



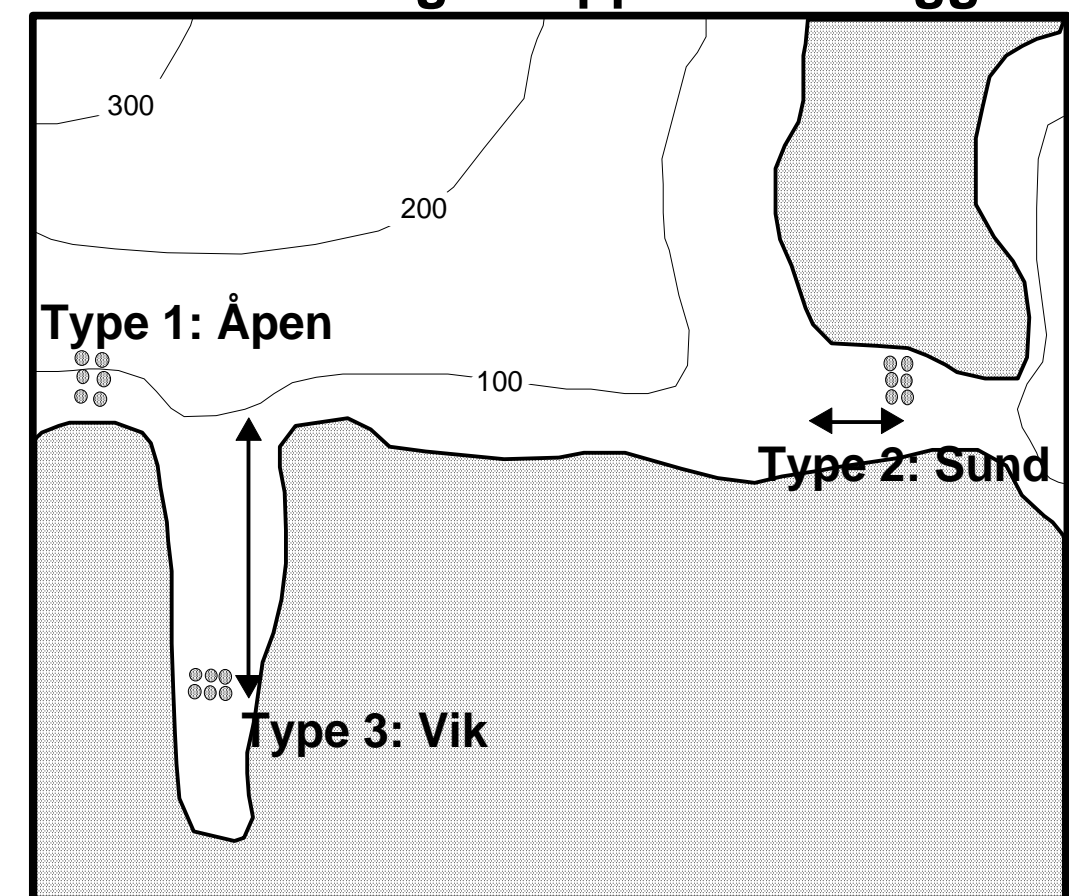
RAPPORT LNR 5063-2005

Regionalt Utviklingsprogram
(RUP) Hordaland –

Forprosjekt "Havbruksanalyse"

Bølger og strøm som lokalisering-
kriterium

Plassering av oppdrettsanlegg



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Regionalt Utviklingsprogram (RUP) Hordaland – Forprosjekt “Havbruksanalyse” Bølgjer og strøm som lokaliseringskriteriar	Løpenr. (for bestilling) 5063-2005	Dato September 2005
	Prosjektnr. Undernr. 24127	Sider Pris 44
Forfattar Golmen, Lars G Nygaard, Einar (Statoil) Stenström, Petter	Fagområde 214	Distribusjon Open
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgjevar Hordaland Fylkeskommune, AL – Kyst, Postboks 7900, 5020 Bergen	Oppdragsreferanse Inge Døskeland, Siri Hanson
--	---

Sammenheng

Rapporten omhandlar metodikk for berekning av strøm og bølger/bølgjeeksponering i kyststrok. Arbeidet er utført som oppdrag frå Hordaland Fylkeskommune, i samband med forprosjekt for Havbruksanalyse. Nokre konkrete modellar er omtalt, og det er synt døme på simuleringar frå ulike stader, enten med modell-topografi, eller med reell/faktisk topografi. Fleire modellar som er i bruk i dag, kan berekne strøm og bølger med god presisjon og oppløysning i tid/rom. Og data frå berekningane kan i prinsippet linkast til GIS modellar, der ein kan hente ut sub-sett av data for kvart gridpunkt eller kvar rute i GIS modellen. Det ligg framleis utfordringar i å få kvalitetssikra resultatata frå modellane, og også å få gjort oppløysinga god nok. Det ligg også ei fagleg utfordring (vidare arbeid) i å få valt ut realistiske scenarior for modellkjøringar i høve til kva resultatata skal nyttast til.

Fire norske emneord 1. Havbrukslokalitet 2. Bølgjeeksponering 3. Straumtilhøve 4. Modellering	Fire engelske emneord 1. Fish farm site 2. Wave exposure 3. Currents 4. Modelling
---	---


 Lars G Golmen
 Prosjektleiar


 Dominique Durand
 Forskingsleiar


 Øyvind Sørensen
 Prosjektdirektør

Regionalt Utviklingsprogram (RUP) Hordaland –

Forprosjekt “Havbruksanalyse”

Bølger og strøm som lokaliseringskriterium

Føreord

Prosjektet kom i gong i slutten av april 2004, etter innleiande diskusjonar mellom NIVA og Hordaland fylkeskommune. Vervarslinga på Vestlandet deltok også på eit slikt møte, den 9. mars. Prosjektet blei tinga 19. april, 2004 som eit innleiande forstudium med ei tentativ innsatsramme motsvarande 2,5 arbeidsveker.

Hos Fylkeskommunen har Inge Døskeland og Siri Hanson vore kontaktpersonar. Det har vore fleire møter undervegs både med Fylkeskommunen og med forskingsinstitusjonar/personar som arbeider med modellering. Prosjektet har såleis hatt avleggarar til forskingsmiljø i Bergen som CMR, Geofysisk institutt og Havforskningsinstituttet. Einar Nygaard, Statoil, bidrog med resultat frå simuleringar med STWAVE modellen.

Takk til alle involverte.

Bergen, september 2005

Lars G Golmen

Innhald

Konklusjonar	6
1. Bakgrunn	8
1.1 Formål	9
1.2 Synergi og samarbeid	10
1.3 Litt om vassutskifting i relasjon til oppdrett	11
1.3.1 MOM-systemet	11
1.3.2 NYTEK	11
1.3.3 Krav til minstestrøm i oppdrett	12
1.3.4 Middelstrøm og strømmens variabilitet	12
1.3.5 Strømforhold og lokalitet	13
1.3.6 Kalkulasjon av oksygenforbruk	13
1.4 Bølgeindusert botn-strøm	15
2. Typifisering av lokalitetar	16
3. Numeriske modellar- generelt	18
3.1 Eksisterande modellar, i bruk i Norge	18
3.1.1 Strøm/sirkulasjon	18
3.1.2 Bølgjemodellar	19
3.1.3 3D modellar og GIS	21
3.2 Botntopografiske data	21
3.2.1 Nye marine grunnkart	22
4. Nokre testar med SMS-RMA2	23
4.1 Modellen	23
4.1.1 "Teoretisk sund"	23
4.1.2 Realistisk topografi	24
5. Bølge-simulering	28
5.1 Kjøring for case Lerøy-Bjelkarøy	28
5.2 Refraksjonsanalyse med STWAVE, case for ytre del av Sognefjorden	30
5.3 Refraksjonsanalyse, case Finnmark - Hammerfest	31
5.3.1 Analyser	33
5.3.2 Resultat	33
5.3.3 Refraksjons-resultata nytta i vurdering offshore	34
6. Oppsummering	36
6.1 Oppsummering	36
6.1.1 'SWOT' vurdering for bruk av modellar	36
6.2 Forslag til oppfølging	37

7. Litteratur	39
Vedlegg A. Resultat med STWAVE	41
Berekingar for ulike retnings-sektorar	41

Konklusjonar

Hordaland Fylkeskommune ønskjer å gjennomføre ein havbruksanalyse ('AKVAVIS') på fylkesplan, der mange ulike metodar og verkty vil bli vurdert, herunder modellar og metodar for berekning av bølgeeksponering og strøm. Denne rapporten utgjer resultat frå eit delprosjekt i forprosjektet for havbruksanalysen. Hovudmålsettinga var å gje døme på eksisterande modellar/dataverkty for simulering av strøm og bølger og syne kor eigna desse kan vere for konkret bruk i vurderingar i sbm havbruk.

I prosjektet har resultat frå fleire modellstudiar vore trekte inn, m.a. EUNIS, HASUT, HAMOD, MAREANO, ICUWA og Biomangfold programmet. Modellar og moglegheit for samarbeid er blitt diskutert med m.a. Vervarslinga på Vestlandet mens CMR, HI, Geofysisk institutt og andre aktuelle institusjonar i Bergen er blitt kontakta i meir generelle ordelag om problemstillinga.

Rapporten peikar på moglegheiter og også avgrensingar som ligg i bruk av numeriske modellar. Slike modellar er svært avanserte og nyttige verkty, men fagleg skjøn og kunnskap må inkorporerast ved tolking av resultatata og bruk av desse vidare.

Numeriske modellar for 3D hydrodynamikk gjev svært mangfaldig og komplekse resultat som kan femne om mange problemstillingar. Såleis kan ein simulere naturen for mange ulike situasjonar og tilstandar, og lære om prosessar og rådande fenomen.

Problemet er ofte å kunne trekke ut særmerkte resultat ("essensen") frå all informasjonen. Rapporten omhandlar kompleksiteten i dette, og illustrerer behovet for å finne parametrar som i større grad enn t.d. middelværdien for strømstyrke og "midlare strømrøtning" gjev uttrykk for dei reelle strømførholda ved ein havbrukslokalitet. Slike relevante faktorar kan vere:

- Forekomst og varighet av strømsvake periodar
- Forekomst og varighet av strømssterke periodar
- Forekomst og varighet av strøm innafor gitte retningssektorar
- Forekomst og varighet av strøm innafor "gunstig" retningssektor
- Total-bilete av variabiliteten; varians, standardavvik, energispekter, turbulensskala
- "Mønsteret" i strømbiletet

Det må gjennomførast spesial-analyser eller post-prosessering av modellresultata, t.d. frå eit grid-punkt som representerer lokaliteten, for å få slike faktorar belyst.

Miljøkrav for anlegg er spesifisert m.a. i NYTEK forskriften. Denne stiller også krav til måling evt også modellering av strøm og bølger på lokaliteten. For organismar er krav i sbm bølger og strøm mindre konsis, men det finst referansar til for eksempel max verdiar for strøm. Eksisterande modellar er berre i liten grad tilpassa dei behov som havbruksnæringa og miljøforvaltninga har for å framskaffe relevante miljødata.

I dag kan ein køyre avanserte 3D algoritmer på ein PC, men det vil framleis vere grenser for kort fort slike berekningar blir gjennomført. Skal ein simulere eit relativt stort grid for ei lengre periode, vil det fort kunne ta lang tid å få ferdig ei simulering og ein må eventuelt redusere grid-storleiken for å oppnå overkomeleg reknetid. Dermed kan ein miste det romlege/regionale perspektivet som havbruksanalysar krev.

Som interaktive verkty t.d. i samband med GIS eignar avanserte (3D) modellar seg i mindre grad; GIS løysinga må basere seg på ein database (nivå) med ferdige resultat får simuleringar, der essensielle parametar/resultat er tatt ut for kvart gridpunkt eller del-område.

Det er konkludert med at Hordaland fylke har moglegheit til å stå fremste rekkje når det gjeld modell-applikasjonar også innafor havbruk. Og det bør ligge eit enno større potensiale i regionalt samarbeid t.d. innafor Vestlandsrådets domene.

Det er også konkludert med at uansett innsats i Norge er det svært viktig å følgje med på kva som skjer på området internasjonalt, både på modellutvikling og bruk, og på GIS området. Å få finansiert tid til å følgje med i litteratur og media er eit slikt verkemiddel. Og forskingsmiljøa må få midlar til å kunne foreta studieturar utanlands, evt kombinert med forskaropphald for å kunne vedlikehalde og oppdatere kompetansen.

1. Bakgrunn

Eksposering i forhold til bølger og strøm utgjør to viktige parametere for karakterisering og val av havbrukslokaliteter, både med omsyn til drift, miljø og tryggleik/risiko. Tradisjonelle flytande matfiskanlegg er nå gjenstand for sertifisering i høve til lokaliteten dei ligg på. Dette er først og fremst eit tiltak for å hindre røming av fisk, og krava er nedfelt i ein ny Norsk Standard, NS 9415. I dette tilfellet er det fokus på sterk strøm, vind- og bølge-eksponering som er kritiske faktorer for mekanisk press og slitasje på anlegget (havari). Andre krav/føringar for slike anlegg og lokaliteter set nedre grenser for strømstyrken for å sikre tilstrekkeleg vassutskifting i og under merdane.

Bølger medfører mekanisk stress på anlegget, men dei påverkar også miljøfaktorer for fisken i anlegget. Bølger av moderat storleik kan verke positivt i så måte, ved å bidra til å auke vassutskifting og gassutveksling, og dermed forbetre vasskvaliteten. Kraftigare bølgepåverknad kan medføre stress for fisken, og problem med foring m.m.

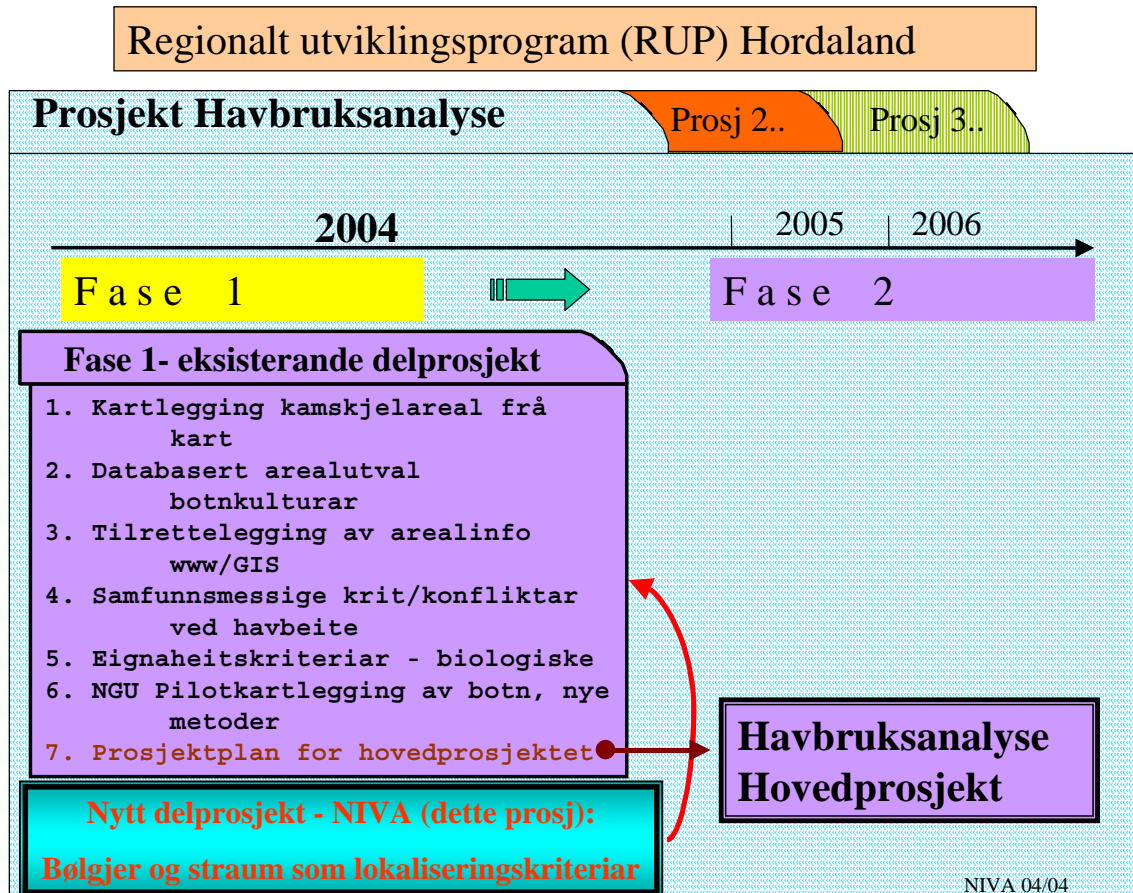
Blåskjel i hengekulturar og kamskjel i botnkultur må ha ein minimum strømstyrke for å sikre tilstrekkelig fødetilgang. Strømmen må heller ikkje blir for sterk, slik at skjella eller opphenga blir forstyrta eller flytta. Naturlege forekomstar av skjell er sannsynlegvis eit resultat av tilpassing til lokalt strøm- og bølgereregime, samt til botnsubstrat og topografi. Evt. kan der eksistere ein balanse mellom ulike faktorer – optimale vilkår for ein parameter kan vege opp for suboptimale tilhøve for andre, men slik at summen gjev tilstrekkelig gode vekstvilkår.

I nye programmet for Havbruk i NFR (lansert i april 2004) står metodar for å overvake og for å kunne bestemme eit sjøområde sin bereevne sentralt. For lokaliteter uttrykkjer NFR (side 23) eit klart behov for å finne kriteriar for vurdering av i kva grad ein lokalitet passar for oppdrett. I havbruksprogrammet er det referert til ein "Foresight analyse" som vart gjennomført som førebuande arbeid for handlingsplanen for programmet, der potensialet for vekst i havbruksnæringa blei understreka.

Havbruksnæringa i fylket/regionen har potensiale til å utvikle seg vidare med etablering av nye konsesjonar og arbeidsplassar. Denne utviklinga må samstundes vere forankra i tidsmessige prosedyrer for val og vurdering av lokaliteter hos industrien og forvaltninga. Difor er det behov for å utvikle gode, robuste og kostnadseffektive verkty for å kunne velje ut gode lokaliteter, og skilje eigna frå mindre eigna.

Dette er tema for havbruksanalyse (AKVAVIS) som Hordaland Fylkeskommune ønskjer å starte opp (Fig. 1), og der det vil bli vurdert å inkludere mange ulike metodar og verkty, herunder modellar og metodar for berekning av bølgeeksponering og strøm.

Foreliggende prosjekt (denne rapporten) utgjør eit delprosjekt i forprosjektet for havbruksanalysen. Ei målsetting er å få vurdert kor godt eigna eksisterande modellar/dataverkty kan vere for konkret bruk i vurderingar av lokalitet eller region. Der er allereie gjennomført liknande forprosjekt for å vurdere kriteriar som botn-helling (Døskeland 2004), bølgeeksponering og biologiske/bonitets kriteriar (for kamskjel) m.m..



Figur 1. Forprosjekta i tilknytning til den planlagte Havbruksanalysen for Hordaland (AKVAVIS) der noverande prosjekt er eit av fleire delprosjekt.

1.1 Formål

Innafor dei aktuelle rammene for økonomi- og tid som var skissert av Fylkeskommunen, vart det formulert 6 delmål for prosjektet. Relevant erfaringsmateriale/resultat frå prosjektet skulle bli rapportert skriftleg til Fylkeskommunen, med evt. supplement i munnleg eller i brev/notats form. Dei mest aktuelle delane av analysen ville bli nærare handsama i Fase 2, sjølve Havbruksanalysen (Fig. 1) når denne kom i gang (ikkje oppstarta pr. dags dato).

Forprosjektet kunne syne til konkrete døme eller konkrete berekningar, gjerne med utgangspunkt i sjøområde i Hordaland. For øvrig er dei fleste resultatane av prosjektet av meir generell art, med relevans også for andre fylke. Det var imidlertid ikkje lagt opp til korrespondanse med andre fylke enn Hordaland.

Delmål/aktivitetar:

1. Identifisere miljøkrava (strøm/bølger) for ulike anleggstyper og organismar
2. Identifisere andre prosjekt i fylket eller regionen som relaterer seg til problemstillinga i forprosjektet og som er i gong eller er planlagt – inkl. møter med aktuelle institusjonar
3. Verifisere om desse prosjekta evt kan munne ut i nyttige verkty for formålet regional havbruksanalyse

4. Omtale kortfatta dei ulike modellane som er i bruk og syne nokre demo-kjøringar med slike modellar
5. Oppsummering med førebels vurdering ”mulighetsanalyse” av korleis ein kan nytte numeriske modellar for strøm og bølger i ein fylkesvis/regional havbruksanalyse.
6. Kople og kommunisere med andre relaterte prosjekt som pågår.

Desse punkta har i varierende grad blitt handsama i prosjektet. Det planlagde sluttproduktet for prosjektet var ein kortfatta NIVA-rapport med oppsummering av gjennomgangen av dei ulike elementa, og med døme og tilrådingar i høve til oppfølgjande arbeid – og inklusive input til prosjektplanen for hovedprosjektet (evt som separat notat).

1.2 Synergi og samarbeid

I prosjektet har resultat frå fleire modellstudiar vore trekte inn, m.a. EUNIS (NINA et al.), HASUT (Trøndelagsfylka), HAMOD (Habitatsmodellering NIVA), MAREANO (NGU, HI et al.), ICUWA (UiB, NIVA) og Biomangfold programmet (NIVA, Hordaland og Nordland fylke). Sistnemnde fokuserer på naturtyper og skal kunne ut i praktiske applikasjonar av modellverky.

Det var lagt opp til samarbeid med Vervarslinga på Vestlandet når det gjeld bølger/eksponering – innleiande møte med VpV blei halde, men dette har ikkje blitt følgt opp; det vil bli gjort i Fase II.

CMR, HI, Geofysisk institutt og andre aktuelle institusjonar er blitt kontakta om problemstillinga. CMR og Geofysisk institutt arbeider med eit prosjekt for eit operativt varslingsystem for strøm – og bølger i Bergens-regionen (ICUWA). Dette prosjektet starta opp i 2005 og har nyleg rapportert førebels resultat frå modellering i Vatlstraumen (Thiem et al. 2005). NIVA er involvert i eller koordinerer fleire prosjektsøknader til NFR for bølge/strøm modellering –utfallet av desse blir klårt på slutten av 2005.

Fylkeskommunen ønska også at vi kontakta ymse interesse/brukargrupper (oppdrettsfirma, kommunar m.v.) for å få deira synspunkt på problemstillingar og metodane som er blitt vurdert. Dette er delvis blitt utført, og vil bli følgt opp i Fase II.

1.3 Litt om vassutskifting i relasjon til oppdrett

Betydninga av tilstrekkeleg strøm eller utskifting i merdane er uomtvisteleg. Gjennom åra er det gjennomført fleire studiar omkring dette, og faktumet at strømforholda er viktig er understreka i mange fagrapportar og publikasjonar (sjå t.d. Braaten et al. 1992, Ervik 1994, Braaten og Golmen 1995).

Med sjukdomsutbrota og laksekrise som prega og til dels lamma oppdrettsnæringa i åra rundt 1990, blei forskingsfokus naturleg nok retta mot fiskehelse og sjukdomsnedkjemping, og systematiske studiar av fysiske faktorar knytt til lokalitetane, slik som strømtilhøve, kom i bakgrunnen.

Utgreiingar frå denne perioden (t.d. Dragesund 1992) omkring forskingsbehovet innafor havbruksforskning nemner imidlertid strøm/vassutskifting indirekte i samband med sjukdomsspreiing, algeproblematikk, antibiotika o.l., men ikkje direkte i samanheng med lakseproduksjonen (drift).

1.3.1 MOM-systemet

“MOM” (Modellering-Overvåking-Matfiskanlegg) systemet (Ervik et. al 1993) som var til utprøving ei periode, er no teken i bruk av næringa og konsulentar. Konseptet opererer med tre ulike nivå for lokalitets-granskingar; A, B og C.

Modellen i MOM-C bereknar kva miljøverknader eit gitt anlegg har/vil ha på ein lokalitet, og korleis eit anlegg kan utformast og drivast for å minimalisere miljøverknadene eller halde desse innafor gjevne grenser.

MOM-modellen har fire hovedkomponentar:

- **Fiskemodulen** bereknar utslepp av oppløyst og partikulært stoff, og fiskens oksygenbehov
- **Spredningsmodulen** bereknar korleis forspill/fekaliar blir spreidd og sedimenterer
- **Vasskvalitetsmodulen** bereknar tilstand i sjøen i/rundt anlegget (nærsonene/fjernsone)
- **Sedimentmodulen** omhandlar tilstand i sedimentet som mottar forspill/fekaliar.

Vannstrøm inngår som ein inn-parameter i dei tre sistnemnde modulane. Resultata frå spreingsmodellen påverkar resultata i sedimentmodulen, som igjen påverkar resultata i vasskvalitetsmodulen. Spredningsmodulen krev kunnskap om strømmen i ulike djup over tid, mens sedimentmodulen krev kjennskap til botnstrøm. For vasskvalitetsmodulen (nærsonene) er eksplisitt nemnt (Ervik et al. 1993): “strømmens fart og retning - kritisk strømstatistikk for anlegget”.

Såleis er kunnskap om vannstrømmen, om dens variabilitet og “kritisk strømstatistikk” viktig også for MOM-systemet.

Eit problem med MOM er at data og simuleringar som blir utført, ikkje blir publisert med forblir oppdrettsfirmaets eigedom. Dermed kan det vere vanskeleg å få nytta resultata i meir heilskaplege studiar og i validering/samanlikning med andre modellar.

1.3.2 NYTEK

NYTEK-forskriften var innført 1. januar 2004, og spesifiserer nye krav til teknisk standard for flytande oppdrettsanlegg og dei hovedkomponentane som inngår i slike anlegg (flytekrage, flåte, lekter, not og fortøyning). Det viktigaste formålet med å stille slike krav er å begrense røming av fisk, og alle anlegg/komponentar som blir tekne i bruk skal nå vere produktsertifisert. Forskriften stiller også krav om at alle anlegg som var utplassert på lokalitet før januar 2004 må ha såkalla

dugelighetsbevis innan 1. januar 2006. I NYTEK-forskriften er det synt til Norsk Standard NS 9415 (2003) der strøm og bølgeeksponering er her nemnt eksplisitt som faktorar som må målast/bestemmast.

1.3.3 Krav til minstestrøm i oppdrett

Det må vere ei viss vassutskifting i merdane blant anna for å kompensere for fiskens oksygenforbruk. Det er opplagt at fisken fort vil få problem i stagnerande vatn. Aure (1983) rekna at eit anlegg med ein fiskekonsentrasjon på 8-10 kg/m³, som er lite i forhold til dagens, treng ein gjennomsnittsstrøm på minst **2 cm/s** for å oppretthalde tilfredsstillande oksygenforhold.

Groe på merdane kan redusere strømmen inne i merdane med 70 % (Sætre, 1975). For å kompensere for dette, bør middelstrømstyrke vere ca. **10 cm/s** i følgje Sætre. Andersen (1996, s. 16) skriv at middelstrømmen i 5 m djup bør vere over **3 cm/s**, utan å referere direkte til kjelder for denne minimumsverdien. Det er m.a.o. store sprik i dei oppgjevne verdiane, som til dels er bygd på ulike føresetnader.

Om anlegget er orientert slik at det ligg med langsida mot den dominerande strømrretningen, bør vassutskiftinga i merdane bli best. Både merdane og fisk i merdane påverkar strømbiletet, særleg når strømmen er svak. Braaten og Golmen (1994) målte ein 75 % forskjell i strømmen mellom oppstrøms og nedstrøms anlegget på ein open kystlokalitet, med reine nøter.

Vatnet søkjer minste motstands veg. Det vil sei at vatnet vil forsøke å strømme rundt anlegget heller enn gjennom eller under det. Mange merdar etter kvarandre langs hovedstrømmen gjev svært redusert strøm i merdane som ligg lengst i lé. Dersom merdane er mykje begrodd kan strømmen i merd nummer to nedstrøms bli redusert til under 40 % av strømmen utanfor. I merd nummer seks vert det då praktisk talt ikkje strøm i følgje Aarsnes et al. (1990).

Det er nok neppe korrekt å kunngjere ein "universell" minsteverdi for krav til gjennomstrømminga. Behovet vil variere i høve til mange faktorar, slik som

- fisketettleik
- total fiskemengd
- fiskens alder og kondisjon
- tid på året (evt. lys-intensitet)
- anleggets orientering i høve til aktuell (nåtids) strøm
- foringsintensitet
- sjøtemperatur
- sjøens oksygeninnhald
- algekonsentrasjon
- djupne på lokaliteten

For strøm ved sjøbotnen vil krava vere annleis enn for overflatestrøm og strøm i merdane. I følgje Stene (1996 s. 100) bør strømmen langs botn under eit anlegg gjennomsnittleg ligge på 4-5 cm/s, ha kun korte strømfrie periodar, og periodevis ha markert styrke (7-10 cm/s).

1.3.4 Middelstrøm og strømmens variabilitet

Når ein studerer måleseriar for strøm, er det sjeldan ein ser ideal-resultatet med tilnærma konstant og einsretta strøm som t.d. i ei elv eller i ei oppdrettsrenne på land, der ein lett kan sjå at ein einskild middelvei for strømsstyrken gjev eit godt uttrykk for "strømtilhøva". I dei fleste tilfelle vil middelveidien kun gje ein indikasjon på tilhøva. Det som framtrer tydelegast i vanlege måleseriar er

variabiliteten i strømmen, d.v.s. hyppig variasjon i både retning og strømstyrke. Målingar frå havbrukslokalitetar (sjå t.d. Golmen og Nygaard 1997) er eit godt døme på dette.

Ein måleserie kan godt ha ein relativt høg middelvei for strømstyrke, og likevel innehalde lange periodar med lite eller ingen strøm. For oppdrettaren vil nok desse periodane vere av større interesse å ha kjennskap til, enn sjølve middelveien. Det er såleis av interesse å finne fram til andre parametrar og storleikar som kan gje eit betre og meir relevant uttrykk for strømtilhøva enn t.d. middelveien.

Det er ønskeleg å finne parametrar som i større grad enn middelveien for strømstyrke og "midlare strømreretning" gjev uttrykk for dei reelle strømførhølda. Faktorar og fenomen som det kan vere ønskeleg å berekne, kan vere:

- Forekomst og varighet av strømsvake periodar
- Forekomst og varighet av strømssterke periodar
- Forekomst og varighet av strøm innafor gitte retningssektorar
- Forekomst og varighet av strøm innafor "gunstig" retningssektor
- Total-bilete av variabiliteten; varians, standardavvik, energispekter, turbulensskala
- "Mønsteret" i strømbiletet
- Teoretiske ekstremverdiar

Ein del konvensjonelle statistiske og matematiske metodar for analyse av tidsseriar vil kunne anvendast på ein del av desse momenta (t.d. varians, Fourieranalyse, energispekter, "varighetsanalyse" (Golmen 1994)) vil kunne anvendast på fleire av desse. "Mønsteret" i ein måleserie for strøm vil ha i seg element av alle momenta ovanfor. Det er såleis rimeleg å anta at der er ein direkte samanheng mellom mønsteret i måleserien og lokaliteten, men dette er berre delvis kjent/belyst hittil. Her vil metodar frå andre vitenskapar for mønstergjenkjenning og fleir-dimensjonal frekvensanalyse slik som Wavelet-transform (Kaiser 1994) kunne anvendast for å klargjere samanhengar.

1.3.5 Strømførhold og lokalitet

Resultata i ein måleserie vil i stor grad reflektere lokalitetens (måleposisjonens) plassering i høve til kystlinje og topografi for øvrig. Eit aktuelt spørsmål er om det er mogleg å knyte ein samanheng (parametrisere relasjonen) mellom topografi og strømtilhøva. Om ein kunne få til ein grov-parametrisering her, ville ein i større grad kunne tilpasse anlegg og drift til lokaliteten, og ein kunne skilje "eigna" lokalitetar frå "mindre eigna" utan å måtte utføre omfattande granskingar.

Ein må her vere førebudd på at generelt sett positive korrelasjonar eller samanhengar som kan framkome, vil kunne ha mange og store einskild-avvik. Det er nok også mange døme på at anlegg som ligg i "dårleg eigna" eller "strømsvake" område går godt, og at anlegg på "gode" lokalitetar går dårleg.

Utviklinga dei siste 10-15 åra har gått i retning av å flytte anlegg til djupare og meir opne/eksponerte farvatn, for å unngå den risikoen og dei avgrensingane som uansett vil kunne hefte ved ein skjerna lokalitet.

1.3.6 Kalkulasjon av oksygenforbruk

Faktisk oksygenforbruk i merdane avheng av biomasse, fiskens respirasjon og fôropptak. Desse faktorane er nært knytt opp m.a. til sjøens temperatur og fiskens vekstsyklus. Jamfør med fiskemodulen i MOM-modellen (Ervik et al. 1993).

Eit rekneeksempel kan illustrere samanheng mellom oksygenforbruket og nødvendig strøm:

Eit grovt anslag for oksygenforbruket i juni-juli kan settast til 10 kg O₂/tonn fisk pr. døgn. Dette talet kan auke utover hausten (Braaten og Golmen, 1994). Anta vidare at ein har ein kvadratisk merd på 20 gangar 20 meter og 10 meter djupne, med ein biomassekonsentrasjon på 25 kg/m³ som tilsvarar ein total biomasse på 100 tonn og eit oksygenforbruk på 1 000 kg/O₂ pr. døgn. Vi antar at vatnet som strøymmer inn i merden har ein oksygenkonsentrasjon på 9 mg/l mens vatnet som strøymmer ut av merden har ein oksygenkonsentrasjon på 7 mg/l (oksygenverdiar lågare enn 7 mg/l inne i merden er ikkje ønskeleg sidan dette kan ha innverknad på fiskens trivsel og tilvekst (Andersen 1996, s. 15, og Davis 1975).

For å kompensere for dette oksygenforbruket og for å halde oksygenkonsentrasjonen inne i merden over 7 mg/l trengst ein gjennomsnittsstrøm på 2,9 cm/s i den aktuelle merden. Dette illustrerer i grove trekk korleis ein kan rekne seg fram til ein minimumsverdi for strømmen.

Oksygenkonsentrasjonen er ein viktig miljøparameter i samband med merdoppdrett. Ved liten vassgjennomstrøyming vil mengd av ammonium/ammoniakk og karbondioksid auke. Ein auke av CO₂ vil i følge Forsberg (1995) samstundes redusere pH og gjere ammoniakk mindre giftig. Sjølv ved svak strøm vil fiskens eigenrørsle føre til ein viss utskifting av vatnet. I følgje dette er det derfor mindre truleg at ammoniakk vil vere ein faktor som påverkar tilvekst og trivsel hos laksefisk i merdar i sjøen. Samstundes er det viktig å påpeike at det er gjort få undersøkingar av strømsvake lokalitetar, og at den generelle kunnskapen er mangelfull for anlegg som ligg i slike kritiske område.

Det har vore gjort mange studiar av samanheng mellom vassutskifting og oksygenforbruk, biomasse etc. i basseng og tankar på land. Studiane indikerer ein sterk korrelasjon mellom oksygenforbruk og fiskestorleik, vassstemperatur og gjennomstrøyming. Forsberg (1994) kom fram til følgjande relasjon

$$M = 1,92 W^{-0,27} * T^{0,63} * 10^{0,01C}, \text{ der}$$

M: oksygenforbruk (mg O₂ pr kg fisk pr minutt)

W: Fiskestorleik (g)

T: Vassstemperatur (°C)

C: Vannstrøm (cm/s).

Når strømmen aukar vil fisken måtte bruke meir energi på å halde seg i posisjon. Auka strøm gir altså større oksygenforbruk.

Om ein overfører resultatata til eit merdanlegg, så vil kraftigare strøm medføre auka tilførsler av oksygenrikt vatn som meir enn kompenserer for auka forbruk. Ved å sette inn nokre verdiar ser ein at strømmen har stor vekt:

	5 cm/s	25 cm/s	50 cm/s
Auke i O ₂ -forbruk relativt til 2 cm/s strøm	6,7 %	69 %	201 %
Auke i O ₂ -tilførsler	1,5 X	11,5 X	24 X

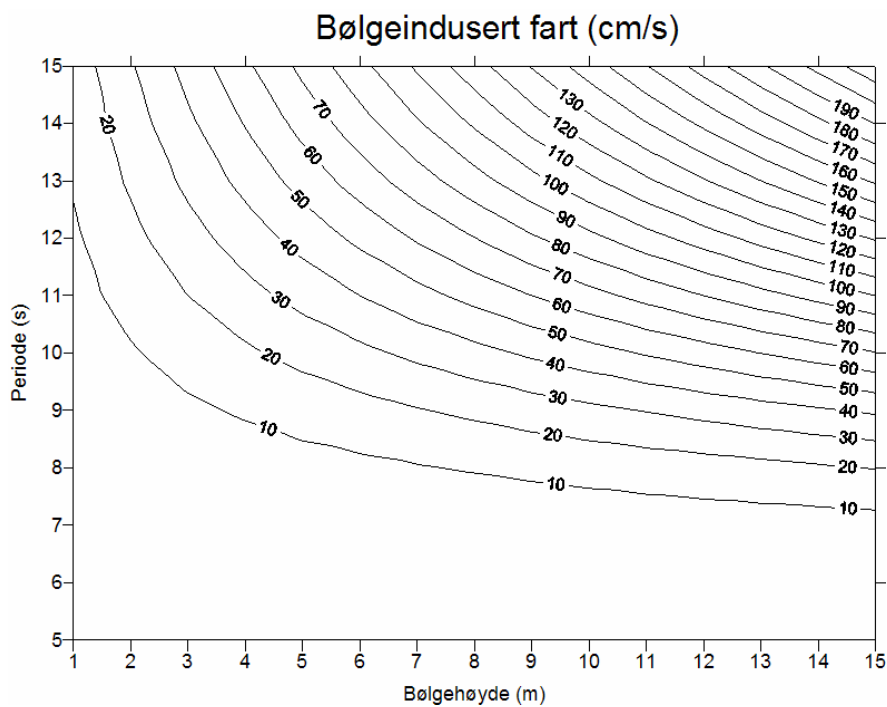
Rekneeksempelet syner at gjennomstrøyminga mange gonger kompenserer for auken i energiforbruk. Forbruket for ein gjeven fiskestorleik aukar også med aukande temperatur. Ein temperaturauke frå 6 til 16 grader medfører anslagsvis dobling i fiskens oksygenforbruk. Dette vil dermed medføre behov for minimum dobla vassutskifting ved same fisketettleik, dersom tilhøva før (ved 6 grader) var marginale.

Måling av oksygen og oksygenforbruk i merdar på 1990-talet (Braaten et al. 1993, Braaten og Golmen 1994) har gitt målbare, men ikkje høge verdiar for oksygenreduksjonen nedstrøms godt eksponerte anlegg. Typisk ligg verdiane på rundt 0,5 mg/l O₂ som er av same storleik som kortvarige

fluktuasjonar i bakgrunnsverdiar. Større (2 mg/l) skilnadar er imidlertid også rapportert (Braaten et al. 1992).

1.4 Bølgeindusert botn-strøm

Før ein går til meir avanserte verktøy syner vi døme på enklare berekningar ved hjelp av formelverk. Ved hjelp formlar kan ein rekne ut strømmen som er induisert av overflatebølger. Slike berekningar blir ofte nytta for å vurdere kor stabile sedimenta på botnen er, og kor stor risiko det er for oppvirvling av sediment og partiklar i uversperioder (Golmen et al. 1996). Bølgjehøgde, bølgjelengde (eller periode) og botndjup er viktige inn-parametrar, saman med data for botnsubstratet. Dei fleste formlane/modellane forutset rimeleg flat botn. **Figur 2** syner eit døme på utrekna straumstyrke på 60 m djup.



Figur 2. Utrekna botnstraum som funksjon av bølgjehøgde og periode (botndjup 60 meter i dette tilfellet).

2. Typifisering av lokalitetar

Tidlegare har det vore nytta omgrep som kyst og fjordlokalitet. Desse har gjerne så blitt delt inn etter om botndjupet ligg over eller under terskeldjupet (Aure 1989). Ei anna kategorisering av sjøområda i kystsona blei innført gjennom LENKA arbeidet (NOU 1990) der ein innførte dei arealbaserte omgrepa A, B og C områder, som følgjer:

- A: Opne kystområde og store fjordar, djupare enn 50 m**
- B: Andre sjøområde med god vassutskifting**
- C: Små terskelfjordar og andre terskelområde**

Desse inndelingane har blitt gjort for å studere miljøeffektar av belastning frå oppdrett (Aure) og for å finne naturleg resipientkapasitet for større områder enn ein einskild lokalitet (LENKA). Andre inndelingar kan vere bestemt ut frå eksponeringsgrad for t.d. bølger.

Ut frå vår naturlege arbeidshypotese om at strømmen er ein viktig faktor for miljø og drift, og at lokale topografiske tilhøve i kystsona er sterkt bestemmande for strømtilhøva, har vi forsøksvis valt å klassifisere oppdrettslokalitetane i tre hovedytpar:

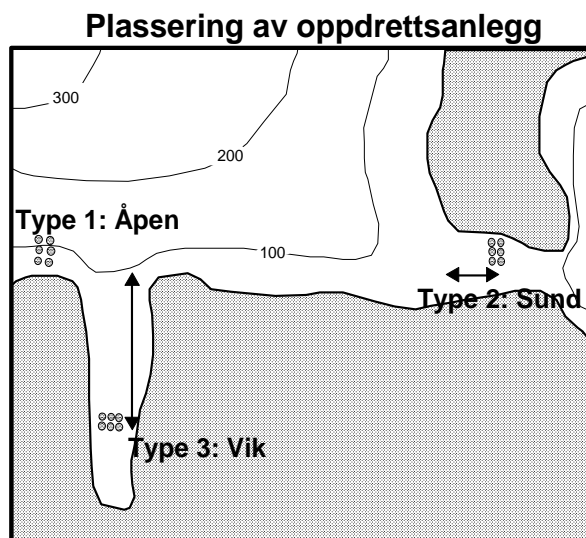
- 1: O, eit Ope område**
- 2: S, eit Sund**
- 3: V, ei Vik**

Figur 3 syner eksempel på desse tre typane, som alle har sine pluss og minus-sider.

I byrjinga var dei fleste oppdrettsanlegg plassert skjerna for vér og vind langt inne i viker og bukter (vår type “V”). Her er det både lett og billig å forankre anlegget, og der er gjerne liten bølgeeksponering. Grunt vatn, svak strøm og risiko for resuspensjon av sediment kan lett føre til dårlege miljø- og driftstilhøve der. Om lokaliteten i tillegg ligg i ein fjord/poll med grunn terskel, kan lokaliteten vere særskild dårleg eigna.

Strømforholda er ofte mykje betre i sund (type “S”), sidan topografiske innsnevringar fører til auka strømsstyrke. Strømmen der pleier å vere regelmessig varierande. Strømretningen pleier å vere parallell med land og tidvatnet dominerer oftast med sin ca. 12,5 timars periode. Spesiell topografi kan imidlertid medføre bakevjer. Slike djupe, breie sund utan tersklar er oftast gode lokalitetar for fiskeoppdrett.

Dei opne lokalitetane (type “O”) er tatt meir i bruk dei siste åra. Her ligg oppdrettsanlegget opent med skrånande botn ut mot ein stor resipient. På grunn av dårlege forankringstilhøve, store djup og eksponering for bølger og vind kan det her vere både dyrt og vanskeleg å plassere anlegga, men ny tekologi som har kome dei siste åra har i større grad gjort dette mogleg.



Figur 3. Forslag til typifisering av oppdrettslokaliteter ut frå lokal topografi (frå Golmen og Nygaard 1997).

3. Numeriske modellar- generelt

Numeriske modellar for hydrodynamikk vil kunne gje viktig informasjon om strømførholda på ein gjeven lokalitet, og kan bli eit alternativ eller supplement til målingar. For å gje gode resultat må ein kanskje nytte tre-dimensjonale modellar, som også tar med ulike djupnesjikt. Eit problem med slike modellar har hittil vore at den horisontale oppløysinga (avstand mellom punkt der modellen gjer berekningar) har vore for stor, gjerne på skala 0,5-1 km eller meir. Dette gjev for lite informasjon om lokale tilhøve.

Etter kvart som reknepasiteten aukar på datamaskinene, vil ein kunne få betre oppløysing og dermed betre resultat. Havforskningsinstituttet (L. Asplin m fl.) oppnådde resultat med 250x250 m oppløysing for Ryfylkefjordane med ECOM3D modellen. I dag blir det gjort 3D berekningar med under 50 m gridoppløysing.

Dersom ein nyttar ein 2-dimensjonal modell, vil ein kunne få betre horisontal oppløysing i utgangspunktet, men miste ein del informasjon som følgje av at fysikken er dårlegare handsama (Golmen og Nygaard, 1997).

3.1 Eksisterande modellar, i bruk i Norge

3.1.1 Strøm/sirkulasjon

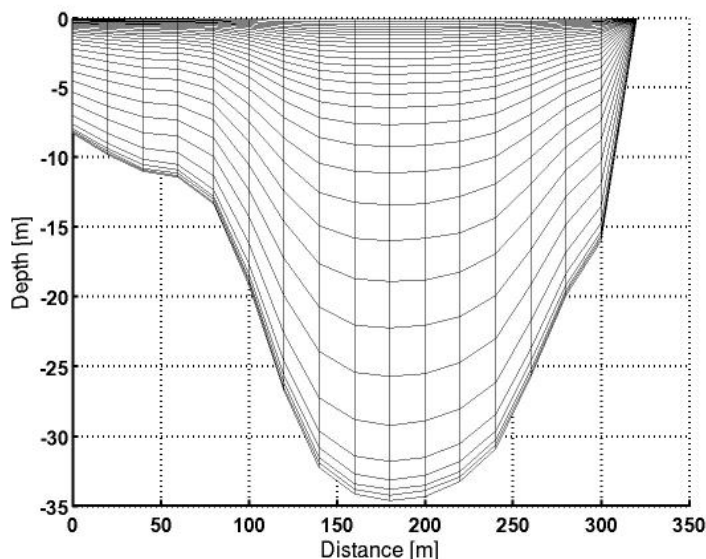
Det er nytta fleire "tunge" modellar i norske forskings miljø, slik som ved Havforskningsinstituttet, Universiteta i Bergen og Oslo, SINTEF/NTNU og Meteorologisk institutt. Desse modellane baserer seg enten på generisk sjølvoppbygd kode (for eksempel Slagstadmodellen på SINTEF/NTNU) eller på modellar utvikla ved andre institusjonar utanlands i "pionertida" på 1970 og 80 talet, spesielt USA (MIT, Princeton og Miami) og Tyskland (Max Planck og Univ. Hamburg). Felles for desse modellane er at dei vart utvikla for store datamaskiner (mainframes), og i det seinare tilpassa til parallellprosessering for å få resultat hurtigare ut.

Andre institutt, selskap og konsulentfirma nyttar andre modellar, som er meir skreddarsydd og operative for spesielle applikasjonar, slik som simulering av tidvatn (Gjevik, UiO), generell sirkulasjon (DHI modell MIKE 21, SMS-RMA2), for eutrofi-problematikk (NIVAs fjordmodell) og for hydraulikk og neddykka utslepp m.m..

Utviklinga av oseanografiske modellar har dei siste tiårafor øvrig gått parallelt med vidareutvikling av meteorologiske modellar, som byrja alt på 1950 talet. Etter kvart som arbeidsstasjonar og seinare PCar har fått stadig høgare kapasitet har dei tunge modellane blitt tilpassa til å kunne kjørast også på slike maskiner, med overkommeleg kjøretid. For komplekse modellar med tilnærma sanntid kjøring og oppdatering, og for korttids varsling er det likevel enno naudsynt med store datamaskiner, gjerne med parallellprosessering.

MITgcm (Marshall et al. 1997) er ein såkalla generell sirkulasjonsmodell (GCM) for marine område. Den løyser ein numerisk approksimasjon av dei tredimensjonale strømningslikningane (Navier-Stokes). Modellen skil seg frå dei fleste andre generelle sirkulasjonsmodellar ved at den tillet ein ikkje-hydrostatisk trykkfordeling. Dette blir viktig ved simuleringar i t.d. fjordar, der sjiktinga er markert, og vertikale og horisontale lengdeskalaer kan vere av same storleiksorden, og når vertikale akselerasjonar av den grunn ikkje kan ignorast. Modellen blei utvikla på MIT, med eit mål at den skal vere anvendbar på alle geofysiske skalaer, frå småskala problem kring blandnings- og konveksjonsprosessar, opp til globale oseanografiske simuleringar. I modellutviklinga er det også lagt stor vekt på ein effektiv parallellisering av koden samt på at modellen lett skal kunne flyttast mellom

ulike berekningsplattformer. NIVA har nyleg innleia eit samarbeide med Parallab på Høyteknologisenteret i Bergen for å kunne kjøre modellen på det nye Linuxklusteret der. Modellen anvender endeleg-volum metoden for diskretisering av strømningslikningane, noko som gjev fleksibilitet i representasjonen av botntopografien.



Figur 4. Eksempel på lag-fordeling i BOM over eit tverrsnitt av eit sund (Thiem et al. 2005).

BOM (Bergen Ocean Model) er ein generell sirkulasjonsmodell som er utvikla av Havforskningsinstituttet og Matematisk institutt, Universitetet i Bergen, basert på Princeton Ocean Model. Modellen er i dag hydrostatisk, d.v.s. at den først og fremst er eigna for simuleringar i opent hav, der den horisontale lengdeskalen tydeleg dominerer over den vertikale. Sjå t.d. Asplin et al. (1999) for meir informasjon og døme på bruk i Masfjorden. Det pågår arbeid for å gjere modellen ikkje-hydrostatisk. Modellen anvender endeleg-differens metoden for diskretisering av likningane. Ein god representasjon av botntopografien er sikra ved at modellen anvender såkalla sigma koordinatar (terrengføljande koordinatar) i vertikalen.


Det er nyleg gjennomført ein studie med samanlikning mellom dei to modellane BOM og MIT-GCM (Thiem et al. 2005). Test-området var Vatløstraumen ved Bergen. Med same utgangspunkt, (hydrostatisk, barotrop), ga modellane bra samsvar for dei generelle trekka ved strømmønsteret, men MIT modellen gir eit meir rudimentært mønster (**Figur 6**).

3.1.2 Bølgjemodellar

Det eksisterer mange modellar for berekning av vindgenererte overflatebølgjer. Dei enklaste baserer seg på "fetch" (strøklengde) metoden, der bølgjene i eit punkt (grid evt) er kalkulert basert på input om vindretning, vindstyrke/varighet, og lengd på open sjø i den aktuelle sektoren inn mot punktet (**Figur 5**). Det er utført omfattande modellering av strand-eksponering basert på slike algoritmer, m.a. gjennom HAMOD prosjektet (NIVA 2005). Dette er ei robust metode, utfordringane ligg i å velje ut rett datainput for vind, og å velje om ein skal modellere basert på vindstatistikk (middelvind) eller evt ekstremvind innfor ulike sektorar.

Marin Isæus på NIVA utvikla modellen Wave-Impact gjennom sitt Dr grads arbeid i Sverige. Denne modellen er statistisk, og inkluderer strøklengde, djup m.m. Den er utvikla først og fremst med tanke på marin habitatskarakterisering.

Bølgeeksponering - en viktig strukturerende faktor



- Bølgeeksponeringsformelen i "Norsk Standard for marine hardbunnsundersøkelser" er "scriptet" slik at den kan brukes til å beregne arealdekkende verdier for bølgeeksponeringsgrad
- Eksponeringen blir beregnet på tre nivåer ut fra avstanden (åpen vindstrekning) til nærmeste land:
 - 500 m - lokal eksponering
 - 7,5 km - fjord eksponering
 - 100 km – hav eksponering

$$E = \sum (\text{vindfrek}_i * \text{vindstyrke}_i * \text{antall åpne sektorer}_i)$$

- Ut fra disse beregnes det en total eksponeringsverdi der fjord er vektet 10x mer enn lokal, og hav 10x mer enn fjord (Rinde et al. 2004)
- For hvert nivå er eksponeringsgraden beregnet ut fra antall åpne 10 graders sektorer i 12 himmelretninger. De ulike himmelretningene blir vektet i forhold til vindmengden (årgjennomsnittet over flere år for styrke og frekvens). Vinddata fås fra meteorologisk institutt.

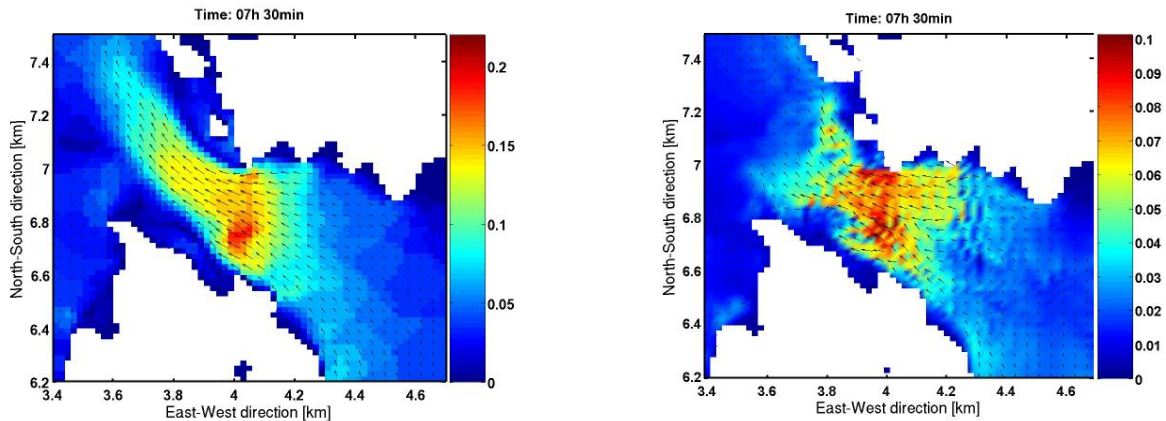
Figur 5. Bølgeeksponeringsmodellen i "Norsk standard for hardbunnsundersøkelser" (Kjelde: Eli Rinde, NIVA).

For simulering i opent hav er prognostiske modeller for utvikling av 2D bølgespekter som WAM modellen og WaveWatch mest nytta; Meteorologisk institutt kjører WAM. Modellane tar omsyn til ikkje-lineære effektar for distribusjon av energi mellom ulike bølgekompontar, bølgebryting og dissipasjon, samt refraksjon p.g.a. botn-føling/topografi.

SWAN ("Simulating Waves Nearshore") er ein bøljemodell for simulering nær kysten. Den inkluderer tidsvariabel strøm, og tillet både refraksjon og refleksjon frå kystlinja samt ikkje-lineær bølge-bølge samverknad (Booij et al. 1999; Ris et al. 1999). Ein hybrid av WAM, "Kmodel" for kystnære analyser gir bra resultat i høve til SWAN når det gjeld integrerte parametarar, men gir dårlegare konservering av bølgespekter.

STWAVE er ein s.k. steady-state, diagnostisk modell, utvikla av US Army Corps of Engineers, basert på lineær bølgeteori (Davis 1992). STWAVE simulerer både djupne-indusert og strøm-indusert bølge-refraksjon og "shoaling", bølgebryting p.g.a. minkande djupne og stigningsgrad, diffraksjon, bølge-vekst p.g.a. tilført vind-energi, bølge-bølge interaksjon og s.k. "white capping" som refordeler og dissiperer energi i eit aukande (veksande) bølgefelt. STWAVE inkluderer ikkje effekten av reflekterte bølger.

Modellen kan kalkulere eit steady-state 2D bølgespekter over detaljert topografi, og tar omsyn til bølgerrefraksjon, men ikkje bølge-refleksjon. På den opne grenseflata (mot havet) kan ein legge inn ein konstant vind og eit homogent bølgefelt (gjerne havdønning). Modellen er rekne-effektiv, men har begrensingar m.a. knytt til vilkåret om homogen grenseflate og lokalt generert bølgevekst på randslik at den ikkje er like eigna som meir avanserte modellar (SWAN) for samtidig simulering av større geografiske område. STWAVE er nytta m.a. av NIVA og Statoil. Sjå døme i kapittel 5.



Figur 6. Samanlikning mellom BOM og MIT-GCM for Vatlestraumen (Thiem et al. 2005).

3.1.3 3D modellar og GIS

Modell-simuleringar tar tid og krev computer-ressursar. I dag kan ein køyre avanserte 3D algoritmer på ein PC, men det vil framleis vere grenser for kort fort slike berekningar blir gjennomført. Skal ein simulere eit relativt stort grid for ei lengre periode, vil det fort kunne ta fleire timar å få ferdig ei simulering (strøm, bølger). Skal ein simulere lengre periodar (evt fram i tid), så må eig gjerne redusere grid-storleiken for å få overkomeleg reknetid. Dermed kan ein miste det romlege/regionale perspektivet.

Som interaktive verktøy t.d. i samband med GIS eignar dermed sanntids simuleringar med avanserte (3D) modellar seg lite; GIS løysinga må basere seg på ein database (lag/nivå) med ferdige resultat frå simuleringar, der essensielle parametar/resultat er tatt ut for kvart gridpunkt eller del-område.

3.2 Botntopografiske data

For å få fram grove mønster for sirkulasjon i overflatelaget vil ein kunne nytte 2-dimensjonale (1-lags), barotrope modellar, med flat botn og realistisk kyst-line, d.v.s. utan behov for detaljerte djupnedata. Slike modellar er raske og lette å implementere, men gjev berre eit tilnærma rett bilete.

For å få meir realistiske resultat må ein legge inn botn-data. For enkle studiar eller studiar av små område kan ein legge inn dette manuelt, ut frå sjøkart eller andre kjelder. Også for 2-D modellar vil dette gje eit meir realistisk mønster enn ved tilfellet med flat botn. Strømmen vil då få tendens til å konsentrere seg i djupe parti av eit sund, og ein kan få danna kvervlar som følgje av botn-topografien.

Skal ein få betre oppløysing vil det krevjast meir detaljerte botn-kart. Slikt materiale finst kommersielt tilgjengeleg, men kan ha ein relativt høg pris. Leverandørar er t.d. Norges Kartverk -Sjøkartverket, C-MAP og OLEX. Materialet er sjeldan 100% kvalitetssikra, slik at ein bør gå igjennom det før innlegging i modellane.

Fleire konsulentfirma utfører rimeleg botn-opplødding med lett feltutstyr, basert på ekkolodd og GPS, og data kan leggest direkte inn i t.d. OLEX systemet. Slike målingar vil kunne tilpassast ein modell for eit avgrensa område. Det har imidlertid vore rapportert om problemer med å nytte slike data, særleg sidan det lette utstyret (liten båt m.m.) har medført store avvik/feil i målingane.

Sjølve innlegginga av djupnedata kan skje meir eller mindre automatisk, dei fleste modellar har rutinar for implementering av botn-matriser. Kartverkets data (på vektorform) som kan kjøpast, har minimum

50 m avstand mellom punkt. Posisjonane har nøyaktigheit på +/- 50 m. Datamendene for ein kommune kan typisk ligge rundt 100 Mb, og filer blir levert i SOSI eller Shape format.

3.2.1 Nye marine grunnkart

Nye marine grunnkart inneheld fleire opplysningar enn tradisjonelle sjøkart, og har eit større brukspotensiale, også innafor strøm/bølgje modellering. Desse karta er gjerne basert på avansert opplodding, evt med multistrålelodd, og har stor detaljeringsgrad for topografien. Dei kan også innehalde opplysningar om backscatter signalet som gjenspeglar type botnsubstrat. Dermed kan slike kart også indirekte gje opplysningar om (botn)strømmen, og til dels også bølgeeksponering.

Problemet med slike kart er at dei førebels kun dekkjer fragment av kysten, kan vere kostbare å framskaffe kopi av, og kan vere bandlagde av ulike årsaker.

4. Nokre testar med SMS-RMA2

4.1 Modellen

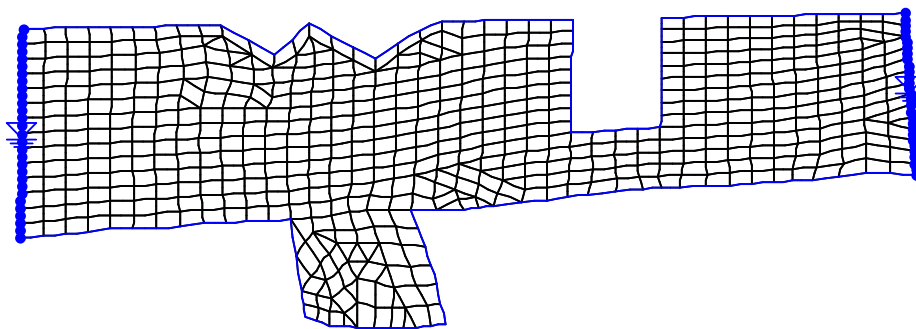
For å illustrere korleis topografi påverkar strømførholda vart det kjørt eit eksempel med NIVAs 2-dimensjonale numeriske modell (SMS – RMA2). Forkortinga SMS står for "Surface Water Modeling System", og er eit interface-program til blant anna den numeriske modellen RMA-2. Programmet SMS er laga ved Brigham Young University, -Engineering Computer Graphics Laboratory i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, og U.S. Federal Highway Administration (Davis 1992, ECGL 1994).

RMA-2 er ein dynamisk, todimensjonal, djupne-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen eignar seg best i område utan lagdeling. Modellen bereknar løysingar ved hjelp av endelig-element (finite element) metoden.

Gruntvannsligningane i RMA-2 er Navier-Stokes likningar for bevaring av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

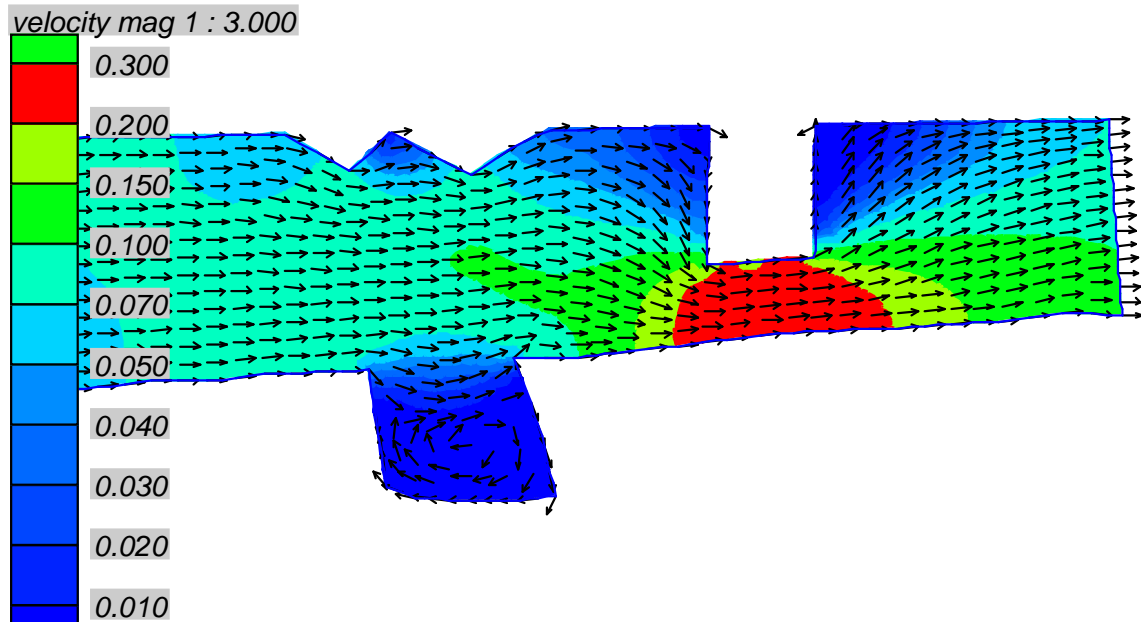
4.1.1 “Teoretisk sund”

Figur 7 illustrerer eit “teoretisk” sund i øst/vest retning med innsnevring og 2 viker. Modellert strøm inn/ut av sundet (randvilkår til modellen) blei kontrollert ved hjelp av realistiske vannstandsvariasjonar i kvar ende av sundet. Desse amplitudane blei satt til å variere med 12 timars periode (~ halvdagleg tidevatn).

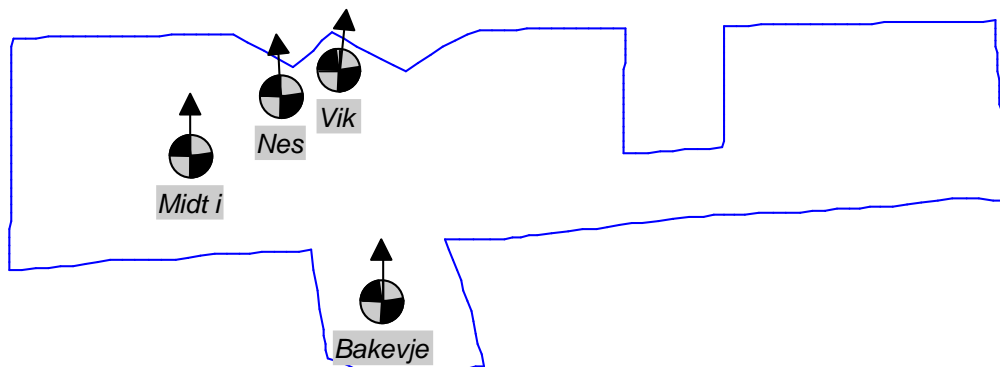


Figur 7. Nettverket som vart brukt til modellberekningane. “Sundet” er ca. 450 langt og 100 m breitt. Djupet vart satt til 10 meter alle stader, slik at ein simulerer strøm i eitt lag.

Figur 8 syner resultat ved maksimal austleg strøm i sundet. Figuren viser korleis vatnet blir akselerert gjennom innsnevringa. Ein ser også at det blir danna ei bakevje i den største vika (i sør). Vika i nord påverkar også strømmen kraftig. Dette ser ein tydeleg av **Figur 10** som viser tidsvariasjon i strømfart i 4 posisjonar i sundet. Posisjonane er innteikna i **Figur 9**, i den nederste vika (bakevja) var det svært lav fart. Det som er meir overraskande er at den relativt vesle vika i nord påverkar strømmen så mykje. Strømmen ved neset er om lag 2 gongar sterkare enn strømmen i vika.



Figur 8. Resultat frå modell-kjøringane for eit konstruert “sund” ved maksimal austgåande strøm.

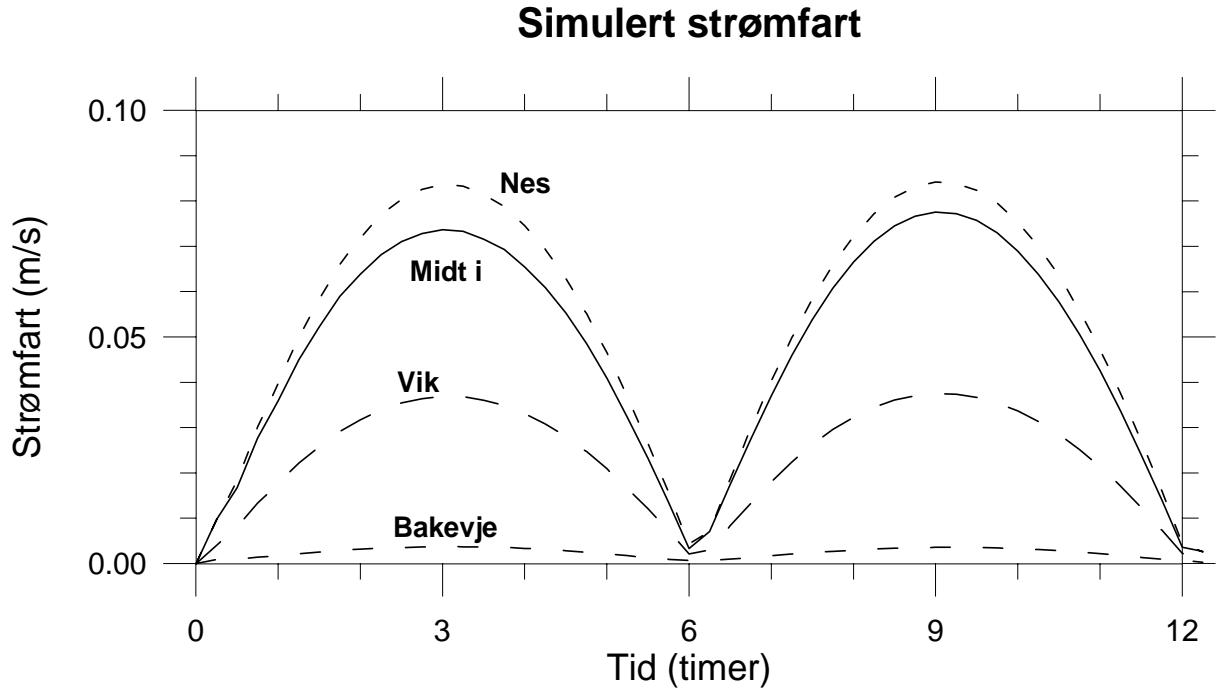


Figur 9. Posisjonar i sundet der det er tatt ut tidsseriar for strømfart (ref. til figur 10).

Denne enkle modellen viser som venta at innsnevringar (sund) gir auka strømfart, og at det normalt er sterkare strøm utanfor eit nes enn utanfor ei vik. Vikar kan imidlertid også påverke strømmen mykje, både oppstrøms og nedstrøms.

4.1.2 Realistisk topografi

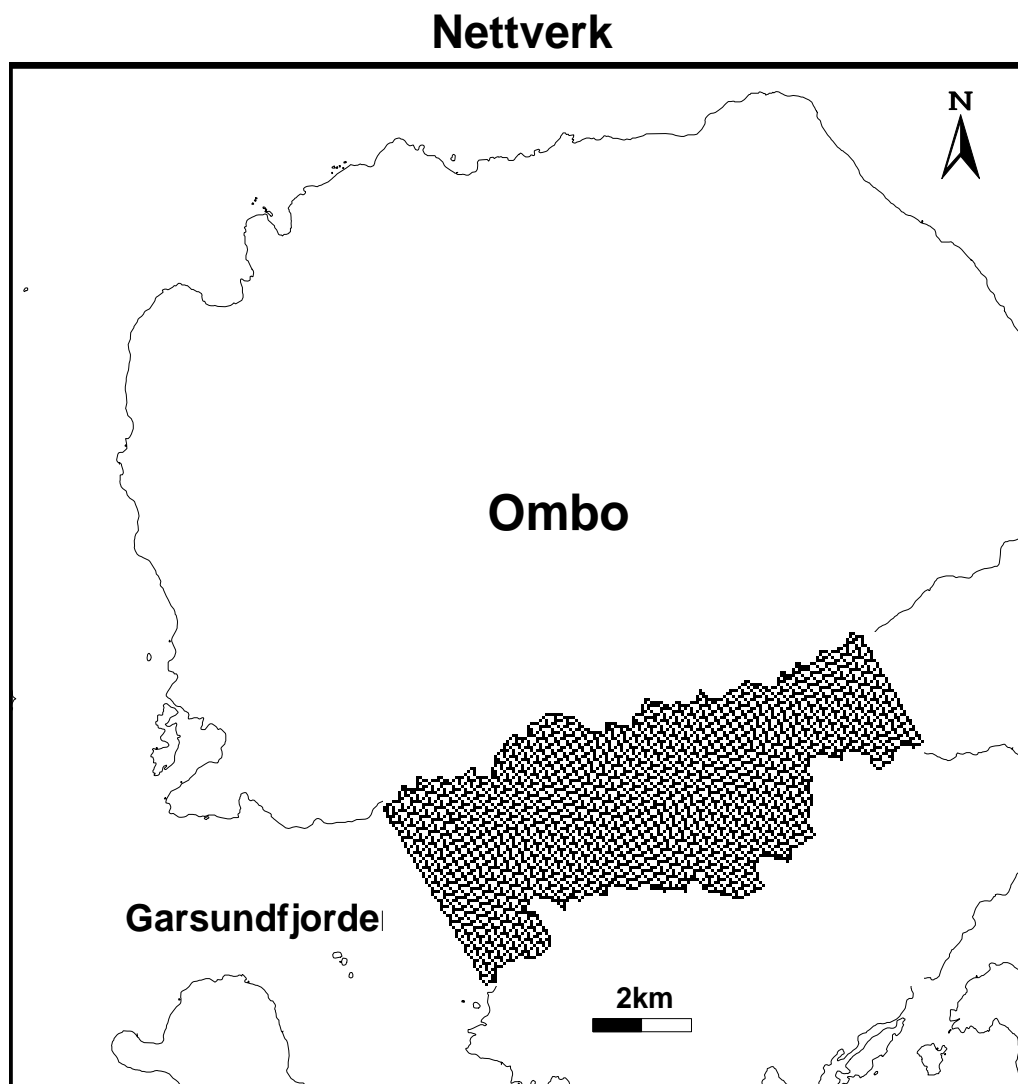
Som eksempel på ein meir realistisk situasjon har vi tatt inn resultat frå modellering gjort av NIVA for deler av Garsundfjorden som ligg mellom Ombo og Randøy i Ryfylke (Nygaard 1997). Dette for å finne kor mykje strømmen blir dempa inne i ei konkret vik (Langavik), i høve til hovedstrømmen utanfor. Det vart der modellert strøm i eit 10 meter tjukt øvre lag, som i foregåande eksempel. Det vart kjørt ei periode med strøm mot vest og ei periode med strøm mot aust.



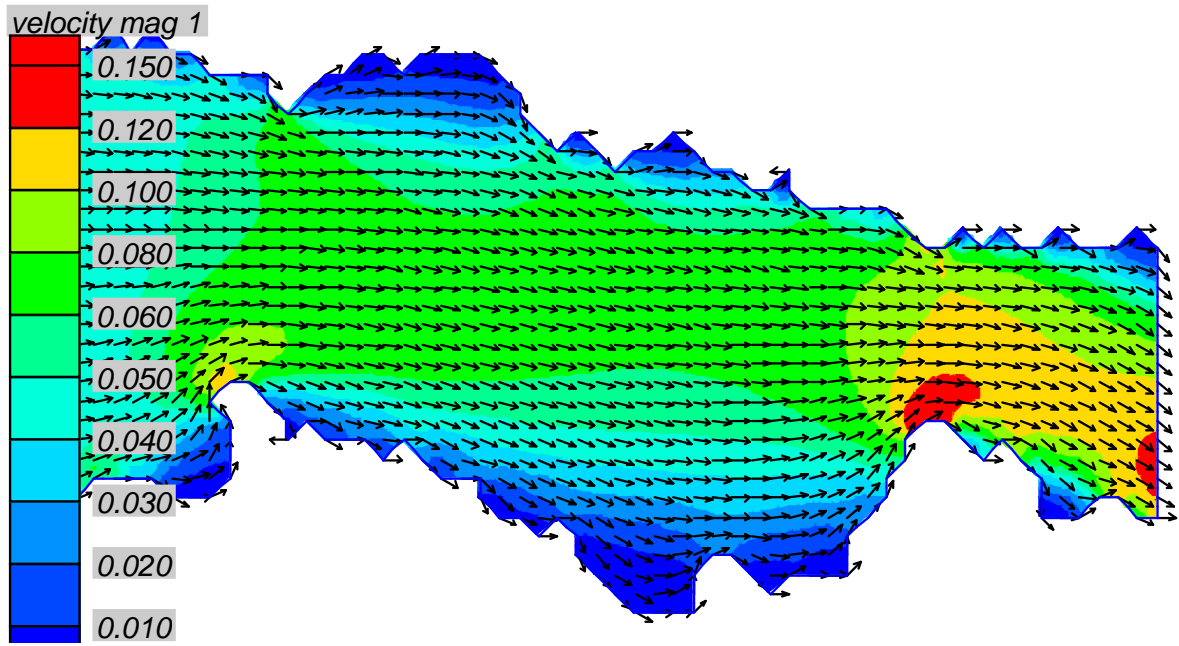
Figur 10. Tidsseriar av modellert strømfart over ein tidevannssperiode i dei fire posisjonane som er vist i førre figur.

Figur 11 viser det 2-dimensjonale nettverket som vart brukt til desse modellkjøringane. **Figur 12 og Figur 13** viser resultat med h.h.v. austleg og vestleg strøm. Dei angitte verdiane for strømsstyrke må sjåast på som relative verdiane fordi modellen ikkje er kalibrert. Derimot eignar resultata seg godt til å samanlikne overflatestrøm på forskjellige typar lokalitetar.

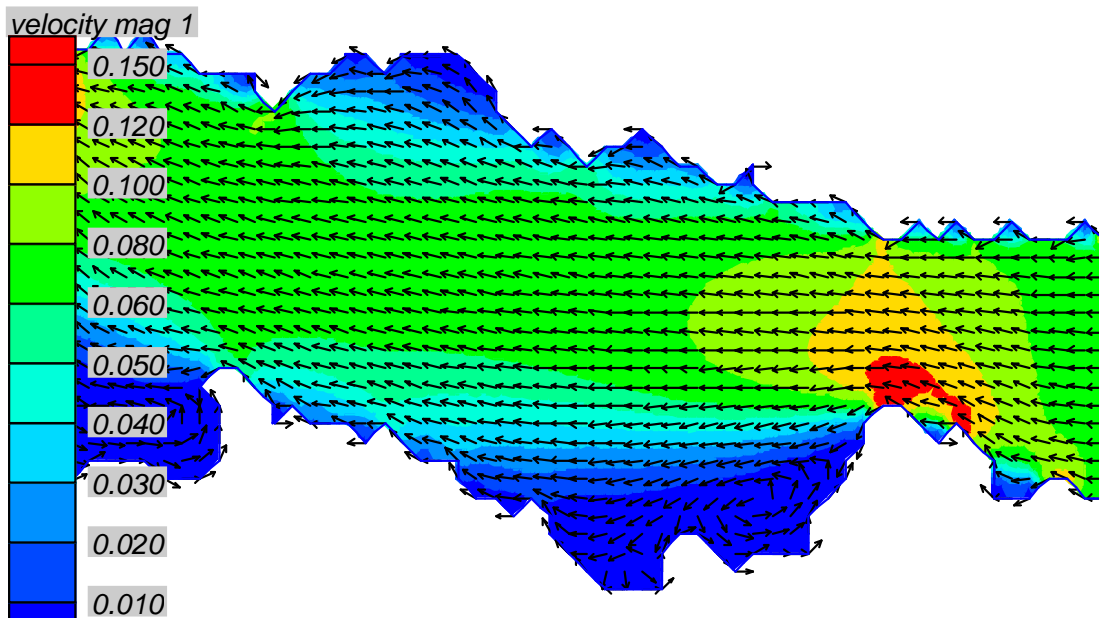
Modellkjøringane viser at Langavika (som døme) ligg i lé for hovedstrømmen både ved austleg og vestleg strøm. Ein får derimot forsterking av strømmen ved begge nesa aust og vest for Langavika, då særleg ved neset på vestsida. Modellen syner at ein vil kunne få 2-3 gonger sterkare strøm ved neset som det ein får sentralt i vika. Modellkjøringane viser at ein får sterk strøm ved alle nesa. I alle vikene blir strømmen svak og i ein del tilfelle vert det danna bakevjer.



Figur 11. Det 2-dimensjonale nettverket som vart brukt i til modell-kjøringane synt i Figur 12-13.



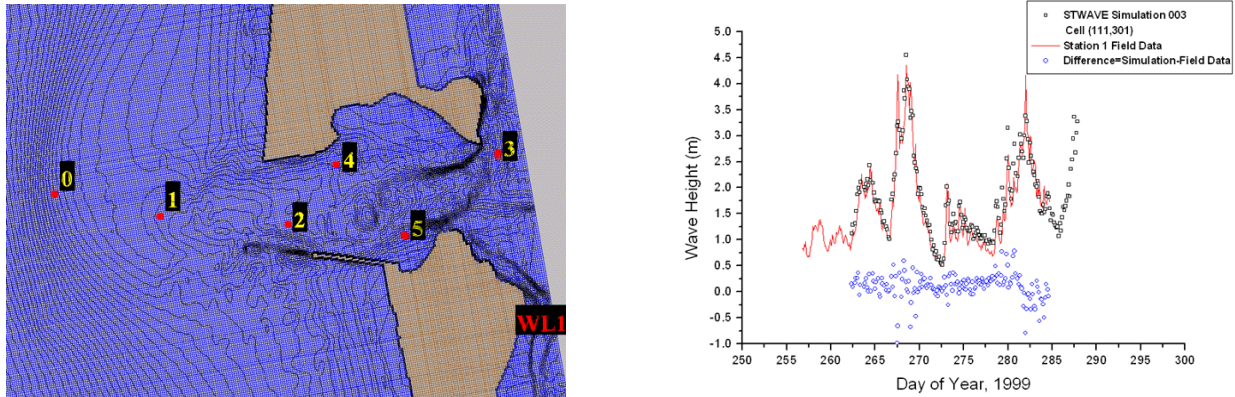
Figur 12. Resultat frå modellkjøringane med austleg strøm.



Figur 13. Resultat frå modellkjøringane med vestleg strøm.

5. Bølge-simulering

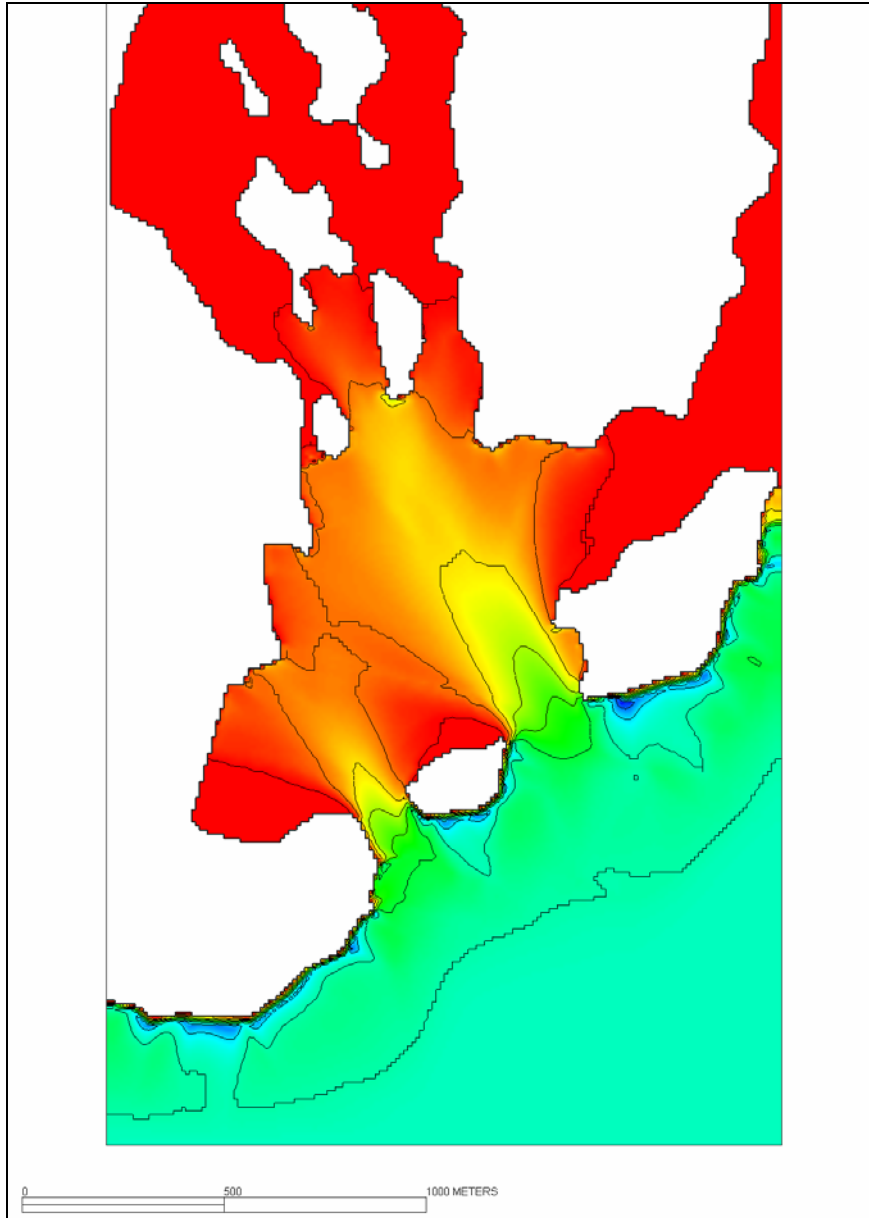
Vi har gjort testar av modellen STWAVE som er ein av modulane under SMS-paraplyen. Modellen er velprøvd og fungerer bra, i h.h.t. dokumentasjon m.a. frå USA.



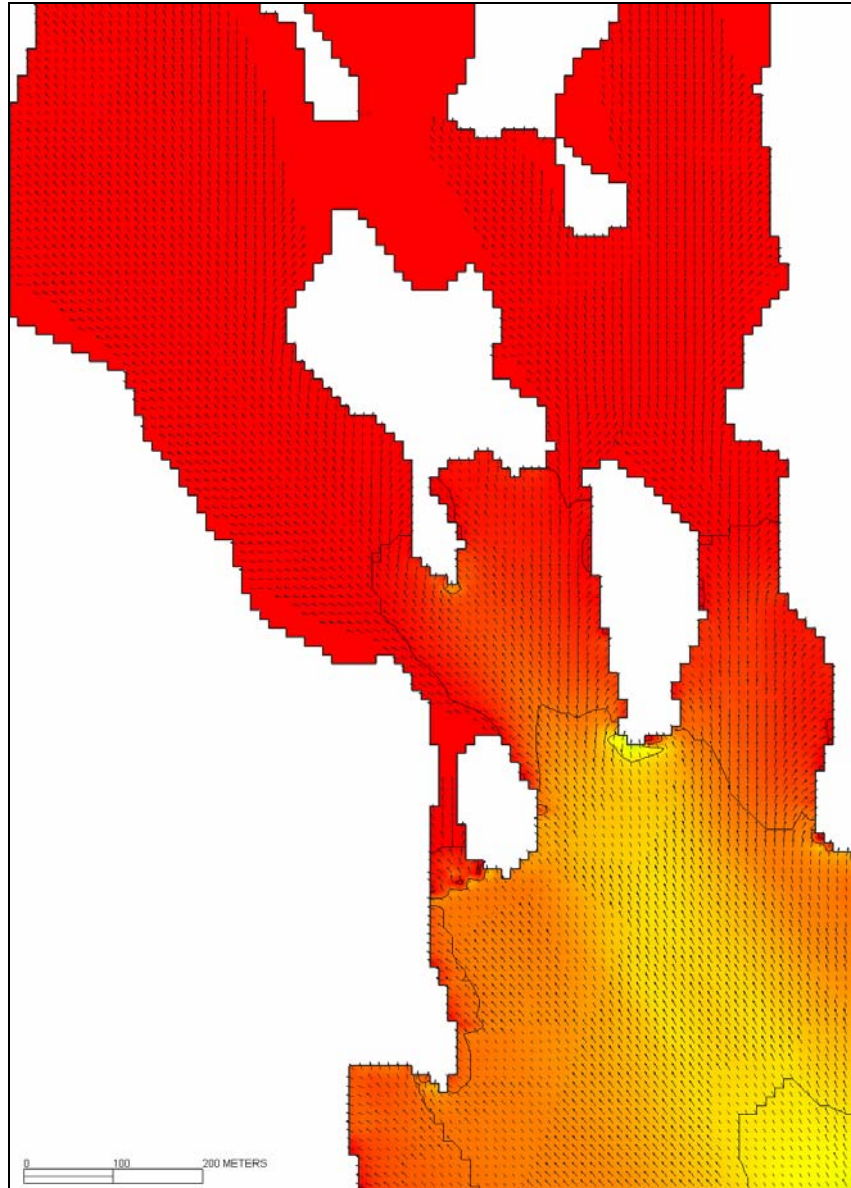
Figur 14. Illustrasjon av validering av STWAVE modellen ved ein test i USA. I grafen til høgre er det gjort ein samanlikning mellom modell og målt bølgehøgde i punktet "1".

5.1 Kjøring for case Lerøy-Bjelkarøy

Vi syner i dette avsnittet nokre døme/resultat for kjøring av STWAVE for området Bjelkarøy-Lerøy i Hordaland (**Figur 15-16**). Kjøringane er gjort med vind/bølgeeksponering frå sør-sørvest for å finne korleis bølger kan forplante seg inn mellom øyane. Slike simuleringar gjev nyttige opplysningar/data i s.b.m. vurderingar om lokalisering av oppdrettsanlegg, kommunale og vegmessige reguleringar o. l.



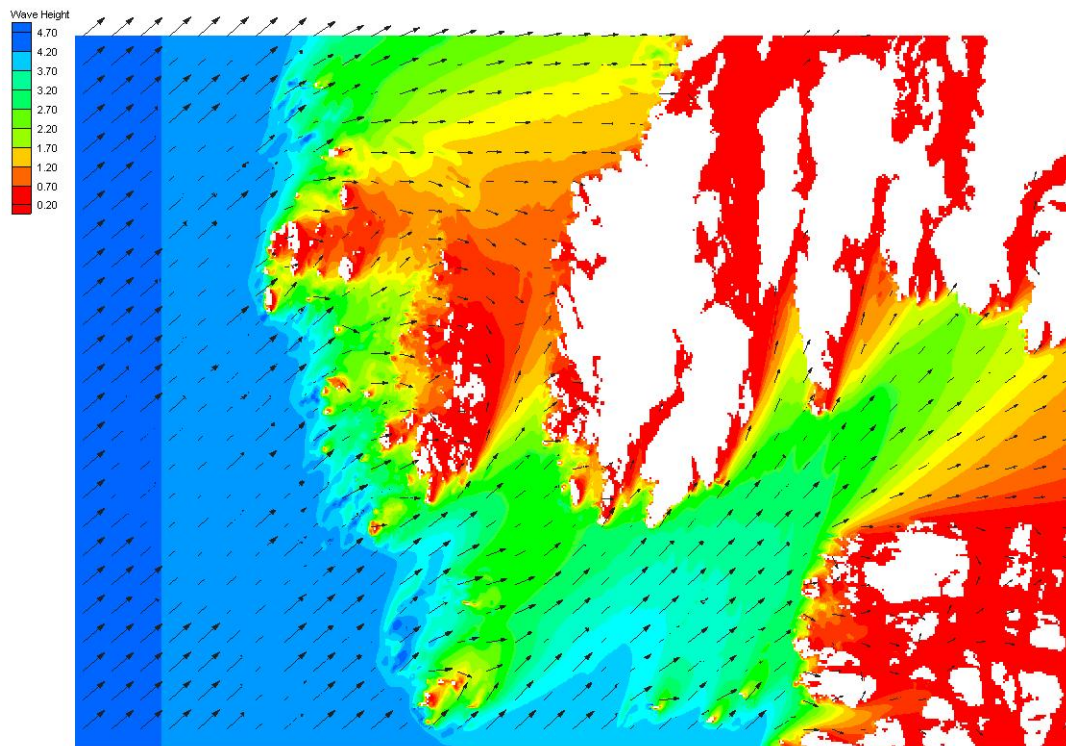
Figur 15. Resultat for bølghøgda berekna med STWAVE. Innkomande bølghøgda er 1,5 m og bølgeretning er (mot) NNV. Raud (evt. mørk) farge motsvarar bølghøgda 0,05 m, m.a.o. nesten heilt ned-dempa bølger.



Figur 16. Refraksjons- og diffraksjonsmønster for samme inngongsparametrar som i forrige figur.

5.2 Refraksjonsanalyse med STWAVE, case for ytre del av Sognefjorden

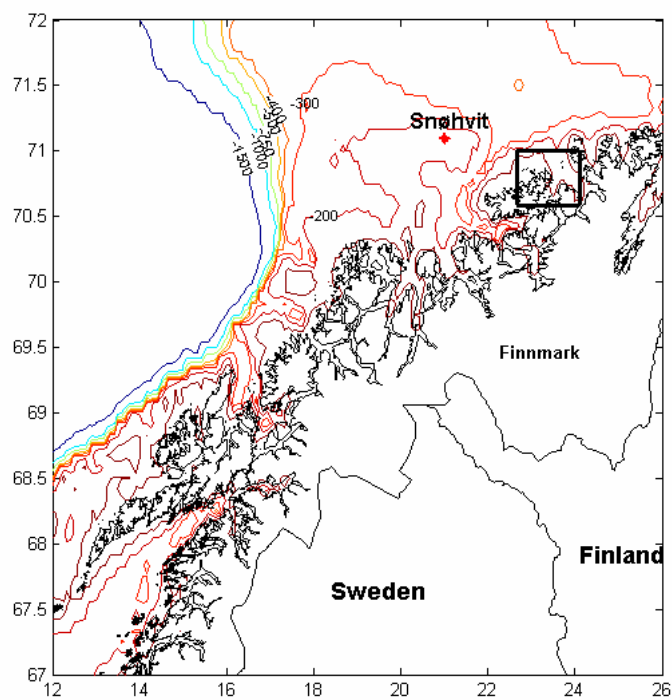
Figur 17 syner eit døme på kjøring med STWAVE modellen med detaljert topografi (Statens kartverk) for Solund og Sognesjøen (ytre deler av Sognefjorden). Det er her lagt inn havdønning frå SW på den ytre randa.



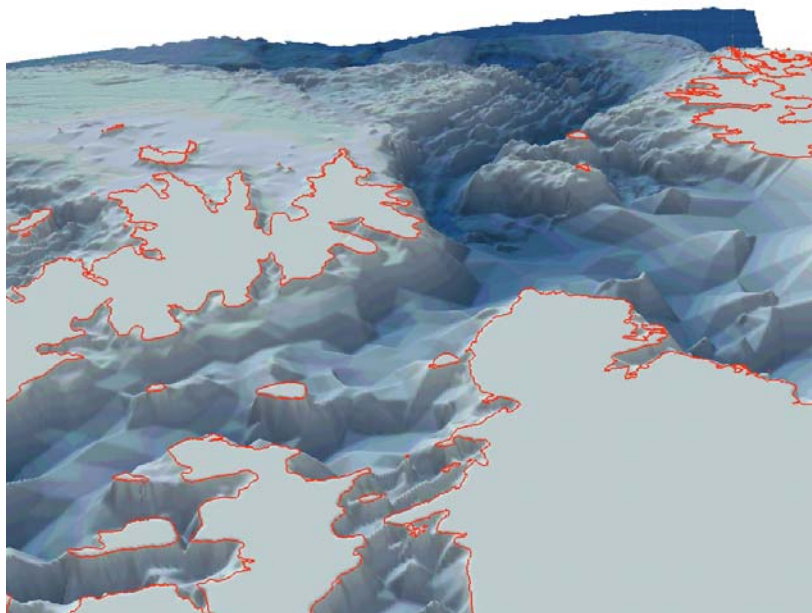
Figur 17. Bølgjerefraksjonsanalyse med STWAVE modellen for området Sognesjøen og Solund.

5.3 Refraksjonsanalyse, case Finnmark - Hammerfest

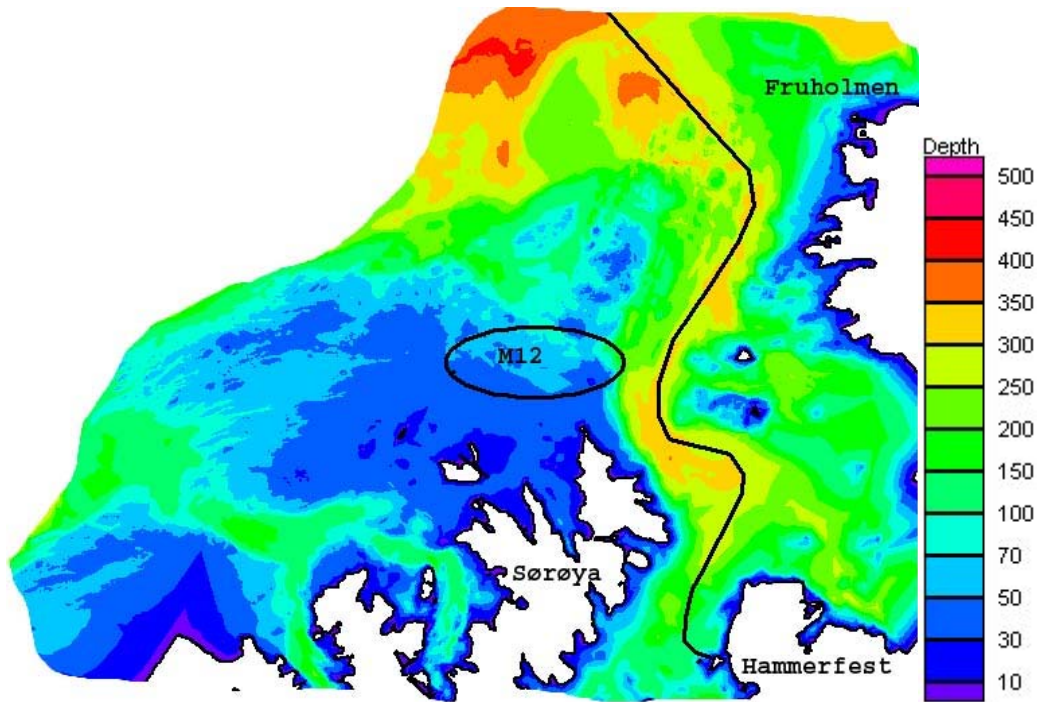
Dette avsnittet syner meir detaljerte døme på refraksjonsanalyser med STWAVE modellen. Resultata er frå ein annan studie gjennomført av Statoil. I dette tilfellet er det nytta havdønning på ytre rand – 100 års ekstrembølgjer. Data for botntopografien vart kjøpt frå Sjøkartverket. **Figur 18** syner utstrekninga på botn-matrisa som vart interpolert til 100x100 m grid. **Figur 19** syner ein validering av topografi-matrisa i høve til kystlina. Kart for bathymetrien som er nytta i analysene er synt i **Figur 20**.



Figur 18. Kart som syner området (boksen) som er handsama i bølgeanalysen.



Figur 19. Validering av 100 m gridet og kystlina.



Figur 20. Kart over botntopografien som er nytta i refraksjonssanalysene. (Denne figuren og dei etterfølgjande inneheld også nokre andre opplysningar nytta i annan samanheng.)

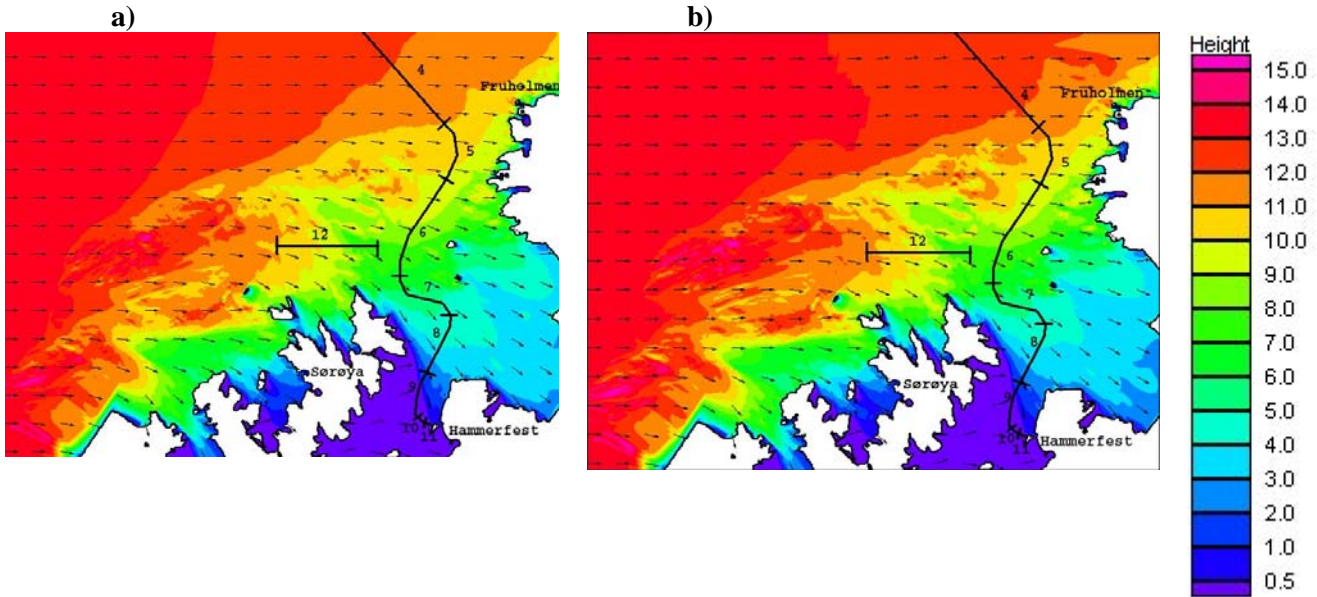
5.3.1 Analyser

Dei påfølgjande analysene har blitt utført i samsvar med følgjande prosedyrer:

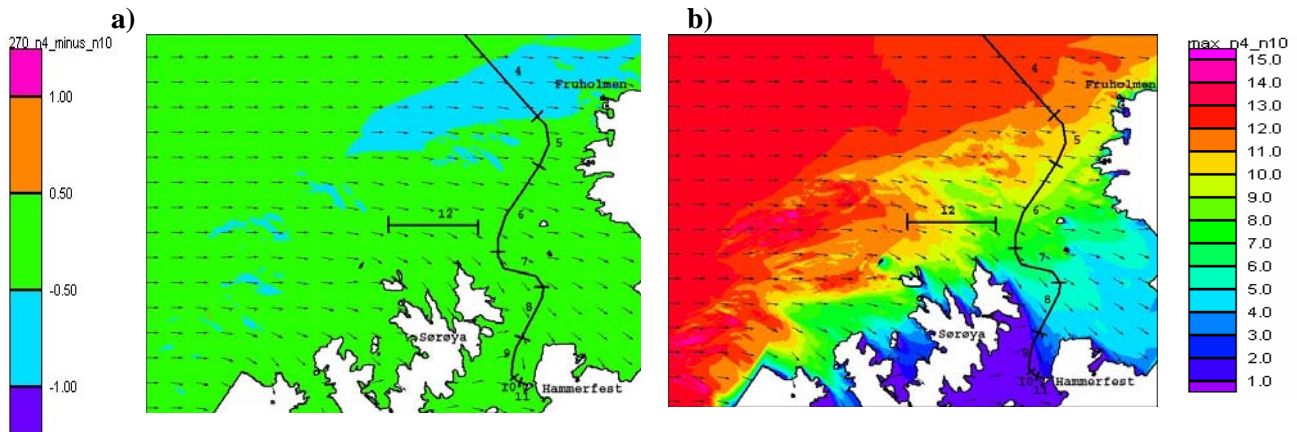
- Directional 100-year extreme values for significant wave height, H_s , and corresponding spectral peak period, T_p have been used as offshore boundary conditions in the refraction analyses.
- Influence of wind and currents have not been taken into account in the analyses
- For all analyses, the JONSWAP wave spectrum has been used with peak enhancement factor equal to 3.3. The directional wave spectrum recommended in the NORSOK standard (1999) have been used both with large spreading ($n=4$) and small spreading ($n=10$).
- In each grid point the highest value from the refraction analyses has been selected (for the $n = 4$ or $n = 10$ cases). Only the maximum values are plotted in this note.
- Waves from the sector 105° - 225° (clockwise) are assumed not to influence the planned pipeline route, zones 5 to 11, and have been neglected in the refraction analyses.

5.3.2 Resultat

Figur 21 a,b syner resultatata frå refraksjonsanalysen for 100-års ekstrem sjøtilstand frå retning 255° - 285° og med spreingskoeffisientane 4 og 10. **Figur 22** a syner skilnadane mellom å nytte dei to ulike spreingsfaktorane og **Figur 22** b syner resultatata ved å kombinere dei to faktorane, d.v.s. max-verdiane er presentert.



Figur 21. Resultat for refraksjonsanalysen (spreiingsfaktor n=4 (a), n=10 (b) og 100-års ekstrem bølge frå sektor 255° - 285° (Hs = 13.9 m, Tp = 17.1 s).



Figur 22. a) Skilnader i resultat for refraksjonsanalysen med spreingsfaktorane n=4 og n=10. Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor 255° - 285° (Hs = 13.9 m, Tp = 17.1 s). Kun skilnader for H_s er synt. Positive verdiar inneber at stor spreing (n=4) forårsakar høgare verdiar enn for mindre spreing (n=10). b) Resultat for refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane. (n=4 eller n=10).

5.3.3 Refraksjons-resultata nytta i vurdering offshore

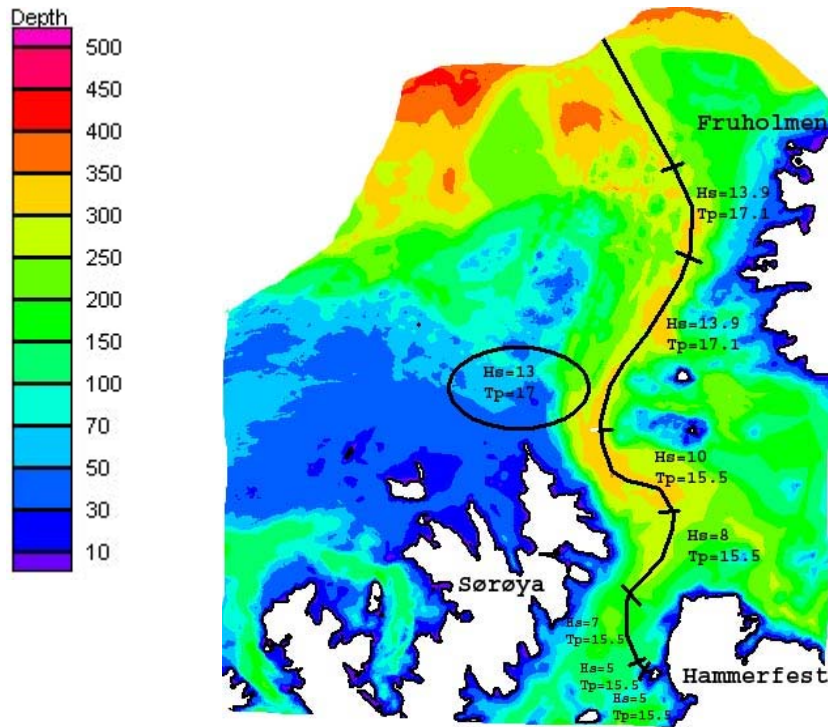
Dei foregåande analysene har også vore nytta til å berekne den mest kritiske sjøtilstanden for ein aktuell rørleidningstrase (sjå også figurane i Vedlegg A). For kvar sone (og nabo-soner) langs rørtraseen er bølger frå alle sektor-analysene vurdert slik at ein kan få identifisert den mest kritiske sjøtilstanden for kvar retnings-sektor (**Tabell 1**).

Dette er meint som eit døme på kva refraksjonsanalysene med STWAVE kan nyttast til – tilsvarende analyse kan gjennomførast for t.d. havbruksanlegg og andre installasjonar i kystsonen.

Tabell 1. Ekstreme verdier for H_s for kvart segment (sone) av rørleidningen basert på offshore sjø frå sektor 225° - 105° og med 100-års returperiode.

Sektor	Sone nummer							
	5	6	7	8	9	10	11	12
225° - 255°	9	8	6	5	3	2	2	10
255° - 285°	12	11	8	6	3	2	2	12
285° - 315°	13.9	13.9	9	7	5	2	2	13
315° - 345°	10.9	10	9	7	6	5	5	10
345° - 015°	11.3	11	10	8	7	5	5	10
015° - 045°	11.7	10	9	6	5	4	4	10
045° - 075°	9	5	5	2	2	2	2	6
075° - 105°	5	2	2	2	2	2	2	3

Basert på tabellen ovanfor har den verste sjøtilstanden for kvar sone blitt bestemt. **Figur 23** syner i så måte den anbefalte 100-års ekstreme H_s . For retnings-ekstrema er desse for sonene 5, 6 og 12 forårsaka av bølger frå sektor 285° - 315° mens ekstrema i sonene 7, 8, 9, 10 og 11 er forårsaka av bølger frå sektor 345° - 015° .



Figur 23. Anbefalt 100-års ekstrem H_s (m) og T_p (sekund) for dimensjonering.

6. Oppsummering

6.1 Oppsummering

Som oppsummering har vi konsentrert oss om ein 'SWOT' (Strength, Weakness, Opportunities, Threats) analyse av dette med å ta i bruk avanserte numeriske modellar i ein havbruksanalyse, evt i tilknytning til GIS.

Vidare har vi peikt på nokre moment som det bør arbeidast med vidare, med vekt på prosessar i Hordaland.

6.1.1 'SWOT' vurdering for bruk av modellar

Eit konsept med omfattande implementering og bruk av avanserte numeriske modellar i samband med havbruksnæringa (forvaltning, drift, næring) er neppe eigna for ein normal SWOT analyse, men vi har freista med ei tilnærming, utan å gå dei profesjonelle i næringa.

Presentasjonane i rapporten har berørt kapasitet og moglegheiter for dei ulike modellane. Vi vil her freiste også å få fram moglege fallgruver, og "truslar" som kan ligge i ei storstilt implementering av modellar innan forvaltning etc.

1. Styrkjær

- Auka bruk av avanserte modellverktøy vil tilføre forvaltning og næring nye og forbetra verktøy for vurderingar og vedtak
- Mange parametrar kan simulerast, også samvariasjon mellom desse
- Auka kunnskapsnivå om tilstand og prosessar i sjøområda
- Større akademiske utfordringar med auka krav til kompetanse og dermed lettare å tiltrekke seg akademisk arbeidskraft for samarbeid om utvikling og drift av verktøya
- Auka produktivitet og avkasting i næringa, og forbetra miljø
- Framtidsretta strategi, i tråd med trendar i tida

2. Svakheiter

- Modellar gir kun eit tilnærma rett bilete av naturmiljøet – "fasiten" er ikkje kjend i detalj
- Lang køyretid for større modellar gjer desse mindre eigna i simuleringar ved hj. a. interaktive GIS-verktøy
- Avanserte modellar kan ikkje simulere store område/grid når det er behov for lange integrasjonsperioder (månader -> år)
- Problem med å skilje ut og karakterisere/parametrisere hovudtrekk ved dynamikken
- Store datamengder gjer det vanskeleg å tolke og trekke ut det essensielle frå "støy"
- Kompliserte verktøy- kun for dei få med rett kompetanse?
- Kostbare verktøy og databaser – kun for dei store i næringa?
- Kostbart å vedlikehalde
- Kostbart å validere med feltstudiar

3. Moglegheiter

- Opne for nye produktmarkadar og for kommersialisering, også internasjonalt
- Heva krav til kompetanse vil tilrettelegge for bidrag frå NFR og EU til utviklingsarbeid –åpne nye finansieringskjelder, særleg for vidareutvikling/kompetansebygging
- Utvikle/nytte implisitte løysingsmetoder til erstatning for eksplisitte for å redusere køyretid
- Utvikle nye kompetansemiljø, vidareutvikle eksisterande miljø
- Effektivisere forvaltninga

4. Truslar

- Spesialisert kompetanse – vanskeleg å erstatte ved avgang
- Risiko for monopolisering – for få kompetente fagmiljø
- For kompliserte verkty til at næring og forvaltning kan implementere og vedlikehalde
- Auka kommersialisering og oppdragskonkurrans med bruk av modellar vil kunne legge lok på opplysningar om kva eigenskapar ulike modellar har
- Fagmiljø og forskarar fjernar seg frå å observere og overvake naturen i felt, til fordel for virtuelle studiar på kontoret
- Interesse for bruk kun i pilot-fase/forprosjekt; 'gøy å utvikle, kjedelig å anvende'
- Utviklingsprosjekt gjev tilstrekkelege svar og vidare utvikling/bruk ikkje naudsynt
- For komplisert/akademisk i høve til næringas behov
- Bortfall av økonomisk støtte til å vedlikehalde og drifte modellar og databaser
- Rask teknologiutvikling – problem med å oppdatere systema

6.2 Forslag til oppfølging

Det var foreslått samarbeid med Vervarslinga på Vestlandet når det gjeld bølger/eksponering. Eit innleiande møte med VpV (senter for marin varslings) blei avvikla, og her bør det ligge potensiale for vidare oppfølging i Fase II.

NFR sin Foresight analyse for havbruk har mange konklusjonar som understrekar behov for meir kompetanse og forbetra forvaltingsverkty. Dette kan nyttast som del av grunngeving for oppfølgjande arbeid med Fylkeskommunens Havbruksplan Fase II.

CMR, HI, Geofysisk institutt og andre aktuelle institusjonar er blitt kontakta i samband med prosjektgjennomføringa. Dei tre institusjonane arbeider med eit prosjekt for eit operativt varslingsystem for strøm – og bølger i Bergens-regionen (ICUWA). Prosjektet starta opp i 2005, men utan NIVA slik at det blei vanskeleg med undervegs-kommunikasjon om dette. Også her er det behov for tettare diskusjonar og oppfølging.

Fylkeskommunen ønskte også at NIVA kontakta ymse interesse/brukargrupper (oppdrettsfirma, kommuner m.v.) for å få deira synspunkt på metodane som blir vurdert i denne rapporten. Dette har delvis blitt gjennomført, og her ligg det eit potensiale for å få kome i betre inngrep med næringa.

Det foregår for tida planlegging for nye beslekta prosjekt (habitatskartlegging, bruk av nye marine grunnkart m.m.) i regi av NIVA/NINA. Desse kan sjåast i lys av oppfølging i Hordaland.

Hordaland Fylke har det største kompetansemiljøet i Norge når det gjeld marin modellering (UiB, HI etc). Desse miljøa er imidlertid ofte knytt opp mot andre måtar å arbeide og samarbeide på i høve til

det som forvaltninga krev, og det kan vere vanskeleg å få allokert overbooka nøkkelpersonar til nye prosjekt. EU og NFR prosjekt er typiske verkemidlar for å få utvikla eller utprøvd nye modellar for desse miljøa, og rapporteringa går mest i form av publikasjonar der naudsynnte tekniske detaljar gjerne ikkje er omtalt.

På grunn av krav eller ønskje om Dr. grads arbeid og internasjonal publisering i mange FoU prosjekt vil resultatane frå slike prosjekt kanskje ikkje ligge føre før det er gått 1-3 år etter avsutting. Dette indikerer at det her bør tenkjast ein fordelig av oppgåver og ansvar, med fleire delprosjekt med h.h.v. kort (med selskap og institutt) og lengere tidshorisont (for universiteta).

Når det er sagt, bør Hordaland fylke ha moglegheit til å stå fremste rekkje når det gjeld modell-applikasjonar også innafør havbruk, i samarbeid mellom dei ulike miljøa. Og det bør ligge eit enno større potensiale i regionalt samarbeid t.d. innafør Vestlandsrådets domene.

Uansett innsats i Norge er det svært viktig å følgje med på kva som skjer på området internasjonalt, både på modellutvikling og bruk, og på GIS området. Å få finansiert tid til å følgje med i litteratur og media er eit slikt verkemiddel. Men forskingsmiljøa må også få midlar til å kunne foreta studieturar utanlands, evt kombinert med forskaropphald som styresmaktene og NFR nå prøver å stimulere til (norske forskarar er svært lite mobile).

7. Litteratur

Andersen, P. 1996: Miljøhåndbok for fiskeoppdrett. Kystnæringen, 208 s.

Asplin, L., A.G.V. Salvanes og J. B. Kristoffersen 1999: Nonlocal wind-driven fjord-coast advection and its potential effect on plankton and fish recruitment. Fisheries Oceanography [Fish. Oceanogr.]. Vol. 8, no. 4, pp. 255-263.

Aure J. 1983, Akvakultur i Troms, kartlegging av høvelige lokaliteter for Fiskeoppdrett. Fisken og Havet 1983, nr 1, 92 s.

Bendsen, J. m. fl. 2003: Kravspecifiationer til dele af det marine modellkompleks. Rapp. NOVANA, Danmark, 27 s.

Booij, N., R.C Ris og L.H Holthuijsen 1999: A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation. J. Geophys. Res.VOL104, Nr C4, 7649-7666.

Braaten, B., H. Hektoen og A. Stigebrandt 1992: Utvikling av miljøkontrollprogram for matfiskanlegg. Rapp. nr. 2709, NIVA, Oslo, 36 s.

Braaten, B. og L. Golmen 1994: Miljøundersøkelser på A/S MOWIs oppdrettsanlegg i Skorpeosen. Fase I. Innledende undersøkelser. Rapp. nr. 3120, NIVA, Oslo, 28 s.

Braaten, B. og L. Golmen 1995: Miljøparametre og målemetodikk for oppdrettsmetoder i sjø. Evaluering av metoder for lokalisering, egnethet og kapasitet. Rapp. nr 3278, NIVA, Oslo, 40 s.

Davis J. C., 1975: Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. J. Fish. Res. Board Can., Vol 32 (12), 1975.

Davis, J.E. 1992: "STWAVE theory and program documentation." Coastal Modelling System User's Manual. Chapter 8, Instruction Report CERC-91-1, Supplement 1, M. A. Cialone, Ed, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vickburg, MS.

Dragesund, O. (utvalgsleiar) 1992: Nasjonal handlingsplan for havbruksforskning. Rapp. Det nasjonale utvalg for havbruksforskning, NFFR, Trondheim, 44 s.

Døskeland, I. 2004: GIS analyse eigna sjøbunnsareal til havbeite for kamskjel og analyse av interesse-motsetningar. Delprosjekt i "Havbruksanalyse Hordaland". Rapport Nr 4779, NIVA, 27 s.

ECGL, 1994: Surface Water Modeling System, Reference Manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah 84602.

Ervik, A., P.K. Hansen, A. Stigebrandt, J. Aure, T. Jahnsen og P. Johannessen 1993: MOM, et system for regulering av miljøvirkninger fra oppdrettsanlegg. Første versjon. Rapp. Havforskningsinstituttet, Senter Havbruk nr 23/93, 20s.

Ervik, A. 1994: Modelling and Monitoring Internal Impact from Fish Farms. I: Proceedings of the Canada- Norway workshop on environmental impacts of aquaculture, s 69.76.

Fairbridge, R. W. 2004: Classification of coasts. Journ Coastal Res., Vol. 20, No 1, 155-165.

- Forsberg, O. I. 1994: Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic Salmon in commercial-scale land-based farms. *Aquaculture International*, Vol. 2, s 180-196.
- Golmen L.G. 1994, Strømforhold som lokaliseringkriterium. *Norsk Fiskeoppdrett* nr. 1-94.
- Golmen, L. G., A. Helland og H. Sjøiland 1996: Zeepipe 2B rørledning fra Draupner til Kollsnes. Vurdering av risiko for inntrenging av sedimentpartikler under fri fylling. Rapp. nr. 3425, NIVA, Bergen/Oslo, 18s.
- Golmen, L. G. og E. Nygaard 1997: Strømforhold på oppdrettslokaliteter i relasjon til topografi og miljø. Rapp NIVA nr 3709 58 s.
- Havbruksringen 1997 (B. Tveranger, red.): Produksjon, verdiskaping og sysselsetting i oppdrettsnæringa i Sunnhordland i 1995. Brosjyre, Sunnh. Havbruksring, 16 s.
- Kaiser, G. 1994: *A Friendly Guide to Wavelets*. Birkhäuser, Boston, 300s.
- Norsk Standard 9415 (2003): «Flytende oppdrettsanlegg. Krav til dimensjonering, utførelse, installasjon og drift.» Rapport, Standard Norge (SN), Oslo.
- NORSOK STANDARD N-003, rev. 1, Feb. 1999.
- NOU 1990: LENKA: Landsomfattande Egnethetsvurdering av Den Norske Kystsona og Vassdraga for Akvakultur. Norges Off. Utredn. 199, nr 22, 144 s.
- Resio, D. T., and Perrie, W. 1989: Implications of an f-4 equilibrium range for wind generated waves." *J. Phys. Oceanography* 19, 193-204.
- Resio, D. T. 1988a: "Shallow-water waves. II: Data comparisons". *J. Wtrway., Port, Coast., and Engrg. Conf., ASCE*, 114(1), 50-65.
- Resio, D. T. 1988b: "A steady-state wave model for coastal applications." *Proc. 21st Coast. Engrg. Conf. ASCE*, 929-40.
- Ris, R.C., L.H. Holthuijsen og N. Booij 1999: A third-generation wave model for coastal regions 2. Verification, *J. Geophys. Res.*, VOL 104, Nr C4,7667-7681.
- Sogn og Fjordane Fylkeskommune 2004: Oppdateringsseminar i moderne havbruk og integrert kystoneplanlegging. Rapp. Kystsenteret, Selje, 29-30 april 2003.
- Stene, A. 1996: Lokalisering (av oppdrettsanlegg). I *Miljøhåndbok for fiskeoppdrett. Kystnæringen* 1996. 208 s.
- Sætre R. 1975: Lokalisering og miljø ved noen oppdrettsanlegg for laksefisk i Vest-Norge. *Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Serie B* 1975 Nr. 4.
- Thiem, Ø., H. Avlesen og G. Alendal 2005: Simulering av strømforhold i og rundt Vattlestraumen. Notat, Bergen Centre for Computational Science, UiB, 23 s.
- Zang, H., O.S. Madsen, S.A. Sannasiraj og E.S. Chan 2004: Hydrodynamic model with wave-current interaction in coastal regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 61, 317-324.

Aarsnes, J.V.G. Løland and H. Rudi 1990: Forces on cage net deflection. Manuskript, International Conference for Engineering for Offshore Fish Farming, Glasgow, UK, 17-18 Oct.1990.

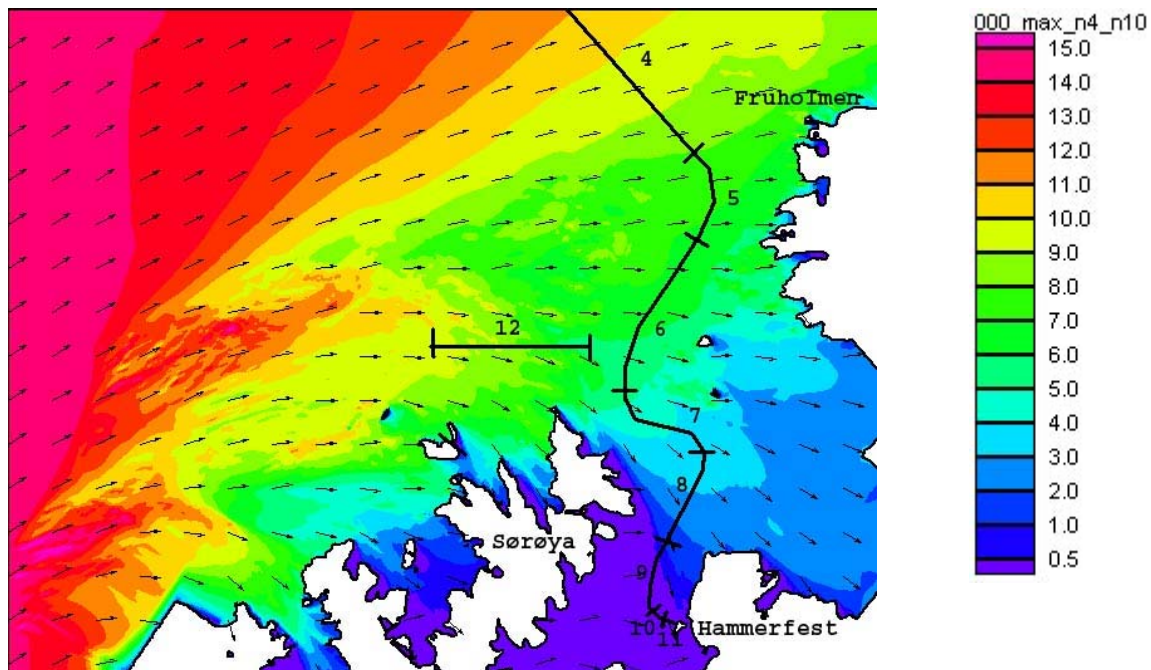
Vedlegg A. Resultat med STWAVE

Berekingar for ulike retnings-sektorar

I det påfølgjande presenterer vi i form av figurar resultat frå kjøringar av STWAVE medfor ulike 30-graders retnings-sektorar. Alle figurane kan i prinsippet bli nytta til å fastslå den mest ugunstige sjøtilstanden med omsyn til bølgehøg, framtreddande periode og retning.

Bølgjer frå sektor 225° - 255°

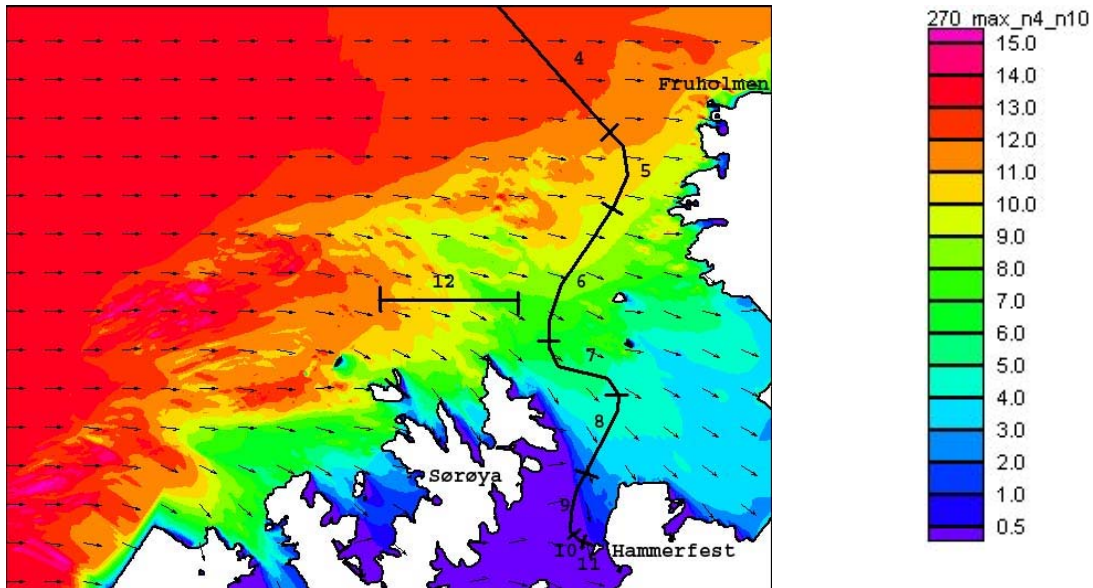
Figur 24 syner resultat for refraksjonsanalysene ved å kombinere dei to spreingsfaktorane.



Figur 24. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor 225° - 255° ($H_s = 14.5$ m, $T_p = 17.6$ s). Middell bølgeretning og H_s er synt.

Bølgjer frå sektor 255° - 285°

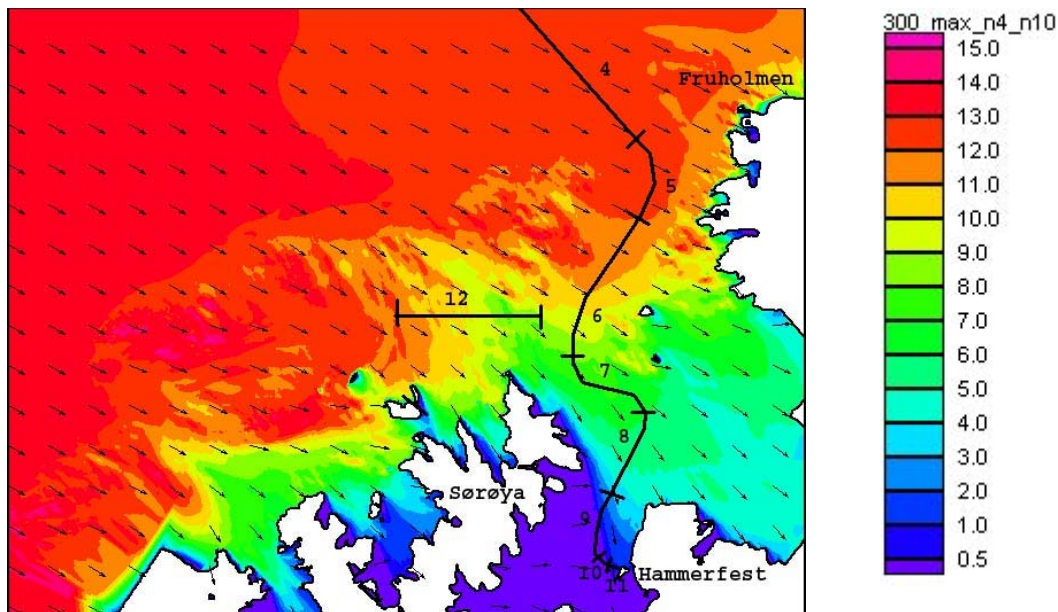
Figur 25 syner resultat for refraksjonsanalysene for denne sektoren med kombinerte spreingsfaktorar.



Figur 25. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $255^\circ - 285^\circ$ ($H_s = 13,9$ m, $T_p = 17,1$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølger frå sektor $285^\circ - 315^\circ$

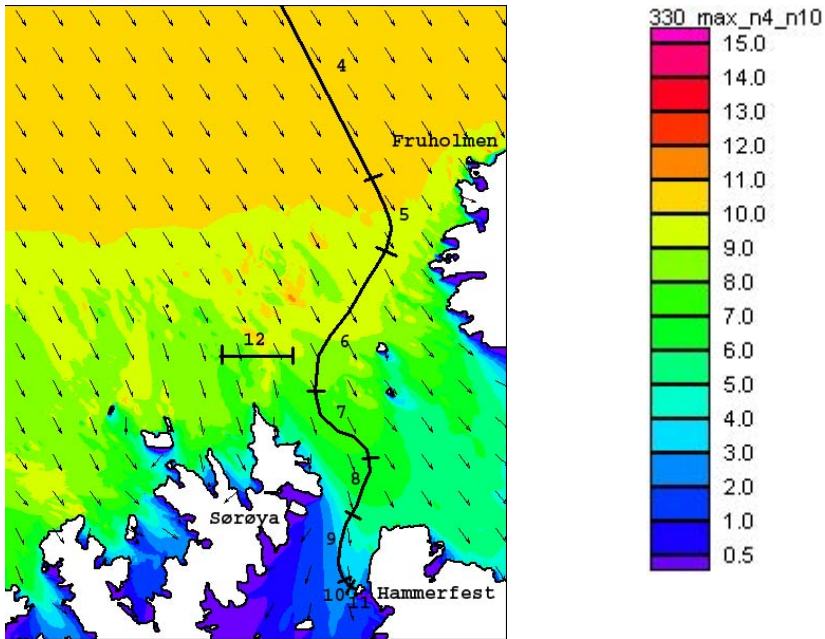
Figur 26 syner resultat for denne sektoren, framleis med kombinasjon av spreingsfaktorane.



Figur 26. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $285^\circ - 315^\circ$ ($H_s = 13,9$ m, $T_p = 17,1$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølger frå sektor $315^\circ - 345^\circ$

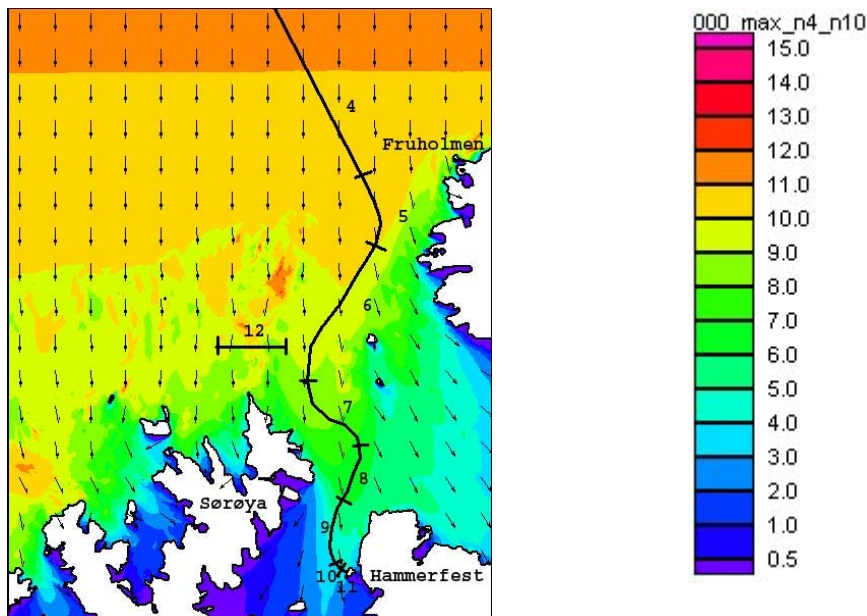
Figur 27 syner resultat for refraksjonsanalysene for sektor $315^\circ - 345^\circ$ med kombinasjon av spreingsfaktorane.



Figur 27. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $315^\circ - 345^\circ$ ($H_s = 10,9$ m, $T_p = 15,2$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølgjer frå sektor $345^\circ - 015^\circ$

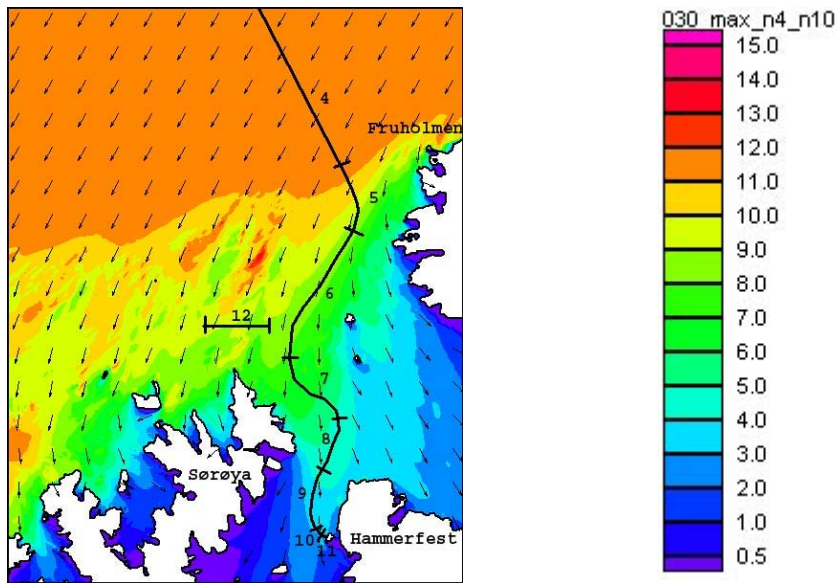
Figur 28 syner resultatata for denne sektoren, med kombinasjon av spreingsfaktorane 4 og 10.



Figur 28. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $345^\circ - 015^\circ$ ($H_s = 11,3$ m, $T_p = 15,5$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølgjer frå sektor $015^\circ - 045^\circ$

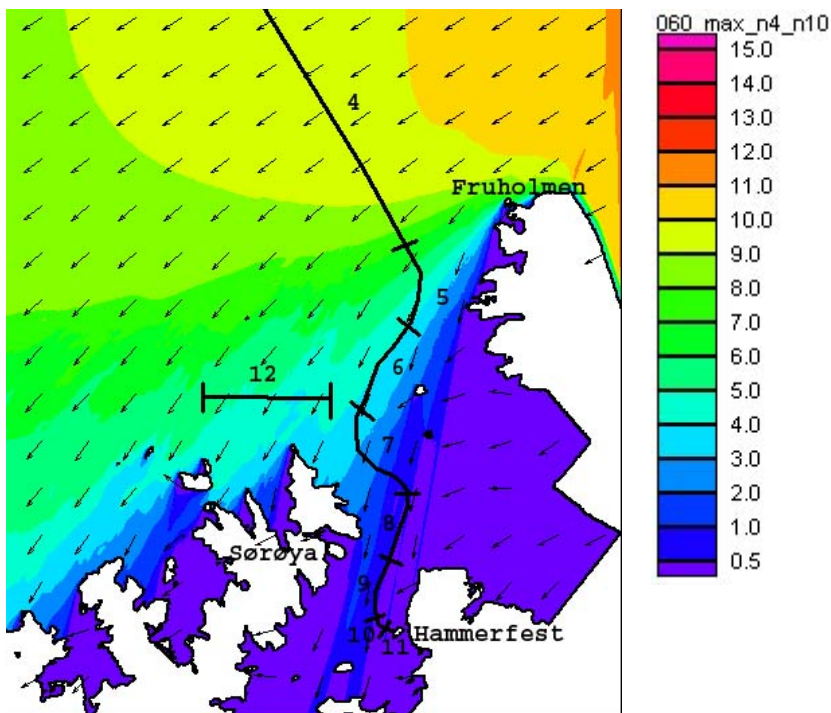
Figur 29 syner resultat av refraksjonsanalysene for denne sektoren, med kombinasjon av spreingsfaktorane.



Figur 29. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $015^\circ - 045^\circ$ ($H_s = 11,7$ m, $T_p = 15,7$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølger frå sektor $045^\circ - 075^\circ$

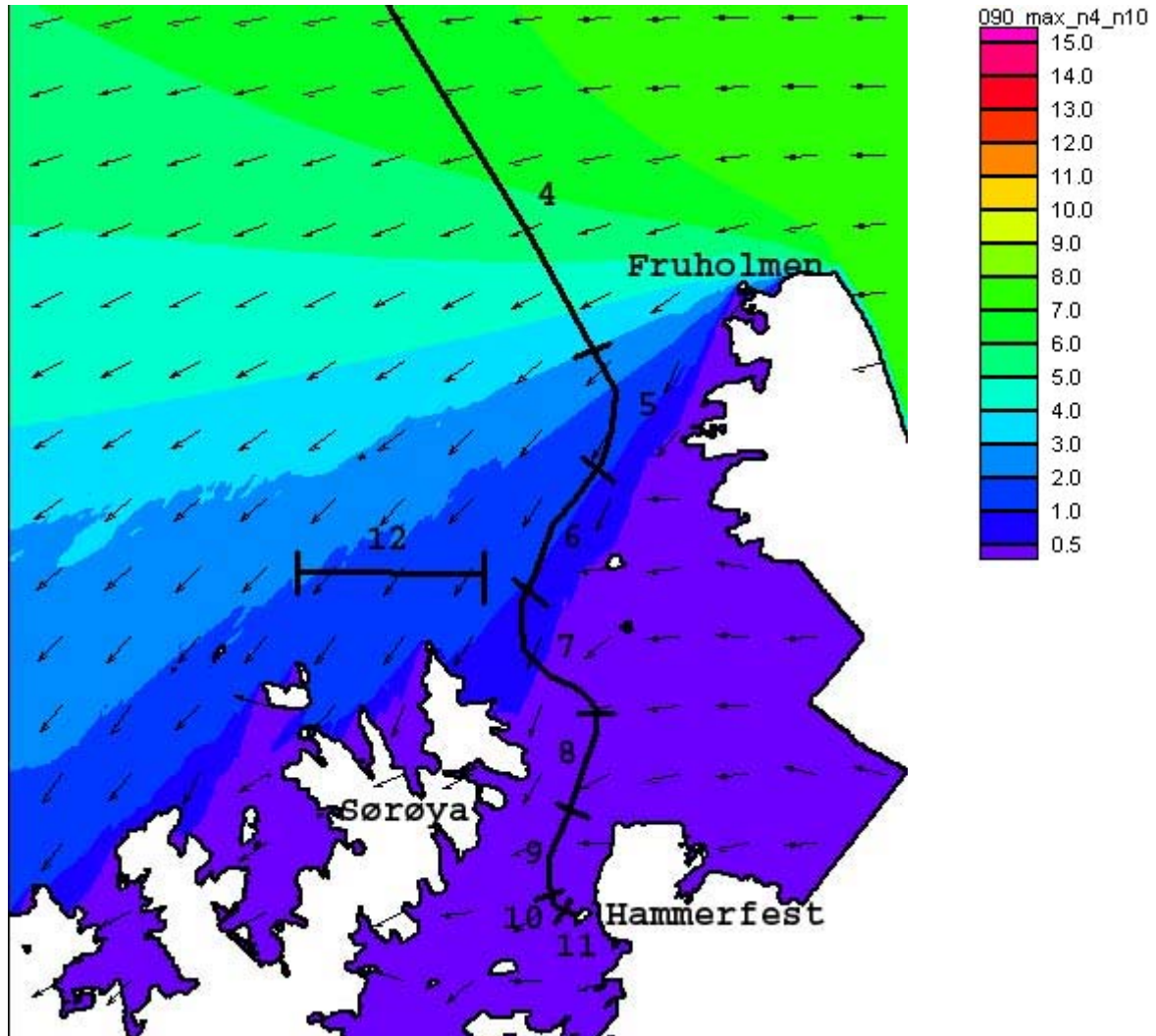
Figur 30 syner resultat av refraksjonsanalysene for sektoren $045^\circ - 075^\circ$ med kombinasjon av spreingsfaktorane 4 og 10.



Figur 30. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor $045^\circ - 075^\circ$ ($H_s = 11,0$ m, $T_p = 15,3$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.

Bølger fra sektor 075° - 105°

Figur 31 syner resultat av refraksjonsanalyse for denne sektoren, med kombinerte spreiingsfaktorar.



Figur 31. Resultat frå refraksjonsanalyse med dei mest ugunstige spreiingsfaktorane ($n=4$ or $n=10$). Input: 100-års ekstrem sjøtilstand frå sektor 075° - 105° ($H_s = 7,9$ m, $T_p = 13,3$ s). Middel bølgeretning og H_s er synt.