerte verdier
5.0		
6.0	2021-03-19	Oppdatert med ny posisjon for SFF, samt ny modellering med biomasse på 19 000 tonn.

Innholdsfortegnelse

G.1	Innledning	5
G.2	Hovedresultater og konklusjoner	5
G.3	Beskrivelse av modellene	5
	G.3.1 SINMOD.....	5
	G.3.2 DREAM	6
G.4	Beregning av utslipp av fekalier og fôrspill fra offshore merd	6
G.5	Oppsett av SINMOD	7
G.6	Oppsett av DREAM	9
G.7	Resultater	10
G.8	Referanser	14

Oversikt over figurer

Figur G1 Til venstre: akkumulert produksjon av laks og regnbueørret for hele Norge i 2019 (blå kurve); akkumulert fôrforbruk for norsk akvakulturnæring i 2019 (rød kurve); akkumulert fôrforbruk for hele Norge i 2019 dersom det antas en økonomisk fôrfaktor på 1,25. Kilde til alle data: Fiskeridirektoratet (www.fiskdir.no). Til høyre: Normalisert akkumulert produksjon av laks og regnbueørret for en "årssyklus" fra april til april basert på totalproduksjonen for Norge i 2019. 7

Figur G2 Til venstre: beregnet månedlig produksjon av laks i en SFF-enhet og tilhørende fôrforbruk ved en økonomisk fôrfaktor på 1,25 og en totalproduksjon på 19 000 tonn. Til høyre: Beregnet månedlig utslipp av partikulært organisk material (tørrvekt) fra produksjonssyklusen antydnet i panelet til venstre..... 7

Figur G3 Oversiktskart som viser plasseringen av modellområdet i 160 m oppløsning (innenfor det svarte rektanlet). Det røde punktet angir posisjonen som er brukt i utslippssimuleringene. Fargene angir bunndyp i meter. Den nye posisjonen er 64.07315° N, 6.34829° Ø, og det er 354 m dypt. 8

Figur G4 Strømrose for april 2010 – mars 2011 for SFF ved 20 m dyp (venstre) og ved bunnen (høyre). Maksimumsfarten var 70.8 cm/s i 20 m dyp, mens den var 29.1 cm/s ved bunnen. Gjennomsnittsfarten var 16.3 cm/s i 20 m dyp, og 8.1 cm/s ved bunnen. 8

Figur G5 Strømrose for april 2015 – mars 2016 for SFF ved 20 m dyp (venstre) og ved bunnen (høyre). Maksimumsfarten var 88.8 cm/s i 20 m dyp, mens den var 47.2 cm/s ved bunnen. Gjennomsnittsfarten var 18.8 cm/s i 20 m dyp, og 8.8 cm/s ved bunnen. 9

Figur G6 Simulert spredning og deponering av organisk material for perioden april 2010 til april 2011. Til venstre: simulert konsentrasjon av deponert material ved slutten av simuleringen, uttrykt som $gC\ m^{-2}$. Til høyre: detalj av figuren til venstre med en annen fargeskalering. Konturer for 300, 325 og 350 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 10 x 10 km (venstre) og 3.2 x 3.2 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene. 11

Figur G7 Simulert spredning og deponering av organisk material for perioden april 2015 til april 2016. Til venstre: simulert konsentrasjon av deponert material ved slutten av simuleringen, uttrykt som $g\ C\ m^{-2}$. Til høyre: detalj av figuren til venstre med en annen fargeskalering. Konturer for 300, 325 og 350 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 10 x 10 km (venstre) og 3.2 x 3.2 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene. 12

Figur G8 Til venstre: simulert sedimenttykkelse ved slutten av perioden fra april 2010 til april 2011. Til høyre: omregnet tilstandsklasse for sedimentene (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Konturer for 300 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 5 x 5 km (venstre) og 6 x 6 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene. 12

Figur G9 Til venstre: simulert sedimenttykkelse ved slutten av perioden fra april 2015 til april 2016. Til høyre: omregnet tilstandsklasse for sedimentene (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Konturer for 300 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 5 x 5 km (venstre) og 6 x 6 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene. 13

G.1 Innledning

SINTEF har på oppdrag fra MariCulture AS utført studien 'Program for områderelatert konsekvensutredning' for å finne og vurdere et område i produksjonsområde 6 (PO6) for plassering av Smart Fish Farm (SFF).

I 2018 ble det gjennomført en analyse av miljøparameterne i PO6 der målet var å finne en egnet lokalitet for lakseoppdrett innenfor PO6. For denne lokaliteten ble det spesielt lagt vekt på gunstige strøm-, temperatur-, bølge- og bunnforhold, som igjen åpnet opp helt nye områder for lakseoppdrett i offshoreområdet til PO6 i et større omfang enn tidligere. Lokalitetene stiller spesielle krav til design, sikker drift, fiskevelferd og dokumentasjon av bakgrunnsinformasjon.

I 2019 ble analysen utvidet og i samarbeid mellom MariCulture, Ocean Farm 1 og SINTEF Ocean kom man fram til et område som ligger langs kanten til PO6, og det ble valgt en posisjon for SFF som har blitt brukt i en studie av spredning av fekalier og fôrspill gjennom en ettårs lang periode.

Posisjonen som ble valgt til SFF i 2019 ble tildelt Equinor for oljeleting, og en ny posisjon for SFF ble dermed valgt høsten 2020. Nye simuleringer med spredning av fekalier og fôrspill ble utført på den nye lokaliteten og presentert i rapporten med versjon 3.0. Siden har det blitt økt biomasse på SFF, og resultatene fra den oppskalerte biomassen ble presentert i versjon 4.0. I mars 2021 ble posisjonen for SFF flyttet igjen, og dette medførte nye spredningssimuleringer som er presentert i denne rapporten. Den nye posisjonen er 64.07315° N, 6.34829° Ø, og det er 354 m dypt.

Beregningene for fekalier og fôrspill som er brukt i simuleringen er basert på en total biomasse på 19 000 tonn.

G.2 Hovedresultater og konklusjoner

I dette arbeidet ble transportmodellen DREAM brukt til å simulere partikulært utslipp fra den antatte lokasjonen for SFF (64.0731517 N, 6.34829 E) for å se på hvordan fekalier og fôrspill fra et oppdrettsanlegg akkumuleres på bunnen gjennom en ett-års lang utslippsperiode. Det ble valgt ut to forskjellige år basert på styrken til strømmen. Det er noe sterkere strøm i 2015 enn i 2010, både i utslippsdypet og nærmere bunnen. Dette gjelder den generelle fordelingen av strømfarten og maksimums- og gjennomsnittsverdiene. Retningen på strømmen i de to årene er (statistisk sett, ikke nødvendigvis fra time til time) nokså lik, og utslippene spres i omtrent samme retning i de to simulerte periodene.

Resultatene fra simuleringene viser at total mengde sedimentert karbon per arealenheter ved slutten av simuleringene (etter ett år) spres omtrent like langt, og dekker omtrent like stort område i 2010 og 2015-simuleringene (de venstre panelene i Figur G6 og G7). Det er imidlertid klart høyere konsentrasjoner av karbon i nærheten av utslippet i 2010-simuleringene enn i 2015-simuleringene (de høyre panelene i Figur G8 og G9).

G.3 Beskrivelse av modellene

G.3.1 SINMOD

SINMOD er en koblet 3-dimensjonalt havmodellsystem som er utviklet av SINTEF. Modellen kjøres i et nøstet oppsett, der man begynner med å simulere store områder med grov oppløsning som gir grensebetingelser til modellområder av mindre utstrekning og høyere romlig oppløsning. Slik nøsting skjer fra et område som strekker seg fra Nord-Atlanteren til og med Polhavet, og som simuleres med 20 km oppløsning. Et litt mindre område simuleres med 4 km oppløsning, og deretter kjøres en kystmodell med 800 m oppløsning. I simuleringene som er gjennomført her, frembringer 800 m-modeller grensebetingelser til et modellområde med 160 m oppløsning. Legg merke til at rutestørrelsen brukt i den hydrodynamiske modellen er på 160 m, mens rutestørrelsen i transportmodellen (DREAM) er på 50 m.

Drivkrefter i modellen er strøm over ytre grenser, vind, tidevann, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvannstilførsel. Modellen er inndelt i horisontale lag som har en konstant tykkelse med unntak av overflatelaget som har varierende tykkelse avhengig av overflatenivå. Laget nærmest bunn i hver horisontal posisjon i modellen har en tykkelse tilpasset den lokale dybden. En generell beskrivelse av modellsystemet er gitt i Slagstad og McClimans 2005.

G.3.2 DREAM

DREAM (Dose-related Risk and Effects Assessment Model) er en tredimensjonal flerkomponentsmodell som bruker lagrangske partikler (Rye et al. 1998; Reed & Hetland 2002; Rye et al. 2006) til å modellere transport av partikulært materiale og kjemiske komponenter. Modellen bruker eksterne datasett av strøm og vind og følger utslippet i vannkolonna (fortynning, spredning) samt oppbygging av utslippet ved bunn/ i sediment. I denne rapporten beskriver vi hvordan fekalier og fôrspill fra et oppdrettsanlegg akkumuleres på bunnen gjennom en ettårs lang utslippsperiode. Beskrivelsen er basert på simuleringer med DREAM.

G.4 Beregning av utslipp av fekalier og fôrspill fra offshore merd

I beregningen av utslipp av fekalier og fôrspill er det tatt utgangspunkt i en årsproduksjon på 19 000 tonn med en fôrfaktor på 1,25. Denne er noe lavere enn den totale økonomiske fôrfaktoren for hele Norge i 2019 (Figur G1), men dette tallet inkluderer fôr også til andre arter enn laks og regnbueørret. Det er derfor rimelig å velge et litt lavere tall enn den totale økonomiske fôrfaktoren.

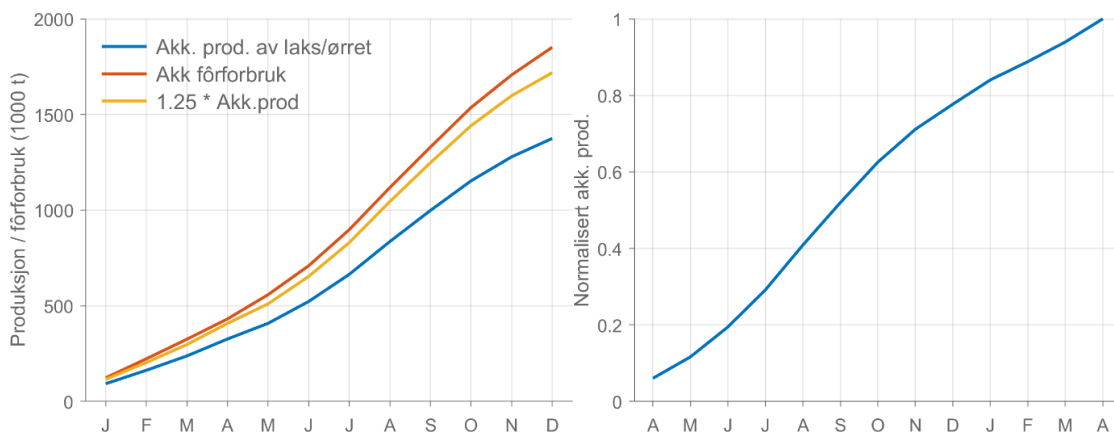
Beregningen av månedlig produksjon og fôrforbruk ble gjort som følger. Først ble den akkumulerte totalproduksjonen for Norge normalisert, altså delt på totalproduksjonen for hele landet gjennom hele året. Se Figur G1, til høyre. Deretter ble denne tidsserien skalert opp med en faktor på 19 000. Denne oppskalerte tidsserien ble brukt til å beregne produksjonen per måned, med en akkumulert årlig produksjon på 19 000 tonn (Figur G2, venstre panel). Denne tidsserien representerer ikke en enkelt produksjon fra liten til stor fisk. Den representerer en produksjon der det er fisk fra ulike utsett. Dette gir antagelig litt jevnere utslipp enn for et år med kun en enkelt generasjon. Alle data om produksjon og fôrforbruk ble hentet fra Fiskeridirektoratets offisielle statistikker¹.

Utslipp av fekalier og fôrspill (enhet: t tørrvekt) er basert på Wang et al. (2012, 2013). Det er tatt utgangspunkt i karboninnholdet i fôr og fekalier. Det er antatt et fôrspill på 5 % (den noe usikre "standardverdien" er på 3 %). Videre er det antatt at 15 % av det partikulære karbonet i fôr og fekalier går over i oppløst form. Dette gir en omregningsfaktor fra fôrings- til utslippsrate som følger:

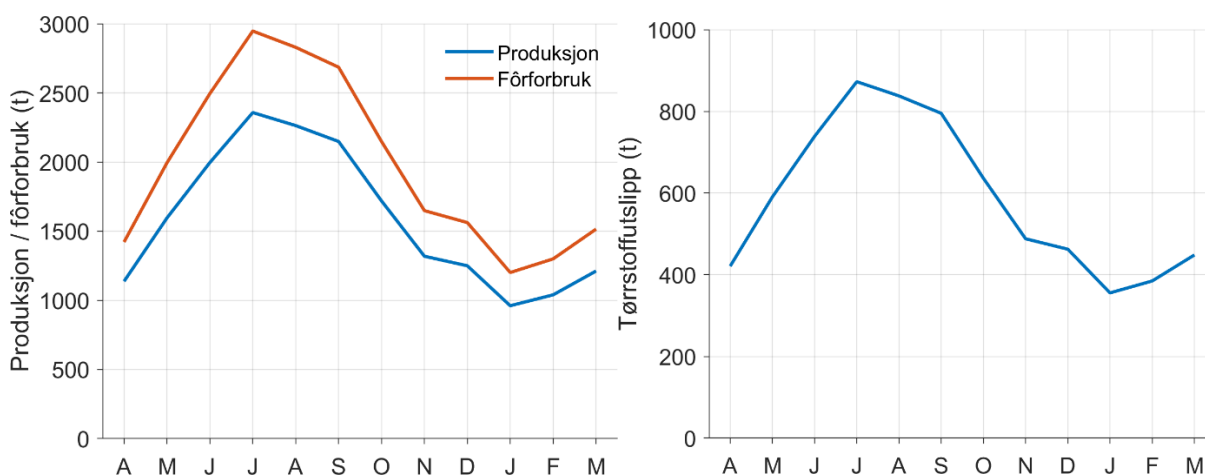
$$\text{Partikulært utslipp (t DW)} = 0,29 \text{ Fôrforbruk (t DW)},$$

se Figur G2, høyre panel. I tidligere studier er faktoren 0,27 (inkl fôrspill) brukt; se f.eks. Broch et al. (2017). Det er sett bort fra at fôret inneholder 4 – 7 % vann. Fôrfaktoren som er brukt ligger, som nevnt, på 1,25.

¹ www.fiskdir.no



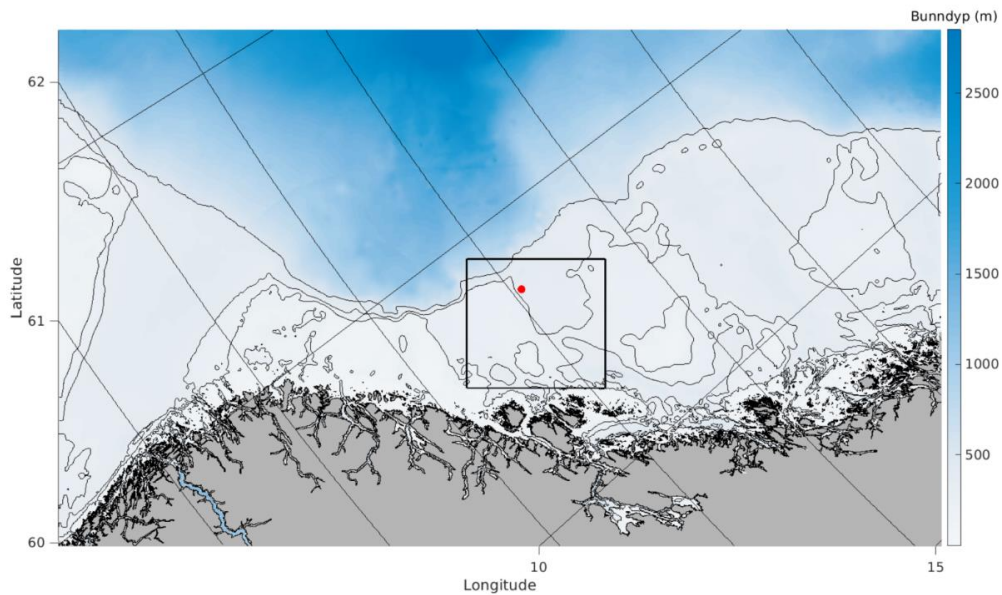
Figur G1 Til venstre: akkumulert produksjon av laks og regnbueørret for hele Norge i 2019 (blå kurve); akkumulert forbruk for norsk akvakulturnæring i 2019 (rød kurve); akkumulert forbruk for hele Norge i 2019 dersom det antas en økonomisk forfaktor på 1,25. Kilde til alle data: Fiskeridirektoratet (www.fiskdir.no). Til høyre: Normalisert akkumulert produksjon av laks og regnbueørret for en "årsryklus" fra april til april basert på totalproduksjonen for Norge i 2019.



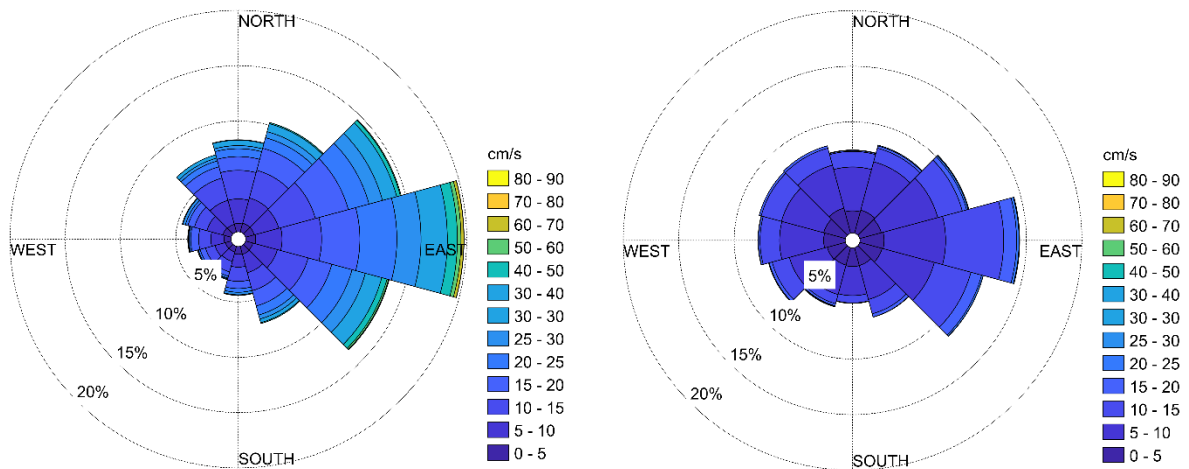
Figur G2 Til venstre: beregnet månedlig produksjon av laks i en SFF-enhet og tilhørende forbruk ved en økonomisk forfaktor på 1,25 og en totalproduksjon på 19 000 tonn. Til høyre: Beregnet månedlig utslipp av partikulært organisk materiale (tørrvekt) fra produksjonssyklusen antydnet i panelet til venstre.

G.5 Oppsett av SINMOD

Det ble gjennomført simuleringer for perioden april 2010 til april 2011 og april 2015 til april 2016. Årene 2010 og 2015 ble valgt basert på resultatene fra tidligere strømmodelleringer. 2010 ble valgt som et år med lavere strømhastighet enn normalen, mens 2015 ble valgt som et år med høyere strømhastighet. Et modellområde med 160 m oppløsning ble modellert for april 2010 – mars 2011 og for april 2015 – mars 2016 (se Figur G3 som viser utbredelsen av modellområdet). Strømroser for utslippsdypet ved SFF er gitt i Figur G4 og Figur G5. Det fremgår av strømrosene at strømfarten i utslippsdypet (20 m) og ved bunnen var noe høyere i 2015 enn i 2010. Dette gjenspeiles også i gjennomsnitts- og maksimumsstrømfarten (Figur G4 og Figur G5). Det er mindre forskjell i strømhastigheten ved denne posisjonen til SFF enn den opprinnelige posisjonen.



Figur G3 Oversiktskart som viser plasseringen av modellområdet i 160 m oppløsning (innenfor det svarte rektanlet). Det røde punktet angir posisjonen som er brukt i utslippssimuleringene. Fargene angir bunnndyp i meter. Den nye posisjonen er 64.07315° N, 6.34829° Ø, og det er 354 m dypt.



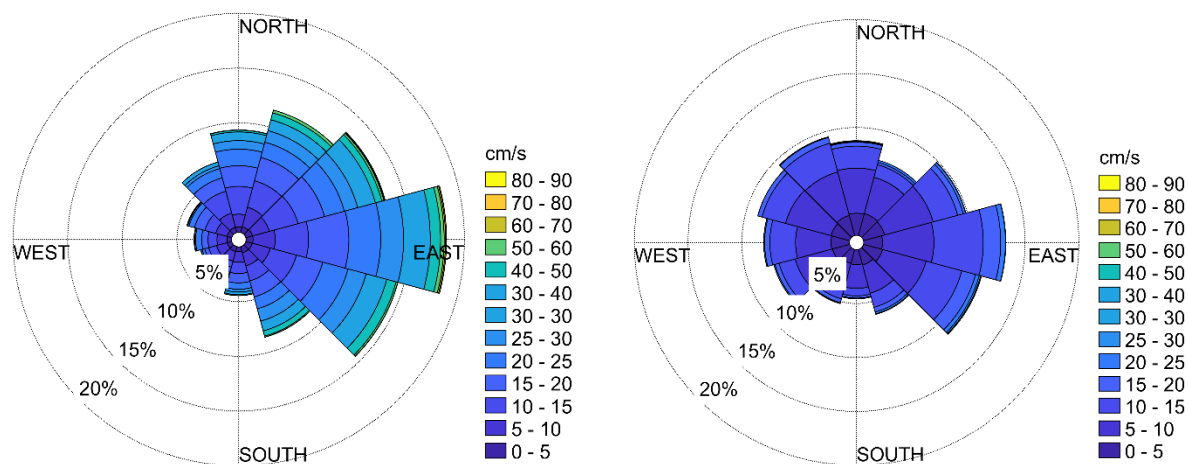
Maximum current speed: 70.8 cm/s

Mean current speed: 16.3 cm/s

Maximum current speed: 29.1 cm/s

Mean current speed: 8.1 cm/s

Figur G4 Strømrose for april 2010 – mars 2011 for SFF ved 20 m dyp (venstre) og ved bunnen (høyre). Maksimumsfarten var 70.8 cm/s i 20 m dyp, mens den var 29.1 cm/s ved bunnen. Gjennomsnittsfarten var 16.3 cm/s i 20 m dyp, og 8.1 cm/s ved bunnen.



Maximum current speed: 88.8 cm/s Mean current speed: 18.8 cm/s Maximum current speed: 47.2 cm/s Mean current speed: 8.8 cm/s

Figur G5 Strømrose for april 2015 – mars 2016 for SFF ved 20 m dyp (venstre) og ved bunnen (høyre). Maksimumsfarten var 88.8 cm/s i 20 m dyp, mens den var 47.2 cm/s ved bunnen. Gjennomsnittsfarten var 18.8 cm/s i 20 m dyp, og 8.8 cm/s ved bunnen.

G.6 Oppsett av DREAM

To år er valgt ut for modellering av spredning av fekalier og fôrspill fra SFF. Årene er valgt på bakgrunn av strømbilde, og det er valgt ett år med relativt sterk strøm (2015) og et med svakere strøm (2010). Utslippet vil starte 1. april og pågår et kalenderår. Utslippet blir modellert med et kontinuerlig utslipp gjennom hele måneden. Tabell G1 viser utslippoppsettet i DREAM, og utslippsmengden er basert på en total produsert biomasse på 19 000 tonn. Partikkelstørrelsesfordelingen som er brukt er gitt i Tabell G2 og er basert på Buryniuk et al. (2006). Andre viktige modellparametere er gitt i Tabell G3.

Tabell G1 Utslipp av fekalier og fôrspill fra SFF gjennom et år. Utslippsmengden brukt i modelleringen er basert på en biomasse på 19 000 tonn.

Måned	Utslippsmengde (tonn)	Utslippslengde (dager)	Startdag i simulering
April	420,98	30	0
Mai	590,53	31	30
Juni	738,76	30	61
Juli	872,63	31	91
August	837,78	31	122
September	795,23	30	153
Oktober	636,18	31	183
November	488,09	30	214
Desember	462,54	31	244
Januar	355,61	31	275
Februar	384,82	28	306

Mars	448,51	31	334
------	--------	----	-----

Tabell G2 Partikkelstørrelsesfordeling brukt i simuleringene. Tettheten er 1 033 kg/m³.

Intervall [mm]	Andel [%]	Akkumulert [%]
0.001 – 2	30	30
2 – 4	5	35
4 – 8	15	50
8 – 12	15	65
12 – 16	15	80
16 – 20	5	85
20 – 24	5	90
> 24	10	100

Tabell G3 Andre inputparametere til DREAM-modellen.

Parameter	Verdi
Starttidspunkt	1. april 2010 og 2015 klokka 00:00 UTC
Posisjon	64.07315° N 6.34829° Ø
Lengde på simulering	365 døgn
Utslippsdyp	20 m
Antall numeriske partikler	30 000
Internt tidsskritt	15 minutter
Tidsskritt for resultater til fil	6 timer
Oppløsning på rutenettet	50 x 50 m
Utbredelse av modellområdet	25 x 25 km

G.7 Resultater

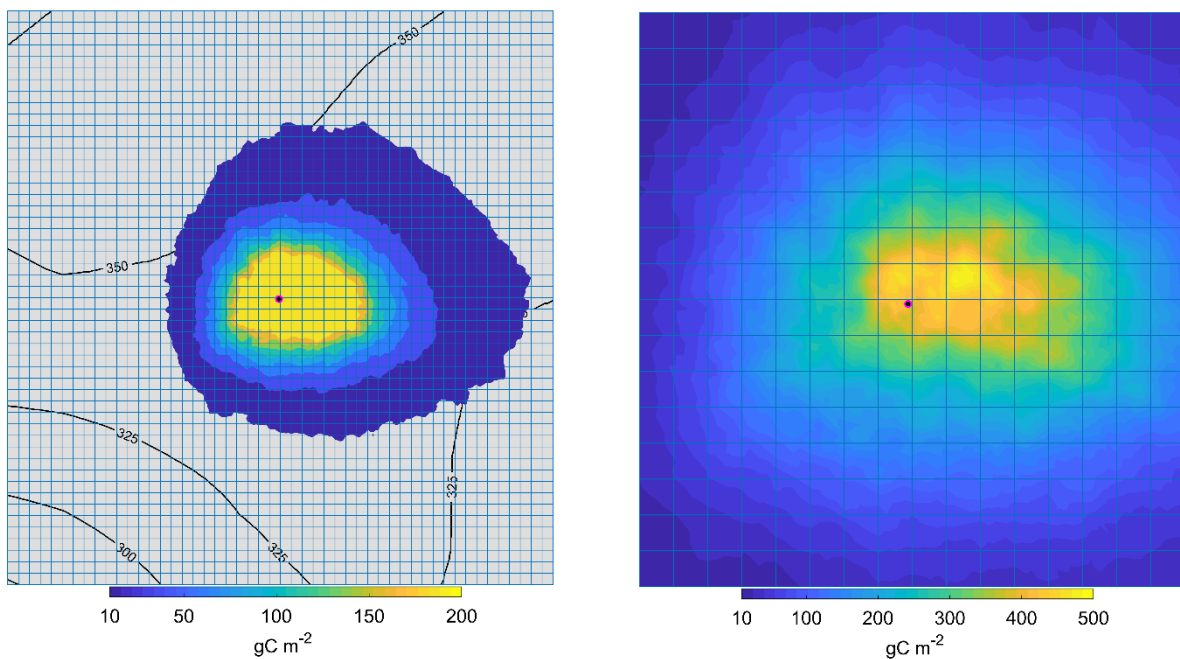
Siden det er mengden karbon per arealenheter som hovedsakelig brukes til å bestemme økologisk tilstand, har vi omregnet fekalieutslippene til karbonenheter. Det er antatt at fekalie i snitt inneholder 37 % karbon (Wang et al., 2013). Deretter er den daglige gjennomsnittsfluksen av karbon ($\text{g C m}^{-2} \text{dag}^{-1}$) omregnet til Shannon-Wiener-indeksen via en empirisk relasjon etablert av Hargrave (2010). Shannon-Wiener-indeksen er en mye brukt indikator for økologisk tilstand, og blir spesielt brukt som utgangspunkt for å vurdere økologisk tilstandsklasse i implementeringen av EUs vanddirektiv (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018). En detaljert beskrivelse av denne fremgangsmåten er gitt i Sandberg et al (2019). Den økologiske tilstanden deles inn i fem klasser I: svært god, II: god, III: moderat, IV: dårlig og V: svært dårlig tilstand. Se Figur G6 – Figur G9 under.

Figur G6 og Figur G7 viser total mengde sedimentert karbon per arealenhet ved slutten av simuleringene (etter ett år). De venstre panelene viser oversiktsbilder, mens de høyre panelene viser mer detaljer. Det er samme fargeskaleringen og oppløsning i de to panelene til venstre. Tilsvarende gjelder for de to panelene til høyre. Utslippene av organisk materiale spres omtrent like langt, og dekker omtrent like stort område i 2010 og 2015-simuleringene (de venstre panelene i Figur G6 og Figur G7). Det er imidlertid klart høyere konsentrasjoner av karbon i nærheten av utslippet i 2010-simuleringene enn i 2015-simuleringene (de høyre panelene i Figur G6 og Figur G7). Dette stemmer også med strømforsene for de to periodene (Figur G4 og Figur G5). Det er noe sterkere strøm i 2015 enn i 2010, både i utslippsdypet og nærmere bunnen. Dette gjelder den generelle fordelingen av strømfarten og maksimums- og gjennomsnittsverdiene. Retningen på strømmen i de to årene er (statistisk sett, ikke nødvendigvis fra time til time) nokså lik, og utslippene spres i omtrent samme retning i de to simulerte periodene.

Figur G8 og Figur G9 viser sedimenttykkelse og tilstandsklasse som beskrevet ovenfor. De høyre panelene i figurene viser tilstandsklassen for bunnsedimentene. Fra fargekodingen ser vi at området rundt utslippet har tilstandsklasse "II: god". Dette reflekterer situasjonen i Figur G6 og Figur G7. Utenfor de grønne områdene er det tilstandsgrad "I: svært god". Fra simuleringresultatene ser påvirkningsgraden altså ut til å være relativt liten. Vi har ikke tatt hensyn til den eventuelle tilstanden *før* simuleringene startet (dette har vi ingen kjennskap til), og den kan påvirke det endelige resultatet. Det må også presiseres at tilstandsgraden ikke blir simulert direkte. Det som blir beregnet er total mengde sediment/karbon som legger seg i løpet av et år, og deretter blir dette omregnet til Shannon-Wiener-indeksen og videre til tilstandsgraden. Det hefter dermed en del usikkerhet ved dette.

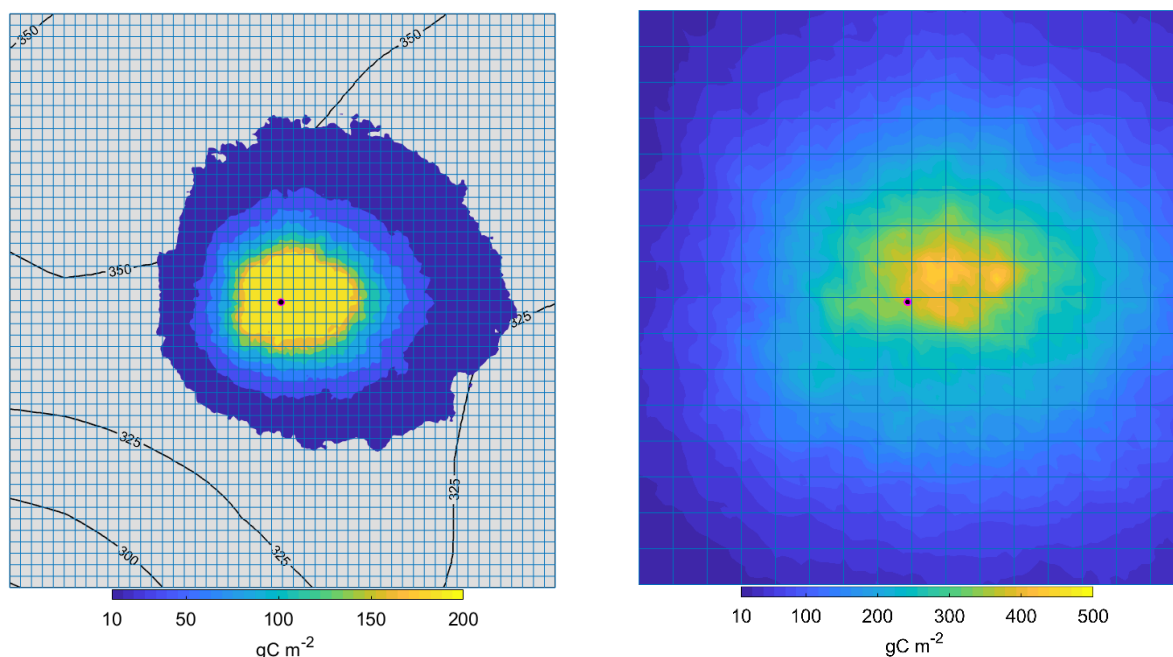
På den annen side er det her ikke tatt hensyn til nedbrytning av sedimentlaget, for eksempel ved at materialet blir spist av bunnlevende dyr eller brutt ned av mikroorganismer. I denne forstand kan man anta at konsentrasjonen av sedimenter fra fiskeoppdrettet er overestimert.

De venstre panelene i Figur G8 og Figur G9 viser simulert tykkelse av sedimentlaget. Dette brukes som en del av MOM B-undersøkelsen. Verken i 2010 eller 2015 er det høye verdier noe sted, men materialet blir spredd over et relativt stort område på grunn av bunndypet og strømforholdene.

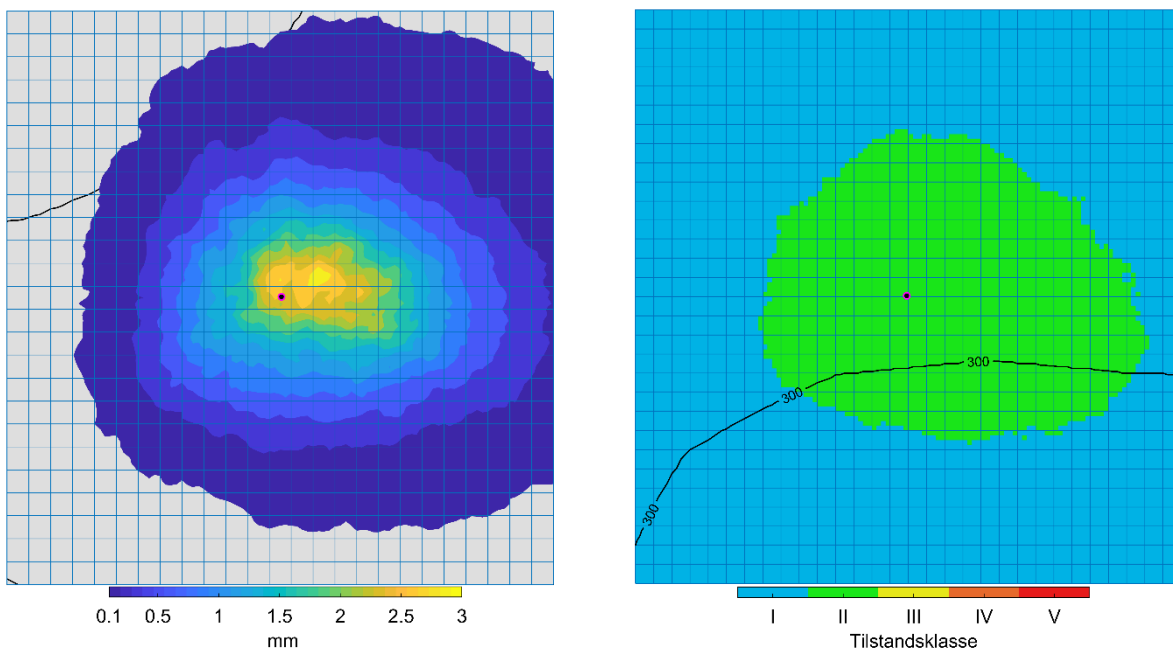


Figur G6 Simulert spredning og deponering av organisk material for perioden april 2010 til april 2011. Til venstre: simulert konsentrasjon av deponert material ved slutten av simuleringen, uttrykt som gC m⁻². Til høyre: detalj av figuren til venstre med en annen fargeskalering. Konturer for 300, 325 og 350 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 10 x 10

km (venstre) og 3.2 x 3.2 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene.

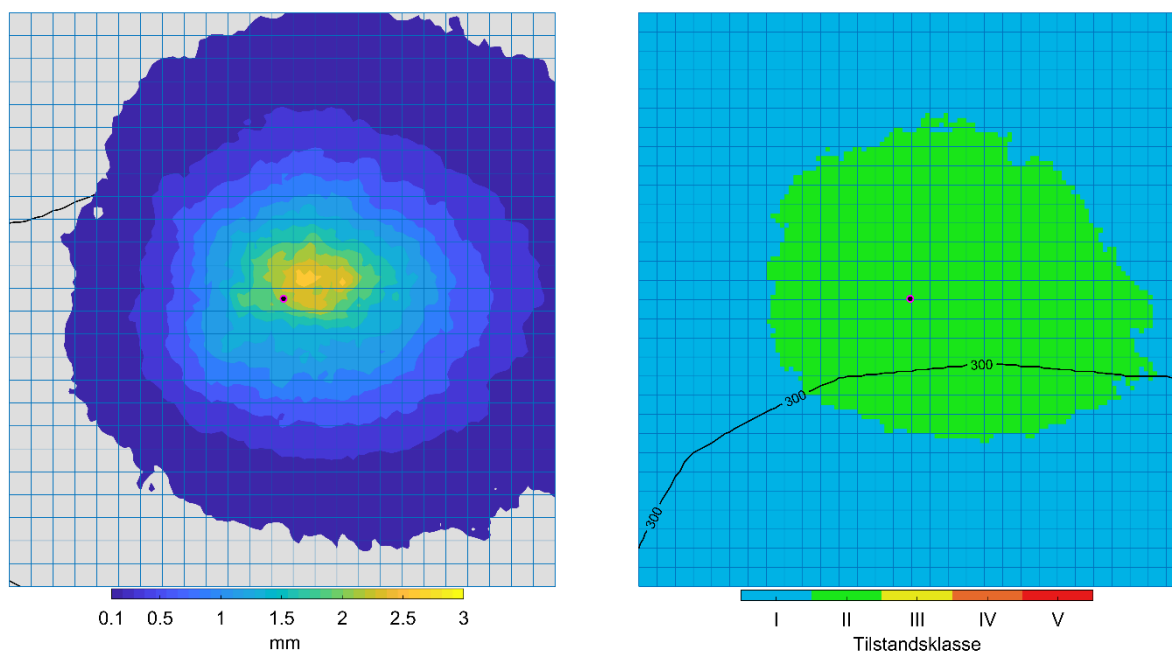


Figur G7 Simulert spredning og deponering av organisk material for perioden april 2015 til april 2016. Til venstre: simulert konsentrasjon av deponert material ved slutten av simuleringen, uttrykt som gC m^{-2} . Til høyre: detalj av figuren til venstre med en annen fargeskalering. Konturer for 300, 325 og 350 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 10 x 10 km (venstre) og 3.2 x 3.2 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene.



Figur G8 Til venstre: simulert sedimenttykkelse ved slutten av perioden fra april 2010 til april 2011. Til høyre: omregnet tilstandsklasse for sedimentene (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018). Konturer for 300 m bunndyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed

et 5 x 5 km (venstre) og 6 x 6 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene.



Figur G9 Til venstre: simulert sedimenttykkelse ved slutten av perioden fra april 2015 til april 2016. Til høyre: omregnet tilstandsklasse for sedimentene (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018). Konturer for 300 m bunn dyp er tegnet inn. Rutenettet som er tegnet inn har 200 m oppløsning og dekker dermed et 5 x 5 km (venstre) og 6 x 6 km (høyre) område. Posisjonen til SFF er gitt ved den svarte prikken, og nord er opp i figurene.

G.8 Referanser

Broch, O.J., Daae, R.L., Ellingsen, I.H., Nepstad, R., Bendiksen, E.Å., Reed, J.L., Senneset, G., 2017. Spatiotemporal dispersal and deposition of fish farm wastes: a model study from central Norway. *Front. Mar. Sci.* 4:199; doi: 10.3389/fmars.2017.00199

Buryniuk, M. et al., 2006. Accumulation and natural disintegration of solid wastes caught on a screen suspended below a fish farm cage. *Aquacultural Engineering*, 35(1), pp.78–90. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905001172> [Accessed January 15, 2015].

Cromey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., et al., 2002. Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment. *Estuaries*, 25(5), pp.916–929.

Cromey, C.J., Nickell, T.D. & Black, K.D., 2002. DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214(1–4), pp.211–239. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0037111013&partnerID=40&md5=9e673efb380cc4a84838814970e75ad8>.

Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018. Veileder 02:2018: Klassifisering av miljøtilstand i vann.

Hargrave, B., 2010. Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 33–46. doi: 10.1007/s10000-010-0005-0

Reed, M. & Hetland, B., 2002. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fates Components. In *Proceedings of SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. Society of Petroleum Engineers. Available at: <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetropreview?id=00073856&soc=SPE> [Accessed December 10, 2012]

Reid, G.K. et al., 2009. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research*, 40(3), pp.257–273. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x>.

Rye, H. et al., 2006. *Restitution of an impacted sediment*, Available at: http://www.sintef.no/project/ERMS/Reports/ERMS_report_no_21_Restitution_SINTEF.pdf.

Rye, H., Reed, M. & Ekrol, N., 1998. The PARTRACK model for calculation of the spreading and deposition of drilling mud, chemicals and drill cuttings. *Environmental Modelling & Software*, 13(5–6), pp.431–441. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815298000486> [Accessed September 2, 2014].

SEPA, 2005. Regulation and Monitoring of Marine Cage Fish Farming in Scotland. Annex H – Methods for Modelling In-feed Anti-parasitics and Benthic effects - a Procedures Manual Scottish Environment Protection Agency, Stirling, Scotland. 140 pp.

Sandberg, M. C. et al. 2019. Bunnpåvirkning fra marine matfiskanlegg: Modellberegninger av geografisk omfang og biologiske konsekvenser. FHF-prosjekt nummer 901322. Aqua Kompetanse rapport nummer: 339-12-19.

Slagstad, D. & McClimans, T.M., 2005. Modeling the ecosystem dynamics of the Barents Sea including the marginal ice zone: I. Physical and chemical oceanography. *J. Mar. Sys.* 58, pp. 1-18.

Wang, X, Olsen LM, Reitan KI, Olsen Y (2012) Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), pp.267–283.

Wang, X, Andresen K, Handå A, Jensen B, Reitan KI, Olsen Y (2013) Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. *Aquaculture Environment Interactions*, 4, pp.147–162