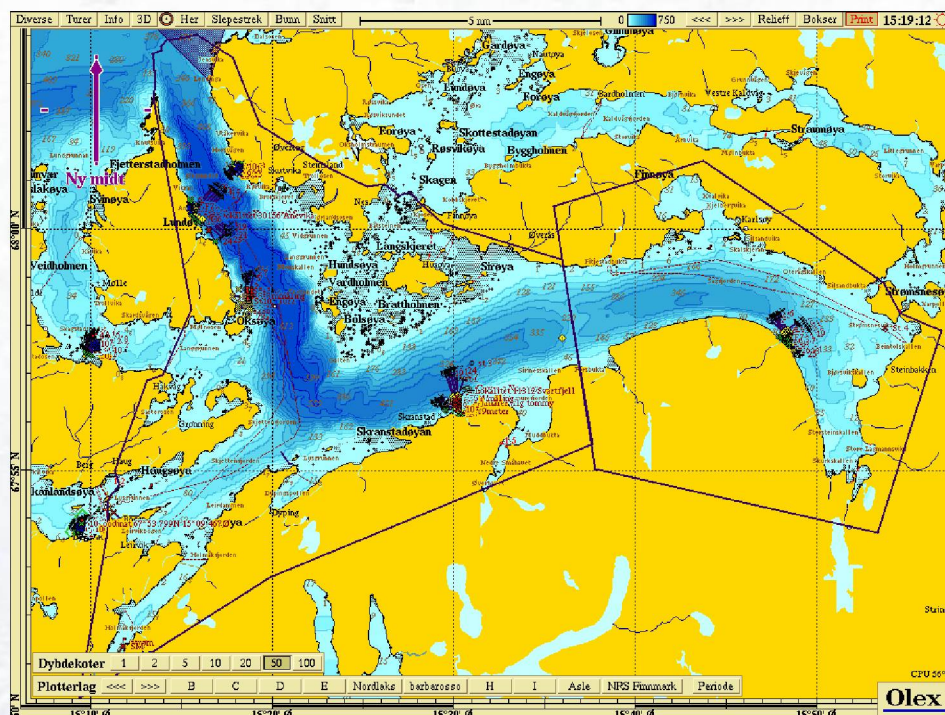


Modellering av kapasitet for oppdrett i Økssundet



This page is intentionally left blank

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Framsenteret

Pb 6606 Langnes, 9296 Tromsø

Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01

www.akvaplan.niva.no

**Rapporttittel / Report title**

Modellering av kapasitet for oppdrett i Økssundet

Forfatter(e) / Author(s)

Reinhold Fieler

Øyvind Leikvin

Magnus Drivdal

Akvaplan-niva rapport nr / report no

8481

Dato / Date

15.01.2018/ ny versjon 15. juni 2018

Antall sider / No. of pages

42 + 0

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Cermaq

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Oppdragsreferanse

Sammendrag / Summary

Akvaplan-niva har modellert den miljømessige kapasiteten for oppdrett av laks i Økssundet. Målet er å få et modellbasert svar på den totale bærekraftige produksjonskapasiteten i Økssundet med utgangspunkt i dagens lokalitets- og driftsstruktur (3 lokaliteter) og dagens produksjonsteknologi. I ytre Sagjordbassenget er resipientkapasiteten slik den er beregnet i fjordmodellen FjordEnv 3.3 ikke begrensende i forhold til planlagt utvidet produksjon. Den lokale kapasiteten på de enkelte lokalitetene kan være begrensende på grunn av punktvis stor sedimentering fra anleggene. Lokalitet Horsvågen produserer trolig allerede i dag opp til sin maksimale kapasitet. Lokalitet Anevika vil med justeringer av anleggskonfigurasjon, tilpasset utsett av fisk og god miljøovervåking trolig tåle en dobling av dagens maksimale biomasse. Trolig vil også lokalitet Oksøy med justeringer av anleggskonfigurasjon, tilpasset utsett av fisk og god miljøovervåking tåle en økning av dagens maksimale biomasse.

I oppdateringen av rapport som er foretatt 15. juni viser modellene at ny anleggskonfigurasjon for Anevika og Oksøy tillater produksjon av årlig 7800 tonn uten stor risiko for dårlig tilstandsklassifisering på disse to lokalitetene.

Prosjektet er et utviklingsarbeid som i stor grad legges opp mot andre vitenskapelige arbeider og nyutviklet modellverktøy. Vurderingene bør derfor overprøves og justeres i takt med nye miljøundersøkelser på lokalitetene.

Prosjektleder / Project manager

Handwritten signature of Reinhold Fieler in blue ink.

Kvalitetskontroll / Quality control

Handwritten signature of Magnus B. Drivdal in blue ink.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	3
2 METODER.....	4
2.1 Modeller	4
2.1.1 Resipientkapasitet i fjordbassenget	4
2.1.2 Hydrodynamikk	4
2.1.3 Spredning av organisk utslipp fra oppdrettsanlegg	5
2.2 Arbeidsprosesser.....	5
2.3 Inngangsdata til modellene	6
2.3.1 Grunnleggende resipientkapasitet i Sagfjorden/ Økssundet.....	6
2.3.2 Hydrodynamikk og spredning av utslipp	8
2.4 Miljøinformasjon.....	10
3 RESULTATER.....	11
3.1 Eutrofiering av bunnvann i resipient Sagfjorden/ Økssundet.....	11
3.2 Miljøinformasjon og lokalitetens historikk	12
3.2.1 Anevika.....	12
3.2.2 Oksøy.....	17
3.2.3 Horsvågen.....	20
3.3 Spredning og sedimentering fra oppdrettsanlegg	22
3.3.1 Bunnfelling av sporstoffer	22
3.3.2 Bunnfelling av karbon	24
4 SAMMENFATTENDE VURDERINGER OG ANBEFALINGER.....	30
4.1 Oksgyenforhold i resipient Sagfjorden/ Økssundet.....	30
4.2 Sedimentering av karbon på lokalitetene.....	30
4.2.1 Sentrale opplysninger i forskningslitteraturen.....	30
4.2.2 Valg av risikoverdier for daglig sedimentering av karbon	31
4.2.3 Sammenligning av modellresultater med tidligere miljøundersøkelser, inkludert anbefalinger	32
4.3 Langtidsperspektiver	37
5 REFERANSER.....	38

Figurer

Figur 1: Modellområdene i Sagfjorden. Svarte linjer i fjorden viser avgrensning for indre (høyre) og ytre basseng (venstre) (kartkilde: www.olex.no).	7
Figur 2: Stort modelldomene med deler av Vestfjorden, hele Sagfjorden og Økssundet.....	9
Figur 3: Finmasket modelldomene nested inn i større domene. Økssundet med anleggene inntegnet på høyresiden.	10
Figur 4: Sporstoff 1 (venstre) og sporstoff 4(høyre).....	24
Figur 5: Sporstoff 6 (venstre) og sporstoff 8(høyre).....	25
Figur 6: Sporstoff 1 i januar måned (venstre) og sporstoff 1 i august måned (høyre).....	25
Figur 7: Sporstoff 6 i november måned.	26
Figur 8: Anevika,, scenario I - daglig gram karbon per kvadratmeter i dagens drift (5560 tonn laks/år).....	27
Figur 9: Anevika, scenario II - gram karbon/dag/ kvadratmeter med doblet produksjon 1120 tonn/år	27
Figur 10: Anevika, scenario III - daglig gram karbon per kvadratmeter ved produksjon 7800 tonn/ år	28
Figur 11: Anevika, scenario III - gram karbon ved produksjon 7800 tonn/ år med annen fargeskala	28
Figur 10: Oksøy,daglig gram karbon per kvadratmeter i dagens drift (5560 tonn laks/år)	29
Figur 13: Oksøy, daglig gram karbon per kvadratmeter i scenario med doblet produksjon (1120 tonn laks/år).....	29
Figur 14: Oksøy, scenario III - daglig gram karbon per kvadratmeter ved produksjon 7800 tonn/ år	30
Figur 12: Horsvågen, daglig gram karbon per kvadratmeter i scenario med produksjon av årlig 1,6 millioner smolt (2 100 tonn biomasse per år)	31
Figur 13: Alle B-undersøkelser i Anevika	34
Figur 14: sedimentering av karbon i September i Anevika med dagens (venstre) og doblet produksjon (høyre).....	34
Figur 18: Anevika, scenario III, lav karbon fotavtrykk ved produksjon 7800 tonn/ år	35
Figur 15: Alle B-undersøkelser i Oksøya	36
Figur 16: sedimentering av karbon i september ved Oksøya med dagens (venstre) og doblet produksjon (høyre).....	36
Figur 18: Oksøya, scenario III, lav karbon fotavtrykk ved produksjon 7800 tonn/ år.....	37
Figur 17: Alle B-undersøkelser i Horsvågen	38
Figur 18: sedimentering av karbon i juni i Horsvågen med produksjon av årlig 1,6 millioner smolt.....	38

Tabeller

Tabell 1: Oppsummering av nøkkelverdier for fjordfysikk i Sagfjorden & Økssundet.....	8
Tabell 2: Synkehastighet og prosentvis fordeling av sporstoff i fekalier og fôr	10
Tabell 3: Modellert kapasitet for indre basseng, med inngangsdata beskrevet i kapittel 2	12
Tabell 4: Modellert kapasitet for ytre basseng, med inngangsdata beskrevet i kapittel 2.....	12

1 Innledning

Cermaq Norge AS, region Nordland, ga i november 2016 Akvaplan-niva (APN) i oppdrag å modellere den miljømessige kapasiteten for oppdrett av laks i Økssundet. Målet er å få et modellbasert svar på den totale bærekraftige produksjonskapasiteten i Økssundet med utgangspunkt i dagens lokalitets- og driftsstruktur (3 lokaliteter) og dagens produksjonsteknologi.

Modellering av bærekraft er et utviklingsprosjekt der de best egnede og mest moderne tilgjengelige modellverktøyene brukes og videreutvikles. For å holde kostnadene på utviklingsarbeidet av modellene på et lavere nivå blir både arbeidet og finansiering koordinert med andre prosjekter og oppdrag i APN, samt med forskningsprosjekter.

Prosjektet er et utviklingsarbeid som i stor grad legges opp mot andre vitenskapelige arbeider og nyutviklet modellverktøy.

Denne rapporten har versjon nummer 8481.002 og er en oppdatert versjon av rapport nr. 8481. Forskjellen er at denne rapporten også inneholder modellering av nyere konfigurasjon på lokalitetene Anevika og Oksøy med økt produksjon (7800 tonn per år), økt antall merder og anleggene forlenget inn mot dypområdene i Sagfjorden. Endringer er oppgitt i kursiv skrift i skrifttype Times Roman, størrelse 12.

2 Metoder

2.1 Modeller

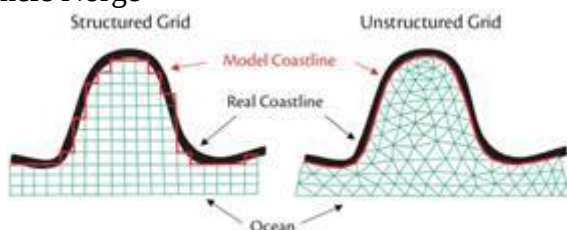
2.1.1 Resipientkapasitet i fjordbassenget

Akvaplan-niva (APN) foretar først en overordnet modellering av totalkapasitet i resipienten i Sagfjorden og Økssundet basert på oksygenforbruk i vannmassene og reduksjon av siktedyp. Sistnevnte gir en oversikt over økt dannelse av plankton i vannmassene som kan tilskrives økt eutrofiering fra oppdrett.

Dette gjøres med modellen FjordEnv 3.3 som er utviklet av Anders Stigebrandt (Stigebrandt 2001, 2004, 2011) for vurdering av miljøeffekter ved tilførsel av næringssalter og organisk materiale i terskelfjorder. FjordEnv er en såkalt ”boksmodell”, der vannmassene betraktes som fordelt i tre lag innenfor en terskel: overflatelaget, intermediært lag over terskeldypet og et bunnlag under terskeldypet. Modellen beregner gjennomsnittsforhold for hvert lag, basert på volumet (areal per dypnivå) i hvert lag i forhold til tverrsnittsarealet til fjordmunningen. Parametere som beregnes er oppholdstid for vann over terskeldypet, nedsynkning av partikulært organisk materiale, oksygenforbruk ved nedbrytning, og hvor lang tid det tar for vannet under terskelnivå i fjordbassenget å skiftes ut. Videre beregnes minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet under terskelnivå og endring av siktedypet i overflatelaget, og disse parametrene brukes til å vurdere endring av vannkvalitet i fjorden. FjordEnv er et verktøy for å vurdere relative endringer i belastning av fjorden ved ulike tilførsler av næringssalter, for eksempel ved ulike nivåer for produksjon ved fiskeoppdrett. Modellen kan ikke brukes til å angi bestemte områder inne i fjorden med spesielt gode/dårlige forhold, og den kan ikke beregne gradienter i vannsøyla. Hele vannsøylen fra terskeldypet og ned til dypeste punkt i fjorden får samme egenskaper.

2.1.2 Hydrodynamikk

FVCOM (Finite Volume Coastal Ocean Model) (Chen et al, 2012) er den hydrodynamiske modellen vi har brukt i prosjektet. Den er åpent tilgjengelig for alle, under stadig utvikling, og benytter seg av ustrukturert grid, som tillater lokale variasjoner i oppløsning. Figuren under illustrerer en av fordelene med dette. Det å kunne tilpasse kystlinjen på denne måten er vesentlig for finskala modellering av en så irregulær kystlinje som vi har i mer eller mindre hele Norge



Strukturert grid vs ustrukturert grid

Finskala modellering er et viktig stikkord i denne type prosjekt. Oppløsning på 150-200 meter som man før har kalt høy oppløsning er ikke god nok til finskala modellering av sedimenter fra merdanlegg. For å kunne takle oppløsninger helt ned til $\sim 30\text{m}^2$ (5 til 6 meter) for de minste trekantene i gridet, er det viktig å begrense modellområdet, for at ikke de numeriske beregningene skal ta måneder å fullføre. Det som gjøres da, er å nøste inn et høyoppløst grid

for det aktuelle området, inn i et større modelldomene som vi allerede har kjørt en mer generell modell for, med grovere oppløsning.

Da vil grensebetingelsene (hastigheter, tidevann, salt, temperatur osv.) hentes inn fra det større modelldomenet inn i det mindre høyoppløste domenet, slik at vi ikke mister viktig storskala havdynamikk til tross for at det brukes et relativt lite grid.

2.1.3 Spredning av organisk utslipp fra oppdrettsanlegg

FABM (Framework for Aquatic Biogeochemical Models) (Bruggemann and Bolding, 2014) er rammeverket vi bruker for å koble sammen FVCOM med en sedimentmodell utviklet av APN som er tilpasset for å simulere sedimentering og spredningen til organisk avfall fra oppdrettsanlegg. Dette gjør at vi får både informasjon om hastighet, temperatur, salt osv. fra FVCOM sammen med mengde og posisjon til de forskjellige sedimentklassene som slippes ut og etter hvert sedimenteres på havbunnen. Synkehastigheten for forskjellige typer og størrelser av organisk avfall er spredt over 8 sporstoffer (Bannister et. al, 2016).

2.2 Arbeidsprosesser

Den grunnleggende resipientkapasiteten modelleres først for hele Sagfjorden og Økssundet med programmet FjordEnv 3.3.

APN kjører deretter hydrodynamisk modellering i to trinn:

- I trinn I lages modellgrid for Økssundet og Sagfjorden i ustrukturert grid med oppløsning ned til ca. 100 m. Modellområder inkluderer store deler av Vestfjorden og Sagfjorden. APN gjennomfører hydrodynamisk modellering i Økssundet i FVCOM med denne oppløsningen.
- I trinn II lager APN et "nøstet" modellgrid med meget høy oppløsning ned til omkring 7 meter for Økssundet for nærområdene til oppdrettsanleggene. Begrepet "nøstet" betyr at det fine griddet legges inn i det store griddet som inkluderer deler av Vestfjorden. APN gjennomfører så hydrodynamisk modellering med spesielt høy oppløsning med FVCOM for områdene i Økssundet hvor oppdrettsanleggene befinner seg.

I samme trinn blir en programmodul som simulerer spredning av sporstoffer koblet på gjennom modellverktøyet FABM. FABM simulerer sedimentering i form av konsentrasjon og uttynning av ulike sporstoffer. Dette gjør det mulig å simulere bunnfall fra oppdrettsanleggene i flere fraksjoner. I våre modelleringer har vi lagt inn 6 fraksjoner med ulike synkehastigheter for fekalier fra fisk, og 2 fraksjoner med ulik synkehastighet for forspill.

Med denne sedimenteringsmodellen simulerer APN ulike scenarier for produksjon i Økssundet på eksisterende lokalitetsstruktur der akkumulering av sedimenter fra oppdrett på bunnen vises. Scenariene er:

- Eksisterende produksjonsscenario som også tilsvarer produksjonen de senere årene (historisk scenario).
- Framtidig scenario med dobbelt så stor produksjon.

Med bakgrunn i tall på eksisterende produksjon sammenlignes modellert avsetning av karbon med sedimentenes kjemiske tilstand og tilstandsklassifisering fra B-undersøkelser som er gjennomført de senere årene. Videre kjøres modellscenarier med økt produksjon og sannsynlig avsetning av sedimenter på havbunnen karakteriseres. Videre vil antatt risiko i

forhold til sediment-kjemisk utvikling beskrives. I oppdatert rapport er det også modellert nye anleggskonfigurasjoner med 14 istedenfor 8 bur og med produksjon økt til 7800 tonn per år.

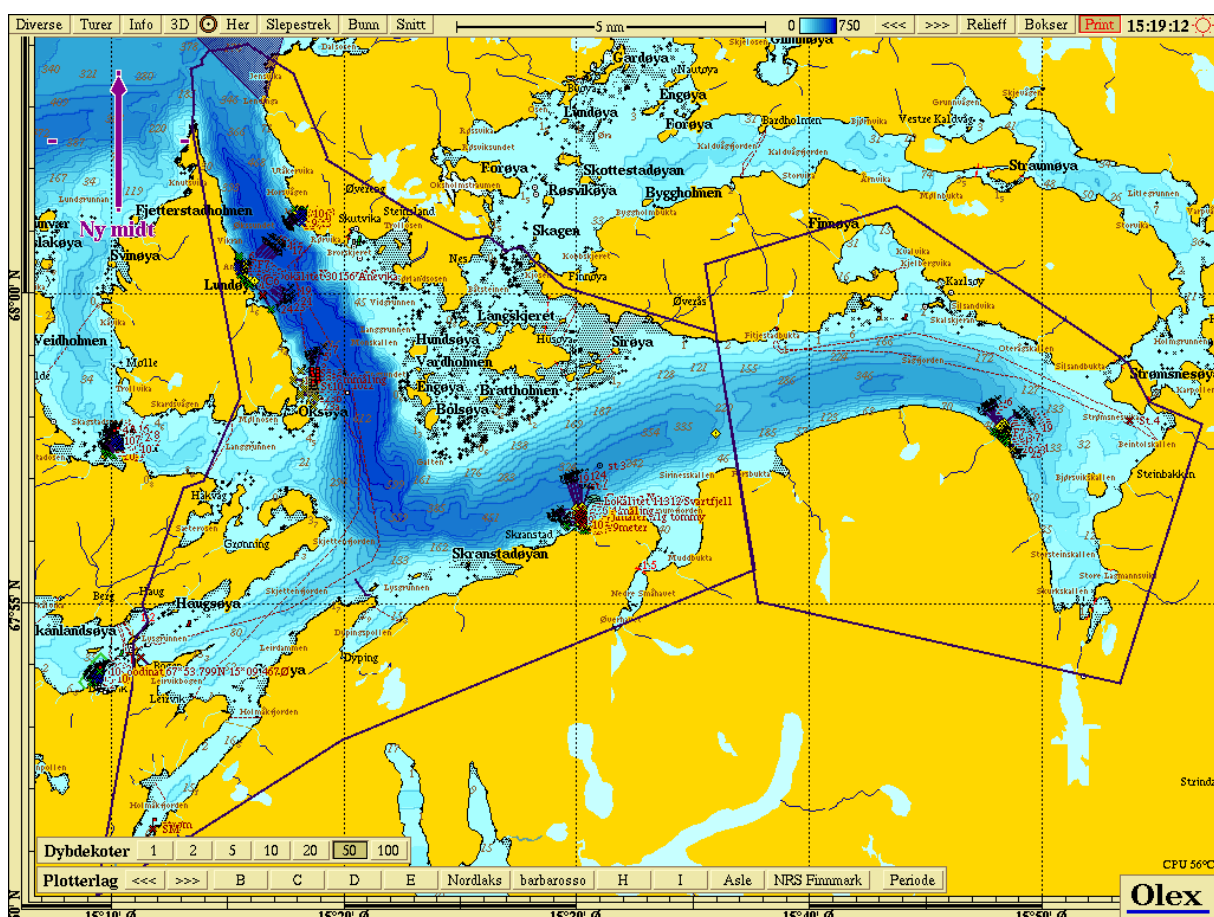
2.3 Inngangsdata til modellene

2.3.1 Grunnleggende resipientkapasitet i Sagfjorden/ Økssundet

2.3.1.1 Topografi og fjordfysikk

Modellberegningene for Sagfjorden og Økssundet er gjort for området fra Økssundets åpning mot Vestfjorden og til bunnen av Sagfjorden, i øst. Det er to fjordbassenger – ytre basseng består omtrent 630 m dype Økssundet mot Vestfjorden, med terskeldyp ca. 329 m, mens indre basseng har maksimaldyp på drøye 350 m og terskeldyp ca. 245 meter (se Figur 1). I figuren er indre basseng skilt fra ytre basseng med svart linje. Oppdrettslokaliteter er inntegnet.

Nøkkelresultater fra modelleringer med FjordEnv er gitt i



Figur 1: Modellområdene i Sagfjorden. Svarte linjer i fjorden viser avgrensning for indre (høyre) og ytre basseng (venstre) (kartkilde: www.olex.no).

Tabell 1: Oppsummering av nøkkelverdier for fjordfysikk i Sagfjorden & Økssundet

Parameter	Ytre basseng	Indre basseng
Terskeldyp	329 m	245 m
Maksdyp i basseng	630 m	353 m
Volum av fjord	27 km ³	6,9 km ³
Volum av bassengvann	5,5 km ³	0,6 km ³
Utskiftningstid, over terskel *	17 dager	10 dager
Utskiftningstid, bassengvann *	14 måneder	8 måneder
Naturlig oksygenminimum * (antar at 100 % metning er 6,7 ml/l)	5,65 ml/l = 85 %	5,38 ml/l = 81 %

* grovt veiledende verdier fra modellkjøringer, avhenger av nøyaktighet på inngangsdata

2.3.1.2 Drivkrefter for sirkulasjon

Utskiftning av og oppholdstid for vann både over og under terskeldypet drives primært av tidevannet, tetthetsforskjell mellom fjord- og kystvann og ferskvannstilførsel fra land (estuarin sirkulasjon). Parametre for tetthetsdrevet vannutsiftning er hentet fra databasen som inngår i modellen FjordEnv (Stigebrandt 2001). Tidevannsamplituden brukt i beregningene er basert på tidevannsdata fra modellens database (1,1 m), og er summen av de harmoniske konstantene M2 og S2. Ferskvannstilførsel er inkludert, men har liten effekt på resultatet.

Effekter av vind er ikke tatt med i beregningene.

2.3.1.3 Tilførsel av næringssalter og organisk materiale

Det aller meste av næringssalttilførsler til fjorden (utenom det som kommer fra oppdrett) skjer på grunn av algeproduksjon i overflatelaget, gjennom forbruk av næringssalt som naturlig finnes i sjøvannet. Næringssaltene tilføres først og fremst ved adveksjon av vannmasser fra kyststrømmen. I modelleringen er det brukt en bakgrunnsfluks på 5,5 gC/m² per måned som resultat av den naturlige primærproduksjonen. Ut fra dette beregnes en typisk mengde organisk materiale (karbon) som synker ned mot dypbassenget, samt gjennomsnittlig oksygenforbruk under terskeldypet.

I området rundt Sagfjorden er det relativt få fastboende innbyggere (størrelsesorden 1000 med tilknytning til Sagfjorden), og deres bidrag angående næringssalter via avløp regnes som svært lite sammenliknet med det som naturlig kommer inn til fjorden med kystvannet. Det samme gjelder bidrag fra landbruk, som er lite omfattende i området. Av antropogene bidrag av næringssalter har vi i modellberegningene derfor kun tatt hensyn til bidraget fra oppdrettsanleggene.

Cermaq Norway produserer laks i Sagfjorden og i Økssundet (se Figur 1.).

Lakseproduksjonen medfører økt tilførsel av nitrogen (N) og fosfor (P) til fjorden i form av fekalier fra fisken og fiskefôr som ikke blir spist (overskuddsfôr/ fôrspill). Overskuddsfôret og fekalier fra fisken vil synke ned mot bunnen under anlegget. Overskuddsfôr og fekalier vil påvirkes av strømforholdene mens det synker, og vil spres over et større område før det sedimenteres. Organisk materiale som sedimenteres i grunne områder vil normalt ikke ha negativ innvirkning på oksygenforholdene i dypvannet i fjorden. Nedbrytning av organisk

materiale som sedimenteres dypere enn terskeldypet kan derimot føre til oksygenkriske forhold, dersom tilførselen av ”friskt” bunnvann ikke er god nok. Uten å gjennomføre en detaljert sprednings- og deponeringsmodellering er det vanskelig å si nøyaktig hvor stor del av tilførselene fra oppdrettsanleggene som faktisk vil synke ned i de dype delene av fjordbassenget. Det utføres som regel med en konservativ tilnærming. I denne studien har vi innledningsvis simulert med at henholdsvis 100% og 50% sedimenteres på dypt vann, selv om ingen av anleggene ligger over bunndyp større enn terskeldyp. Fordi terskeldypet i Økssundet (Ytre Sagfjorden) er på 329 meter, og i Indre Sagfjorden på 245 meter, og anleggene befinner seg flere km fra dypbassengene, så vil med stor sannsynlighet en mindre del av produksjonen havne over ”dypt” vann, altså dypere enn terskeldypet. Modellresultatene som her presenteres er derfor svært konservative, dvs. produksjonen vil trolig påvirke dypvann mindre enn det som modellresultatene viser.

Algeveksten, ved økte tilførsler av næringssalter, kan medføre redusert siktedyp. Dette reduserte siktedypet blir beregnet av modellverktøyet FjordEnv, og oppgis i % av opprinnelig siktedyp ved økt tilførsel.

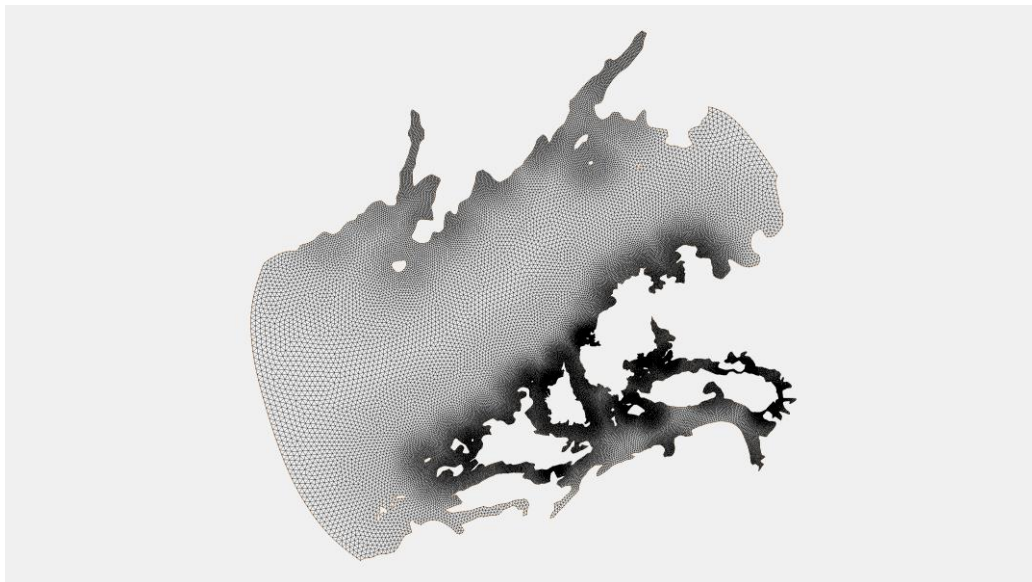
2.3.1.4 Simuleringer i FjordEnv

Basert på datamaterialet ovenfor ble det analysert 2 test-scenarier med ulike prosentandeler av fôret som antas å bli transportert til fjordens dypbasseng, henholdsvis 50 og 100 %. For scenarioene er det antatt 5 % fôrspill (15 % inkludert fekalier).

2.3.2 Hydrodynamikk og spredning av utslipp

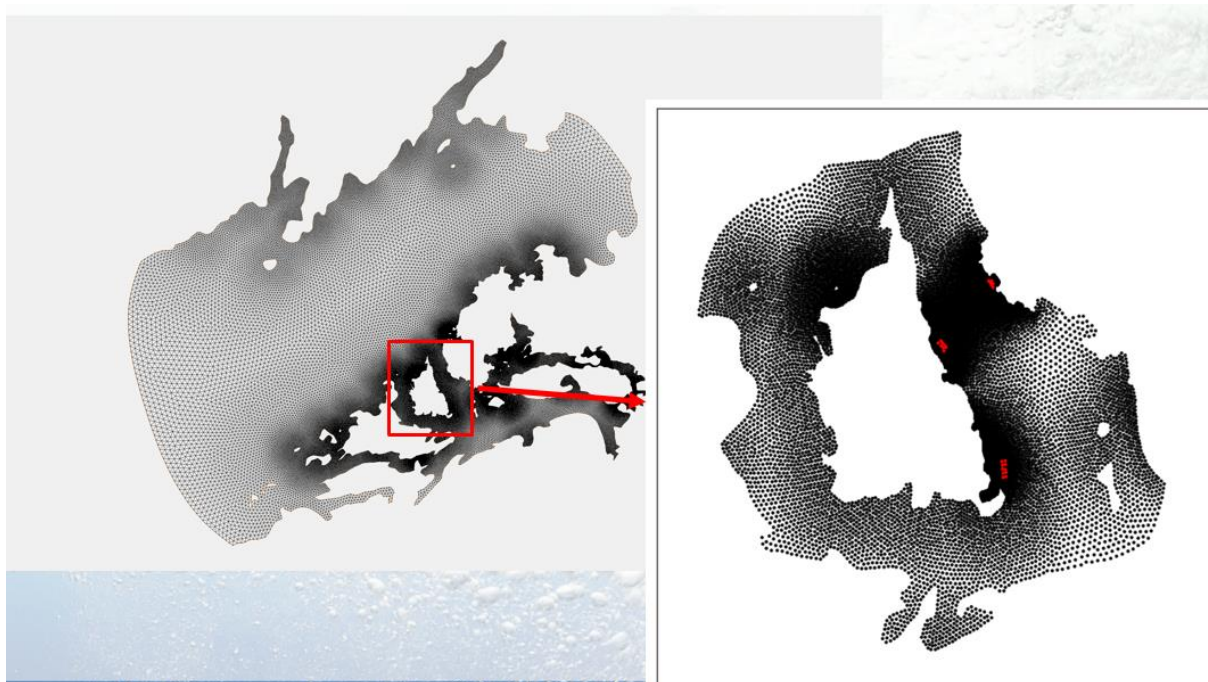
2.3.2.1 Modelldomener

Hydrodynamisk modellering ble foretatt i to trinn, trinn I i et stort modelldomene, og trinn II i et finere oppløst modelldomene.



Figur 2: Stort modelldomene med deler av Vestfjorden, hele Sagfjorden og Økssundet

Det store modelldomene inneholder 94 000 celler i 34 dybdelag. Simuleringen foregår 3 ganger i sekundet. Fineste oppløsning er ca. 90 m.



Figur 3: Finmasket modelldomene nested inn i større domene. Økssundet med anleggene inntegnet på høyresiden.

Det finmaskete modelldomene inneholder 65 000 celler i 34 dybdelag. Simuleringen foregår 5 ganger i sekundet. Fineste oppløsning er ca. 7 m.

De modellerte lokalitetene i Økssundet er (se Figur 3) Horsvågen (nord for Skutvik på vestsiden av Økssundet), Aneviken (den nordlige lokaliteten på Lundøya på vestsiden av Økssundet) og Okssøya (den sørlige lokaliteten på Lundøya på vestsiden av Økssundet).

2.3.2.2 Sporstoffenes egenskaper

I rapporten er det innledningsvis beskrevet at utslippet simuleres ved 8 sporstoffer som hver kan ha ulik synkehastighet, forskjellig mengde som slippes ut og ulikt karboninnhold. Partiklene simuleres som sporstoff som spres tredimensjonalt gjennom de henholdsvis 94 000 (grovmasket) og 65 000 (finmasket) cellene i 34 dybdelag til de sedimenterer på bunnen.

To av sporstoffene representerer fiskefôr og de seks andre fekalier (se Tabell 2). Synkehastighetene er hentet fra forsøkene beskrevet i Bannister et. al, 2016.

Tabell 2: Synkehastighet og prosentvis fordeling av sporstoff i fekalier og fôr

		fekalie	fekalie	fekalie	fekalie	fekalie	fekalie	fôr	fôr
Sporstoff nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Synkehastighet (cm/s)		0,25	0,75	1,75	2	3,75	7,5	8,8	12
fiskens vekt	1-600g	5 %	3 %	3 %	4 %	21 %	64 %	100 %	0 %
	- 1500g	5 %	3 %	3 %	2 %	9 %	78 %	0 %	100 %
	> 1500g	7 %	2 %	3 %	2 %	27 %	59 %	0 %	100 %

I en produksjonssyklus vil fiskens størrelse og derved også utslippenes egenskaper endre seg. Fiskefôr som direkte går til bunnen under anlegget har et annet karboninnhold enn fekalier. Karboninnhold i fôr er beregnet til å være 57 % (Brooks 2000, 2003). Fôrspill er satt til 2% av utfôring. Andel karbon i fekalierne er beregnet til 2,67% av utfôring (Brooks 2000, 2003).

2.3.2.3 Inngangsdata fra produksjon av laks

For hver lokalitet ble det på månedsbasis innhentet produksjonsdata fra oppdragsgiver om utsett, flytting, utslakting, fiskebeholdningens antall, størrelse, vekst, dødelighet og utfôring.

Det er primært mengden biologisk tilgjengelig organisk karbon fra oppdrett som fører til økologiske endringer i bunnssubstrat under og ved anleggene (Hargrave 2008). Keeley et al (2013) viser at en modellering av sedimentenes økologiske respons på mengde utfôring i et oppdrettsanlegg kan vises i korte tidsserier fra driftsperioden på en til seks måneder. APN valgte å modellere karbonavsetning under og rundt anlegget for den måneden med størst utfôring/ maksimal biomasse. Dette gir et maksimalt anslag for lokalitetens belastning med organisk tilgjengelig karbon. Modellresultatene blir da sammenlignbare med B-undersøkelser som også utføres rundt maksimal biomasse.

En matrise for karbonutslipp for hvert sporstoff for den måneden med størst utfôring ble regnet ut for hver lokalitet. Akkumulert avsetning av alle sporstoffer i hver av bunncellene i modelldomenet for den aktuelle måneden med størst produksjon av laks ble modellert, og sedimentering av karbon ble beregnet ved å multiplisere mengde karbon i hvert sporstoff med prosentvis avsetning av sporstoff i hver bunncelle. Ved å midle disse verdien over antall dager med utfôring ble karbonavsetning i gram karbon per dag funnet.

Resultatene blir vist i fargekoder i geografiske kart med karbonavsetning per dag i hver bunncelle, samt isolinjer av daglig karbonavsetning. APN har også beregnet størrelsen av areal under og rundt oppdrettsanlegg som er påvirket, samt og mengde daglig karbonutslipp til disse arealene.

For lokalitetene Anevika og Okssøya er det modellert to scenarier – Scenario I er dagens produksjon, og Scenario II er en dobling av produksjon i forhold til dagens. Horsvågen har bare Scenario I. *I scenario III i oppdatert rapport er det modellert nye anleggskonfigurasjoner med 14 istedenfor 8 bur og med produksjon økt til 7800 tonn per år.*

2.4 Miljøinformasjon

For hver lokalitet i Økssundet ble tilgjengelig miljøinformasjon hentet inn fra APN's arkiver. Det ble hentet inn tidligere foretatte strømmålinger, tidligere B- og C-undersøkelser. Relevant miljøinformasjonen ble hentet ut og framstilles i denne rapporten. Miljøklassifiseringen basert på sedimentkjemi fra B-undersøkelsene ble sammenstilt med resultatene fra modelleringen.

3 Resultater

3.1 Eutrofiering av bunnvann i resipient Sagfjorden/ Økssundet

Modellen FjordEnv beregner oksygenminimum i dybbassenget, både naturlig og ved økt tilførsel av organisk utslipp. Dette vil være et gjennomsnitt over hele dybbassenget. Anbefalt minsteverdier i slike vannmasser er 3,0-3,5 ml/l (Buhl-Mortensen, Oug og Aure, 2009).

Modellen beregner videre redusert siktedyp i overflatelaget i prosent som oppstår ved økt gjødsling i vannmassene og derav resulterende økt produksjon av plankton. Anbefalt maksimalverdi for redusert siktedyp er 10 % (Aure og Stigebrandt, 1990)

Resultater fra innledende simuleringer med modellen viser at man i indre fjordbasseng ved produksjon av ca. 5 000 tonn laks vil kunne nå en oksygenmetning på 65% i fjordens dypeste vannlag (Tabell 3). Dette er under forutsetning av at 100 % av fôrspill og fekalier havner i dybbassenget under terskeldyp på 245 meter. Reduksjonen i siktedypet var da 3,7% i overflatelaget.

Tabell 3: Modellert kapasitet for indre basseng, med inngangsdata beskrevet i kapittel 2

Produksjon (tonn)	Oksygenminimum i dybbasseng (% metning)	Reduksjon i siktedyp
0	81 %	0
5 000*	65 %	3,7 %

For ytre fjordbasseng beregner modellen at man ved produksjon av ca. 17 000 tonn laks vil kunne nå en oksygenmetning på 75% i dybbassenget og en reduksjon av siktedyp på 6,5% i fjordens overflatelag (Tabell 4). Dette er under forutsetning av at 100 % av fôrspill og fekalier havner i dybbassenget under terskeldyp på 329 meter.

Under forutsetning av at 50 % av fôrspill og fekalier havner i dybbassenget under terskeldyp, beregner modellen for ytre fjordbasseng at man ved produksjon av ca. 70 000 tonn laks vil kunne nå en oksygenmetning på 65% i dybbassenget og en reduksjon av siktedyp på 22,2% i fjordens overflatelag.

Tabell 4: Modellert kapasitet for ytre basseng, med inngangsdata beskrevet i kapittel 2.

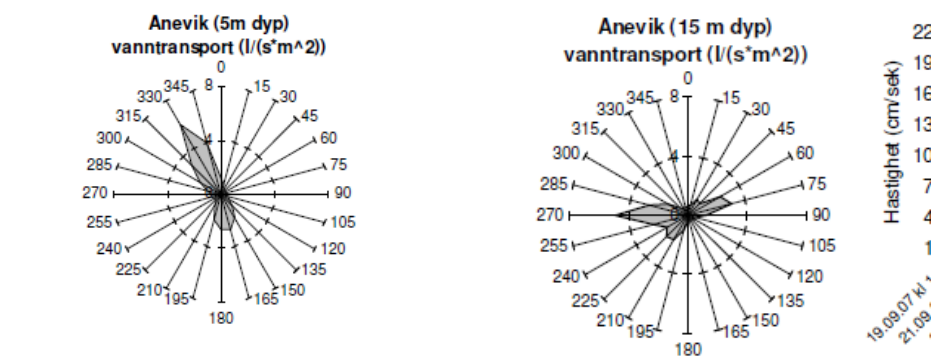
Produksjon (tonn per år)	Oksygenminimum i dybbasseng (% metning)***	Reduksjon i siktedyp****	Forutsatt utslipp som havner i fjordens dypområdet
0	85 %	0	0
17 000	75 %	6,5 %	100%
70 000	65 %	22,2 %	50%

3.2 Miljøinformasjon og lokalitetens historikk

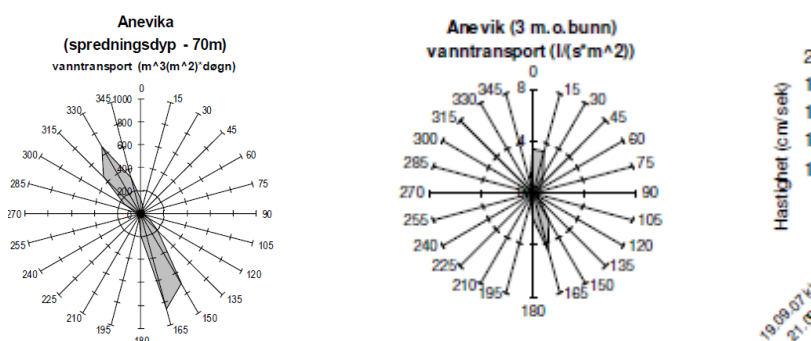
3.2.1 Anevika

Anevika ble søkt i 2008 som ny lokalitet og har i dag en MTB på 5400 t. Det er produsert mellom 5000 og 6000 tonn fra 2009 til 2016 med drift annethvert år.

3.2.1.1 Anevika - strøm



6.1.3 Strømmålinger 3m. o. bunn

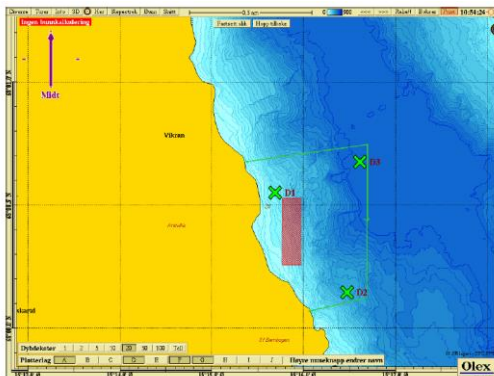


Anevika		
(spredningsdyp - 70m)		
	Hastighet (cm/s.)	Temp
Max	19,6	7,5
Min	0,0	5,8
Gj.snitt	4,9	6,9
% av målinger > 10 cm/s	9 %	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	56 %	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	29 %	
% av målinger < 1 cm/s	6 %	
95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. =>	12,0	
Residual strøm	0,4	
Residual retning	197	
Varians (cm/sek) ²	11,9	0,1
Standardavvik	3,4	
Stabilitet (Neumanns parameter)	0,1	

Anevika er en lokalitet med gode strømforhold.

3.2.1.2 Anevika - C-undersøkelser

C-undersøkelse i 2008:

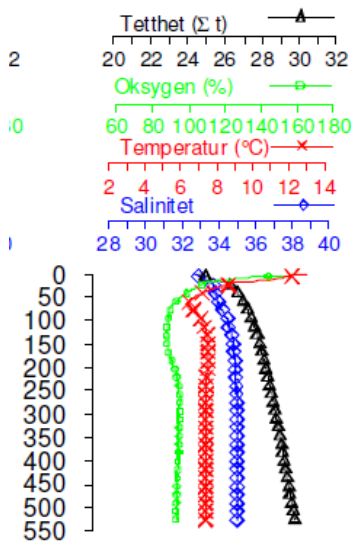


Figur 1. Økssundet der lokaliteten Anevika er avmerket. I tillegg er de tre prøvetaksstasjonene (D1 – D3) avmerket

Tabell 1. Stasjonsopplysni

Stasjon	Dyp, m
D1	118
D2	387
D3	629

Anevika st. D3 21.08.08

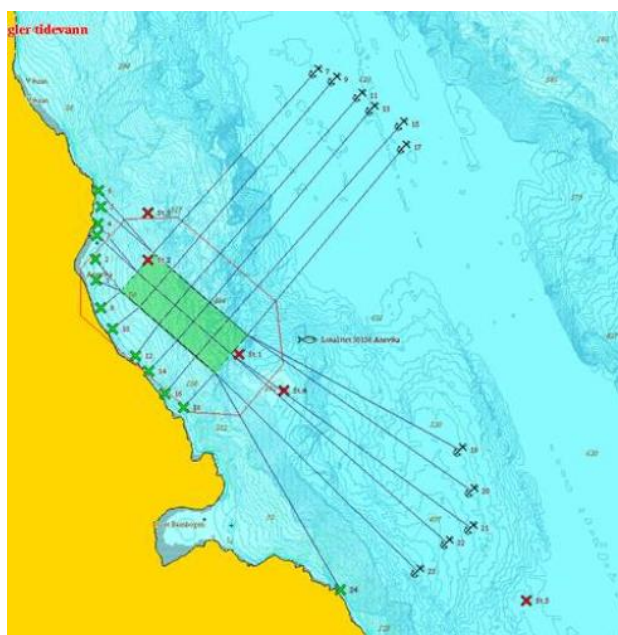


Stasjon	Beskrivelse	Kornstr. <0.063	N-TOC*
D1	Sand/Skjellsand med lys brun overflate. Ikke lukt.	28,1	25,0 - II
D2	Stein med litt leire. 2 bomskudd. <u>Ingen prøver</u>	-	-
D3	Gråbrunt mudder, med leire under. Ingen Lukt.	94,7	21,9 – II

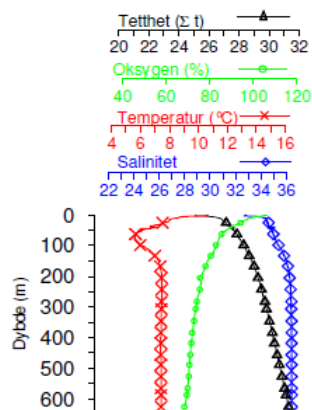
* N-TOC = Normalisert organisk karbon som viser verdier etter flg formel: $N-TOC = \text{målt } TOC + 18x(1-F)$, hvor F er a

	D1	D2	D3
tilstand	Meget god	God	God

C-/ ASC undersøkelse i juni 2015: utslaktet i 2014, brakk til juni 2015



Anevika St. 5
23.06.15



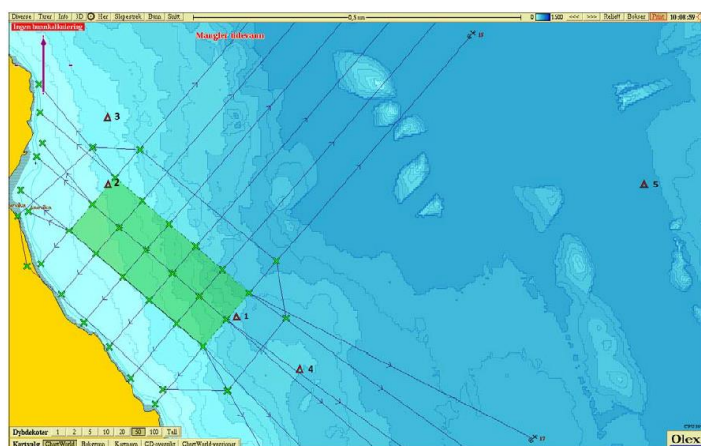
St.	Sedimentbeskrivelse	TOC, mg/g	N-TOC*	Tilstandskl.*
1	Fjellbunn uten sediment (ingen bløtbunnprøver)	ip	ip	ip
2	Mye fjellbunn. Litt lys grå sand	4,7	22	II God
3	Mye fjellbunn. Lys grå sand. Ingen lukt eller sverting/slam	3,9	20,3	II God
4	Olivengrønn leire. Ingen lukt	18,1	24,9	II God
5	Leire. Olivengrønn øverst og gråere nedover. Ingen lukt.	16,2	23,3	II God

* Tilstandsklassifisering (SFT - Molvær m.fl., 1997) basert på TOC forutsetter at konsen

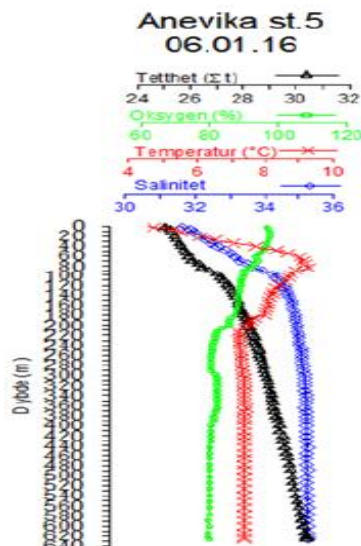
St.	Individtall	Ant arter	H'	ES ₁₀₀	NQI1	ISI ₂₀₁₂	NSI	nEQR
2	314	21	2,0	11,8	0,6	7,1	15,6	0,472
3	259	32	3,8	23,2	0,6	8,2	18,0	0,631
4	765	83	4,6	33,4	0,8	11,0	23,4	0,792
5	441	47	4,0	26,5	0,8	11,6	24,7	0,780

C-/ ASC undersøkelse i januar 2016

utslaktet i 2014, brakk til juni 2015 – produsert biomasse ca. 6000 tonn, stående biomasse januar 2016 – 4961 tonn



Figur 3. Stasjonskart, ASC-C Anevik 2016. Grense for AZE inntegnet som linje med avstand på 200 m fra rammen til forankringen.



Tabell 9. Sedimentanalyser. TOC og kornfordeling (pelittandel = % < 0,063 mm). C-stasjoner ved Anevik, 2016. Ip = ikke prøvetatt.

St.	Sedimentbeskrivelse	TOC, mg/g	N-TOC*	Tilstandskl.*	Pelitt %	pH/Eh
2	Ikke mulig å samle inn sedimentprøver pga hardbunn	Ip	Ip		ip	ip
4	Olivengrønn leire. Ingen lukt	16,6	22,9	II God	65,1	7,3/-36
5	Olivengrønn leire. Ingen lukt	17,2	21,2	II God	77,6	7,3/-50

* Tilstandsklassifisering (SFT - Molvær m.fl., 1997) basert på TOC forutsetter at konsentrasjonen av TOC i sedimentet standardiseres for teoretisk 100% finstoff (pelitt < 0.063 mm) iht. formelen: Normalisert TOC = målt TOC + 18 x (1-F), hvor F er andel av finstoff (Aure m.fl., 1993).

St.	Individtall	Ant arter	H'	ES ₁₀₀	NQI1	ISI ₂₀₁₂	NSI	nEQR	DI	AMBI	J
2	571	3	0,12	1,9	0,272	4,54	14,1	0,169	0,388	4,51	0,08
4	245	56	4,51	31,9	0,803	10,90	24,7	0,798	0,217	1,53	0,87
5 *	105	29	3,77	28,2	0,831	11,88	25,3	0,798	0,029	0,78	0,78

*Kun ett replikat.

Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
-----------	--------	-------------	-----------	----------------

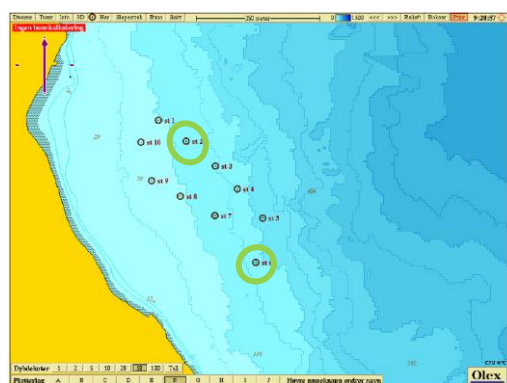
Tabell 12. Klassifisering av miljøtilstand i bløtbumsammfunnet på stasjon 2 (nærsone) ved lokaliteten Anevik, 2016.

Stasjon	Lokalitet	Ant. arter	Dominerende taksa	Miljøtilstand-NS 9410
St 2	Anevik	3	<i>Ophryotrocha</i> sp. (98 %)	Miljøtilstand 3

3.2.1.4 Anevika - B-undersøkelser

B-undersøkelse i november 2009

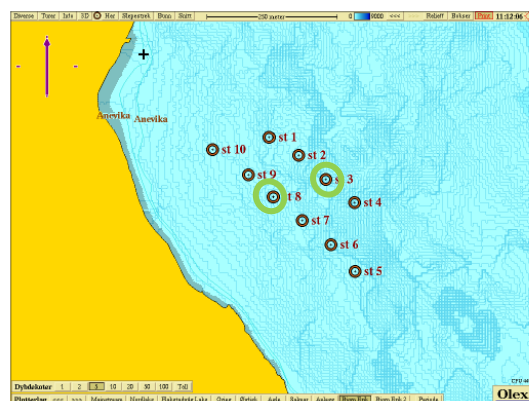
Drift siden juni 2009, tilstand 1 på alle stasjoner unntatt Stasjon 2 og 6 med tilstand 2 (merket med grønn ring).



Figur 2: Dybdekart ved lokaliteten Anevika i Økssundet. Prøvetakingsstasjonene st.1 – 10 er tegnet inn.

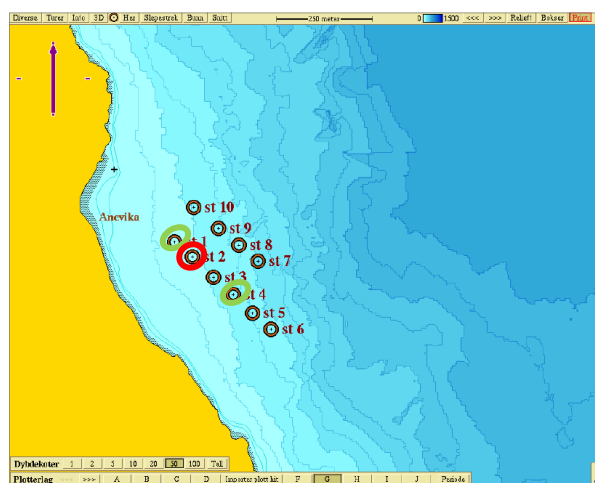
B-undersøkelse i desember 2013

Fisk satt ut i juni 2009, juni 2011 og juni 2013, biomasse 4476 t ved undersøkelsen, tilstand 1 på alle stasjoner med unntak av Stasjon 3 og 8 med tilstand 2 (grønn ring).



B-undersøkelse i november 2011

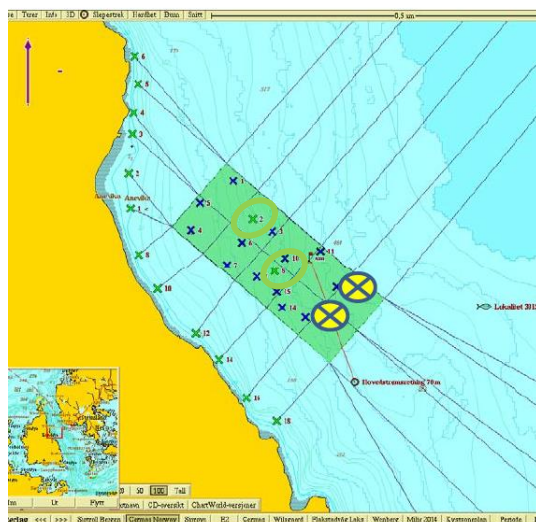
Fisk satt ut i juni 2009 og juni 2011, biomasse produsert 4100 t ved undersøkelsen, tilstand 1 på alle unntatt Stasjon 1 og 4 tilstand med tilstand 2 (grønn ring), og stasjon 2 med tilstand 4 (rød ring).



Figur 2: Dybdekart ved lokaliteten Anevika i Økssundet. Prøvetakingsstasjonene st.1 – 10 er tegnet inn.

B-undersøkelse i mai 2016

Fisk satt ut i juni 2009, juni 2011, juni 2013 og høsten 2014 biomasse produsert 5869 t ved undersøkelsen; Alle stasjoner tilstand 1 unntatt Stasjon 2 og 8 med tilstand 2 (merket gult).

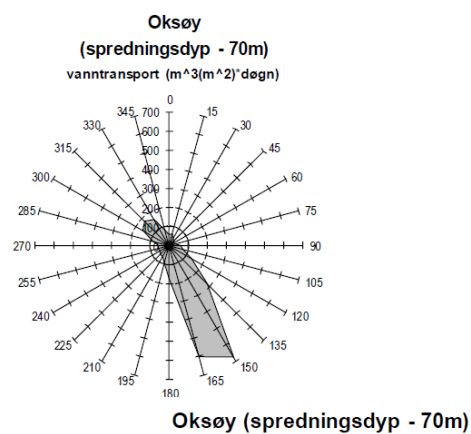


Figur 2: Dybdekart ved lokaliteten Anevika. Prøvetakingsstasjonene er markert med farge som beskriver tilstand iht NS 9410-7016 km

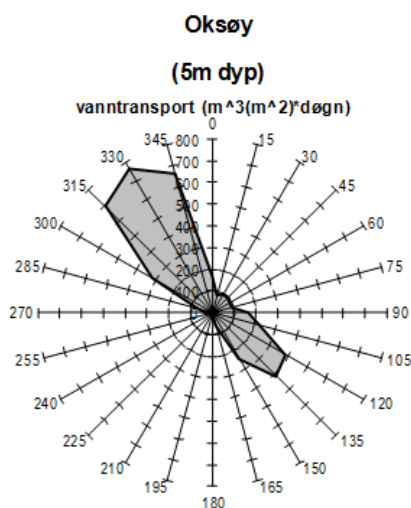
3.2.2 Oksøy

3.2.2.1 Oksøy - Strøm

Oksøy (spredningsdyp - 70m)		
	Hastighet (cm/s.)	Temp
Max	20,1	7,5
Min	0,1	5,5
Gj.snitt	3,8	6,9
% av målinger > 10 cm/s	5 %	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	46 %	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	40 %	
% av målinger < 1 cm/s	9 %	
95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. =>	10,1	
Residual strøm	1,5	
Residual retning	164	
Varsians (cm/sek) ²	8,8	0,1
Standardavvik	3,0	
Stabilitet (Neumanns parameter)	0,4	



Oksøy (5m dyp)		
	Hastighet (cm/s.)	Temp
Max	24,2	10,6
Min	0,2	7,6
Gj.snitt	5,5	9,7
% av målinger > 10 cm/s	8 %	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	77 %	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	14 %	
% av målinger < 1 cm/s	0 %	
95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. =>	12,4	
Residual strøm	1,2	
Residual retning	360	
Varsians (cm/sek) ²	9,7	0,2
Standardavvik	3,1	
Stabilitet (Neumanns parameter)	0,2	

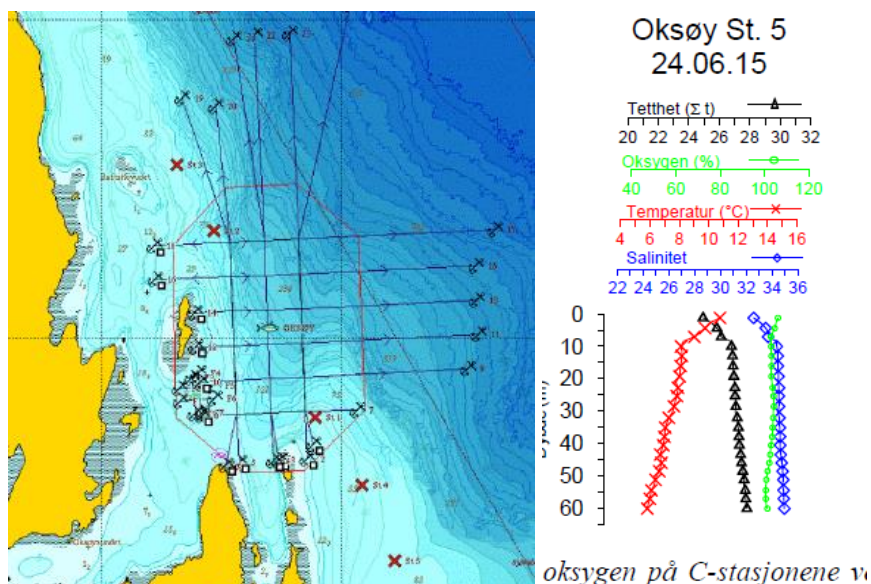


Også på Oksøya er det gode strømforhold.

3.2.2.2 Oksøy - C-undersøkelser

C-/ ASC undersøkelse 24. juni 2015

Lokaliteten var utslaktet i juni 2015, maks biomasse i januar 2015 var 5416 t, utfôret 6870 t i siste syklus



Tabell 9. Sedimentanalyser. TOC og kornfordeling (pelittandel = % < 0,063 mm). C-stasjoner ved Oksøy, 2015. ip = ikke prøvetatt.

St.	Sedimentbeskrivelse	TOC, mg/g	N-TOC*	Tilstandskl.*	Pelitt %	pH/Eh
1	Hardbunn. Enkelte partier med skjellsand og sand. Svak lukt av hydrogensulfid. Ingen forrester, fæces eller slam.	7,1	20,5	II God	25,7	7,2/82
4	Hardbunn med litt innslag av finsand. Seks forsøk gav kun nok materiale til en TOC-prøve og RedOx.	2,2	ip	-	ip	7,6/126
5	Hard sand og skjellsand. Vanskelig å få opp store nok prøver (60-70% fylningsgrad).	2,9	20,0	II God	4,9	7,8/113

* Tilstandsklassifisering (SFT - Molvær m.fl., 1997) basert på TOC forutsetter at konsentrasjonen av TOC i sedimentet standardiseres for teoretisk 100% finstoff (pelitt < 0.063 mm) iht. formelen: Normalisert TOC = målt TOC + 18 x (1-F), hvor F er andel av finstoff (Aure m.fl., 1993).

(Aure m.fl., 1993). Normalisert TOC (NSI) = TOC + 18 x (1-F). NSI = normalisert TOC. C-stasjoner ved Oksøy, 2015. Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks iht. Veileder 02:2013.

St.	Individtall	Ant arter	H'	ES ₁₀₀	NQI1	ISI ₂₀₁₂	NSI	nEQR	DI	AMBI	J
1	618	69	3,83	27,9	0,758	10,08	25,3	0,76	0,438	2,06	0,68
5	700	87	4,49	32,0	0,715	9,25	22,7	0,74	0,485	2,91	0,76

Det ble ikke samlet inn faunaprøver på stasjon 4 pga hardbunn.

Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
-----------	--------	-------------	-----------	----------------

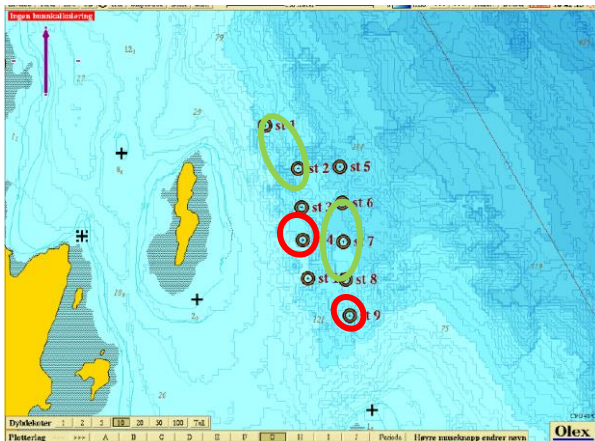
Tabell 12. Klassifisering av miljøtilstand i bløtbunnsamfunnet på st. 1 (nærsonen) ved lokaliteten Oksøy, 2015.

Stasjon	Lokalitet	Ant. arter	Dominerende taksa	Miljøtilstand-NS 9410
1	Oksøy	69	Ophiura robusta (34 %)	Miljøtilstand 1 Meget god

3.2.2.3 Oksøy - B-undersøkelser

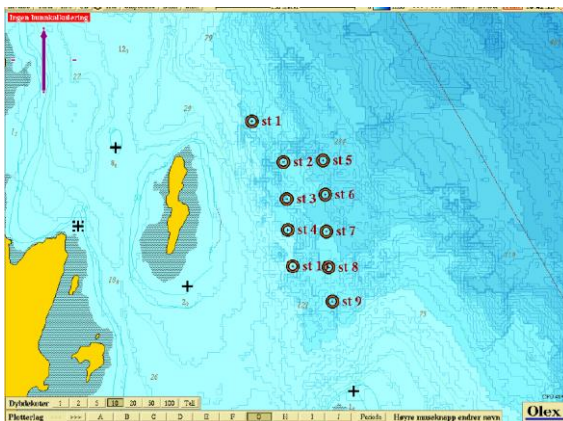
B-undersøkelse, 1.12.2010 ,

Utsett i juli 2010, biomasse i desember 2010 var 3600 t, tilstand 2 (grønn ring) men på stasjon 4 og 9 tilstand 5 (rød ring), lokalitet tilstand 2



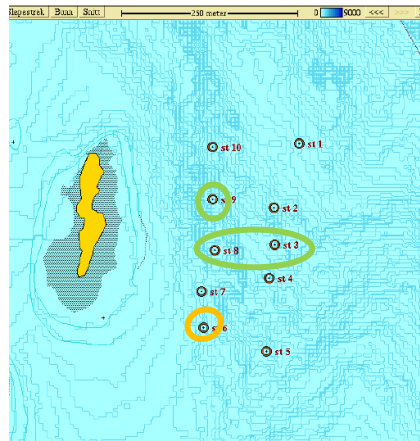
B-undersøkelse, 30.11.2011

Brakk siden utslakting i juli 2011, biomasse november 2011 0 tonn, tilstand 1 på alle stasjoner eller hardbunn (st 1,5,6,7).



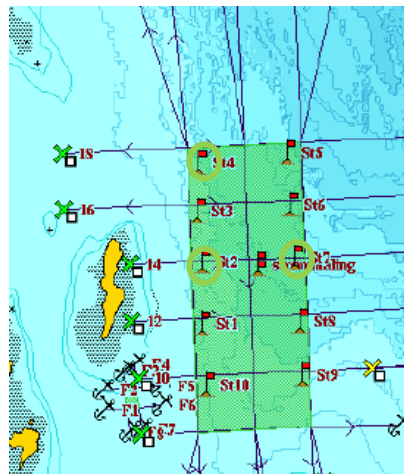
B-undersøkelse, 18.12.2013

Brakk siden utslakting i mai 2013 der det ble produsert 4800 tonn; biomasse i november 2013 var 0 tonn; lokalitet hadde tilstand 2, St 3,6,8,9 tilstand 2 (grønn ring) eller 3 (gul ring).



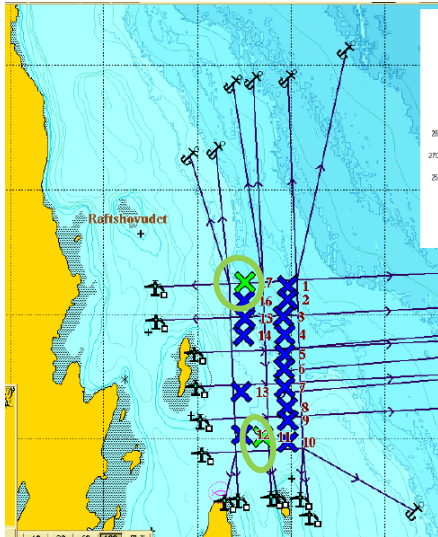
B-undersøkelse, 11.12.2014

Utsett sommer 2014; biomasse var i desember 2014 på 5208 tonn; tilstand lokalitet var 2, og St 2,4,7 tilstand 2, st 1,3,8,9,10 hardbunn



B-undersøkelse, 11.11.2016

Utsett høsten 2015; biomasse i november 2016 var 5252 tonn; tilstand 1, men 16 av 17 grabbskudd gikk ut pga hardbunn, St 11 og 17 tilstand 2 ifølge gruppe III parametere.

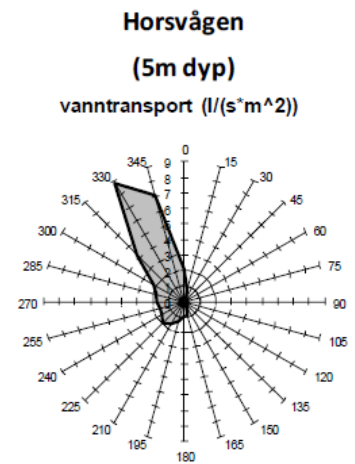


3.2.3 Horsvågen

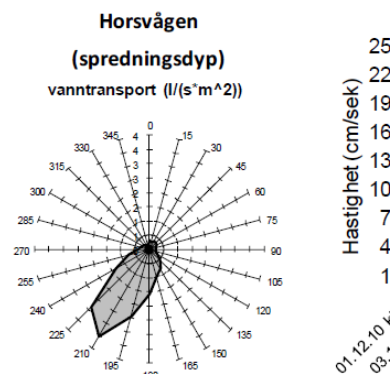
Horsvågen har vært i drift siden 1985.

3.2.3.1 Horsvågen - Strøm

Horsvågen (5m dyp)		
	Hastighet (cm/s.)	Temp
Max	14,6	7
Min	0,2	3,85
Gj.snitt	4,0	5,6
% av målinger > 10 cm/s	1 %	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	65 %	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	33 %	
% av målinger < 1 cm/s	1 %	
95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. =>	7	
Residual strøm	2,4	
Residual retning	308	



Horsvågen (spredningsdyp)		
	Hastighet (cm/s.)	Temp
Max	8,8	7,3
Min	0	4,4
Gj.snitt	1,9	6,2
% av målinger > 10 cm/s	0 %	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	13 %	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	54 %	
% av målinger < 1 cm/s	33 %	
95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. =>	4,2	
Residual strøm	1,1	
Residual retning	205	

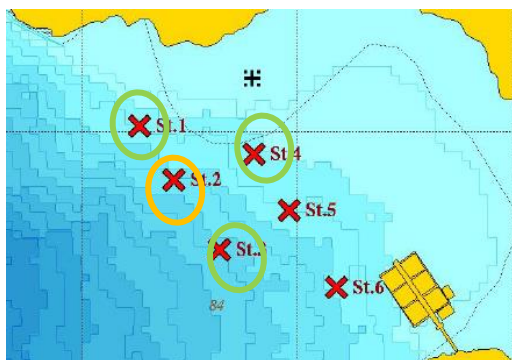


Horsvågen har saktere spredningsstrøm, ca. halvparten så stor fart, sammenlignet med Anevika og Oksøy.

3.2.3.2 Horsvågen - B-undersøkelser

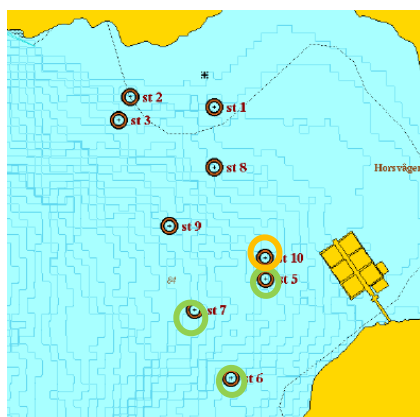
B-undersøkelse, 15.07.2009

Oppgitt "halv biomasse" juli 2009, lokalitetstilstand 2, St. 1,3,4 tilstand 2 (grønn ring), og St. 2 tilstand 3 (gul ring).



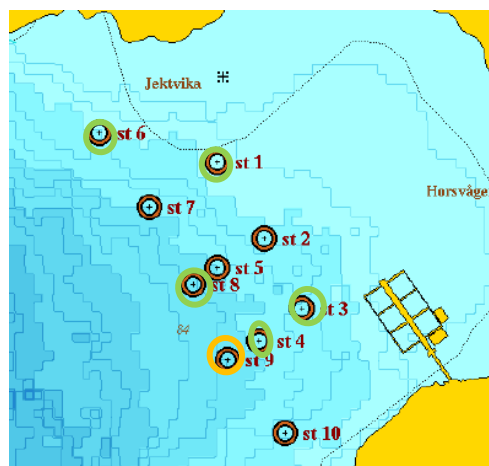
B-undersøkelse, 19.07.2011

Utsett i september 2010 og fisk flyttet like før undersøkelsen; biomasse juli 2011 var 0 tonn., tilstand 1, på st. 5,6,7, tilstand 2 (grønn ring); på st. 10 tilstand 3 (gul ring)



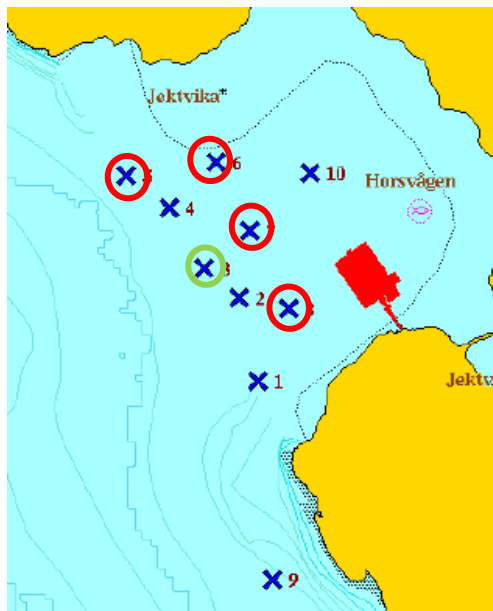
B-undersøkelse, 11.06.2013

Utsett september 2012, biomasse i juni 2013 var 850 tonn, lokalitetstilstand 2, St. 1,3,4,6,8 var tilstand 2 (grønn), st. 9 tilstand 3 (gul)



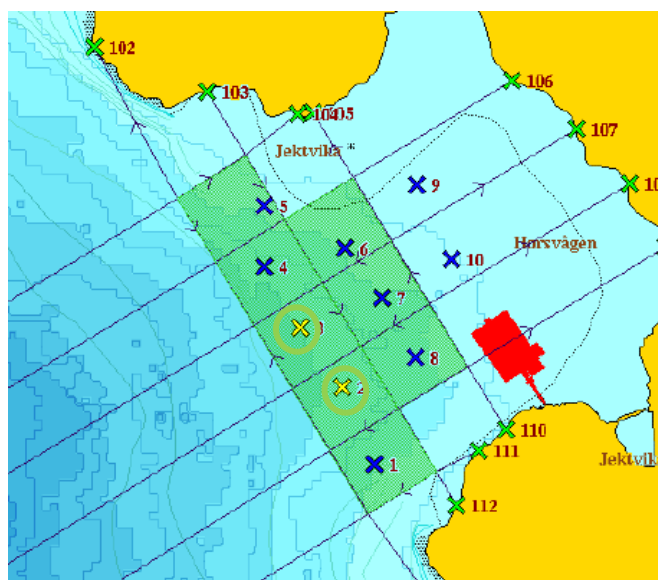
B-undersøkelse, 15.07.2015

Utsett august 2014; fôrforbruk var 611 tonn for generasjonen, og biomasse var flyttet like før undersøkelsen; lokalitetstilstand 3, St. 3 tilstand 2 (grønn); st. 5,6,7,8 tilstand 4 (rød ring)



B-undersøkelse, 02.03.2016

Utsett i august 2014; biomasse var 0 tonn og brakklagt i 9 måneder; lokalitetstilstand 1, St. 2 og 3 var tilstand 2



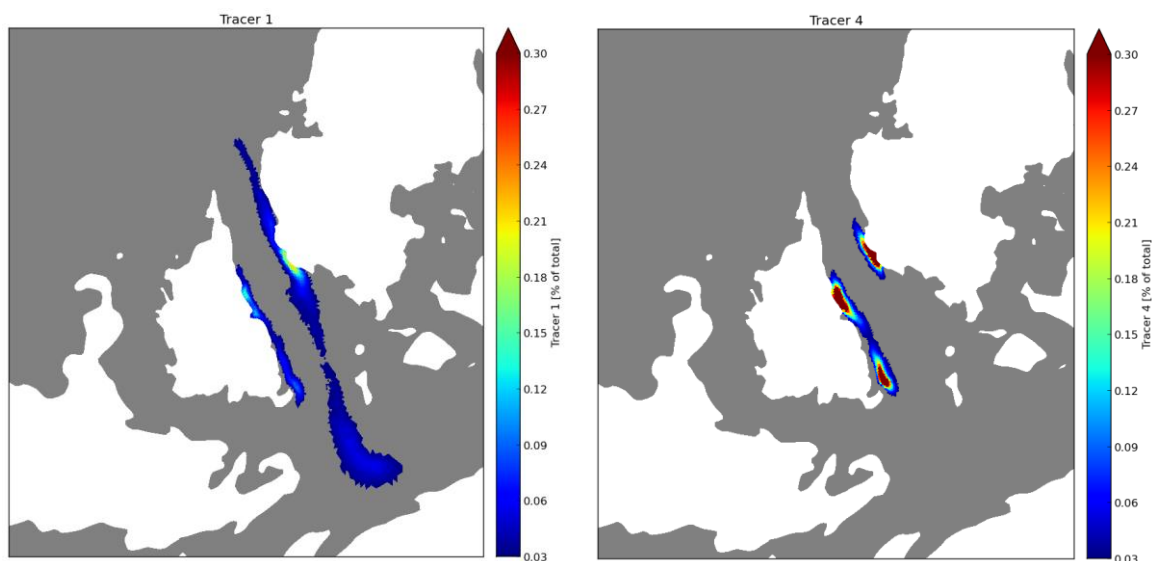
3.3 Spredning og sedimentering fra oppdrettsanlegg

Resultatene vises i grafisk form som plott av konsentrasjoner eller som gram karbon sedimentert per dag.

3.3.1 Bunnfelling av sporstoffer

Resultatene vises i grafisk form som plott av konsentrasjoner. Sporstoffene følger vannstrømmene i modellen inntil de når bunnen. I det de når bunnen første gang blir de tatt ut av videre transport i modellen, og akkumulert (5 ganger i sekundet) i den respektive bunncellen. Hvert sporstoff bunnfeller på forskjellig måte, og i en grafisk fremstilling kan de vises som et slags "fotavtrykk". Sporstoffenes fotavtrykk vil være forskjellig for et helt år når det sammenlignes med en bestemt måned. På månedsbasis vil ferskvannsavrenning fra elver, vindforhold og strømforhold variere, og derved påvirke vannsirkulasjon og bunnfelling på ulikt vis. I figurene som nå følger viser vi dette med noen eksempler.

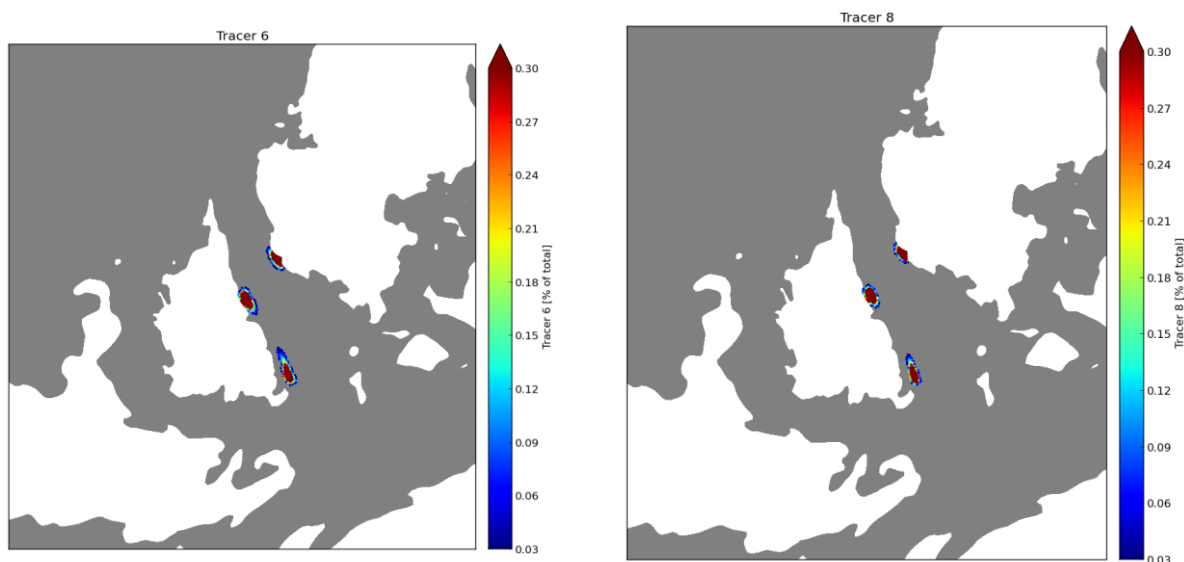
3.3.1.1 Bunnfelling av sporstoffer på årlig basis



Figur 4: Sporstoff 1 (venstre) og sporstoff 4(høyre)

I figuren ovenfor vises hvordan sporstoffene bunnfeller i løpet av et år. Sporstoff 1 er lettest. Dette sporstoffet kan spres langt i fjordsystemet på grunn av lav synkehastighet. Men det utgjør bare 5% til 7% av fekalieene. Sporstoff 1 er også interessant når det gjelder spredning av sykdom. Årsplottet viser også at det er svært lite spredning på tvers av Økssundet.

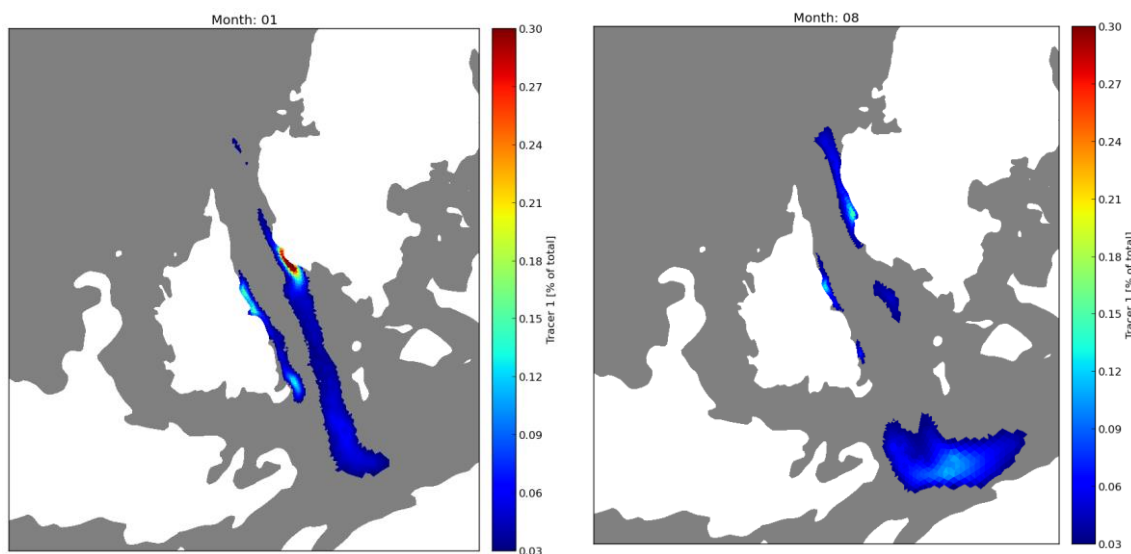
Sporstoff 4 sprer seg over langt mindre avstander, og det står for 2 til 4% av fekalieene. På årsbasis viser sporstoff 4 at det er nesten ingen stoff som bunnfeller i fjordens dypeste basseng.



Figur 5: Sporstoff 6 (venstre) og sporstoff 8(høyre)

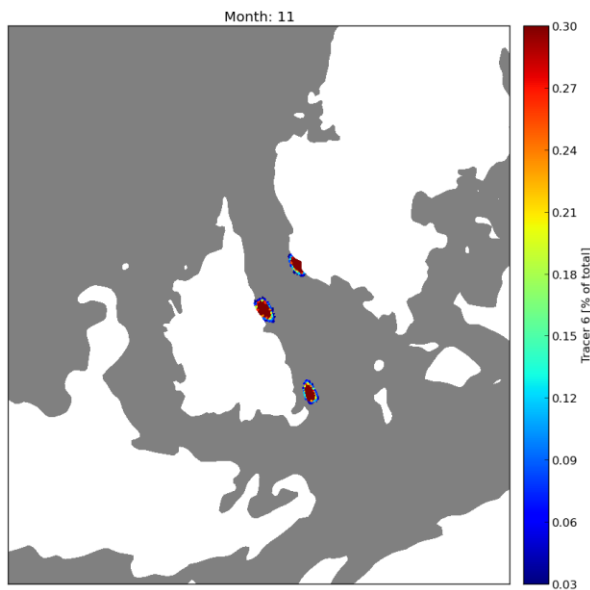
I Figur 5 ovenfor vises hvordan sporstoffene 6 og 8 bunnfeller i løpet av et år. Sporstoff 6 er den tyngste fekaliefraksjon og utgjør mellom 60 % og 80 % av fekalieene. Sporstoff 8 er det tyngste fôret. Disse sporstoffene sprer seg over langt mindre avstander enn de andre sporstoffene og sedimenterer nært anleggene. I et miljøperspektiv med fokus på lokal organisk forurensning utgjør disse tunge fraksjonene over to tredeler av organisk belastning. Grafikken viser også at dette utslippet ikke overlapper mellom anleggene i Økssundet.

3.3.1.2 Bunnfelling av sporstoff på månedlig basis



Figur 6: Sporstoff 1 i januar måned (venstre) og sporstoff 1i august måned (høyre).

Figur 6 viser hvor forskjellig sporstoff 1 bunnfeller i januar og i august måned. Dette skyldes forskjeller i vannsirkulasjon. Fordi sporstoff 1 bare utgjør 5 til 7% av fekalieene og fordi blåfargene viser en lav konsentrasjon spres det likevel lite stoff til fjordens dypområder.



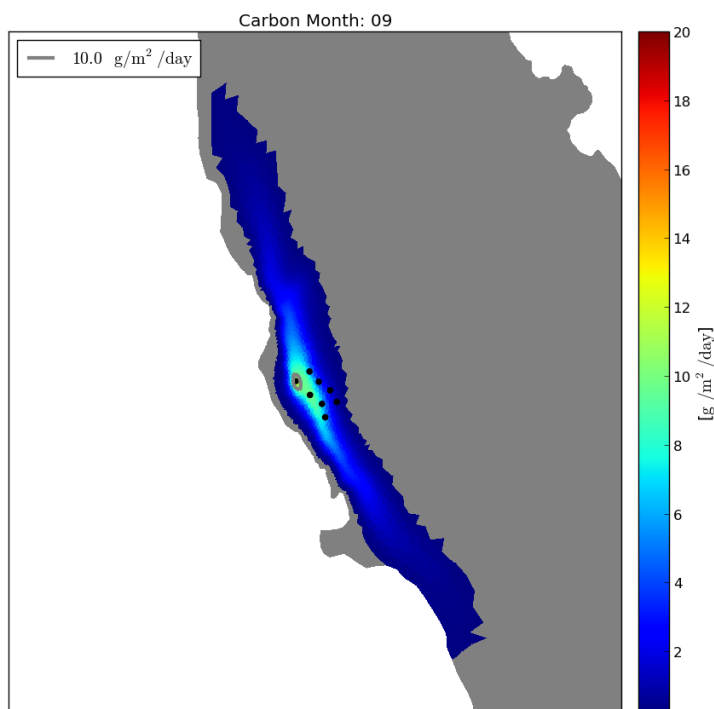
Dette vises også i Figur 7 for november måned med sporstoff 6 som representerer 60 til 80% av fekalieene. Hovedmengden av organisk materialet bunnfeller nært anleggene. November er måneden med størst produksjon av stor laks og størst utfôring i anleggene Anevika og Oksøy på vestsiden av Økssundet. Figuren viser derfor godt fotavtrykket for den største organiske påvirkningen.

Figur 7: Sporstoff 6 i november måned.

3.3.2 Bunnfelling av karbon

Grafikken som følger viser modellresultatene for den akkumulerte bunnfelling av organisk tilgjengelig karbon i gram karbon per kvadratmeter per dag for måneden med størst utfôring.

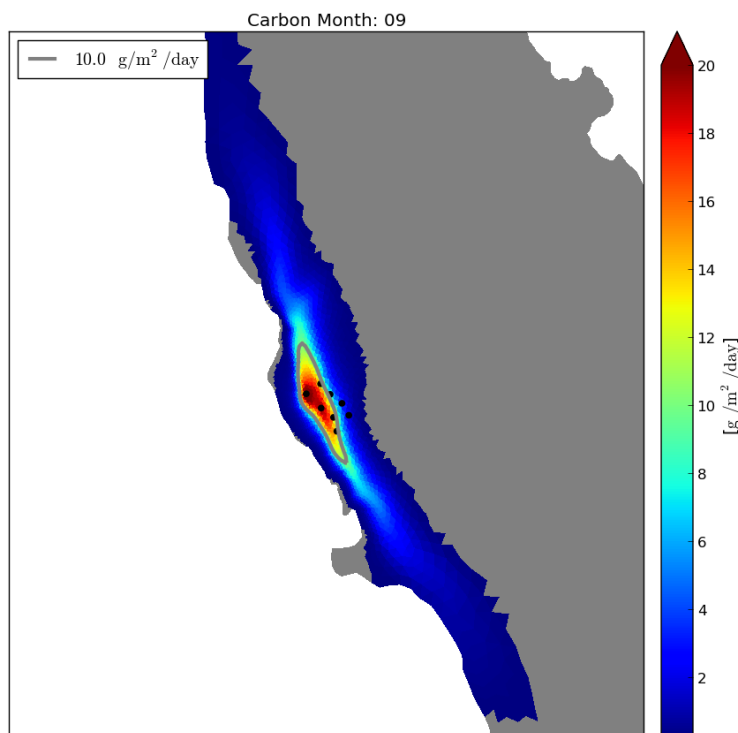
3.3.2.1 Anevika



Ved lokalitet Anevika er det i modellen med dagens drift årlig produsert brutto 5 560 tonn laks, fôret ut 6 940 tonn fôr og slaktet 7 580 tonn laks. Smålaksen er produsert på annen lokalitet og flyttet i juni måned til Anevika med snittvekt på 1,4 kg. Etter utslakting brakklegges Anevika i 8 til 11 måneder. Utfôring er størst i september med 1470 tonn fôr, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

Det vises en grå isolinje for sedimentering av 10g karbon per kvadratmeter per dag. Innfor denne isolinjen er sedimenteringen av karbon høyere enn 10g per kvm per dag i september måned.

Figur 8: Anevika,, scenario I - daglig gram karbon per kvadratmeter i dagens drift (5560 tonn laks/år)

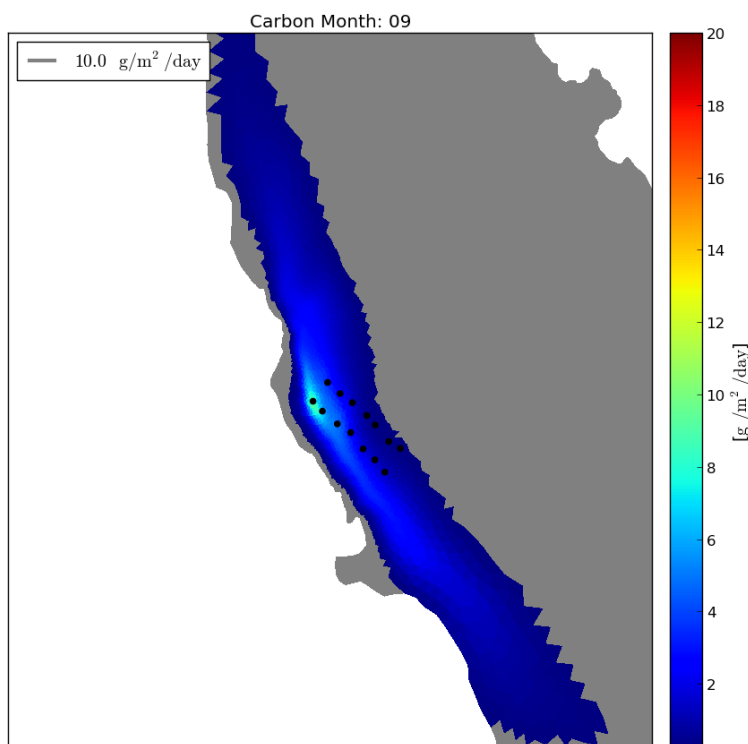


I neste grafikk for Anevika er det modellert doblet produksjon med årlig produsert brutto 11 120 tonn laks, fôret ut 13 880 tonn fôr og slaktet 15 160 tonn laks. Smålaksen er produsert på annen lokalitet og flyttet i juni måned til Anevika med snittvekt på 1,4 kg.

Utfôring er størst i september med 2 940 tonn fôr, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

Den grå isolinjen for sedimentering viser 10g karbon per kvadratmeter per dag. Innfor denne isolinjen er sedimenteringen av karbon opp til ca. 20 g karbon per kvm per dag i september måned.

Figur 9: Anevika, scenario II - gram karbon/dag/ kvadratmeter med doblet produksjon 11120 tonn/år

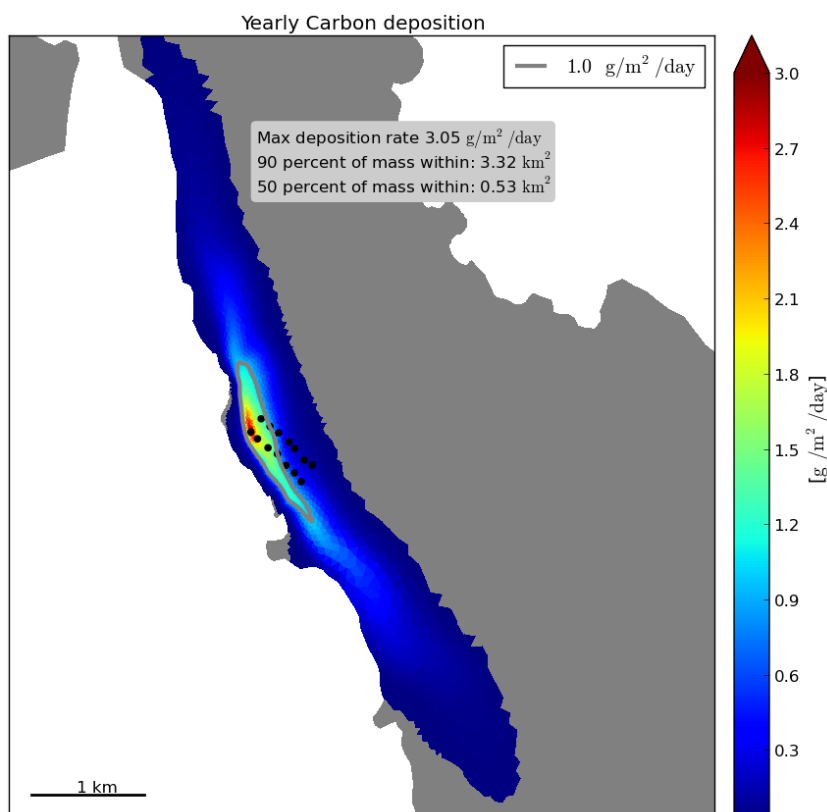


I Figur 10 i Scenario III er det modellert produksjon med årlig produsert brutto 7 800 tonn laks for Anevika. Anlegget har fått ny konfigurasjon med 14 bur og er delvis lagt ut over dypområdet i Sagfjorden. Smålaksen er også her produsert på annen lokalitet og flyttet i juni måned til Anevika med snittvekt på 1,4 kg.

Utføring er fortsatt størst september, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

Isolinjen på 10 g karbon per kvadratmeter per dag for sedimentering vises ikke her fordi man med denne driftsplanen og konfigurasjonen ikke overstiger 10 g nivået på lokaliteten.

Figur 10: Anevika, scenario III - daglig gram karbon per kvadratmeter ved produksjon 7800 tonn/ år

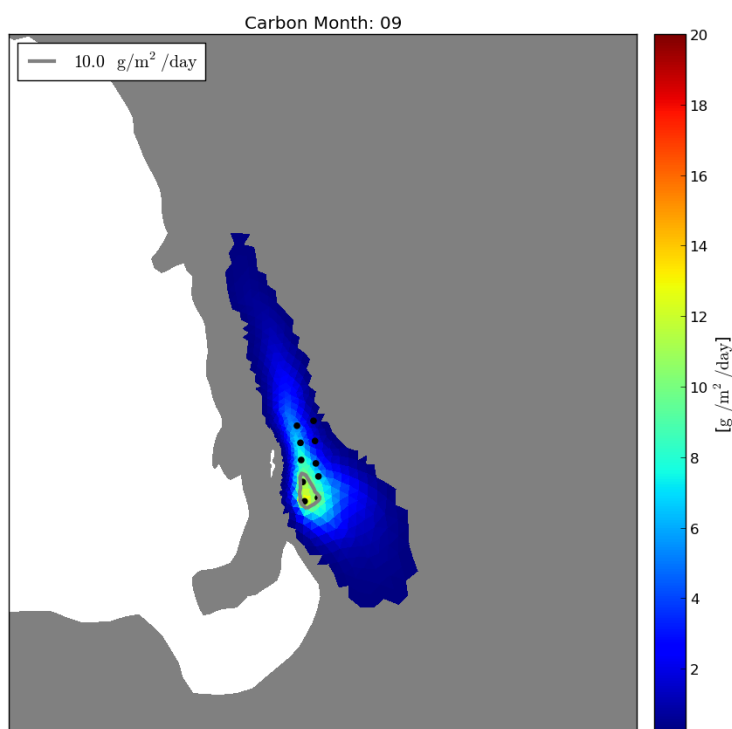


For å beskrive bedre de lave karbonnivåene viser vi disse i en annen fargeskala (Figur 11).

Karbonnivåene overstiger så vidt 3 g per m² per dag ved maksimal utføring i september. Dette er en svært lave belastning som gir meget lav miljørisiko.

Figur 11: Anevika, scenario III - gram karbon ved produksjon 7800 tonn/ år med annen fargeskala

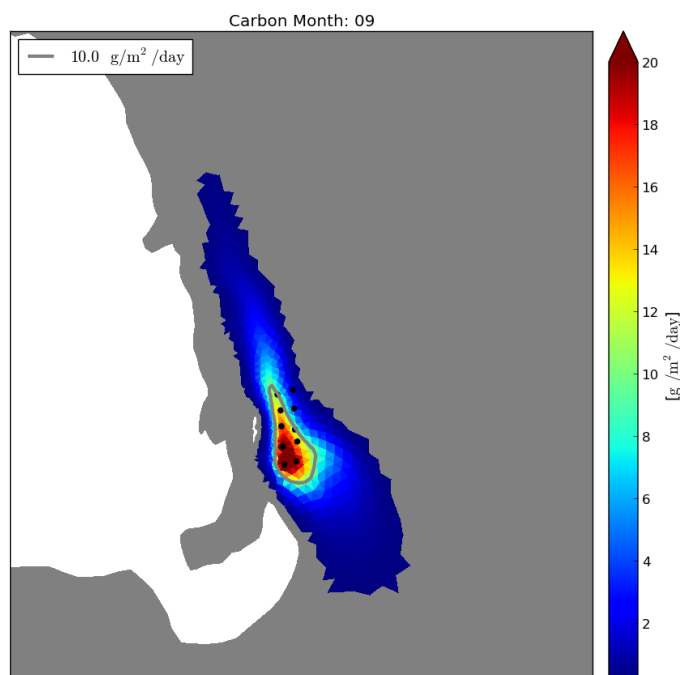
3.3.2.2 Oksøy



Lokalitet Oksøy følger samme driftsmønster som Anevika: Modellert med dagens drift årlig produsert brutto 5 560 tonn laks, fôret ut 6 940 tonn fôr og slaktet 7 580 tonn laks. Smålaksen er produsert på annen lokalitet. Etter utslakting brakklegges Oksøya i 8 til 11 måneder. Utfôring er størst i september med 1470 tonn fôr, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

Det vises en grå isolinje for sedimentering av 10g karbon per kvadratmeter per dag. Innenfor denne isolinjen er sedimenteringen av karbon høyere enn 10g per kvm per dag i september måned.

Figur 12: Oksøy, daglig gram karbon per kvadratmeter i dagens drift (5560 tonn laks/år)

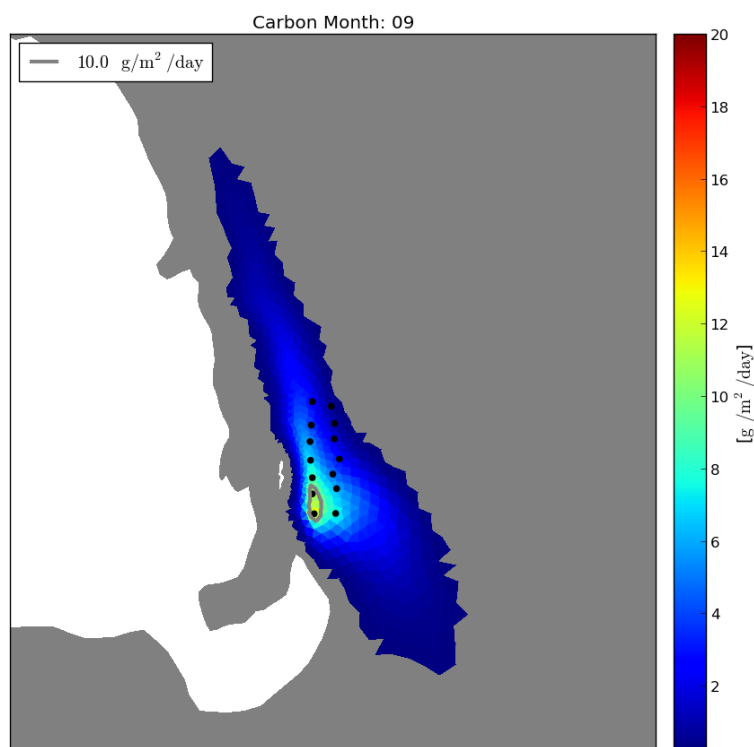


Som for Anevika er det modellert doblet produksjon: årlig produsert brutto 11 120 tonn laks, fôret ut 13 880 tonn fôr og slaktet 15 160 tonn laks. Smålaksen er produsert på annen lokalitet

Utfôring er størst i september med 2 940 tonn fôr, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

Den grå isolinjen for sedimentering viser 10g karbon per kvadratmeter per dag. Innfor denne isolinjen er sedimenteringen av karbon over 20g karbon per kvm per dag i september måned.

Figur 13: Oksøy, daglig gram karbon per kvadratmeter i scenario med doblet produksjon (11 120 tonn laks/år)



I Figur 14 i Scenario III for Oksøy er det modellert produksjon med årlig produsert brutto 7 800 tonn laks. Anlegget har fått ny konfigurasjon med 14 bur og er delvis lagt ut over dypområdet i Sagfjorden. Smålaksen er også her produsert på annen lokalitet.

Utfôring er størst september, og det er karbonutfelling i september som vises i grafikken.

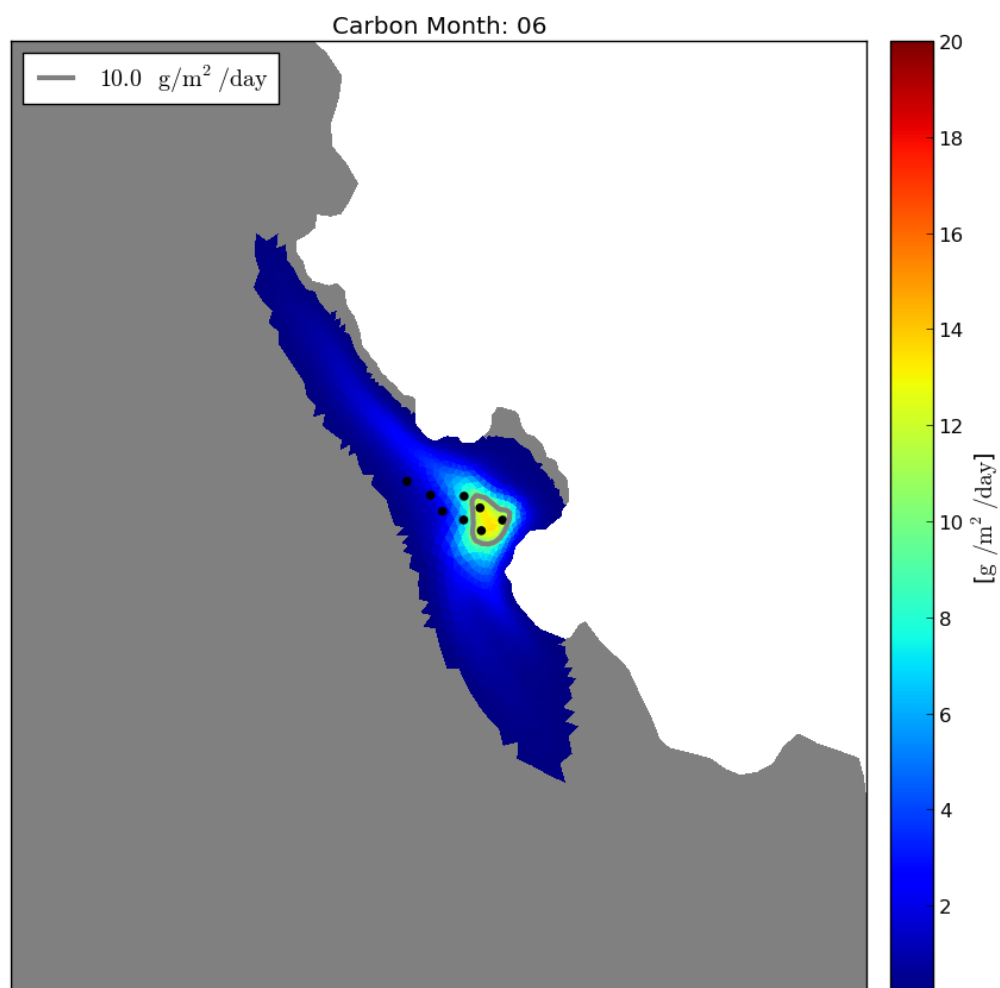
Isolinjen på 10 g karbon per kvadratmeter per dag for sedimentering vises så vidt rundt de to innerste burene.

Figur 14: Oksøy, scenario III - daglig gram karbon per kvadratmeter ved produksjon 7800 tonn/ år

3.3.2.3 Horsvågen

Ved lokalitet Horsvågen er det i modellen med dagens drift årlig produsert 2 100 tonn laks, og fôret ut samme mengde fôr (fôrfaktor 1,0). Fisken settes ut i juni/ juli/ august som 60 til 100 grams smolt og flyttes til lokalitetene Anevik eller Oksøy året etter utsett med snittvekt ca. 1,4 kg. Flytting veksles mellom Anevik og Oksøya annethvert år.

Utfôring er størst i juni måned like før flytting med 460 tonn fôr, og det er karbonutfelling i juni måned som vises i grafikken. Den gråe isolinjen for sedimentering av 10g karbon per kvadratmeter per dag er vist. Innfor denne isolinjen er sedimenteringen av karbon opp til 15g per kvm per dag i juni måned.



Figur 15: Horsvågen, daglig gram karbon per kvadratmeter i scenario med produksjon av årlig 1,6 millioner smolt (2 100 tonn biomasse per år)

For Horsvågen er det ikke modellert økt produksjon. I den foreslåtte driftsmodellen skal Horsvågen imidlertid produsere smålaks til Anevika og Oksøy hvert år. Tidligere ble Horsvågen avlastet ved produksjon av smålaks ved lokalitet Bergsøy slik at Horsvågen kunne brakklegges. Anlegget er modellert i den nyeste konfigurasjonen som oppdragsgiver har foretatt sommeren 2017.

4 Sammenfattende vurderinger og anbefalinger

4.1 Oksygenforhold i resipient Sagfjorden/ Økssundet

Modellen FjordEnv indikerer at det blir årlig full utskiftning av vannmassene i dypvannet i både Økssundet og Sagfjorden. Per tid og med dagens produksjon er det gode oksygenforhold i dyplagene i Økssundet og Sagfjorden. Preliminære simuleringer viser at det kan være bærekraft for økning av fiskeproduksjon samlet, til både ytre og indre basseng.

Det er størst kapasitet i ytre basseng. Det ser ut til at det vil være siktedypet i overflaten og ikke oksygenminimum i dypbasseng som vil være begrensende faktor ved økt produksjon i ytre basseng.

Resultatene for oksygenforhold i dypbassengene indikerer at resipientkapasiteten i den ytre delen av Sagfjorden/ Økssundet er stor. Den er for reduksjon av oksygen beregnet til minst 70 000 tonn per år for ytre basseng.

Kapasiteten er trolig større enn det som modellen her antyder på grunnlag av redusert siktedyp og oksygenforhold. I forutsetningene for modellberegningene har vi nemlig valgt at relativt store mengder av utslippet fra oppdrettsaktiviteten ender opp under terskeldyp i fjordens dypeste basseng. Våre modelleringer av sedimentasjon senere i prosjektet har vist at langt mindre utslipp når fjordens dypeste deler. Modellen viser at bare små andeler av den letteste fekalie-fraksjonen som vi kaller Sporstoff 1, når fjordens dypområder. Andelen av det totale utslippet som når de dypeste vannlagene ligger derfor trolig under 2%. Dette viser at det meste av utslippet blir fordelt i fjordsystemet over terskeldyp eller vasket ut i havområdene utenfor Sagfjorden.

Produksjonen i Sagfjord/ Økssund systemet vil derfor mest sannsynlig begrenses av den lokale resipientkapasiteten som er rett under eller i nærheten av oppdrettsanleggene. APN har derfor i denne omgangen ikke sett det som formålstjenlig å modellere videre på total resipientkapasitet i fjordens dypområder.

4.2 Sedimentering av karbon på lokalitetene

4.2.1 Sentrale opplysninger i forskningslitteraturen

Hargrave et al. (2008) oppgir i en oversiktsartikkel at en daglig sedimentering på 5-10 g biologisk tilgjengelig karbon kan føre til oksygenmangel i sedimentene, en tilstand som klassifiseres som Hypoksia B. I slike sedimenter vil en måle redoksverdier på minus 100 til minus 200 mV og en pH verdi lavere enn 7.0. I vårt system for miljøovervåking i NS9410 klassifiseres slike sedimentprøver som miljøtilstand 4, meget dårlig og overbelastet. Hargraves arbeid gir en generell oversikt. Daglig sedimentasjon av karbon vil slå ulikt ut avhengig av strømforhold og type bunn, fordi tilførsel av oksygen og eksisterende dyresamfunn påvirker hvor mye miljøet kan belastes.

Keeley et al. (2012B) har utviklet en numerisk sammenheng mellom organisk anrikning ("enrichment state") av bunnsedimenter under oppdrettsanlegg og dyresamfunnenes respons. Responsen på anrikning er inndelt i 7 klasser (Macleod & Forbes 2004), klassene ES1 til ES7, der klasse ES1 er uberørt frisk sediment, og klasse ES7 er overbelastet sediment der det ikke lenger finnes dyr. Klasse ES5 gir sterkt anriket sediment med en maksimal mengde av bunndyr som er såkalte opportunist, dvs. mange individ men få dyrearter som capetellider (børstemakk) eller nematoder.

Bakteriebelegg med *Beggiatoa* vil kunne være tilstede, og sedimentkjemien er under endring. I Klasse ES7 er det ikke oksygen og heller ikke dyr i sedimentene. Når man sammenligner sedimentkjemiske verdier og biologiske indekser tilsvarer klasse ES6 til klasse ES7 hos Keeley vår norske tilstandsklasse 4 i NS9410.

Keeley et al. (2012A) beskriver hvordan variablene som man bruker for å måle responsen på anrikning varierer på lokaliteter med moderat og med høy vannutskiftning. I Keeley et al. (2013) beskrives karbonavsetning og biologisk effekt på sedimenter i deres feltstudier. I denne artikkelen fremheves det også at det er stor forskjell med hensyn til biologisk respons mellom lokaliteter med moderat og med høy vannutskiftning.

For klasse ES5 har Keeley observert like under 5 g karbon /m²/dag for lokaliteter med moderat vannutskiftning, og ca. 11 g karbon /m²/dag for lokaliteter med stor vannutskiftning. Moderat vannutskiftning på spredningsdyp hos Keeley er en snittfart på 3 - 6 cm/ sekund. Meget god vannutskiftning på spredningsdyp hos Keeley er en snittfart på 14– 20 cm/ sekund.

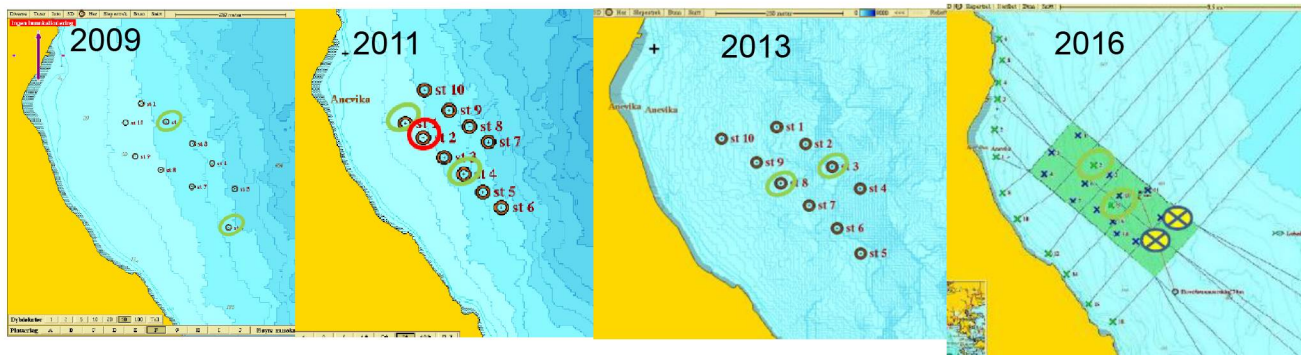
4.2.2 Valg av risikoverdier for daglig sedimentering av karbon

Sammenlignet med Keeley et al. (2013) har lokalitetene Anevika og Okssøy moderate strømforhold. Horsvågen har lavere vannutskiftning. Alle de tre lokalitetene i Økssundet har vesentlig større vanddyp enn anleggene Keeley har undersøkt. Keeley har også brukt utfôring over 6 til 12 måneder. I vårt prosjekt er utfôring beregnet for måneden med størst fôringsintensitet. I september måned er utfôring på Anvika og Oksøy ca. 21% av årlig fôrmengde, og i juni måned ca. 22 % av årlig utfôring i Horsvågen. Derfor vil våre modelleringer beregne høyere daglig avsetning av karbon i sedimentene enn verdier fra vitenskapelig litteratur der ofte årsmiddelverdier er oppgitt.

I vår grafiske fremstillinger har vi derfor satt en isolinje på 10 g karbon /m²/dag. Områder med høyere sedimentering ligger innenfor denne 10 grams linjen og i disse områdene kan risikoen for at miljøtilstand blir i tilstandsklasse 3 eller 4 være tilstede. Områder med verdier som er over 20 g karbon /m²/dag har trolig høy risiko for å havne i tilstandsklasse 4.

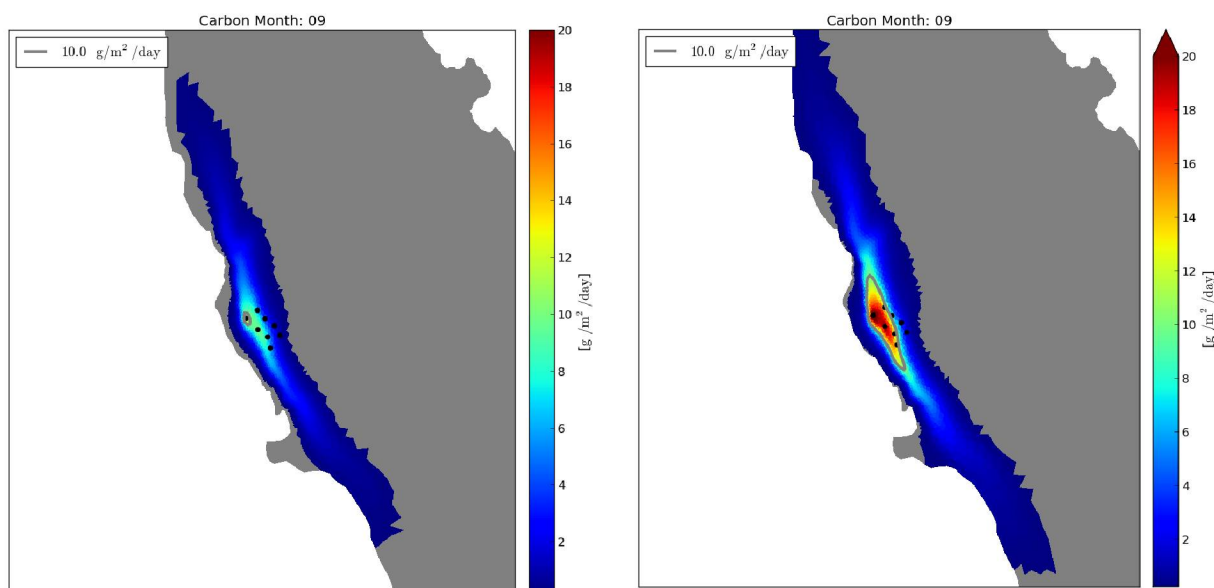
4.2.3 Sammenligning av modellresultater med tidligere miljøundersøkelser, inkludert anbefalinger

4.2.3.1 Anevika



Figur 16: Alle B-undersøkelser i Anevika

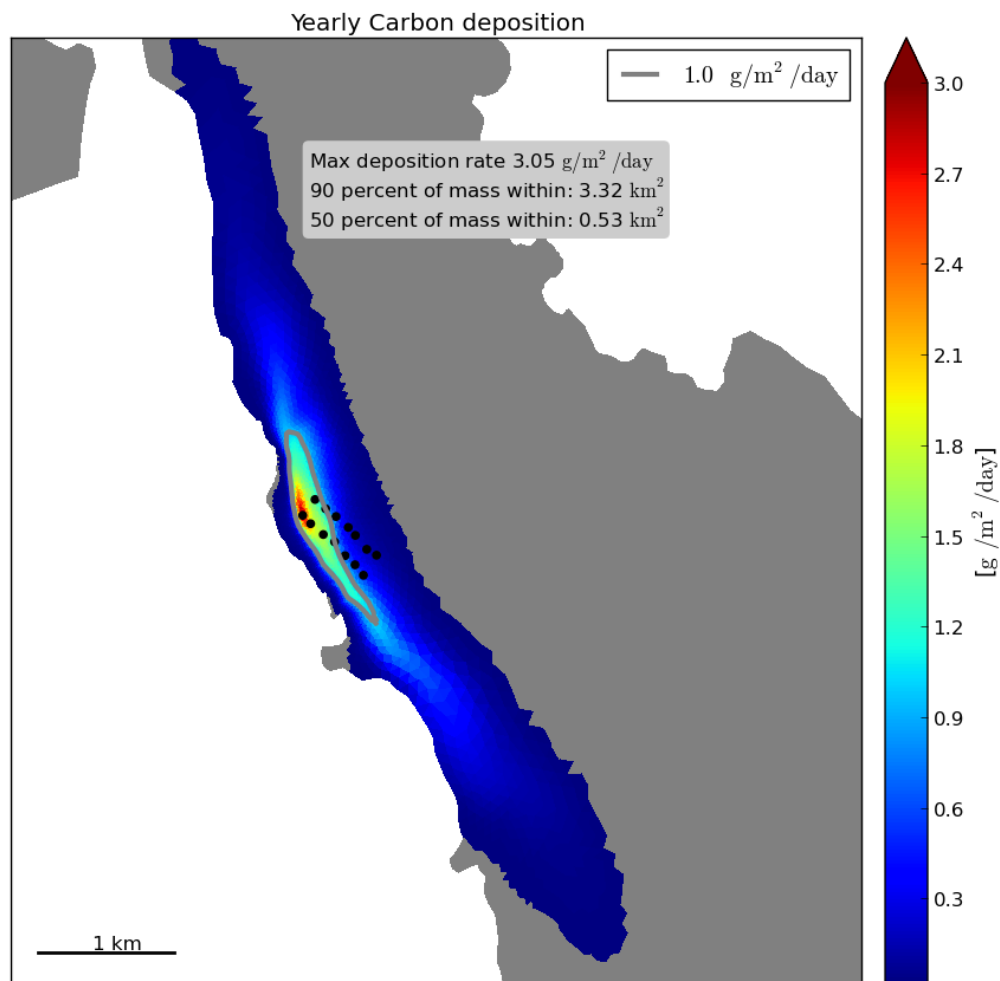
I Anevikken har man tidligere bare funnet en stasjon i tilstandsklasse 4. Denne lå inne mot land og midt i viken (se Figur 16). Man kan se en svak påvirkning rundt dette området også i andre år. Lokaliteten har god kapasitet. Modellens 10 grams isolinje for daglig sedimentering av karbon samsvarer meget godt med miljøundersøkelsene. En må huske at denne sedimenteringen bare forekommer i måneden med størst utføring.



Figur 17: sedimentering av karbon i September i Anevika med dagens (venstre) og doblet produksjon (høyre).

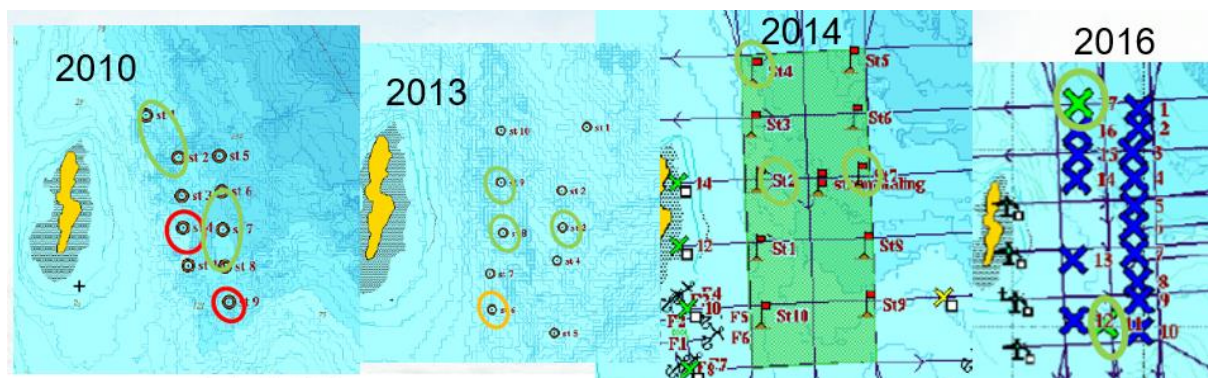
Ved en dobling av produksjonen (se høyre bildet i Figur 17) øker risikoen for dårlig miljøtilstand rundt de merdene som ligger innerst i viken og i det røde området vil en kunne få verdier opp mot 20 g karbon /m²/dag i måneden med størst utføring. I dette området bør man overvåke miljøtilstanden nøye. Anevika ser ut til å tåle en økt produksjon dersom man vurderer noen enkle tiltak. En kan vurdere en litt forandret konfigurasjon av anlegget, endret fôringsregime eller endret utsett/ utslakting for å unngå for store topper med utføring.

Ved økning av produksjon til 7800 tonn laks per år med anlegg i ny konfigurasjon med 14 bur er karbon fotavtrykket i miljø svært liten på Anevika. Anlegget tåler trolig en høyere belastning enn det som her er modellert.



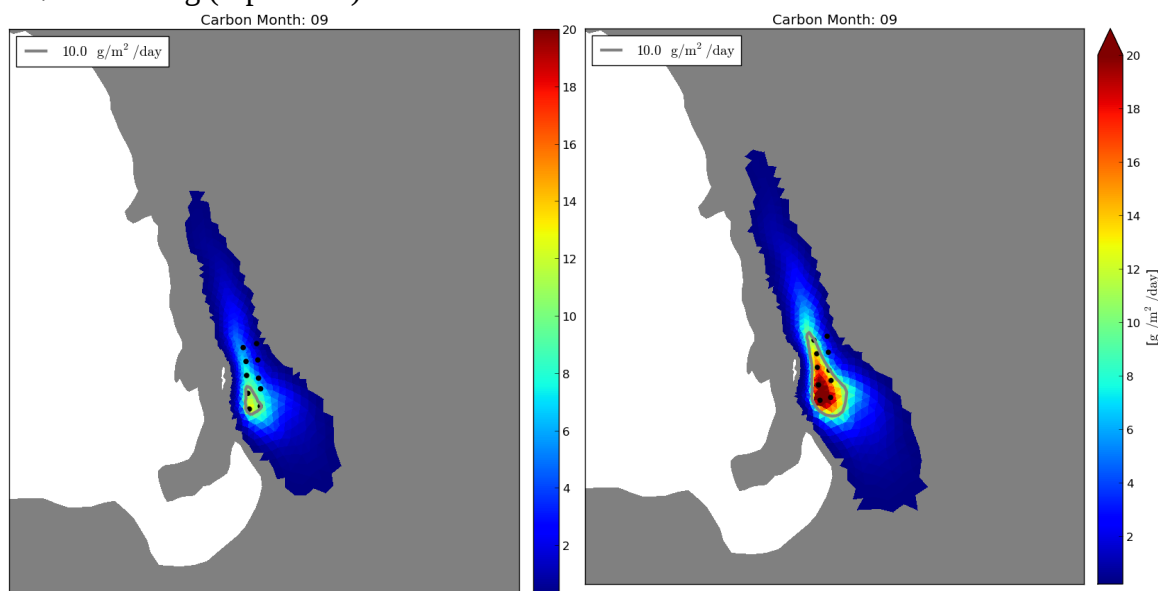
Figur 18: Anevika, scenario III, lav karbon fotavtrykk ved produksjon 7800 tonn/ år

4.2.3.2 Oksøya



Figur 19: Alle B-undersøkelser i Oksøya

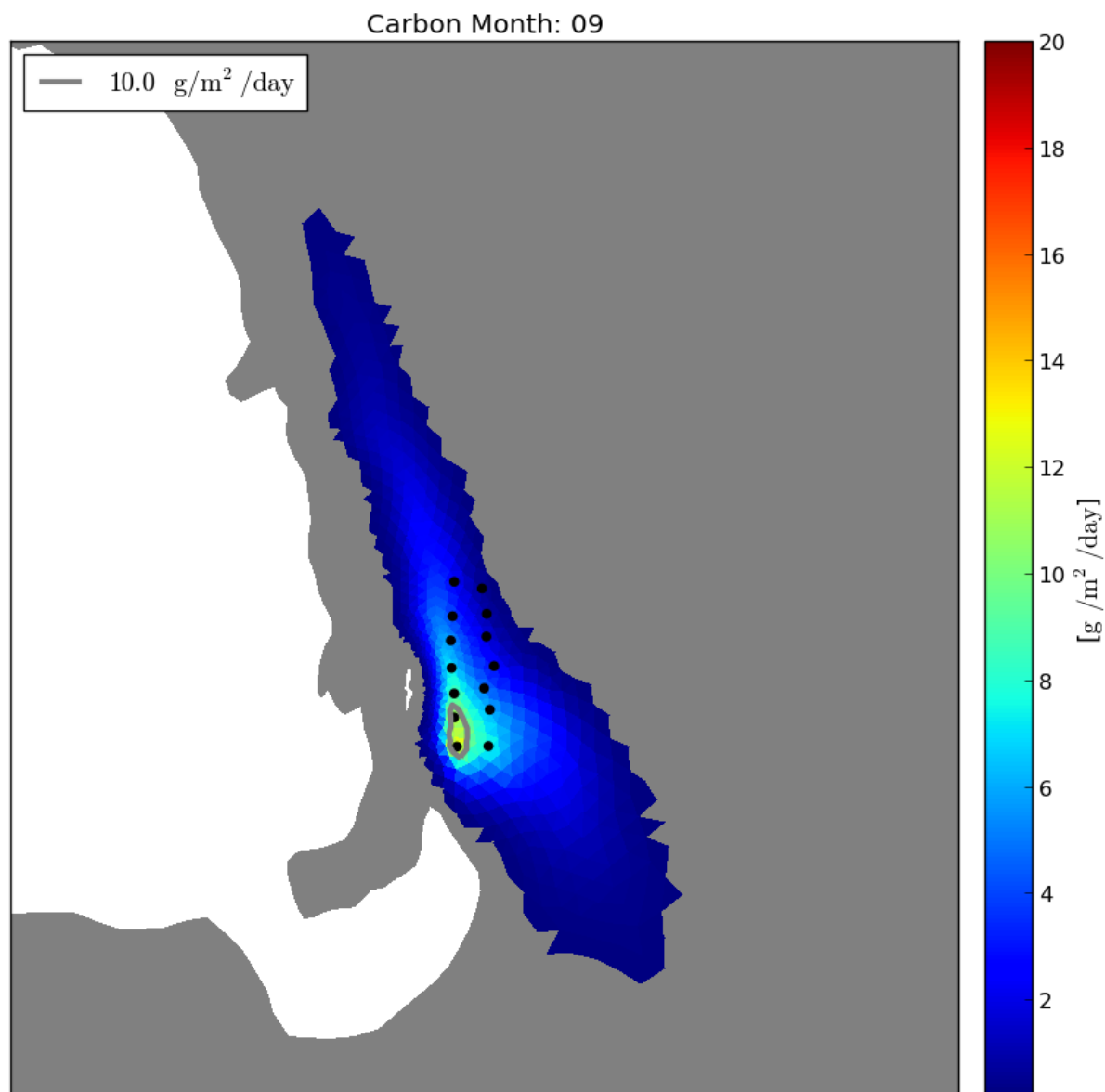
På Oksøya har man tidligere bare funnet to stasjoner i tilstandsklasse 4 og en i klasse 3. Disse lå inne mot det sørøstlige hjørnet av anlegget. (se Figur 19). Det vises en svak påvirkning rundt dette området og i anleggets sentrum også i andre år. Lokaliteten har god kapasitet. Modellens 10 grams isolinje for daglig sedimentering av karbon samsvarer også her meget godt med miljøundersøkelsene. Denne sedimenteringen forekommer bare i måneden med størst utføring (september).



Figur 20: sedimentering av karbon i september ved Oksøya med dagens (venstre) og doblet produksjon (høyre).

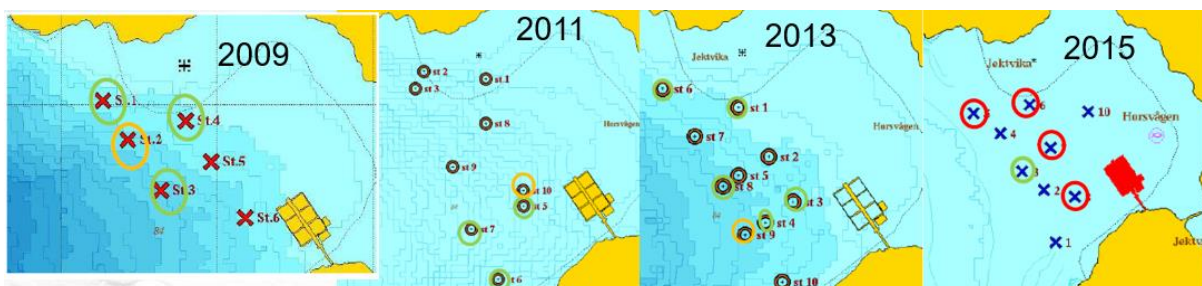
Ved en dobling av produksjonen (se høyre bildet i Figur 17) øker risikoen for dårlig miljøtilstand rundt de merdene som ligger i det sørøstlige hjørnet. I det røde området vil en kunne få verdier over 20 g karbon /m²/dag i måneden med størst utføring. I dette området bør man overvåke miljøtilstanden nøye. Oksøya ser ut til å tåle en økt produksjon men ikke like mye som Anevik. Tiltak bør vurderes ved økt produksjon. En forandret konfigurering/ plassering av anlegget, endret fôringsregimet eller endret utsett/ utslakting bør vurderes for å unngå for store toppler med utføring ved økt produksjon. En kan også vurdere en mindre økning enn en direkte dobling av dagens produksjon.

Ved økning av produksjon til 7800 tonn laks per år med anlegg i ny konfigurasjon med 14 bur er karbon fotavtrykket i miljø liten ved Oksøya. 10grams linjen vises bar rundt de to ito innerste burene.



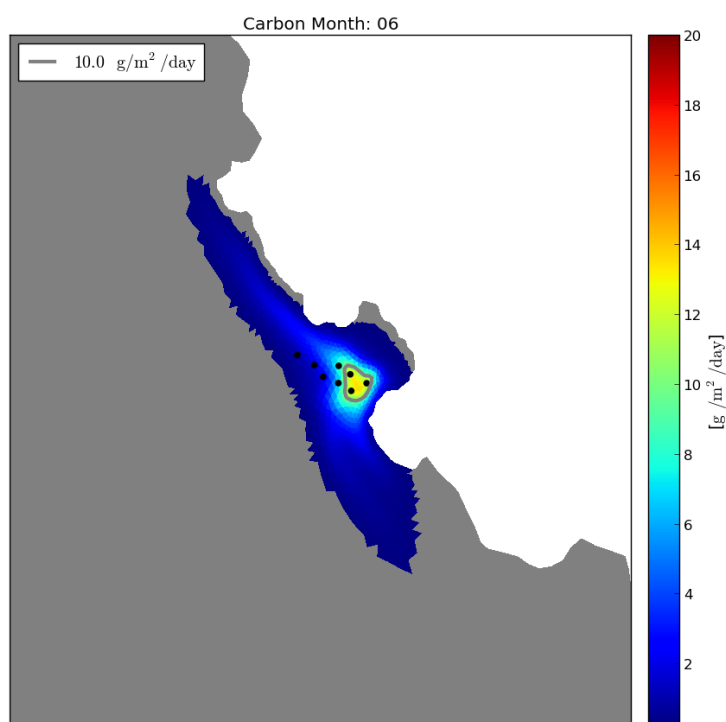
Figur 21: Oksøya, scenario III, lav karbon fotavtrykk ved produksjon 7800 tonn/ år

4.2.3.3 Horsvågen



Figur 22: Alle B-undersøkelser i Horsvågen

I Horsvågen har man tidligere funnet flere stasjoner i tilstandsklasse 3 og 4. Disse lå i en hestesko form inne i bukta. (se Figur 22) . Det vises påvirkning rundt dette området i flere år. Lokaliteten har på grunn av mindre vannutskiftning og sin bathymetriske utforming som fører til bakevjer mindre kapasitet enn Anevik og Oksøya. Dette samsvarer også med Keely et al. (2013) sine funn for strømsvakere lokaliteter. Modellens 10 grams isolinje for daglig sedimentering av karbon samsvarer også her meget godt med miljøundersøkelsene. Denne sedimenteringen forekommer bare i måneden med størst utfôring (juni). Anlegget er modellert i den nyeste konfigurasjonen som oppdragsgiver har foretatt sommeren 2017.



Figur 23: sedimentering av karbon i juni i Horsvågen med produksjon av årlig 1,6 millioner smolt.

Det er ikke modellert en økning av produksjonen på grunn av risikoen for dårlig miljøtilstand under anlegget. Men oppdragsgiver ønsker å sette ut smolt hvert år mens det så langt har vært utsett annethvert år. Lokaliteten har derved hatt mulighet for lang brakklegging, noe som ikke vil være mulig ved årlig utsett. Oppdragsgiver bør overvåke utviklingen meget nøye, samt vurdere tiltak for å unngå overbelastning av lokaliteten.

4.3 Langtidsperspektiver

I dette prosjektet har APN med Cermaq som industripartner foretatt et omfattende utviklingsarbeid. Vurderingene er i stor grad bygget på modellerte verdier fra nyutviklet modellverktøy og lagt opp mot andre vitenskapelige arbeider, samt mot observert miljørespons på lokalitetene som er undersøkt i prosjektet.

I den vitenskapelige litteraturen finnes det få eksempler som omhandler kvantitative sammenhenger mellom modellerte verdier for sedimentert materiale (karbon) fra oppdrettsanlegg og sediment-kjemisk og økologisk respons. De fleste arbeidene omhandler ofte spesielle situasjoner som vanskelig lar seg direkte overføre til norske forhold.

Derfor må vurderingen som APN her har gjort etterprøves og justeres ved de framtidige rutinemessige miljøundersøkelsene som oppdretter gjør.

5 Referanser

- Aure, J. & Stigebrandt, A., 1990.** Quantitative estimates of eutrophication effects on fjords of fish farming. *Aquaculture* 90,135-156.
- Bannister, R. J., Johnsen, I.A., Hansen, P.K., Kutti, T. & Aspelin, L., 2016.** Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsw027.
- Brooks, K.M., 2000.** Salmon farm benthic and shellfish effects study 1996-1997. *Aquatic Environmental Sciences*, Port Townsend, WA.
- Brooks, K.M. & Mahnken, C.V.W., 2003.** Interactions of Atlantic salmon in the Pacific northwest environment. II Organic wastes. *Fisheries Research* 62:255-293.
- Bruggeman, J. & Bolding, K., 2014.** A general framework for aquatic biogeochemical models. *Environmental Modelling & Software*.
- Buhl-Mortensen L., Oug E. & Aure J., 2009.** The response of hyperbenthos and infauna to hypoxia in fjords along the Skagerrak: estimating loss of biodiversity due to eutrophication. In: *Integrated Coastal Zone Management* (ed. by E. Moksness, E. Dahl & J.G. Støttrup), pp. 79–96. John Wiley & Sons, 376pp.
- Chen, Changsheng, et al. 2012.** An Unstructured-grid, Finite-volume Community Ocean Model: FVCOM User Manual. *Sea Grant College Program*.
- Hargrave, B.T., Holmer, M. & Newcombe, C.P. 2008.** Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin* 56:810-824.
- Keeley, N.B., Forrest, B.M., Crawford, C. & Macleod, C.K. & 2012A.** Exploiting salmon farm benthic enrichment gradients to evaluate the regional performance of biotic indices and environmental indicators, *Ecological indicators* 23, 453-466.
- Keeley, N.B., Macleod, C.K. & Forrest, B.M., 2012B.** Combining best professional judgement and quantile regression splines to improve characterisation of macrofaunal responses to enrichment, *Ecological indicators* 817, 13 pp.
- Keeley, N.B., Cromey, C.J., Goodwin, E.O., Gibbs, M.T. & Macleod, C.M., 2013.** Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. *Aquaculture Environmental Interactions*, Vol. 3:275-291.
- Macleod, C.K. & Forbes, S., 2004.** Guide to the assessment of sediment condition at marine fish farms in Tasmania. In: *Aquafin project CRC project 4.1. Tasmanian Fisheries and Aquaculture Institute*, Australia., p.p.63.
- Mosevoll, G., S. Haraldsen, L. Enander, J. Fjellsøy, K.T. Nedland & E. Bøhleng, 1999.** Veiledning for dokumentasjon av utslipp fra befolkningen. NORVAR-rapport 99-1999. Norsk VA-verkforening. 81 sider.
- Stigebrandt, A. 2001.** FjordEnv - A water quality model for fjords and other inshore waters. Göteborg University, Earth sciences centre report C40. 41 sider.
- Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A. & Kupka Hansen, P., 2004.** Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring system. *Aquaculture*, 234: 239–261.
- Stigebrandt, A. 2011.** Carrying Capacity: general principles of model construction. *Aquaculture Research* 2011, 42, 41-50.