



Statlig program for forurensningsovervåkning

Rapport 539/93

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

Nansens Senter for Miljø og
Fjernmåling

Miljøgiftundersøkelser i

Indre Oslofjord

Delrapport 1.

Simulering av
partikkelspredning fra
Oslo havnebasseng



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-921316	Undernr.:
Løpenr.: 2991	Begr. distrib.: Fri

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Miljøgifter i indre Oslofjord. Delrapport 1. Simulering av partikkelspredning fra Oslo havnebasseng. (Overvåkingsrapport nr. 593 /93). TA nr. 1000/1993	Dato: 23.12.93 Trykket: NIVA 1994
Forfatter(e): Anders Rudberg, NERSC Bruce Hackett, NERSC Lars Petter Røed, NERSC	Faggruppe: Marinøkologisk
	Geografisk område: Akershus
	Antall sider: 19 Opplag: 150

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsg. ref.: P-E. Iversen
--	---

Ekstrakt:

Denne rapporten er et ledd i program for miljøgiftundersøkelser i indre Oslofjord. Rapporten gir en beskrivelse av spredningsmønster fra et tenkt utslipp av partikler i Bjørvika under forskjellige vindforhold. Analysen er basert på resultater fra simuleringer med et modellmiljøsystem bestående av strømmmodell, som beregner underliggende strømmer, og en transport-spredningsmodell, som beregner spredning i form av konsentrasjoner.

Simuleringene viser at i hovedsak vil partiklene oppkonsentreres i Bjørvika. Imidlertid vil Akerselva frakte en del partikler ut i strømsystemet utenfor Bjørvika. De partikler som fraktes ut av Bjørvika vil med vind fra nord og øst bli fraktet sydover mot Bekkelagsbassenget og videre. Med vinder fra nord og øst vil partikler sluppet ut i Bjørvika spres mot nord, dvs, mot Pipervika, Frognerkilen og endog helt til Huk på Bygdøy. Bare svært små konsentrasjoner vil bli fraktet utenfor øyene i Oslo havn.

4 emneord, norske

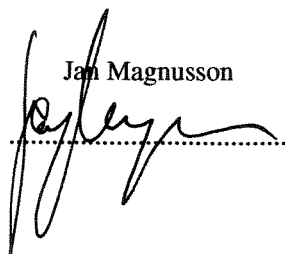
1. Strømmmodell
2. Partikkelspredning
3. Oslo havneområde
- 4.

4 emneord, engelske

1. Current-model
2. Particle-transport
3. Oslo harbour
- 4.

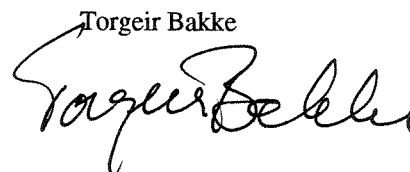
Prosjektleder

Jan Magnusson



For administrasjonen

Torgeir Bakke



ISBN-82-577-2434-3



Simulering av partikkelspredning fra Oslo havnebasseng

av

LARS PETTER RØED, ANDERS RUDBERG OG BRUCE HACKETT

*Nansen Environmental and Remote Sensing Center
Vollsveien 13, Bygg B
1324 Lysaker*

Teknisk rapport nr. 76

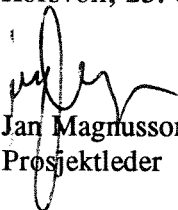
23. desember 1993

FORORD

Statens forurensingstilsyn anmodet Norsk institutt for vannforskning om å utarbeide et program for miljøgiftsundersøkelser i Indre Oslofjord. Undersøkelsen er foranlediget av de store konsentrasjoner av miljøgifter som ble påvist vinteren 1992. Programmet omfatter tre deler; kildesporing, kartlegging av situasjonen i fjorden og forslag til eventuelle nødvendige tiltak. Programmet bygger på andre undersøkelser som er planlagt i fjorden, først og fremst overvåkningsundersøkelsene som finansieres av Fagrådet for Indre Oslofjord, samt miljøgiftsundersøkelser i organismer i Joint Monitoring Program (SFT-prosjekt).

Denne rapporten omhandler første del av modelleringsarbeidet som er foretatt av Nansensenteret innenfor programmet. Arbeidet munner ut i en kartlegging av sirkulasjonssystemet og angir på grunnlag av dette sannsynlig spredning av et tenkt utslipp i Bjørvika under forskjellige vindforhold.

Korsvoll, 23. desember, 1993



Jan Magnusson
Prosjektleder

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
INNHOLDSFORTEGNELSE	3
SAMMENDRAG	4
Formål	4
Gjennomføring	4
Konklusjoner	4
Dokumentasjon	4
1. INNLEDNING	5
2. GJENNOMFØRING	5
3. MODELLVERKTØYET OG SIMULERINGENE	5
3.1. Modellverktøyet; begrensninger og fortrinn	5
3.2. Simuleringene	6
4. RESULTATER	7
4.1. Idealiserte vinder	7
4.2. Sommersituasjonen	8
4.3. Vintersituasjonen	8
5. KONKLUSJONER	8
6. DISKUSJON	9
HENVISNINGER	9
FIGURER	10
VEDLEGG: STRØMMODELLEN OG SPREDNINGSMODELLEN	18

SAMMENDRAG

Formål

Hensikten med det arbeidet som rapporteres her har vært å kartlegge sannsynlig spredning av partikler fra Oslo havnebasseng under forskjellige vindforhold basert på modellsimuleringer.

Gjennomføring

Kartleggingen har vært gjennomført ved å utføre de arbeidsoppgaver som er vist i Figur 1. Både observerte og idealiserte vinder er brukt. Beregningene er utført ved først å beregne strømmene for deretter å beregne spredningen (se Fig. 2)

Konklusjoner

Analyser av modellresultatene for et tenkt utslipp i Bjørvika gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- På grunn av små hastigheter i Bjørvika oppkonsentreres store deler av utslippet rundt selve utslippstedet uansett vindforhold.
- Vannføringen fra Akerselva driver materialet ut av Bjørvika, men har utover dette ikke noe å si for den videre spredningen utenfor Bjørvika.
- Gjennomgående spres materialet i motsatt retning av vinden innenfor øyene
- Ved nordavind, nordøstvind og østavind spres materialet nordvestover og påvirker området mellom Pipervika og Hovedøya. Ved vedvarende vinder påvirkes også områdene Huk og Bygdøy.
- Med vind fra sør og vest er influensområdet hovedsakelig Bækkelagsbassenget, men ved vedvarende vinder spres noe videre sørover mot Langøya.
- Innenfor den simuleringstiden som er benyttet her (én til to uker) er det bare svært små konsentrasjoner som når områdene vest for øyene i Oslo havnebasseng (f.eks. vest for Nakkholmen)

Dokumentasjon

Alle de gjennomførte arbeidsoppgavene er dokumentert i denne rapporten. Regnemaskinkoden til de to modellene samt alle beregnede verdier av strøm og konsentrasjoner er lagret på magnetbånd og oppbevares på Nansensenteret ut desember 1994.

1. INNLEDNING

Dette prosjektet er utarbeidet som en del av en miljøgiftsundersøkelse i Indre Oslofjord. Målet har vært å kartlegge sannsynlig spredning av partikler fra Oslo havnebasseng (Bjørvika/Bispevika) under ulike vindforhold ved hjelp av modellsimuleringer. Hensikten med denne type informasjon er å få et grunnlagsmateriale for bedømmelse av spredningsforhold og det primære influensområdet fra utslipp i Oslo havnebasseng som hjelp til tolkning av bl.a. sedimentanalyser. Modellverktøyet er også tenkt brukt i tiltaksanalysen, bl.a. for å kunne gi anbefalinger om gunstige vindforhold ved en eventuell mudring av sedimenter for å unngå stor spredning av partikler ut fra området.

Ovenfor er gitt et kort sammendrag. En detaljert fremstilling av gjennomføringen av arbeidet er gjengitt i kap. 2, mens modellverktøyet er diskutert i kap. 3. Kap. 4 gir tilkjenne resultatene av de enkelte simuleringene som har vært foretatt, mens kap. 5 gir tilkjenne de viktigste konklusjonene. Rapporten avsluttes med en kort diskusjon (kap. 6).

2. GJENNOMFØRING

Prosjektet har vært gjennomført ved å følge flytdiagrammet i Figur 1. De enkelte arbeidsoppgavene har vært som følger:

1. Først ble strømmodellen satt opp for Oslo havn. Deretter ble den sjekket for mulige kodingsfeil o.l. (verifisert) samtidig som modellparametere ble bestemt. Transport- og spredningsmodellen ble deretter satt opp for samme område og verifisert på tilsvarende måte.
2. Deretter ble strømmodellen drevet med Akerselvas vannføring som eneste pådrag inntil en tilstand med tilnærmet stasjonære strømforhold var oppnådd. Med dette menes at den totale kinetiske energien inneholdt i strømmen har et midlere konstant nivå. Endringer i de lokale strømforhold er fremdeles tilstede (og skal være det) p.g.a dannelsen av virvler og andre ikke lineære fenomen (se Figur 4).
3. Fra denne tilstanden ble strømmodellen så kjørt med konstant vind fra h.h.v. nord, sør, øst og vest inntil et tilnærmet stasjonært strømmønster igjen var oppnådd for hvert av de fire tilfellene.
4. Strømfeltet fra hver av disse fire tilfellene ble så benyttet for å beregne spredning (over fire døgn) ved hjelp av transport- og spredningsmodellen.
5. Realistiske spredningsmønstre er også beregnet ved å benytte observert vind fra Fornebu og observert vannføring i Akerselva (innhentet gjennom NIVA) for to situasjoner (se kap. 3.2).
6. Alle beregninger ble avsluttet ved at resultatene ble lagret på magnetbånd. Deretter ble resultatene fremstilt på papir i form av enkeltbilder og som animasjoner på regnemaskin.
7. Til slutt ble resultatene analysert, konklusjoner trukket og rapport skrevet.

3. MODELLVERKTØYET OG SIMULERINGENE

3.1. Modellverktøyet; begrensninger og fortrinn

Modellverktøyet som brukes er en del av NERSCs miljømodellsystem (Figur 2). Sentralt står *strømmodellen* som simulerer sirkulasjonsmønsteret (eller strømmen). Som de tre boksene øverst til venstre i Figur 2 viser drives strømmodellen av vind, ferskvannsavrenning fra elver og innfluks gjennom åpne render. Når data er tilgjengelig kan modellen også drives av observerte data (data assimilasjon). Avhengig av hvilken strømmodell som benyttes leverer strømmodellen informasjon om transportene (U), tykkelsen av det øvre laget (h), saltholdighet (S) og temperatur (T). Denne

informasjonen benyttes videre i Miljømodellsystemet til å beregne spredning. Ut i fra formålet kan dette gjøres enten ved å aktivisere en *partikkelbanemodell*, som beregner posisjonen (r_i) til enkeltpartikler sluppet ut i strømfeltet, eller ved en *spredningsmodell*, som beregner konsentrasjoner (C) av et gitt utslipp. Som vist i Figur 2 har hver av disse modellmodulene sine egne kilder. Disse skyldes enten direkte tilførsler og/eller biogeokjemiske prosesser og omdanninger. Til slutt kan resultatene gis en grafisk presentasjon eller behandles og/eller analyseres statistisk.

For dette prosjektet har en valgt en forholdsvis enkel strømmodell som kun gir informasjon om transportene (U) i Oslo havns øvre vannmasser som følge av vind og tilførsel fra Akerselva (se Vedlegget for detaljer). Den simulerte strømmen fra modellen svarer til en "strømobservasjon" i ca. 5 meters dyp. En slik tenkt observasjon blir beregnet hvert femte sekund i knutepunktene i et nesten kvadratisk rutenett med maskevidde ca. 30 m. Modellens gitter dekker Oslo havn begrenset av et nord-sørgående snitt mellom Huk og Nesodden og et snitt øst-vest rett sør for Malmøya (Figur 3). Rutenettet består totalt av 206×210 , dvs. 43260 punkter. Av disse er bare drøyt halvparten (53 %) "våte", dvs. å regne som observasjonspunkter, resten er landpunkter. Som et eksempel er i Figur 4 avbildet et øyeblikksbilde av strømmen.

Strømmodellen for Oslo havn har følgende egenskaper:

- Den beskriver strømningsmønsteret (sirkulasjonen) i overflatelaget som følge av vind og elvetilførsel. Dvs. modellen beregner den midlere strømhastighet (U/h) i det øvre vannlaget (midlet over modellens øvre lag av variable tykkelse h).
- Den genererer virvler som følge av horisontalt strømskjær.
- Den er robust i den forstand at den gir samme nøyaktighet også for ekstreme vindpådrag.
- Den er dessuten meget effektiv på regnemaskin, dvs. beregningene kan foretas på PC'er eller mindre arbeidsstasjoner.

Tilsvarende modeller er brukt, med hell, til å beskrive strømningsmønsteret i f.eks. Bergen Byfjord [Rudberg et al., 1993], Ytre Oslofjord [Baalsrud og Magnusson, 1990, Røed et al., 1990] og større havområder [Heim et al., 1992].

Ingen modell er perfekt. Det betyr at den "strømobservasjonen" som modellen gir er beheftet med en viss usikkerhet. Usikkerheten avhenger av hvorvidt modellen inneholder en god representasjon av de fysiske prosesser som er opphav til strømmene. Ut i fra de erfaringer vi har gjort her og i tidligere undersøkelser, er denne usikkerheten statistisk sett omlag $\pm 20\%$.

Resultatene fra strømmodellen brukes deretter som bakgrunnstrømmer til å beregne spredning fra et gitt utslipp. Her er valgt å beregne konsentrasjoner, dvs. gjøre bruk av *spredningsmodellen* (Figur 2). Resultatene gis i form av konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$).

3.2. Simuleringene

De utførte simuleringene kan deles i tre hovedgrupper:

1. *Ekstrem*: Her er spredning analysert basert på resultatene fra simuleringer med konstant vind fra de fire hovedretningene nord, sør, øst og vest. Vindstyrken er omlag 7 m/s, som er forholdsvis mye. Hensikten er å frembringe ekstreme påvirkninger ("worst case scenarios")
2. *Sommer*: Observerte verdier for vind (Fornebu) og vannføring i Akerselva fra perioden 12. til 28. juni 1987 er her blitt brukt som pådrag. I denne perioden på 16 dager er det vesentlig solgangsbris med et kortere innslag av nordavind (fire dager) i den første uken.

3. *Vinter*: Observerte verdier for vind (Fornebu) og vannføring i Akerselva fra perioden 12. til 19. februar 1987 er her blitt brukt som pådrag. I denne perioden på 7 dager er det vesentlig nord og nordøstlige vinder med noen svært korte (maksimum 1 dag) innslag av sørvest vind.

For gruppe 2 og 3 er observasjonene gitt oss av NIVA. Hvert tilfelle er satt opp med et tenkt utslipp i Bjørvika. Utslipet er kontinuerlig noe som gjør det mulig å danne seg et bilde av hvilke områder som er påvirket av utslippet. Utslipet er lagt som et belte tvers over munningen til Bjørvika (Figur 3). Innenfor et område på 30 x 300 meter (1 x 10 gridpunkter) tilføres vannmassene kontinuerlig en gitt konsentrasjon (i $\mu\text{g/l}$) av et stoff. I de videre beregninger er det sett bort i fra eventuelle kjemiske omforminger eller biologisk aktivitet. *Bildet som fremkommer er derfor å regne som konservativt*. Dette er å forstå slik at dersom en tar hensyn til biogeokjemiske prosesser og omdanninger (som her er sett bort i fra) ville de snarere føre til en reduksjon av de beregnede konsentrasjoner enn det motsatte.

Resultatene er lagret på magnetbånd som felter for strøm (U/h), øvre lagstykkelse (h) og konsentrasjoner (C) hver time. I tillegg er det lagret tidsserier (med høyere tidsopløsning) av de samme variable i 8 utvalgte punkter. De lagrete feltene er så brukt til grafiske animasjoner av sirkulasjonsmønsteret (Figur 4 viser et øyeblikksbilde av strømforholdene fra en slik animering) og spredningen (se f.eks. Figur 10). For tiden benyttes animeringsverktøyet GASP (Graphical Animation Software Package) som er utviklet ved Florida State University, USA for bruk på Silicon Graphics arbeidsstasjoner.

4. RESULTATER

En viktig forutsetning for å forstå modellresultatene ligger i en kunnskap om pådragene, dvs. vind, elvetilførsel og tilførsler gjennom modellens åpne render (se Figur 3). Tilførsel gjennom den vestre åpne randen mot Vestfjorden er konstruert slik at strøm på grunn av det lokale vindpådraget er med. Dette gjelder også den sørlige åpne randen mot Bunnefjorden. Denne er i tillegg konstruert som en "trykkballong", dvs. når forholdene ligger til rette for det (f.eks. ved vestlige vinder) stuves vann opp i Bunnefjorden som senere tømmes når vinden skifter retning. (Omtrent samme effekt som når man blåser opp en ballong. Ballongen fylles opp under trykk, men når trykket fjernes slippes luften ut igjen).

Det er derfor både det lokale vindpådraget og dets historie samt elvetilførselen og effekten av oppstuvningen i Bunnefjorden som er avgjørende for hvordan sirkulasjonen til enhver tid er, og derav hvordan et tenkt utslipp sprer seg.

4.1. Idealiserte vinder

I motsetning til hva man kunne forvente med vind fra nord, oppkonsentreres utslippet i og rett utenfor Bjørvika. Det primære influensområdet er nord for Hovedøya og innover mot Pipervika (Figur 5).

Med vind fra sør sprer partiklene seg primært sørover (altså mot vindretningen). Influensområdene innbefatter Bækkelagsbassenget og et område mellom Bleikøya og Hovedøya (Figur 6).

Med vind fra øst spres partiklene over et større område. Det oppkonsentreres ikke så mye rundt selve utslippet. Partiklene spres vestover nord for Hovedøya, inn i Pipervika, såvidt inn i Frognerkilen og utenfor Bygdøy, helt til Huk (Figur 7).

Med vind fra vest spres partiklene ned i Bækkelagsbassenget (Figur 8).

4.2. Sommersituasjonen

Perioden (12. til 28. juni 1987) starter med fire døgn solgangsbris for så å gå over i fire døgn med norda-, nordvest- og nordøstvind for igjen å gå over i solgangsbris i åtte døgn, en nokså typisk sommersituasjon.

I hovedsak skjer oppkonsentrering rundt selve utslippet under hele perioden med en mindre oppkonsentrering i Bækkelagsbassenget. I tillegg spres små mengder til forskjellige steder ettersom vinden varierer (Figur 9 og 10).

Når vinden etter den første perioden med solgangsbris kommer fra nordøst transporteres raskt deler av utslippet nordvestover til nord for Hovedøya, inn i Pipervika, nord for Lindøya og Nakkholmen og bort til Bygdøy (Figur 9). Man ser også at noe materiale fanges inn i en antisyklonisk (med klokken) virvel nord for Lindøya.

Senere i perioden (etter 14 døgn) med vind fra sør spres små mengder av partiklene sørover helt ned til Langøya og Malmøya (Figur 10).

Det fremgår også av Figur 9 og 10 at områdene sørvest for Nakkholmen, Lindøya, Grasholmen og Langøya og sør for Malmøya blir bare i svært liten grad berørt av partikler fra et utslipp i Bjørvika.

4.3. Vintersituasjonen

Den valgte perioden (12. til 19. februar 1987) inneholder for det meste nordavind med noen korte perioder med sørvestvind, et typisk trekk ved vær-situasjonen om vinteren. Med nord-nordøstvind spres utslippet som før nordvest over. Den innerste delen av Pipervika, Frognerkilen blir påvirket samt områder nord for Hovedøya, Lindøya og Nakkholmen (Figur 11). En liten del av utslippet blir fanget opp i en antisyklonisk virvel nord for Lindøya, men spres igjen når vinden kommer fra sørvest.

5. KONKLUSJONER

Et generelt trekk ved alle simuleringene er at det kun er små hastigheter som genereres i og like utenfor Bjørvika. Alle beregningene viser da også at utslippet i stor grad oppkonsentreres rundt selve utslippstedet. Imidlertid fører vannføringen fra Akerselva utslippet ut av Bjørvika. *Dette betyr at spredningen ut i bassengene utenfor Bjørvika styres av Akerselvas vannføring.* Utenfor Bjørvika er spredning avhengig av vindens styrke og retning.

Et annet generelt trekk er at spredningen med vinder fra nord og sør er motsatt av vindretningen. Med vinder fra nord skjer spredningen mot nord (Figur 5), og med vinder fra sør mot sør (Figur 6). Med vinder fra øst skjer spredningen mot nord, og med vinder fra vest mot sør (Figur 7 og 8).

Hovedkonklusjonene som kan trekkes er:

- På grunn av små hastigheter i Bjørvika oppkonsentreres store deler av utslippet rundt selve utslippstedet uansett vindforhold.
- Vannføringen fra Akerselva driver materialet ut av Bjørvika, men har utover dette ikke noe å si for den videre spredningen utenfor Bjørvika.
- Gjennomgående spres materialet i motsatt retning av vinden innenfor øyene

- Ved nordavind, nordøstvind og østavind spres materialet nordvestover og påvirker området mellom Pipervika og Hovedøya. Ved vedvarende vinder påvirkes også områdene Huk og Bygdøy.
- Med vind fra sør og vest er influensområdet hovedsakelig Bækkelagsbassenget, men ved vedvarende vinder spres noe videre sørover mot Langøya.
- Innenfor den simuleringstiden som er benyttet her (én til to uker) er det bare svært små konsentrasjoner som når områdene vest for øyene i Oslo havnebaseng (f.eks. vest for Nakkholmen)

6. DISKUSJON

En av hovedkonklusjonene er at spredningen innenfor øyene skjer motsatt av vindretningen. Dette skyldes at sirkulasjonen *innenfor* øyene er drevet av trykket som settes opp *utenfor* øyene, og ikke av de lokale vindene i Oslo havn. Ved f.eks. sørvestlige vinder settes det opp en sirkulasjon *utenfor* øyene som er syklonal (dvs. med klokken) i samsvar med en storstilet sirkulasjon i Vestfjorden (se Figur 4). Dette fører til et trykk som driver en antisyklonal sirkulasjon innenfor øyene. Når vinden snur, snur også sirkulasjonsretningene.

Strømmodellen som er brukt gir ingen direkte informasjon om strømmene under overflatelaget. En skal her være klar over at overflatelagets tykkelse varierer med de skiftende forhold. Imidlertid er modellen slik konstruert at transporten i overflatelaget er kompensert av en like stor men motsatt rettet transport under overflatelaget. Dersom laget under overflatelaget er tykt i forhold til overflatelaget (hvilket som oftest er tilfellet) vil hastighetene her være små i forhold til hastigheten i overflatelaget (transporten er hastigheten ganget med tykkelsen av laget). Dette er en av forutsetningene for den brukte modellen. Størrelsen av usikkerheten i modellresultatene (som angitt i kap. 2) er knyttet nettopp til i hvilken grad disse (og andre) forutsetningene er tilstede.

HENVISNINGER

- Baalsrud, K., og J.M. Magnusson, 1990: Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989: Hovedrapport. *Rapport 427/90, Statlig program for forurensningsovervåking*, 116 s.
- Heim, P.K. II, M.A. Johnson, and J.J. O'Brien, 1992: The influence of the Alaskan Gyre on the coastal circulation in the Gulf of Alaska. *J. Geophys. Res.*, **97**(C11), 17,765-17,775.
- Røed, L.P., H.M. Skåtun, and T.B. Irmann-Jacobsen, 1990: Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.8: Transportmodell. Simuleringer av strøm, sporstoffer og partikkelbaner. En analyse og oppsummering. *Rapport 412/90, Statlig program for forurensningsovervåking*, 55 s.
- Rudberg, A., L.P. Røed og B. Hackett, 1993: Simulering av sirkulasjon og stoffspredning i Byfjorden. *Teknisk rapport No. 67*, Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling, 32 s.

FIGURER

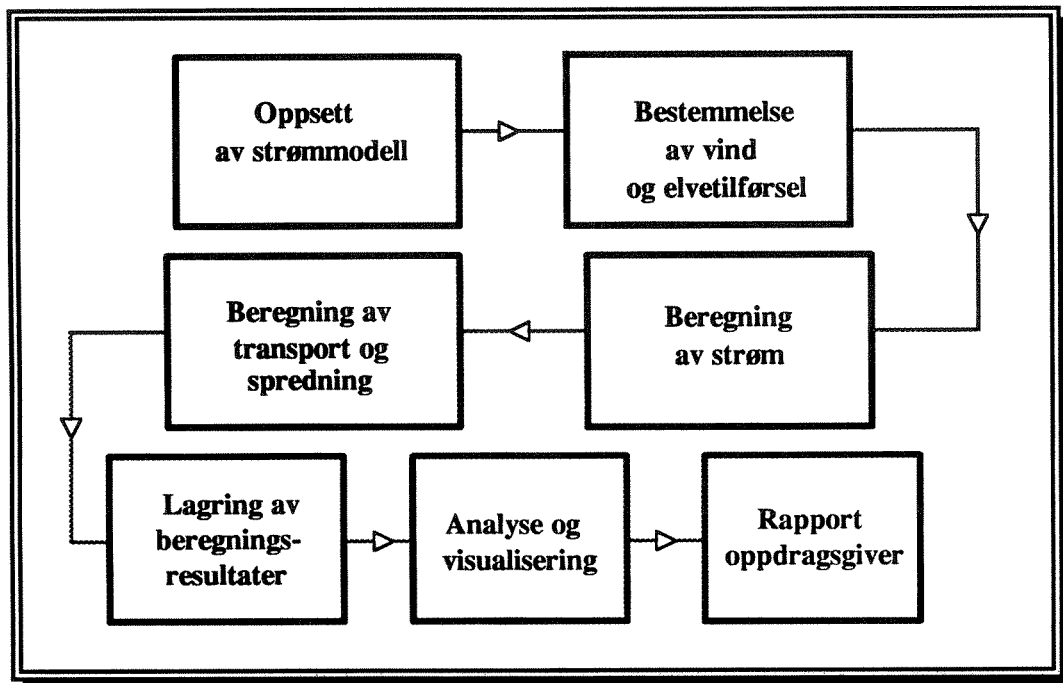


FIG. 1: Flytdiagram for prosjektets arbeidsoppgaver.

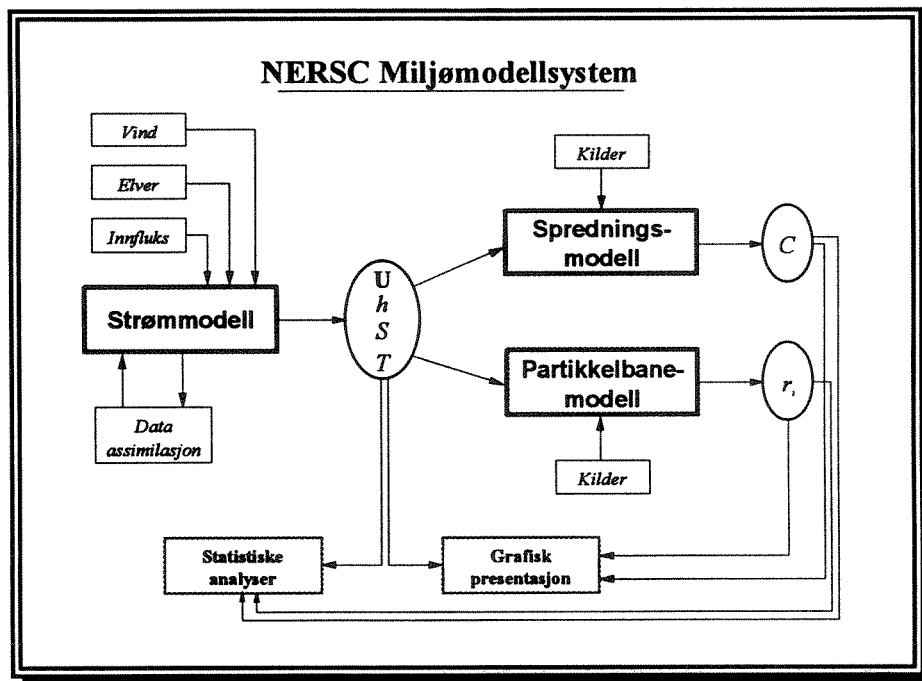


FIG. 2: Skjematisk fremstilling av NERSC miljømodellsystem. Variable fra strømmodellen er U , h , S og T , hvor U betegner volumtransportene (med komponenten U, V i de to horisontale retningene), h tykkelsen av det øvre laget, S saltholdigheten og T temperaturen i det øvre laget. C betegner konsentrasjonen av et utslipp, mens r_i betegner posisjonen til den i 'te partikkel.

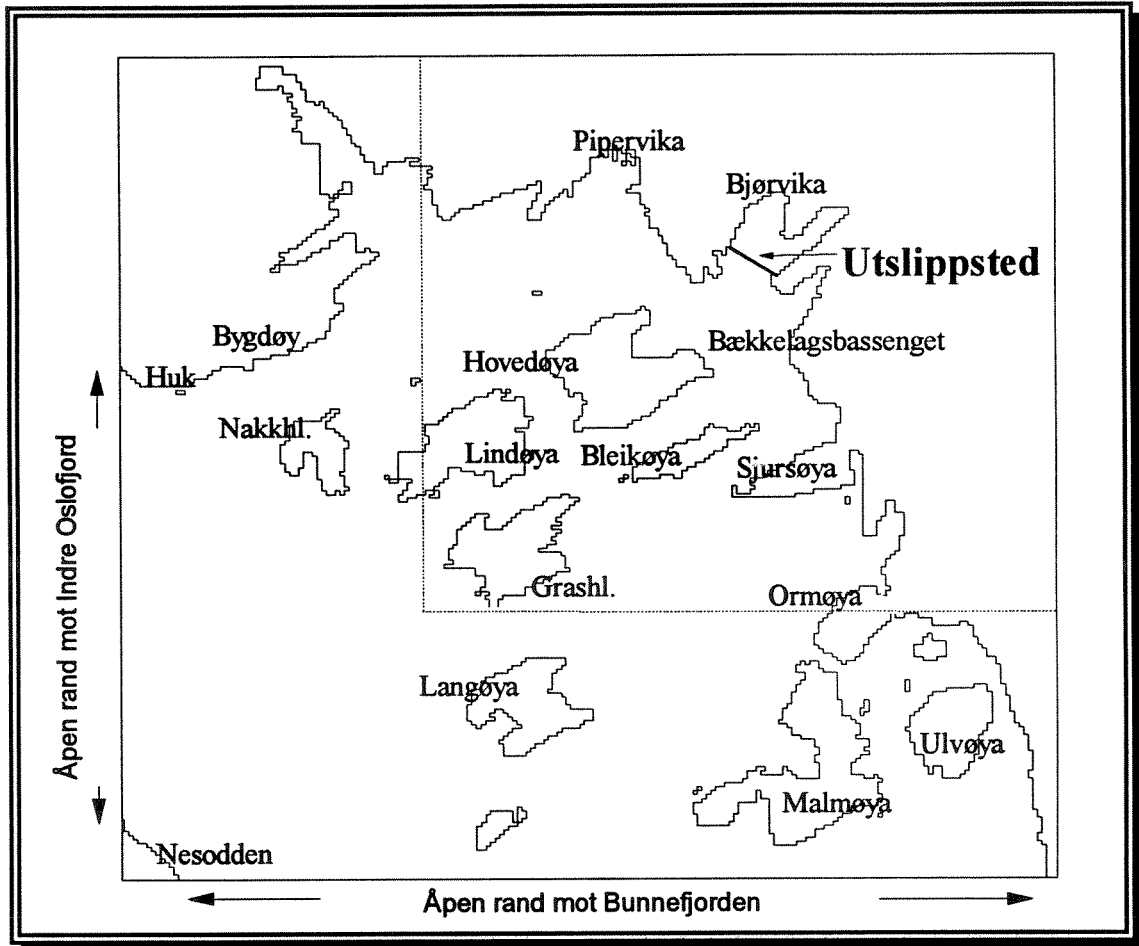


FIG. 3: Oversiktskart over simuleringsområdet med angitt utslippssted. Den stiplete linjen angir utsnittsområdet vist i Figurene 5-8.

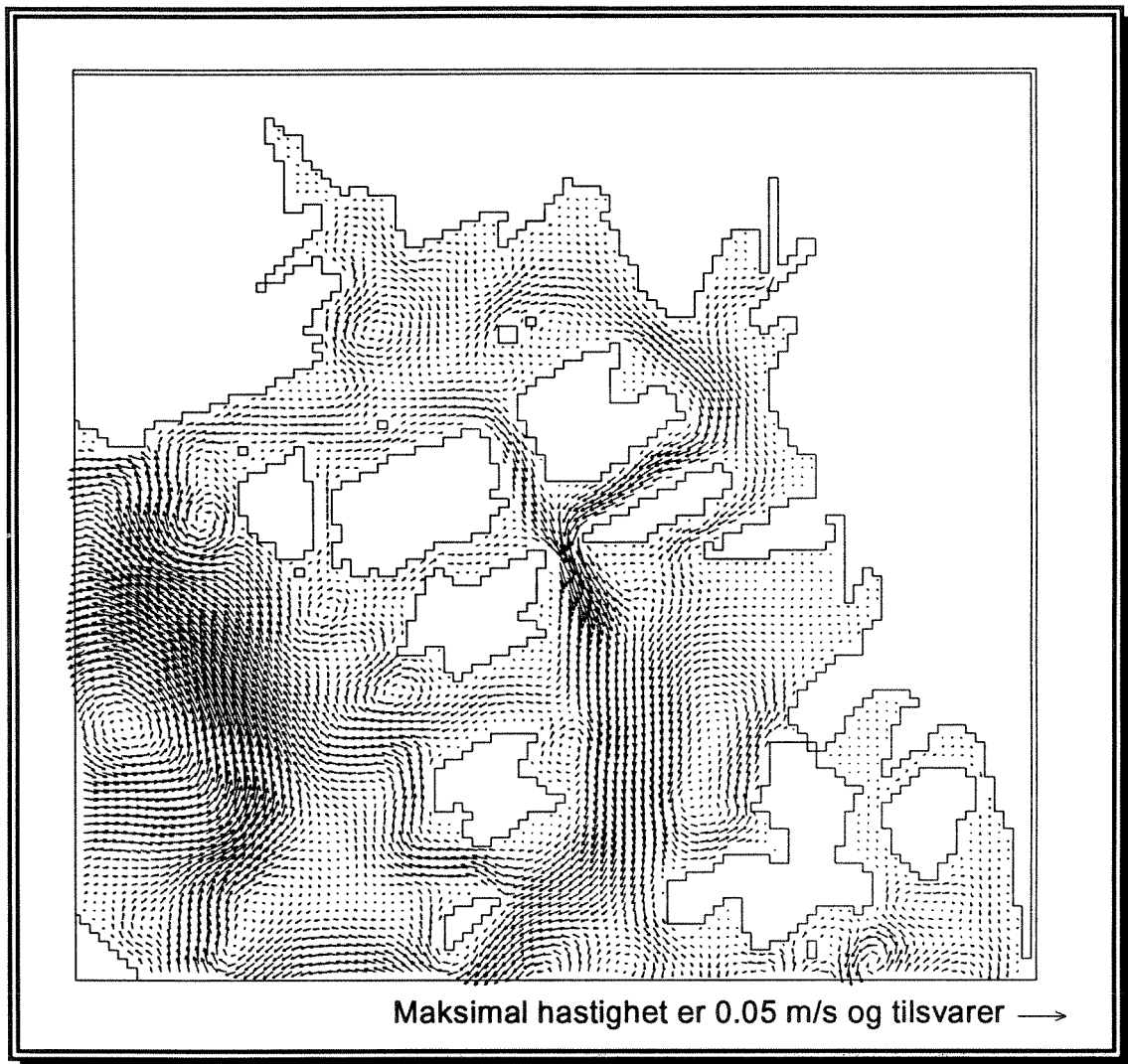


FIG. 4 : Strømningsbilde i Oslo havn i form av piler hvis retning og lengde svarer til strømmens retning og styrke. Bare annenhver "strømobservasjon" er avbildet. Skaleringen av pilen er angitt nede til høyre i figuren.

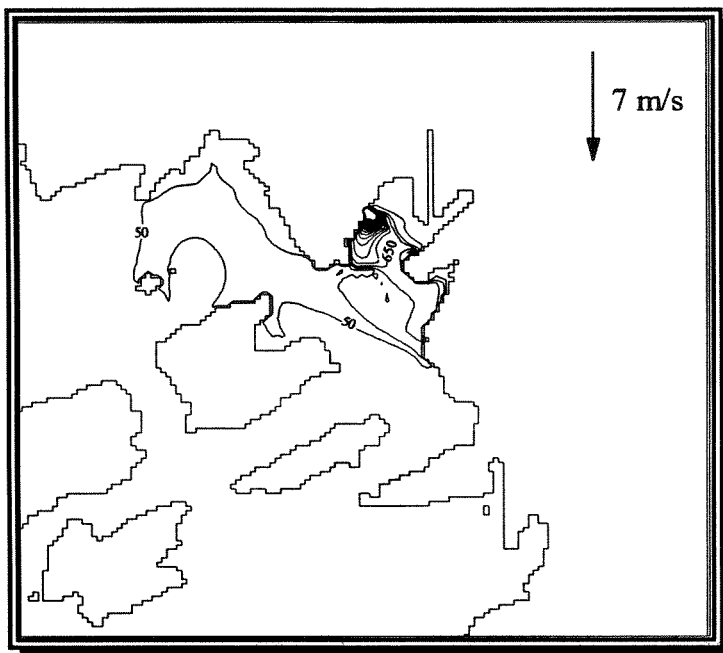


Fig. 5 : Øyeblikksbilde av spredningen etter 10.5 døgns simulering med idealisert vind fra nord og et tenkt utslipp i Bjørvika (se Fig. 3) i form av konsentrasjoner i $\mu\text{g}/\text{l}$. Bildet viser det utsnittet som er antydnet i Figur 3. Det er konturer fra 50.0 til 5000.0 med konturintervall på 250.0. Vindens styrke og retning er angitt øverst til høyre. Legg merke til at spredningen skjer mot nord, altså mot vindretningen.

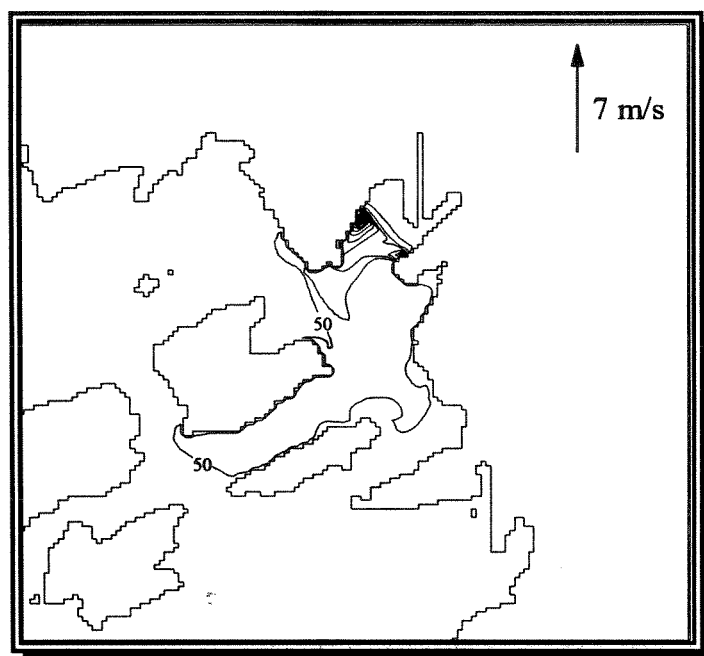


FIG. 6 : Som Figur 5, men etter 7.75 døgns simulering med idealisert vind fra sør. Legg merke til at igjen er spredningen motsatt av vindretningen.

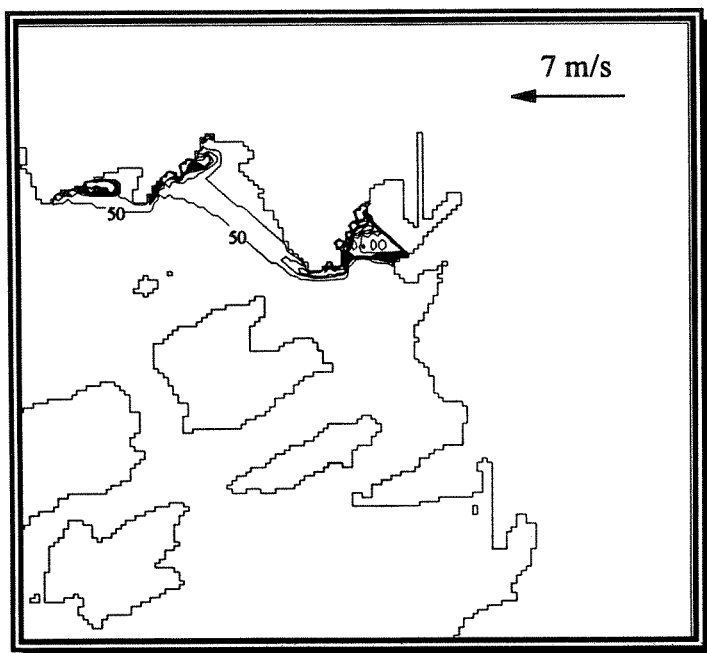


FIG. 7 : Som Figur 5, men etter 8.75 døgners simulering med idealisert vind fra øst. Spredningen skjer til høyre for vindretningen.

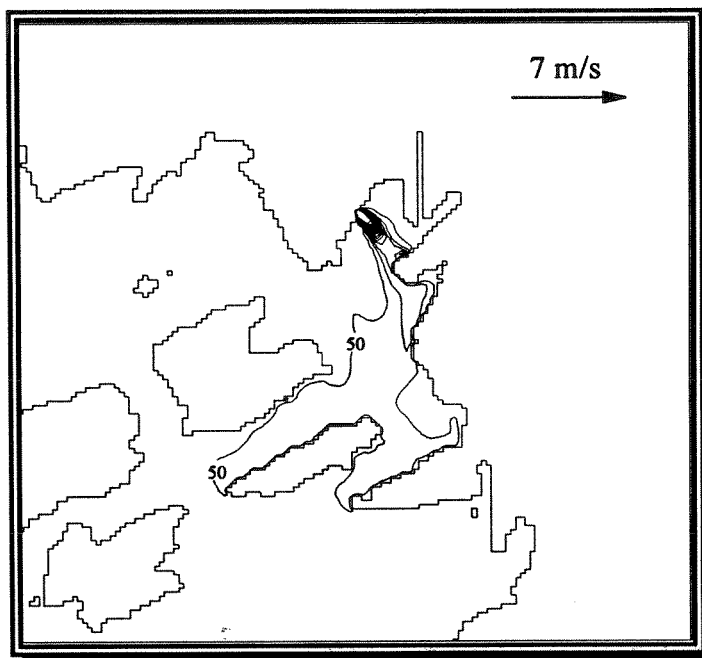


FIG. 8 : Som Figur 5, men etter 10.25 døgners simulering med idealisert vind fra vest. Igjen skjer spredningen til høyre for vindretningen.

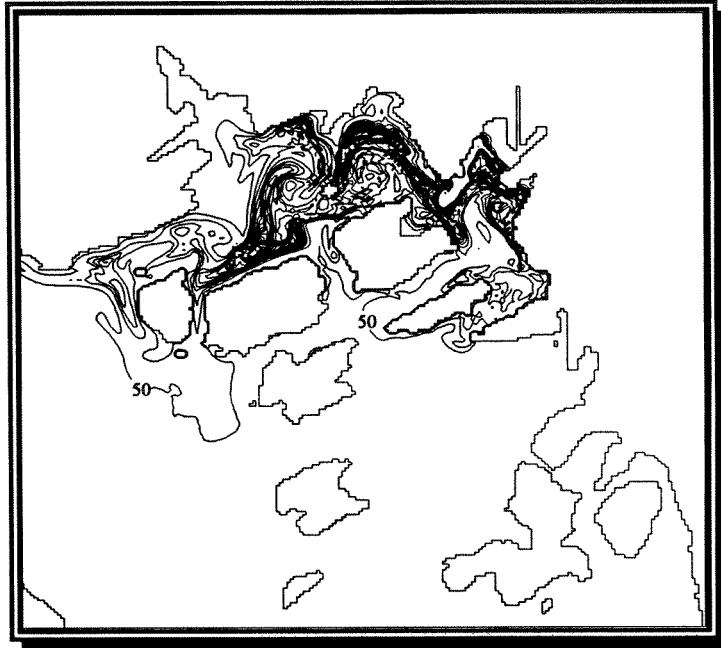


FIG. 9 : Som Figur 5, men for sommersituasjonen etter 5.6 døgns simulering. Her er brukt observert vind fra 12. til 28. juni 1987. Perioden er karakterisert av solgangsbris (første fire døgn og siste åtte døgn) med et innslag av nordavind over fire døgn innimellom. De høyeste konsentrasjonene (opptil $54000 \mu\text{g}/\text{l}$) finnes i og like utenfor Bjørvika. Spredningen mot nord skyldes klart innslaget av nordavind.



FIG. 10 : Som Figur 9, men etter 14 døgns simulering

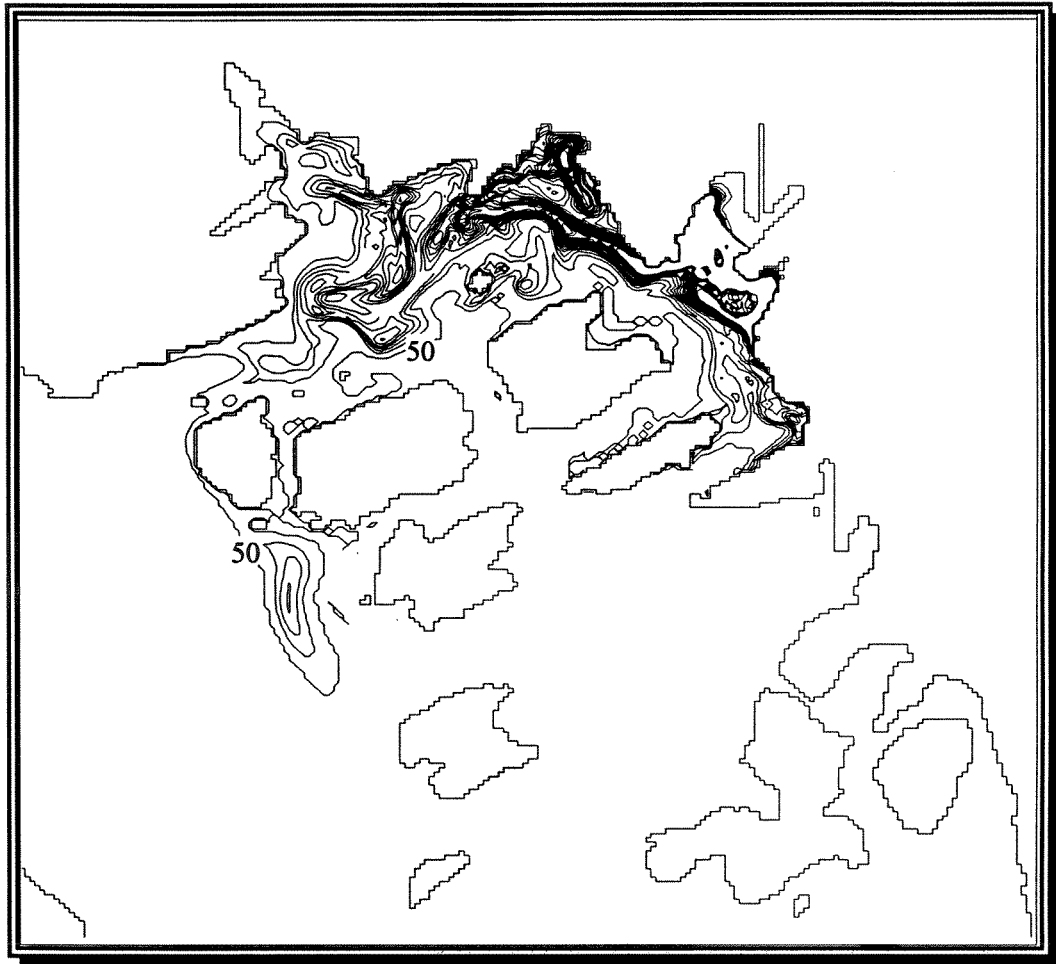


FIG. 11 : Som Figur 5, men for vintersituasjonen etter 8 døgns simulering. Simuleringen er foretatt med observert vind fra Fornebu for perioden 12. til 19. februar 1987. Perioden er karakterisert av nordlige og nordøstlige vinder.

VEDLEGG: STRØMMODELLEN OG SPREDNINGSMODELLEN

Strømmodellen

Strømmodellen som benyttes her er en såkalt tyngderedusert modell. Den bygger på de vanlige tredimensjonale likninger for bevarelse av masse, bevegelsesmengde og energi. Vertikaloppløsning er blitt ofret til fordel for høy horisontal oppløsning. Dette er muliggjort ved å benytte at vannmassene som oftest er lagdelte, dvs. er oppdelte i distinkte vertikale lag (med varierende lagtykkelse) og ved at bevarelseslikningene på forhånd er integrert i vertikalen. Strømmer som skyldes tidevann og/eller stormflo er fjernet ved å anta at bevegelsen i all vesentlighet er begrenset til det øvre laget. De styrende likninger er,

$$\mathbf{U}_t + \nabla \cdot \left(\frac{\mathbf{U}\mathbf{U}}{h} \right) + f \mathbf{k} \times \mathbf{U} + \frac{1}{2} g' \nabla h^2 = \frac{\boldsymbol{\tau}}{\rho} + D_u \nabla^2 \mathbf{U} - r \frac{\mathbf{U}}{h} \left| \frac{\mathbf{U}}{h} \right| \quad (1)$$

$$h_t + \nabla \cdot \mathbf{U} = w_e + D_h \nabla^2 h \quad (2)$$

hvor \mathbf{U} er vanntransporten (med komponenter U, V i h.h.v. x, y retningen) og h tykkelsen av det øvre laget, $f (= 2\Omega \sin \theta)$, hvor $\Omega = 2\pi \text{ dag}^{-1}$ og θ er breddegraden) er Coriolisparameteren, ρ er tettheten i det øvre laget, $\boldsymbol{\tau}$ er vindspenningen, \mathbf{k} er en enhetsvektor i vertikalen, og $g' = g\Delta\rho / \rho$ hvor g er tyngdens akselerasjon og $\Delta\rho$ er tetthetsforskjellen mellom øvre og nedre lag. Operatoren ∇ er den horisontale komponenten av divergensoperatoren,

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y}$$

hvor \mathbf{i} og \mathbf{j} er henholdsvis enhetsvektorer i de to horisontale retningene x, y . For å forhindre at øvrelagstykkelsen blir negativ tillater massebevarelseslikningen (2) såkalt hydrodynamisk medrivning (entrainment), dvs. at vann fra det nedre laget blandes opp i det øvre, men uten at tettheten endres. Den er parameterisert ved hastigheten w_e gitt ved

$$w_e = \begin{cases} w' h_c \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_c} \right) & \text{når } h < h_c \\ 0 & \text{når } h \geq h_c \end{cases} \quad (3)$$

hvor parameteren w' angir styrken av medrivningen og h_c angir ved hvilken tykkelse medrivning starter. Som regel er $h_c = H/2$, hvor H er likevektstykkelsen av det øvre laget. Parameterene D_u og D_h som inngår i (1) og (2) er såkalte diffusjonsparametere. Diffusjon er tatt med for å sikre at gitterstøy ikke fører til ikke-lineære numeriske instabiliteter. Likningene inneholder også et ikke-lineært dempningsledd med koeffisient r som er en parameterisering av de skjærspenninger som oppstår på grenseflaten mellom det øvre og nedre lag. For moderate bevegelser er dette leddet svært lite, men vokser raskt for sterke bevegelser (f.eks. ved kraftig vindpådrag).

Spredningsmodellen

Lokale endringer i konsentrasjonen C til et stoff oppløst i vannmassene skyldes (i) adveksjon (forflytning) fra et sted til et annet, diffusjon (ledning), lokalt tilførte konsentrasjoner (kilder) eller biogeokjemiske omdanninger eller prosesser. Beregninger kan derfor foretas ved hjelp av rene adveksjons/diffusjonslikninger, nemlig,

$$(hC)_t + \nabla \cdot (\mathbf{U}C) = R + h\nabla \cdot (\mathbf{A}\nabla C) \quad (4)$$

Leddene R inneholder alle lokale kilder til konsentrasjoner samt parameteriseringer av de biogeo-kjemiske prosesser og omdanninger. Det siste leddet er et diffusjonsledd (med diffusjonskoeffisient A). I den aktuelle analysen ovenfor har vi sett bort fra diffusjon (dvs. $A = 0$). Videre er leddet R valgt slik at det simulerer et kontinuerlig, men begrenset utslipp. Det tas med andre ord ikke hensyn til hvorvidt stoffet undergår kjemiske omdanninger eller biologiske prosesser. Endringene i de lokale konsentrasjonene oppstår derfor kun gjennom direkte tilførsler eller ved adveksjon.



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2434-3