

Anvendelse af ny teknologi i overvågning- en af natur og miljø

Kolofon

Titel:

Anvendelse af ny teknologi i
overvågningen af natur og miljø

URL:

www.blst.dk

Emneord:**X ISBN nr. elektronisk version:****Serietitel- og nummer:****ISBN nr. trykt version:****Udgiver:**

By- og Landskabsstyrelsen

X Version:**Ansvarlig institution:**

By- og Landskabsstyrelsen

Versionsdato:**X Copyright:****Formater:****X Forfatter:****X Udgiverkategori:**

Statslig

Anden bidragyder**Resume:**

Højst ni linier * 43 tegn

Sprog:

Må citeres med kildeangivelse.

År:

2008

Forbehold:

Ordet "forbehold" skal ikke forekomme.

Det slettes ved indsættelse af selve
forbeholdets tekst.

Indhold

1	Indledning.....	2
2	Resume	4
2.1	Grundlæggende principper for anvendelse af ny teknologi i overvågningen	4
2.2	Anvendelse af modeller i den eksisterende overvågning og internationale erfaringer	4
2.3	Workshop og DHI rapport	5
2.4	Muligheder for inddragelse af modeller og ny teknologi	7
3	Hvad kan modeller bruges til i overvågningen	8
3.1	Overvågningen skal ses i en bred sammenhæng.....	8
3.2	Til hvilke formål kan modeller støtte overvågning.....	9
3.3	Behov for usikkerhedsvurderinger	12
3.4	Hvor langt kan vi gå med modellering?.....	12
3.5	Konklusioner	14
4	Anvendelse af modeller i eksisterende overvågning og internationale erfaringer	16
4.1	Indledning.....	16
4.2	Modelanvendelsen i NOVANA	17
4.3	Mulighederne for anvendelse af internationale model- systemer i natur- og miljøovervågning	23
4.4	Konklusioner	25
5	Workshop og DHI rapport	28
5.1	Baggrund.....	28
5.2	Workshoppen den 6. februar 2008	28
5.3	Vurdering af rapporten fra DHI.....	34
6	Den videre proces	40
7	Reference.....	44

Kapitel 1 - Indledning

1 Indledning

I første halvår af 2008 igangsatte Miljøministeriet en revision af Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Denne proces er planlagt til at forløbe indtil udgangen af 2009, sådan at der fra 2010 vil foreligge et revideret overvågningsprogram. Den foreliggende rapport udgør et bidrag til denne proces.

Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg havde overvågningen på dagsordenen i december 2006 og juni 2007, og på baggrund af disse drøftelser besluttede miljøministeren, at der skulle foretages en analyse af aktiviteterne i det eksisterende overvågningsprogram. Deri skulle indgå en faglig og økonomisk vurdering af mulighederne for, i øget udstrækning at udnytte ny teknologi og modelværktøjer under forudsætning af, at den faglige troværdighed og kvaliteten blev fastholdt. I efteråret 2007 blev der nedsat en arbejdsgruppe, der skulle forestå denne analyse.

I forbindelserne med drøftelserne i Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg havde DHI lejlighed til at fremlægge deres synspunkter. De argumenterede for, at effektiviteten i overvågningen ville kunne fordobles ved en bedre planlægning og en bedre udnyttelse af ny teknologi. Denne vurdering bad Miljøministeriet efterfølgende DHI om at redegøre nærmere for i en rapport, som forelå i april 2008 (www.blst.dk/miljoeovervaagning).

I februar 2008 arrangerede arbejdsgruppen en workshop med omkring 90 deltagere fra rådgivningsbranchen, kommuner, miljøcentre, universiteter, grønne organisationer samt By- og Landskabsstyrelsen. Her fik DHI lejlighed til at redegøre for deres synspunkter, og gennem en række oplæg gav de deltagende institutioner udtryk for deres holdninger til en øget inddragelse af nye teknologier og modeller i overvågningen.

Nærværende rapport med tilhørende bilag er resultatet af arbejdsgruppens analyse af mulighederne for i øget omfang at inddrage ny teknologi og modeller i overvågningen på kortere og længere sigt. Tyngden i rapporten ligger på mulighederne inden for overvågningen af vand og næringsstofferne kredsløb, men områder som luft og natur er kommenteret. Rapporten indledes med en beskrivelse af, hvordan modeller kan bruges i en overvågningsammenhæng samt hvordan de indgår i den nuværende overvågning. Dernæst er forløbet af den afholdte workshop beskrevet, og der er foretaget en overordnet vurdering af den af DHI udarbejdede rapport. Rapporten afsluttes med en oversigt over arbejdsgruppens vurdering af

muligheder for, i øget omfang, at drage nytte af ny teknologi og modeller i overvågningen. Når det samlede behov for overvågning er endelig opgjort, og de økonomiske rammer fastlagt, vil omkostningerne forbundet med at realisere disse muligheder kunne vurderes konkret i forhold til opfyldelsen af behovene.

I arbejdsgruppen har der været repræsentanter fra DMU, GEUS, BLST og medlemmerne har været: Lilian van der Bijl (DMU), Jens Christian Refsgaard (GEUS), Jens Würgler Hansen (BLST Ringkøbing), Mette Thorsen (BLST Aarhus), Benny Bruhn (BLST Nykøbing), Tonny Niilonen (BLST-natur), Bent Sørensen (BLST-MOS), Kristine Pollas (BLST-MOS).

Kapitel 2 - Resumé

2 Resume

2.1 Grundlæggende principper for anvendelse af ny teknologi i overvågningen

På baggrund af de hidtidige danske og internationale erfaringer med vandovervågning har arbejdsgruppen sammenfattet følgende grundlæggende principper for anvendelse af ny teknologi i overvågningen:

- Med natur- og miljøovervågning menes en systematisk reproducerbar tilvejebringelse af data om naturens og miljøets tilstande og udvikling samt om de væsentligste påvirkninger.
- Overvågningen skal være styret af politisk administrative behov, og de anvendte metoder skal være fagligt/forskningsmæssigt validerede. Dermed sikres, at overvågningen løbende opdateres med den nyeste viden, og at overvågningen forsat bidrager målrettet til den nationale vidensindsamling vedrørende natur og miljø.
- På vandområdet skal overvågningen understøtte forvaltningsbehov i bl.a. Vandrammedirektivet. Det betyder, at det så vidt muligt vil være formålstjenligt at benytte samme teknologier, herunder samme sæt af modeller, i både overvågning og i forvaltning.
- Omfanget af overvågningsprogrammet bør fastlægges med sigte på at etablere en balance mellem omkostningerne til overvågning og risikoen for, at der træffes forkerte beslutninger som følge af, at overvågningen ikke beskriver miljøtilstanden og dens udvikling præcist og nøjagtigt nok.
- Efterhånden som det faglige grundlag udvikles, bør overvågning i højere grad baseres på integreret brug af målinger og modellering. Endvidere bør ny måleteknologi såsom automatiske sensorer og satellitdata, inddrages, i det omfang det fagligt og økonomisk er attraktivt.
- Der bør, bl.a. med henblik på Vandrammedirektivet, anlægges en helhedsbetragtning, som omfatter alle medier, som naturligt hænger sammen (fx grundvand, vandløb, våd natur, søer, marint) både i indsamling af måledata og i modellering.

2.2 Anvendelse af modeller i den eksisterende overvågning og internationale erfaringer

- Den nuværende overvågning er primært baseret på målinger i naturen, men gennem de seneste år har der været en stærkt stigende integration af målinger og anvendelse af modeller.
- Overvågningsprogrammet har gennem årene ændret sig som følge af ændrede politiske behov og med udnyttelse af de nye faglige muligheder, der er opstået.

I perioden har der været en kobling mellem overvågning og forskning, der har medvirket til at sikre at overvågningen løbende opdateres fagligt til et internationalt niveau. Den stigende anvendelse af modellering i overvågningen er et af resultaterne heraf.

- Status med modelanvendelser inden for de forskellige delprogrammer er:
 - I luftovervågningen er der en fuldstændig integrering af målinger og modellering.
 - Inden for grundvandsovervågningen er modeller for kvantitet en integreret del af den anvendte overvågningsstrategi. Her er en forbedret geologisk beskrivelse og en videreudvikling af modellering af grundvandskvalitet en forudsætning for mere udbredt modelanvendelse.
 - I landovervågningen benyttes rutinemæssigt modeller for kvælstofudvaskning. Indenfor de seneste par år er der desuden påbegyndt en integreret modellering af nitratkredsløbet i rodzone, grundvand og vandløb for de fem landovervågningsoplande.
 - For søer og vandløb eksisterer der i internationalt regi en del empiriske modeller udviklet med dansk deltagelse. Hydrologien og næringsstoftransporten er relativt velbeskrevet, og er nu baseret på modeller med færre målestationer end tidligere. Der findes i dag empirisk baserede modeller, men ikke velegnede operationelle økologiske modelsystemer.
 - I det marine overvågningsprogram anvendes allerede i dag flere forskellige modeller til beskrivelse af vand- og stoftransporter samt blandingsprocesser i de åbne farvande. Endvidere modelleres bl.a. volumen og salt- og stofudvekslingen med det tilstødende farvand for nogle få udvalgte fjorde og kystområder.
- Arbejdsgruppens analyse viser, at relevante udenlandske modelsystemer allerede er inddraget i NOVANA, hvor det har været muligt. En skelnen mellem modelsystemer udviklet i Danmark og i udlandet er ikke specielt relevant – alle gode modelsystemer er veldokumenterede internationalt.
- Hovedparten af omkostningerne ved inddragelse af nye modelsystemer ligger som regel ikke i anskaffelse eller softwaretilpasning, men derimod i at benytte det nye modelsystem til at opstille og vedligeholde sted-specifikke modeller med datatilpasning, modelkalibrering, modelvalidering og usikkerhedsanalyser.

2.3 Workshop og DHI rapport

Arbejdsgruppen har fået input fra ekstern side, dels i forbindelse med en workshop afholdt af By- og Landskabsstyrelsen den 6. februar 2008, og dels gennem en af

DHI udarbejdet rapport vedrørende mulighederne for at inddrage ny teknologi og modeller i overvågningen (DHI,2008).

Workshoppen havde omkring 90 deltagere, og alle primære aktører og interessenter havde mulighed for at fremføre deres synspunkter. Der var således indlæg fra By- og Landskabsstyrelsen, fagdatacentre, rådgivningsbranchen, forvaltningen repræsenteret ved de statslige miljøcentre og kommunerne. Derudover var der indlæg fra Dansk Landbrug samt en repræsentant fra de grønne organisationer Danmarks Naturfredningsforening og Det Økologiske Råd. De enkelte aktørers synspunkter er kort beskrevet i afsnit 5.2.

Overordnet set udtrykte alle aktører enighed om, at det er en god ide at inddrage ny teknologi i overvågningen under forudsætning af, at det kan dokumenteres at bidrage til at opfylde overvågningens formål bedre og/eller billigere. Et af de helt centrale diskussionsemner, som blev berørt af både oplægsholdere og tilhørere, var, hvilke behov den fremtidige overvågning skal dække, idet udbyttet af øget teknologianvendelse nøje afhænger af, hvilke svar overvågningen skal bidrage til at give nationalt, regionalt og lokalt, og med hvilken sikkerhed.

DHI's rapport indeholder dels nogle generelle kapitler med forslag til en overordnet strategi for yderligere inddragelse af ny teknologi, og dels et konkret forslag til overvågning i Ringkøbing Fjord oplandet. Arbejdsgruppens overvejelser på baggrund af rapporten fremgår af afsnit 5.3. Hovedkonklusionerne er:

- DHI peger på en række eksisterende muligheder for integreret modellering, fjernovervågning med satellitter og fly, automatisk måleudstyr og usikkerhedsvurderinger. De er kendte i overvågningsammenhæng eller forskningsverdenen, og mange af de overordnede principper og ideer er i overensstemmelse med synspunkter og aktiviteter beskrevet i kapitlerne 3 og 4.
- DHI's forslag til alternativt overvågningsprogram for Ringkøbing Fjord oplandet er en skitse med konkrete mangler. DHI's økonomiske overslag er ikke gennemarbejdet til et niveau, hvor det er muligt at drage sammenligninger med udgifterne til det eksisterende overvågningsprogram. Rapporten har ikke demonstreret, at det er muligt at "gøre det dobbelt så godt".

- Rapporten indeholder en række ideer, som vil kunne indgå i den videre revisionsproces, men rapporten kan ikke selvstændigt udgøre grundlaget for den igangværende revisionsproces.

2.4 Muligheder for inddragelse af modeller og ny teknologi

Modelarbejdsgruppen har udarbejdet et katalog af udviklingsmuligheder, som fagligt kan anbefales at indgå i den påbegyndte revisionsproces. Idékataloget er et arbejdsnotat, som er tilgængelig på www.blst.dk/miljoeovervaagning. Her har arbejdsgruppen beskrevet, hvilke ideer og nye teknologier, som ud fra en rent faglig vurdering anses for at være parate til anvendelse i det kommende overvågningsprogram, og hvilke der kræver yderligere udvikling og testning, før de potentielt kan indføres på lidt længere sigt, fx ved den næste revision om seks år. Analysen er gennemført før behovene for overvågning er prioriteret, og før de økonomiske rammer er fastlagt. Arbejdsgruppen har dermed ikke haft til opgave at vurdere, hvorvidt de beskrevne muligheder er i overensstemmelse med de faktiske overvågningsbehov, endsige at vurdere om de nødvendige økonomiske forudsætninger for at udnytte mulighederne er til stede.

Kapitel 3 - Hvad kan modeller bruges til i overvågningen

3 Hvad kan modeller bruges til i overvågningen

I dette kapitel redegøres for muligheder og begrænsninger ved anvendelse af modellering som en del af overvågningen af natur og miljø samt nogle af de overordnede overvejelser, man bør gøre sig i den forbindelse. Det er fx overvejelser vedrørende valget af modeller til understøtning af forvaltningen og overvågningen samt overvejelser vedrørende usikkerhedsvurderinger.

3.1 Overvågningen skal ses i en bred sammenhæng

Overvågningen understøtter flere formål. I henhold til Miljømålsloven skal kravene til overvågning i Vandrammedirektivet opfyldes via de nationale overvågningsprogrammer. Det eksisterende NOVANA er primært målrettet mod overvågningsforpligtelserne i EU direktiver og behovet for at dokumentere effekten af vandmiljøplaner og anden landbrugsregulering. Overvågningen skal desuden bidrage til rapportering til internationale konventioner samt styrke det faglige grundlag for forvaltning og fremtidige tiltag og handlingsplaner til forbedring af vandmiljø og natur, herunder bidrage til at udvikle forskellige værktøjer.

Modeller indgår som en direkte integreret del af luftkvalitetsdirektivet, som en måde at vurdere overholdelse af luftkvalitetskravene. Dette fremgår bl.a. af citatet: "Those fixed measurements may be supplemented by modelling techniques and/or indicative measurements to provide adequate information on the spatial distribution of the ambient air quality." Tilsvarende anbefales brug af modeller mange steder i de andre direktiver og tilhørende vejledninger.

Det er vores grundlæggende opfattelse, at ligesom overvågning ikke kan ses løsrevet fra de øvrige aktiviteter i fx Vandrammedirektivet, skal anvendelse af modeller til støtte for overvågningen ses i sammenhæng med, hvorledes modeller ellers kan anvendes i forbindelse med implementering af direktivet. En sådan helhedsbetragtning, hvor det sikres, at der ikke udvikles et sæt modeller til overvågning og et andet sæt modeller til forvaltningsformål, er af afgørende betydning for opnåelse af den fagligt og økonomisk mest fordelagtige implementering. Hvis der ikke anlægges en sådan bredere synsvinkel, vil der uundgåeligt komme til at blive foretaget et ikke optimalt valg af modelleringsstrategi. Man bør derfor starte med at kigge på den bredere sammenhæng - hvorledes kan modeller understøtte behovet for viden i forhold til overvågning og forvaltning - så bliver spørgsmålene om, hvorledes modeller kan understøtte overvågningen, og hvilke modeltyper der kan anvendes automatisk besvaret.

Tilsvarende er det vigtigt at anlægge en helhedsbetragtning, som omfatter alle medier, der naturligt hænger sammen (fx grundvand, vandløb, søer, marint) både i måleprogrammer og i modellering.

Overvågning kan udgøres af en kombination af målinger og modelberegninger i et integreret overvågningssystem. Dette forudsætter et tilstrækkeligt datagrundlag – dvs. måledata til løbende validering samt inputdata af tilstrækkelig høj kvalitet og detaljeringsgrad til at sikre gode beregningsdata.

3.2 Til hvilke formål kan modeller støtte overvågning

Modeller kan opfattes som en slags avancerede databaser med en struktureret måde at gemme data og definere årsagssammenhænge mellem disse data, fx den tidlige udvikling af vandføring som respons på bl.a. nedbørsforhold. Disse årsagssammenhænge kan baseres på empiriske, statistiske relationer eller fysiske, kemiske og biologiske procesbeskrivelser, men de er generelle formuleringer, og modeller skal derfor tilpasses for at kunne beskrive sted-specifikke forhold. Tilpasning af modelparametre sker typisk via kalibrering, hvor parameterverdier varieres, indtil modellen reproducerer feltdata bedst muligt. Hvis der ikke eksisterer sted-specifikke data, kan en model ikke give pålidelig konkret information om forholdene på den pågældende lokalitet, men kan måske give generel information om, hvordan forskellige processer opfører sig og påvirker hinanden. At benytte sådanne ikke-validerede modeller til at forudsige et sted-specifikt systems tilstand og dets respons på ydre påvirkninger vil være gætteeri, og overvågningsdata er derfor en forudsætning for sted-specifik modellering.

På den anden side giver data alene kun information om den nuværende tilstand, fx en kemisk koncentration på en given lokalitet på et givet tidspunkt. Denne information er i sig selv af begrænset værdi. Hvis der udføres flere målinger på samme lokalitet, kan tidsserier opstilles og åbenbare tendenser i koncentrationsniveau kan identificeres. Dataene forklarer imidlertid ikke årsagen til denne tendens. For at kunne trække den slags information ud af dataene, er det nødvendigt at fortolke dataene på baggrund af en fysisk, kemisk og økologisk forståelse af systemet, dvs. at vi skal opstille en konceptuel model af systemet, som er i stand til at forklare dataene. Naturlige systemer er imidlertid meget komplekse med adskillige processer, der forekommer samtidig og påvirker hinanden. Det kan derfor være meget vanskeligt fuldstændigt at forstå og adskille de forskellige

processer alene på baggrund af feltdata. I den sammenhæng kan modeller betragtes som en formel beskrivelse af den viden, der er om systemet.

Denne praksis for kalibrering og tilhørende behov for validering, selv af de mest avancerede modeller, til dokumentation af modellers pålidelighed er anerkendt praksis inden for de hydrologiske og oceanografiske videnskabelige discipliner. Praksis inden for atmosfærisk modellering adskiller sig noget herfra, idet der som regel ikke foretages kalibrering og sted-specifik modelvalidering. Derfor opfattes modelgenererede data oftest som fuldt gyldige monitoringsdata. En sådan 'Integreret Monitoring' praktiseres inden for luftkvalitetsovervågningen (Hertel et al., 2007).

Modeller kan anvendes til flere typer af opgaver (Højberg et al., 2007; Jørgensen et al., 2007):

- Til at teste den *konceptuelle model*. En konceptuel model er en beskrivelse af et natursystem, i form af systembeskrivelse (topografi, geologi, jordfysik, arealanvendelse, mv.), ydre påvirkninger og procesligninger. Dvs. at den konceptuelle model indeholder den fysiske, kemiske og økologiske forståelse af, hvordan et system fungerer. En numerisk model kan benyttes til at teste, om en konceptuel model er konsistent med de foreliggende feltdata og til at evaluere alternative hypoteser om årsagssammenhænge (alternative konceptuelle modeller). Det er sket i vidt omfang i NOVANA, fx er modelleringen af GRUMO og LOOP områder sket med det hovedformål.
- Til *kvalitetssikring af data*. Anvendelse af modeller giver et check på den interne konsistens af data, og eventuelle fejl i data vil ofte kunne findes ved analyse af modelresultater. Mange af disse fejl ville det være vanskeligt at erkende blot ved at kigge på dataene alene (Højberg et al., 2007). Eksempler herpå kendes fra alle NOVANA delprogrammer.
- Til at vurdere effekterne af allerede besluttede og mulige indsatser til forbedring af miljøtilstanden (*effektvurderinger*). Det sker typisk i forvaltningssammenhæng.
- Ved *tilstandsvurdering* kan usikkerheden i valgte indikatorer for fx biologiske kvalitetselementer reduceres ved, at variationerne i data forklares ved brug af modeller, og at den resulterende uforklarlige variation dermed bliver mindre. Dermed forbedres konfidensgrænserne for de valgte indikatorer, og der opnås en mere præcis klassifikation af den aktuelle økologiske tilstand (Carstensen, 2007). Denne metodik kan også benyttes til at analysere, om effekten af implementerede miljøindsatser giver den forventede forbedring af miljøtilstanden. Et problem er her, at naturlige klimavariationer giver anledning

til variationer i miljøtilstand (fx næringsstofudvaskning), og at det kan være vanskeligt at identificere tendenser forårsaget af miljøindsatsen, fordi de klimabetingede variationer i forhold til statistiske test fungerer som 'støj'. Modeller, der er i stand til at forklare noget af den klimabetingede 'støj', vil derfor gøre det muligt at identificere tendenser, som ikke kan ses alene ud fra en analyse af overvågningsdata.

- Overvågningsdata er som regel diskrete i tid og sted. For at kunne udtale sig generelt om miljøtilstanden er der behov for at *skønne miljøtilstanden på lokaliteter og tidspunkter, hvor der ikke er målinger*. Til det formål foretages der ofte interpolation mellem måledata. Sådanne empiriske metoder er baseret på simplificerede antagelser om, hvordan miljøtilstanden varierer – typisk lineært. Procesbaserede modeller kan ofte lave bedre estimater for umålte lokaliteter og for tidspunkter mellem målinger, fordi de har mulighed for at inddrage fysisk/kemiske årsagssammenhænge og andre datakilder som fx geologiske og topografiske data. Et eksempel er beregning af afstrømning og stoftransport i umålte oplande til søer og fjorde, hvor en model udviklet på baggrund af den landsdækkende hydrologiske DK-model tænkes anvendt sammen med statistiske modeller for næringsstofftab fra diffuse kilder (Andersen et al., 2006). Et andet eksempel er modeller på luftområdet, som bl.a. anvendes til at bestemme luftkvaliteten i bygader, hvor der ikke foretages målinger, mens målingerne bl.a. anvendes til vurdering af trends (Hertel et al., 2007).
- Når et *overvågningsprogram skal udformes*, er der politisk-administrativt, fagligt og økonomisk behov for at vurdere, på hvilke lokaliteter og hvor hyppigt der optimalt skal måles for hvilke miljøvariable. Til det formål vil modeller kunne være en støtte, fordi de tillader en vurdering af, hvorledes pålideligheden/usikkerheden af et måleprogram ændres som funktion af antal og placering af målinger. Denne anvendelse er endnu ikke rigtig påbegyndt i Danmark, men er kendt forskningsmæssigt og beskrevet i Højberg et al. (2007).

Modeller kan således understøtte overvågning på mange forskellige måder. De fleste af disse omfatter andre måder at betragte modeller på end den traditionelle rolle, hvor modeller kun anvendes til at forudsige effekter af alternative scenarier for miljøindsatser. For at kunne opbygge tilstrækkelig modelleringskompetence i en (forvaltnings)organisation er det vigtigt, at der ikke anvendes for mange forskellige modeller. Selv om forskellige typer af modeller ofte vil kunne benyttes til hver enkelt af disse anvendelser, er det derfor væsentligt at betragte alle de forskellige typer modelanvendelser under et, således at det samme sæt af modeller bruges til flest mulige typer af anvendelser.

3.3 Behov for usikkerhedsvurderinger

For så vidt angår vandrammedirektivet (EC, 2003), skal medlemsstaterne overveje, hvilken nøjagtighed og sikkerhed man vil opnå med et overvågningsprogram. Det valgte niveau af sikkerhed kan ikke fastsættes objektivt, men vil afhænge af den socio-økonomiske sammenhæng og beslutningstagernes risikovillighed. Det er derfor en politisk beslutning, hvor omkostninger til overvågning skal afvejes i forhold til risikoen for fejlklassifikationer og dermed fejlbeslutninger. Omfanget af overvågningen vil derfor variere fra lokalitet til lokalitet. I situationer, hvor konsekvenserne af en fejlklassifikation ikke er store, vil det være tilstrækkeligt med et beskedent niveau af overvågning. På den anden side vil der være behov for en mere omfattende overvågning i situationer, hvor mulige fejlklassifikationer som følge af for lidt overvågning vil resultere i store omkostninger (økonomiske og/eller politiske), fx på grund af en efterfølgende fejlagtig indsats. Tilsvarende vil en udpræget anvendelse af forsigtighedsprincippet (lille risikovillighed) resultere i et stort behov for sikkerhed og dermed et omfattende overvågningsprogram.

En sådan afvejning mellem omkostningerne til overvågning og risikoen for, at der træffes forkerte beslutninger, kræver, at nøjagtigheden/usikkerheden i et overvågningsprogram vurderes. Det kan i realiteten kun ske ved kombinationen af modeller, data og statistiske analyser. Ved usikkerhedsvurderinger er det nødvendigt at inddrage såvel usikkerheder på data og modelparametre som usikkerheder på den konceptuelle model, forårsaget af manglende viden om årsagssammenhænge. Usikkerheder på data og modelparametre kan ofte karakteriseres statistisk, mens usikkerhed på den konceptuelle model med fordel kan karakteriseres ved at benytte ensemble modellering, hvor der foretages modelberegninger på baggrund af flere forskellige mulige konceptuelle modeller (Refsgaard et al., 2007).

3.4 Hvor langt kan vi gå med modellering?

Erfaringer viser, at modeller som regel er dårligere til at beskrive ikke-lineære end lineære udvikling i systemer. Ligeledes er modeller bedst til at beskrive systemer i ligevægt. Mange af de naturlige systemer vi ønsker at beskrive med modeller, er ikke-lineære og, bl.a. på grund af klimaændringer, ikke i ligevægt. Spørgsmålet om, hvornår det kan betale sig at benytte en model, hænger sammen med hvor godt vores vidensgrundlag er om det naturlige system, vi vil modellere. Grundlæggende gælder, at des længere et system er fra en ligevægtstilstand, og i jo højere grad en

udvikling forventes ikke at være lineær, jo flere data/mere viden kræves for at kunne beskrive et systems miljøtilstand med en acceptabel sikkerhed. Omvendt gælder, at des tættere et system er på ligevægt, og i jo højere grad der forventes en lineær udvikling, jo flere målinger kan erstattes af modellerede resultater.

De to væsentligste forudsætninger for at kunne opstille en model er viden om årsagssammenhænge (konceptuel model) og lokale data. Vi spørger ofte om hvor meget viden og hvor mange data, der er nødvendige for at kunne anvende en model. For få data anføres ofte som den væsentligste begrænsning for en praktisk anvendelse af modeller. Yderligere viden og data vil ofte kunne forbedre en model, og man kan derfor argumentere, at der aldrig vil blive viden og data nok. På den anden side er det altid muligt at opstille en model på baggrund af eksisterende viden og data. Men hvis vi har for lidt viden og for få data, kan usikkerheden på modelprediktioner blive så stor, at modelresultaterne ikke er nyttige i praksis. Derfor er spørgsmålet, om der er viden og data nok, umuligt at besvare uden at kende behovet for nøjagtighed af modelresultaterne. Det er derfor mere relevant at starte med at spørge om, hvilken grad af usikkerhed, der er acceptabel. Og det er netop den tankegang, der fx fremhæves i EU's overvågningsvejledning til vandrammedirektivet (EC, 2003).

Modelsimulerede tal vil aldrig indeholde 'overraskelser', fordi de er baseret på den konceptuelle model, som er etableret ud fra den foreliggende viden. Dette betyder, at hvis der udelukkende anvendes modeller, vil en evt. fejlagtig forståelse af systemet ikke blive opdaget. En anvendelse af modeller til at understøtte overvågning kræver derfor, at vi har stor tillid til den konceptuelle model, der ligger til grund for den numeriske model, og at modellen i et vist omfang suppleres med målte data.

I den forbindelse er det værd at notere, at usikkerheden på konceptuelle modeller ofte er dominerende i forhold til data- og parameterusikkerhed, specielt for nogle af de 'vanskelige' modelleringsområder såsom grundvandskvalitet (Højberg and Refsgaard, 2005) og økologiske forhold i overfladevand. Det vil med andre ord eksempelvis sige, at med de geologiske data og tolkninger, der ligger bag de konceptuelle modeller, vi benytter i dag, kan vi ofte med acceptabel nøjagtighed anvende modeller til at karakterisere vandets kvantitative forhold (vandføringer, trykniveauer). Derimod tilfører de samme konceptuelle modeller så meget usikkerhed i vurdering af grundvandskvalitet, at modellering af grundvandskvalitet i praksis har begrænset nytte i overvågningsammenhæng. Tilsvarende forhold gør

sig gældende for overfladevand, hvor mangelfuld økologisk viden ofte resulterer i meget usikre økologiske modeller. Grænsen for, hvor langt vi med fordel kan anvende modeller til overvågningsformål, vil givet vis flytte sig i takt med, at vi får større viden om geologiske, vandkvalitetsmæssige og økologiske forhold, både fra overvågningen af vandmiljøet samt fra den løbende forskningsindsats på området.

3.5 Konklusioner

- I takt med at det faglige grundlag udvikles, bør overvågningen videreudvikles i form af en endnu højere grad af integreret brug af målinger og modellering. Målinger støtter modeller i og med, at modeller ikke vil kunne kalibreres uden data tidsserier, og mange empiriske/statistiske modeller er udviklet på baggrund af overvågningsdata. Tilsvarende kan modeller støtte målinger på flere forskellige måder.
- Modeller er dårligere til at beskrive systemer i ubalance end systemer i ligevægt og en ikke-lineær udvikling end en lineær udvikling
- Modelopstilling og -anvendelse til overvågning bør ikke ansues isoleret, men skal ses i sammenhæng med øvrige mulige modelanvendelser.
- Vi bør, bl.a. med henblik på Vandrammedirektiver, anlægge en helhedsbetragtning, som omfatter alle medier som naturligt hænger sammen (fx grundvand, vandløb, søer, marint) både i indsamling af måledata og i modelleringen. Desuden bør der anvendes fælles input data til brug for modeller fx i form af data om klima, arealanvendelse, landbrugspraksis, mv.
- Der bør etableres en balance mellem omkostningerne til overvågning og risikoen for, at der træffes forkerte beslutninger, som følge af at overvågningen ikke beskriver miljøtilstanden præcist og nøjagtigt nok. En sådan afvejning kræver, at nøjagtigheden/usikkerheden i et overvågningsprogram vurderes. Det kan i realiteten kun ske ved hjælp af modeller og statistiske analyser.
- Data simuleret af modeller kan ikke som sådan erstatte data, der er målt i naturen. Modeller har nemlig den indbyggede svaghed, at de afspejler den ufuldstændige viden vi har om årsagssammenhængene i naturen. Modeller vil derfor, i modsætning til naturen, aldrig indeholde 'overraskelser'. En anvendelse af modeller til at understøtte overvågning kræver derfor stor tillid til den konceptuelle model, der ligger til grund for den numeriske model.
- Ved et stærkere sammenspil mellem måledata og modellering vil det være muligt at optimere det nationale overvågningsprogram, så der skaffes mest mulig relevant information for pengene.

Kapitel 4 - Anvendelse af modeller i eksisterende overvågning og internationale erfaringer

4 Anvendelse af modeller i eksisterende overvågning og internationale erfaringer

I dette kapitel redegøres for den aktuelle anvendelse af modeller i overvågningen samt perspektiverne ved at fortsætte udviklingen deraf. Modeller udviklet til understøtningen af forvaltningen omtales, og der redegøres for mulighederne for at inddrage modeller udviklet internationalt i den danske overvågning.

4.1 Indledning

Det nationale overvågningsprogram blev etableret i 1989 med henblik på at dokumentere udviklingen i vandmiljøet efter gennemførelsen af Vandmiljøplan I. Efterfølgende er programmet udviklet på baggrund af yderligere prioriterede politisk-administrative behov. Blandt andet har inddragelsen af overvågning af miljøfarlige stoffer og terrestrisk natur gjort, at NOVANA i dag er et integreret natur- og miljøovervågningsprogram. Behovet for yderligere målretning af overvågningen mod de kommende forvaltningsplaner afstedkom etableringen af DEVANO og Undersøgelsesovervågningen i 2007.

Modeludviklingen i overvågning var målrettet Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Således blev kvælstofbelastningsmodellen DAISY udviklet specifikt til at vurdere effekten af landbrugsreguleringen. Anvendelsen af modeller har således fra programmets start i 1989 været en integreret del af overvågningen i kombination med målinger og indgår nu i alle delprogrammer.

Status for anvendelsen af modeller i overvågningen i delprogrammerne i dag fremgår af en detaljeret oversigt over den igangværende modeludvikling inden for NOVANA frem til 2009 (www.blst.dk/miljoeovervaagning/). Her perspektiveres desuden videreudviklingen af modeller efter 2009 til brug for fremtidige overvågningsprogrammer. Modeludvikling uden for NOVANA er kun omtalt i forbindelse med perspektiveringerne efter 2009.

Nedenfor beskrives modelanvendelsen i delprogrammerne i NOVANA og mulighederne for en videreudvikling på modelområdet i det danske overvågningsprogram. Resultaterne af en analyse af de internationale erfaringer med anvendelsen af modeller i overvågningen sammenfattes her.

Ved diskussioner af modelanvendelser er det vigtigt at skelne mellem to betydninger af ordet 'model'. Den ene er selve 'softwareprogrammet' (fx MIKE

SHE), som ofte i flæng også omtales som et modelsystem, en modelpakke eller en modelkode. Den anden betydning er en 'sted-specifik model', som betegner anvendelsen af et softwareprogram til at opstille en model for et konkret område (fx oplandet til Ringkøbing Fjord). Den sted-specifikke model er en anvendelse af et softwareprogram med inputdata og kalibrerede modelparametre. I daglig tale skelnes der ofte ikke mellem de to betydninger af ordet model, og i afsnit 4.2 anvendes ordet model ligeledes i begge betydninger.

4.2 Modelanvendelsen i NOVANA

4.2.1 Luftprogrammerne

De vigtigste modeller i luftprogrammerne er DEHM¹, UBM², OSPM-modellen³ og OML-DEP⁴. Modellerne anvendes i LMPIV⁵ til overvågning af luftkvalitet i byerne og af den sundhedsrelaterede luftforurening samt i BOP⁶ til overvågning af luftkvaliteten i baggrundsområder og bestemmelse af depositioner. Den gennemsnitlige luftkvalitet og det atmosfæriske nedfald bestemmes og udviklingen heri følges. Modellerne anvendes til vurdering af luftkvaliteten i områder, hvor der ikke findes målinger, herunder områder hvor forureningen ligger væsentligt under grænseværdierne. Endvidere kan modellerne anvendes i forbindelse med planlægning, herunder trafik- og naturplanlægning og forvaltning, fx i forbindelse med virksomhedsgodkendelse.

Overvågningen baseres på en integration af intensive målinger af luftkvalitet på ni lokaliteter, og på modelberegninger ud fra disse data på national og lokal skala. Desuden overvåges luftkvaliteten og den sundhedsrelaterede luftforurening i København, Århus, Odense og Aalborg samt på to baggrundsstationer året rundt.

Til at understøtte luftdirektiverne vil modelberegningerne med DEHM blive forbedret yderligere i løbet af 1-2 år, idet den geografiske opløsning bliver øget til 5 x 5 km samtidigt med, at naturlige kilder som skovbrande vil blive inkluderet i beregningerne. På lidt længere sigt (3-4 år) forventes endvidere, at den geografiske opløsning vil blive øget til 1 x 1 km, hvilket vil forbedre beregningerne af

¹ DEHM (**D**ansk **E**ulersk **H**emsifærisk **M**odel)

² UBM (**U**rban **B**ackground **M**odel)

³ OSPM-modellen (**O**perational **S**treet **P**ollution **M**odel)

⁴ DEP (lokalskala spredningsmodel med depositionsmul for ammoniak)

⁵ LMPIV (**L**uft**m**åle**p**rogram nr. 4)

⁶ BOP (**B**aggrunds**o**vervågnings**p**rogrammet)

depositionen til naturområderne til brug for Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet.

Modeludviklingen vil betyde bedre beregninger af deposition til naturområder, luftkvalitet på gadeniveau, partikelforurening og ozon samt at en motorvejsversion af OSPM vil blive udviklet. Dette understøtter direktiverne, der angiver at befolkningen skal informeres om bl.a. alarmtærsklen for ozon. Modelberegningerne anvendes endvidere nationalt til vurdering af handlingsplaner til regulering af fx dansk landbrug.

4.2.2 Punktkilder

I NOVANA for punktkilder anvendes en række simple empiriske modeller til opgørelserne af de samlede udledninger fra punktkilder, herunder også opgørelser af udledninger fordelt på ferske og marine oplande. På nationalt plan anvendes bl.a. empiriske modeller til beregning af udledningen fra den spredte bebyggelse ud fra oplysninger om udledningstype og nøgletal for reduktionerne. Det samme gør sig gældende for de beregnede udledninger fra dambrug, hvor udledningen bl.a. beregnes ud fra oplysninger om produktionsforholdene. I kommunerne anvendes der bl.a. modeller til at beregne vand- og stoftransporten i kloakerede områder, fx Mouse-Samba modeller.

Modellen for spredt bebyggelse er under udbygning. I samarbejde med Erhvervs- og Byggestyrelsen vil udledningerne fremover blive modelleret med data direkte fra BBR⁷. EBST⁸ opdaterer deres register, så de antager samme rensemetoder på de enkelte ejendomme.

4.2.3 Grundvand

Grundvandsprogrammet anvender modellering på to forskellige skalaer, nemlig for det enkelte GRUMO⁹ område og for hele landet.

Hovedformålet med den numeriske modellering af GRUMO områderne er at teste de konceptuelle modeller, som er væsentlige for anvendelsen af grundvandskvalitetsdata fra GRUMO områderne. Her er der desuden i de fleste

⁷ BBR (Bygnings- og Boligregistret)

⁸ EBST (Erhvervs- og Byggestyrelsen)

⁹ GRUMO (Grundvandsmoniteringsområder)

tilfælde opstillet partikeltransportmodeller til vurdering af vandets strømningsveje og opholdstider. De fleste numeriske modeller er opstillet ved brug af modelprogrammet Modflow, mens enkelte brugere har benyttet MIKE SHE modellen.

Hovedformålet med den landsdækkende modellering er at vurdere grundvandets kvantitet, vand-balancen og grundvandsdannelsen. Hertil anvendes GEUS' landsdækkende hydrologiske model (DK-model), som er baseret på MIKE SHE/MIKE 11 programmet. DK-modellen benytter overvågningsdata om klimaforhold, vandføringer, trykniveauer og vandindvindinger. Desuden indbygges de geologiske data, der i disse år indsamles i forbindelse med grundvandskortlægningen. NOVANA versionen af DK-modellen er for tiden under opbygning og vil være færdig i 2009. Desuden foregår en testning af et værktøj til kvalitetssikring af hele modelleringsprocessen. Dette værktøj (MoST) er tidligere udviklet i EU-forskningsprojektet HarmoniQuA.

Resultater fra den løbende forskning og modeludvikling bidrager til den næste version af NOVANA. På længere sigt forventes forskningsprojektet "HOBE – A Hydrological Observatory and Experimentarium" vedrørende vandbalancer at bidrage til at udvikle mere nøjagtige metoder til korrektion af flydende og fast nedbør og til estimering af aktuel fordampning.

DK-modellen kan opdateres på baggrund af data fra bl.a. den omfattende detailkortlægning af geologien, som for tiden foregår i forbindelse med grundvandskortlægningen finansieret af gebyrmidler. Med inddragelse af disse mere detaljerede geologiske data er der et potentiale for, at en integration af DK-modellen og måledata vil kunne udvides fra den nuværende kvantitative overvågning af grundvandsressourcen til også i et vist omfang at omfatte overvågning af grundvandskvaliteten og vurdering af grundvandsmagasinerne sårbarhed over for forurening. Integrationen kan desuden forbedre den kvantitative overvågning af overfladevandsressourcen og af stoftransporten fra større oplande til understøttelse af Vandmiljøplanerne og Vandrammedirektivet.

4.2.4 *Landovervågning*

I programmet anvendes empiriske udvaskningsmodeller (NLES¹⁰) og den dynamiske model DAISY¹¹, der bidrager til at eftervise, hvordan Vandmiljøplanerne

¹⁰ NLES (Nitrogen Leaching Estimation)

og øvrige initiativer i landbrugssektoren påvirker udvaskning af næringsstoffer fra rodzonen til vandmiljøet samt for at godtgøre effekterne af Vandmiljøplanerne. Modellerne anvendes til beregning af kvælstofudvaskning fra samtlige marker i de udvalgte oplande på baggrund af data fra den årlige interviewundersøgelse om landbrugspraksis. Scenarieregninger over effekten af ændret landbrugspraksis foretages på dette datamateriale.

I oplande med næringsstofmålinger opgøres næringsstofcirkulationen i oplandene i relation til landbrugspraksis. Det sker dels gennem simple sammenhænge mellem landbrugspraksis og målte værdier for næringsstoftransport i vandløb og koncentrationer i det terrænnære grundvand, dels gennem en egentlig hydrologisk modellering, hvor rodzonemodellen kobles med en grundvandsmodel.

Arbejdet med opsætning af udvaskningsmodeller på landovervågningsoplandene (DAISY og NLES) gennemføres for alle 5 oplande i 2008 til brug for vandmiljøplanerne. Den hydrologiske modellering, der understøtter vandplanerne i forhold til vandrammedirektivet, gennemføres for 4 oplande i 2008-09, og den hydrologiske modellering i det 5. opland vil blive gennemført efterfølgende.

4.2.5 Vandløb - Stofbelastning

Vandløbsprogrammet er tilrettelagt, så det på baggrund af integreret modellering og målinger bidrager til opgørelse af næringsstofretention, vand- og stoftilførsel til søer og kystområder og til kildeopsplitning. For oplande, hvor der ikke kan måles eller bliver målt, opgøres vand- og stoftransporterne ved modellering. Desuden anvendes empiriske modeller for næringsstofftab fra oplande. Oplandsanalyser af næringsstofstrømme, bl.a. udvaskningsmodellen NLES, er koblet til hydrologisk modellering med NAM modellen.

Med henblik på at understøtte vandrammedirektivet, vandmiljøplanerne, nitratdirektivet samt de marine konventioner sker en videreudvikling af modelværktøjer, der omfatter en ny havbelastningsmodel, som på et ensartet grundlag på landsplan kan estimere afstrømningen af vand og næringsstoffer til kystvandene fra umålte arealer ved anvendelse af en nyudviklet metamodel af DK-modellen. Desuden opstilles en model for stofretention i vandløb, søer og vådområder med det formål at kunne vurdere belastningen af kyster og havmiljøet. Modellen opbygges og testes med inddragelse af eksisterende modeller som

¹¹ DAISY (Integreret model for jord, atmosfære og vegetation)

MIKE11-TRANS og empiriske modeller fra søovervågningen. Det er sigtet at videreudvikle modeller til støtte for beregning af næringsstoftransport, kildeopsplitning af næringsstoffab samt økologiske skalamodeller til forudsigelse af økologisk tilstand i ferskvand på oplandsniveau. Inden for vandløbsprogrammet arbejdes der med testning af den koblede hydrauliske model MIKE 11 og stofmodellen TRANS med henblik på dynamisk simulering af sediment- og næringsstoftransport i vandsystemer.

4.2.6 Søer

Integreringen af modeller i overvågningen af søer sker ved, at empiriske modeller sammen med intensive målinger bruges til at fastslå generelle forhold i de ekstensivt undersøgte søer samt beskrive den generelle tilstand i danske søer. Intensive målinger anvendes endvidere i procesorienterede dynamiske modeller til at opnå forbedret viden om de økologiske sammenhænge i søer. Stofbalancemodeller sammenstiller vand og næringsstoffer i søerne og beskriver blandt andet søernes tilbageholdelse af fosfor og kvælstof.

Frem til 2009 sker der en videreudvikling af empiriske modeller og afprøvning af og videreudvikling af dynamiske modeller. Arbejdet omfatter DYRESM-CAEDYM, som er den i øjeblikket mest anvendte model i verden, en 1-dimensional fysisk-kemisk og biologisk model. Sedimentet og stofudvekslingen er inkluderet i modellen, men som andre modeller af samme type er den bentisk-pelagiske kobling relativt svag, og det samme er fiskenes regulerende rolle. Det er hensigten at forbedre modellen på disse punkter.

IPH-ECO er en anden kompleks dynamisk model, hvor den bentisk-pelagiske kobling er stærk, og fiskenes og undervandsplanternes rolle er særlig stor. Modellen er specielt egnet for lavvandede søer og vil blive afprøvet på nogle danske NOVANA søer under belastningsreduktion og biomanipulerede søer og herefter videreudviklet. Modellen vil blive windows-baseret og let at anvende for brugere.

På længere sigt forventes en højere grad af integration mellem oplands- og sømodeller. Det er hensigten, at de dynamiske modeller skal beskrive sæsondynamikken for de centrale kemiske og biologiske variable, således at konsekvenserne af reduktioner af fosfor- og kvælstoftilførslen kan forudsiges. Dette

er desuden relevant i arbejdet med vandplanlægningen og forvaltningen og understøtter dermed Vandrammedirektivet.

4.2.7 Hav og fjord

Vand- og stoftransporter i det marine miljø kvantificeres ved brug af 3D-modellering (DHIs model)¹² i det marine modelkompleks. Her modelleres vand- og næringsstoftransporten for udvalgte kystområder og åbne marine områder. Stoftransporterne beregnes på grundlag af næringssaltmålinger i hhv. de åbne farvande og fjordene. I de åbne områder anvendes desuden DMU's BALECO¹³ model til beskrivelse af blandingsprocesser.

I de åbne farvande modelleres den tidsmæssige udvikling i strømforhold, vandstand, salinitet og temperatur i tre dimensioner til anvendelse som randdata for fjordmodelleringen. Ved modellering af niveau 2+-kystområder fastlægges volumen-, salt- og stofudvekslingen med det tilstødende farvand. Eventuelle specielle fysiske forhold modelleres. Nettomassebalancer for fjordene opstilles, og stoftilbageholdelsen estimeres. En forudsætning for fjordmodelleringen er opgørelse af morfologi, fjordvolumen og areal samt profilmålinger mv. på randstationerne. Endvidere anvendes randdata beregnet vha. modellen for de åbne vande.

Den eksisterende modellering udvikles løbende ved validering og justering af modellerne i forhold til data indsamlet i overvågningen. Til understøttelse af vandrammedirektivet er det relevant at inddrage økologisk modellering i den samlede marine modellering med udvikling af modeller for udvalgte biologiske parametre. En økologisk overbygning på den fysiske modellering kan supplere overvågningsnettet og bidrage til en vurdering af miljø- og naturtilstanden. Der er igennem de senere år blevet udviklet økologiske modeller for nogle fjorde og kystnære områder, hvor de primært har været anvendt til forvaltningsmæssige formål. Forskellige typer af økologisk modellering kan danne grundlag for tolkning af indsamlede data, optimering af dataindsamling og udarbejdelse af scenarier. Økologisk modellering kan således blive et centralt værktøj i planlægningen og forvaltningen og arbejdet med effektvurdering af direktiver og nationale miljøtiltag.

¹² Havmodellen

¹³ **Baltic ECO**system Model

4.3 Mulighederne for anvendelse af internationale modelsystemer i natur- og miljøovervågning

Det er med udgangspunkt i Miljøministeriets beskrevne prioriterede overvågningsbehov vurderet, om udenlandske modelsystemer omkostningseffektivt kan anvendes eller tilpasses danske forhold.

Inden udenlandske modelsystemer inddrages og tilpasses danske forhold, er det i forhold til økonomien centralt at vurdere omkostningseffektiviteten. Det er desuden afgørende, at modelanvendelserne sker med høj faglig kvalitet, herunder at der er åbenhed og reproducerbarhed i hele modelleringsprocessen samt at betydningen af de forskellige usikkerhedskilder alle vurderes.

For *grundvandsmodellering* anvendes i Danmark næsten udelukkende Modflow (flere versioner) og MIKE SHE/MIKE 11. MIKE SHE/MIKE 11 er karakteriseret ved at være et fuldt integreret modelsystem, som udover grundvand også beskriver strømning, transport og kemiske/biologiske processer i umættet zone, vandløb og søer. Modflow er i sit udgangspunkt kun en grundvandsmodel, men der findes tillægsmoduler, så det også med Modflow er muligt at simulere flere komponenter af det hydrologiske kredsløb. Begrænsningen i de nuværende metoder ligger i, at modellering af stoftransport og grundvandskvalitet oftest er meget usikker, bl.a. fordi de geologiske data og tolkninger er mangelfulde.

Modflow er udviklet i USA, og MIKE SHE/MIKE11 er udviklet i Danmark, men begge modelsystemer har en omfattende global udbredelse. De bedste og mest relevante operationelle internationale modelsystemer anvendes således allerede i dag til hydrologisk modellering i NOVANA. Derudover findes der en række modelsystemer, som er under udvikling i forskningsverden, både i Danmark og i andre lande, og både i form af videreudviklinger til Modflow og MIKE modelsystemerne og i form af helt nye modelsystemer. Nogle af disse videreudviklinger vil der blive behov for at tilpasse og anvende fremover. De væsentligste nye videreudviklinger er alle generelle og principielt brugbare på danske forhold. De væsentligste omkostninger ved deres eventuelle anvendelse vil ikke være i tilpasning eller indkøb af selve softwarepakkerne, men i det arbejde, der ligger i modelopstilling og anvendelse med inputdata, kalibrering, validering, usikkerhedsanalyser, osv.

De vigtigste modelsystemer, som anvendes i *luftprogrammerne* er DEHM, UBM, OSPM-modellen og OML-DEP, der er udviklet i internationalt samarbejde og

anvendes i dag i NOVANA. DEHM har været evalueret internationalt og er vurderet at være på et højt internationalt niveau. Der findes derfor ikke udenlandske modelsystemer, der med fordel kan benyttes til erstatning for de danske.

Overvågningen af NPO elementerne i Landovervågningsprogrammet er baseret på integration af målinger og modellering (DAISY modelsystemet), og der pågår til stadighed en omfattende videreudvikling. Ved en international evaluering har DAISY ved sammenligning med tilsvarende modelsystemer fået højeste score. Flere udenlandske modelsystemer vil teoretisk sagtens kunne anvendes på danske forhold, men dels er de ikke bedre end DAISY, og dels findes der efterhånden en omfattende erfaring med anvendelse af DAISY på danske forhold, som betyder, at der findes anbefalede parameterverdier for forskellige danske jordtyper og afgrødeforhold. Anvendelse af udenlandske modelværktøjer vil derfor kræve et omfattende arbejde med først og fremmest parameterfastlæggelse og opbygning af troværdighed, hvorfor det er mere relevant at videreudvikle de eksisterende modelværktøjer.

For *afstrømning* og *stoftransport* i ferskvand er der opstillet validerede danske modeller, og de anvendes allerede som et vigtigt element i NOVANA. Det er kun inden for en del af overvågningsforpligtigelserne i Vandramme- og Habitat Direktivet, at der i dag findes brugbare modeller - også internationalt. Der arbejdes i dag med at anvende overvågningsdata til udvikling af såvel simple empiriske som mere procesorienterede modeller til overvågning og forvaltning.

Der findes i dag empirisk baserede modeller, men ikke velegnede operationelle økologiske modelsystemer for ferskvandssystemer, der 'blot' kan tilpasses. Der findes i dag kun meget simple vandløbsøkologiske modeller, som er udviklet til at simulere den økologiske tilstand i vandløb. Fyto- og zooplankton modeller er anvendt og publiceret i den internationale litteratur, men begrænser sig til få funktionelle grupper. Modelsystemer for beskrivelse af mere komplekse økologiske processer og forhold findes ikke. Der arbejdes på at opstille veldokumenterede økologiske modelsystemer for ferskvand af mere kompleks, procesorienteret tilsnit på sted-specifikke lokaliteter.

På det *marine område* findes en række modelsystemer, som anvendes i tilknytning til udenlandske statslige overvågningsprogrammer, ofte af universiteter. Der er ikke fundet udenlandske eksempler på modellering som en integreret og finansieret del af overvågningsprogrammer. På baggrund af den store indsats med tilpasning af

modeller til danske forhold under NOVANA-programmet vurderes det, at det ikke er nødvendigt at inddrage yderligere internationale modeller i den marine del af overvågningen. Det er derimod nødvendigt at fortsat løbende justere de eksisterende modeller ved kalibrering og validering med overvågningsdata. Desuden udestår opsætning og kalibrering/validering af modeller for en række lokale kystnære områder og fjorde, hvilket kræver data til kalibrering og validering af modellen. Når modellerne er kalibrerede og validerede vil de kunne supplere overvågningen og anvendes i forvaltningen og til scenariebeskrivelser til brug for vandplanlægningen. For en lang række mere specifikke økologiske forhold i marine områder er der fortsat brug for tilpasning og udvikling af modellerne samt behov for data til at foretage denne udvikling og validering.

4.4 Konklusioner

- Overvågningen er primært baseret på målinger i naturen, men gennem de seneste år har der været en stærkt stigende integration af målinger og anvendelse af modeller. I dag indgår anvendelsen af modeller således i alle NOVANA's delprogrammer.
- Overvågningsprogrammet har gennem årene ændret sig som følge af ændrede politiske behov og med udnyttelse af de nye faglige muligheder, der er opstået. I perioden har der været en kobling mellem overvågning og forskning, der har medvirket til at sikre at overvågningen løbende opdateres fagligt til et internationalt niveau. Den stigende anvendelse af modellering i overvågningen er et af resultaterne heraf.
- Status med modelanvendelser inden for de forskellige delprogrammer er:
 - I luftovervågningen er der en fuldstændig integrering af måledata og modellering.
 - Inden for grundvandsovervågningen er modeller en integreret del af den anvendte overvågningsstrategi. Her er en forbedret geologisk beskrivelse og en videreudvikling af modellering af grundvandskvalitet en forudsætning for mere udbredt modelanvendelse.
 - I landovervågningen benyttes rutinemæssigt modeller for kvælstofudvaskning. Inden for de seneste par år er der desuden påbegyndt en integreret modellering af nitratkredsløbet i rodzone, grundvandszone og vandløb for de fem landovervågningsoplande.
 - For søer og vandløb eksisterer der i internationalt regi en del empiriske modeller udviklet med dansk deltagelse. Hydrologien og stoftransporten er relativt velbeskrevet, og er nu baseret på modeller med færre målestationer end tidligere. Videreudviklingen

af sømodellerne er en forudsætning for yderligere at kunne inddrage sømodeller i overvågningen. Her vil næste trin være en forbedret modellering af processer og økologiske forhold. Der findes i dag empirisk baserede modeller, men ikke velegnede operationelle økologiske modelsystemer for ferskvandssystemer.

- I det marine overvågningsprogram anvendes allerede i dag flere forskellige modeller til beskrivelse af vand- og stoftransporter samt blandingsprocesser i de åbne farvande. Endvidere modelleres bl.a. volumen og salt- og stofudvekslingen med det tilstødende farvand for nogle få udvalgte fjorde og kystområder.
- Integreret anvendelse af målinger og modellering i overvågning anbefales både i EU-vejledninger, bl.a. i forbindelse med Vandrammedirektivet, og i publikationer fra forskningsverdenen. Arbejdsgruppens analyse viser, at relevante udenlandske modelsystemer allerede er inddraget i NOVANA, hvor det har været muligt.
- På grund af forskningens internationale karakter og danske forskeres omfattende samarbejde med internationale kollegaer er en skelnen mellem modelsystemer udviklet i Danmark og i udlandet ikke specielt relevant – alle gode modelsystemer er veldokumenterede internationalt.
- Hovedparten af omkostningerne ved inddragelse af nye modelsystemer ligger som regel ikke i anskaffelse eller softwaretilpasning, men derimod i at benytte det nye modelsystem til at opstille og vedligeholde sted-specifikke modeller med datatilpasning, modelkalibrering, modelvalidering og usikkerhedsanalyser.

Kapitel 5 – Workshop og DHI rapport

5 Workshop og DHI rapport

5.1 Baggrund

Flere rådgivende firmaer har fremført nogle overvejelser om alternative overvågningsstrategier, som omfatter anvendelse af ny teknologi.

DHI havde i december 2006 foretræde for Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg (FMPU), hvor de fremlagde deres forslag til revision af overvågningsprogrammet under overskriften ”Vi kan gøre det dobbelt så godt”. Ved den lejlighed argumenterede de for, at overvågningen ville kunne forbedres væsentlig ved mere systematisk udnyttelse af nye teknologiske muligheder. Konkret pegede de på, at denne forbedring kunne opnås ved en højere grad af udnyttelse af automatiske målinger, modeller samt observationer fra fly og satellitter til dataindsamling og derved opnå en mere dækkende beskrivelse af miljøtilstanden i tid og rum, en mere direkte kobling til EU direktiver samt omkostningseffektiv adgang til mange data.

På den baggrund har Miljøministeriet efterfølgende bedt DHI udarbejde et forslag til et alternativt overvågningsprogram, som målrettet inddrager nye teknologier. Med henblik på at få yderligere input fra andre aktører arrangerede By- og Landskabsstyrelsen en workshop den 6. februar 2008 om inddragelse af ny teknologi i overvågningen.

Dette kapitel sammenfatter de eksterne inputs til anvendelse af ny teknologi, som er fremkommet på workshoppen i februar 2008 og arbejdsgruppens vurderinger af DHI's rapport fra april 2008.

5.2 Workshoppen den 6. februar 2008

Onsdag den 6. februar 2008 afholdt By- og Landskabsstyrelsen en workshop om inddragelse af ny teknologi i overvågningen – med ny teknologi forstået som indirekte metoder til dataindsamling, automatisk måleudstyr samt modeller og beregningsmetoder. Formålet med workshoppen var at diskutere mulighederne for at optimere overvågningen såvel teknologisk som økonomisk.

Workshopprogrammet var opbygget således, at alle primære aktører og interessenter havde mulighed for at fremføre deres synspunkter (Workshopprogram, bilag samt præsentationer er samlet på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside: www.blst.dk/miljoeovervaagning).

Overordnet set udtrykte alle aktører enighed om, at det er en god ide at inddrage ny teknologi i overvågningen under forudsætning af, at det kan dokumenteres at bidrage til at opfylde overvågningens formål bedre og/eller billigere.

Et af de helt centrale diskussionsemner, som blev berørt af både oplægsholdere og tilhørere, var, hvilke behov den fremtidige overvågning skal dække, da udbyttet af øget teknologianvendelse nøje afhænger af, hvilke svar overvågningen skal bidrage til at give nationalt, regionalt og lokalt, og med hvilken sikkerhed.

By- og Landskabsstyrelsen sluttede workshopen af med at love, at den forestående revision af overvågningsprogrammet vil blive igangsat med en detaljeret behovsopgørelse. Herefter vil vurderingen af muligheder og behov for øget teknologianvendelse i overvågningen indgå som en central del af revisionsprocessen.

I det følgende er centrale synspunkter fra de forskellige aktører og interessenter opsummeret.

5.2.1 By- og Landskabsstyrelsen

Med to oplæg gav repræsentanter for By- og Landskabsstyrelsen en introduktion til de problemstillinger, der er centrale i forhold til at definere det statslige overvågningsbehov og deraf følgende strategi i forbindelse med den kommende revision. Herunder hvordan overvejelserne omkring øget anvendelse af ny teknologi er tænkt ind i processen.

Det blev fremført, at det statslige overvågningsprogram primært har til formål at dække det nationale behov for overvågningsdata. Data vil være til rådighed for andre myndigheder, men det er op til den udførende myndighed at vurdere, om den tilvejebragte viden er tilstrækkelig til at understøtte konkrete afgørelser i sager. Såfremt dette vurderes ikke at være tilfældet, vil det være op til den udførende myndighed at tilvejebringe den manglende viden.

Statens behov for overvågning relaterer sig primært til de internationale forpligtelser med ophæng i Vandrammedirektivet, Habitatdirektivet, Nitratdirektivet etc., men den nye statslige opgave med regional vand- og naturplanlægning medfører flere behov end hidtil og dermed nye udfordringer for overvågningsstrategien. Det vil

derfor blive nødvendigt at prioritere overvågningsressourcerne mellem de nationale og de regionale behov samt at tænke på tværs af fagområder.

Et af fokusområderne i den sammenhæng vil være at se på mulighederne for at effektivisere overvågningen ved at øge inddragelsen af ny teknologi. Perspektivet er en integration mellem dataindsamling og modellering, som kan medvirke til at optimere overvågningen og give synergi mellem forskellige fagområder.

5.2.2 Forslag til alternativt overvågningsprogram for Ringkøbing Fjord og opland, v. DHI

Som følge af at flere rådgivende firmaer har fremført nogle overvejelser om alternative overvågningsstrategier, som omfatter øget anvendelse af ny teknologi, havde Miljøministeriet forud for workshoppen bedt DHI om at udarbejde et forslag til et alternativt overvågningsprogram. Dette forslag eksemplificeret for Ringkøbing Fjord og opland blev præsenteret på workshoppen.

DHI forslår overordnet, at alle nuværende delprogrammer integreres i et samlet program for Ringkøbing Fjord og opland, og at der etableres én integreret model, der beskriver transporten af vand og kvælstof fra oplandet til fjorden samt næringsstofomsætning og økologisk tilstand i fjorden. For at optimere modellen foreslås det desuden, at strategien for den traditionelle dataindsamling ændres med henblik på at optimere modellens evne til at beskrive tilstand og udvikling geografisk. Dette indebærer færre faste målestationer suppleret med et antal mobile målestationer, der kan flyttes til de områder, hvor modellens beskrivelse er mest usikker. Det foreslås endvidere, at satellitdata inddrages systematisk i vandløbsovervågningen, i artsovervågningen og den terrestriske naturtypeovervågning samt efter nogen metodeudvikling også til beskrivelse af vegetationsudbredelse i fjorden.

DHI mener, at øget anvendelse af satellitdata og automatisk dataindsamling samt integration af modeller i overvågningen vil give en bedre beskrivelse af natur- og vandområdernes tilstand i tid og rum og øge forståelsen af årsagssammenhænge.

DHI's oplæg førte til en generel diskussion af anvendeligheden i forhold til overvågningsbehovene og troværdigheden af målte punktdata i forhold til modellerede fladedata. Der blev udtrykt bekymring for kontinuiteten i overvågningsindsatsen, hvis fokus flyttes fra målte tidsserier til modellerede data.

Fra tilhørerne blev der desuden efterlyst flere detaljer omkring økonomien i det foreslåede program i forhold til det nuværende. Parametre, der fortsat ikke modelleres, bør således indgå i de økonomiske overslag, ligesom de økonomiske konsekvenser af at have en overgangsperiode, hvor det eksisterende program bibeholdes og den ny teknologi indføres, bør belyses. Der var desuden ikke enighed om omkostningerne ved at opstille modellerne i forhold til den efterfølgende løbende opdatering og drift. Herudover blev der stillet spørgsmål ved, om den foreslåede hyppighed af gode satellitdata er realistisk pga. skydække.

5.2.3 Fagdatacentrene (DMU og GEUS)

Fagdatacentrene præsenterede status for anvendelse af modeller i den eksisterende overvågning samt synspunkter omkring muligheder og forudsætninger for øget integration mellem dataindsamling og modellering fremover. Disse elementer er nærmere beskrevet i kapitlerne 3 og 4.

I fagdatacentrenes oplæg på workshoppen blev det konkluderet, at overvågningen allerede i dag er baseret på en kombination af målinger og modeller, og at niveauet fuldt ud er på højde med andre udenlandske overvågningsprogrammer, men at en videreudvikling bør fortsætte, efterhånden som modeludviklingen tilvejebringer grundlaget herfor.

Fagdatacentrene mener ikke, at modeller kan erstatte målinger, men med fordel kan supplere dem, og at måldata er en forudsætning for opstilling og vedligeholdelse af modellerne. En øget anvendelse af modeller er med til at sikre en bedre udnyttelse af overvågningsdata i forvaltningen. Desuden kan en integration af forskning og overvågning give synergi til bedre udnyttelse af overvågningsdata i forvaltningen.

Desuden mener fagdatacentrene, at omfanget af overvågningen bør vurderes ud fra systematiske usikkerhedsvurderinger, der beskriver, hvor sikre svar overvågningsprogrammet giver på de problemstillinger, som afdækkes gennem behovsopgørelsen. I sidste ende er det et politisk spørgsmål, hvor stor usikkerhed der kan accepteres, men det bør være overvågningsprogrammets opgave at kvantificere usikkerheden.

5.2.4 Rådgivningsbranchen

De rådgivende virksomheders synspunkter blev repræsenteret af Foreningen af Rådgivende Ingeniører (FRI). FRI ser rådgivernes rolle i forhold til overvågningsopgaven som leverandør af praktiske løsningsmuligheder, der understøtter overvågningen, heriblandt udvikling af nye og bedre systemer til dataindsamling, datahåndtering og dataanalyse (herunder modeller), dvs. opgaver, der adskiller sig fra den egentlige myndighedsbetjening. Derudover medvirker rådgiverne til metodeudvikling rettet mod de forvaltningsmæssige opgaver.

FRI lagde desuden vægt på, at de grundlæggende data opretholdes samt at der er fri adgang til data. Rollefordelingen som myndighedernes "faggaranter" bør differentieres mellem forskere og rådgivere, og staten skal ikke øve konkurrenceforvriddning ved løsning af rådgiveropgaver.

5.2.5 Myndigheder med forvaltningsopgaver relateret til vand- og naturplanlægningen

Både de statslige miljøcentre og kommunerne har forvaltningsmæssige opgaver forbundet med vand- og naturplanlægningen, som medfører et behov for at kende tilstand, udvikling og årsagssammenhænge i de konkrete vand- og naturområder.

En repræsentant fra de statslige Miljøcentre gav med udgangspunkt i det marine fagområde et eksempel på, at Miljøcentrene har et stort behov for at udnytte overvågningsdata regionalt til forvaltningsopgaver. Det blev desuden fremhævet, at modeller i den sammenhæng kan og bør inddrages for at kvalificere forståelsen af økosystemernes funktion og dermed øge sikkerheden på de beslutninger, der skal træffes forvaltningsmæssigt. Af den grund mener Miljøcentrene, at overvågningen i højere grad end i dag bør tilrettelægges, så den også understøtter forvaltningen gennem anvendelsen af modeller. Opstilling af troværdige sted-specifikke modeller kræver imidlertid et godt datagrundlag og koster tid og penge. Miljøcentrene mener derfor, at der i perioden frem til den næste generation af vand- og naturplaner bør investeres i overvågningsaktiviteter, der understøtter etableringen af sted-specifikke modeller, der kan forbedre vurderingerne af miljøtilstand og årsagssammenhænge.

Kommunernes repræsentanter, herunder både oplægsholder og tilhørere, gav generelt udtryk for en bekymring for, om omfanget af det fremtidige overvågningsprogram i tilstrækkelig grad vil kunne understøtte den regionale og lokale vand- og naturforvaltning. Der blev udtrykt bekymring over, at de krav til

kommunerne, som Miljøcentrene vil stille i de kommende vandplaner, vil være baseret på et mangelfuldt datagrundlag. Det blev fremhævet som eksempel, at mange vandløbsstationer, som amterne havde etableret for regionale midler, er blevet nedlagt, og at en øget fokusering på modellering ikke vil afhjælpe de lokale myndigheders behov for lokale data, der kan understøtte udarbejdelse og opfølgning på handleplanerne.

5.2.6 Øvrige interessenter

De grønne organisationer, Danmarks Naturfredningsforening og Det økologiske Råd gav udtryk for, at øget anvendelse af modeller på mange måder kan understøtte overvågningen og derfor er nødvendig, men at modellerne ikke kan erstatte målinger – primært fordi naturen er så kompleks, at ingen modeller vil kunne repræsentere samspillet mellem fysiske, kemiske og biologiske sammenhænge korrekt. Konkret blev det foreslået at øge anvendelsen af modeller til risikoscreening af alle miljøfarlige stoffer, som anvendes i Danmark, med henblik på at målrette overvågningen mod de stoffer, der er størst risiko for at finde.

Dansk Landbrugsrådgivning fremhævede, at ændringen fra nationale vandmiljøplaner til regional vandplanlægning, vil medføre et skifte fra generel landbrugsregulering til målrettet indsats de steder i naturen og miljøet, hvor der opnås størst effekt. Dette stiller store krav til overvågningen, som skal dokumentere effekten af miljøindsatsen, og til de modeller, der bruges ved fastsættelse af reduktionskrav og dosering af virkemidler. Det er derfor Dansk Landbrugsrådgivnings opfattelse, at der er et generelt behov for at højne kvaliteten af de modeller, som skal kunne reagere troværdigt på tilstandsændringer og kunne gengive tidsforsinkelser både til lands og til vands. Men præcise sted-specifikke modeller kræver data. Overvågningen bør således tilrettelægges, så dataindsamlingen understøtter opbygning og anvendelse af sted-specifikke modeller.

5.2.7 Eksempler på forvaltningsmodeller

Ud over de overvågningsrelaterede indlæg, blev der også præsenteret to eksempler på modeller og modelsystemer, som primært er rettet mod forvaltningsopgaver. En repræsentant fra DMU fortalte om Baltic Nest projektet, som omhandler forvaltningsmodeller for Østersøområdet, og repræsentanten fra FRI havde valgt også at præsentere Orbicons modelsystem, HOME.

5.3 Vurdering af rapporten fra DHI

DHI's endelige rapport "Forslag til revision af det nationale overvågningsprogram for natur og miljø. Nye strategier og teknologier" kom i april 2008. Forinden havde foreløbige udgaver været præsenteret på workshoppen i februar 2008 og været diskuteret mellem DHI og arbejdsgruppen. DHI's rapport findes på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside www.blst.dk/miljoeovervaagning.

DHI fastslår indledningsvis, at det danske overvågningsprogram siden starten i 1988 løbende er revideret og styret af ny viden samlet gennem erfaringer og nyudvikling og af politiske og administrative omstændigheder og fremhæver, at overvågningsprogrammet er et godt og grundigt gennemtænkt program, som nyder international anerkendelse og opmærksomhed.

5.3.1 Overordnet strategi

DHI's rapport indeholder fire generelle kapitler om 'Integreret modellering', 'Fjernovervågning med satellitter og fly', 'Automatisk måleudstyr' og 'Kvalitet og usikkerhed'. Disse kapitler er fagligt velunderbyggede og videnskabeligt forankrede..

Hovedelementerne i den overordnede strategi, som DHI argumenterer for, er, (i) at overvågningen i højere grad bør tilrettelægges oplandsvist for at bringe programmet bedre i overensstemmelse med tilgangen i Vandrammedirektivet (VRD), (ii) at modellering gøres til et nøgleredskab i overvågningen ved at integrere målinger og modellering, (iii) at nye teknologiske muligheder bør udnyttes til at indsamle data fra automatiske målestationer samt fra satellitter og fly, og (iv) at usikkerhedsbetragtninger bør spille en mere central rolle i tilrettelæggelsen af overvågningsprogrammet.

DHI's forslag til overordnet strategi for overvågningen rummer en mere oplandsvis tilgang, at modellering gøres til et nøgleredskab, udnyttelse af nye teknologiske muligheder, og at usikkerhedsvurderinger skal spille en større rolle.

Overvågningen er i dag tilrettelagt som en kombination af en medieopdelt og en oplandsbaseret tilgang. Delprogrammerne for vandløb, søer, punktkilder og marine områder er i høj grad oplandsfokuserede, mens fx grundvandsprogrammet og landovervågningen ikke hidtil har været integreret hermed. Som det fremgår af kapitel 4, bliver modellering allerede i dag benyttet i vid udstrækning i forbindelse med overvågningen, om end integrationen i praksis endnu ikke er så omfattende,

som foreslået af DHI. Principperne for hvorledes målinger og modellering bedre kan integreres, og hvorledes usikkerhedsbetragtninger kan komme til at spille en konstruktiv rolle i et fremtidigt program, er i fuld overensstemmelse med de tanker, som fagfolk i det nuværende overvågningsprogram forfølger (kapitel 3).

Automatiske målestationer indgår i det nuværende overvågningsprogram, bl.a. i forbindelse med opgørelse af vand- og stoftransporten i vandløb og i de åbne indre danske farvande. Der kommer til stadighed ny teknologi, som bør overvejes. Data fra satellitter har hidtil, med ganske få undtagelser, kun været anvendt i forskningssammenhæng, men på et tidspunkt vil de givet vis med fordel, kunne anvendes til visse formål i overvågningen.

5.3.2 *Forslag til overvågning i Ringkøbing Fjord oplandet*

Til illustration af mulighederne for at anvende nye teknologier til optimering af overvågningen, har DHI skitseret et alternativt overvågningsprogram for Ringkøbing Fjord og Skjern Å oplandet. Udgangspunkter her er, at overvågningen samles for hele fjordens opland med en oplandsmodellering af vand- og kvælstof fra jord til fjord baseret på den etablerede DK-model koblet med en model for rodzonen (DAISY) og suppleret med en model for Ringkøbing Fjord. Fra starten af programperioden foreslås en række målestationer automatiseret, og der introduceres et antal mobile målestationer, som skal benyttes til at udvikle og teste modellen for forskellige deloplande. Ideen er så at reducere antallet af faste målestationer, efterhånden som den integrerede model viser sig i stand til at simulere vand- og kvælstoftransport.

Det konkrete forslag har mangler på nogle væsentlige områder, som fx:

- DHI's beskrivelse af det fremtidige overvågningsprogram forholder sig ikke til vandrammedirektivets begrebsverden (kontrol-, operationel-, og undersøgelsesovervågning).
- Forslaget berører ikke, hvorledes modellerne og måledata skal tilpasses til de udpegede vandforekomster, som er grundlaget for Vandrammedirektivets rapportering. En sådan tilpasning vil være nødvendig for at få optimalt udnyttelse af kombinationen af målinger og modeller. Det vil kræve, at både modeller og måleprogrammer skal ændres, så de tilpasses vandforekomsterne.
- Forslaget dækker kun nogle af de aspekter, som skal indgå i et fremtidigt overvågningsprogram. Eksempelvis mangler det dybe grundvand samt alle de øvrige parametre udover N og P, som af hensyn til drikkevandsressourcen i dag indgår i grundvandsovervågningen.

- Videreførelsen af dele af det nuværende program begrundes hovedsageligt med behov for data til kalibrering og validering af modeller. Det burde i højere grad fremgå, at fortsættelsen af nogle af de traditionelle måleprogrammer tjener andre vigtige formål, herunder direktivforpligtelser, som ikke i tilfredsstillende grad bliver tilgodeset af den foreslåede anvendelse af modeller og anden mere moderne teknologi.
- DHI's alternative overvågningsprogram er baseret på en forudsætning om, at såfremt det er muligt at modellere noget tilfredsstillende på et givet tidspunkt, er der ikke behov for fremover også at måle for den samme størrelse. Det forudsætter en perfekt konceptuel model, dvs. en fuld forståelse for årsagssammenhængene i naturen. Men konceptuelle modeller er aldrig perfekte, og det vides ikke altid, hvor deres væsentligste mangler er. Derfor vil der altid være behov for at måle i et vist omfang for at holde udvig efter 'overraskelser'. Et eksempel herpå er udvekslingen mellem sediment og vandfase i Ringkøbing Fjord. Her foreslår DHI intensiverede fluxmålinger i en indkøringsperiode, indtil der opnås en fyldestgørende modelbeskrivelse, hvorefter sedimentmålingerne foreslås helt at ophøre. Det er en risikabel strategi i betragtning af, at det er kendt, bl.a. fra Ringkøbing Fjord, at udvekslingen mellem sediment og vandfase kan ændre sig markant, selv ved tilsyneladende små ændringer i systemet. Hertil kommer, at klimaændringer vil forårsage ændringer i den grundlæggende dynamik i økosystemerne.
- En forudsætning for at kunne anvende modellering som delvis erstatning for måledata er, at en model er dokumenteret at kunne simulere en given variabel med en tilstrækkelig nøjagtighed. Det er ikke tilfældet med alle de forslag, som DHI har beskrevet. Et eksempel herpå er forslaget om, at oplandsmodellen kan benyttes til at opdele oplandet i 'robuste' og 'ikke-robuste' områder, i princippet helt ned til 500 m skala, med hensyn til nedbrydning af nitrat i grundvandszonen. De studier, der har været lavet i Danmark, antyder, at det måske er muligt at simulere nitratomsætning og transport på deloplandsniveau (50 – 500 km²), mens de eksisterende metoder ikke vil være i stand til at simulere pålidelige resultater på km² skala.
- DHI's rapport indeholder et udmærket generelt kapitel om kvalitet og usikkerhed. Men ideerne herfra er ikke indarbejdet i det konkrete forslag for overvågningen i Ringkøbing Fjord oplandet. Rapporten mangler således en konkret analyse af, hvorvidt informationsindholdet i det alternative forslag for Ringkøbing Fjord oplandet er større eller mindre end i det eksisterende overvågningsprogram, og om den opnåede information bliver beskrevet med større eller mindre usikkerhed. Det er derfor ikke muligt at vurdere, hvorvidt det

alternative forslag med nye teknologier og færre traditionelle måledata er bedre eller dårligere end det eksisterende.

5.3.3 Økonomi

DHI anfører indledningsvis i deres rapport, at omkostningerne til overvågningen på 275 millioner kr./år skal sammenholdes med, at Danmark i runde tal bruger omkring 70 milliarder kr./år til miljøudgifter, dvs. at udgifterne til overvågning udgør 0,4 % af de samlede miljøudgifter. Set i det perspektiv finder DHI ikke, at udgifterne til overvågning forekommer urimelige, og at fokus derfor må ligge på at få mest muligt ud af pengene. DHI argumenterer, på linje med synspunkterne i kapitel 3, for, at et hovedpunkt i en kommende revision bliver en mere rationel fastsættelse af programmets omfang, hvor sikkerheden på beslutningerne, som kan drages på baggrund af overvågningen, bør opvejes mod tab/gevinst i miljøindsatsens effektivitet.

DHI's opgørelse af omkostningerne ved det alternative overvågningsprogram består af generelle skøn over udgifter til investeringer og driftsudgifter. Omfanget af investeringer anføres at være af størrelsesorden 110 – 140 millioner kr. Forudsætninger for opgørelsen af driftsomkostningerne er uklare, og det fremgår ikke, hvor mange aktiviteter, der er inkluderet i skønnet for driftsomkostningerne. Endelig fremgår det, at centrale elementer skal fortsætte inden for alle delprogrammer, men den dertil knyttede økonomi er ikke medtaget. Endvidere dækker det foreslåede alternative program ikke de samme behov som det eksisterende program. Derfor er en direkte sammenligning mellem de af DHI anførte driftsomkostninger og udgifterne til det eksisterende program ikke meningsfuld. Alt i alt er det ikke dokumenteret, at DHI's alternative forslag kan gennemføres for lavere udgifter end det nuværende eller give mere information for de samme penge. Tværtimod forekommer det mere sandsynligt, at de foreslåede ændringer, bl.a. på grund af betydelige investeringer, vil resultere i øgede udgifter, som minimum i en overgangsperiode.

5.3.4 Konklusion

DHI's forslag til overordnet strategi for overvågningen rummer en mere oplandsvis tilgang, at modellering gøres til et nøgleredskab, udnyttelse af nye teknologiske muligheder, og at usikkerhedsvurderinger skal spille en større rolle. De gennemgående idéer er velkendte i forskningsverdenen, og mange af de

overordnede principper og idéer er i overensstemmelse med synspunkter og aktiviteter beskrevet i kapitlerne 3 og 4.

DHI's forslag til alternativt overvågningsprogram for Ringkøbing Fjord oplandet er en skitse med nogle konkrete mangler som beskrevet ovenfor. DHI's økonomiske overslag er ikke gennemarbejdet til et niveau, hvor det er meningsfyldt at drage sammenligninger med udgifterne til det eksisterende overvågningsprogram.

DHI peger selv på, at der forud for en implementering skal gennemføres "en optimeringsanalyse baseret på data, modeller og økonomiske konsekvenser af programmets kvalitet, herunder usikkerhed for beslutninger om miljø- og naturgrundlag". Hensigten med det konkrete forslag er ifølge DHI, at det "kan danne udgangspunkt for en nøjere gennemgang af det eksisterende program". DHI's rapport kan således ikke i sig selv udgøre grundlaget for den igangværende revisionsproces. Rapporten har ikke demonstreret, at det er muligt at "gøre det dobbelt så godt". Men rapporten indeholder en række ideer, som vil kunne indgå i den videre revisionsproces.

Kapitel 6 – Den videre proces

6 Den videre proces

Modelarbejdsgruppen har udarbejdet et katalog af udviklingsmuligheder, som fagligt kan anbefales at indgå i den påbegyndte revisionsproces. Idékataloget er et arbejdsnotat, som er tilgængelig på www.blst.dk/miljoeovervaagning. Her har arbejdsgruppen beskrevet, hvilke ideer og nye teknologier, som det, ud fra en rent faglig vurdering, vurderes at være mulighed for at anvende i det kommende overvågningsprogram, og hvilke der kræver yderligere udvikling og testning, før de potentielt kan indføres på lidt længere sigt, fx ved den næste revision om seks år. Analysen er gennemført før behovene for overvågning er prioriteret og før de økonomiske rammer er fastlagt. Arbejdsgruppen har derfor ikke haft til opgave at vurdere, hvorvidt de beskrevne muligheder er i overensstemmelse med de faktiske overvågningsbehov, endsige at vurdere om de nødvendige økonomiske forudsætninger for at udnytte mulighederne er til stede.

Formålet med arbejdsgruppens idékatalog er, at det kan tjene til inspiration i den igangværende revisionsproces, hvor de konkrete forslag til anvendelsen af teknologiske muligheder i givet fald skal vurderes i forhold til de prioriterede overvågningsbehov, og hvor relevante forslag bør underkastes en såvel faglig som økonomisk vurdering, og således inddrages i optimering af programmet i forhold til behovene inden for de givne økonomiske rammer.

Modelarbejdsgruppen har med udgangspunkt i overvejelser af, hvordan modeller bedst kan anvendes i overvågningen og i de eksisterende erfaringer med brug af modeller i overvågningen konkluderet, at følgende elementer bør inddrages i den videre revisionsproces:

- Overvågning, modellering og anvendelse af automatiske målemetoder skal fortsat rettes mod de overvågningsbehov, der defineres politisk-administrativt. De konkrete forslag om anvendelse af ny teknologi retter sig primært mod Vandrammedirektivet.
- Overvågningens resultater skal kunne anvendes fagligt og administrativt som grundlag for forvaltning og dermed også som grundlag for administrative og retlige afgørelser. Det anbefales derfor, at overvågningen fortsat forankres i dokumenterede metoder og teknologier, og at usikkerhederne er velbeskrevne.
- Anvendelsen af faglige/forskningsmæssige validerede metoder og teknologier sikrer desuden, at overvågningen løbende opdateres med den nyeste viden og forsat bidrager målrettet til den nationale vidensindsamling vedrørende natur og miljø.

- Beslutninger om design af stationsnet og afvejning af balancen mellem målinger og modellering bør baseres på usikkerhedsvurderinger, hvor både datausikkerhed og den manglende viden om procesforståelsen inddrages.
- Der sker til stadighed en afvejning mellem informationsudbyttet i forhold til økonomi ved omlægning af overvågningen, herunder inddragelse af nye metoder. Efterhånden som det faglige grundlag herfor udvikles, bør overvågning i endnu højere grad, end det allerede sker i dag, baseres på integreret brug af målinger og modellering i det omfang, at det er fagligt og økonomiske relevant. På kort sigt vil det især være inden for vand- og næringsstoftransporten, at der er gode faglige og tekniske muligheder for øget anvendelse af modellering og automatiske målemetoder.
- Overvågningsprogrammerne for overfladevand og grundvand bør fremover i højere grad integreres, så de tilsammen understøtter overvågningen af vandforekomster med fokus på interaktionen mellem overfladevand og grundvand. På dataindsamlingen bør især strategien for grundvandsovervågningen genvurderes, så den på sigt orienteres mere mod vandløbsoplande og integration med overfladevand. På grund af de meget store investeringer, der ligger i boringer, vil en omlægning tage lang tid og kræve grundig planlægning. På modelleringssiden vil en forbedret modellering af vandets kredsløb kunne styrke integrationen af grundvands- og overfladevandsovervågningen med hensyn til vandets kvantitative tilstand og på sigt endvidere med hensyn til nitrat.
- Økologisk modellering, hvor en række biologiske processer indgår, vil kunne understøtte arbejdet med vandplaner. Før økologisk modellering vil kunne indgå i overvågningen, er der behov for en betydelig metodeudvikling
- Automatiske målestationer indgår i den eksisterende overvågning. En øget anvendelse af automatiske målestationer kan være relevant i forhold til nye overvågningsbehov. Det vil dog være nødvendig med en forudgående faglig og økonomisk vurdering, før beslutninger træffes om eventuel øget anvendelse af automatisk måleudstyr i overvågningen.
- Relevansen af anvendelsen af satellitobservationer, fx til at følge udviklingen af overordnede landskabelige strukturer og udbredelsen af større kystnaturtyper, bør vurderes i lyset af den prioriterede behovsopgørelse.
- Til fremtidig yderligere anvendelse af modeller og andre nye teknologier peger modelarbejdsgruppen på udviklingsprojekter, hvor metoderne kan afprøves og resultaterne valideres, således at nye dokumenterede metoder

med velbeskrevne usikkerhedsbetragtninger løbende kan inddrages, når det er fagligt og økonomisk relevant. Modelarbejdsgruppens idékatalog (www.blst.dk/miljoeovervaagning) indeholder en række udviklingsmuligheder, hvoraf nogle kræver yderligere udvikling og testning, før de fagligt er tilstrækkelig veldokumenterede til at indgå i overvågningen og forvaltningen.

Kapitel 7 - Referencer

7 Reference

Andersen HE, Kronvang B, Larsen SE (2005) Development, validation and application of Danish empirical phosphorus models. *Journal of Hydrology*, 304: 355-365.

Carstensen J (2007) Statistical principles for ecological status classification of Water Framework Directive monitoring data. *Marine Pollution Bulletin*, 55, 3-15.

EC (2003) Water Framework Directive, Common Implementation Strategy, Working Group 2.7. Monitoring. Available on <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library>

Hertel O, Ellermann T, Palmgren F, Berkowicz R, Løfstrøm P, Frohn LM, Geels C, Skjøth CA, Brandt J, Christensen J, Kemp K, Ketzel M (2007) Integrated air-quality monitoring – combined use of measurements and models in monitoring programmes. *Environmental Chemistry*, 4, 65-74.

Højberg AL and Refsgaard JC (2005) Model Uncertainty - Parameter uncertainty versus conceptual models. *Water Science and Technology*, 52(6), 177-186.

Højberg AL, Refsgaard JC, Jørgensen LF, van Geer F, Zsuffa I (2007) Good Practise in joint use of monitoring and modelling. *Harmoni-CA Catchment Modelling Guidance*. 36 pp. Downloadable from www.harmoni-ca.info/products

Jørgensen LF, Refsgaard JC, Højberg AL, Paukstys B, Brandt G, Zsuffa I (2007) Workshop Report. Joint use of monitoring and modelling. Case studies on design of WFD implementation. *Harmoni-CA workshop*, Budapest, 20-21 June 2007. http://www.harmoni-ca.info/About_Harmoni-CA/Work_Packages/Work_Package_4/index.php?LastFolder=540&Time=1192189930#540

Refsgaard JC, van der Sluijs JP, Højberg AL, Vanrolleghem PA (2007) Uncertainty in the environmental modelling process – A framework and guidance. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1543-1556.