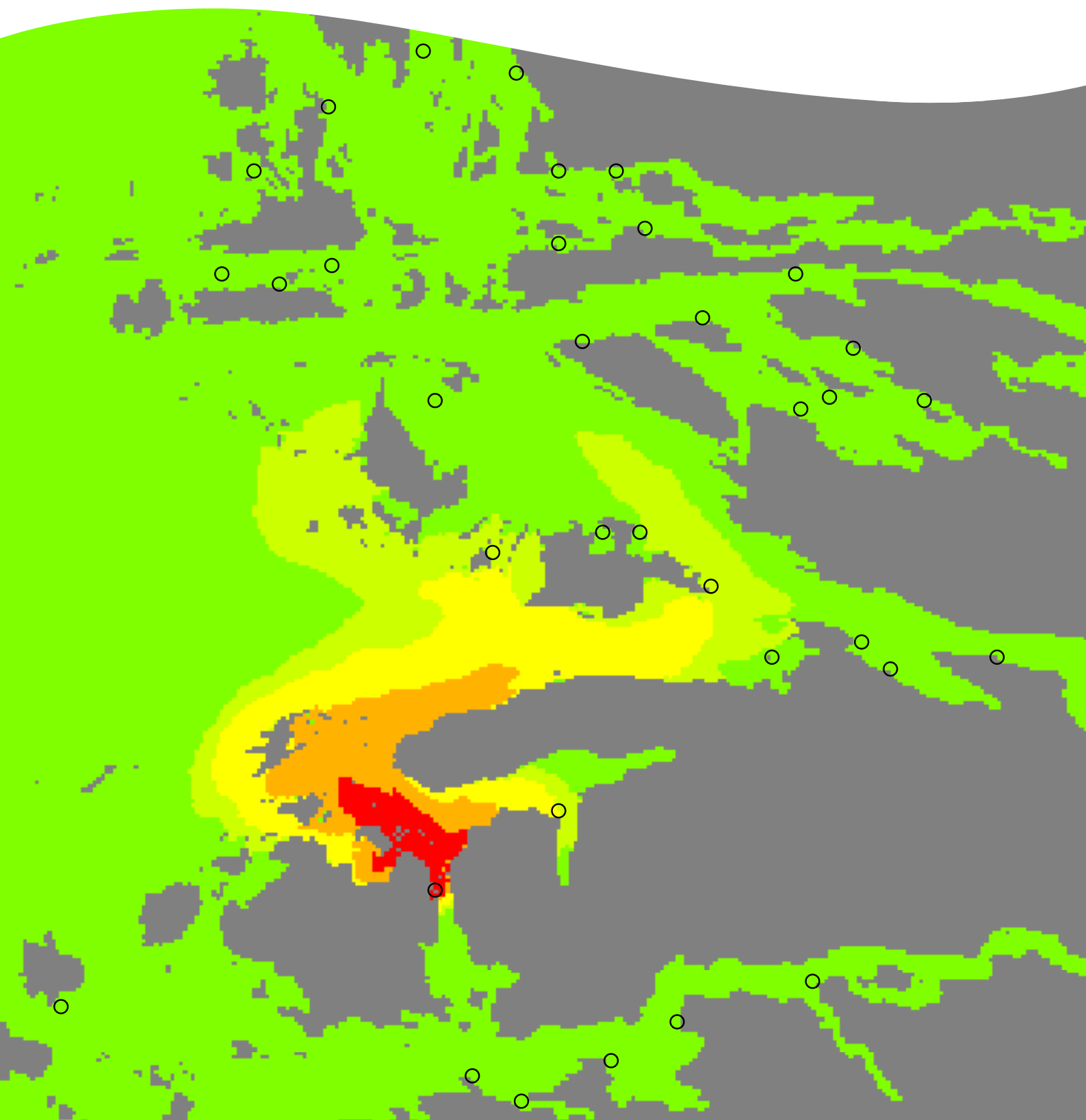


AquaStrøm Sunnfjord

Kartlegging og detaljert beskrivelse av strømforhold og risiko for smittespredning



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel AquaStrøm Sunnfjord Kartlegging og detaljert beskrivelse av strømforhold og risiko for smittespredning	Løpenr. (for bestilling) 5853-2009	Dato 10.5 2010
	Prosjektnr. Undernr. 26102	Sider Pris 64
Forfatter(e) André Staalstrøm (NIVA) Henning André Urke (NIVA) Jarle Molvær (NIVA) Hildegunn Viljugrein (Veterinærinstituttet) Peder Andreas Jansen (Veterinærinstituttet)	Fagområde Akvakultur	Distribusjon Sperrert til april 2011
	Oseanografi Epidemiologi	Trykket NIVA
	Geografisk område Sogn og Fjordane	

Oppdragsgiver(e) E. Karstensen Fiskeoppdrett AS, Firda Sjøfarmer AS, Flokenes Fiskefarm AS, Havlandet Havbruk AS, Karma Havbruk AS, Marine Harvest Norway AS, Marø Havbruk AS, Nærøysund Matfisk AS, Slakteriet AS, Steinvik Fiskefarm AS, Sogn og Fjordane Fylkeskommune, Veterinærinstituttet og NIVA	Oppdragsreferanse AquaStrøm
--	--------------------------------

Sammendrag

Det er utarbeidet en 3-dimensjonal strømodell som detaljert beskriver strømforholdene over et 2625 km² stort kystområde i Sunnfjord. Modellen er brukt for å utarbeide en tabell som beskriver vannkontakten mellom 32 oppdrettslokalteter. Kontakten er ikke symmetrisk og enkelte lokaliteter kan spille en nøkkelrolle i sykdomspredning. Det er gjort en sammenligning med historiske data for sykdomsutbrudd av PD i Sunnfjord og sannsynlig smittespredning mellom lokalitetene basert på vannkontakt. Resultatene viser at modellens vannkontaktnettverk forklarer en stor andel av PD-utbruddene og at strømvstanden beskriver spredningen betydelig bedre enn både sjø- og luftavstand. Modellen har en rekke andre bruksområder innen oppdrettsnæring og forvaltning.

Fire norske emneord 1. Akvakultur 2. Pancreas disease 3. 3D-modell 4. Hydrofysikk	Fire engelske emneord 1. Aquaculture 2. Pancreas disease 3. 3D-model 4. Hydrophysics
---	--



Edgar Brun
Seksjonsleder
Veterinærinstituttet



Trond Rosten
Forskningsleder NIVA
ISBN 978-82-577-5588-1



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

O-26102

AquaStrøm Sunnfjord

Kartlegging og detaljert beskrivelse av strømforhold og risiko for smittespredning

Forord

Tidevann, vind, undervannstopografi, ferskvannstilførsel og temperatur er elementer som påvirker havstrømmenes bevegelser og retning. Hvordan kan man fra noe som er så omskiftelig og dynamisk utvikle en modell til å forutsi risiko for smittespredning mellom oppdrettslokaliteter?

En etablert arena mellom oppdrettere og forvaltning i Sunnfjord og et felles ønske om å skaffe til veie kunnskap om dynamikken i vannmassene dannet grunnlaget for prosjektet. Ved å sammenholde erfaringsbasert kunnskap med tung faglig kompetanse på hydrofysikk, havmodeller og epidemiologi har prosjektgruppa klart å besvare spørsmålet.

Mattilsynet Distriktkontoret for Sunnfjord og Ytre Sogn ved Torbjørn Lysne og Helene Marie Øgård og Fiskeridirektoratet Region Vest ved Frode Hovland takkes for aktiv deltagelse i prosjektet. Mannskapet på Fiskeridirektoratets båt "Munin" og Steinvik Fiskefarms "Brulaks" takkes for feltassistanse.

En stor takk går til Steinvik Fiskefarm AS som tok initiativet til prosjektet, og til alle de andre involverte for et godt samarbeid. Prosjektet ble finansiert av oppdrettsaktørene i Sunnfjord, Sogn og Fjordane Fylkeskommune, Veterinærinstituttet og NIVA.

Prosjektet har ført til utviklingen av et verktøy som gir grunnleggende kunnskap om prosessene i vannmassene og kan sikre en mer kunnskapsbasert bruk av kysten. Nå er det opp til næring og forvaltning å ta verktøyet i bruk, og ettertiden vil vise den endelige nytteverdien.

Det er stor interesse både blant oppdrettsaktører, forskningsinstitusjoner og forvaltning for å bruke samme metodikk i andre kystområder. Vi ser her at AquaStrøm Sunnfjord har blitt en katalysator for slik aktivitet.

Trondheim, 10. mai 2010

Henning Andre Urke
prosjektleder

Innhold

Sammendrag	5
Summary	9
1. Innledning	10
1.1 Bakgrunn	10
1.2 Fremgangsmåte	10
2. Beskrivelse av strømmodellen	13
2.1 Generelt om havmodellen ROMS	13
2.2 Modellområdet	14
2.3 Startbetingelsene	16
2.4 Grenseflatebetingelser	17
2.5 Tidevann	19
2.6 Vindforhold	21
2.7 Ferskvannstilførsel	23
3. Validering av strømmodellen	25
3.1 Resultater fra modellen	25
3.2 Feltmålinger	27
3.3 Resultater av valideringen	27
4. Vannkontakt mellom oppdrettslokaliteter	31
4.1 Parameter for vannkontakt	31
4.2 Vannkontaktnettverk	33
5. Beskrivelse av smitte modellen for PD	37
5.1 Generell bakgrunn	37
5.2 Smittepress	37
5.3 Fiskeutsettdata	38
5.4 Statistisk analyse	41
5.5 Sensitivitetsanalyse	44
6. Diskusjon	45
6.1 Vurdering av modellresultatene	45
6.2 Vurdering av antagelsene som er benyttet i modellarbeidet	46
6.3 AquaStrøm verktøyet - Etterbruk og videreutvikling	47
7. Litteratur	49
Vedlegg A. Liste over presentasjoner av prosjektet	50
Vedlegg B. Sporstofforsøk	51

Sammendrag

Målet med AquaStrøm-prosjektet har vært å utvikle et verktøy som detaljert beskriver strømforholdene for kysten av Sunnfjord slik at man bedre kan bedømme risikoen for smittespredning mellom ulike oppdrettslokaliteter, jfr. Figur S1.

Avstanden i kilometer mellom lokaliteter sier lite dersom man ikke tar strømbevegelsene i betraktning. Målinger av strømmen på den enkelte lokalitet har alene heller ikke stor nytte for å kunne si noe om dynamikken i vannmassene. Tidevann og strøm gjør at avstanden mellom to lokaliteter kan erfares som lengre eller kortere enn den oppmålte sjøavstanden. Variasjoner i strømmens hastighet og retning fører også til at tiden som en partikkel trenger for å forflytte seg fra A til B, ikke trenger være den samme som tiden fra B til A.

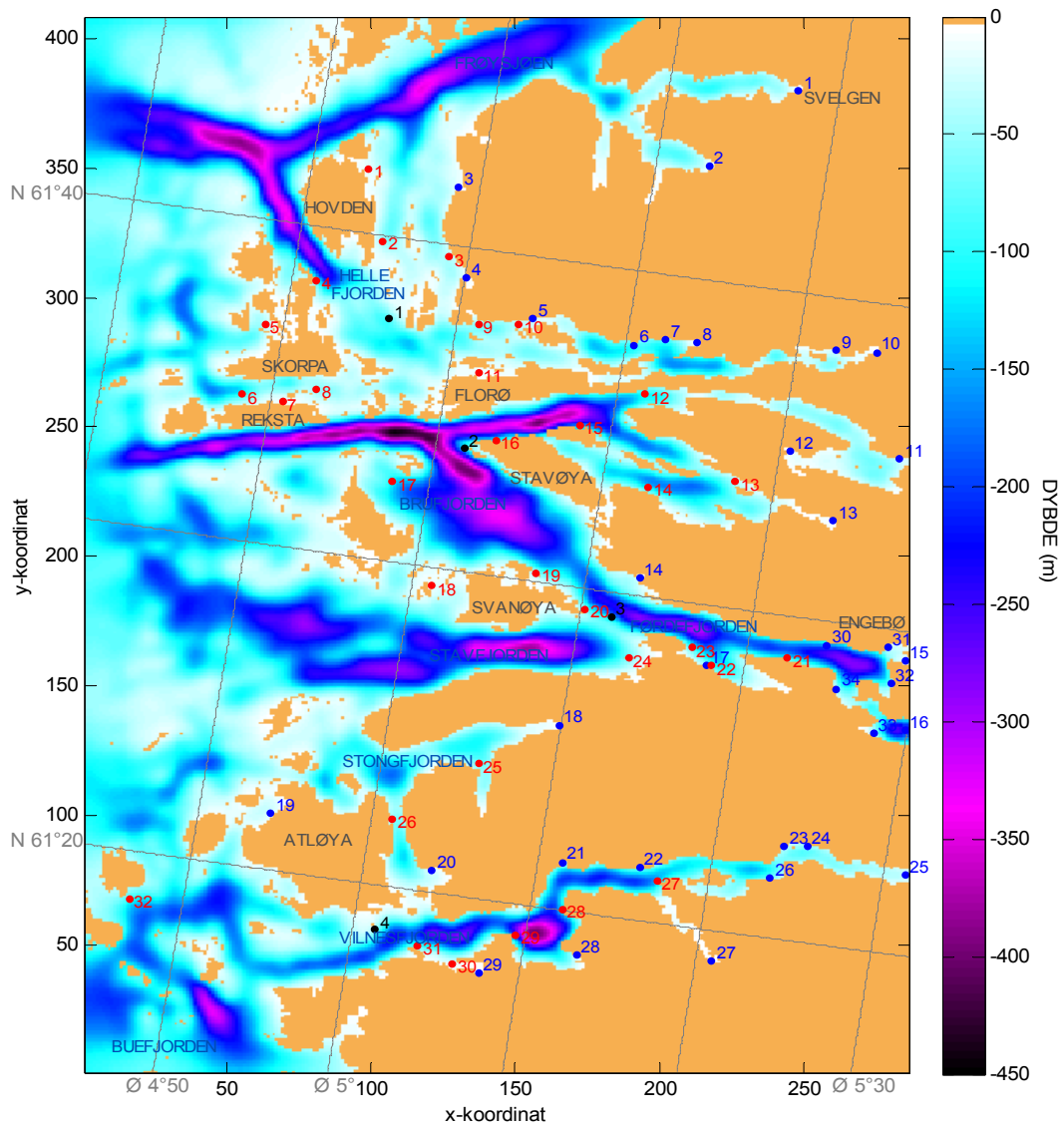
En tredimensjonal hydrodynamisk modell som beskriver strømforhold og sirkulasjon er satt opp for et område på 2625 km² som strekker seg fra Vilnesfjorden i sør til Frøysjøen i nord i Sunnfjord i Sogn og Fjordane. Resultater viser at AquaStrøm-modellen gjenskaper hovedtrekkene i strømhastighet og strømretning (Figur S2) og viser samtidig at vann fra et smittet oppdrettsanlegg kan bli spredd over et svært stort område i løpet av noen dager, og svært ujevnt fordelt.

AquaStrøm er brukt til å utarbeide en tabell som viser vannkontaktnettverket for 32 oppdrettslokaliteter i Sunnfjord over en 7 dagers periode. Vannkontakten er beskrevet som en ”strømvastand”. Er strømvastanden liten så er vannkontakten stor, og resultatene er vist i Tabell S1. Det er spesielt to egenskaper til det beregnede vannkontaktnettverket som det er verdt å merke seg når man skal vurdere risiko for lokal sykdomsspredning:

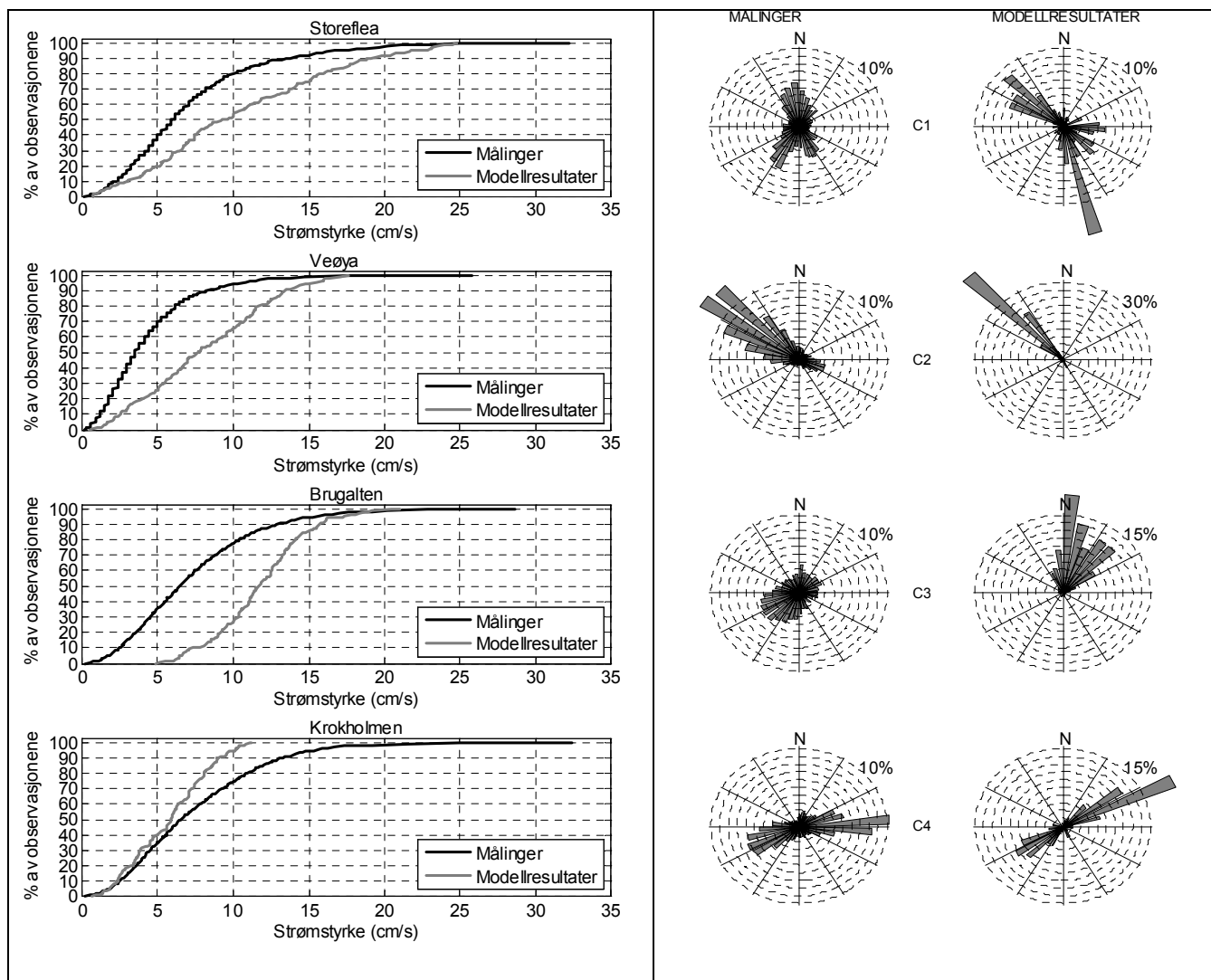
- For det første er vannkontakten ikke symmetrisk. For eksempel så har vannkontakt-parameteren fra Kviteskjeret til Marøytåa verdien 48, som er her er klassifisert til moderat vannkontakt. Fra Marøytåa til Kviteskjeret er verdien 100, som betyr liten eller ingen vannkontakt.
- For det andre sprer noen lokaliteter mer enn de mottar, mens for andre lokaliteter er det omvendt. For eksempel så sprer Kviteskjeret vann til 11 av 32 lokaliteter, mens den bare mottar vann fra 3 lokaliteter. Oppdrettslokaliteter som bidrar med vann til mange andre lokaliteter kan da spille en nøkkelrolle i lokal sykdomspredning.

Pancreas disease (PD) er en sykdom som skyldes *salmonid alphavirus* (SAV), og med økende omfang hos laks i oppdrett. Det er gjort en sammenligning med historiske data for sykdomsutbrudd av PD i Sunnfjord, og sannsynlig smittespredning mellom lokalitetene basert på vannkontakt. Resultatene viser at modellens vannkontaktnettverk forklarer en stor andel av PD-utbruddene i området og at strømvastanden beskriver spredningen betydelig bedre enn både sjø- og luftavstand. Oppdrettsanlegg som ligger langt fra hverandre kommer uventet i kontakt med hverandre grunnet vannstrømmene. Metoden kan derfor forklare smittespredning på en ny og mer forutsigbar måte.

AquaStrøm kan nå brukes til å bedømme risiko for PD-utbrudd ut fra en gitt smittestatus i fjordområdet og kan brukes opp mot andre agens og parasitter som spres via vannmassene. Dette vil være nyttig i forbindelse med driftsplanlegging, samordning av drift mellom aktører, tiltak og beredskap ved sykdomsutbrudd.



Figur S1. Kart over modellområdet. Oppdrettslokaliteter (røde prikker), elveutløp (blå prikker) og posisjonene til strømmålerne (svarte prikker, nr. 1-4) er tegnet inn.



Figur S2. Venstre figur: Sammenligning av målt og beregnet strømstyrke for Storeflea i Hellefjorden, Veøya i Bruffjorden. Brugalten på terskelen mellom Bruffjorden og Stavfjorden - og Krokholmen i Vilnesfjorden. Verdien på den vertikale aksene viser hvor stor andel av målingene som er mindre enn verdien på den horisontale aksene.

Høyre figur: Sammenligning av målt (venstre kolonne) og beregnet strømretning (høyre kolonne) for de samme stasjonene. Figurene angir prosentvis fordeling i hver sektor på 10°. Legg merke til at aksene har forskjellig skala.

Tabell S1. Vannkontaktnettverk. Navnene i første **rad** er lokaliteter hvor det er beregnet spredning av sporstoff fra. Navnene i første **kolonne** er lokaliteter hvor konsentrasjon av sporstoff er beregnet. Fargeskalaen angir graden av vannkontakt beregnet som minste verdi av de tre scenariene som er kjørt. Grønn betyr liten eller ingen vannkontakt (80-100), lysegrønn betyr noe vannkontakt (60-80), gul betyr moderat vannkontakt (40-60), oransje betyr stor vannkontakt (20-40) og rødt betyr svært stor vannkontakt (1-20).

	Træsneset	Vaulen	Kvalvik	Langeråa	Teisthalsen	Flåtegrunnen	Hestøyfora	Hestøya	Årebrot	Pusarvika	Hesteneset	Klavelandet	Steinvik	Sveholmene	Ålvora	Veidesundet	Oddane	Vågsøya	Marøytaa	Austeneståa	Dyvika	Skorva	Storevik	Kvit skjeret	Hella	Trellevika	Hegnes	Bakkebø	Kyravika	Svinøy	Furevika	Aldeøyane	
Træsneset	0	19	44	68	100	100	100	93	73	100	73	100	100	100	100	65	75	91	92	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Vaulen	48	0	42	58	86	100	100	74	61	84	57	100	100	100	100	50	59	73	74	74	100	100	92	99	100	100	100	100	100	100	100	100	
Kvalvik	98	70	0	79	100	100	100	81	35	61	45	100	100	100	100	41	66	70	68	69	96	92	83	86	100	100	100	100	100	100	100	100	
Langeråa	54	46	64	0	51	63	73	67	76	95	72	100	100	100	100	61	64	86	81	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Teisthalsen	100	94	100	75	0	22	40	34	100	100	100	100	100	100	100	75	59	84	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Flåtegrunnen	100	100	100	99	100	0	1	15	93	100	81	100	100	100	100	53	34	61	59	65	96	91	85	83	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hestøyfora	100	100	100	100	100	55	0	23	91	100	80	100	100	100	100	54	27	61	58	63	88	87	81	79	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hestøya	100	94	99	95	100	90	82	0	86	100	73	100	100	100	100	49	26	50	50	57	77	76	71	70	100	100	100	100	100	100	100	100	
Årebrot	100	100	100	98	100	100	100	100	0	2	38	100	100	100	100	40	69	80	72	69	92	93	81	86	100	100	100	100	100	100	100	100	
Pusarvika	100	100	100	100	100	100	100	100	18	0	42	100	100	100	100	43	69	100	84	77	100	100	88	97	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hesteneset	100	100	100	99	100	100	100	100	32	53	0	100	100	100	94	41	80	74	66	61	80	80	69	77	100	100	100	100	100	100	100	100	
Klavelandet	100	100	100	86	100	100	100	100	100	100	100	0	82	56	29	48	100	100	100	90	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Steinvik	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sveholmene	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	57	0	82	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ålvora	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	44	100	90	0	30	100	100	77	62	100	97	82	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Veidesundet	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	59	0	100	85	55	51	57	59	49	55	100	100	100	100	100	100	100	100
Oddane	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	32	30	43	64	61	59	56	100	97	100	100	100	100	100	100	100
Vågsøya	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	0	57	77	95	83	94	87	100	63	100	100	87	100	88	94	
Marøytaa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	54	0	34	61	55	58	48	100	82	100	100	100	100	100	100	
Austeneståa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	34	0	56	45	50	37	100	64	100	100	100	100	100	100	
Dyvika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	0	53	35	64	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Skorva	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	23	0	5	45	100	97	100	100	100	100	100	100	100
Storevik	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	6	1	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Kvit skjeret	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	41	31	20	0	100	82	100	100	100	100	100	100	100
Hella	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	59	66	66	57	78	58	100	
Trellevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	40	40	31	54	35	100	
Hegnes	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	42	53	92	66	100	
Bakkebø	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	26	0	34	72	52	100	
Kyravika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	24	13	0	51	34	100	
Svinøy	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	55	50	32	0	38	100	
Furevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	36	33	18	1	0	100	
Aldeøyane	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	73	72	60	65	54	0	
Havlandet	100	100	100	100	100	100	100	100	24	27	15	100	100	100	100	56	100	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Slettevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	40	23	53	75	72	74	69	100	99	100	100	100	100	100	100	100
Seljeseth	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	14	59	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Øyasundet	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	33	21	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Summary

Title: AquaStrøm Sunnfjord. Current velocity and direction to determine the risks of disease spreading between aquaculture sites

Year: 2010

Author: André Staalstrøm, Henning André Urke, Jarle Molvær (NIVA), Hildegunn Viljugrein and Peder Andreas Jansen (VI)

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-8588

The object of the AquaStrøm project has been to develop a tool to give a detailed description of the current conditions for the Sunnfjord area, and in that way give a better foundation to evaluate the risk of spreading of contagion between different aquaculture farms.

The distance in kilometres between sites gives a limited amount of information, if the movements of the water are not considered. A measurement of current at each site is by itself not so useful to describe the dynamics of the water masses. The distance between two sites can because of tides and current be experienced to be longer or shorter than the measured sea distance. A result of the variations in the current speed and direction is that the time a water parcel needs to move from A to B can be different than that needed to move from B to A.

A three-dimensional hydro dynamical model that describes current conditions and circulation has been implemented in an archipelago area of 2625 km² in Sunnfjord in County Sogn og Fjordane that extends from Vilnesfjord in the south to Frøysjøen in the north.

Results from the AquaStrøm model mimic the real current conditions and show that water from a contagious site can be dispersed over a huge area during a couple of days, but the pattern of dispersion is very uneven. AquaStrøm is used to develop a matrix that shows the water contact network between 32 aquaculture sites over a seven day period. Water contact is parameterized as a “current distance”. If the current distance is *small* the water contact is *large*.

Afterwards a comparison between historical data of outbreaks of the disease PD (Pancreas disease) in salmon farming and the probability of spreading of contagion based on water contact is carried out. Pancreas disease (PD) is an emerging disease in salmon farming caused by the salmonid alphavirus (SAV). The results show that the water contact matrix from the model explains a large amount of the PD outbreaks in the area, and that “current distance” describes the dispersion considerably better than both sea distance and the straight line distance. Aquaculture sites far apart may unexpectedly be connected with each other because of the water movements. The method thus explains contagion dispersion in a new and more predictable manner.

AquaStrøm can now be used to evaluate the risk of PD outbreaks given the status of the contagious condition in the area. The method can also be used on other contagion agents and parasites that spread with the water masses. This will be useful in connection with management of an aquaculture site, co-ordination of management between different parties and planning of measures during outbreaks.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Kunnskap om vannkontakt mellom ulike oppdrettslokaliteter er av vesentlig betydning for å kunne planlegge optimal bruk av lokalitetene, og særlig i situasjoner med sykdomsutbrudd. Når det gjelder vurdering av risiko for smittespredning mellom lokaliteter som ligger mange kilometer fra hverandre har imidlertid strømmålinger på den enkelte lokalitet liten verdi.

Man kan ikke måle seg til all informasjonen som en kan trenge om strømforhold, vannkontakt og risiko for smitte. Til det er områdene for store og forholdene altfor komplekse. Godt skjønn er bra, men etterlater oftest stor usikkerhet. En matematisk modell som er bygget på riktig hydrofysikk, topografi og som anvender gode data, kan koble de viktigste faktorene og gi vesentlig sikrere informasjon om strømforholdene i et område og dermed besvare spørsmål som: Hvilke lokaliteter er i vannlig kontakt? Har noen lokaliteter et større vannkontaktnettverk enn andre? Kan bedre kunnskap om strømforholdene sikre et bedre beslutningsgrunnlag for både næringen og forvaltningen?

I Sunnfjord, Sogn og Fjordane, er det et 10-talls fiskeoppdrettere som disponerer et 30-talls lokaliteter (**Figur 1**). Kunnskap om strømforholdene på lokalitetene og mellom dem er av vesentlig betydning for å kunne planlegge optimal bruk av lokalitetene, og særlig i situasjoner med sykdomsutbrudd. Gjennom drøftinger mellom Steinvik Fiskefarm AS og NIVA høsten 2006 ble det besluttet å starte et prosjekt med hovedmål å utvikle en strømmodell og en modell for simulering av risiko for smittespredning, til bruk i drifts- og miljøoptimalisering for akvakultur.

Aquastrøm-prosjektet ble dermed planlagt i to faser

1. utvikling av en hydrofysisk modell som beskriver strømforholdene (hastighet og retning) i området.
2. videreutvikling til modell som beskriver risiko for spredning av smitte mellom lokaliteter

Prosjektet vakte straks oppmerksomhet og interesse blant andre fiskeoppdrettere og forvaltningen i regionen. Vinteren 2007 ble det utvidet til å omfatte 9 oppdrettere og et slakteri¹ og hele området mellom Dalsfjorden og Hellefjorden (**Figur 1**). Videre ble det innledet et samarbeid med Veterinærinstituttet (VI) og det ble deretter besluttet å framskynde VIs arbeid med smitte modellen for Pancreas disease (PD).

1.2 Fremgangsmåte

Strømmer skapt av tidevann, vind og estuarin sirkulasjon² utgjør sammen med påvirkning fra kyststrømmen på utsiden det totale strømbildet i området. Alle faktorer varierer i tid og i rom. I tillegg er topografien av stor betydning for strømforholdene. Før dette prosjektet ble satt i gang, var det en rådende oppfatning at spredning av smittestoff mellom oppdrettsanlegg var styrt av et kaotisk mønster som det ikke vil være mulig å forutsi.

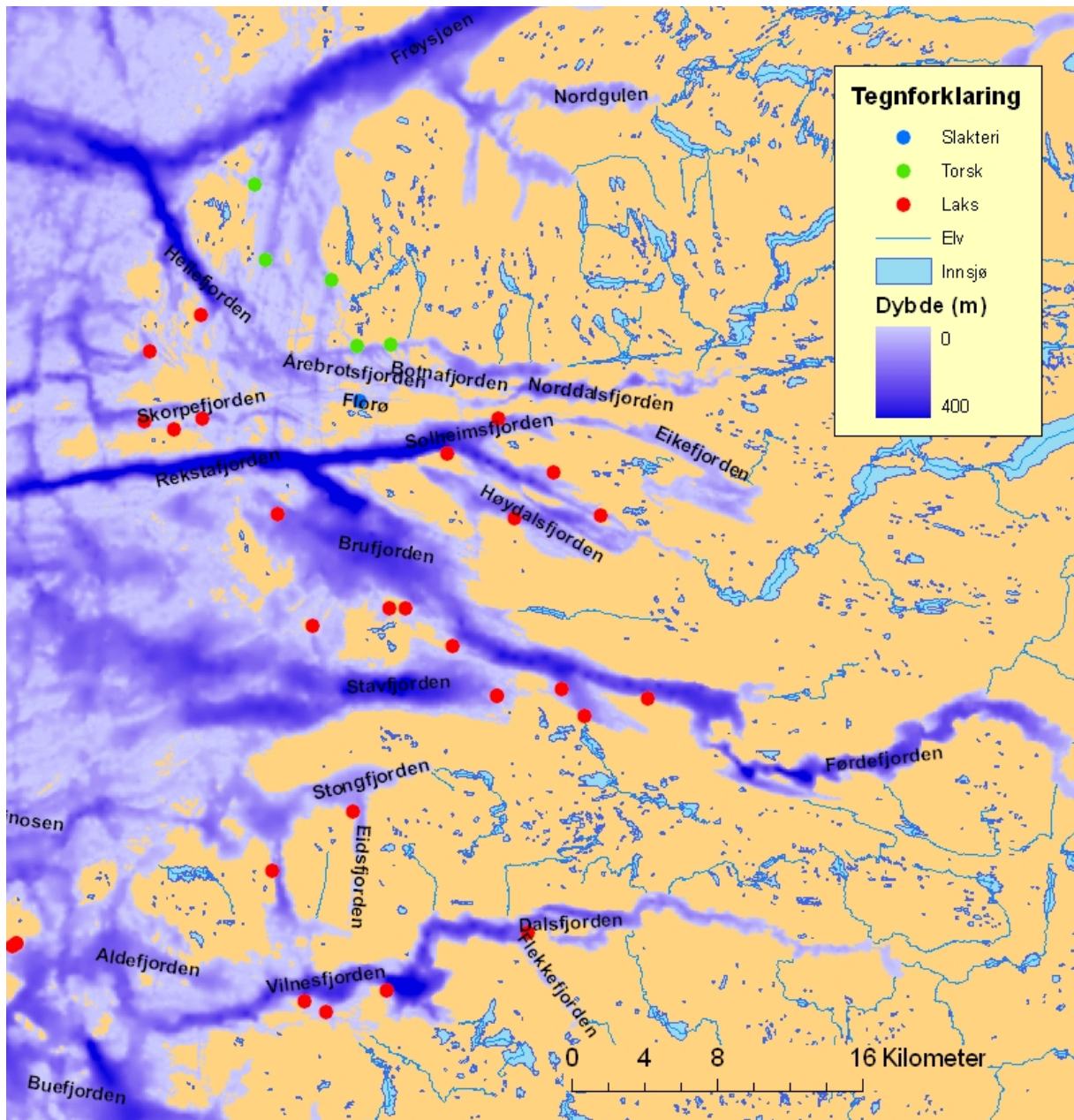
Som beskrevet ovenfor har målsetningen i prosjektet vært å bruke informasjon om strømbildet til å forbedre beskrivelsen av risiko for smitte mellom oppdrettsanlegg. For å få til dette har det vært

¹E. Karstensen Fiskeoppdrett AS, Firda Sjøfarmer AS, Flokenes Fiskefarm AS, Havlandet Havbruk AS, Karma Havbruk AS, Marine Harvest Norway AS avd. Rognaldsvåg og Dalsfjorden, Marø Havbruk AS, Nærøysund Matfisk AS, Slakteriet AS og Steinvik Fiskefarm AS.

² Typisk for fjorder med stor ferskvannstilførsel: en utoverrettet strøm med brakkvann i overflatelaget og en svakere inngående strøm med sjøvann under denne.

nødvendig å kunne gi en beskrivelse av vannkontakt mellom oppdrettsanlegg som varierer lite over tid. Dette har blitt gjort ved å utarbeide en tabell som viser parvis vannlig kontakt mellom oppdrettslokalitetene i området. Det vil si hvor mye vann som har vært ved et anlegg ved et gitt tidspunkt som havner ved et annet anlegg, og omvendt. Denne tabellen har vi kalt et vannkontaktnettverk. Dette vannkontaktnettverket er avhengig av strømbildet og endres hvis strømbildet endrer seg. På grunn av den svært kompliserte topografien i området har det en benyttet en modell med høy romlig oppløsning. Samtidig valgte vi å sette opp modellen for et stort kystområde siden smitte sannsynligvis kunne spre seg utover det enkelte fjordområde. Dette har gått på bekostning av hvor lange modellkjøringer som det har vært praktisk mulig å kjøre. Metoden som er benyttet her har derfor vært å fokusere på det mønsteret som er relativt konstant over tid; kyststrømmen og tidevannsvariasjonene. Vi har gjort følgende antagelser:

1. Kyststrømmen betraktes som en konstant strøm, og beskrives ved å ta middelveiden av modelldata fra met.no sin havmodell som dekker Sunnfjord (MI-POM). Det ble benyttet data fra juli 2006.
2. Tidevannsstrømmen dominerer over strøm som er skapt av middelvinden, og at en gjennomsnittlig variasjon kan beskrives med en heldaglig og en halvdaglig tidevannskomponent. Størrelsen av tidevannet varierer langs kysten, og det ble brukt modelldata fra MI-POM til å lage inngangsdata.
3. Perioder med relativt sterke vinder (frisk bris) vil være av kort varighet i forhold til varigheten til smitteforløpet som skal beskrives, og vil være mindre viktig på lang sikt.



Figur 1. Oversiktskart over Sunnfjord. De røde og grønne prikkene viser oppdrettslokaliteter for henholdsvis laksefisk og torsk.

2. Beskrivelse av strømodellen

2.1 Generelt om havmodellen ROMS

ROMS står for Regional Ocean Modeling System, og er en tredimensjonal havmodell med fri overflate og terrengfølgende vertikale koordinater. Modellen er beskrevet av blant annet Haidvogel m.fl. (2007) og på hjemmesiden www.myroms.org/wiki/. Oppløsningen i "Sunnfjordmodellen" er 150 meter, som vil si at modellområdet er delt inn i ruter på 150x150 m². I hver rute eller celle beregnes strøm, vannstand, saltholdighet, temperatur og eventuelt konsentrasjon av et eller flere sporstoff. Variablene som beregnes er beskrevet i **Tabell 1**.

Modellen utfører beregninger for 20 vannlag mellom overflate og bunn. Siden modellen har terrengfølgende vertikale koordinater, så har hver beregningscelle like mange lag uansett vandyp. Tykkelsen på lagene varierer med vandypet. Modellen har tidligere blitt validert mot strømmålinger med gode resultater (Staalstrøm, 2009).

I ROMS er det mulighet for å definere passive sporstoff. Dette er stoff som har nøytral oppdrift og som derfor bare driver med vannet. Modellen kan vise hvordan strømmen vil flytte vannmasser med en gitt konsentrasjon av sporstoff rundt i modellområdet.

De viktigste inngangsdataene til modellen:

1. Startbetingelser for strøm, vannstand, saltholdighet og temperatur.
2. Grenseflatebetingelser for strøm, vannstand, saltholdighet og temperatur.
3. Tidevann.
4. Ferskvannstilførsel.
5. Vindforhold.

Tidevannskomponentene for området har blitt beregnet ved å kjøre harmonisk analyse av data fra met.no sin modell MI-POM som er satt opp for norskekysten på et rutenett med 4 km oppløsning. Månedsmiddelet av dataene representerer de saktevarierende forholdene (kyststrømmen), og har blitt lagt inn som grenseflate- og startbetingelser. Kyststrømmen og tidevannsvariasjonene driver modellen sammen med vind og ferskvannstilførsel.

Tabell 1. Variabler som beregnes i modellen.

Variabel	Symbol	Enhet
Vannstand	$\zeta(x, y, t)$	M
Dybdeintegrert strøm i x-retning	$\bar{u}(x, y, t)$	m/s
Dybdeintegrert strøm i y-retning	$\bar{v}(x, y, t)$	m/s
Strøm i x-retning	$u(x, y, z, t)$	m/s
Strøm i y-retning	$v(x, y, z, t)$	m/s
Strøm i z-retning	$w(x, y, z, t)$	m/s
Saltholdighet	$S(x, y, z, t)$	-
Temperatur	$T(x, y, z, t)$	°C
Konsentrasjon av sporstoff i	$C_i(x, y, z, t)$	mg/l

2.2 Modellområdet

Havmodellen har blitt satt opp for et område på 2625,5 km² i Sogn og Fjordane. Modellområdet strekker seg fra Vilnesfjorden sør til Frøysjøen i nord, og er svært variert (se **Figur 1** og **Figur 2**). Overflatearealet av havområdet i modellen er 1292.6 km² og dette utgjør 49 % av det totale områdearealet. Ved middelvannstand inneholder modellen 137.02 km³ vann. Det maksimale vanddypet på 447 m befinner seg i Brufjorden rett sørvest for Florø. Middeldypet er 106 m. Halvparten av havområdet er mindre enn 76 m dypt. De grunne områdene strekker seg helt ut i det åpne havet, og de dype områdene strekker seg langt inn i fjordene.

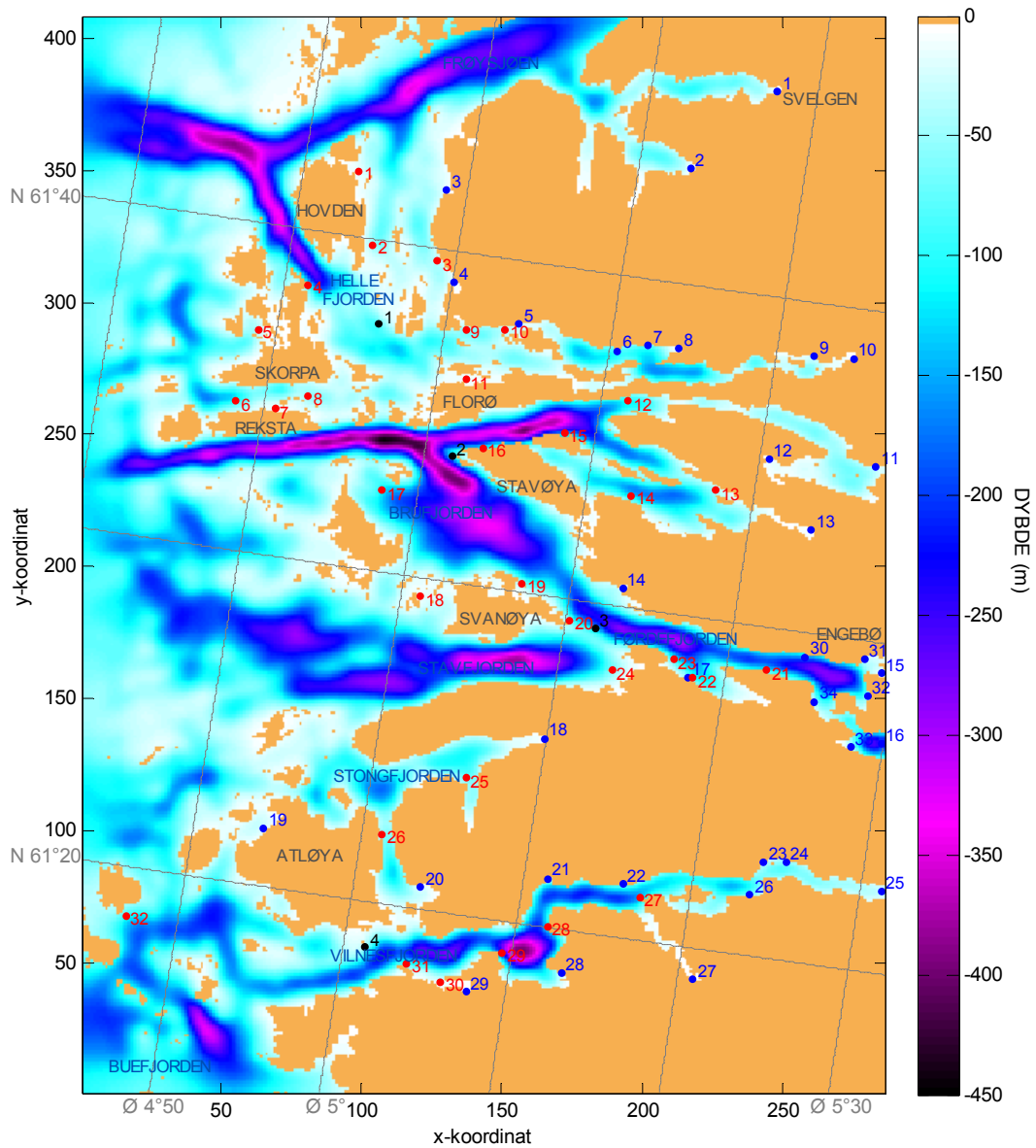
Området kan deles inn i seks indre fjordsystemer med fem mellomliggende fjordsystemer utenfor (se **Figur 1** og **Figur 2**). De indre fjordsystemene regnet fra nord til sør er

1. Nord-, Midt- og Sørgulen utenfor Svelgen
2. Nordalsfjorden nord for Florø
3. Solheimsfjorden sør for Florø med Eikefjorden og Høydalsfjorden innenfor
4. Førdefjorden
5. Stongfjorden
6. Vilnesfjorden med Dalsfjorden innenfor

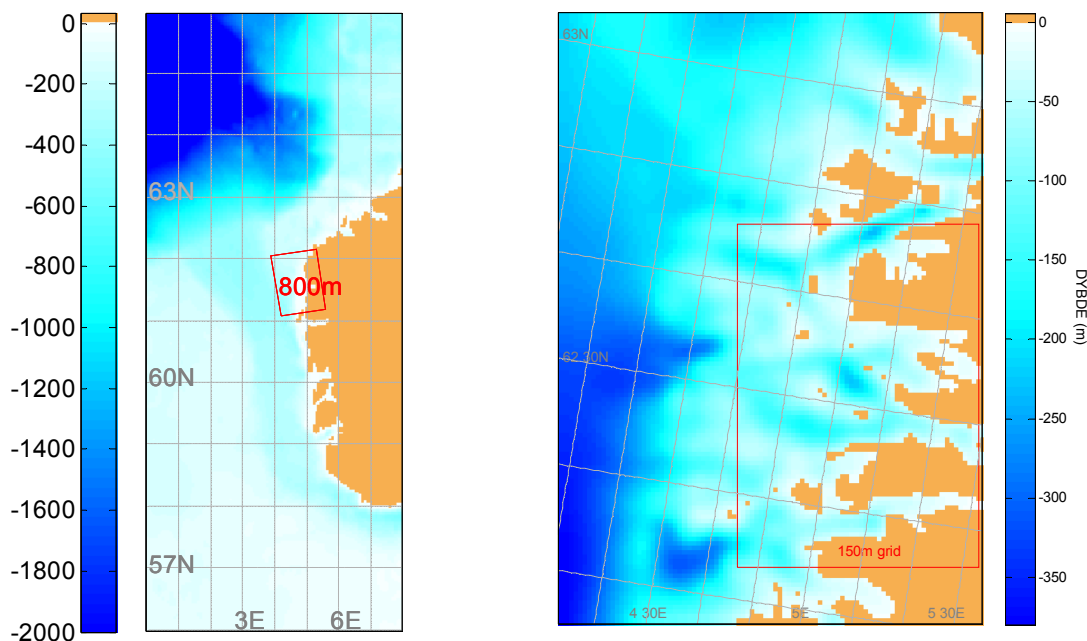
Utenfor dette ligger de fem mellomliggende fjordsystemene

1. Frøysjøen utenfor Nord-, Midt- og Sørgulen
2. Hellefjorden utenfor Nordalsfjorden
3. Brufjorden utenfor Solheimsfjorden og Førdefjorden
4. Stavfjorden utenfor Førdefjorden
5. Buefjorden utenfor Vilnesfjorden

I vest grenser modellområdet mot Nordsjøen.



Figur 2. Kart over modellområdet. Oppdrettslokalteter (røde prikker), elveutløp (blå prikker) og posisjonene til strømmålerne (svarte prikker, nr. 1-4) er tegnet inn. Hver prikk har et identifikasjonsnummer som finnes igjen i posisjonstabellene.



Figur 3. Kart over modell med 4 km oppløsning (venstre) og 800 m oppløsning (høyre).

2.3 Startbetingelsene

Ved begynnelsen av beregningene må alle variablene i **Tabell 1** ha en startverdi i alle beregningspunkter. Svært mye informasjon ligger i disse startbetingelsene og hvor godt modellen klarer å gjenspeile virkeligheten er i høyeste grad avhengig av hvor gode de er. I utgangspunktet er startverdiene for modellen på 150 m oppløsning interpolerte verdier fra en modell på 800 m oppløsning, som igjen er kjørt med startverdier som er interpolert fra en modell med 4 km oppløsning (**Figur 3**). Denne trinnvise metoden for å lage inngangsdata til modellen gjøres for at det ikke skal være for store sprang i oppløsning. Modellen med 800 m oppløsning tillater at virvler med dimensjoner som ikke var oppløst i utgangspunktet får utviklet seg før det interpoleres ned til enda større oppløsning.

Interpolerte verdier fra en modell på 4 km skala (MI-POM) blir i utgangspunktet ikke gode i og med at de ikke inneholder bevegelser som ikke var oppløst. Dette gjelder spesielt inne i fjordene. Bevegelser som er styrt av den topografien som er oppløst i modellen, vil oppstå ved å kjøre modellen i en innkjøringsperiode på to til tre dager. Et visst volum med vann presses gjennom modellområdet på grunn av tidevannet, og topografien vil da modifisere strømmen. Siden området inneholder mange topografiske detaljer med trange sund, holmer og skjær, og tidevannsforskjellene er så store som de er, vil løsningen for i hvert fall vannstand og den dybdeintegrerte strømmen bli gode nesten uansett hvilken startbetingelse man starter med hvis innkjøringsperioden er lang nok. Dette kan sammenlignes med at man legger inn en sterk strøm som går oppstrøms i en elv ved et gitt tidspunkt. Denne motstrømmen vil svært raskt snu siden den ikke har tilførsel av energi, og forstyrrelsen vil fraktes av gårde med strømmen nedover elva. På samme måte vil en startstrøm som går mot tidevannstrømmen bli visket ut.

Sjiktningen i området er en annen sak. I denne modellen er det benyttet en antagelse om hydrostatisk trykkfordeling. Det betyr at trykket i den vertikale retningen er lik vekten av det overliggende vannet. Det er ikke tatt hensyn til akselerasjon av vannet i den vertikale retningen. En konsekvens av dette er at tungt vann aldri vil befinne seg over lettere vann. Sjiktningen i modellen vil være helt avhengig av

sjiktningen som er lagt inn i startbetingelsene. Den virkelige sjiktningen som kan måles med en CTD-sonde i modellområdet er derfor vanskelig å gjenskape i en modell, og dette vil være helt umulig om man ikke har gode startbetingelser. Sjiktningen som er skapt av ferskvanntilførselen vil kunne gjenskapes, men ferskvannet vil bare modifisere sjiktningen i sjøen hvor elven renner ut. Sjiktningen vil derfor være avhengig av det vannet som fraktes inn og ut av modellområdet utenfra.

Det kreves målte data for å kunne lage gode startbetingelser. CTD-målinger i havet er en mangelvare og det gjelder å bruke de dataene som fins på en fornuftig måte. Seks profiler målt i mai måned i forskjellige posisjoner i modellområdet er blitt brukt for å inkludere romlig variasjon i startbetingelsene (se **Tabell 2**). Hver av profilene har representert sjiktningen i deler av modellområdet. Sjiktningen i hvert delområde har blitt satt lik data fra den respektive stasjonen. Data fra Sognesjøen har representert sjiktningen i den delen av området som grenser mot det åpne havet. Modellen har så blitt kjørt i fire dager for å jevne ut skarpe horisontale gradienter av saltholdighet og temperatur mellom delområdene. **Figur 4** viser saltholdigheten i overflata etter en innkjøringsperiode på 5 dager, som har blitt brukt som startbetingelser for videre beregninger.

Tabell 2. CTD-stasjoner som er brukt for å lage grenseflate- og startbetingelsene til modellen. Se også **Figur 4**.

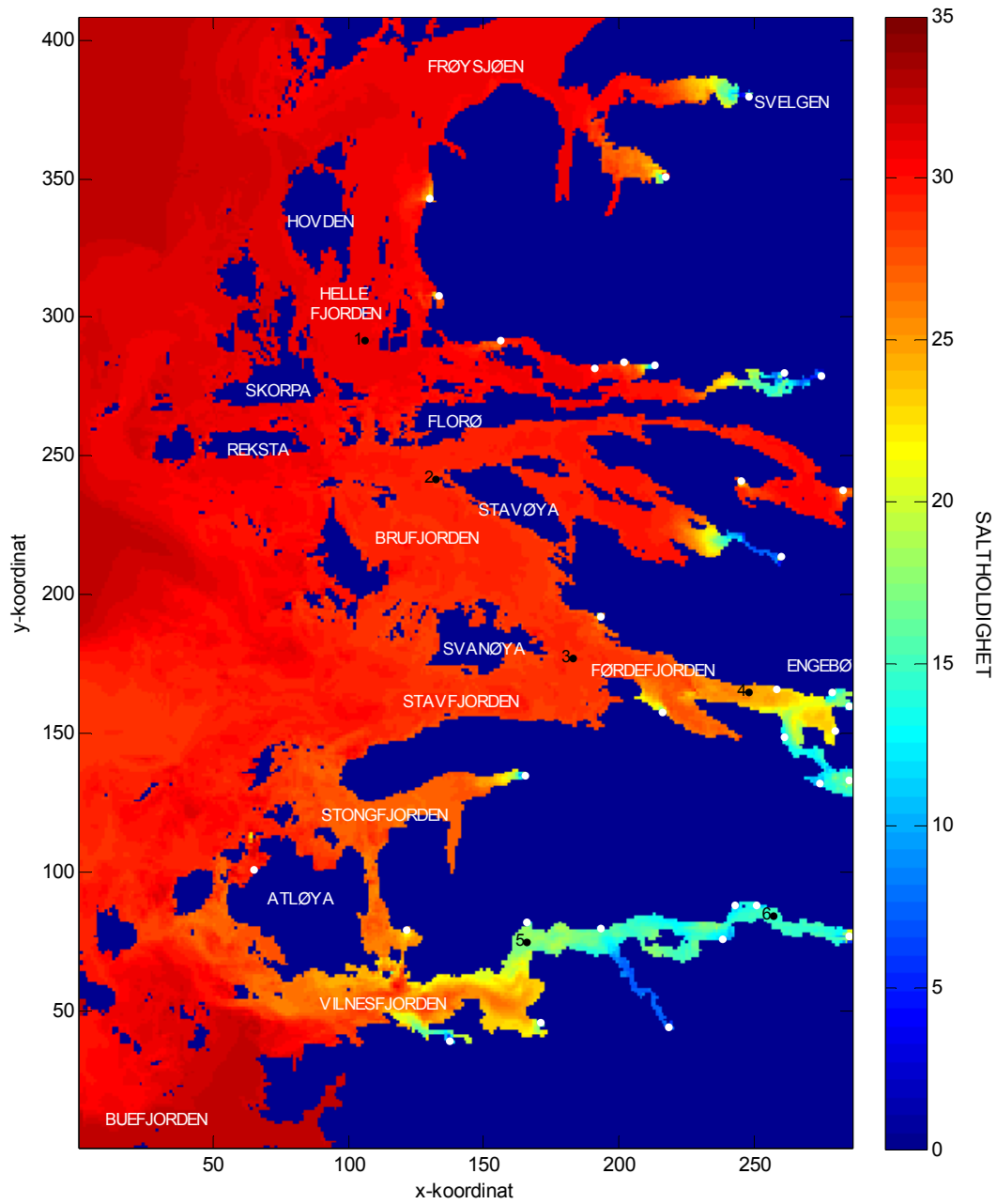
Nr.	Stasjon	Område	Lengdegrad	Breddegrad	Dato	x	y
1	Storeflea	Hellefjorden	4°56.209' Ø	61°37.524' N	26.5.2008	110	290
2	Veøya	Brufjorden	5°01.661' Ø	61°33.804' N	26.5.2008	135	237
3	Brugalten	Brufjorden/Stavfjorden	5°11.948' Ø	61°29.135' N	26.5.2008	184	174
4	Vevring	Førdefjorden	5°23.165' Ø	61°29.069' N	30.5.2008	248	165
5	Straumsneset	Vilnesfjorden	5°11.565' Ø	61°20.913' N	29.5.1976	166	75
6	Verpingneset	Dalsfjorden	5°26.696' Ø	61°22.661' N	29.5.1976	257	84
7	Sognesjøen	Det åpne havet	4°50' Ø	61°01' N	1.5.2008	-	-

2.4 Grenseflatebetingelser

Langs modellens åpne grenser³ må alle variablene i **Tabell 1** spesifiseres for alle tidsskritt i perioden som modellen kjøres. Data fra met.no sin modell MI-POM har blitt brukt for å produsere grenseflatebetingelsene. Det er her antatt at strømmen er summen av en konstant kyststrøm og en tidevannstrøm. Modelldata fra MI-POM fra slutten av mai og ut juni 2006 har blitt analysert for å finne disse strømmene. Disse dataene er fra samme tid på året som sjiktningensdataene som har blitt brukt. Kyststrømmen er månedsmiddelet av dataene. Tidevannstrømmen blir beregnet som beskrevet i neste delkapittel, og deretter lagt til kyststrømmen på modellens åpne grenser.

Det er grenseflatebetingelsene som i hovedsak ”driver” modellen. Svingninger på grensene brer seg inn i modellområdet ved hjelp av trykkrefter. Strømmen blir deretter modifisert av topografi, Jordas rotasjon, friksjon og adveksjon. Adveksjon er en ikke-lineær effekt som vil si at strømmen i et punkt kan endre seg på grunn av at bevegelsesmengde fraktes til dette punktet med strømmen.

³ Dette er de kantene av modellområdet som grenser mot åpent hav.



Figur 4. Startbetingelsen for saltholdighet i overflaten. Elveutløp er markert med hvite prikker. CTD-stasjoner fra **Tabell 2** er markert med svarte prikker. Elveutløp er markert med hvite prikker. Fargeskalaen er til høyre i figuren viser saltholdigheten.

2.5 Tidevann

I Sunnfjord er tidevannet sterkt. Ved springflo kommer høydeforskjellen mellom høyvann og lavvann opp i 2 meter, og det betyr at 2.6 km³ med vann da skal bevege seg ut og inn igjen av modellområdet i løpet av 12 timer. Dette fører til strømmer som følger et gjentakende mønster og mange steder har stor hastighet. Tidevannet består av svingninger med forskjellig frekvenser, hvor den viktigste komponenten er M_2 , som er en halvdagelig svingning. Tidevannskomponentene er bestemt ved harmonisk analyse av data fra met.no sin havmodell fra juni 2006. En komponent med daglig svingning (K_1) er også lagt inn i modellen. Hver komponent er spesifisert med en unik verdi for amplitude og fase for vannstanden og tidevannsellipsens store og lille halvakse, inklinasjon og fase for den dybdeintegrerte strømmen i hvert beregningspunkt i modellen. **Tabell 3** viser verdier for tidevannskomponentene i modellen.

Tabell 3. Verdier for tidevannskomponentene i sørvestligste beregningspunktet i modellen.

Parameter	Symbol	Enhet	M_2	K_1
Tidevannsperiode	τ	Timer	12.4206	23.9345
Amplitude vannstand	h	Cm	43.12	6.99
Fase vannstand	φ_h°	Grader	0.7455°	-35.7030°
Store halvakse	a	Cm/s	3.76	1.59
Lille halvakse	b	Cm/s	2.75	-0.66
Inklinasjon	θ°	Grader	59.4305°	34.7583°
Fase strøm	φ_c°	Grader	-91.0141°	-90.2457°

I ROMS beregnes vannstand og dybdeintegrert strøm ut i fra formler under.

$$\text{Vannstand: } \xi = h \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau} - \varphi_h\right) \quad (1)$$

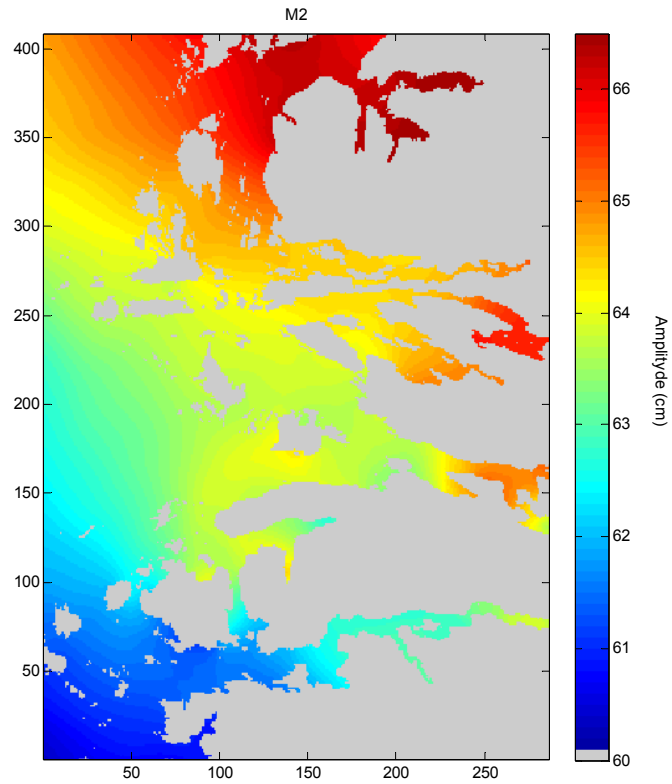
$$\text{Strøm i x-retning: } \bar{u} = a \cdot \cos \alpha \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau} - \varphi_h\right) - b \cdot \sin \alpha \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau} - \varphi_h\right) \quad (2)$$

$$\text{Strøm i y-retning: } \bar{v} = a \cdot \sin \alpha \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau} - \varphi_h\right) + b \cdot \cos \alpha \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau} - \varphi_h\right) \quad (3)$$

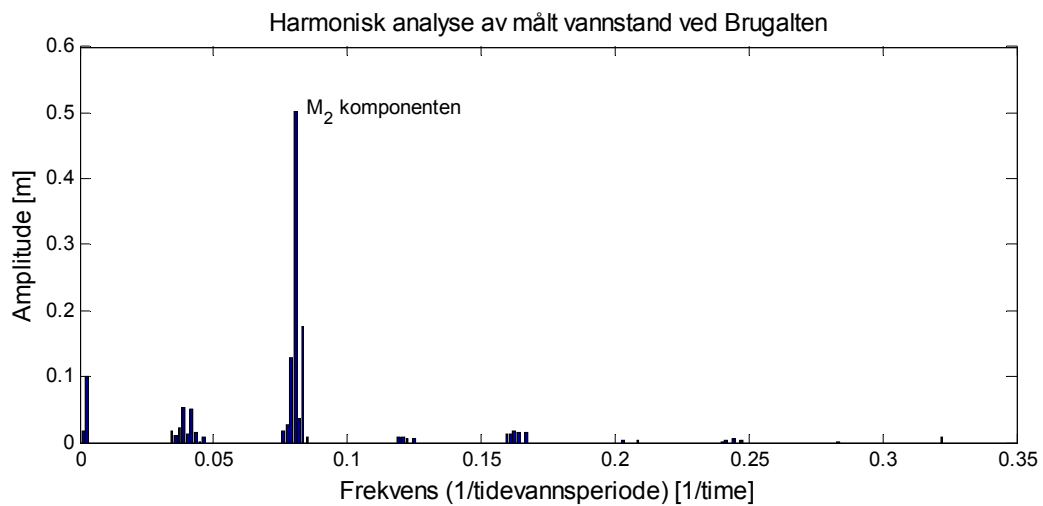
$\alpha = \theta - \beta$, hvor β er modellens y-akse sin vinkel i forhold til nord. Tiden t har her enheten timer og fasevinklene har enheten radianer.

Det må presiseres at tidevannet bare blir beregnet utifra disse formlene på modellens grenseflater. Tidevannet blir addert til grenseflatebetingelsene. Inne i modellområdet beregnes vannstand og strøm utifra bevegelsesligningen og loven om bevaring av masse (kontinuitetsligningen).

Disse tidevannssvingningene er den absolutte viktigste kilden til energi til vannbevegelser inne i modellområdet. Denne energien brer seg inn i området med trykkrefter. **Figur 5** viser størrelsen til vannstandsamplituden for M_2 . Det har blitt gjort en harmonisk analyse av modellkjøringer med 800 m rutenett. Disse dataene har så blitt interpolert til 150 m rutenett. Generelt sett så øker størrelsen på tidevannet når man går nordover. Dette stemmer med målinger fra Sjøkartverkets målestasjoner. **Figur 6** viser at mesteparten av amplituden til den målte vannstanden ved Brugalten mellom Brufjorden og Stavfjorden kan forklares med den halvdaglige komponenten M_2 .



Figur 5. Amplituden til M_2 tidevannskomponenten med periode 12.42 timer. Disse dataene er interpolert fra et rutenett med horisontal oppløsning på 800 m.



Figur 6. Resultat fra tidevannsanalyse av målt vannstand ved Brugalten mellom Brufjorden og Stavfjorden.

2.6 Vindforhold

Mesteparten av energien som driver strømmen i modellen tilføres med randbetingelsene, men vinden vil også tilføre energi og skape bevegelse i vannmassene. I denne modellen blir vindkrafta beregnet på samme måte som i met.no sin havmodell MI-POM. Parameterne som trengs for å beregne vindkraften er beskrevet i **Tabell 4**.

Tabell 4. *Parametre som brukes for å beregne vindkrafta utifra vindstyrken.*

Parameter	Symbol	Verdi/enhet
Luftas tetthet	ρ_{AIR}	1.3 kg/m ³
Vannets tetthet	ρ_{SEA}	1000 kg/m ³
Vindstyrke	W	m/s
Drag koeffisient	C_D	-
Vindretning	γ	Den retningen vinden blåser

Vindkrafta i x- og y-retning, F_x og F_y , hvor enheten er m²/s², beregnes ved følgende formler

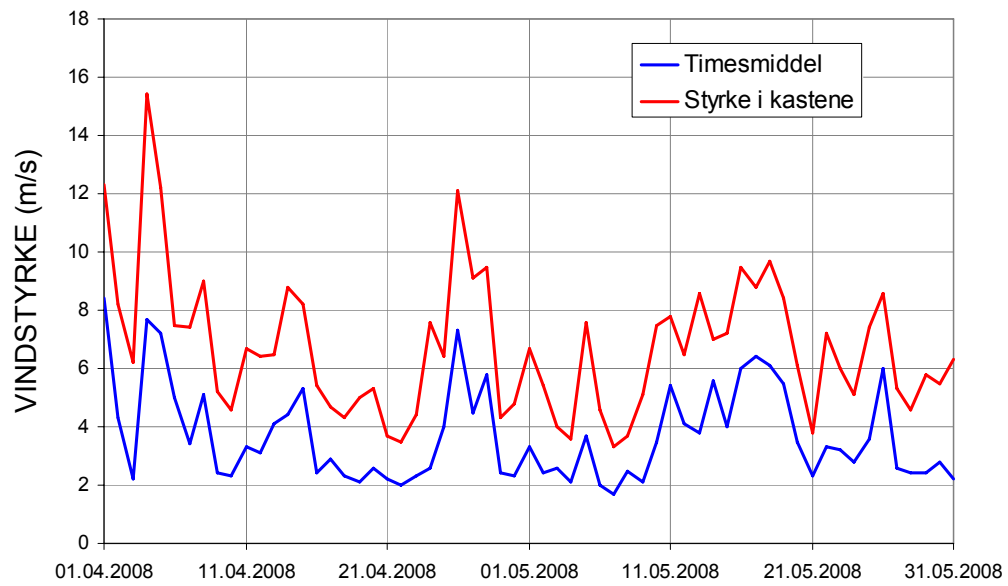
$$F_x = \frac{\rho_{AIR}}{\rho_{SEA}} \cdot C_D \cdot W^2 \cdot \sin \gamma \quad (4)$$

$$F_{yx} = \frac{\rho_{AIR}}{\rho_{SEA}} \cdot C_D \cdot W^2 \cdot \cos \gamma \quad (5)$$

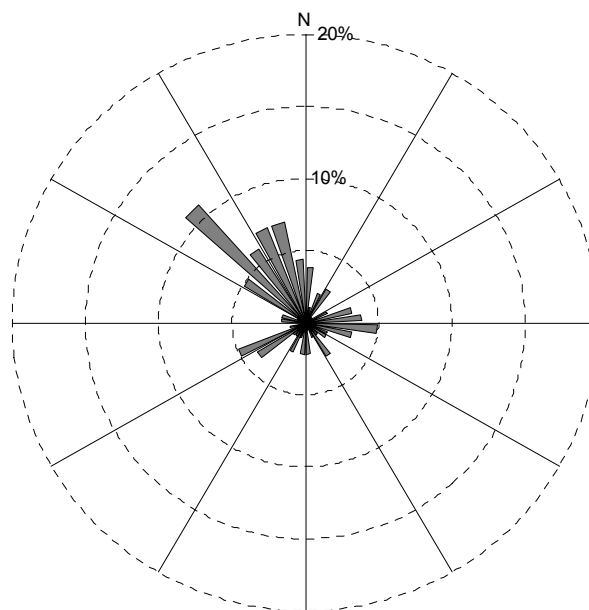
Drag koeffisienten er avhengig av vindstyrken

$$\begin{aligned} C_D &= (1.2) \cdot 10^{-3} & W < 11 \text{ m/s} \\ C_D &= (0.49 + 0.065 \cdot W) \cdot 10^{-3} & W > 11 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (6)$$

Figur 7 og **Figur 8** viser henholdsvis målt vindstyrke og vindretning ved Florø lufthavn i april og mai 2008. Middelerdien for vindstyrken for hele perioden er 3.7 m/s og den dominerende retningen er vind i fra nordvest. I modellen er det lagt inn en konstant vindstyrke på 5 m/s (lett bris). Denne vindstyrken er forholdsvis lav og den vil trolig ikke påvirke strømmene i området i særlig stor grad. Det er derfor ikke tatt hensyn til at vindstyrken kan variere i både tid og rom. Det har blitt gjort beregninger med to forskjellige vindretninger, henholdsvis $\gamma = 135^\circ$ (vind fra nordvest) og $\gamma = 225^\circ$ (vind fra sørvest).



Figur 7. Vindstyrke ved Florø lufthavn april - mai 2008.

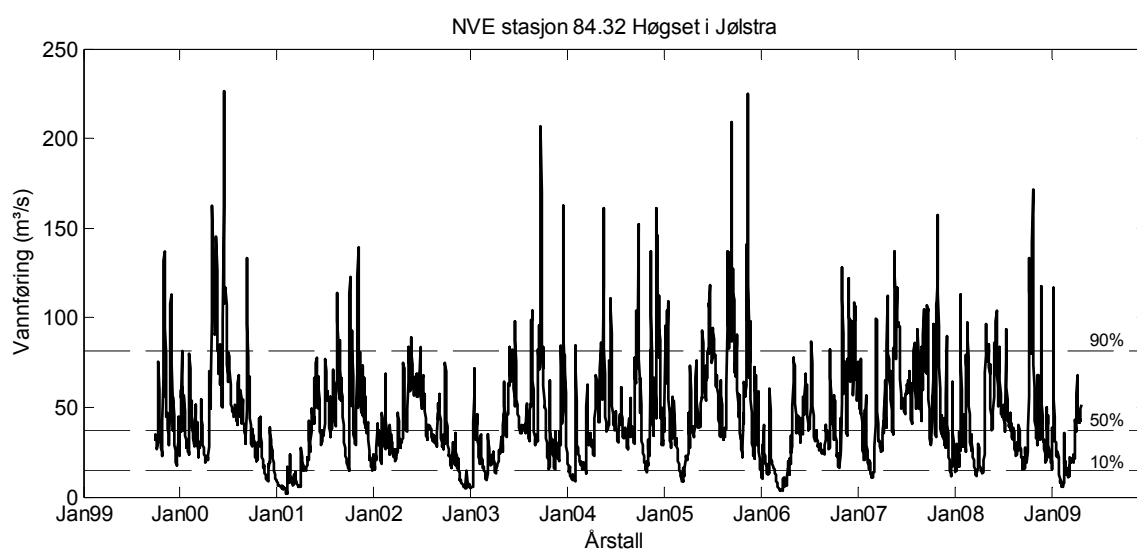


Figur 8. Vindretning ved Florø lufthavn april og mai 2008. Vinden blåser hovedsakelig fra nordvest.

2.7 Ferskvannstilførsel

Det er lagt inn 34 elver i modellområdet (se **Tabell 5**). Data er hentet fra NVE sin hjemmeside. Jølstra er den mest vannrike elva som drenerer til modellområdet og **Figur 9** viser hvordan vannføringen i denne elva varierte mellom oktober 1999 og april 2009. Den er lagt inn under nummer 16 i **Tabell 5** sammen med elvene Nausta, Erdøla, Gravidalselva, Solheimselva og Heilevangselva. Nedbørsfeltet til Jølstra utgjør omtrent 2/3 av nedbørsfeltet som er oppgitt for vassdrag nummer 16 (Førdefjorden innenfor Ålasundet).

I denne 10-års perioden varierte vannføringen i Jølstra mellom $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (3. februar 2001) og $226.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (14. juni 2000) (Figur 9). Disse aller største og minste vannføringene har en typisk varighet på noen dager. 10 % av målingene var *lavere* enn $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (10 persentilen) og 10 % av målingene var *høyere* enn $81.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (90 persentilen). De vannføringene som er lagt inn i modellen er forholdsvis høye (nesten opp mot 90 persentilene) men vannføringen kan i perioder på noen dager være opptil 3 ganger så stor.



Figur 9. Vannføring i Jølstra fra oktober 1999 til april 2009. I perioden er medianen $37.2 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimal vannføring er $226.7 \text{ m}^3/\text{s}$ og minimal vannføring er $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$. 10 % av målingene var lavere enn $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (10 persentilen), og 10 % av målingene var høyere enn $81.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (90 persentilen).

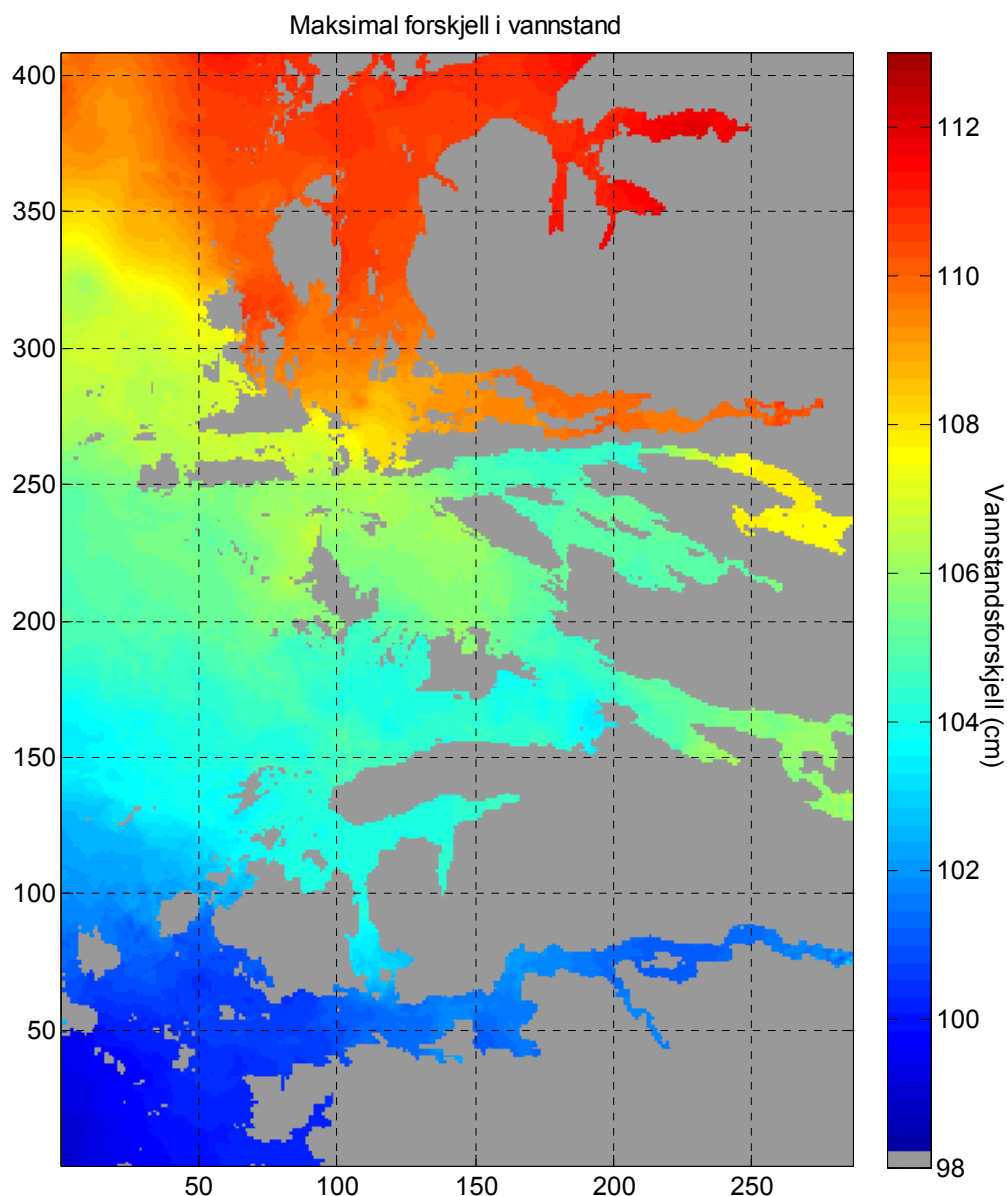
Tabell 5. Elver som er lagt inn i modellen. Vassdraget "Førdefjorden" inkluderer vannføring fra Nausta, Erdøla, Jølstra, Gravidalselva, Solheimselva og Heilevangselva lagt inn. Dalsfjorden inkluderer vannføring fra Gaula, Selselva, Kvamselva, Skytjeelva og Sagevikelva.

Elv nr.	Vassdrag	Modellkoordinater		Utløpets retning	Nedbørsfelt (km ²)	Vannføring (m ³ /s)
		x	y			
1	Svelgenvassdraget og Riseelva	248	380	V	82.52	9.2
2	Indrehuselva og Storeelva	217	351	V	36.86	4.1
3	Husefeselva	130	343	N	8.84	1.0
4	Uraelva	133	308	V	8.83	1.0
5	Sagaelva	156	292	S	6.75	0.8
6	Klauveelva	191	282	S	3.18	0.4
7	Tåelva	202	284	S	9.18	1.0
8	Haukaa	213	283	V	20.01	2.2
9	Nordalselva	261	280	S	91.85	10.3
10	Solheimsvassdarget	275	279	V	110.3	12.4
11	Hovlandselva	283	238	S	4.75	0.5
12	Jagedalsvatnet	245	241	S	4.82	0.5
13	Oselvassdraget	260	214	V	273.02	30.6
14	Daleelva	193	192	V	9.98	1.1
15	Støselva	285	160	V	11.72	1.3
16	Førdefjorden	285	133	V	1009.81	113.1
17	Skarvenvassdraget	216	158	N	35.36	4.0
18	Stongselva og Gjerdeelva	165	135	V	22.62	2.5
19	Fridalselva	65	111	V	9.77	1.1
20	Askdalselva	121	79	S	4.85	0.5
21	Bakkelva	166	82	S	14.2	1.6
22	Rivedalselva	193	80	S	20.18	2.3
23	Fossedlastjernet	243	88	S	17.45	2.0
24	Storeelva	251	88	S	26.1	2.9
25	Dalsfjorden	285	77	V	723.09	81.0
26	Storelva	238	76	N	63.86	7.2
27	Skoreselva og Stavadalselva	218	44	N	260.73	29.2
28	Gjøangselva	171	46	V	17.06	1.9
29	Lona	137	39	N	26.8	3.0
30	Støselva og Sagelva	228	166	S	35.6	4.0
31	Grytaelva	279	165	S	35.6	4.0
32	Gjøingvika	280	151	V	10	1.1
33	Rørvik	274	132	N	25.4	2.8
34	Kvammen	261	149	Ø	25.4	2.8

3. Validering av strømmodellen

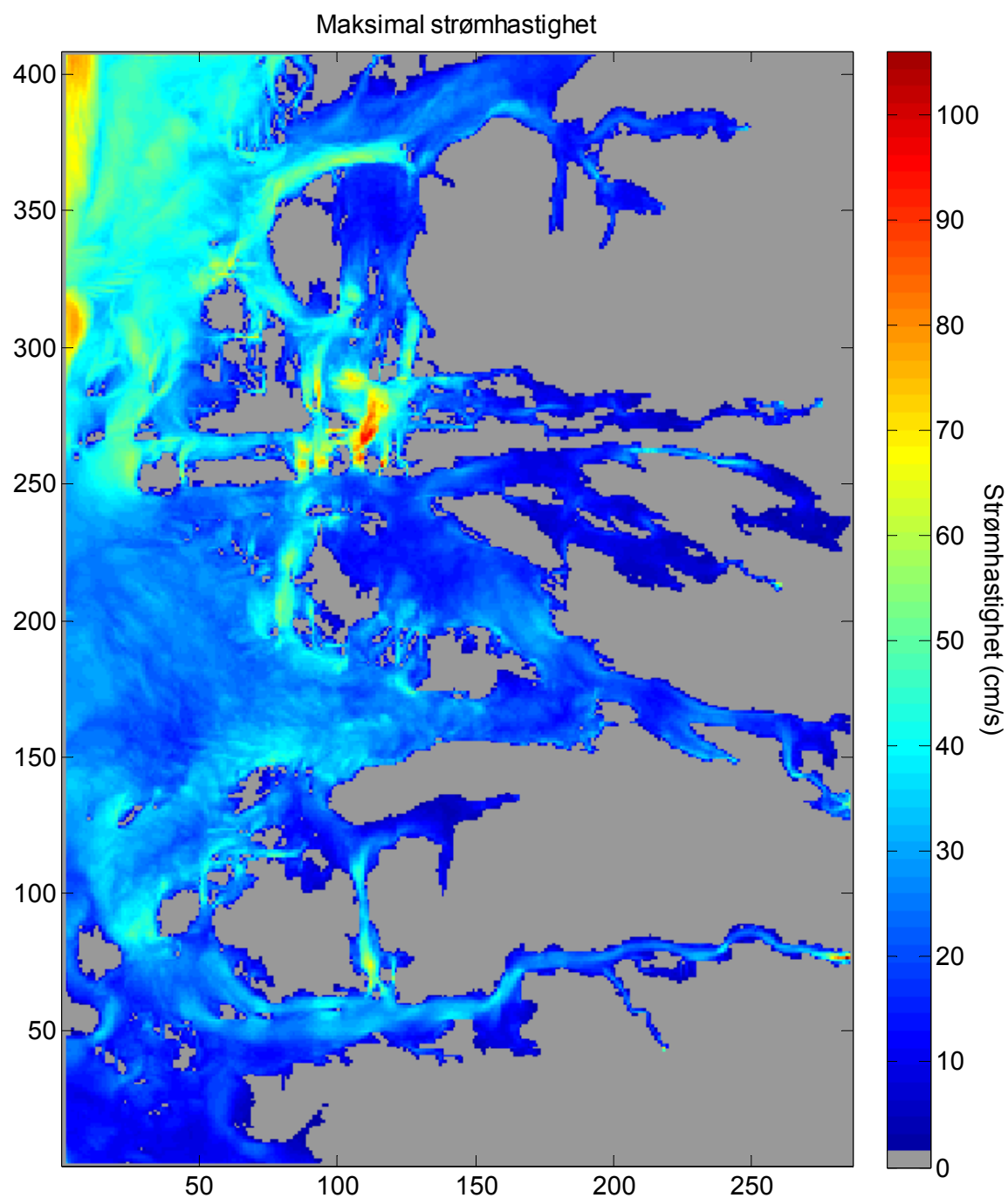
3.1 Resultater fra modellen

Figur 10 viser forskjell mellom høyeste og laveste vannstand i modellområdet. I sør er forskjellen minst, og litt under 100 cm. Forskjellen øker gradvis nordover i området til maksimalt 113 cm i Frøysjøen. Tidevannsforskjellen øker innover i fjordene. Dette er i overensstemmelse med teoretiske betraktninger hvor man tenker seg at tidevannsbølgen som brer seg innover en lang og trang fjord og reflekteres innerst. Summen av den inngående og utgående bølgen gir da en løsning hvor tidevannsamplituden øker innover.



Figur 10. Maksimal forskjell i vannstand i løpet av en ukes beregninger.

Figur 11 viser den maksimale strømshastighet i nær overflaten. Dette er da den høyeste strømstyrken beregnet i hver posisjon av modellområdet. Typiske strømshastigheter er på rundt 20 cm/s. De sterkeste strømmene opptrer seg i de grunne områdene vest for Florø. I dette området utveksles vann mellom Brufjorden og Hellefjorden gjennom relativt grunne og smale sund.



Figur 11. Maksimal strømshastighet i overflatelaget i løpet av en ukes beregninger.

3.2 Feltnmålinger

I forbindelse med etablering av den hydrodynamiske modellen ble modellresultatene sammenlignet med strømmålinger fra 22 posisjoner i modellområdet (Staalstrøm, 2009). Sammenligningen viste godt samsvar mellom modell og målinger for både strømstyrke og strømrretning i overflatelaget (0-5 m), det mellomliggende laget (5-20 m) og under 20 m. Flesteparten av målepunktene befant seg i de sentrale delene av modellområdet. Bare en posisjon var i den sørlige delen. Strømmålingene ble foretatt i tidsrommet 2002 til 2006 og var av typisk 3-4 ukers varighet.

For å supplere disse målingene ble det i periodene april-mai 2008 målt strøm i fire posisjoner (**Tabell 6** og **Figur 2**). Den 17.4.2008 ble det utplassert strømmålere ved Storeflea, Veøya og Brugalten. Ved Storeflea og Veøya ble måleren plassert i omtrent 10 m dyp. Ved Brugalten ble det plassert en profilerende strømmåler i 40 m dyp. Måleren ble plassert så dypt for å unngå skipstrafikk. Den 18.4.2008 ble det utplassert en strømmåler i omtrent 10 m dyp ved Krokholmen. Fartøyet "Brulaks" fra Steinvik Fiskefarm og Fiskeridirektoratets "Munin" ble benyttet ved utplassering.

På grunn av at målerne måtte forankres med bunntau til land, var det ikke mulig å komme noe særlig lenger enn omtrent 300 meter fra strandlinja. I tillegg var det nødvendig å plassere målerne i områder hvor det ikke var for stor dybde og samtidig ikke for bratt. Dette gjorde det vanskelig å plassere målerne i posisjoner hvor strømforholdene ikke var påvirket av topografi som ikke var oppløst i modellen.

Tabell 6. Posisjonene hvor det ble foretatt strømmålinger.

Stasjon	Utplassert	Tatt opp	Breddegrad	Lengdegrad	Instrument
Storeflea	17.4.2008	26.5.2008	61° 37.524' N	4° 56.209' Ø	RCM11 s/n 624
Veøya	17.4.2008	26.5.2008	61° 33.804' N	5° 01.661' Ø	RCM11 s/n 624
Brugalten	17.4.2008	26.5.2008	61° 29.135' N	5° 11.948' Ø	RDCP600 s/n 86
Krokholmen	18.4.2008	21.5.2008	61° 18.597' N	5° 01.503' Ø	Seaguard s/n 15

3.3 Resultater av valideringen

Figur 12 viser kumulativ fordeling av strømstyrken. Verdien på den vertikaleaksen viser hvor stor andel av målingene som er mindre enn verdien på den horisontaleaksen. **Figur 13** viser prosentvis fordeling av målinger/beregninger i hver sektor på 10°. I begge figurene er strømmålinger fra omtrent 10 m dyp sammenlignet med resultater fra modellen.

Den nordligste målestasjonen var stasjon Storeflea i Hellefjorden (markert med en svart prikk med nummeret 1 i **Figur 2**, og med C1 i **Figur 13**). Beregnet median strømstyrken var her omtrent 160 % av målt median strømstyrke. Beregnet maksimal strømstyrken var omtrent 80 % av målt maksimal strømstyrke. Strømrretningen var her veldig spredt i både målinger og beregninger. De målte strømrretningene hadde to hovedretninger, en nordgående (330°-20°) og en sørgående (140°-220°). De beregnede strømrretningene var dreid omtrent 30° østover i forhold til dette. Den ene hovedretningen var 270°-330° og den andre 90°-180°.

Den nest nordligste målestasjonen var stasjon Veøya i Brufjorden (markert med en svart prikk med nummeret 2 i **Figur 2**, og med C2 i **Figur 13**). Beregnet median strømstyrken var her omtrent 220 % av målt median strømstyrke. Beregnet maksimal strømstyrken var omtrent 70 % av målt maksimal strømstyrke. Både de målte og beregnede strømrretningene hadde en svært dominerende hovedretning, 280°-330° for målingene og 310°-330° for beregningene. De beregnede strømrretningene var mer ensrettet og derfor er aksene for den prosentvise fordelingen for modelldataene i denne posisjonen (C3)

i **Figur 13** endret. Det er omtrent like stor andel av både målinger og beregninger som går sørøstover, men de beregnede retningene går mer sørover (140° - 170°) enn de målte (90° - 120°).

Den nest sørligste målestasjonen var stasjon Brugalten på terskelen mellom Brufjorden og Stavfjorden (markert med en svart prikk med nummeret 3 i **Figur 2**, og med C3 i **Figur 13**). Beregnet median strømstyrken var her omtrent 180 % av målt median strømstyrke. Beregnet maksimal strømstyrken var omtrent 75 % av målt maksimal strømstyrke. Beregnet strømretning i denne posisjonen er ganske forskjellig fra målt strømretning. Modellen viser at 90 % av beregningene finnes i intervallet 330° - 60° , mens bare 25 % av målingene finnes i det samme intervallet. Altså er det en sørgående komponent i målingene som ikke blir gjenskapt i modellen. Modellen har noe transport fra Brufjorden til Stavfjorden, men ikke i den posisjonen hvor det er foretatt strømmålinger.

Den sørligste målestasjonen var stasjon Krokholmen i Vilnesfjorden (markert med en svart prikk med nummeret 4 i **Figur 2**, og med C4 i **Figur 13**). Beregnet median strømstyrken var her omtrent 90 % av målt median strømstyrke. Beregnet maksimal strømstyrken var omtrent 35 % av målt maksimal strømstyrke. Både modell beregninger og målinger viser at det er mer strøm innover i fjorden enn utover i denne posisjonen. Hovedretningen innover var i målingene 60° - 110° og i beregningene 40° - 80° . Hovedretningen utover var i målingene 220° - 270° og i beregningene 220° - 250° .

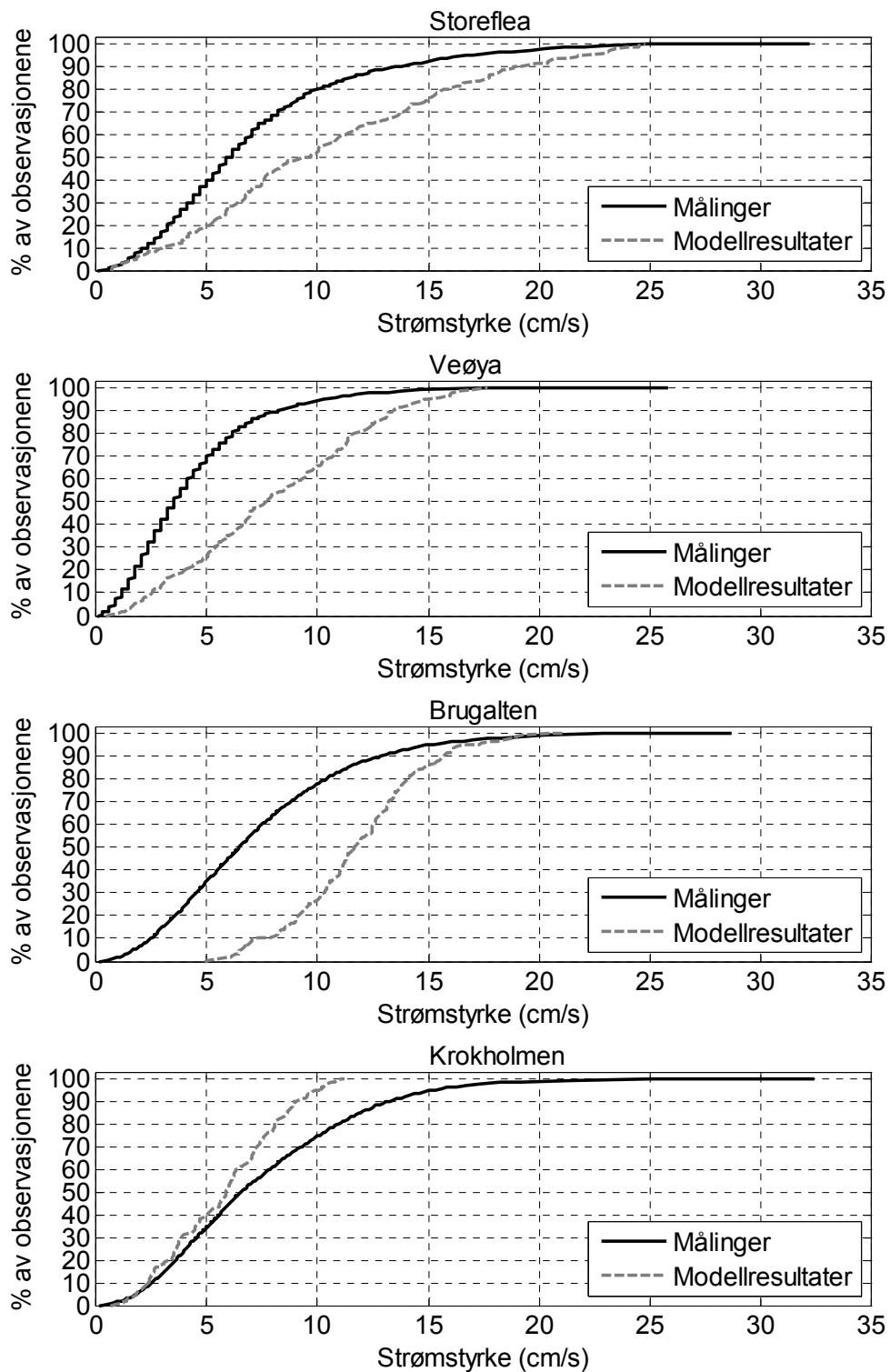
I 10 m dyp er den beregnet median strømstyrke større enn den målte strømstyrken på tre av de fire stasjonene. Ved Krokholmen er beregnet median strømstyrken noe lavere enn den målte strømstyrken. Dette betyr at modellen antageligvis gir et noe for høyt anslag på grad av vannlig kontakt mellom lokalitetene i den nordlige delen av modellområdet (nord for Stavfjorden). På den annen side så finner man i modellresultatene ikke igjen de maksimale strømstyrkene i målingene (99 persentilen). Dette kan tolkes som at den spredning som foregår i ekstreme situasjoner ikke er med i modellen.

Strømretningen stemmer svært godt på to av stasjonene, selv om beregnet strømretning er mer ensrettet. Ved målestasjonen i Hellefjorden (Storeflea) er strømretningen i modellberegningene vridd omtrent 30° mot klokka. Dette kan skyldes at topografien her har mange trekk som ikke er oppløst i modellen (kupert bunntopografi og små øyer og skjær). Beregnet strømretning over terskelen mellom Brufjorden og Stavfjorden stemmer ikke med målingene. På hver side av terskelen er det opp til 300 m dypt, mens over terskelen er det dyp på typisk 30 m. Modellen ser ikke ut til å gjenskape strømforholdene lokalt rundt denne terskelen. Lenger nord i Brufjorden stemmer derimot strømretningen mye bedre (ved Veøya).

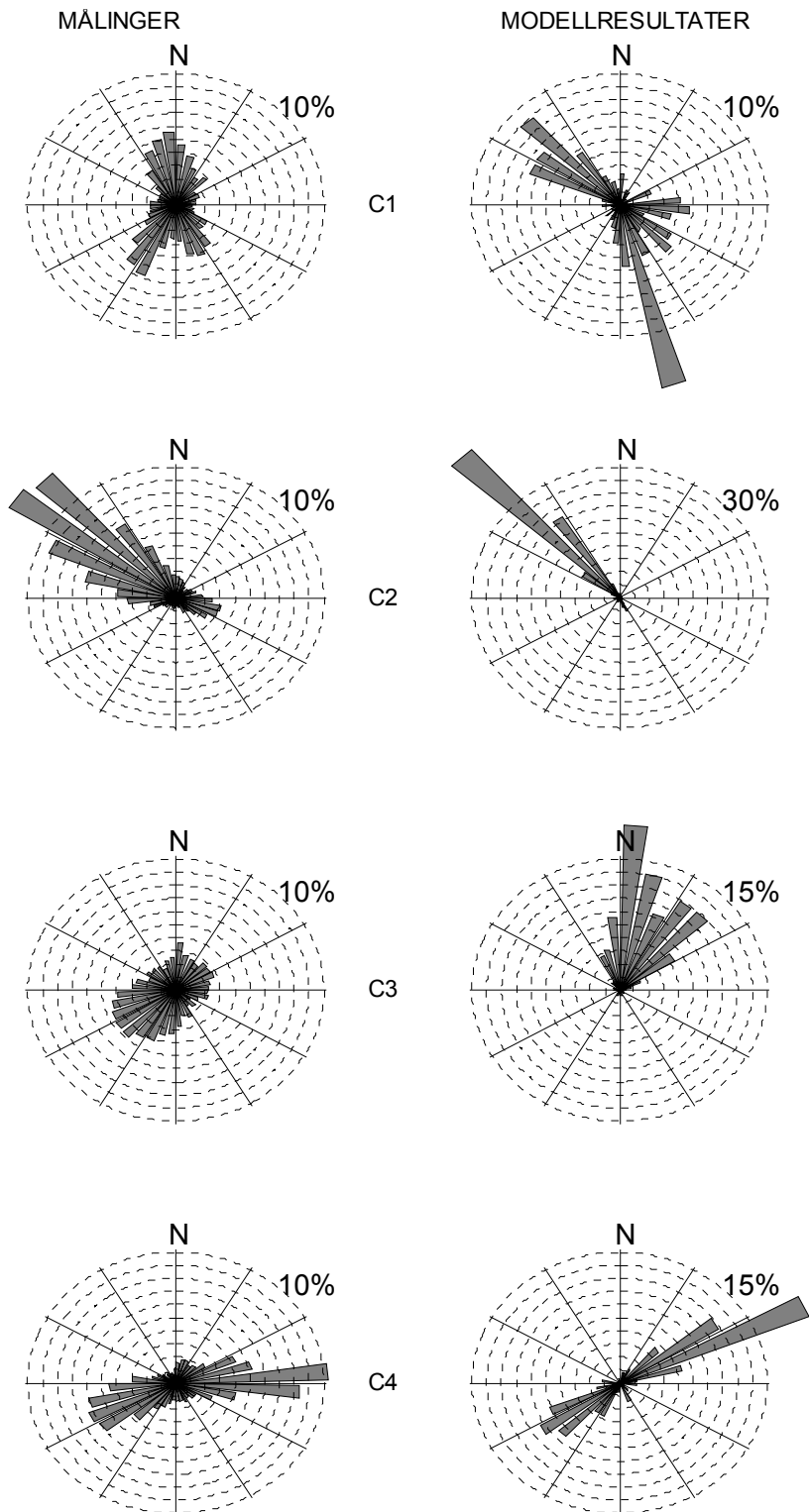
Tidligere har modellen blitt sammenlignet strømmålinger foretatt på forskjellige dyp ved 22 lokaliteter i modellområdet (Staalstrøm, 2009). **Tabell 7** er hentet fra denne rapporten og viser at modellen gjenskaper strømforholdene på en tilfredsstillende måte i mesteparten av målepunktene. Dette sammen med de fire strømmålingene som er foretatt i dette prosjekter viser at modellen stort sett gjenskaper strømbildet korrekt, men at i enkelte posisjoner hvor topografien har trekk som ikke er oppløst i modellen, stemmer det beregnede strømbildet mindre godt med målinger.

Tabell 7. Andel av antall målinger fra lokalitetsundersøkelser hvor modellen beskriver strømmålingene på en tilfredsstillende måte (Staalstrøm, 2009).

Dybdelag	Strømretning	Strømstyrke
0-5 m	14 av 15 målinger	8 av 15 målinger
5-20 m	14 av 17 målinger	14 av 17 målinger
>20 m	7 av 13 målinger	11 av 13 målinger



Figur 12. Sammenligning av målt og beregnet strømstyrke. Verdien på den vertikale aksene viser hvor stor andel av målingene som er mindre enn verdien på den horisontale aksene.



Figur 13. Sammenligning av målt (venstre kolonne) og beregnet strømretning (høyre kolonne). Figurene angir prosentvis fordeling i hver sektor på 10°. Stasjon C1 er Storeflea i Hellefjorden. Stasjon C2 er Veøya i Bruffjorden. Stasjon C3 er Brugalten på terskelen mellom Bruffjorden og Stavfjorden. Stasjon C4 er Krokholmen i Vilnesfjorden. Legg merke til at aksene har forskjellig skala.

4. Vannkontakt mellom oppdrettslokaliteter

4.1 Parameter for vannkontakt

Hvordan kan vannkontakten mellom to lokaliteter beskrives? Det er ikke gitt at vannkontakten er lik begge veier. Som eksempel på ett ytterpunkt kan det tenkes to lokaliteter i en elv. Vannkontakten fra lokaliteten oppstrøms til lokaliteten nedstrøms er svært stor, mens vannkontakten motsatt vei vil være fraværende. Som et eksempel på det andre ytterpunktet kan det tenkes to lokaliteter i en smal kanal hvor kun tidevannet får vannet til å gå fram og tilbake. Vannkontakten mellom disse to lokalitetene vil være omtrent like stor begge veier. På kysten vil tidevannstrømmene bli påvirket av topografien og ofte sette opp et komplisert strømmønster. Ofte går ikke strømmene bare fram og tilbake, men i rundt i virvler som flytter seg med tidevannssyklusen.

To faktorer er nærliggende å tenke på for å beskrive vannkontakt. Det ene er *hvor fort* vannet beveger seg fra en lokalitet til en annen. Det andre er *hvor mye* vann som beveger seg fra en lokalitet til en annen. For å kvantifisere disse to faktorene slippes det i havmodellen ut sporstoff fra hver lokalitet det skal beregnes vannkontakt *fra*. Konsentrasjonen av dette sporstoffet beregnes på hver lokalitet det skal beregnes vannkontakt *til*. Det viser seg at fortyningen av sporstoffet kommer opp i størrelsesordenen 1000-10000, og det er derfor beleilig å bruke enheten *ml/l* for konsentrasjon av sporstoffet. Konsentrasjonen varierer med tiden og kan tegnes opp som en tidsserie i hvilken som helst posisjon i modellområdet (se **Figur 14**). For et tidspunkt *t* må figuren leses som konsentrasjonen av vann ved en mottagende lokalitet B som har opprinnelse ved lokaliteten A.

Et mål på *hvor fort* vannet beveger seg fra lokalitet A til et tilfeldig valgt punkt B, kan være antall timer fra sporstoffet slippes ut til det når punkt B. Et mål på *hvor mye* vann som beveger seg fra lokalitet A til et tilfeldig valgt punkt B, vil være konsentrasjonen i dette punktet summert over tid. Det vil si arealet under konsentrasjonskurven. Disse verdiene kalles henholdsvis *T* og *A* og er illustrert i **Figur 14**.

Når *smittepress* mellom oppdrettslokaliteter skal modelleres er det vanlig at et avstandsmål inngår (se formel (8) i kapittel 5). Hvis avstanden er liten til et smittet anlegg så antar man som utgangspunkt at smittepresset er stort. Avstand i luftlinje eller sjøavstand er tidligere benyttet. En formel som skal beskrive vannkontakt bør formes slik at en parameter for vannkontakt kan betraktes som en ”strømvastand”. Her foreslås følgende formel for vannkontaktparameteren *P*

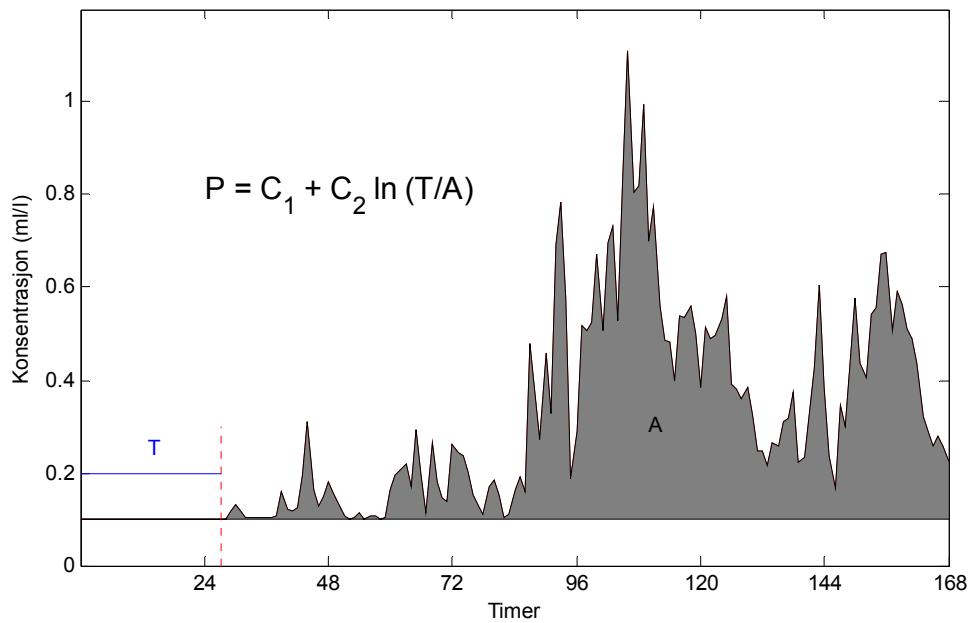
$$P = 38 + 10 \cdot \ln\left(\frac{T}{A}\right) \quad (7)$$

Formelen er skalert slik at parameteren får en verdi som ligger mellom 1 og 100. Negative tall vil vanligvis ikke forekomme, men siden logaritmen til et tall som er mindre enn 1 er negativt kan dette skje. Parameteren blir da satt lik 1. Dette skjer bare i områder svært nær utslippspunktet. Formel (7) kan gi verdier som er høyere enn 100 om arealet *A* blir tilstrekkelig lite og det er nødvendig å ha en maksimal verdi som parameteren får om $A \approx 0$. I slike tilfeller settes $P=100$. **Figur 15** viser hvordan parameteren *P* varierer med forskjellige verdier av *T* og *A*.

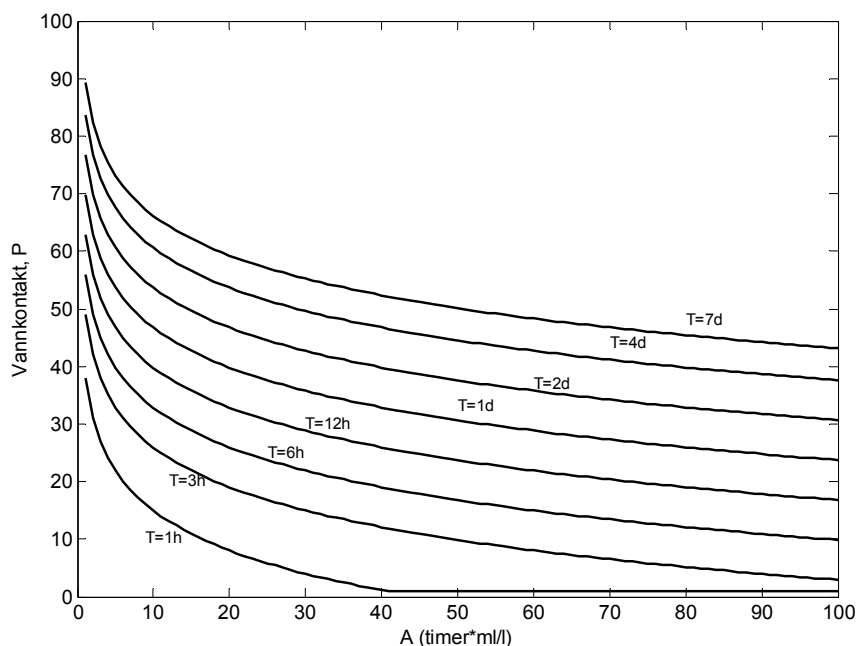
Graden av vannkontakt er delt inn i fem klasser, som går fra liten eller ingen vannkontakt (grønn) til svært stor vannkontakt (rød) (se **Tabell 8**). Klassene er her valgt ved skjønn. Det er mulig at klassifiseringen bør endres når man betrakter andre sykdommer enn PD.

Tabell 8. *Klasser av vannkontakt.*

Farge og P -verdi	Beskrivelse
80-100	Liten eller ingen vannkontakt
60-80	Noe vannkontakt
40-60	Moderat vannkontakt
20-40	Stor vannkontakt
1-20	Svært stor vannkontakt



Figur 14. *Konsentrasjon av vann fra en smittet lokalitet ved en frisk lokalitet. T er tiden fra vannet slippes ut til det når den mottagende lokaliteten. A er arealet under konsentrasjonskurven.*



Figur 15. Vannkontaktparameteren (P) som funksjon av A ved forskjellige verdier av T .

4.2 Vannkontaktnettverk

Parameteren for vannkontakt kan beregnes for et utvalg av lokaliteter og ordnes i en tabell hvor man kan lese av ”strømvstanden” mellom lokalitetene. Denne tabellen kalles her for et *vannkontaktnettverk*. I en tradisjonell avstandstabell vil avstanden fra lokalitet A til lokalitet B være lik avstanden fra B til A. En slik tabell vil være symmetrisk og det er strengt tatt ikke nødvendig å ta med begge halvpartene av verdiene. Vannkontaktnettverket vil imidlertid ikke være symmetrisk.

Tabell 9 viser de lokalitetene som er med i vannkontaktnettverket i Sunnfjord. Det er beregnet spredning fra lokalitet nummer 1 til 32. Disse lokalitetene er også tegnet inn i **Figur 2**. I **Tabell 10** er vannkontakten beregnet. Tabellen har 32 lokaliteter det spres sporstoff fra (første rad) og 36 mottagende lokaliteter (første kolonne).

Det er spesielt to egenskaper til det beregnede vannkontaktnettverket som det er verdt å merke seg når man skal vurdere risiko for lokal sykdomsspredning:

- For det første er tabellen ikke symmetrisk. For eksempel så har vannkontaktparameteren fra Kviteskjeret til Marøytåa verdien 48, som er her er klassifisert til moderat vannkontakt. Fra Marøytåa til Kviteskjeret er verdien 100, som betyr liten eller ingen vannkontakt.
- For det andre sprer noen lokaliteter mer enn de mottar, mens for andre lokaliteter er det omvendt. For eksempel så sprer Kviteskjeret vann til 11 av 32 lokaliteter (P mindre enn 80), mens den bare mottar vann fra 3 lokaliteter. Oppdrettslokaliteter som bidrar med vann til mange andre lokaliteter kan da spille en nøkkelrolle i lokal sykdomsspredning.

Vi har i dette arbeidet antatt at tidevannstrømmen utgjør den mest dominerende delen av strømbildet, og at mønsteret i vannkontaktnettverket derfor er rimelig konstant over tid. For å teste denne antagelsen har det blitt beregnet tre versjoner av vannkontaktnettverket. Først ble det lagt inn en konstant vind fra nordvest med styrke 5 m/s. For å undersøke hvor mye spredningen var påvirket av tidspunktet utslippet skjedde på, ble det lagt inn samme vindforhold, men utslipp av sporstoff ble forsinket 6 timer. For å se på effekten av endrede vindforhold ble det deretter lagt inn en konstant vind fra sørvest med styrke 5 m/s. Den beregningen som ga lavest verdi for vannkontakt parameteren ble benyttet. For å si noe om

usikkerheten i vannkontaktnettverket har størst forskjell i P -verdi mellom de tre scenariene blitt beregnet i **Tabell 11**. Forskjellen er over 20 i 10 av rutene i tabellen. Ved spredning fra Sveholmane til Klavelandet er forskjellen 27. P -verdien er her henholdsvis 56, 75 og 83. Ved spredning fra Vågsøya til Kvalvik er forskjellen 21. P -verdien er her henholdsvis 70, 84 og 90. Ved spredning fra Storevik til Skorva er forskjellen 28. P -verdien er her henholdsvis 5, 19 og 33. Mest usikkerhet er det ved spredning fra Veidesundet. Her er forskjellen i P -verdi over 20 i 7 tilfeller. Vannkontakten ligger i alle disse tilfellene i klassene "noe vannkontakt" eller "moderat vannkontakt".

Detaljer om betydningen av disse tre scenarioene for de enkelte lokalitetene er tatt med i Vedlegg 2. Generelt sett kan man si at endrede vindforhold har lite å si når vindstyrken er mindre enn 5 m/s.

Tabell 9. Tabell over lokaliteter som er med i vannkontaktnettverket. Koordinaten til lokaliteten i modellrutenettet er angitt. Hver lokalitet er tegnet inn i **Figur 2** med nummer. Det er beregnet spredning fra lokalitet 1 til 32.

Nr.	x	Y	Lokalitet
1	99	350	Træsneset
2	104	322	Vaulen
3	127	316	Kvalvik
4	81	307	Langeråa
5	63	290	Teisthalsen
6	55	263	Flåtegrunnen
7	69	260	Hestøyfora
8	81	265	Litle Hestøy
9	137	290	Årebrot
10	151	290	Pusarvika
11	137	271	Hesteneset
12	195	263	Klavelandet
13	226	229	Steinvik
14	196	227	Sveholmane
15	172	251	Ålvora
16	143	245	Veidesundet
17	107	229	Oddane
18	121	189	Vågsøya
19	157	194	Marøytåa
20	174	180	Austneståa
21	244	161	Dyvika
22	228	158	Skorva
23	211	165	Storevik
24	189	161	Kvitskjer
25	137	120	Hella
26	107	99	Trellevika
27	199	75	Hegnes
28	166	64	Bakkebø
29	150	54	Kyravika
30	128	43	Svingøy
31	116	50	Furevika
32	16	68	Aldeøyane
33	158	275	Havlandet
34	148	194	Slettevika
35	209	243	Seljeseth
36	203	230	Øyasundet

Tabell 10. Vannkontaktnettverk. Navnene i første **rad** er lokaliteter hvor det er beregnet spredning av sporstoff fra. Disse lokalitetene betegnes som "spredende" lokaliteter. Navnene i første **kolonne** er lokaliteter hvor konsentrasjon av sporstoff er beregnet. Disse lokalitetene betegnes "mottagende" lokaliteter. Fargeskalaen angir graden av vannkontakt beregnet som minste verdi av de tre scenariene som er kjørt. Grønn betyr liten eller ingen vannkontakt (80-100), lysegrønn betyr noe vannkontakt (60-80), gul betyr moderat vannkontakt (40-60), oransje betyr stor vannkontakt (20-40) og rødt betyr svært stor vannkontakt (1-20).

	Træsneset	Vaulen	Kvalvik	Langeråa	Teisthalsen	Flåtegrunnen	Hestøyfora	Hestøya	Årebrot	Pusarvika	Hesteneset	Klavelandet	Steinvik	Sveholmene	Ålvora	Veidesundet	Oddane	Vågsøya	Marøyåa	Austeneståa	Dyvika	Skorva	Storevik	Kvitiskjeret	Hella	Trellevika	Hegnes	Bakkebø	Kyravika	Svinøy	Furevika	Aldeøyane		
Træsneset	0	19	44	68	100	100	100	93	73	100	73	100	100	100	100	65	75	91	92	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Vaulen	48	0	42	58	86	100	100	74	61	84	57	100	100	100	100	50	59	73	74	74	100	100	92	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Kvalvik	98	70	0	79	100	100	100	81	35	61	45	100	100	100	100	41	66	70	68	69	96	92	83	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Langeråa	54	46	64	0	51	63	73	67	76	95	72	100	100	100	100	61	64	86	81	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Teisthalsen	100	94	100	75	0	22	40	34	100	100	100	100	100	100	100	75	59	84	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Flåtegrunnen	100	100	100	99	100	0	1	15	93	100	81	100	100	100	100	53	34	61	59	65	96	91	85	83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hestøyfora	100	100	100	100	100	55	0	23	91	100	80	100	100	100	100	54	27	61	58	63	88	87	81	79	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hestøya	100	94	99	95	100	90	82	0	86	100	73	100	100	100	100	49	26	50	50	57	77	76	71	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Årebrot	100	100	100	98	100	100	100	100	0	2	38	100	100	100	100	40	69	80	72	69	92	93	81	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Pusarvika	100	100	100	100	100	100	100	100	18	0	42	100	100	100	100	43	69	100	84	77	100	100	88	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Hesteneset	100	100	100	99	100	100	100	100	32	53	0	100	100	100	94	41	80	74	66	61	80	80	69	77	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Klavelandet	100	100	100	86	100	100	100	100	100	100	100	0	82	56	29	48	100	100	100	90	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Steinvik	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Sveholmene	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	57	0	82	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Ålvora	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	44	100	90	0	30	100	100	77	62	100	97	82	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Veidesundet	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	59	0	100	85	55	51	57	59	49	55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oddane	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	32	30	43	64	61	59	56	100	97	100	100	100	100	100	100	100	
Vågsøya	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	0	57	77	95	83	94	87	100	63	100	100	87	100	88	94		
Marøyåa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	54	0	34	61	55	58	48	100	82	100	100	100	100	100	100	100	
Austeneståa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	34	0	56	45	50	37	100	64	100	100	100	100	100	100	100	
Dyvika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	0	53	35	64	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Skorva	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	23	0	5	45	100	97	100	100	100	100	100	100	100	
Storevik	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	6	1	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Kvitiskjeret	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	41	31	20	0	100	82	100	100	100	100	100	100	100	
Hella	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	59	66	66	57	78	58	100		
Trellevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	40	40	31	54	35	100		
Hegnes	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	42	53	92	66	100		
Bakkebø	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	26	0	34	72	52	100		
Kyravika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	24	13	0	51	34	100		
Svinøy V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	55	50	32	0	38	100		
Furevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	36	33	18	1	0	100		
Aldeøyane	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	73	72	60	65	54	0		
Havlandet	100	100	100	100	100	100	100	100	24	27	15	100	100	100	100	56	100	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Slettevika	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	40	23	53	75	72	74	69	99	100	100	100	100	100	100	100	
Seljeseth	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	14	59	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Øyasundet	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	33	21	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Tabell 11. Anslag på usikkerheten i beregning av vannkontakt. Usikkerheten er beregnet ved å bruke største avvik i vannkontakt i tre scenarier. Grønn betyr "entydig resultat" (mindre enn 10 i differanse). Gul betyr "noe usikkerhet" (mindre enn 20 i differanse). Rød betyr "tvetydig resultat" (mer enn 20 i differanse).

	Træsneset	Vaulen	Kvalvik	Langeråa	Teisthalsen	Hestøyfora	Flåtegrunnen	Hestøya	Årebrot	Pusarvika	Hesteneset	Klavelandet	Steinvik	Sveholmene	Ålvora	Veidesundet	Oddane	Vågsøya	Marøyåa	Austeneståa	Dyvika	Skorva	Storevik	Kvitiskjeret	Hella	Trellevika	Hegnes	Bakkebø	Kyravika	Svinøy	Furevika	Aldeøyane			
Træsneset	0	17	2	2	0	0	0	7	4	0	3	0	0	0	0	23	6	9	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Vaulen	2	0	2	3	6	0	0	6	3	16	0	0	0	0	0	18	1	15	12	5	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
Kvalvik	2	4	0	1	0	0	0	19	3	12	1	0	0	0	0	18	1	21	11	2	4	8	2	14	0	0	0	0	0	0	0	0			
Langeråa	1	3	3	0	8	7	10	7	4	5	0	0	0	0	0	17	1	14	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Teisthalsen	0	4	0	1	0	10	5	5	0	0	0	0	0	0	0	25	6	16	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hestøyfora	0	0	0	1	0	0	10	6	1	0	0	0	0	0	0	24	5	7	12	2	4	8	2	14	0	0	0	0	0	0	0	0			
Flåtegrunnen	0	0	0	0	0	8	0	8	2	0	2	0	0	0	0	21	10	4	11	2	6	3	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hestøya	0	4	1	4	0	9	5	0	2	0	2	0	0	0	0	17	5	8	10	0	10	7	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0			
Årebrot	0	0	0	1	0	0	0	0	0	17	1	0	0	0	0	24	3	14	9	4	8	8	4	14	0	0	0	0	0	0	0	0			
Pusarvika	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	28	6	0	6	5	0	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hesteneset	0	0	0	1	0	0	0	0	6	8	0	0	0	0	4	15	8	13	5	2	13	11	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0			
Klavelandet	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	6	27	8	16	0	0	0	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Steinvik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Sveholmene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Ålvora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	10	0	16	0	0	19	1	0	3	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Veidesundet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7	6	3	7	8	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Oddane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	2	9	10	5	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0		
Vågsøya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	10	10	5	12	3	7	0	5	0	0	0	7	0	1	1			
Marøyåa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	14	7	9	3	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Austeneståa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0	6	11	4	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Dyvika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Skorva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	14	0	28	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0		
Storevik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Kvitiskjeret	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	13	7	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0		
Hella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	4	4	8	4	0	0	0		
Trellevika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	5	0	0	0		
Hegnes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	5	3	0	0		
Bakkebø	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	5	2	0	0	0		
Kyravika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	5	1	0	0		
Svinøy V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	10	0	5	0	0	0		
Furevika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0	0	0	0	0		
Aldeøyane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	4	3	3	0	0	0		
Havlandet	0	0	0	0	0	0	0	5	7	3	0	0	0	0	0	32	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Slettevika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	15	18	9	9	4	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sejseth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Øyasundet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. Beskrivelse av smitte modellen for PD

5.1 Generell bakgrunn

Pancreas disease (PD) er en alvorlig sykdom forårsaket av viruset salmonid alphavirus (SAV), som i Norge angriper både laks og regnbueørret ved oppdrett i sjø. Dødelighet, nedsatt tilvekst og dårlig slaktekvalitet gir store økonomiske tap ved sykdomsutbrudd. Både utbredelse og antall PD-utbrudd har økt markant i Norge i de siste årene.

Studier som fokuserer på faktorer assosiert med risiko for å få PD i oppdrettsanlegg har funnet at den viktigste faktoren er smittestatusen til oppdrettsanlegg i området, noe som indikerer horisontal spredning av SAV mellom nabolokaliteter (Aldrin *et al.* 2009, Kristoffersen *et al.* 2009). Fylogeni-studier av SAV fra cluster med PD-utbrudd i Skottland og Irland støtter også hypotesen om lokal spredning fra oppdrettslokalitet til lokalitet (Fringuelli *et al.* 2008). I tillegg viser eksperimentelle studier av SAV-overlevelse i sjøvann at passiv spredning i vannmassene mellom fiskeoppdrettsanlegg er teoretisk mulig (Graham *et al.* 2007).

Vi ønsket å teste om hydrodynamisk modellering bidrar til å forklare spredning av PD. Hvis dette forklarer spredningen av PD bedre enn rene sjøavstander eller luftavstander er det sannsynlig at SAV spres mellom oppdrettsanlegg ved passiv drift i vannstrømmene. (Men utelukker ikke også andre spredningsmekanismer av SAV.) En tabell over vannkontaktnettverk vil dermed kunne brukes som verktøy for å vurdere smitterisikoen av PD til andre lokaliteter i området.

Dataene tilgjengelig for å studere spredningen av PD består av tid (måned) og lokalitet for utbruddspåvisning. Tiden det tar fra et anlegg blir infisert til sykdom blir påvist, er ikke kjent. Det er heller ikke godt dokumentert hvordan mengden av SAV varierer over tid i et infisert anlegg. Den grove tidskalaen (måneder) vi opererer med for sykdomsdynamikken står i sterk kontrast til tidsskalaen for havstrømsmodelleringen der prosessene påvirkes av tidevann, vind og ferskvannstilførsel, etc. med tidsskala timer-dager. Grove antagelser og forenklinger av prosessene som er involvert blir helt nødvendig for å kunne koble hydrodynamisk modellering sammen med en sykdomsmodell.

5.2 Smittepress

Vi antar at fiskeutsett med PD-utbrudd er smittsomme og bidrar med smittepress til omgivelsene. Vi definerer den smittsomme perioden til å starte 2 måneder før klinisk diagnose av PD og til å vare helt til fiskeutsettet avsluttes/slaktes ut. Det er sannsynlig at utskillelse av smittestoff starter en god stund før PD oppdages i et anlegg. Det er påvist SAV på en PD-lokalitet i lang tid etter første påvisning (≥ 265 dager etter første påvisning i to irske oppdrettsanlegg; Graham *et al.* 2009).

Et fiskeutsett på et gitt oppdrettsanlegg i er antatt å bli eksponert for SAV-smitte fra lokaliteter i nabolaget der det står infisert fisk. Hvor mye smitte som anlegg i utsettes for fra en PD-lokalitet j er avhengig av avstanden mellom lokalitetene, og jo kortere avstand jo mer eksponert vil den være. Eksponeringen fra en gitt PD-lokalitet j til et anlegg i er derfor invers relatert til avstanden mellom lokalitetene, eller til relativ vannkontakt (WC_{ij}) mellom dem. Eksponering fra PD-lokalitet j til en lokalitet i leses direkte ut av vannkontaktmatrisen (**Tabell 9**) gitt i kapittel 4.2. Eksponering fra PD-lokalitet j kan også være avhengig av antall fisk eller biomasse på lokaliteten. Det er naturlig å anta at mengden smitte som spres ut fra en lokalitet med syk fisk også vil være avhengig av størrelsen på anlegget: jo flere fisk eller jo større biomasse, jo mer smittestoff vil produseres på sykdomslokaliteten.

Summen av SAV-eksponering fra PD-utbruddslokaliteter til en gitt lokalitet ved en gitt tid er kalt smittepress (ip , infection pressure), og ble regnet ut for hver måned ved ligning (8):

$$ip_i(t) = \sum_{j \in N_{PD}(t)} \frac{x_j(t)}{f(d_{ij})} \quad (8)$$

der i er lokaliteten som smittepress (ip_i) regnes ut for hver måned t ; $N_{PD}(t)$ er alle lokaliteter med PD-syk fisk i måned t ; $x_j(t)$ er definert som enten 1, maksimum antall fisk på PD-lokalitet j i måned t , eller maksimum biomasse på PD-lokalitet j i måned t ; d_{ij} er enten avstanden eller relativ vannkontakt mellom lokalitet i og j ; og $f(d_{ij})$ er definert til å være enten lineær, d_{ij} , eller kvadratisk, d_{ij}^2 .

For å kunne jobbe med et enkelt mål som oppsummerer månedlig smittepress for et fiskeutsett, regnet vi ut gjennomsnitt over måneder med ip 's. For PD-lokaliteter regnet vi ut gjennomsnitt av ip 's fram til måneden før påvisning av PD, mens for lokaliteter uten PD-påvisning, regnet vi ut gjennomsnitt over månedlige ip 's fram til måneden før slakt. Den akkumulerte smittepress-parameteren kalte vi IP (mean monthly infection pressure).

5.3 Fiskeutsettdata

I Norge må oppdrettere av laksefisk rapportere inn produksjons-statistikk til ansvarlige myndigheter hver måned (havbruksdata). Denne statistikken er for hvert fiskeutsett knyttet opp mot en geo-referert lokalitetsidentitet i Havbruksregisteret til Fiskeridirektoratet (www.fiskeridir.no).

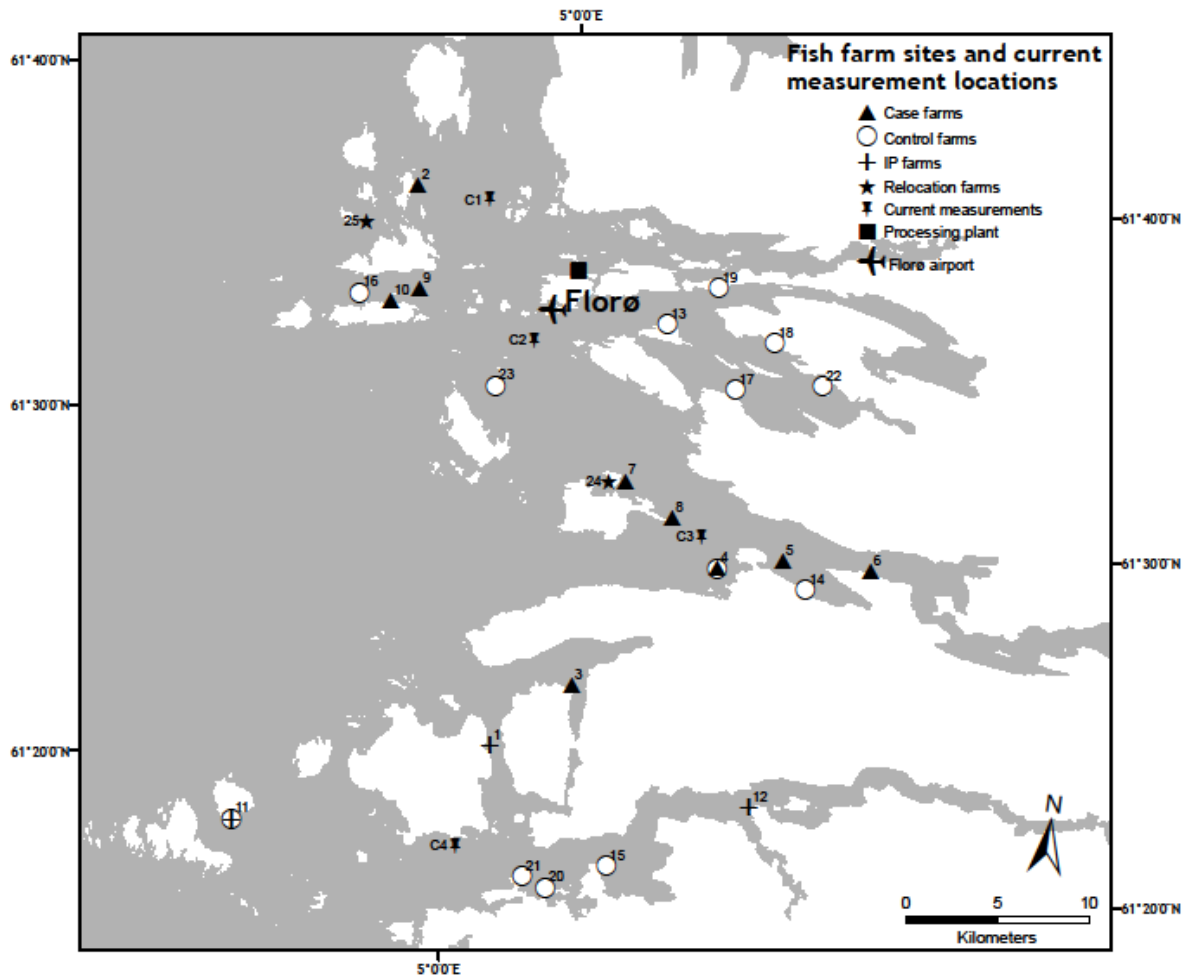
Fra havbruksdataene identifiserte vi totalt 32 fiskeutsett av laks og ørret som ble initiert og slaktet ut i perioden fra januar 2005 til juli 2008 i prosjektområdet (**Tabell 12** og **Figur 16**). Selv om to av PD-lokalitetene ikke var slaktet ut juli 2008, ble disse inkludert på grunn av bidrag til smittepress i omgivelsene.

For hvert utsett ble biomasse og antall fisk for hver måned i vekstperioden i sjø hentet ut fra havbruksdata og bearbeidet som beskrevet i Kristoffersen *et al.* (2009). Ni av fiskeutsettene ble flyttet fra en lokalitet til en annen under vekstperioden i sjø. All flyttingen skjedde mellom lokaliteter som var i relativ nærhet (**Tabell 12** og **Figur 16**). For utsett som ble flyttet, regnet vi eksponering for smittepress for alle måneder i sjø på den spesifikke lokaliteten som fiskeutsettet til enhver tid befant seg på.

Sykdomshistorien på PD i Sunnfjord ble tatt fra Kristoffersen *et al.* (2009) og sjekket opp med det lokale Mattilsynet ved Helene Øgård og Torbjørn Lysne (Distriktskontoret for Sunnfjord og Ytre Sogn). En detaljert oversikt over laksefiskdataene og PD-sykdomsdataene ble også sjekket opp med ansvarlig oppdretter for hver lokalitet. Sjøavstander mellom oppdrettsanleggene er tatt fra Kristoffersen *et al.* (2009), og luftavstander ble regnet ut fra lokalitetskoordinatene.

Utsett der det ble påvist PD ble satt til å være *caser*, mens utsett der det ikke var påvist PD ble satt til *kontroller*. Det var totalt 10 PD-caser og 19 kontroller. Det første PD-tilfelle i området ble ekskludert fra casene, da dette fiskeutsettet (ved definisjon) ikke kunne ha blitt eksponert for lokalt smittepress. Vi har antatt at fiskeutsettene kan antas som uavhengige selv om noen utsett kommer tett etter hverandre på samme lokalitet. Det er alltid en brakkleggingsperiode (minst en måned) mellom etterfølgende utsett på samme lokalitet (**Tabell 12**).

I løpet av perioden 2005 til juli 2008 ble det funnet PD i 13 lakseutsett i Sunnfjord. Tidspunktet for påvisningen av PD varierte mellom 4-16 måneder etter utsett på lokalitetene (**Tabell 12**). Ved å utelukke den første PD-casen i området, så vel som utsett som ikke var utslaktet før august 2008, gjestod det 10 PD-utsett (caser) og 19 utsett der PD ikke ble funnet (kontroller). Tre av fiskeutsettene med PD så vel som fem av kontrollutsettene ble flyttet til en ny lokalitet under vekstperioden i sjø (**Tabell 12**).



Figur 16. Kart over studieområdet. Geografisk plassering av oppdrettsanlegg med case eller kontrollutsett, og lokaliteter som ellers har bidratt med smittepress (IP farms), oppdrettslokaliteter som har hatt fisk stående før flytting (relocation farms), strømmålingslokaliteter og slakteri er merket med symboler (se figurtekst). Oppdrettslokalitetene (for laksefisk) er nummerert i samsvar med **Tabell 12**.

Tabell 12. Oversikt over fiskeutsett i Sunnfjorden med hensyn på PD-status (år og måned for påvisning), lokalitet (se **Figur 16**), start (år og måned som fisken settes ut) og slutt-tidspunkt (år og måned fisken slaktes/flyttes) for utsett på lokaliteten, art (L - atlantisk laks eller Ø - regnbueørret), gjennomsnittvekt på start og slutt-måned, maksimum antall (i 1000) fisk (maxAnt) og gjennomsnitt infeksjonspress (skalert til å ha varians lik 1) basert på vannkontakt (IP), kvadratisk sjøavstand (IPsjø) og luftavstand (IPluft). En "IPlok" er et utsett som ikke inkluderes som case eller kontroll, men som bidrar med smittepress. Kolonnen "Flytting" viser om utsettet er flyttet fra en annen lokalitet og antall måneder på denne tidligere lokaliteten er gitt i parentes.

Lok	Utsett	PD	Flytting	Start aar & mnd	Slutt aar & mnd	Art	Start vekt (kg)	Slutt vekt (kg)	maxA (1000)	IP ^b	IPsjø ^b	IPluft
S1	IPlok1	200508		200405	200607	L	0.1	6.1	492			
S3	case1	200509		200505	200612	L	0.1	5.2	504	0.736	0.318	0.125
S2	case2	200509	S25 (6)	200504	200607	L	0.8	3.8	519	0.000	0.018	0.021
S4	case3	200511	S17 (7)	200506	200605	L	1.1	3.6	464	0.702	0.076	0.139
S5	case4	200601		200410	200607	L	0.1	3.8	397	0.353	0.277	0.236
S6	case5	200603		200512	200611	L,Ø	0.2	3.8	221	3.883	2.326	1.338
S7	case6	200603		200511	200610	L	0.1	4.2	304	3.096	0.994	0.745
S8	case7	200603		200510	200705	L	0.1	4.4	360	2.203	0.836	3.701
S3	case8	200703		200610	200806	L,Ø	0.1	5.2	643	0.561	0.052	0.126
S9	case9	200706	S10 (10)	200607	200706	L	0.7	4.0	550	1.266	0.973	0.328
S10	case10	200707	to S9 ^a	200609	200707 ^a	L	0.1	0.7	914	2.361	1.678	0.439
S11	IPlok2	200708		200704		L						
S12	IPlok3	200804		200709		L						
S13	kont1	N		200405	200512	Ø	0.1	5.3	557	0.143	0.043	0.053
S14	kont2	N		200405	200511	L	0.1	5.0	202	0.317	0.070	0.195
S15	kont3	N		200410	200604	L	0.1	3.2	628	0.000	0.106	0.135
S20	kont4	N		200410	200603	L	0.1	5.0	319	0.000	0.131	0.103
S11	kont5	N		200504	200612	L	0.1	5.5	328	0.000	0.082	0.204
S16	kont6	N	S10 (9)	200506	200605	L	0.7	5.2	463	1.043	0.357	0.270
S17	kont7	N		200509	200704	L	0.1	4.6	593	0.000	0.389	0.349
S21	kont8	N		200510	200704	L	0.1	5.8	290	0.000	0.071	0.339
S18	kont9	N		200509	200702	Ø	0.1	5.1	194	0.000	0.254	0.316
S13	kont10	N	S22 (7)	200603	200611	Ø	1.1	3.5	547	0.388	0.260	0.307
S19	kont11	N		200605	200707	L	0.2	4.2	612	0.320	0.213	0.360
S15	kont12	N	S12 (9)	200607	200705	L	1.1	6.1	785	0.000	0.065	0.438
S4	kont13	N		200608	200802	Ø	0.2	5.9	955	0.357	0.428	0.608
S20	kont14	N		200610	200802	L	0.1	5.1	371	0.000	0.117	0.454
S22	kont15	N		200610	200805	L	0.1	5.7	275	0.000	0.164	0.205
S14	kont16	N		200611	200804	L	0.2	6.1	328	0.475	0.362	0.399
S23	kont17	N	S24 (5)	200705	200803	Ø	0.5	3.9	239	1.067	4.986	1.673
S15	kont18	N	S12 (10)	200707	200805	L	1.3	5.5	874	0.143	0.125	0.645
S13	kont19	N		200704	200807	L	0.1	4.7	721	0.115	0.250	4.300

^a PD-fisk ble flyttet til nabolokaliteten S9 der den sto 11 måneder i sjø.

^b Har rapportert varianten av IP med lavest AIC verdi (se Tabell 13): IP basert på vannkontakt inkluderer biomasse på PD-lokaliteter og IPsjø basert på kvadratisk sjøavstand (sjøavstand²) inkluderer antall fisk på PD-lokaliteter.

5.4 Statistisk analyse

For å se på sammenhengen mellom sannsynligheten for et PD-utbrudd og smittepress (IP), brukte vi en logistisk regresjonsmodell:

$$\begin{aligned} c_i &= \text{Bin}(1, p_i) \\ \text{logit}(p_i) &= \alpha + \beta IP \end{aligned} \quad (9)$$

hvor p_i er sannsynligheten for å påvise et PD-utbrudd i c_i , fiskeutsett i ; α er intercept; og β er regresjonsparameter for IP . En positiv og signifikant β , vil da indikere at sannsynligheten for et PD-utbrudd er større jo sterkere smittepress et fiskeutsett er utsatt for.

Den logistiske modellen ble tilpassa dataene med forskjellige varianter av IP . For IP basert på vannkontakt var det en signifikant økning i sannsynligheten for at et utsett endte med et registrert PD-utbrudd jo høyere IP ($p=0.02$, **Tabell 13**, **Figur 17**).

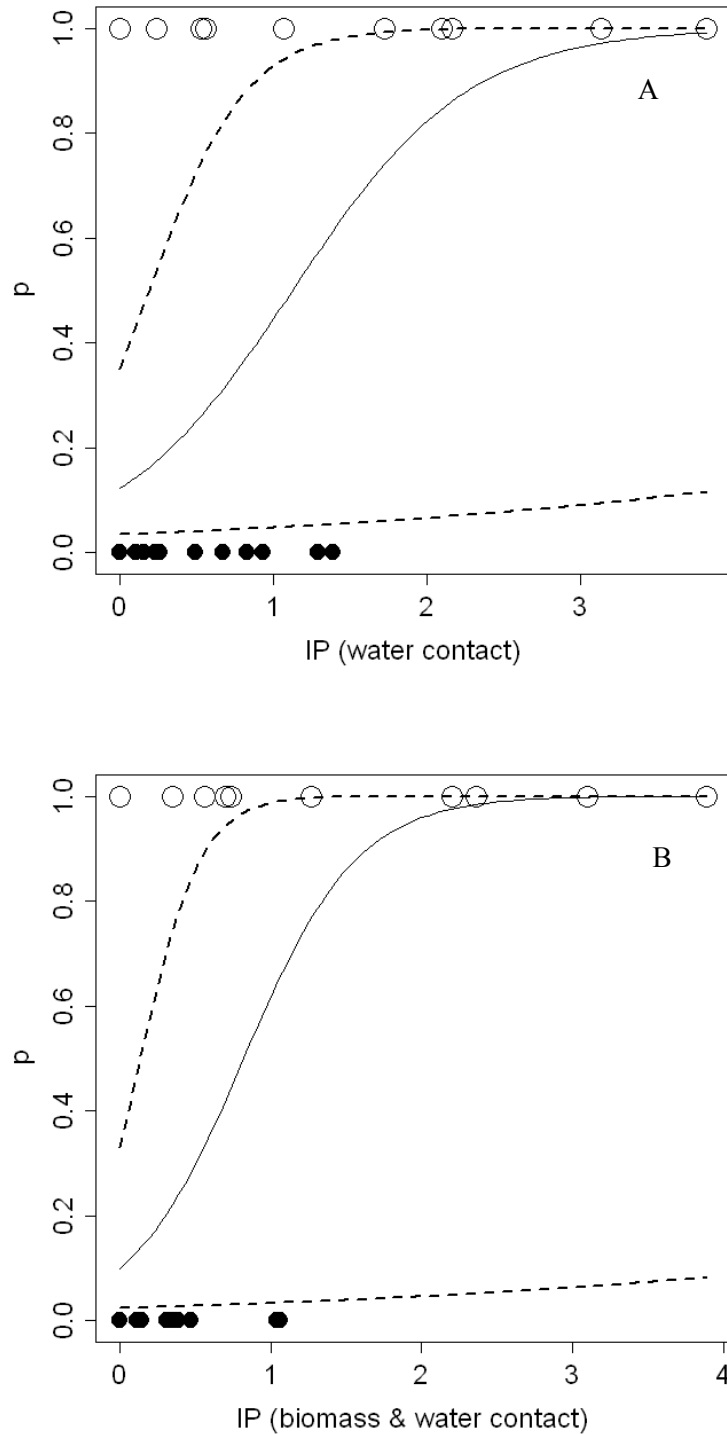
Bare en av ti PD-caser hadde ikke vært eksponert for smittepress basert på vannkontakt, mens det tilsvarende tallet for kontroller var 9 av 19 (**Figur 17** og **Tabell 12**). De to casene (case5 og case6) på nabolokalitetene S6 og S7 var utsatt for høyest gjennomsnitt smittepress av alle utsett i analysen (**Tabell 12**). Utsettet med regnbueørret som ble flyttet etter 5 måneder i sjø (fra S24 til S23) var også utsatt for høyt smittepress, uten at PD av den grunn ble funnet på fisken.

For IP -variantene basert på luftavstand eller sjøavstand, var det ingen lineær sammenheng mellom logit av sannsynligheten for et PD-utbrudd og smittepress. En generell additiv modell (GAM) som tillater et ulineært forhold, forbedret tilpasningen til dataene. Dette (ved bruk av max 2 frihetsgrader for spline-funksjonen) gav et signifikant positivt (ulineært) forhold mellom logit av sannsynligheten for at et fiskeutsett ender opp med et registrert PD-utbrudd og IP basert på antall fisk på PD-lokaliteter og kvadratisk sjøavstand ($p=0.05$, **Tabell 13**).

Modellene ble rangert etter AIC-verdi (Akaike's informasjonskriterie; **Tabell 13**). AIC ble brukt til å sammenligne hvor godt de forskjellige modellene (med varianter av IP) forklarte dataene. Den beste modellen har lavest AIC-verdi og en forskjell på 2 regnes som signifikant. Modellene som predikerte PD-caser og kontroller best, var modellvariantene der IP var basert på vannkontakt. Blant disse var det versjonen som også inkluderte biomasse på PD-utsett som viste størst mengde av devians forklart (37 %) og lavest AIC. De ikke-lineære modellene der smittepress var basert på kvadratisk sjøavstand gjorde det bedre enn ren sjøavstand og luftavstand, men gjorde det dårligere enn modellene basert på vannkontakt (**Tabell 13**).

Tabell 13. *P-verdier for smittepress (IP), prosent devianse forklart (Dev Exp (%)) og AIC-verdier for modellvariantene av IP. Der en ikke-lineær modell (max 2 frihetsgrader for splinen i en GAM) ga en bedre tilpasning enn en lineær logistisk regresjonsmodell, ble dette rapportert (EDF>1). EDF står for estimert "effective degrees of freedom" for spline-funksjonen (# = maks antall fisk, bio = maks biomasse i PD-utsett og avstand² = kvadratisk avstand).*

<i>IP</i>	<i>p</i>	AIC	Dev Exp (%)	EDF
Vannkontakt	0.01	30.5	29.0	1
Sjøavstand	0.33	40.3	4.5	1.3
Sjøavstand ²	0.08	37.0	16.1	1.8
Luftavstand	0.75	41.2	0.3	1
Luftavstand ²	0.89	41.3	0.1	1
# & vannkontakt	0.02	29.6	31.4	1
Bio & vannkontakt	0.02	27.4	37.3	1
# & sjøavstand ²	0.05	33.8	25.0	1.9
Bio & sjøavstand ²	0.08	34.0	24.2	1.9



Figur 17. Estimert sannsynlighet (linje \pm 95% CI angitt med stiplede linjer) for et PD-utbrudd i et fiskeutsett som en funksjon av gjennomsnittlig smittepress (IP) basert på vannkontakt (A), og vannkontakt og biomasse (B). Smittepress er vist som IP til caser (○) og kontroller (●).

5.5 Sensitivitetsanalyse

Vi har hittil antatt at et fiskeutsett med PD-utbrudd er smittsomt fra 2 måneder før PD-påvisning og forblir smittsomt helt til fisken slaktes ut. Dersom vi begrenset den smittsomme perioden til å vare fra 1 måned før til to måneder etter PD-påvisning, fikk vi fremdeles den samme rangeringen av modeller. Modellen med *IP* basert på biomasse og vannkontakt var fremdeles den som gjorde det best (AIC=30.4) og det var en AIC-forskjell på 2.8 til den beste modellen med *IP* basert på kvadrert sjøavstand.

For å teste sensitiviteten av å forandre vindretning eller tidspunkt for sporstoff-utslipp, byttet vi ut vannkontaktmatrisen som ble brukt til å estimere *IP* med de alternative vannkontaktmatrisene beregnet for

1) vind fra sørøst (5 m/s) og 2) tidspunkt for sporstoffutslipp utsatt 6 timer (dvs. retning for tidevannstrømmen endres ca 180°), som beskrevet i kapittel 4.2.

De parvise lokalitetene som viste vannkontakt fra PD-lokalitet til en mottager-lokalitet var konsistent mellom de tre variantene av vannkontaktmatrise. Gjennomsnitt maksimum forskjell i WC_{ij} (absolutt verdi) for hver PD-lokalitet (j) var 8 og 10 når henholdsvis vindretning og tidspunkt for utslipp ble endret. Dette hadde derfor ingen innvirkning på resultatene.

De tre variantene av vannkontaktmatriser varierte med mindre enn en enhet i forskjell i AIC-verdi (for samme modellvariant). Det var dermed ingen endring i rangeringen av modellene.

6. Diskusjon

6.1 Vurdering av modellresultatene

Den framgangsmåten som er valgt i prosjektet er å legge inn kreftene som driver strømmene i modellen på en generalisert måte for å danne et klarere bilde av et i utgangspunktet kaotisk strømmønster.

Resultatene viser at når vannlig slektskap mellom parvise oppdrettsanlegg settes opp i en tabell (*vannkontakt-nettverket*) så har denne tabellen evne til å forklare gangen i kjente smitteepisoder. Vannkontaktnettverket skal være så generelt at smitteepisoder som varer over flere måneder skal kunne forklares med bare en versjon av vannkontaktnettverket, selv om vannlig kontakt vil være helt avhengig av hvordan strømmønsteret er.

Strømmønsteret vil variere en del gjennom året, men den dominerende delen, tidevannstrømmen, vil følge et svært forutsigbart mønster. Strømmodellen skal derfor gi et bilde av strømmen i en tilfeldig valgt periode av året, og det er derfor ikke gjort noe forsøk på å tilpasse modellresultatene til strømmålingene. Disse er kun brukt for å se hvor godt modellen gjensker målt strøm.

Validering av modellen opp mot strømmålinger fra april-mai 2008 viser at modellen overestimerer strømstyrken i store deler av modellområdet (se **Figur 12**). Beregnet median strømstyrke er omtrent 160 % av målt verdi ved Storeflea i Hellefjorden, omtrent 220 % av målt verdi ved Veøya i Brufjorden, omtrent 180 % av målt verdi ved Brugalten i Førdefjorden og omtrent 90 % av målt verdi ved Krokholmen i Vilnesfjorden. Ved for eksempel å legge inn mindre tidevannsvariasjon ville strømstyrken ha stemt bedre med målinger på de tre nordligste stasjonene, men den ville blitt underestimert i Vilnesfjorden sør i modellområdet. Økt strømstyrke vil føre til at vann fra et punkt vil spres fortere over et større område. Dette vil føre til større vannkontakt mellom oppdrettsanleggene slik som det er beregnet i dette prosjektet, og må i denne sammenhengen sees på som et høyt anslag for smitterisiko.

Sammenligning av målt og beregnet strømretning viser at modellen gir det samme bildet av strømmønsteret som målingene i og med at strømmens hovedretninger gjenskapes (se **Figur 13**). Modellen er styrt av modelltopografien som har en begrenset oppløsning. Dette fører til at bestemte retninger ser ut til å bli favorisert i modellen, og antall beregninger blir konsentrert rundt disse favoriserte retningene. Den målte strømmen er jevnere fordelt enn beregningene. Sammenligning av beregnet og målt strøm på 22 oppdrettslokaliteter, viser at modellen gjensker strømretningen i 14 av 15 målinger i 0-5 m dyp, 14 av 17 målinger i 5-20 m dyp og 7 av 13 målinger under 20 m dyp (Staalstrøm, 2009). Det konkluderes derfor med at modellen gjensker strømretningene i området på en tilfredsstillende måte.

Vi har benyttet spredning av passivt sporstoff som er plassert ved oppdrettsanleggene i starttidspunktet til beregningene. Det er ikke tatt med noen ytterligere tilførsel av sporstoff i modellen. I en virkelig smittesituasjon vil det være smitte ved et anlegg over tid. Siden kunnskap er begrenset om hvor lenge det er smitte ved et anlegg og om hvor lenge smitten overlever mens det spres, har det ikke blitt inkludert noen parametrisering av dette i strømmodellen. Spredning av passivt sporstoff er mer en metode for å se hvordan vannkontakten er mellom anlegg og ikke smittekontakten. Hvor stor risikoen er, kommer først fram når vannkontaktnettverket brukes i kombinasjon med kunnskap om hvor og hvor lenge det har stått syk fisk, slik det er beskrevet i kapittel 5.

Når vannkontaktnettverket ble brukt for å forklare smitteepisoder i Sunnfjord mellom august 2005 og juli 2007, viser det seg at dette har betydelig høyere forklaringskraft enn når sjøavstand benyttes (se **Tabell 13**).

Det kan trekkes to viktige konklusjoner utifra dette:

1. Et vannkontaktnettverk basert på en strømmodell hvor visse antagelser er gjort (se under) gir et godt bilde av strømmønstret over tid.
2. Det er stor sannsynlighet for at PD spres passivt med strømmen.

6.2 Vurdering av antagelsene som er benyttet i modellarbeidet

I innledningen til denne rapporten ble det gjort tre viktige antagelser. Disse gjentas her

1. Kyststrømmen kan betraktes som en konstant strøm, og denne kan beskrives ved å ta middelverdien av modelldata fra MI-POM.
2. Tidevannsstrømmen dominerer over strøm som er skapt av middelvinden, og en gjennomsnittlig tidevannsvariasjon kan beskrives med en heldaglig og en halvdaglig tidevannskomponent.
3. Perioder med sterke vinder vil være av kort varighet i forhold til varigheten til smitteforløpet som skal beskrives, og vil være mindre viktig på lang sikt.

Kyststrømmen langs Norskekysten er drevet av ferskvannstilførsel fra landene rundt Nordsjøen og Østersjøen. Ferskvannstilførsel til Østersjøen gir en netto strøm til Skagerrak. Denne strømmen blander seg med strøm fra Nord-Europa. Ferskvannstilførsel langs Norskekysten driver denne strømmen videre. Ferskvannstilførselen varierer mye, men den er alltid tilstedet. Dette gjør at vi stadig har en nordgående kyststrøm.

I februar/mars 1979 ble det målt strøm på fem målerigger på tvers av Norskerenna utenfor Sognesjøen/Fedje (Hackett, 1982). Det ble målt strøm i til sammen 15 punkt fra omtrent 30 til 300 meters dyp. Målingene viser at den generelle trenden er at det er en tydelig halvdaglig tidevannsvariasjon som kommer i tillegg til en nordgående middelstrøm. For eksempel viser målinger fra 35m dyp på en stasjon omtrent 30 km fra kysten en nordgående strøm som midlet over hele perioden ligger på omtrent 0.4 m/s. Men målingene viser også at det er en betydelig variasjon i strømmen når den er midlet over noen tidevannsperioder. For eksempel så er det i dette målepunktet en periode på 2 dager hvor middelstrømmen er sørgående og noen perioder på opp til en uke hvor middelstrømmen er nesten null. Skal man betrakte prosesser som foregår over flere måneder slik som smitteforløpet til PD kan man forsvare bruk av en konstant nordgående kyststrøm i modelleringen. Rekkefølgen av smitteutbrudd av PD tyder også på at det er en dominerende nordgående komponent i strømbildet.

I modellen er det lagt inn en konstant moderat vind og den viktigste halvdaglige og heldaglige tidevannskomponenten. To forskjellige vindretninger er forsøkt (5 m/s fra NW og SW), og forskjellene i vannkontakt er da liten. **Figur 7** viser at det i perioden hvor det ble gjort strømmålinger ble målt tre episoder ved Flørø lufthavn hvor middels vindstyrke var over 5 m/s. Disse episodene var av 2-4 dagers varighet. Utifra dette så antar vi at vannkontaktnettverket som er presentert i denne rapporten kan benyttes under vanlige vindforhold. Hvis det er sterke vinder (opp mot 10 m/s) som har en lang varighet (over en uke), så må man forvente at dette vil endre det vannlige slektskapet i kortere perioder.

6.3 AquaStrøm verktøyet - Etterbruk og videreutvikling

AquaStrøm er et verktøy som kan bidra til en mer kunnskapsbasert bruk og forvaltning av kystsonen i Sunnfjord. Den første brukeren av dette verktøyet har vært Veterinærinstituttet, for vurderinger i forhold til smittespredning av PD. Resultatene er tydelige, strømavstand er den faktoren som best kan forklare smittespredning av PD i Sunnfjord. Resultatene fra undersøkelsen er allerede vitenskaplig publisert og dette viser verktøyet faglige kvalitet. Når Veterinærinstituttet finner at vannkontakt i større grad enn fysisk avstand predikerte hvilke fiskeutsett som fikk PD-utbrudd, fant vi det sannsynlig at PD spres ved passiv drift i vannmassene. Samtidig er det et lite forbehold da resultatene er basert på relativt få utsett av fisk i ett og samme fjordområde.

Et viktig resultat i prosjektet er en enkel tabell som viser vannkontaktnettverket mellom de ulike oppdrettslokalitetene i området. En slik tabell kan brukes som et verktøy for risikobasert overvåking og målrettet tiltak for å kontrollere en mulig sykdomsspredning. Det kan også være vel verdt å bruke AquaStrøm for å vurdere nye oppdrettslokaliteter med hensyn på vannkontakt til andre oppdrettslokaliteter i nærområdet.

Vannkontaktnettverket viser også at oppdrettsanlegg som ligger langt fra hverandre kan komme i kontakt. Samtidig kan også to anlegg om ligger tett på hverandre være uten vannkontakt. AquaStrøm viser hvordan vann fra et smittet oppdrettsanlegg kan bli spredd over et stort område etter bare noen dager, og slik kunnskap er viktig i vurderinger av smittesikker avstand. Tabellen viser at noen oppdrettslokaliteter bidrar med vann til mange andre lokaliteter, og disse kan dermed spille en nøkkelrolle i lokal sykdomspredning. Ved å bruke dette verktøyet til å kartlegge anleggenes grad av vannkontakt, kan man jobbe mer aktivt og presist for å forebygge og minske risikoen for videre spredning av PD.

Verktøyet som er utviklet vil ha flere bruksområder:

- Kunnskapsbasert fastsetting av smittesmessige ”fellesoner” i forhold til PD eller ILA.
- Oksygentilgang og vannutskifting per tid: Verktøyet kan brukes til å kartlegge oksygentilgangen på potensielle lokaliteter gjennom å beregne vannutskifting og omfanget av perioder med strømstille i aktuelle vannlag.
- Kystsonerplaner: Fremskaffe dokumentasjon som kan brukes som grunnlag for kommunene under planlegging i kystområdene i forhold til å vurdere hensiktsmessig plassering av oppdrettslokaliteter.
- Brønnbåt: En kan sikre kunnskapsbasert fastsetting av ”sikre” brønnbåtkorridorer. Hvor bør brønnbåter skifte vann dersom målet er å unngå risiko for smitte fra potensielle matfisklokaliteter? Hvor bør en kjøre med lukkede system for å unngå at transportvann ender opp i aktuelle matfiskanlegg?
- Lakselus: I tillegg til å kartlegge risikoen for spredning av en rekke fiskesykdommer kan en ved hjelp av verktøyet fastsette mer optimale strategier for bekjempelse av lakselus gjennom å bestemme rekkefølge og tidspunkt for regionale avlusinger under ulike miljøforhold. En kan allerede identifisere områder med ulik vannutskifting og potensiale for spredning av lakselus. Verktøyet må videreutvikles slik at det kan anvendes på et område som er stort nok til å dekke spredningsevnen til et aktuelt virus eller gitt parasitt.
- Næringsalter: Aqua Strøm kan være et utgangspunkt for å bedømme i hvilken grad nærings saltutslipp fra oppdrettsnæringen påvirker konsentrasjonen av fosfor og nitrogen i vannmassene omkring lokalitetene. I første omgang bør slike beregninger begrenses til vinterhalvåret med minimal algevekst i vannmassene, men hvis algevekst inkluderes i modellen bør beregninger også gjøres for sommerhalvåret og høsten.
- Oljevernberedskap: AquaStrøm kan brukes til å simulere hvordan et oljeutslipp vil spre seg under ulike miljøforhold

I framtiden bør det framskaffes mer detaljerte opplysninger om sykdomsdynamikken innen fiskeutsett med påvist sykdom, slik at man gradvis kan foreta et sikrere modellering av hvor lenge og hvordan smitte varierer over tid i et sykdomsutbrudd. Dette bør gjennomføres for flere aktuelle agens. En må også inkludere mer kunnskap om virus-/parasittoverlevelse i utarbeidelsen av vannkontaktnettverkstabeller, for å definere hvor mange dager det er relevant å simulere spredning av sporstoffutslipp. Både for næringen og forvaltningen er det viktig at de tiltakene som blir iverksett er mest mulig faktabasert. Økt kunnskap vil sikre større presisjon i gjennomførte tiltak og AquaStrøm vil utvilsomt bidra til å øke denne presisjonen.

7. Litteratur

- Aldrin M., B. Storvik, A. Frigessi, H. Viljugrein and P.A. Jansen. (2009). A stochastic model for a comparative study of transmission pathways for three infectious diseases in fish farming. *Preventive Veterinary Medicine*, in press (doi:10.1016/j.prevetmed.2009.09.010).
- Fringuelli E, Rowley HM, Wilson JC, Hunter R, Rodger H, Graham DA. (2008). Phylogenetic analyses and molecular epidemiology of European salmonid alphaviruses (SAV) based on partial E2 and nsP3 gene nucleotide sequences. *Journal of Fish Diseases* 31: 811-823.
- Graham DA, Staples C, Wilson CJ, Jewhurst H, Cherry K, Gordon A, Rowley HM. (2007). Biophysical properties of salmonid alphaviruses: influence of temperature and pH on virus survival. *Journal of Fish Diseases* 30: 533-543.
- Graham D. A, Fringuelli E, Wilson C Rowley HM, Brown A, Rodger H, McLoughlin MF, McManus C, Casey E, McCarthy LJ, Ruane NM. (2009). Prospective longitudinal studies of salmonid alphavirus on two Atlantic salmon farms in Ireland; evidence for viral persistence. *Journal of Fish Diseases* (<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01096.x>).
- Hackett, B. (1982). Current and hydrography off western Norway. *FoH-prosjekt 112, rapport nr. 3 – 1982*
- D.B.Haidvogel, H.Arango, W.P.Budgell, B.D.Cornuelle, E.Curchister, E.D.Lorenzo, K.Fennel, W.R.Geyer, A.J.Hermann, L.Lanerolle, J.Levin, J.C.McWilliams, A.J.Miller, A.M.Moore, T.M.Powell, A.F.Shchepetkin, C.R.Sherwood, R.PSignell og J.C.Warner (2007) *Ocean forecasting in Terrain-following Coordinates: Formulation and Skill Assessment of the Regional Ocean Modelling System*, *Journal of Computational Physics* (2007).
- Kristoffersen A.B., H. Viljugrein, R.T. Kongthorp, E. Brun and P.A. Jansen (2009). Risk factors for pancreas disease (PD) outbreaks in farmed Atlantic salmon and rainbow trout in Norway 2003 – 2007. *Preventive Veterinary Medicine* 90: 127-136 (doi:10.1016/j.prevetmed.2009.04.003).
- Molvær, J. Stålstrøm, A. Urke, H.A. (2008). AquaStrøm_-Kartlegging og detaljert beskrivelse av strømforhold og risiko for smittespredning i Ytre Sunnfjord. *Norsk Fiskeoppdrett*. Mars 2008.
- Shchepetkin, A.F. & J.C. McWilliams, (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, vol. 9, pp. 347-404.
- Staalstrøm, A, (2009). Validering av havmodellen i AquaStrøm Sunnfjord prosjektet. NIVA-rapport løpenr. 5842-2009. 37 sider.
- Urke, H. A., Staalstrøm, A., Molvær, J., Viljugrein, H. og Jansen, P.A. (2009). Resultater med bruk av AquaStrøm-verktøyet: Vannkontakt forklarer spredning av PD-smitte. *Norsk Fiskoppdrett* nr. 12-2009.
- Viljugrein, H., Staalstrøm, A., Molvær, J., Urke, H. A. and Jansen, P. A. (2009). Integration of hydrodynamics into a statistical model on the spread of pancreas disease (PD) in salmon farming. *Diseases of Aquatic Organisms*. Vol. 88: 35–44, doi: 10.3354/dao02151

Vedlegg A. Liste over presentasjoner av prosjektet

Noen utvalgte foredrag:

H. Viljugrein, A. Staalstrøm, H. Urke, J. Molvær and P.A. Jansen. 2009. Integration of hydrodynamics into a statistical model for pancreas disease dispersal in salmon farming. ISVEE XII (12th International symposium on Veterinary Epidemiology and Economics), Durban, South Africa, 10.08.09.

J. Molvær, A. Staalstrøm, H. Urke, H. Viljugrein and P.A. Jansen. 2008. Modelling sea currents and risks of disease transmission among aquaculture sites, 8th Tri-Nation PD seminar, Galway, 07.05.08.

P.A. Jansen, H. Viljugrein, A. Staalstrøm, J. Molvær and H.A. Urke. 2009. Integration of hydrodynamics into a statistical model for PD dispersal in the Florø area, western Norway, 9th Trination PD seminar, Stirling, 04.02.09.

Urke, H.A., Staalstrøm, A. Molvær, J. Viljugrein, H and Jansen, P.A. 2008. "*AquaStrøm*" - Modelling sea currents and risks of disease transmission between sites in Ytre Sunnfjord. *Havbrukskonferansen April 2008* Tromsø. NRC Havbruk 2008.

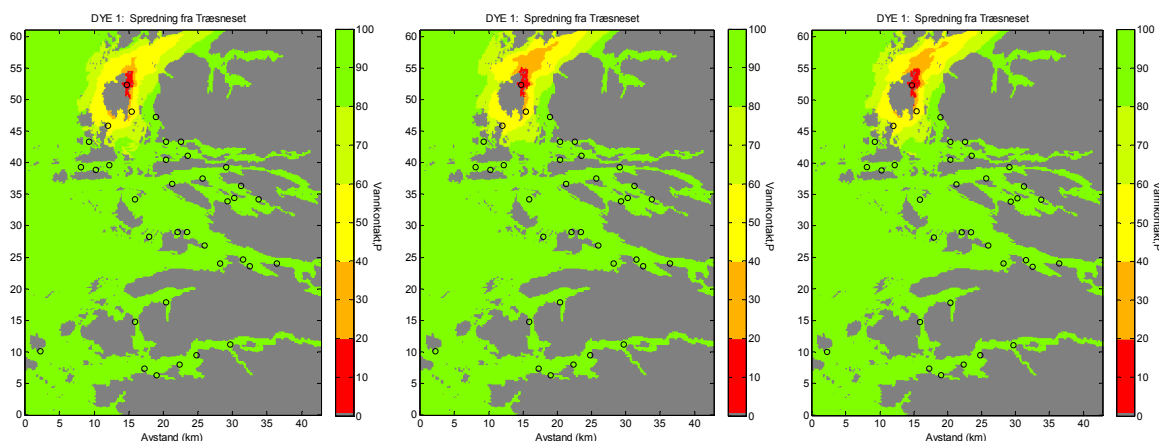
Vedlegg B. _Sporstofforsøk

Vi har i dette arbeidet antatt at tidevannstrømmen utgjør den dominerende delen av strømbildet, og at mønsteret i vannkontaktnettverket derfor er rimelig konstant over tid. For å teste denne antagelsen har det blitt beregnet tre versjoner av vannkontaktnettverket.

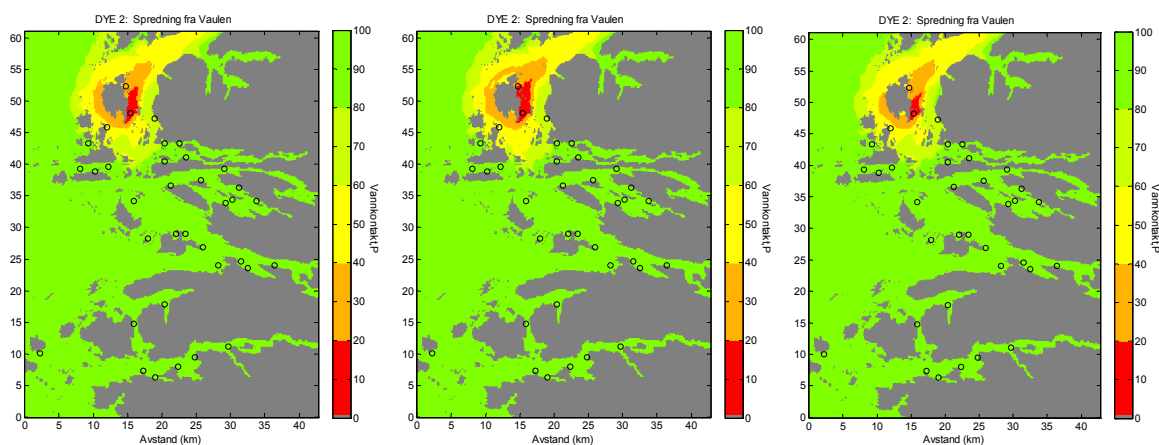
- 1) Konstant vind fra nordvest med styrke 5 m/s.
- 2) Samme vindforhold, men utslipp av sporstoff ble forsinket 6 timer.
- 3) Deretter ble det lagt inn en konstant vind fra sørvest med styrke 5 m/s.

Underforliggende stillbilder (Figurene 18-49) viser hvordan vannmassene har flyttet seg under disse tre forholdene for hver enkelt lokalitet. Vannkontakten fra hvert enkelt anlegg har blitt beregnet for alle punkter i modellområdet og presentert med fargeskalan fra **Tabell 8**. Generelt sett så har endring i vindretning når vindstyrken er 5 m/s eller endring i utslippstidspunkt liten effekt på spredningsmønsteret.

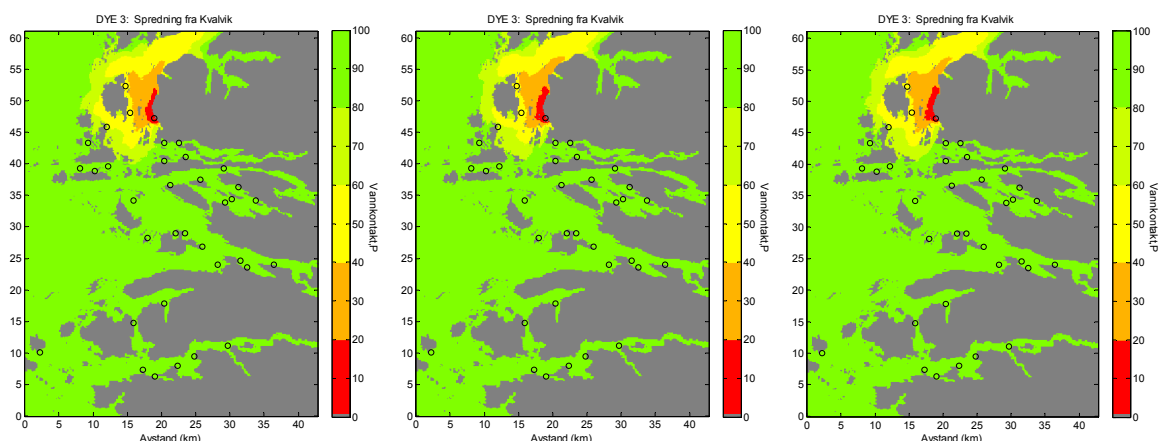
Alle aktørene har i tillegg fått simuleringer på CD som viser spredning over 7 dager fra aktuelle lokaliteter basert på nordvest vind med styrke 5 m/s.



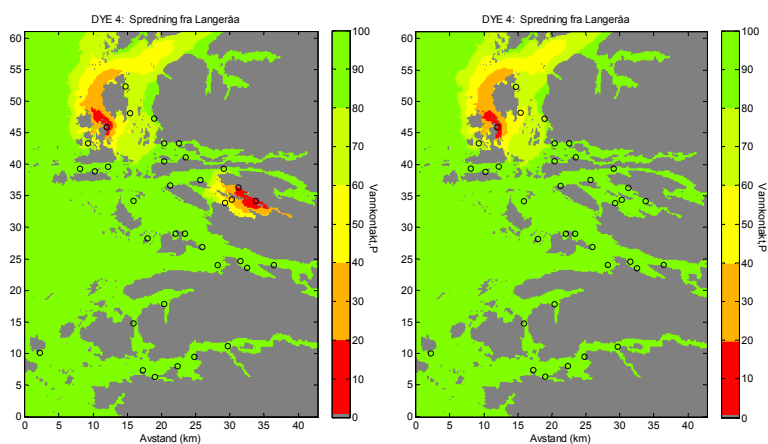
Figur 18. Spredning fra Træsneset. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



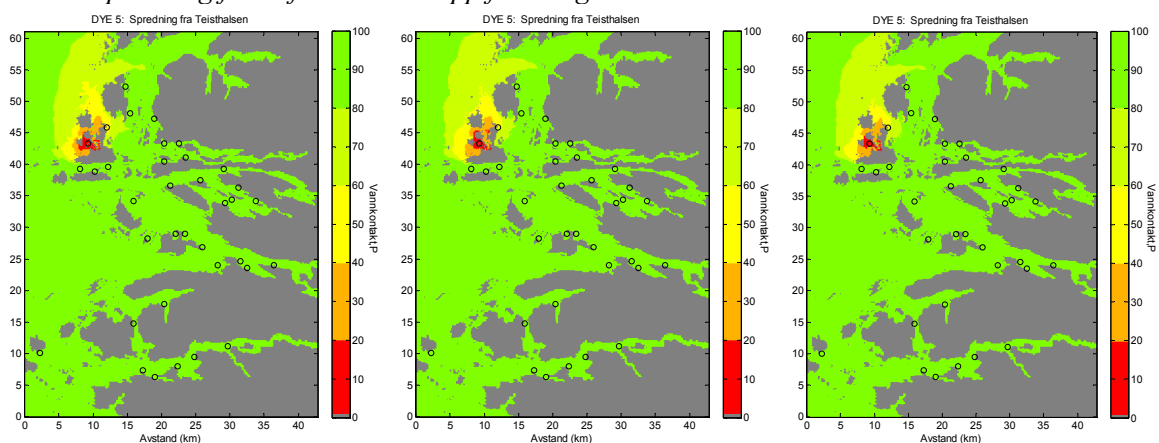
Figur 19. Spredning fra Vaulen. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



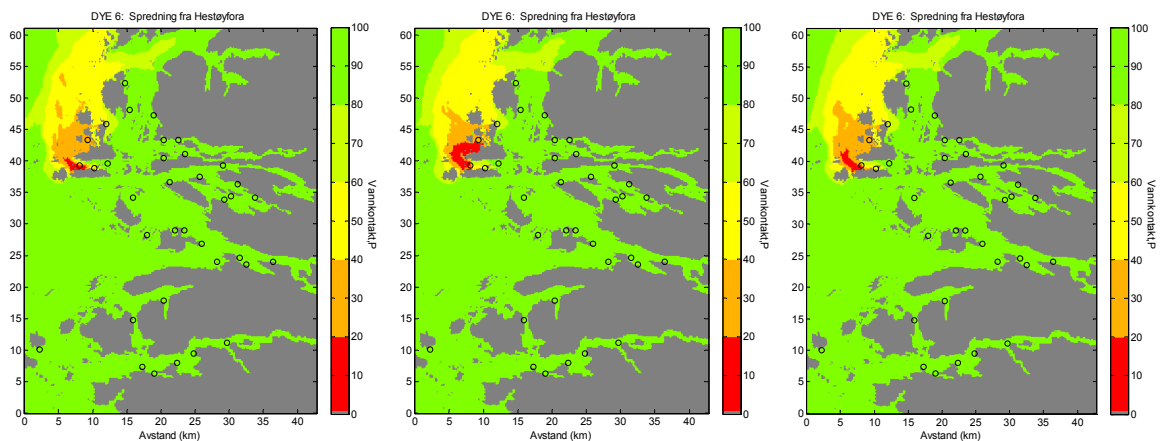
Figur 20. Spredning fra Kvalvik. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



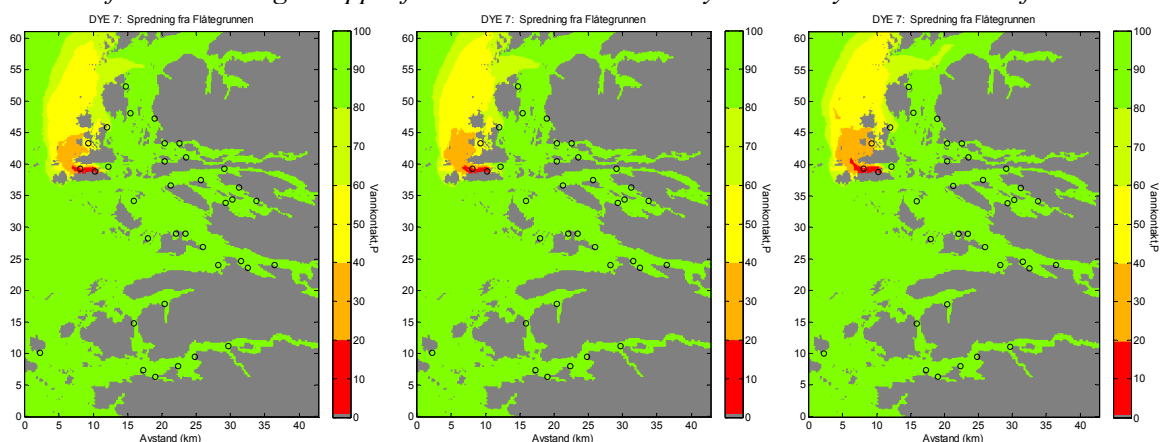
Figur 21. Spredning fra Langeråa. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Det ble i dette tilfellet også sluppet ut sportstoff ved Steinvik fiskefarm. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest. Det ble ikke simulert spredning fra et forsinket utslipp fra Langeråa.



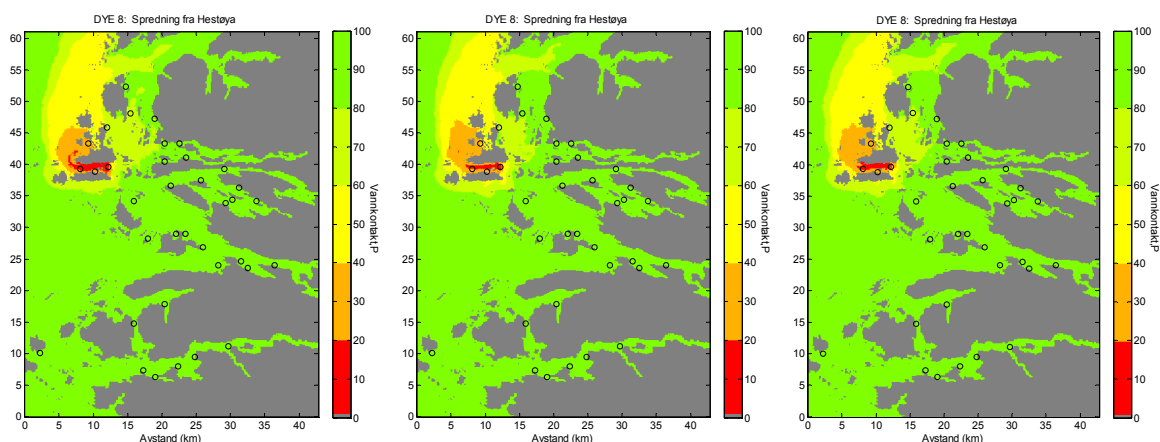
Figur 22. Spredning fra Teisthalsen. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



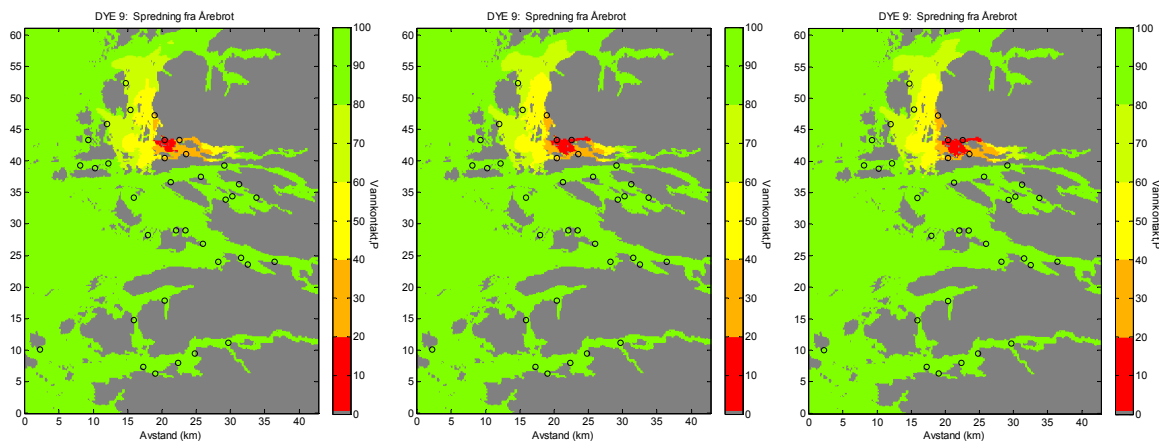
Figur 23. Spredning fra Hetsøyfora. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



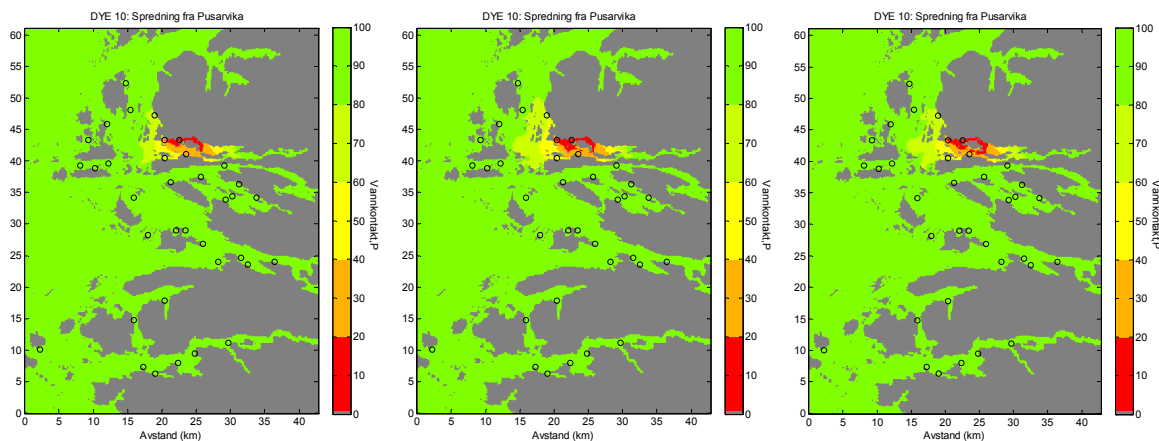
Figur 24. Spredning fra Flåtegrunnen. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



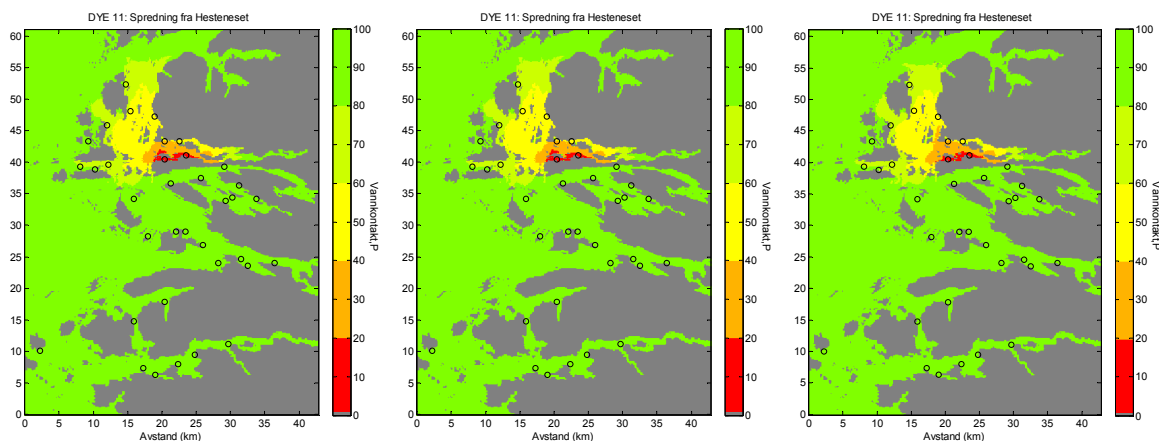
Figur 25. Spredning fra Litle Hestøy. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



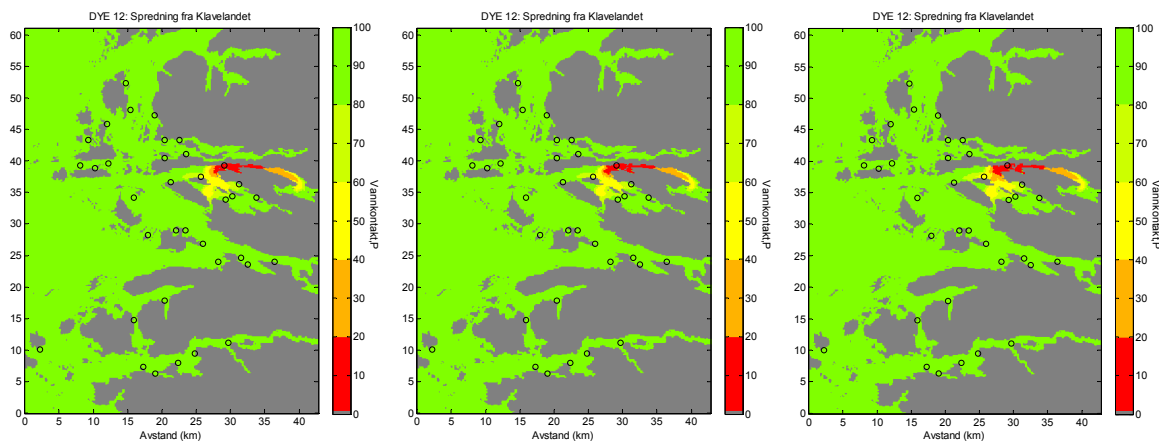
Figur 26. Spredning fra Årebrot. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



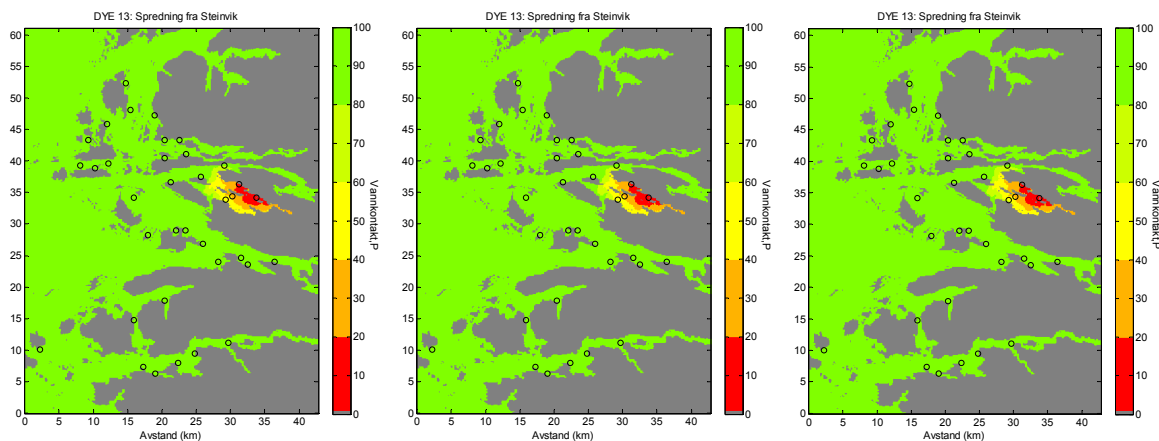
Figur 27. Spredning fra Pusarvika. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



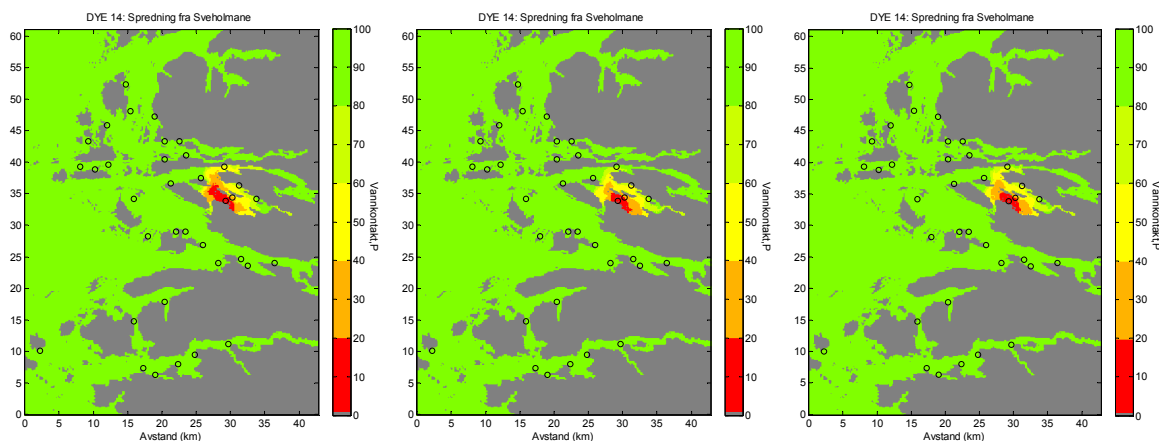
Figur 28. Spredning fra Hesteneset. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



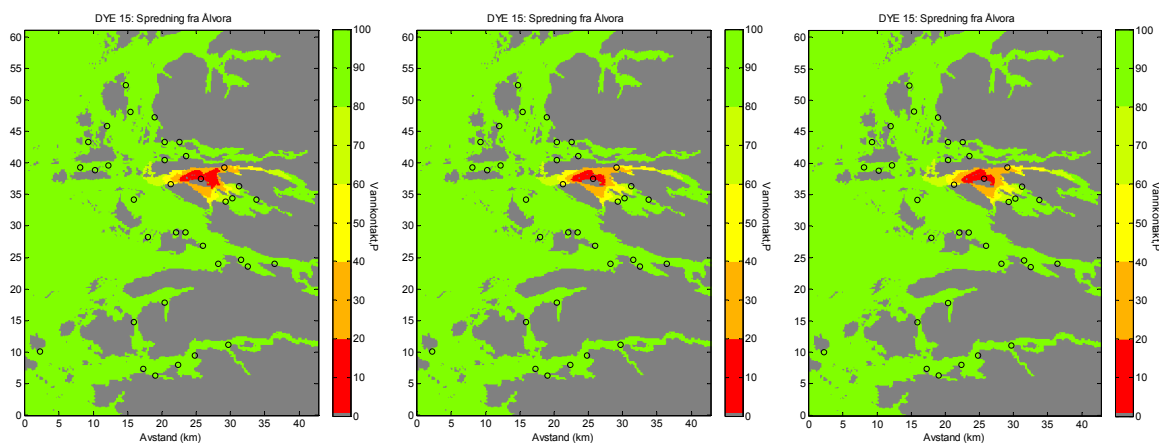
Figur 29. Spredning fra Klavelandet. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



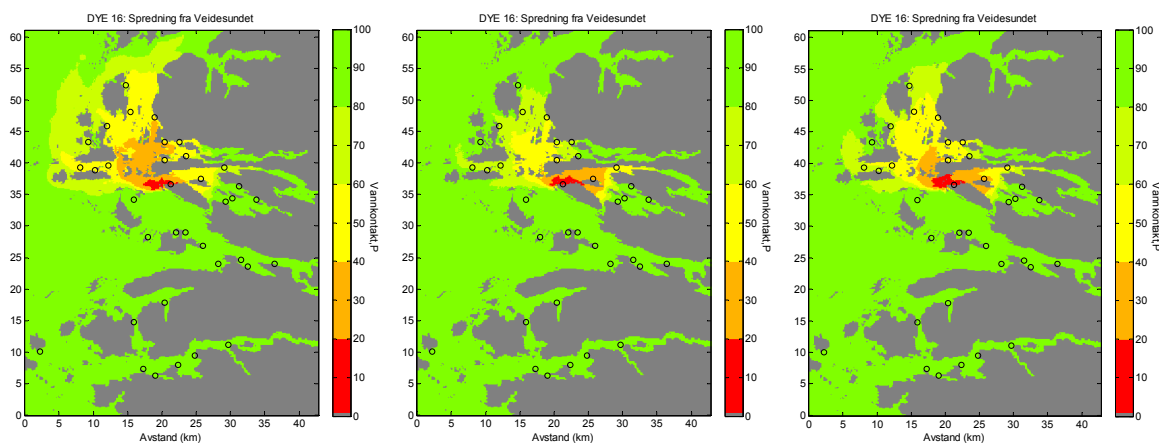
Figur 30. Spredning fra Steinvik. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



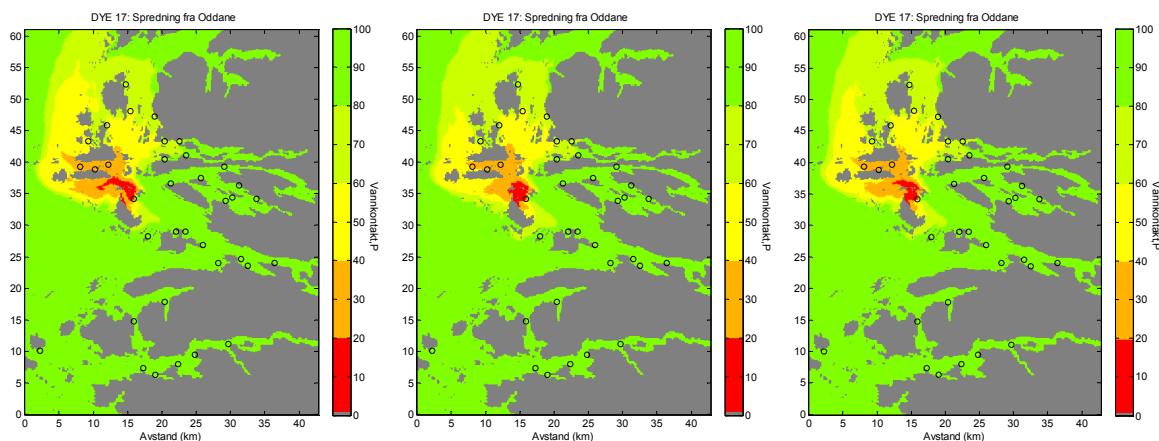
Figur 31. Spredning fra Sveholmene. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



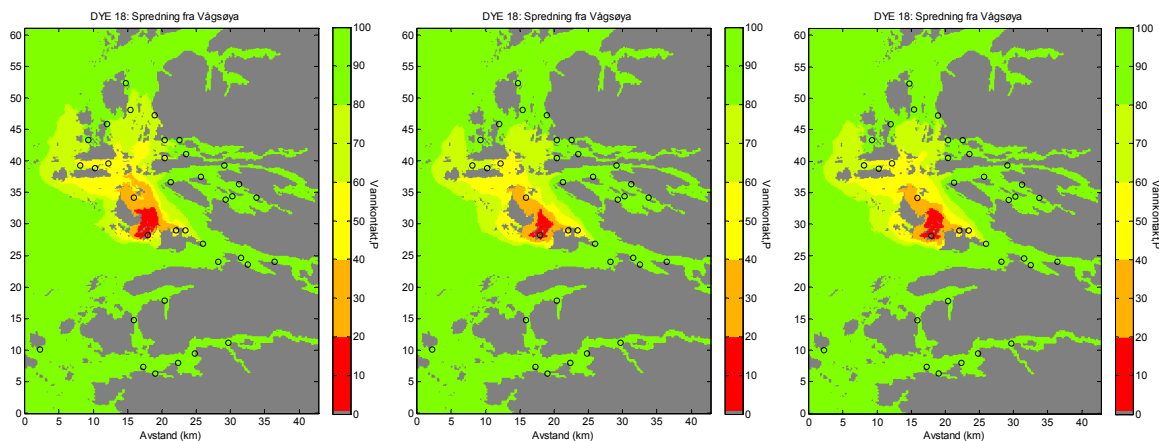
Figur 32. Spredning fra Alvora. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



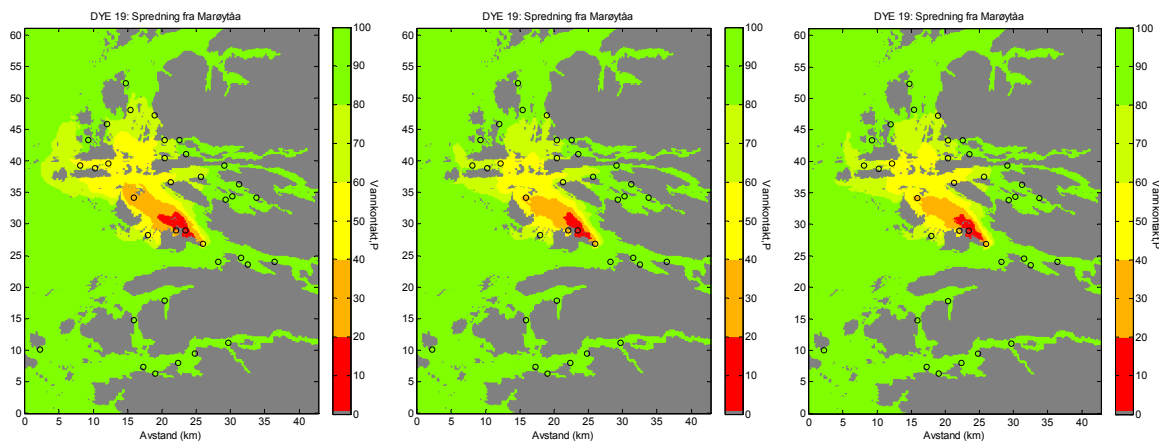
Figur 33. Spredning fra Veidesundet. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



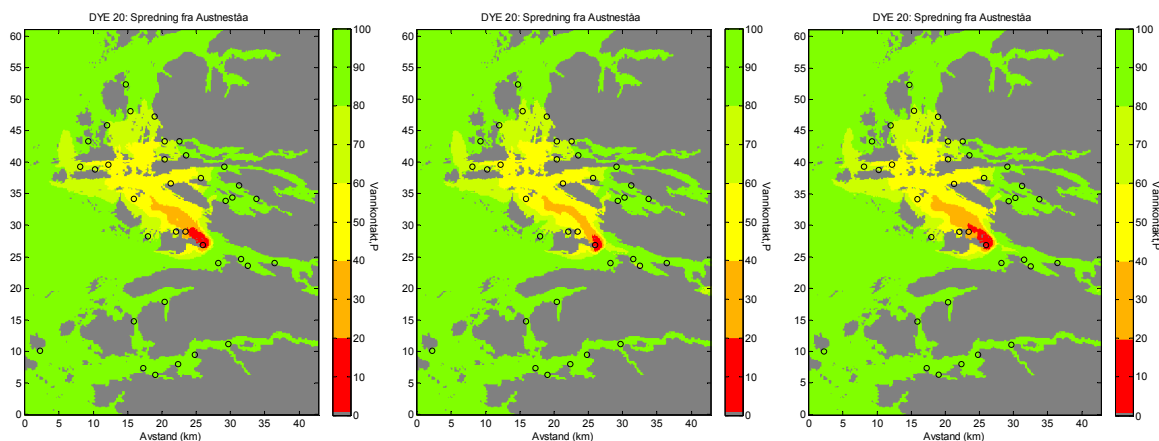
Figur 34. Spredning fra Oddane. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



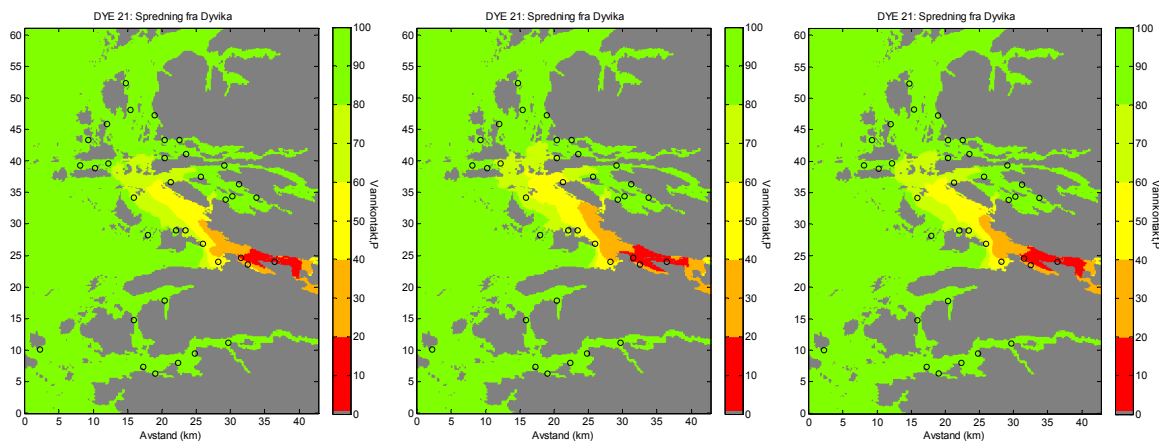
Figur 35. Spredning fra Vågsøya. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



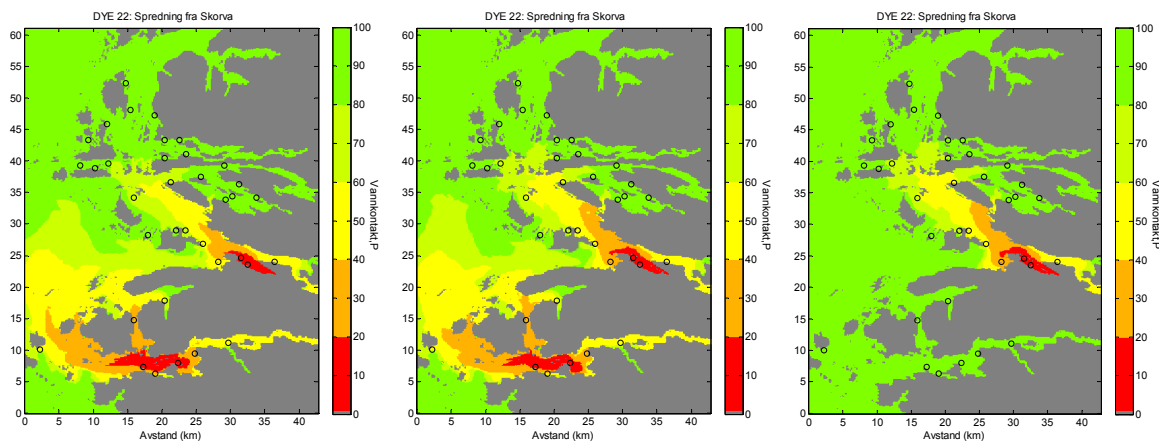
Figur 36. Spredning fra Marøyåa. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



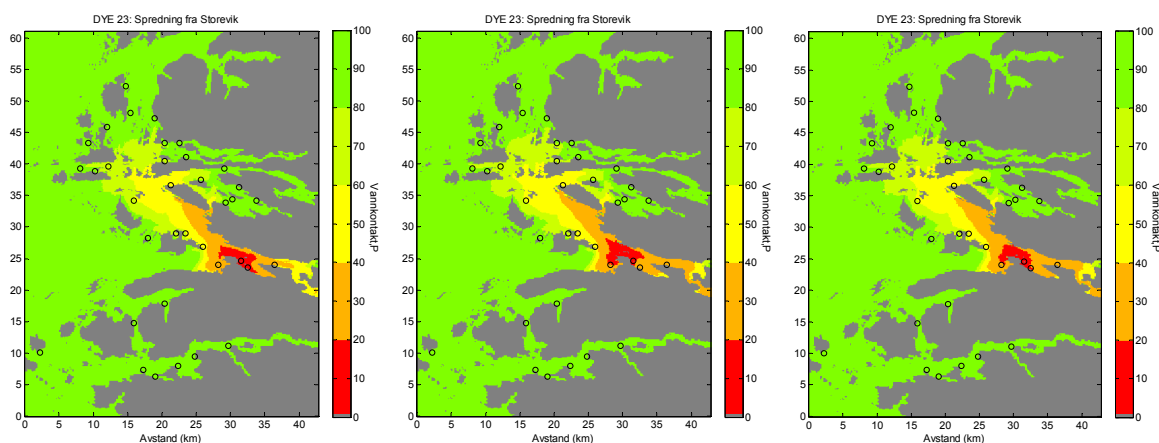
Figur 37. Spredning fra Austneståa. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



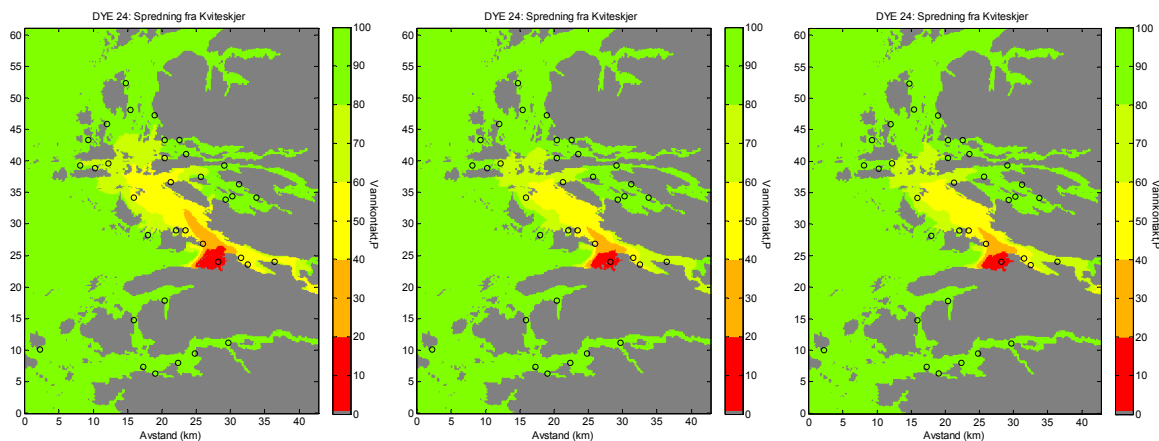
Figur 38. Spredning fra Dyvika. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



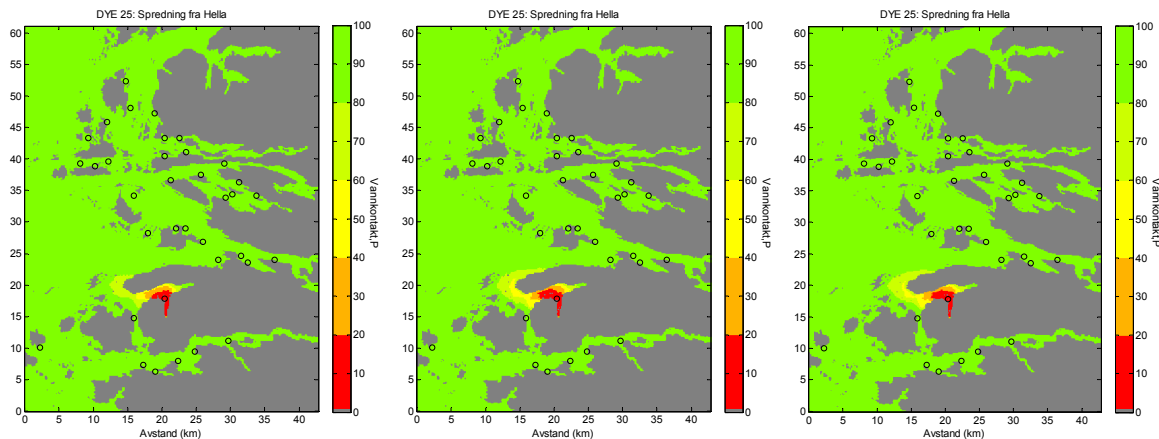
Figur 39. Spredning fra Skorva. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest. I de to første tilfellene ble det også sluppet ut sportsoff fra lokaliteten Svinøy.



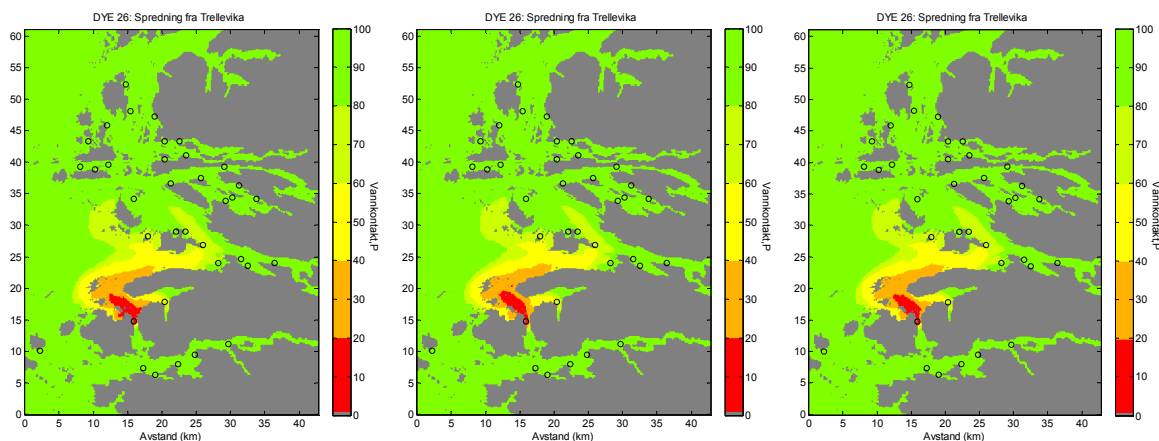
Figur 40. Spredning fra Storevik. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



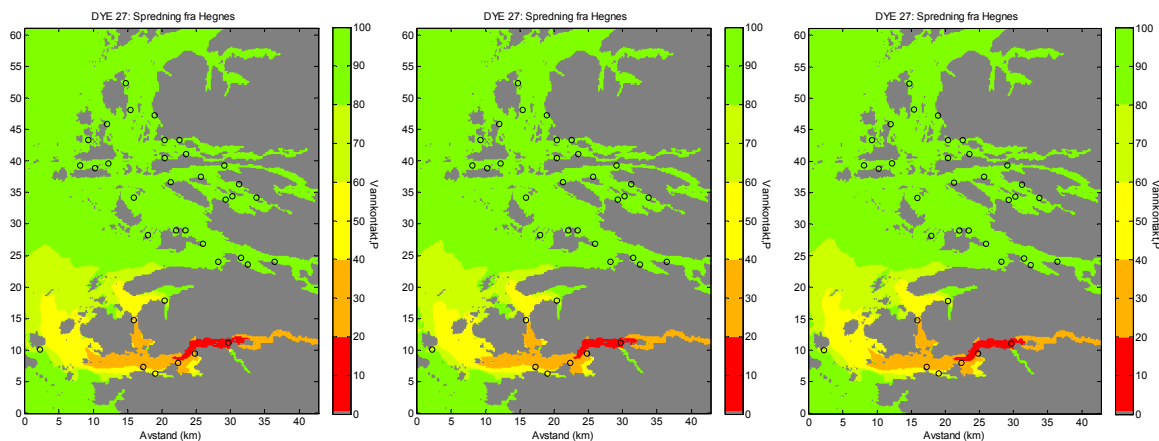
Figur 41. Spredning fra Kviteskjer. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



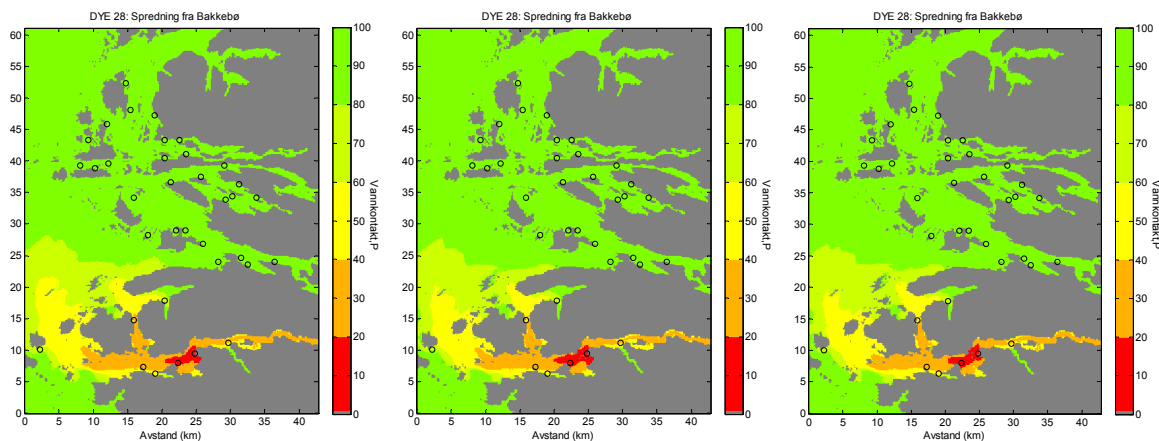
Figur 42. Spredning fra Hella. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



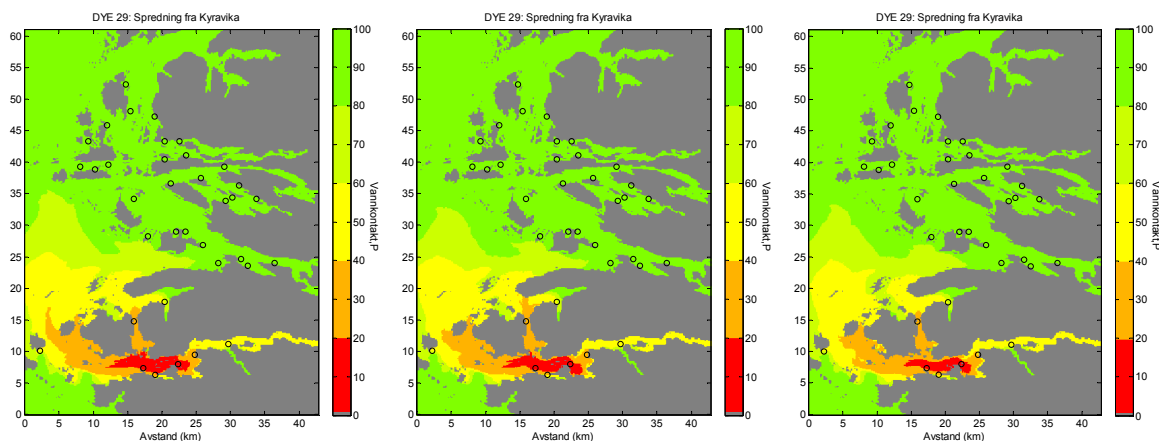
Figur 43. Spredning fra Trellevika. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



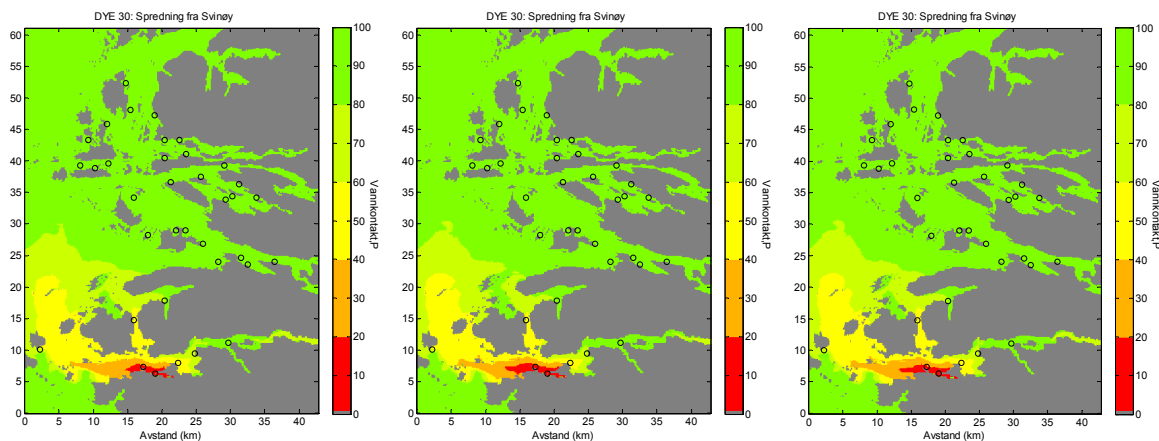
Figur 44. Spredning fra Hegnes. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



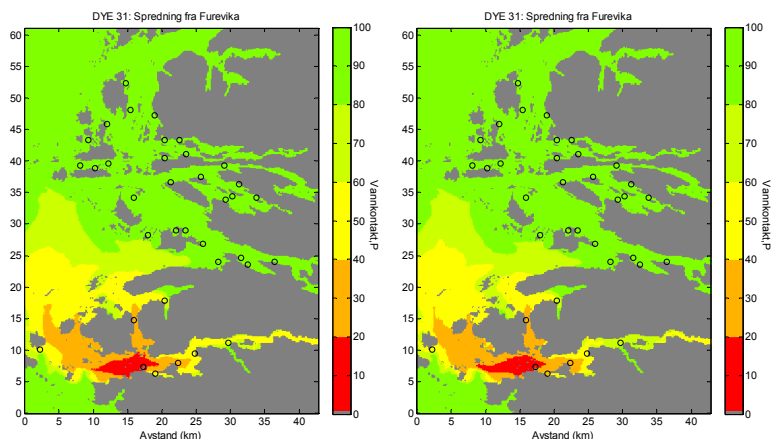
Figur 45. Spredning fra Bakkebo. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



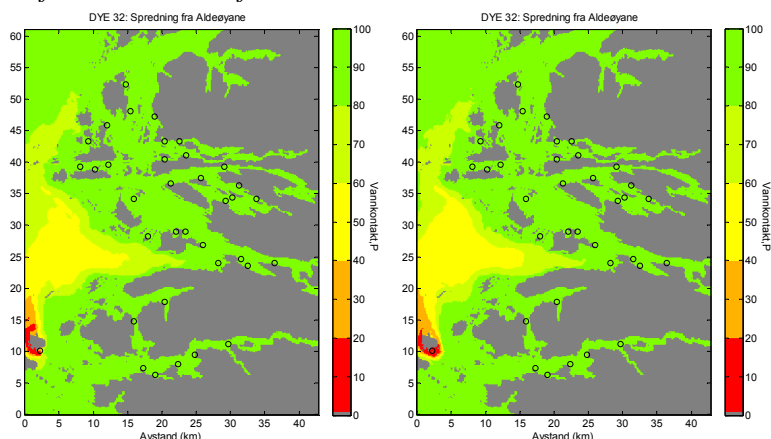
Figur 46. Spredning fra Kyravika. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



Figur 47. Spredning fra Svinøy. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Midt: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra sørvest.



Figur 48. Spredning fra Furevika. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Det ble ikke simulert spredning med endrede vindforhold i dette tilfellet.



Figur 49. Spredning fra Aldeøyane. Venstre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest. Høyre: Vindstyrken var 5 m/s fra nordvest og utslippet forsinket med 6 timer. Det ble ikke simulert spredning med endrede vindforhold i dette tilfellet.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no