

Sammenfatning

Denne rapport er lavet som led i forarbejdet til Vandmiljøplan III (VMP III). Rapporten er en fortsættelse af det arbejde, som den tekniske undergruppe, Miljømodelgruppen gennemførte i foråret 2003.

Rapporten gennemgår et eksempel på, hvordan landbrugsdrift og økologisk tilstand i vandområder kan vurderes i sammenhæng. I rapporten er analyseret virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen, udpegning af risikoområder for fosfor, samt sammenhæng mellem tilførsel af næringsstoffer og økologisk tilstand i Odense Fjord. En grundig beskrivelse af de anvendte modelværktøjer, samt en generel beskrivelse af Odense Fjord og opland findes i rapporten - "Kvantificering af næringsstoffers transport fra kilde til recipient samt effekt i vandmiljøet", som Miljømodelgruppen tidligere har udarbejdet (Nielsen et al., 2003).

Rapporten indeholder resultater fra de mest omfattende modelberegninger af tab af næringsstoffer fra oplande, som hidtil er foretaget i Danmark. I forbindelse med arbejdet er endvidere udviklet nye modeller for fosfor, som er baseret på data fra det landsdækkende overvågningsprogram, NOVA2003.

Opmærksomheden henledes på, at man ikke umiddelbart kan opskalere resultaterne fra Odense Fjord og opland til hele Danmark, da der kan være meget store forskelle mellem de forskellige vandområder og oplande i Danmark.

Kvælstof

Formålet med kvælstofmodellerne er at beskrive transport og omsætning af kvælstof hele vejen fra planternes rodzone og til fjorden gennem et sammenhængende modelsystem, og anvende modelresultaterne fra oplandsmodellen som input til fjordmodellen.

Daisy-modellen beregner udvaskningen af kvælstof fra rodzonen og sender vand og kvælstof videre til MIKE SHE-modellen. Med MIKE SHE-modellen estimeres vand- og kvælstoftransporten frem til vandløb, grundvandsmagasiner og vådområder, hvorfra transporten frem til Odense Fjord beregnes i MIKE11-modellen. Hensigten med modelopstillingen er at beregne effekten af forskellige virkemidler og dermed forskellige scenarier for reduktion af kvælstoftilførsel til Odense Fjord.

For Odense Fjords opland er der gennemført modelberegninger af scenarier for reduktion af kvælstofudvaskning fra landbrugsjorden. Modelberegningerne giver mulighed for at vurdere effekten af de enkelte virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen og reduktion af udledningen til fjorden.

Kalibrering og validering af modeller

Ved opstilling af modeller er det generelt væsentligt, at der foretages en omfattende kalibrering og validering af modellerne, samt en vurdering af usikkerheden på modelresultaterne. Dette har blandt andet af tids- og ressourcemæssige årsager kun i begrænset omfang været muligt med kvælstofmodellerne.

Den foreliggende modelopstilling søger at beskrive de væsentligste strømningsveje og stofomsætningen under vandets passage fra rodzone til vandløb. Det er ikke i den foreliggende modelopstilling sandsynliggjort, at modellen med tilstrækkelig præcision kan beskrive de væsentligste strømningsveje og stofomsætning under vandets passage fra rodzone til vandløb. Det er imidlertid usikkert, i hvilket omfang fjernelsen af kvælstof foregår i henholdsvis grundvandet og vådområder. Modelkomplekset kan ikke modellere vand- og kvælstoftransport med den tidslige nøjagtighed, som er nødvendig for den dynamiske fjordmodel. I scenarieberegningerne for fjorden er derfor valgt at anvende vand- og stofmængder, baseret på estimater fra målestationer korrigeret for tilførsler fra umålte oplande.

Differentieret indsats i oplandet

Den samlede fjernelse af nitrat, beregnet fra bunden af rodzonen på markerne til fjorden, er i Odense Fjords opland vurderet til ca. 60 %. Dette betyder, at som gennemsnit vil under halvdelen af det kvælstof, som udvaskes fra markerne, nå frem til Odense Fjord. Modellen beregner, at der er betydelig forskel i størrelsen af fjernelsen mellem de enkelte deloplande. Partikelbaneanalyser antyder, hvorfra i oplandet der vil ske den største transport af nitrat til dræn og videre til vandløb.

Modelberegninger viser således, at der kan være en gevinst ved at lave en differentieret indsats i oplandet. Modelberegningerne i deres nuværende form er ikke tilstrækkeligt nøjagtige på lokal skala til at udgøre det administrative grundlag for udpegning af sårbare områder på markblokniveau. Dette har i øvrigt heller ikke været et mål med dette projekt.

Effekt af Vandmiljøplan II

Odense Fjord tilføres i dag omkring 2000-2500 tons kvælstof årligt fra punktkilder og diffuse kilder, afhængig af vandafstrømningen i de enkelte år.

Der er med den foreliggende modelopstilling gennemført en beregning af reduktionen i udvaskningen ved fuld gennemførelse af VMP II.

Udvaskningsberegningen er usikker, da der i modellen fejlagtigt anvendes et landstal for gødningstilførslen i stedet for tal for Fyns Amt. Tilførslen af handelsgødning har været større på landsplan end i Fyns Amt, hvilket giver for høj gødningstilførsel tilbage i tiden. Dette betyder, at der for Odense Fjords opland er beregnet for stor reduktionsprocent, når perioden 1998-2001 sammenlignes med perioden, hvor VMP II er fuldt implementeret. Derudover vurderes effekten af mindsket gødningstilførsel på udvaskningen at være overestimeret. Modellen er endvidere ikke opstillet på en måde, som muliggør veri-

fikation af, om modellen er i stand til at beskrive den hidtidige opnåede reduktion i udledningen, bestemt ved målinger i vandløb. På baggrund af ovenstående usikkerheder vurderes det, at den forventede yderligere reduktion i forhold til 1998-2001 af tilførslen af kvælstof til Odense Fjord på 500 tons kvælstof årligt er for høj og værdien er endvidere meget usikkert bestemt.

Partikelbaneanalyser viser, at effekten af ændret udvaskning hurtigt kan spores i vandløbene i oplandet. De første ændringer kan spores i løbet af få måneder, og 3/4 af effekten er opnået inden 2 år.

Effekt af ændret landbrugsdrift

Beregning af effekten af ændringer i landbrugsdriften som følge af enkelte virkemidler er generelt behæftet med stor usikkerhed på grund af følgende: modelberegningerne er foretaget over en relativ kort periode, anvendelsen af handelsgødning er ikke repræsentativ for Fyn og effekten af ændret tilførsel af handelsgødning på udvaskningen vurderes at være i overkanten. Effekten af jordens indhold af kvælstof påvirker sandsynligvis udvaskningen i modelberegningerne i et omfang, som ikke umiddelbart kan vurderes, hvorfor nogle af effekterne kan være korttidseffekter. Kvælstofbalancer vil kunne understøtte fremtidige modelberegninger, ligesom kalibrering af jordpuljer, kalibrering på årlige høstudbytter, samt beregning af længere tidsserier vil kunne forbedre modellen for oplandet. Dertil kommer behov for kalibrering i forhold til målinger i vandløbene i oplandet. Det har af ressourcemæssige årsager ikke været muligt at foretage disse beregninger.

Effekten af de enkelte virkemidler må kun betragtes som størrelsesordener for ændringer i udvaskningen, da beregningerne er relativt usikre, som det fremgår af beregningerne.

Effekt af virkemidler på reduktion af udvaskning på landbrugsarealer.

Virkemiddel	Reduktion i udvaskning tons kvælstof år ⁻¹
Forbedret foderudnyttelse	< 50
5 % forbedret udnyttelse af husdyrgødning	100
10 % forbedret udnyttelse af husdyrgødning	250
Efterafgrøder 4.000 ha + 5.000 ha	< 250
Vådområder (6700 ha)	> 300
Skovrejsning	150
Udtagning af 10.000 dyreenheder	70 –170
Nedsættelse af gødningsnorm med 20 %	<1200

Udgangspunktet for beregningerne af virkemidlernes effekt på udvaskningen, og dermed også transporten af kvælstof til Odense Fjord, er de opstillede scenarier, som Scenariegruppen har opstillet. Disse scenarier svarer til en reduktion af udvaskningen på henholdsvis 417, 785, 1781 tons kvælstof årligt og dermed en mindre tilførsel til Odense Fjord på omkring 300, 600 og 1200 tons kvælstof årligt (Leth-Petersen et al., 2004). De modelbereggede værdier for udvaskningen er henholdsvis 280, 550 og 2100 tons fra rodzonen, og transporten til

fjorden viser til sammenligning reduktioner på 170, 300 og 900 tons kvælstof årligt. De modelberegneede reduktioner for udvaskning og tilførsel af kvælstof til Odense Fjord er meget usikre og vurderes kun at angive størrelsesordenen af reduktionerne.

Grundvand

Grundvandsmagasinerne i Odense Fjords opland består i modellen af tre sandlag, hvoraf det øverste dog kun forekommer lokalt i ca. en fjerdedel af området. Sandlagene ligger under hinanden, adskilt af lerlag, som er forholdsvis svære for vandet at trænge igennem. Set fra et synspunkt om beskyttelse af grundvandet, er den geologiske opbygning meget gunstig, idet en stor del af nitraten fra marker bliver omsat til luftformig kvælstof, inden det trænger ned til de dybereliggende grundvandsmagasiner. Det vil være tilfældet, så lang tid jordens reduktionskapacitet ikke er opbrugt.

På nuværende tidspunkt findes forhøjede nitratkoncentrationer primært i det øverste grundvandsmagasin, hvor den gennemsnitlige nitratkoncentration er 15 mg nitrat l⁻¹ og grænseværdien på 50 mg nitrat l⁻¹ overskrides i ca. 10 % af området. Modelberegningerne antyder, at 90 % af det mellemste magasin ikke indeholder nitrat, samt at der stort set ikke findes nitrat i det nederste grundvandsmagasin.

Modelberegningerne stemmer godt overens med målinger, foretaget i borer i de to nederste grundvandsmagasiner, mens der næsten ingen observationsdata findes fra det øverste grundvandsmagasin. En reduktion af udvaskningen fra rodzonen kan forventes at slå procentuelt direkte igennem på nitratkoncentrationen i det underliggende grundvand.

Fosfor

Fosfortilførslen fra Odense Fjords opland er i dag omkring 50 tons fosfor pr. år. Tilførslen afhænger dog af variationer i vandafstømningen i de enkelte år. Beregninger tyder på, at udledningen med spildevand fra renseanlæg, industri, regnvandsbetingede udledninger og spredt bebyggelse kan reduceres med omkring 8,2 tons pr. år inden 2012 ved gennemførelsen af spildevandsplaner i Odense Fjords opland i henhold til Fyns Amts regionplan.

Yderligere reduktion i tilførslen af fosfor forudsætter, at tilførslen fra marker mindskes. Landbrugsbidraget fra Odense Fjords opland udgør nu omkring 22-28 tons fosfor pr. år. Landbrugsbidraget er angivet som et interval. Dette skyldes, at landbrugsbidraget er beregnet som en differens mellem den samlede diffuse afstrømning og baggrundsbidraget plus bidraget fra spredt bebyggelse, og at bidraget fra disse kilder er usikkert bestemt.

Fosformodeller

Under projektet er udviklet fosformodeller på grundlag af data fra intensive målestationer i det nationale overvågningsprogram. Modellerne beskriver den forventede fosfortransport og -koncentration ud fra en række oplandskarakteristika, herunder vandafstrømning og afstrømningsmønster. Modellerne er anvendt i Odense Fjords opland

til at sammenligne forventede fosfortab med målte fosfortab. I eet vandløb i oplandet måles langt højere fosfortab end beregnet ud fra modellen. Den forventede transport var ud fra modellen 0,07 kg opløst fosfor pr. ha, mens de målte værdier var omkring 0,32 kg opløst fosfor pr. ha. Dette vandløb afvander et drænet, sandet delopland med høj dyrkningsgrad og stor husdyrtæthed. Det høje, observerede fosfortab kan være udvaskning af fosfor. Den udviklede fosformodel er på nuværende tidspunkt ikke i tilstrækkelig grad i stand til at beskrive dette.

Der må forventes en stigning i fosfortabet fra oplande, såfremt overskudstilførslen ikke ophører. Et stigende fosforindhold i jorden øger jordvandets indhold af fosfor, og dermed øges risikoen for udvaskning af fosfor. (Rubæk et al., 2003).

Fosforindeks

Fosforindeks er et kvalitativt redskab til at lokalisere områder med stort fosfortab. I forbindelse med dette projekt er der med udgangspunkt i en amerikansk fosforindeks-model udviklet en første generation af et dansk fosforindeks. Indekset kan anvendes til at lokalisere de marker, hvor der er størst risiko for fosfortab. Det amerikanske fosforindeks er modificeret til danske forhold, fordi det amerikanske indeks ikke tager højde for udvaskning og kun i ringe grad inddrager drænafstrømning, som er vist at kunne være en meget betydende transportvej for fosfortab under danske forhold. Indekset opsættes på markblokniveau og benytter sig af en ny, detaljeret højdemodel. Indekset viser en signifikant korrelation ($p < 0,001$) med tabet af fosfor på oplandsniveau. Redskabet kan anvendes til en første udpegning af de marker, der udgør den største risiko for at bidrage til fosfortab til overfladevand. Resultaterne tyder på, at fosforindekset kan blive et anvendeligt værktøj. Der er dog behov for et betydeligt udviklingsarbejde, omfattende ikke mindst betydningen af landbrugsdominerede sandjordsoplande med udvaskningsrisiko. Inden indekset bliver mere generelt operationelt, skal viden om følgende inddrages: udvaskning i forskellige typer oplande, transport via makroporer, fosforstatus i de enkelte marker, bidrag fra brinkerrosion, samt andre tabsprocesser. Det er endvidere afgørende, at indekset testes mod målinger i forskellige typer oplande og på mark- og drænoplandsniveau.

Fosfortabet fra landbrugsjorden afhænger dels af landbrugsjordens fosforindhold og dels af, om transportvejene frem mod vandløbene er "åbne". Hvis landbrugsjorden har et højt fosforindhold, vil dette både øge risikoen for et større fosfortab via erosion og for udvaskning. En fortsat ophobning af fosfor i landbrugsjorden vil øge risikoen for, at jorden ikke fortsat kan binde fosfor i samme grad, og at man hermed vil få en øget udvaskning. Det generelle virkemiddel er fosforbalance, så denne ophobning stoppes. På jorde med højt fosforstatus i specielle risikoområder mht. både udvaskning og erosion kan der være behov for negativ balance.

Fosformodeller og -indeks kan anvendes til at lokalisere oplande og marker, hvor der er risiko for et stort fosfortab. Erosionsbidrag kan reduceres hurtigt, mens mindskning af risikoen for udvaskning tager lang tid på grund af jordens store fosforpulje.

Fosforbalancer

Fosforbalancer angiver, om tilførslen af fosfor med gødning overstiger fjernelsen med afgrøder. Fosforbalancer er opstillet for deloplände i Odense Fjords opland. Resultaterne viser, at der i 2001 var et årligt fosforoverskud på 8,1 kg fosfor pr. ha i Odense Fjords opland, hvilket stort set svarer til handelsgødningsforbruget på 7,1 kg fosfor pr. ha. Til sammenligning var overskuddet 9,0 kg fosfor pr. ha i gennemsnit for Fyns Amt. Beregningerne viser også, at fosforbalancen for en række deloplände varierede mellem 0 og 13,8 kg fosfor pr. ha årligt. Den store variation er korreleret til variationer i husdyrtæthed, idet de tilsvarende tilførsler af fosfor med husdyrgødning udgør henholdsvis 15,3 og 27,2 kg fosfor pr. ha. Fosforoverskuddet er sandsynligvis lavere i 2003 end i 2001 på grund af lavere forbrug af handelsgødning og anvendelse af fytase i foder på bedrifter med slagtesvin. En stigning i antallet af husdyr vil alt andet lige øge fosforoverskuddet.

Fosfor og søer

Fosfor er af afgørende betydning for de fleste søers miljøtilstand. En analyse af sammenhænge mellem tilførsel af fosfor og opfyldelse af målsætningerne i de 27 NOVA-overvågningssøer viser, at der er behov for en væsentlig reduktion af fosfortilførslen til fleste søer, hvis såvel de gældende målsætninger som de kommende målsætninger under Vandrammedirektivet skal opfyldes. For de fleste søers vedkommende vil en forbedring af tilstanden forudsætte, at landbrugsbidraget mindskes, idet forbedringer som følge af mindre bidrag fra spredt bebyggelse og spildevand ikke alene kan bringe søerne i en god miljøtilstand (Søndergaard et al., 2003).

Fjordmodel

Tilførslen af næringsstoffer fra oplandet er af afgørende betydning for den økologiske kvalitet i Odense Fjord. Tilførslen af vandmængden til Odense Fjord, der er anvendt til fjordmodelleringen, er den vandmængde, der er målt på målestationer i vandløb tillagt en estimeret vandmængde fra det umålte opland. Det har ikke været muligt at anvende modeloutput fra Daisy/MIKE SHE som input til fjordmodellen, da Daisy/MIKE SHE-modellen ikke kunne beskrive sæsonvariationen tilfredsstillende. Tilførslen af kvælstof og fosfor, som er anvendt som input til fjordmodellen, er baseret på de tilførsler, der er målt i 2000. Både kvælstof og fosfor indgår i fjordmodellen, da begge næringsstoffer kan være begrænsende for planteproduktionen og dermed have afgørende indflydelse på fjordens økologiske tilstand. Flere kombinationer af kvælstof- og fosfortilførsel er anvendt til beregning af Odense Fjords økologiske tilstand.

Table 8.2 Scenarier for reduktioner i tilførslen af kvælstof og fosfor til Odense Fjord.

Scenarie (2000 klima)	N-belastning	P-belastning
1. Aktuell belastning 2000	2233 t TN	50 t TP
2. VMP II – usikkert skøn	1500 t TN	50 t TP *
3. Yderligere reduktion i kvælstofbelastning	1000 t TN	50 t TP
4. Yderligere reduktion i fosforbelastning	1500 t TN	20 t TP
5. Yderligere reduktion i såvel kvælstof og fosfor	1000 t TN	20 t TP
6. Naturbelastning med Fynsværket	238 t TN	7,6 t TP
7. Naturbelastning (uden Fynsværk)	238 t TN	7,6 t TP

* I VMP II-scenariet er det forudsat, at fosfortilførslen ikke ændres. Denne forudsætning vil ikke blive opfyldt, hvis der fortsat tilføres mere fosfor til landbrugsjorden, end der fjernes, hvorved der er en øget risiko for udvaskning af fosfor.

Disse kombinationer af kvælstof- og fosfortilførsler til Odense Fjord er valgt således, at de giver den største sikkerhed for, at de økologiske effekter af hele variationen i tilførslen af både kvælstof og fosfor er beskrevet bedst muligt inden for de givne ressourcer. Scenariet for VMP II er fastsat, inden modelberegningerne var gennemført og angiver en lavere værdi for kvælstoftilførslen, end beregningerne i oplandsmodellerne tyder på.

Der er betydelig usikkerhed om tilførslen af næringsstoffer i referencetilstanden. Det er derfor valgt at arbejde med et interval inden for hvilken, referencetilstanden vil ligge. Afhængig af valget af metode varierer tilførslen af næringsstoffer ved referencetilstand med en faktor 2-3. De gennemførte modelberegninger med de lave koncentrationer for tilførsel af kvælstof og fosfor er henholdsvis 238 tons kvælstof årligt og 7,6 tons fosfor årligt.

Fjordmodellen beregner i modsætning til de hidtidige modelberegninger også de samvirkende effekter af ændringer i tilførslen af både kvælstof og fosfor. Resultaterne viser, at kvælstof har afgørende betydning for mængden af søsalat i Inderfjorden. En markant reduktion i mængden af søsalat i den indre del af Odense Fjord forudsætter, at tilførslen af kvælstof reduceres med omkring 2/3 i forhold til belastningen i år 2000. Både kvælstof og fosfor er af stor betydning for miljøtilstanden i Yderfjorden. Mængden af planteplankton kan reduceres ved at reducere tilførslen af både kvælstof og fosfor. Beregningerne angiver, at ved reduktion af tilførslen af kvælstof til 1000 – 1500 tons årligt vil mængden af planteplankton kun blive reduceret med omkring 10 %, afhængig af tilførslen af fosfor i Yderfjorden. Modelens usikkerhed er størst ved lave tilførsler af næringsstoffer, hvor der forventes større ændringer i fjordens biologiske struktur.

Ingen af de scenarier, hvor tilførslen af næringsstoffer er langt højere end i referencetilstanden, giver en økologisk tilstand i fjorden, som ligger i nærheden af en økologisk referencetilstand. I disse modelberegninger er som tidligere nævnt anvendt den lave referenceværdi.

Konklusioner og anbefalinger

På trods af de meget omfattende modelberegninger, som er gennemført under projektet, er det ikke lykkedes af opnå en sammenhængende modelberegning for kvælstof fra markens rodzone til de økologiske effekter i fjorden. Oplandsmodellen (Daisy/MIKE SHE) for kvælstof kan ikke simulere transportens variationen i løbet af sæsonen og for det enkelte år, men den er derimod i stand til at beskrive vandtransporten over en årrække. Beregningen af vand- og kvælstoftransporten har ikke været tilfredsstillende i forhold til behovet i fjordmodellen. Koblingen mellem Daisy/MIKE SHE kan forbedres og derved øge modellens beskrivelse af variationen, samt modellens sikkerhed. Der er behov for at kunne kalibrere oplandsmodellen mere detaljeret

Arbejdet med fosformodeller og fosforindex viser, at der er behov for udvikling af operationelle redskaber til kortlægning af risikoområder for både udvaskning og erosion af fosfor fra marker.

Fjordmodellens beregninger af effekten af ændret tilførsel af næringsstoffer til Odense Fjord viser, at der skal foretages meget store reduktioner i tilførslen af næringsstoffer til fjorden, hvis tilstanden skal forbedres markant. Der er behov for at kunne forbedre modelbeskrivelsen af samspillet mellem næringsstoffer i havbunden og planternes vækst.

Modelberegningerne viser, at både kvælstof og fosfor skal reduceres markant, hvis miljøtilstanden i Odense Fjord skal forbedres. En væsentlig reduktion af fosfortilførslen vil også omfatte en reduktion af det nuværende landbrugsbidrag, samt forhindre øget udvaskning af fosfor. Med forbehold for de beskrevne usikkerheder i kvælstofmodellen kan konkluderes, at de mest effektive virkemidler er nedsættelse af gødningsnorm, bedre udnyttelse af husdyrgødning, efterafgrøder, samt udtagning af arealer til skovrejsning. Beregningerne af effekten af etablering af vådområder er meget usikre og sandsynligvis væsentligt underestimeret.