

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**RAPPORT FRA SENTER FOR HAVBRUK 1993 NR. 23**

---

Arne Ervik<sup>1</sup>, Pia Kupka Hansen<sup>1</sup>, Anders Stigebrandt<sup>2</sup>,  
Jan Aure<sup>1</sup>, Terje Jahnsen<sup>3</sup>, Per Johannessen<sup>4</sup>:

**MOM**  
**MODELLERING - OVERVÅKNING - MATFISKANLEGG**  
**Et system for regulering av miljøvirkninger fra oppdrettsanlegg.**

**FØRSTE VERSJON**

- 1) Havforskningsinstituttet
- 2) Universitetet i Gøteborg
- 3) Fiskeridirektoratet
- 4) Universitetet i Bergen

## FORORD

Rapporten presenterer et system som kan brukes til å regulere miljøvirkninger fra oppdrettsanlegg. Systemet omfatter Modellering og Overvåkning av miljøvirkninger fra Matfiskanlegg, og kalles forkortet MOM. Rapporten gir en kort oversikt over ulike miljøvirkninger fra oppdrett, deres betydning og behovet for regulering, samt for den strategi som ligger til grunn for MOM.

Det foreliggende er en førsteversjon som gir strukturen i MOM. En del elementer er bare skissert, og vil bli endelig utformet på grunnlag av opplysninger som vil bli hentet inn fra andre forskningsmiljø. Dette gjelder særlig undersøkelser som omfatter kjemiske sedimentanalyser. I det videre arbeidet med å integrere overvåknings- og modelldelen kan det være aktuelt gjøre endringer i klassifiseringen i utnyttelsesgrader og overvåkningsnivåer.

MOM skal være brukervennlig. En del personer som kjenner oppdrettsnæringen godt, og som har god erfaring i felt, vil derfor bli spurt til råds om praktiske forhold og konsekvenser ved bruk av MOM.

## INNHold

SAMMENDRAG	side	4
MILJØVIRKNINGER AV HAVBRUK	"	5
REGULERING AV MILJØVIRKNINGER	"	6
LØSNINGSFORSLAG	"	6
OVERVÅKNING	"	8
Overvåkningsnivå	"	8
Undersøkelsesmetoder og analyser	"	10
MODELL	"	11
Systemets oppbygging	"	11
Fiskemodell	"	13
Spredningsmodell	"	14
Sedimentmodell	"	15
Vannkvalitetsmodell	"	15
Modellens databehov	"	15
Modellens dataproduksjon	"	16
FRAMDRIFT	"	17
LITTERATUR	"	18
VEDLEGG	"	19

## SAMMENDRAG

Rapporten beskriver første versjon av et system som kan regulere lokale miljøvirkninger fra matfiskanlegg. Det består av to deler; et overvåkningssystem som kan kontrollere at miljøvirkningen ikke overskrider fastsatte grenseverdier, og en matematisk modell som kan beregne miljøvirkningene når nødvendige opplysninger om anlegg og lokalitet er gitt. De to delene er integrert slik at overvåkning og beregning omfatter de samme parametre. Systemet kalles forkortet **MOM** (Modellering - Overvåkning - Matfiskanlegg).

MOM ventes å få betydning ved avgrensning av konsesjoner, det kan gi bedre vannkvalitet og mer effektiv produksjon, og dokumentasjon av godt miljø vil kunne utnyttes i markedsføring.

Sentrale begreper i MOM er **miljøvirkning**, det er den effekt en belastning har på et område, **bæreevne**, som angir hvor stor belastning man kan ha på en lokalitet uten å overskride fastsatte grenser for miljøvirkning, **utnyttelsesgrad**, som angir hvor stor belastningen er relatert til bæreevnen, og **overvåkningsnivå**, som angir hvor omfattende overvåkning som er nødvendig for å hindre at fastsatte grenser for miljøvirkning ikke overskrides. Til hver utnyttelsesgrad hører et bestemt overvåkningsnivå.

Overvåkingen består av tre ulike undersøkelser. Den første består av enkle sedimentundersøkelser under anleggene, den andre inkluderer mer inngående sedimentkjemiske analyser, mens den tredje er en grundig undersøkelse av anleggsområdet som også omfatter bunndyrstudier. Omfang og frekvens av overvåkingen avgjøres av utnyttelsesgraden på den enkelte lokalitet.

Modellen består av fire hovedkomponenter, en **fiskemodell** som beregner utslipp av oppløst og partikulært stoff, en **spredningsmodell** som beregner hvordan fôrspill og fekalier deponeres på bunnen, en **sedimentmodell** som beregner tilstanden i sedimentet og en **vannkvalitetsmodell** som beregner tilstanden i vannmassen, både i anlegget og i omliggende resipient.

Utviklingen av MOM ventes avsluttet 1. halvår 1994. 2. halvår er avsatt til utprøving og opplæring av brukere.

## MILJØVIRKNINGER AV HAVBRUK

Oppdrettsanlegg slipper ut mange forskjellige stoff, noen av dem i relativt store mengder. Anleggene har følgelig både kvalitativt og kvantitativt stort potensiale til å påvirke omgivelsene. Hvor stor den faktiske påvirkningen blir, bestemmes av utslippenes størrelse, sammensetning og fordeling i tid og rom, og av naturgitte forhold som vannutskiftning, dyp, topografi, dyre- og planteliv på stedet.

Miljøvirkningene kan deles i nær- og fjernsonepåvirkning etter hvilke områder som blir berørt. Nærsonen består av selve anlegget og dets umiddelbare nærhet. Forurensning i nærsonen vil i første rekke kunne påvirke fisken i anlegget. Fjernsonen utgjøres av fjordsystemet eller kysten der anlegget ligger, og påvirkning berører brukerinteresser som fiske, friluftsliv og naturvern, men vil vanligvis ha mindre betydning for selve oppdrettsanlegget. I tillegg til nær- og fjernsonevirkninger kommer noen påvirkningsformer som vanskelig kan avgrenses geografisk. Disse omfatter bl.a. påvirkning av villfisk, inkludert genetisk påvirkning, og spredning av sykdommer, legemidler og andre fremmedstoffer.

Påvirkning i nærsonen omfatter vannet i og omkring merdene og bunnen under anlegget. Denne påvirkningen kan skade oppdrettsfisken. Effekter på vann og bunn er i natur ulike.

Påvirkningen i vannfasen skyldes fiskens metabolisme og stoffer som lekker ut fra fôr, fekalier og bunn. Påvirkningen er karakterisert ved reduserte oksygen- og forhøyede ammoniumkonsentrasjoner. Påvirkningen avhenger av vannutskiftning og belastning, og avtar vanligvis raskt med økende avstand fra anlegget. Den er videre karakterisert ved store variasjoner over kort tid. Overvåkning av vannfasen krever derfor hyppige målinger og lange måleserier.

Bunnpåvirkningen skyldes i første rekke store, hurtigsynkende partikler som spillfôr og fekalier, og er vanligvis begrenset til selve anleggsområdet. Når tilførslene er større enn omsetningen, dannes det anoksiske avfallshauger. Bunndyrene vil da forsvinne, og nedbrytningsprosessene frigir giftige stoffer som bl. a. hydrogensulfid. Etter antibiotikabehandling kan avfallshaugene inneholde høye medisinkonsentrasjoner og sedimentbakteriene utvikler resistens. Det er også påvist at sykdomsbakterier kan leve i flere år i slike organiske sediment. Påvirkningen avgjøres av mengden og typen av partikler som slippes ut, strømfart og dyp. Påvirkningen av bunnen har vesentlig mindre tidsvariasjon enn i vannfasen, med endringer som normalt går over måneder og år. Ved overvåkning av bunnpåvirkning er det derfor tilstrekkelig med relativt sjeldne målinger.

Påvirkningen av fjernsonen består i første rekke av økt primærproduksjon som følge av utslipp av næringssalter. Sammen med direkte tilførsler av organisk stoff fra anleggene, kan dette føre til reduserte oksygenverdier i stagnerende dypvann.

## **REGULERING AV MILJØVIRKNINGER**

De overordnede miljømål for havbruksnæringen er å tilfredsstille fiskens behov for reint vann, og å overholde de miljøstandarder som fastsettes av samfunnet. Vi må derfor ha et system som kan regulere miljøvirkningene i forhold til disse målene. Systemet må kunne kvantifisere og forutsi miljøvirkningene av en gitt oppdrettsaktivitet i et gitt område, og kontrollere at påvirkningen holder seg innenfor definerte grenser.

For fjernsonen har vi et slikt system i form av en matematisk beregningsmodell som gir en generell diagnose av tilstanden i terskelområder. Modellen beregner endringer i siktedyp og oksygenforhold i bassengvann forårsaket av utslipp av næringsalter og organisk stoff fra ulike kilder. Modellen kalles "Fjordmiljø" og foreligger som et PC-basert dataprogram med brukerveiledning og lærebok. Den er utviklet av Anders Stigebrandt og bygger på forskning utført av Jan Aure og Anders Stigebrandt (1989).

Vi har ikke noe tilsvarende system for nærsone. Miljøet i mange oppdrettsanlegg er derfor dårlig, med økt risiko for sykdom og redusert vekst. Omfanget av disse problemene kan vanskelig tallfestes, men det er grunn til å anta at en stor del av fiskens helseproblemer kan føres tilbake til selvforurensning.

Det har vært forsket mye på miljøvirkninger av havbruk. Man har derfor en relativt god forståelse av enkeltfenomener, men resultatene er i liten grad sett i sammenheng. Følgelig har man heller ikke kunnet utnytte kunnskapen til å gi næringen nye rammebetingelser som letter miljøtilpasningen, jfr. Møller et. al. (1990). Det gjelder miljøet i anleggene såvel som spørsmålet om alternative avgrensingsformer.

## **LØSNINGSFORSLAG**

Havforskningsinstituttet har tidligere foreslått å utvikle et system som kan tilpasse lokale miljøvirkninger til bæreevnen på lokaliteten. Hovedinnsatsen legges på å regulere bunnpåvirkningen, der vi har kunnskap om sammenhengen mellom utslipp og miljøvirkning

(dose - respons), og der vi vet at påvirkningen er skadelig både for produksjon og miljø. I tillegg skal det være praktisk mulig å kontrollere miljøvirkningen, og systemet skal være brukervennlig og kostnadseffektivt. Det er også et krav at det skal være mulig å inkludere ny kunnskap og flere former for påvirkning (Ervik & Aure, notat oktober 1992).

Systemet vil videre inkludere en tidligere utviklet modell for beregning av vannkvalitet i anlegg (Stigebrandt 1986), og knyttes til den omtalte modellen for beregning av påvirkning i fjernsonen (Fjordmiljø).

Systemet kalles forkortet MOM og består av:

- 1) **et standardisert overvåkningsprogram for kartlegging av miljøtilstand i matfiskanlegg og forslag til grenseverdier**
- 2) **en beregningsmodell som ut fra anleggets størrelse, utforming og drift, og de naturgitte forholdene på lokaliteten, kan simulere miljøtilstand i nærsone i tid og rom**

Fiskeridepartementet har gått inn for å utvikle systemet, og har sammen med Fiskeridirektoratet og Havforskningsinstituttet stilt midler til rådighet.

Utgangspunktet for beregningene er observerte sammenhenger mellom dose og respons. For bunnpåvirkningen defineres dosen som mengde organisk stoff som sedimenterer og responsen som akkumulering av organisk stoff.

Grenseverdier for miljøpåvirkning vil bli fastsatt ut fra kravet om at lokaliteten skal tåle langtidsbruk uten å forringes. For bunnpåvirkning blir grenseverdiene knyttet til akkumulering av organisk stoff. Akkumulering kan være vanskelig å måle, og grenseverdiene kan derfor bli uttrykt som kjemiske parametre eller egenskaper ved bunndyrsamfunnet, og påvirkningen skal ikke være større enn at det hele tiden finnes gravende bunndyr. I tillegg kan det bli aktuelt å angi maksimumsverdier for legemidler etter medisinerings. Grenseverdier for vannpåvirkning vil bli knyttet til konsentrasjoner av oksygen og ammonium.

MOM vil ha følgende nytteverdi:

Ved å tilpasse produksjonen til bæreevnen på lokaliteten kan en hindre akkumulering av organisk stoff på bunnen og dårlig vannkvalitet i merdene. Samlet vil dette redusere forurensningsproblemene i nærsonen, inkludert opphoping av antibakterielle midler.

Oppdrettskonsesjonene kan begrenses etter miljøvirkningen på lokaliteten. I de fleste tilfeller vil produksjonen avgrenses av påvirkning på bunnen, men på strømsterke og dype lokaliteter vil vannkvaliteten være den begrensende faktor. Konsekvensen er at avgrensningen knyttes til belastning pr areal overflate, og ikke til dagens kombinasjon av volum og areal.

Nedenforstående begreper er sentral i MOM. I rapportens vedleggsdel gis det en oversikt over definisjoner som er brukt.

**Bæreevnen** til et område angir hvor stor organisk belastning man kan ha uten at bunnpåvirkningen overskrider fastsatte verdier. På dype og strømsterke lokaliteter der bunnpåvirkningen er liten, knyttes bæreevnen til vannkvalitet.

**Utnyttelsesgraden** av et område uttrykker hvor nær belastningen ligger opp mot bæreevnen. Ved lav utnyttelsesgrad vil påvirkningen være liten, og det er liten fare for å overskride grensene for miljøvirkning. Ved høy utnyttelsesgrad er påvirkningen stor og ligger nær opp mot det tillatte.

**Overvåkningsnivået** angir hvor omfattende overvåkning som er nødvendig for å sikre at miljøstandardene ikke overskrides.

## **OVERVÅKNING**

Nærområdet skal overvåkes for å kontrollere at miljøstandardene ikke overskrides. Frekvens og intensitet i overvåkingen bestemmes av utnyttelsesgraden.

### **Overvåkningsnivå**

Den foreliggende versjonen av MOM bruker tre utnyttelsesgrader. Til hver utnyttelsesgrad



hører et bestemt overvåkningsnivå (tabell 1). Velger man en lav utnyttelsesgrad, vil overvåkingen være enkel og billig, ønsker man høy utnyttelsesgrad blir overvåkingen mere omfattende og langt dyrere.

**Tabell 1.** Sammenheng mellom utnyttelsesgrad og overvåkningsnivå.

1. utnyttelsesgrad (lite påvirkning)	-----	1. overvåkningsnivå (lite overvåkning)
2. utnyttelsesgrad (middels påvirkning)	-----	2. overvåkningsnivå (middels overvåkning)
3. utnyttelsesgrad (stor påvirkning)	-----	3. overvåkningsnivå (omfattende overvåkning).

Hvert overvåkningsnivå inneholder to eller tre typer undersøkelser A, B eller C, jfr tabell 2.

**Tabell 2** Oversikt over undersøkelser og undersøkelsesfrekvens som inngår i overvåkningsnivå 1, 2 og 3. ps: produksjonssyklus.

	Undersøkelse		
	A	B	C
1. overvåkningsnivå	1/ps	-	8. år
2. overvåkningsnivå	2/ps	1/ps	5. år
3. overvåkningsnivå	2/ps	2/ps	2. år

**A-delen** er felles for alle overvåkningsnivåer og foretas i forbindelse med intern kontrol (IK) på anleggene. Undersøkelsene forutsetter ingen spesialkunnskap utover enkel opplæring. Innsamling gjøres med håndutstyr fra anlegget, og alle målinger utføres på stedet.

Undersøkelsene foretas 1 - 2 ganger pr produksjonssyklus (jfr tabell 2).

**B-delen** er felles for overvåkningsnivå 2 og 3 og foretas i forbindelse med IK. Innsamlingen gjøres fra anlegget med håndutstyr. Størstedelen av målingene kan gjøres på anlegget, men det kan i tillegg være aktuelt med analyser utført i laboratorium. Undersøkelsene utføres 1 gang per produksjonssyklus.

**C-delen** er felles for alle overvåkningsnivå og gjøres utenfor IK. Undersøkelsene utføres av eksperter. Undersøkelsene utføres hvert 2. til hvert 8. år, alt etter utnyttelsesgraden av lokaliteten.

På noen lokaliteter kan bunnpåvirkningen være flekkvis med store variasjoner over små avstander. Det kan derfor være nødvendig å øke antall prøver slik at man får et representativt bilde av bunnpåvirkningen.

### Undersøkelsesmetoder og analyser

Tabell 3 gir en oversikt over de parametre som inngår i A, B og C-delen av overvåkingen.

**Tabell 3** Oversikt over parametre undersøkt i A, B og C-delen.

Parametre	Undersøkelse		
	A	B	C
Sedimentasjon	+	-	-
Lukt	+	-	-
Konsistens	+	-	-
Dyr (+ -)	+	-	-
Sedimenttykkelse	+	-	-
pH,Eh, pS	-	+	-
Org. innhold	-	+	+
C/N forhold	-	-	+
Total fosfor	-	-	+
Antall dyr	-	-	+
Samfunnsstruktur	-	-	+

**A-delen.**

Sedimentasjonsmålinger. Sedimentasjon av fôrtikler og fekalier måles kontinuerlig av oppdretteren. Standardiserte sedimentinnsamlere (gjennomsiktige sylindre) henges ut tre steder på anlegget mellom gangbro og not, eller som nærmere angitt. Sedimentsamlerne skal henge 3 m under merdene. Oppdretter registrerer og journalfører hvor mye som er samlet opp, samt konsistens og lukt. Han kan dermed kontrollere hvordan han fôrer, og justere fôringen. Sedimentasjonsmålingene gir dessuten kontrollmyndighetene et innblikk i hvordan anlegget drives. Metoden er enkel og billig.

Sedimentmålinger. Utføres av IK-medarbeidere. Ved hjelp av håndgrabb samles sediment under anlegget. Følgende parametre registreres: lukt, konsistens, sedimenttykkelse og tilstedeværelsen av gravende dyr. Metoden er enkel, men gir viktige opplysninger om sedimenttilstanden.

**B-delen.**

Sedimentmålinger. Utføres av IK-medarbeidere med noe spesialopplæring. Sediment tas med kjerneprøvesamler på samme sted som i A-delen. Sedimentkjemiske parametre måles enten ved elektroder eller ved kjemiske analyser i laboratorium.

**C-delen.**

Bunndyr- og sedimentundersøkelser. Undersøkelsene utføres av spesialist. Kvantitative prøver av bunndyrsamfunnet samles med grabb. Dyrene klassifiseres til art, og antall individer innen den enkelte art registreres. Samfunnstrukturen analyseres ved matematiske analyser. Metoden er arbeidskrevende, men gir et godt mål for bunnpåvirkning. Prøver samles fra båt ved hjelp av grabb 3 til 6 steder rundt anlegget. I tillegg tas det prøver med håndgrabb på samme måte som for A- og B-delen.

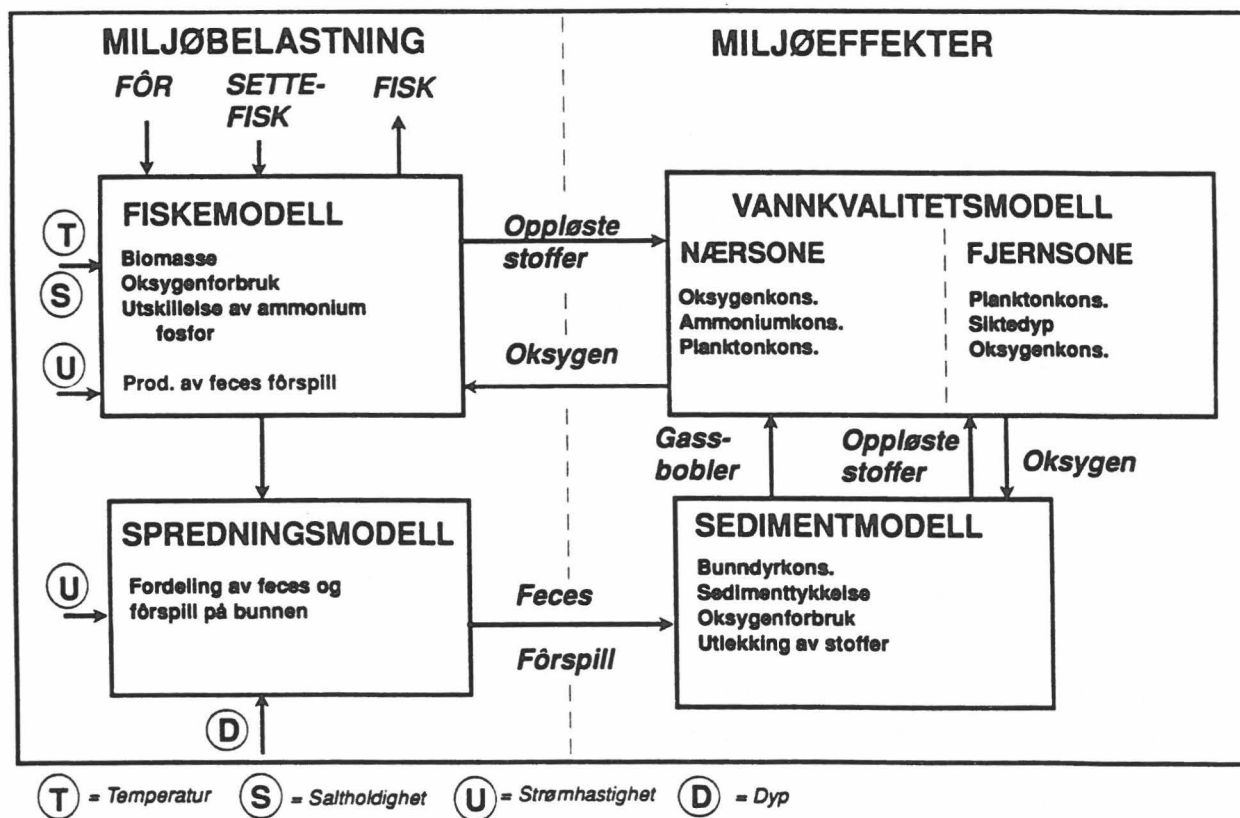
**MODELL****Systemets oppbygging**

På grunnlag av definerte og naturgitte forhold skal MOM-modellen beregne 1) hvilke miljøvirkninger et anlegg vil ha på en lokalitet, eller 2) hvordan et anlegg må utformes og drives for at miljøvirkningene ikke skal overskride gitte grenseverdier. Dette gjelder både bunn- og vannpåvirkning i anlegget (nærsone) og i omgivende resipient (fjernsone). MOM-

modellen skal være PC-basert og brukervennlig.

MOM-modellen vil være sammensatt av fire hovedkomponenter:

1. Modell som beregner utslipp av oppløst og partikulært stoff, samt fiskens oksygenbehov (fiskemodell).
2. Modell som beregner hvordan fôrspill og fekalier i blir spredt og deponert på bunnen (spredningsmodell).
3. Modell som beregner tilstanden i bunnsediment som mottar fôrspill og fekalier (sedimentmodell).
4. Modell som beregner tilstanden i vannmassen, både i anlegg og i omgivende resipient (vannkvalitetsmodell).



Figur 1. Flytdiagram for MOM - modellen.

Sammenhengen mellom de ulike hovedmodellene fremgår av flytskjemaet i fig 1. Fiske- og spredningsmodellene beregner belastningen av oppløst og partikulært stoff (fôrspill og fekalier), samt det partikulære stoffets fordeling på bunnen. Sediment- og vannkvalitetsmodellene beregner miljøvirkningene på henholdsvis bunnen og vannmassene.

Hver av modellene er basert på teori og empiriske sammenhenger som kan beskrives matematisk. Et dataprogram lages ut fra de matematiske beskrivelsene. Dataprogrammet bygges opp modulært, bl.a. for å sikre at det blir lett å videreutvikle. Dataprogrammene legges inn i Microsoft ACCESS, og tar utgangspunkt i arbeid utført av Terje L. Jahnsen ved Fiskeridirektoratet.

Fiske- og vannkvalitetsmodellen foreligger allerede ferdige og testede, men må implementeres i MOM-modellen. Fiskemodellen i dataprogrammet "Fiskemeny" (Stigebrandt, 1986) utfører ønskede beregninger av miljøbelastning, inklusiv oksygenbehov i et oppdrettsanlegg, samt beregninger av fiskens miljø i anleggets nærsoner.

Fiskemodellen suppleres med nyttig informasjon som allerede finnes i Terje Jahnsens dataprogram. Dataprogrammet "Fjordmiljø" (Stigebrandt, 1992) beregner miljøeffekter av fiskeoppdrett i fjernsonen, og vil etter en viss modifisering dekke behovet for slike beregninger i vannkvalitetsmodellen.

For å bli anerkjent og brukt, må dataprogrammet dokumenteres. Nye modeller, d.v.s. spredningsmodellen og sedimentmodellen, vil dokumenteres ved at matematiske ligninger forklares og motiveres. Dokumentasjonen vil også innbefatte test av modellene mot observerte data (validering). Etter hvert som man får ny kunnskap kan modellen videreutvikles med flere moduler og beregningsmuligheter.

### Fiskemodell

Modellen beregner hvordan nitrogen, fosfor og oksygenforbrukende stoff fra fôret fordeler seg på henholdsvis fisk (vekst) og utslipp av oppløste forbindelser, fekalier og fôrspill. Modellen skal også beregne fiskens oksygenbehov. For slike beregninger trengs en modell som beskriver hvordan fisken omsetter fôret. Fiskemodellen som brukes i dataprogrammet "Fiskemeny" gjør alle disse beregningene og vil bli implementert i MOM-modellen. "Fiskemeny" ble testet i Molvær & Stigebrandt (1989).

Miljøpåvirkningen fra oppdrettsanlegg er kompleks, og opererer på forskjellige tids- og

romskalaer. En har derfor ulike krav til tids- og romopløsning av beregnede utslipp og oksygenforbruk i et anlegg. For å beregne langtidseffekter på fjernmiljøet, kan en bruke gjennomsnittlige utslipp basert på f.eks. årsproduksjon av fisk. Slike utslippsberegninger kan gjøres utfra en enkel budsjettmodell hvor en tar utgangspunkt i at stoff som ikke blir holdt tilbake i fisken slippes ut i omgivelsene. Hvis en derimot er interessert i miljøforholdene i merdene (fiskens miljø), må en ha god oppløsning i tid og rom. En må i slike tilfeller vite hvor mye fisk det til enhver tid er i oppdrettsanlegget, anleggets dimensjoner, strømhastighet og vannets temperatur, fôrets sammensetning og fôringsregime. Store variasjoner i utslippene over tid kan også ha betydning for forholdene i bunnsedimentet, ettersom det kan være forskjell i bunndyrenes kapasitet for å tåle henholdsvis en konstant og en varierende belastning med partikulært organisk stoff.

Det er derfor ikke tilstrekkelig å gi belastningsverdier integrerte over hele produksjons-syklusen, dvs utslipp per produsert mengde fisk. Modellen må også kunne beregne maksimale verdier av utslipp og fiskens oksygenforbruk. Det er derfor naturlig at en legger inn månedsmidler av temperatur og saltholdighet fra ulike deler av landet, slik det er gjort i Fjordmiljø- og Fiskemenyprogrammene, med opsjon til å bruke data fra den aktuelle lokalitet.

### Spredningsmodell

Belastningen på bunnen under et oppdrettsanlegg uttrykkes ved den mengde organisk stoff som per flate- og tidsenhet blir tilført bunn. Hvis strømmen ved et oppdrettsanlegg er svak, vil fôrspill og fekalier synke stort sett vertikalt og havne på bunnen rett under anlegget. Hvis det derimot er sterke strømmer og stort dyp, vil fekalier og fôrspill bunnfelle langt fra anlegget. Avhengig av strømforhold og dyp kan det derfor være store forskjeller i belastningen på bunnen mellom anlegg med like store utslipp. Fôrspill og fekalier vil også bli spredt forskjellig grunnet ulike synkehastigheter.

Utfra oppmålt strøm og bunntopografi vil en med denne modellen kunne beregne den romlige fordelingen av belastningen på bunnen under oppdrettsanlegg. For å få relativt sikre estimat av fordelingen, må en måle strøm, helst i flere dyp, i en representativ vertikal i anlegget. Strømmålingene må pågå lengst mulig, gjerne om sommeren og tidlig på høsten når strømmene ofte er svakest og utslippene størst.

### Sedimentmodell

Modellen skal beregne akkumulering av organisk stoff som funksjon av tilført stoff og nedbrytningsprosesser, oksygenforbruk og utlekking av næringssalter, samt sedimenttilstand. Sedimentomsetningen er i hovedsak mikrobiell, og styres bl. a. av temperatur, mengde og type organisk stoff og oksygentilgang. Bunndyrene stimulerer den mikrobielle omsetningen, samtidig som de omsetter en viss mengde organisk stoff. I tillegg er de følsomme for endringer i sedimenttilstand, og bunndyrene kan brukes som et mål for belastning og akkumulering. Modellen skal beregne ved hvilke belastninger bunndyrene forsvinner. På det nåværende tidspunkt er det imidlertid ikke mulig å beregne mengde og artssammensetning av bunndyrsamfunnet.

### Vannkvalitetsmodell

Fisken påvirker vannet i selve oppdrettsanlegget både gjennom utskillelse av oppløste stoffer, og gjennom forbruk av oksygen. Vannkvaliteten i et større område kan dessuten bli påvirket gjennom utlekking av næringssalter fra bunnsedimentet og sedimentets oksygenforbruk.

Modellen skal beregne hvordan fisken påvirker sitt eget miljø (nærsone) gjennom oksygenforbruk og ammoniumutslipp. Kritiske forhold er strømmens hastighet og retning relatert til oppdrettsanlegget, samt fiskemengde per flateenhet. Kritiske strømforhold (lengre perioder med svake strømmer) må bestemmes fra strømmålinger. Vannkvaliteten i anlegg kan beregnes av en utvidet versjon av "Fiskemeny"-modellen.

Modellen skal beregne hvordan et oppdrettsanlegg påvirker miljøet i fjernsonen. Dette kan gjøres med dataprogrammet "Fjordmiljø" som bl.a. beregner forandringer i siktedyp samt forandringer i oksygenforbruk i terskelbassenger. "Fjordmiljø"-programmet vil bli integrert i MOM-dataprogrammet.

### Modellens databehov

For å kjøre MOM-modellen trengs eksterne data. Det gjelder data om naturgitte forhold ved lokaliteten og data om driftsforholdene i anlegget. Modellen vil bli basert på data som er rimelig enkle å framskaffe. De ulike hovedmodellene trenger følgende eksterne data:

**Fiskemodellen:**

Fiskebiomasse i ulike vekstklasser (kan beregnes hvis en har opplysninger mengde settefisk og slakteplan)

Fôrsammensetning (eventuelt brukes kommersielle standardfôrtyper)

Vanntemperatur

**Spredningsmodellen:**

Anleggets fysiske dimensjoner og orientering

Synkehastighet for fôr

Synkehastighet for fekalier

Bunnens topografi

Strømmens fart og retning på ulike dyp i en lengre periode

**Sedimentmodellen:**

Vanntemperatur

Oksygenforhold i fjernsonen (bør kunne fås fra vannkvalitetsmodellen for fjernsonen)

Strømforhold

Bunntopografi

**Vannkvalitetsmodellen - nærsone:**

Strømmens fart og retning - "kritisk" strømstatistikk for anlegget

Oppdrettsanleggets fysiske dimensjoner og orientering

Vannets temperatur og saltholdighet for beregning av oksygenmetning

**Vannkvalitetsmodellen - fjernsone:**

De opplysninger som trengs for å kjøre "Fjordmiljø"-programmet

**Modellens dataproduksjon**

MOM-modellen vil produsere data om tilstanden både i og under anlegget (sedimentet), samt i fjernsonen. Hvilke tilstandsvariabler som må beregnes, er for en stor del gitt av funksjonelle sammenhenger i modellene, men skal også samordnes med måleparametrene i overvåkningsprogrammet.



## FRAMDRIFT

Arbeidet med å gjøre MOM operativ består av tre faser; utvikling, utprøving og opplæring. Fordi man ønsker å ta MOM i bruk raskt, og fordi fasene delvis overlapper faglig, er det naturlig at arbeidet i noen grad går parallelt. Hoveddelen er planlagt gjennomført i 1994, men det vil bli behov for oppfølging i 1995.

### Utvikling

Hovedinnsatsen i 1. halvår 1994 vil ligge på utvikling av MOM, og det forutsettes at systemet skal være klart til utprøving høsten 1994. Arbeidet vil bygge på den foreliggende versjon, og vil bli gjennomført i nært samarbeid med Fiskeridepartementet slik at man i størst mulig grad dekker inn forvaltningens behov. Det gjelder særlig spørsmålet om konsesjonsavgrensning. For å sikre at MOM blir anvendelig, vil opplegget fortløpende bli diskutert med fagfolk som kjenner det praktiske arbeidet med fiskeoppdrett særlig godt. Forskningsmiljø med spesiell kompetanse på kjemiske sedimentparametre vil også bli trukket inn.

### Utprøving

Modellen valideres ved å sammenligne beregnede verdier med observerte. Omfanget av disse forsøkene må avklares med Fiskeridepartementet. Hoveddelen av valideringen er planlagt gjennomført i 2. halvår 1994. Utprøvingen av overvåkningsdelen omfatter bruk av prøvetakingsutstyr, prosedyrer og analyser. I tillegg vil utprøvingen av overvåkningsdelen inngå som en del av valideringen av modellen, slik som nevnt ovenfor.

### Opplæring

Det vil bli laget brukerveiledning i både modell- og overvåkningsdelen av MOM. Utover dette bør det finne sted opplæringen av brukere. Denne opplæringen tenkes gjennomført som intensivkurs i regi av Kontoret for rettleiding og informasjon, Fiskeridirektoratet. Kursene bør inneholde både teoretisk og praktisk opplæring, og starte i 1994. Deltakere, omfang og innhold av opplæringen må diskuteres med Fiskeridepartementet og Fiskeridirektoratet.

**LITTERATUR**

- Aure, J. og A. Stigebrandt, 1989. Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havforskningsinstituttet, Bergen. Rapp. Nr. FO8803. 106 sider + vedlegg 10 sider
- Ervik, A. og J. Aure. 1992. Forslag til forskningsprosjekt om "Modellerings- og overvåkningssystem for matfiskanlegg (MOM)". Notat fra Havforskningsinstituttet, oktober 1992. 9 sider.
- Molvær, J. og A. Stigebrandt, 1989. Om utskillelse av nitrogen og fosfor fra et fiskeoppdrettsanlegg. NIVA Rapp. Nr. O-86004.
- Møller, D., O. Betten, A. Ervik, S. Havrevoll, P.D. Iversen, S. H. Steien, O. Steinsbø, T. Stemre og V. Baarøy, 1990. Alternative avgrensingsformer for matfiskeoppdrett. Innstilling til Fiskeridirektøren. 65 sider + vedlegg.
- Stigebrandt, A., 1986: Modellberäkningar av en fiskodlings miljøbelastning. NIVA Rapp. Nr. O-86004. 20 sider + vedlegg.
- Stigebrandt, A., 1992: Beregning av miljøeffekter i fjorder fra menneskelige aktiviteter. Lærebok for brukere av vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø, Statens Forurensningstilsyn Oslo, og Ancylys Göteborg. Ancylys Rapp. Nr. 9201. 58 sider.

## VEDLEGG

### Definisjoner

**MOM** er et kvantitativt system som kan regulere lokale miljøvirkninger fra matfiskanlegg slik at de ikke overskrider fastsatte grenser for bunnpåvirkning.

MOM består av to deler: 1) en standardisert overvåkningsmetode for kartlegging av miljøtilstand i oppdrettsanlegg, og 2) en beregningsmodell som ut fra anleggets størrelse, utforming og drift, og ut fra de naturgitte forholdene på lokaliteten kan simulere miljøtilstand i tid og rom.

**De naturgitte forholdene** i et område uttrykker områdets fysiske, kjemiske og biologiske tilstand uten antropogen belastning.

**Belastning** uttrykker mengden av alle antropogene tilførsler til et område, stoffenes sammensetning og fordeling i tid og rom.

**Miljøvirkning** uttrykker den effekt belastning har på et område. Miljøvirkningen bestemmes av belastningen og av de naturgitte forholdene.

**Miljøstandard eller grenseverdier for påvirkning** angir hvor store miljøvirkninger man er villig til å akseptere.

**Bæreevnen** til et område angir hvor stor belastning man kan ha uten at miljøvirkningene overskrider fastsatte verdier. På strømsterke og dype lokaliteter der bunnpåvirkningen er liten, knyttes bæreevnen til vannkvalitet. Bæreevnen beregnes ut fra de naturgitte forholdene, belastningen og av definerte grenseverdier for påvirkning.

**Utnyttelsesgraden** av et område relaterer miljøvirkningene til bæreevnen. Ved lav utnyttelsesgrad er det liten fare for at miljøvirkningene skal overskride grenseverdiene, ved høy utnyttelsesgrad ligger miljøvirkningene nær opp mot det tillatte.

**Overvåkningsnivået** for et område angir hvor omfattende overvåkning som er nødvendig for å sikre at grenseverdiene ikke overskrides.

**Nærsonen** omfatter selve anlegget og de omliggende områdene der sedimenteringsraten er vesentlig høyere enn normalt, samt den delen av den vannmassen der man med standard metoder kan måle reduserte verdier av oksygen eller forhøyede konsentrasjoner av næringssalter. Normalt strekker nærsonen seg 50 til 100 m fra anlegget.

**Fjernsonen** omfatter områdene utenfor nærsonen.