

Transport og spredningsmekanismer i Nordlige havområder

Av T. A. Mc Climans.

T. A. Mc Climans er prof. II ved NTH og ansatt som forskningssjef ved Sintef NHL/NTH.

Innlegg på seminar i Norsk Vannforening 13. april 1993.

(min) forståelse av transportveier i Lofoten, Barentshavet og Karahavet.

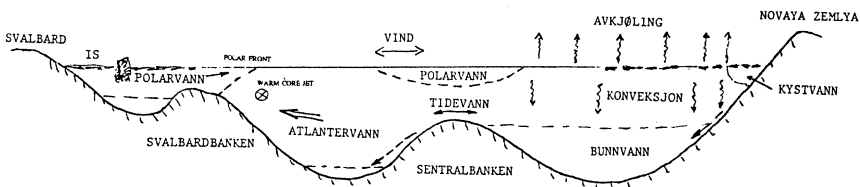
1. Forurensninger i havet

I forbindelse med utvikling i nord-områdene er potensiell forurensning av mat en følsom og viktig sak. Heldigvis har vi strenge kontroller på mat, som vi kan stole på, men hva gjør vi når tillatte grenser overskrides etter uhell? Hvordan kan vi kartlegge potensielle overskridelser når forurensningskildene er kjente? For å kvantifisere transporten av forurensninger fra forskjellige kilder fram til matfatet må vi vite kildestyrke i tid og rom, transportveier i tid, rom og i næringskjeden, og hvor og når maten ble innhøstet. I dette innlegget skal jeg fokusere på de fysiske aspekter av havstransporten, som en viktig del av vurderingsgrunnlaget og et område der vi fortsatt mangler brikker for å gi et skikkelig svar. Etter å ha gjennomgått de viktigste begrepene mht havstransport vil jeg gi en kort oversikt av dagens

2. Storskala transport

I havet har vi horisontale og vertikale transportveier. Et tenkt tversnitt fra Svalbard til Novaya Zemlya viser de viktigste **storskala** transportveier (figur 1). Lagdelingen mellom de flytende vann og ismasser begrenser den vertikale transporten. Is kan samle atmosfærisk nedfall og holde det fast ved overflaten i flere år. På den annen side kan avkjøling og saltutfelling ved isdannelse vinterstid forårsake en vertikal konveksjon og dannelse av tyngre bunnvann. Dette vil kunne føre forurensninger ned i dypere renner på sokkelen med flere års oppholdstid.

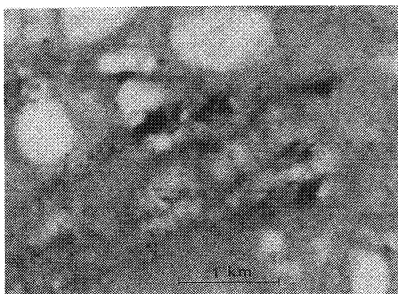
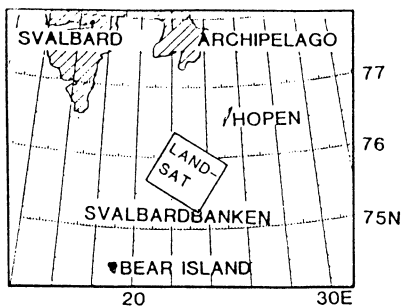
De horisontale transporter synes å bli dominert av en tidsavhengig innstrømning av Atlanterhavsvann over sokkelen, modifisert av innstrømning av lettere polar- og kystvann, og påvirket



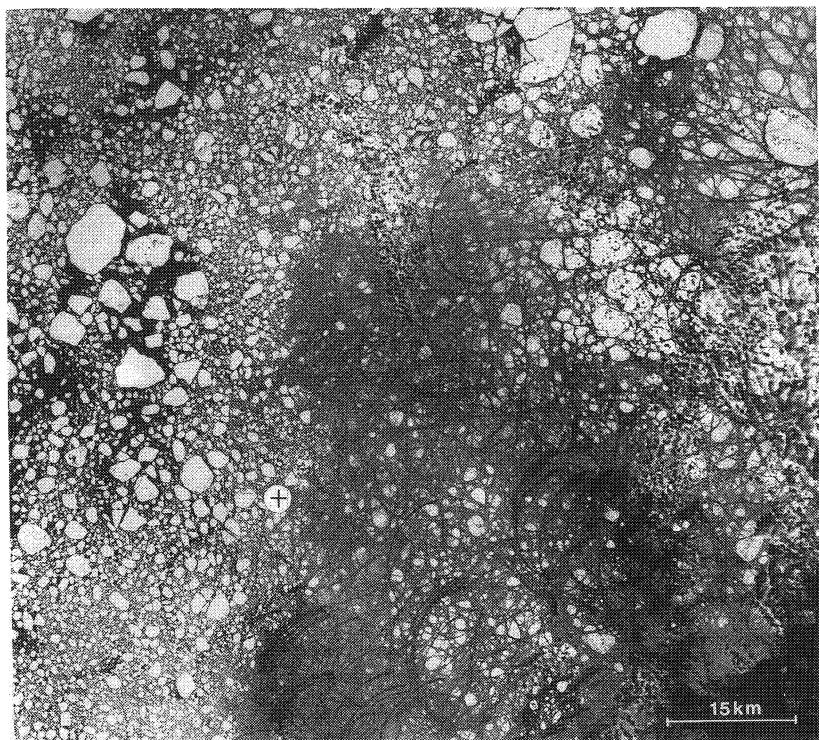
Figur 1. Tversnitt av vertikale og horisontale transportveier i Barentshavet.

av vind og tidevann. Maksimale strømmer kan nå opptil 1 m/s på enkelte steder, mens gjennomsnittsfarten vanligvis er mindre enn 1 dm/s. Vi har planer om å

videreutvikle en algoritme for beregning av den viktige tidsavhengige innstrømning av Atlanterhavsvann. Utslipp og dumping på bunnen vil bli mer



01 JUN 1988 LANDSAT 5 TM BAND: 4 TRACK 202 FRAME 006 03



Figur 2. Isråk over Svalbardbanken (Nilsen et al, 1990).

påvirket av bunnvannsdannelse og tidevann enn vind, mens flytende stoffer blir mer påvirket av vind.

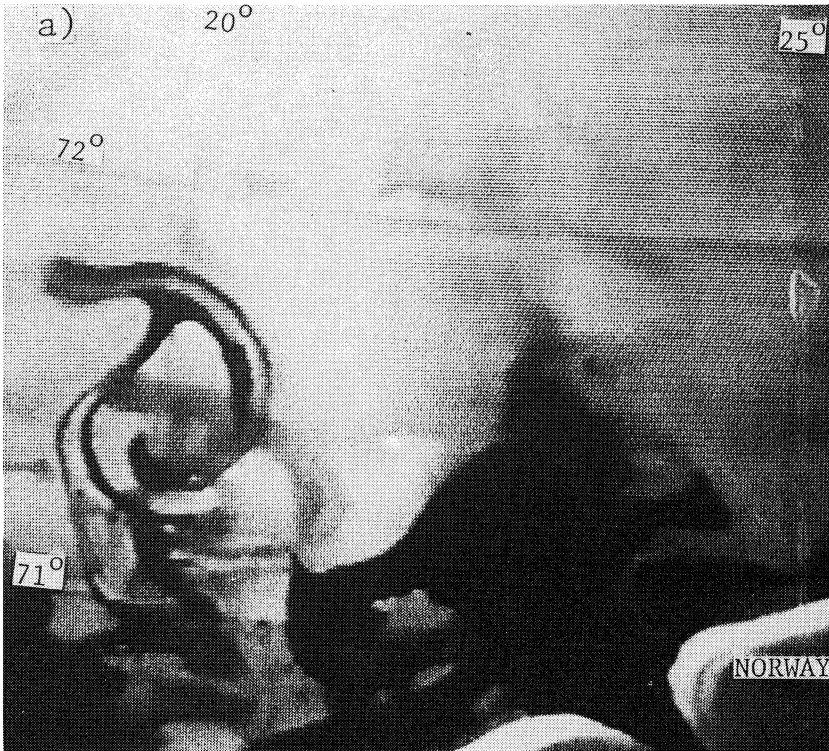
Det er flere eksempler på at tidevannsstrømmer kan være viktige årsaker i grunne områder. Figur 2 viser et satellittbilde av isdrift forbi bunnfaste isfjell. Råk i isfeltet viser hvordan en oljestripe fra en ukontrollert utblåsning ville se ut i løpet av noen timer. Posisjonen av stripen flytter seg stadig med tidevannsstrømmene. Dersom et tankskip sprang lekk, ville oljeplaket følge skipet som en stor blomst i isdekket.

Eksempler på tidevannsstrømmer rundt Bjørnøya og Røst fra videoopp-

tak av laboratoriesimuleringer vil bli kommentert senere.

3. Mesoskala transport

I havet er det mange tilfeldige strømmer forårsaket av virvler fra 5 til 100 km størrelse. Dette betegnes som mesoskala bevegelse og bidrar til spredning og fortynning av forurensninger i de storskala transportveier. Ja, vi kan si at tidevannsstrømmer er av denne størrelse, men tidevannet er langt fra tilfeldig og det er i grunnen mesoskala bunntopografi som kan bidra til dannelse av slike virvler. Det er lettest å oppfatte disse bevegelsene fra satellitt-



Figur 3. Mesoskala virvler i havet (McClimans og Nilsen, 1993).

bilder av frontområder der temperaturkontraster er størst. Figur 3, fra lab. forsøk, ligner et typisk termisk bilde fra havet. Rotasjonen i virvlene viser en omløpsti på 2 eller flere døgn.

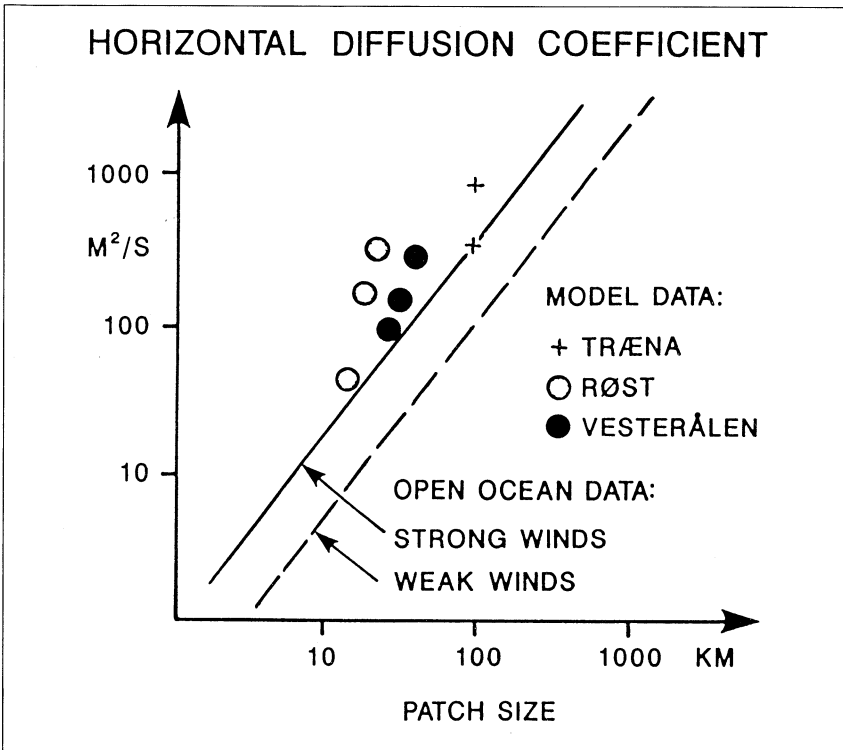
Spredningsegenskapene av disse bevegelsene kan måles vha spredningshastighet $u_s = dl/dt$ mellom drivmarkører. Her er l avstanden mellom partikler (markørene). Den horisontale diffusivitet $K_H = u_s l$ gir grunnlaget til beregningen av spredningen av en utslippssky. Det er lett å vise at

$$K_H \propto \frac{d}{dt} (\bar{l}^2)$$

der \bar{l}^2 er variansen til partikkelposisjoner i en sky. Laboratorieforsøk (Figur 4) viser at spredningen pga strøm over sokkeltopografi kan være lik spredningen forårsaket av stormvinder over disse store avstander, selv om u_s bare er noen få cm/s. Siden (2-D) fortytningen er proporsjonal med l^2 (eller variansen) er det klart at mesoskala spredning fører til stor fortytning i tid.

4. Småskala transport

Nærsonen til utslippet og enkelte naturlige prosesser hører til kategorien småskalaproesser. Generelt vil størrel-



Figur 4. Horisontale spredningskoeffisienter for sokkelområdet i Nordland beregnet fra partikkelskyer i modellforsøk (McClimans og Myhr, 1991).

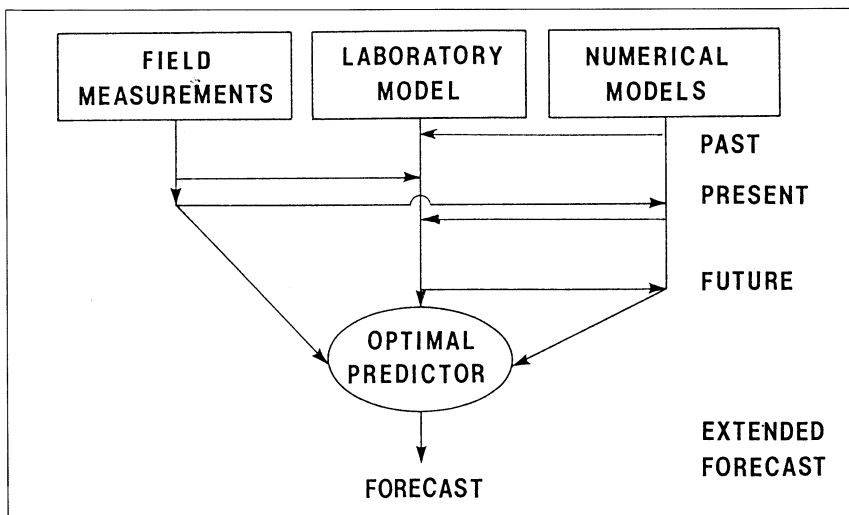
sen av (vertikale) konvekktive prosesser være mye mindre enn mesoskala. Også vertikale prosesser som vindblanding og bunnturbulens fra strømmer hører til denne kategori. Slike prosesser fungerer som en slags glatting i stor-skala transportbetraktninger, men det er viktig å parameterisere denne blandingen når spørsmål om forurensning i nærheten av kjente kilder stilles. Siden det finnes mange typer algoritmer og ganske avansert verktøy for småskala blanding, ville det føre for langt å ta dette med i denne redegjørelsen.

5. Modellverktøy

Det finnes flere måter å analysere de fysiske forholdene i resipienter. Statistisk behandling av feltdata er ofte brukt, men havet er stort og en slik framgangsmåte kan falle dyrt, med mindre området av interesse er geografisk meget begrenset. Alternativene som er forholdsvis rimelige innebærer bruk av modeller sammen med utsøkte målin-

ger for modellstyring og validering. Min erfaring er at en fornuftig kombinasjon av feltmålinger, laboratoriesimuleringer og regnemaskinmodeller fører til en rask og rimelig forståelse av årsak-virkningssammenhenger som er nødvendig for å beregne (deterministisk) responsen av havet til gitte ytre drivkrefter. De ytre forholdene derimot er tildels stokastiske og, med godt modellverktøy, utgjør det svakeste ledd i vurderingen.

Et skjema over samspillet som er brukt for varslingssystemer, er gitt i Figur 5. Her må vi huske på at feltmålinger inkluderer fjernmålinger. Vårt tidligere arbeid med modellverktøy for varsling av store virvler ved Trollfeltet førte til en enkel sammenheng mellom nøkkelinngangsdata og responsen ved Troll. Med en meget enkel modell var det mulig å gi én ukes varslar fra standard overvåkingsdata med 81% suksess. I den siste delen av denne presentasjonen vil jeg vise



Figur 5. *Bruk av modeller i et strømvarslingssystem.*

strømningsforholdene i de nordlige havområder med et stort islett fra laboratoriesimuleringer. Denne type modell viser partikkelbaner og kan brukes uavkortet til vurdering av utslipps- og spredningsproblemer. Resultater fra slike modeller kan også gi verdifulle data for utvikling og validering av regnemaskinmodeller.

6. Transportveier i nordlige havområder

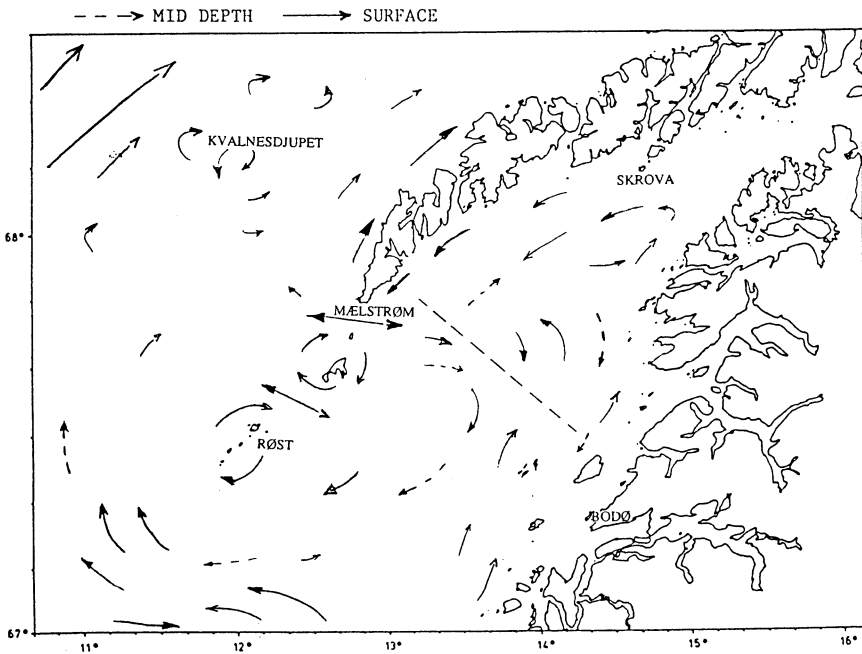
6.1 Lofoten

Modellen av Lofotområdet ble bygget for bl.a. å se på transporten av fiskeegg og -larver fra gyteområdene nær Henningsvær - Skrova og oljespredning fra fremtidige oljeleting/utvinning ved Trænabanken og nordover. Strømmene

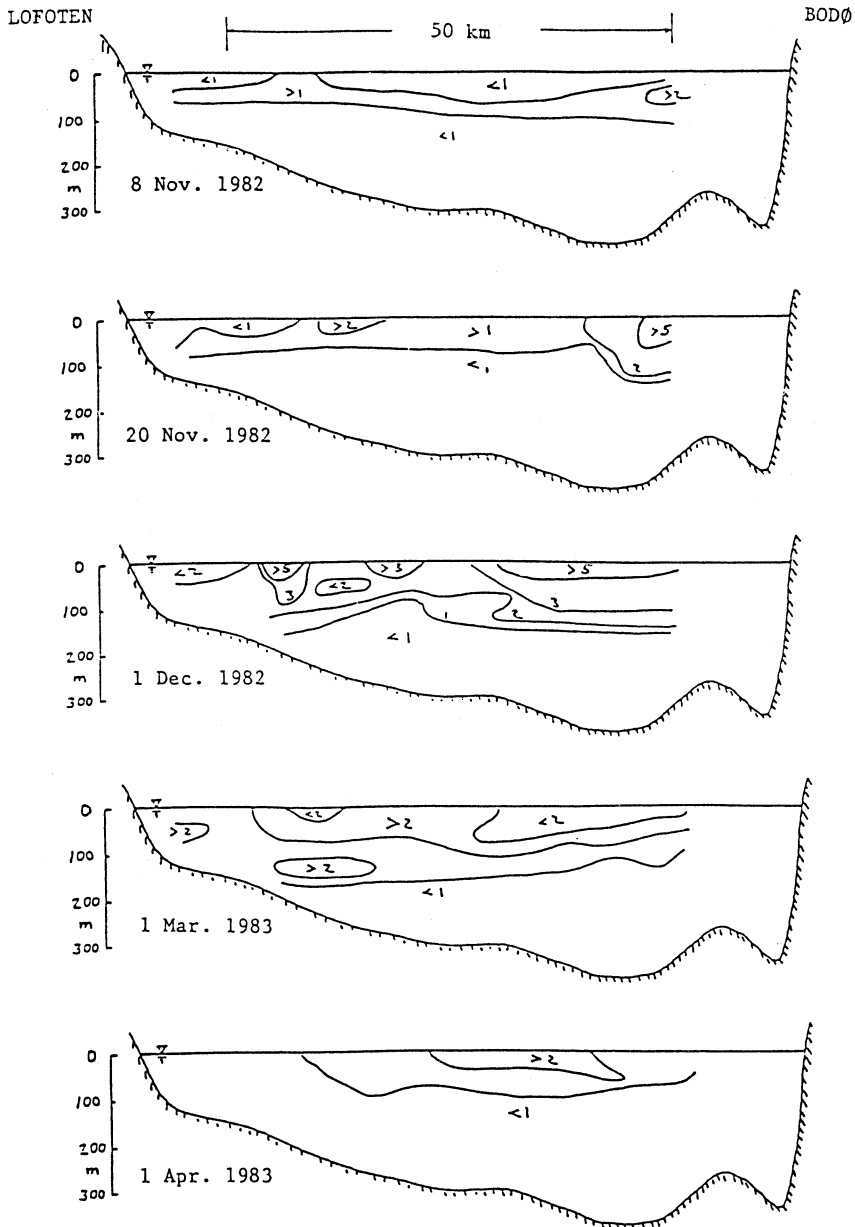
i modellen ble tvunget av innstrømmingen av Atlanterhavsvann og kystvann og av tidevannsstrømmer gjennom Lofoten-arkipelago. Strømningsmønstret i Figur 6 er bekreftet ved tilgjengelige felldata. Standardavviket er ca. 25%.

Strømning av kystvann til og fra et snitt i Vestfjorden er vist med fluoriserende fargestoff som en varmebølge i Figur 7. Det tar lang tid for «varmen» å nå kjerne i virvelen syd for Skrova og således også lang tid for å forlate området. Oppholdstiden i virvelen er ca. 2 måneder.

Tidevannsdrevet sirkulasjon rundt Røst ble nevnt før. Dette betyr at oljesøl i området fort vil føre til forspoling av alle strender på øygruppen. Det viser seg at tidevannsstrømmen i Moskenesundet også er viktig for transport av



Figur 6. Strømningsmønstret i Lofotområdet (McClimans og Nilsen, 1991).



Figur 7. *Inntrengning og utskylling av en fargesky i snittet mellom Moskenesøy og Landegode (McClimans og Nilsen, 1991).*

fiskelarver fra Henningsvær til sjøsiden av Lofoten og lenger nord.

Spredningsegenskaper ble også nevnt. Spredning av partikkelskyer i modellsimuleringene ble brukt for beregning av horisontale spredningskoeffisienter. Resultatene i figur 4 viser at strøm over sokkeltopografi gir spredningskoeffisienter som er mye større enn vinddrevne strømmer i dyphavet.

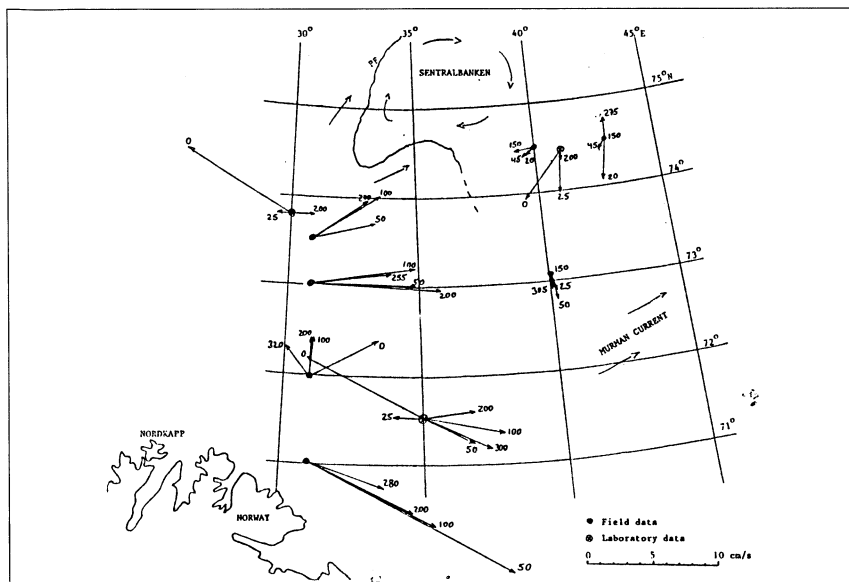
6.2 Barentshavet

Figur 8 viser havområdet som er simulert i en laboriemodell. Strømningmønsteret som er hentet fra Norske Los er stort sett bekreftet i modellen og tallfestet. På figuren er det 5 aspekter som bør nevnes i detalj. De er notert på figuren med bokstavene A—E i sirkler:

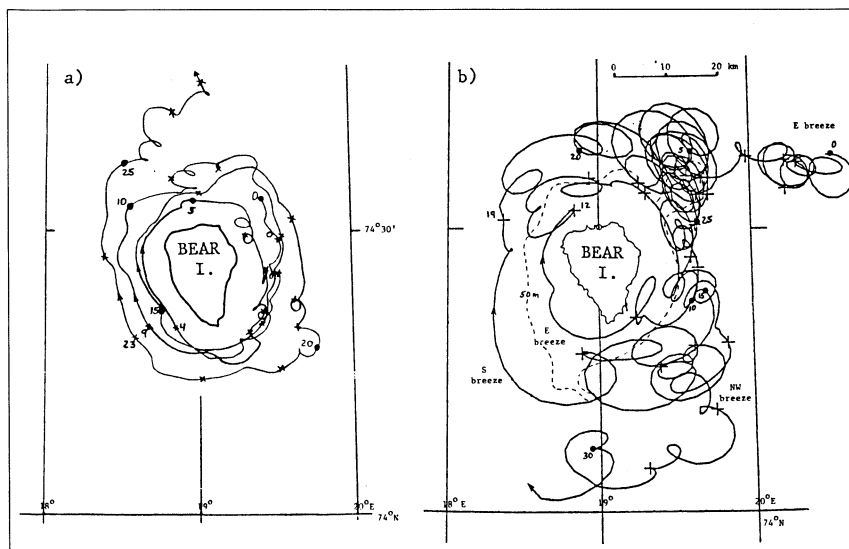
A) Polarfronten øst for Bjørnøya er topografisk styrt. Polarvann blir



Figur 8. Laboriemodell av Barentshavet. Overflatestømmer er tatt fra Norske Los. Viktige resultater fra modellforsøk er notert med bokstav i sirkel.



Figur 9. Feltnmålinger og modellstrømmer syd og øst for Sentralbanken. Tall viser måledyp i m. (McClimans og Nilsen, 1993).



Figur 10. Partikkelbaner rundt Bjørnøya: a) modell og b) natur. Tall viser døgn. (McClimans og Nilsen, 1993).

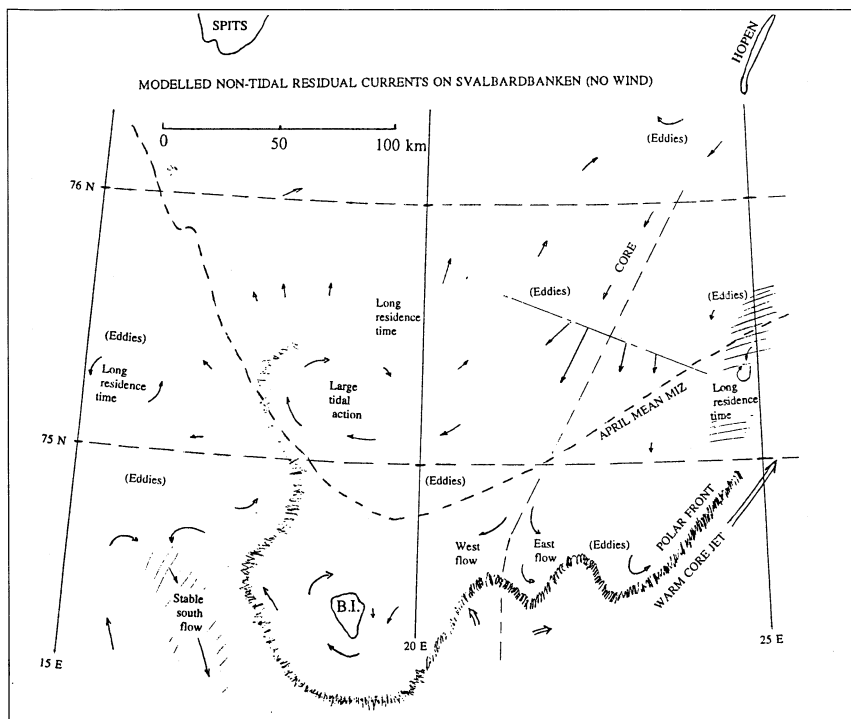
medrevet i en varm stråle av Atlanterhavsvann som strømmer nordøst langs skråningen til Svalbardbanken. Denne strålen skyver polarfronten (og is) nordøstover øst for Hopen.

- B) Sirkulasjonen rundt Sentralbanken går med klokka (mot sol). Her er polarvann og is dynamisk passive. Kaldt vann og is transporteres sydover øst for 40. lengdegrad.
- C) Mesoskala virvler i Bjørnøyrenna er forårsaket av utbrudd av kystvann ved Tromsøflaket. Lengst nord er det noen virvler fra utbrudd av polarvann fra polarfronten.
- D) Tidevannsstrømmer driver en mot sola sirkulasjon over Svalbardban-

ken. En sirkulasjon rundt Bjørnøya med anløpstid på 5–8 døgn er blitt bekreftet av drivmarkør.

E) Utstrømningen av bunnvann fra det østlige Barentshavet forklarer noen av observasjonene av kaldt vann dypt nede i Bjørnøyrenna.

Figur 9 viser sammenligningen av strømmer øst for Sentralbanken med feltmålinger. Vi har dessverre for liten dokumentasjon på strømforholdene og spredningsegenskaper i den østlige delen der det har vært så mye dumping av radioaktivt avfall. OCEANOR har en enkel målestasjon på utsiden av Murmanstrømmen. Figur 10 viser modellstrømmer rundt Bjørnøya sam-



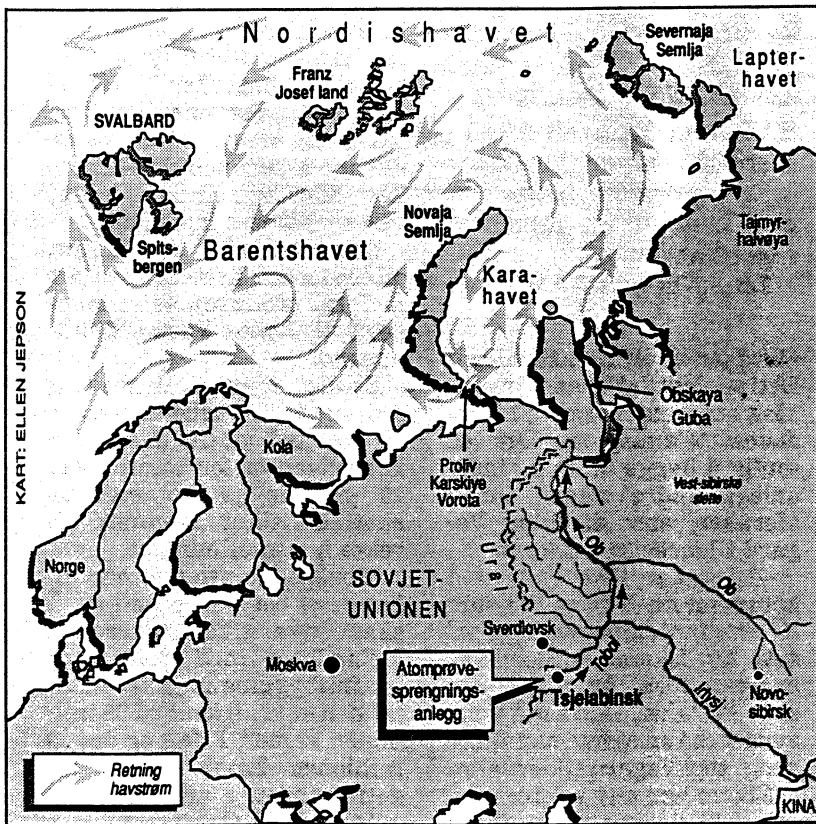
Figur 11. Strømmønsteret over Svalbardbanken.

menlignet med en Argos drivbøye. Omløpstiden på 5—8 døgn stemte meget bra.

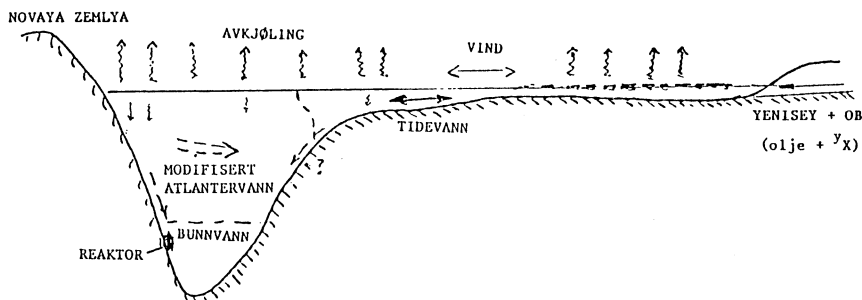
Strømningsmønsteret på Svalbard-banken er komplisert. Figur 11 viser noen av de viktigste trekk. Dersom vinden ikke er for sterk, vil et utslipp på øst-siden av den stiplede linjen blande seg med Atlanterhavsvannsstrømning øst for Hopen og resten vil gå vestover (gjennom Framstredet). Det er innlysende at alt polarvann som strømmer til Svalbardbanken blir returnert til Polhavet!

6.3 Karahavet

Vi hadde håpet å få laget en laboratoriemodell av Karahavet, men dette må være framtidsmusikk i skrivende stund. Vi kan likevel trekke frem noen sannsynlige trekk fra våre erfaringer med de øvrige laboratoriemodellene. De storstilte strømmene er drevet av (modifisert) Atlanterhavsvann og polarvann i nord og innstrømning fra Ob og Yenisey. Disse elvene fører like mye ferskvann som den norske kyststrømmen. Vi venter derfor et meget lagdelt hav i sør.



Figur 12. Kart over strømmer i Karahavet (Adresseavisen).



Figur 13. Tverrsnitt av vertikale transportveier i Karahavet.

Nyere feltmålinger foretatt av Havforskningsinstituttet (Loeng et al, 1993) bekrefter transporten av modifisert Atlanterhavsvann forbi Novaya Zemlya og det eneste strømkart jeg kunne finne viser en forlengelse av strømmen sydover i Karahavet (Figur 12). Pga de utstrakte grunne områdene i Karahavet er det sannsynlig at tidevannsstrømmer påvirker både transportveier og blanding. Vind og is vil også være viktig for forureningsregnskap. Utvekslingen mellom Karahavet og Pechorahavet er sannsynligvis også dominert av tidevann og variable vind (som i Lofoten-arkipelago).

To hovedkilder for forurensninger er blitt fremhevet i mediet: Obelva og atomreaktorer på bunnen. Et tverrsnitt fra Novaya Zemlya til Yenisey sett mot nord viser essensen i det tenkte transportbildet (figur 13).

Det er naturlig å tro at forurenningene i elvene vil kunne akkumuleres i isen og ellers følge overflatestrømmene i bassenget og ut på den ytre sokkelen. Den alminnelige sirkulasjonen i verdenshavene tyder på at mesteparten av dette vannet vil strømme mot Lapteerhavet og videre østover, mens noe blir utvekslet med polhavsvann og strømmer vestover mot Svalbardbanken. Det

er altfor lite data om prosessene i Karahavet til å kunne trekke noen holdbare konklusjoner.

Avkjølingen forårsaker sannsynligvis bunnvannsdannelse øst for Novaya Zemlya, mens lagdelingen over de grunne områdene kan være stor nok til å forhindre en dypvannsdannelse. Vi har planer om å undersøke styringsmekanismene for denne type transport. Bunnvannsdannelse øst for Novaya Zemlya kan vaske ned eventuelle forurensete bunnsedimenter. Det er en smal renne mellom dette bassenget og Syvataya Annarenna i nord og oppholdstiden til bunnvannet er trolig stor. Utstrømningen av dette vannet ventes å følge østskråningen av Syvataya Annarenna mot Polhavet uten å blande seg med polarvannet som strømmer til Barentshavet.

7. Hva mangler?

Vår viten om de fysiske forholdene varierer sterkt fra Lofoten til Karahavet. Mens vi er i stand til å utvikle og validere regnemaskinmodeller i vest, mangler vi både data og grunnleggende kunnskaper om prosessene i øst. Vi trenger derfor et større datagrunnlag fra det østlige Barentshavet og fra Karahavet,

og enkelte prosessstudier om konveksjonsprosesser på grunne sokkelområder. Vår erfaring viser absolutt stor nytte av laboratoriemodeller både for

forståelse av årsak-virkningssammenhenger og for planlegging av målestrategi og regnemaskin-modellstrategi.

Referanser:

- Loeng, H., Sagen, H., Ådlandsvik, B. og Ozhigin, V. (1993): Current measurements between Novaya Zemlya and Franz Josef Land September 1991—September 1992. Data Report. Havforskningsinstituttet, Miljøsen-ter rapport nr. 2-1993.
- McClimans, T.A. og Myhr, B. (1991): Laboratory simulation of the circulation around Lofoten. NHL Video.
- McClimans, T.A. og Nilsen J.H. (1991): Laboratory simulation of the ocean circulation around Lofoten from October 1982 to June 1984. NHL-rapport STF60 A91027.
- McClimans, A.T. og Nilsen, J.H. (1993): Laboratory simulation of the ocean currents in the Barents Sea. Dynamics of Atmospheres and Oceans (i trykk).
- Nilsen, J.H., McClimans, T.A. og Løvås, S.M. (1990): Rift drift in floe flow: Iceberg wakes in Arctic sea ice. Cont. Shelf Res. 10: 81—86.
- Norske Los, Bind VII, utgitt av Norges Sjøkartverk.



Vi utfører tverrfaglig planlegging og prosjektering innen:

- *Vannbehandling*
- *Kommunale og industrielle renseanlegg*
- *Slambehandling*
- *Avfallsbehandling*
- *Aquakultur*

GRØNER ANLEGG MILJØ A/S

Boks 414, 1322 Høvik. Tlf. 67 12 80 00

Sarpsborg - Fredrikstad - Moss - Ski - Moelv - Hamar - Elverum - Porsgrunn - Skien - Larvik - Kristiansand
- Bergen - Førde - Åleund - Kristiansund - Trondheim - Bodø - Narvik - Finnsnes - Tromsø