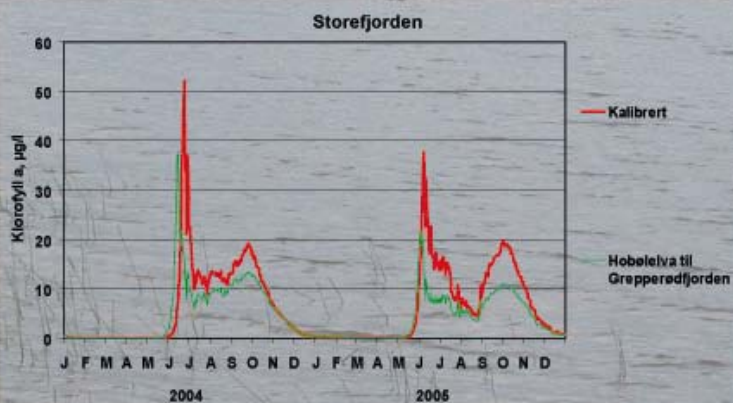


Simulering av vannkvalitet i Vansjø med modellen CE-QUAL-W2

Scenarier for effekt av tiltak



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Simulering av vannkvalitet i Vansjø med modellen CE-QUAL-W2 Scenarier for effekt av tiltak	Løpenr. (for bestilling) 5685-2008	Dato 1. desember 2008
	Prosjektnr. Undernr. 26160 2	Sider Pris 34
Forfatter(e) Torulv Tjomsland og Thomas Rohrlack	Fagområde Vannresurs- forvaltning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Østfold	Trykket CopyCat AS

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

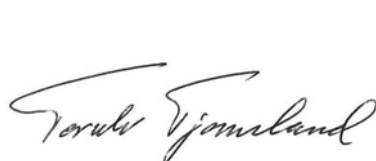
Hensikten med prosjektet var å få erfaring med en avansert matematisk vannkvalitetsmodell, hvordan denne kunne brukes for å forstå innsjøens hydrodynamikk og prosesser som angår eutrofiering, og utnytte dette for å vurdere effekter av tiltak. Vi benyttet vannkvalitetsmodellen CE-QUAL-W2. Modellen simulerte de reelle forholdene i Vansjø i tilstrekkelig grad til at vi anså den egnet til å lage troverdige scenarier.

Kalibreringen tyder på at det er betydelig "ukjente/ikke målte" næringsstofftilførsler i Vanemfjorden og Grepperødfjorden. I følge scenariene har det liten hensikt med en rask nedtapping av Vansjø for å "fjerne" det øverste overflatelaget i den hensikt å redusere uønsket høye algekonentrasjoner der.

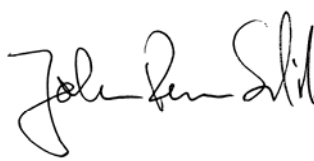
Overføring av Hobølelva til Grepperødfjorden vil redusere algeinnholdet betydelig i Grepperødfjorden og Storefjorden. Vanemfjorden vil i liten grad bli påvirket.

Reduserte tilførsler til Vanemfjorden og Grepperødfjorden har liten betydning for Storefjorden. Reduserte tilførsler til Storefjorden har stor betydning for hele innsjøen. Ved å redusere alle konsentrasjonene i alle tilsig av fosfat til 3 µg/l og totalt organisk materiale til 5 mg/l, ble midlere simulerte klorofyllverdier 0 - 4 m i vekstsesongen i de ulike delene av Vansjø mellom 2 og 3 µg kla/l, dvs. god vannkvalitet i følge SFTs klassifisering av vannkvalitet.

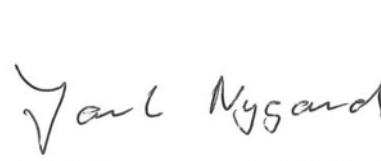
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modellering 2. Vannkvalitet 3. Hydrodynamikk 4. Vansjø 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelling 2. Water Quality 3. Hydrodynamic 4. Lake Vansjø
---	--



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Norsk institutt for vannforskning

Oslo

**Simulering av vannkvalitet i Vansjø
med modellen CE-QUAL-W2**

Scenarier for effekt av tiltak

Oslo, 1. desember 2008
Prosjektleder: Torulv Tjomsland
Medarbeider: Thomas Rohrlack

Forord

Prosjektet er en del av NIVAs Strategisk institutt program (SIP) for 2006-2009 Integrated environmental modelling for river basin management (Model-SIP). Programmet er finansiert av Norges forskningsråd.

Prosjektet er også blitt støttet av North sea regional and Local IMPLEMENTATION of the Water Framework Directive (NOLIMP) som er finansiert av prosjektpartnere og European Regional Development Fund INTERREG IIIB.

Oslo, 1. desember 2008

Torolv Tjomsland

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
1.1 Mål	9
1.2 Modellbeskrivelse	9
1.3 Karakteristiske data for Vansjø	11
2. Kalibrering av modellen	13
2.1 Input data	13
2.1.1 Tilførsler	13
2.1.2 Data fra Vannsjø for kontroll og kalibrering	15
2.2 Resultater	15
3. Scenarier for tiltak	25
3.1 Nedtapping av Vansjø	25
3.2 Hobøleva til Grepperødfjorden	28
3.3 Reduserte tilførsler	30
4. Konklusjoner	33
5. Referanser	34

Sammendrag

Innledning

Hensikten med prosjektet var å få erfaring med en avansert matematisk vannkvalitetsmodell, hvordan denne kunne brukes for å forstå innsjøens hydrodynamikk og prosesser som angår eutrofiering, og utnytte dette for å vurdere effekter av tiltak.

Vannkvaliteten i Vansjø er av eutrof karakter som følge av store tilførsler av næringssalter. Særlig den vestre deler av innsjøen (Vanemfjorden), har i de siste årene utviklet seg i klar negativ retning. Det er behov for å intensivere tiltakene for å bedre vannkvaliteten. Modelleringene kan bedre beslutningsgrunnlaget for å oppnå denne målsetningen for Vansjø.

Vansjø har et overflateareal på ca. 36 km². Innsjøen ligger ca. 25 moh. Midlere dyp er 7,4 m. Det største dypet, 41 m, finnes i Storefjorden. Nedbørfeltet er på 689 km², midlere avløp ca. 11 m³/s. Ca. halvparten av nedbørfeltet blir drenert via Hobølelva. Vannsjø er i stor grad omgitt av jordbrukslandskap i leirterreng, **Figur 1**.

Simuleringene ble utført ved bruk av vannkvalitetsmodellen CE-QUAL-W2. Modellen beregner strøm, temperatur, is, oksygen, pH, partikler, vannkjemi, bakterier, organisk stoff, alger, utveksling med sedimenter mm., og er godt egnet til denne type eutrofieringsstudier.

Modellen ble først kjørt for reelle forhold i perioden 2001-2005 for å kalibrere og teste modellen mot observerte verdier. Deretter ble det kjørt scenarier for å teste virkningen av tiltak. Resultatene ble beregnet framover i tid med tidsskritt på noen minutter.

Resultater og konklusjoner

I følge simuleringene var innsjøen islagt i desember til ut i mars. Oksygeninnholdet avtok i løpet av sommeren uten at det oppsto problemer med oksygenvinn. Observerte og simulerte verdier av total fosfor og total nitrogen viste god overensstemmelse. Fosfat var begrensende næringsstoff for algeveksten om sommeren i Storefjorden. I Vanemfjorden var både fosfat og nitrat periodevis begrensende næringsstoff. Det simulerte algeinnholdet var sannsynligvis for høyt om våren og senhøstes. For øvrig var det overveiende godt samsvar med observerte verdier. Cyanobakteriene økte sin andel på dypt vann og utover høsten pga. lav maksimum veksthastighet og at de har et konkurransefortrinn ved lite lys. De hadde også et fortrinn i Vanemfjorden i forhold til i Storefjorden pga. større vekst ved lave nitratkonsentrasjoner.

For en sikrere kalibrering av modellen er det ønskelig med bedre målinger av tilførslene. Særlig gjelder dette fosfat og nitrat i løst form og bundet til organisk materiale. Videre er det ønskelig med dybdeprofiler i innsjøen av spesielt næringsstoffer og alger.

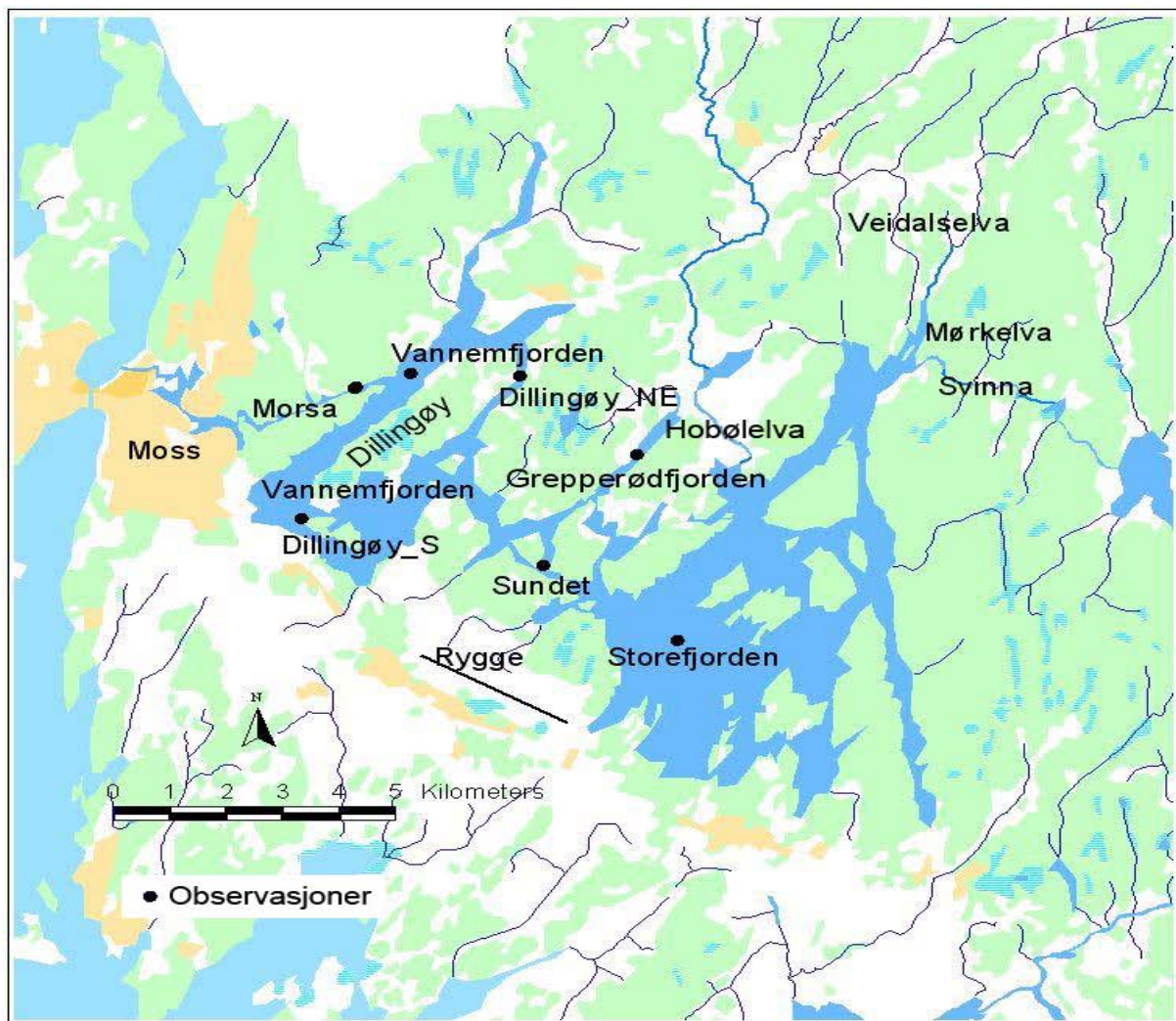
Kalibreringen tyder på at det er betydelig ”ukjente/ikke målte” næringsstofftilførsler i Vanemfjorden og Grepperødfjorden.

Modellen simulerte de reelle forholdene i Vansjø tilstrekkelig godt til at vi anså den egnet til å lage scenarier.

I følge scenariene har det liten hensikt med en rask nedtapping av Vansjø for å "fjerne" det øverste overflatelaget i den hensikt å redusere uønsket høye algekonsentrasjoner der. Algene som blir fjernet blir raskt erstattet som følge av oppstrømmende næringsrikt og ofte også algerikt vann.

Overføring av Hobøelva til Grepperødfjorden vil redusere algeinnholdet betydelig i Grepperødfjorden og Storefjorden. Vanemfjorden vil i liten grad bli påvirket.

Reduserte tilførsler til Vanemfjorden og Grepperødfjorden har god virkning i disse delene, men liten betydning for Storefjorden. Reduserte tilførsler til Storefjorden har stor betydning for hele innsjøen. Midlere klorofyllinnhold 0-4 meter i vekstsesongen om sommeren er i dag ca. $17 \mu\text{g/l}$ i Vanemfjorden og ca. $12 \mu\text{g/l}$ i resten av innsjøen. Ved å redusere konsentrasjoner i alle tilsig av fosfat til $3 \mu\text{g/l}$ og totalt organisk materiale til 5mg/l , ble midlere simulerte klorofyllverdier redusert til mellom 2 og $3 \mu\text{g/l}$, dvs. god vannkvalitet ifølge SFTs klassifisering av vannkvalitet.



Figur 1. Oversiktskart

Summary

Title: Simulating of water quality in Lake Vansjø by the modell CE-QUAL-W2

Year: 2008

Author: Tjomsland, T. and Rohrlack, T.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5420-4

Introduction

The objectives of the study was getting experience with mathematical modeling of water quality in lakes and use this as a tool to understand hydrodynamic- and biological processes in the purpose to evaluate pollution reduction effort.

The water quality of Lake Vansjø, especially the western part (Vannemfjorden), is of eutrophic character due to heavy load of nutrients from the main river (Hobøl) and from the surrounding agricultural areas.

Lake Vansjø has a surface area of 36 km². The surface is 25 meter above sea level. Mean depth is 7.4 m. Maximum depth is 41 m in eastern part (Storefjorden). The catchment is 689 km²; mean water flow is 11 m³/s. About half of the catchment is drained by River Hobøl, Figur 2.

The simulations were done by the model CE-QUAL-W2. The most important variables in this study were velocity, temperature, ice cover, particles, phosphorus- and nitrogen components, organic matter and algae. First the model was calibrated and tested on real circumstances for the period 2001-2005. The results were calculated forwards with time steps of few minutes.

Results and conclusions

According to the simulations the ice cover existed in the period December - March. The oxygen was reduced considerably during the summer; however no oxygen deficit took place. Simulated values of total phosphorus and total nitrogen showed good accordance with observations. Phosphate was limiting nutrient in Storefjorden. In Vanemfjorden both phosphate and nitrate were periodic limiting. The simulated algae content were probably too high in the spring and late autumn else the accordance was reasonably good. The cyanobacteria part increased during the summer/autumn and on deep water. The reasons were lower maximum growth rate and better survival under light limiting condition. In Vanemfjorden the cyanobacteria part was especially high due to better survival in water with low concentrations of nitrogen.

According to the calibrations there have to be considerably "unknown" discharges of nutrients, especially phosphorus, in Vanemfjorden including Grepperudfjorden.

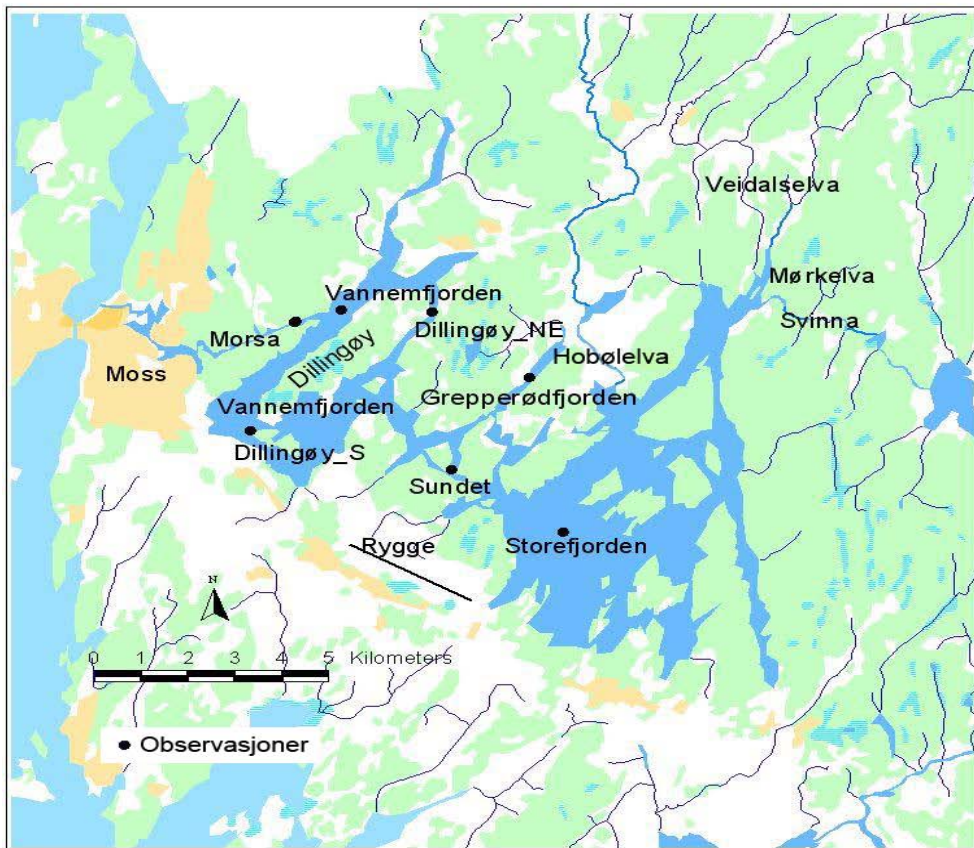
For a better calibration/test of the model in the future we need more observations of organic matter, soluble phosphorus and soluble nitrogen in the inflowing water. More observations in the lake, especially algae and nutrients on deep water, will improve the calibrations.

The model simulated the real circumstances in the lake sufficiently and we considered the model suitable making scenarios.

According to scenarios, periods with considerably increased discharge at the outlet of the lake (River Morsa), had no effect on the algae content in the surface layer. The algae removed in the top layer were renewed because of nutrient rich and often algae rich water from below.

Physical moving of the River Hobøl discharges from Storefjorden to Grepperødfjorden led to considerable reduced algae content in Grepperødfjorden and Storefjorden. Vanemfjorden was little influenced.

Reduced nutrient discharges to both Vanemfjorden and Grepperødfjorden had considerable effects in these parts of the lake, but had little influence on Storefjorden. Reduced discharges to Storefjorden had markedly effect in the whole lake. Mean "to day" simulated chlorophyll content in the upper 0-4 meter during the growth season in the summer was about 17 $\mu\text{g Chla/l}$ in Vanemfjorden and 12 $\mu\text{g Chla/l}$ in other parts. By reducing the phosphate phosphorus to 3 $\mu\text{g/l}$ and total organic karbon (TOC) to 5 mg/l in all inflowing discharges, the algae content all over the lake were reduced to between 2 and 3 $\mu\text{g Chla/l}$, which is classified as good quality (SFT 1997).



Figur 2. Overview

1. Innledning

1.1 Mål

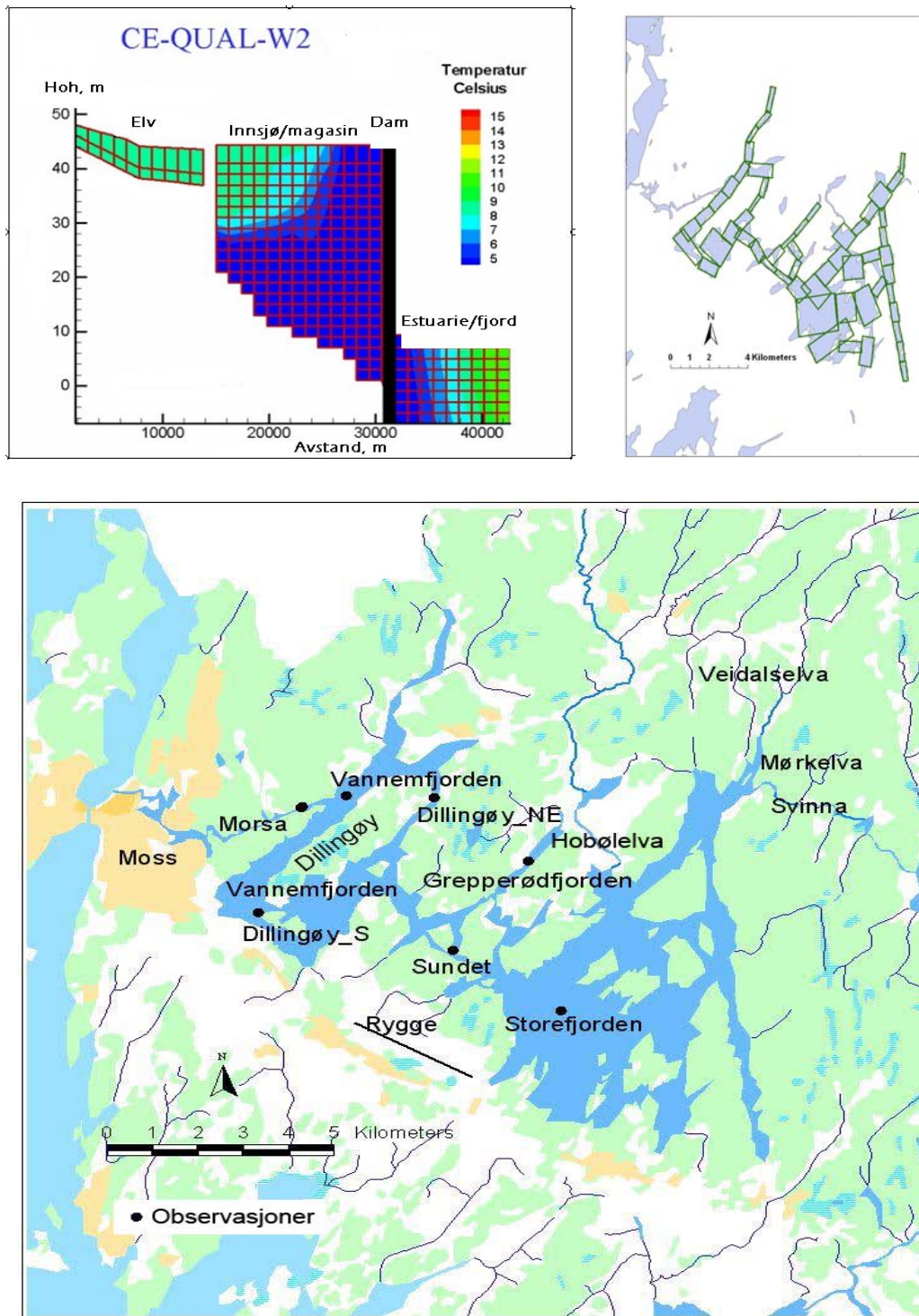
Hensikten med prosjektet var å få erfaring med en avansert matematisk vannkvalitetsmodell, hvordan denne kunne brukes for å forstå innsjøens hydrodynamikk og prosesser som angår eutrofiering og utnytte dette for å vurdere effekter av tiltak.

Vannkvaliteten i Vansjø, og da særlig i vestre deler av innsjøen (Vanemfjorden), har i de siste årene utviklet seg i klar negativ retning (Stålnacke m.fl. 2005). I tråd med tiltaksanalysen for vassdraget (Lyche Solheim m.fl. 2001) og Handlingsplan for Morsa (Morsaprojektet 2003) er det derfor behov for å intensivere tiltakene for å bedre vannkvaliteten. Modelleringene kan bedre beslutningsgrunnlaget for å oppnå denne målsetningen for Vansjø.

1.2 Modellbeskrivelse

Modellen CE-QUAL-W2 er blant de mest avanserte og mest benyttede modeller for å simulere vannkvalitet. Den blir jevnlig videreutviklet av US Army Corps of Engineers og Portland Universitet, (Cole, Thomas M. Wells Scott A. 2002). Modellen beregner strøm, temperatur, is, oksygen, pH, partikler, vannkjemi, bakterier, organisk stoff, alger utveksling med sedimenter mm., og er godt egnet til bla. eutrofistudier. Modellen er 2-dimensjonal (lengde-dyp) og passer derfor bra for elver og langstrakte innsjøer og fjorder med like forhold på tvers av lengderetningen. Ulike modellerte enheter (del av elv, del av innsjø, del av fjord osv.) kan kobles sammen og simuleres samtidig slik at modellen langt på vei kan sies å være 3-dimensjonal. Modellen tar hensyn til dammer med ulike utløpsanordninger, tunneloverføringer, pumping, tidevann m.m. Nødvendig inputdata er klima (lufttemperatur, relativ fuktighet/duggpunkttemperatur, vindstyrke, vindretning og skydekning/kortbølget stråling), vannføring, vanntemperatur og vannkjemi i tilløpene, samt utløpsvannføring. Resultatene blir beregnet fremover i tid med tidssteg på noen minutter.

For å etablere modellen for Vansjø har vi benyttet 54 horisontale beregningsselementer som dekker hele overflaten av den komplekse innsjøen, **Figur 3**. Hvert beregningselement ble i dybderetningen delt inn i lag på en meter.



Figur 3. Vannkvalitetsmodellen CE-QUAL-W2 beregner resultatene i lengde og dybderetning i elver, innsjøer og estuarer/fjorder. Vansjø ble i modellen delt inn i beregningselementer. Vansjø ble delt inn i 54 horisontale segmenter med et lag for hver meter i dybderetningen.

1.3 Karakteristiske data for Vansjø

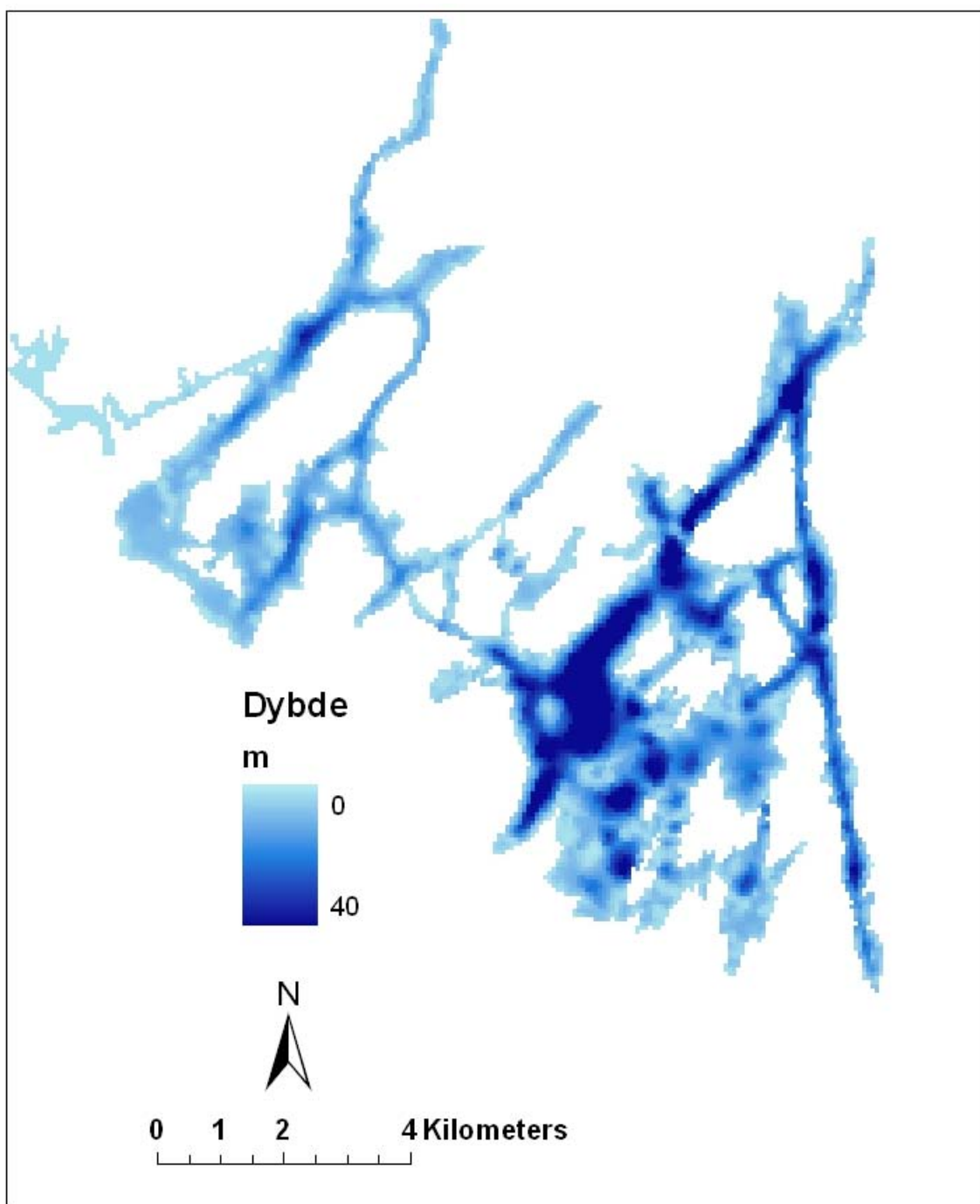
Vansjø har et overflateareal på ca. 36 km². Innsjøen ligger ca. 25 moh. Midlere dyp er 7,4 m. Det største dypet, 41 m, finnes i Storefjorden. Nedbørfeltet er på 689 km², midlere avløp ca. 11 m³/s. Ca. halvparten av nedbørfeltet blir drenert via Hobøelva, se Figur 5 og **Tabell 1**.

Vannkvaliteten i Vansjø er av eutrof karakter som følge av store tilførsler av næringssalter. Vansjø er i stor grad omgitt av jordbrukslandskap i leirterreng.

Tabell 1. Nedbørfelter til de største elvene og deler av Vansjø.

Navn	Km ²
Hobøelva	338
Mørkelva og Veidalselva	88
Svinna	106
Storefjorden utenom elvene nevnt overfor	82
Vanemfjorden og Grepperudfjorden	75
Sum	689

Figur 4. Vansjø, oversiktskart



Figur 5. Vansjø, dybdekart

2. Kalibrering av modellen

2.1 Input data

2.1.1 Tilførsler

Klimadata ble målt ca. hver 6. time på Moss lufthavn Rygge sør for Vansjø. Følgende variable ble benyttet: Lufttemperatur, duggpunkttemperatur, vindens fart, vindretning og stråling/skydekke.

Det ble simulert vanntemperatur for en karakteristisk elv som ble påvirket av det lokale klimaet. Disse temperaturene ble benyttet for alle vanntilførslene.

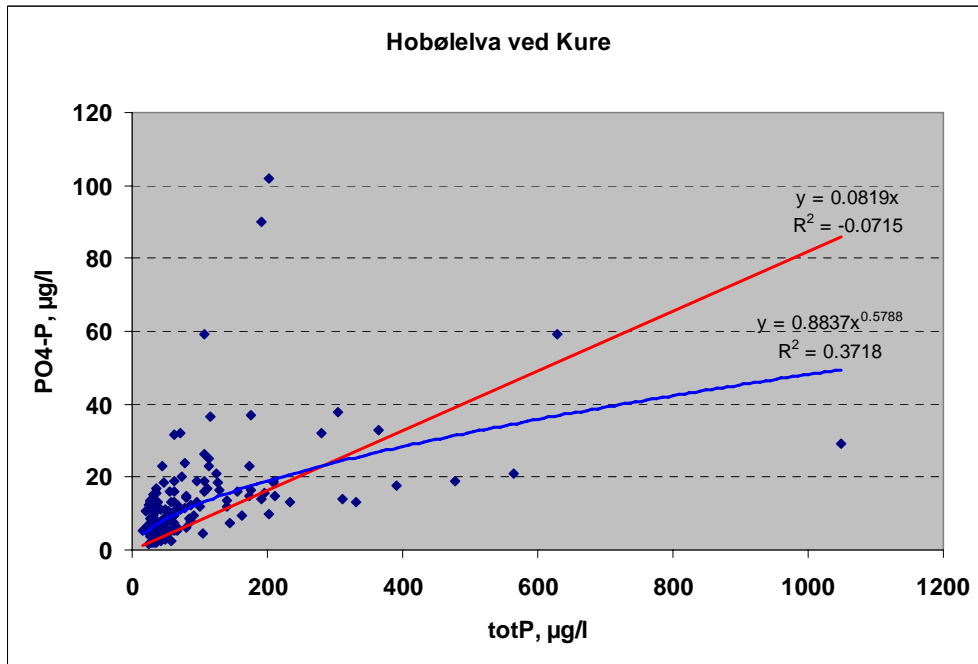
Vi har mottatt vannføringsberegninger av Glommens og Laagens Brukseierforening. Det er observert vannføring i Hobølelva ved Høgfoss og ved utløpet av Vansjø i Morsa. Tilsiget for øvrig er beregnet ved hjelp av observert vannstand i Vannsjø, HBV simuleringer av vannføring ved bruk av vannføringsstasjonen Stortorp i Rakkestadelva. Det ble tatt hensyn til direkte vannverksuttak på ca. 0,3 m³/s sør i Storfjorden og 0,7 m³/s av Mossefossen kraftverk og Peterson AS.

De viktigste parametrene som modellen trenger for å beregne algevekst er fosfat (PO₄-P) og nitrat (NO₃-N) både oppløst i vannet og i tilført organisk materiale. Dette var verdier som i liten grad var målt i perioden 2001-2005. Konsentrasjonen i tilførslene ble fortrinnsvis bestemt ved kalibrering mot observasjoner i innsjøen.

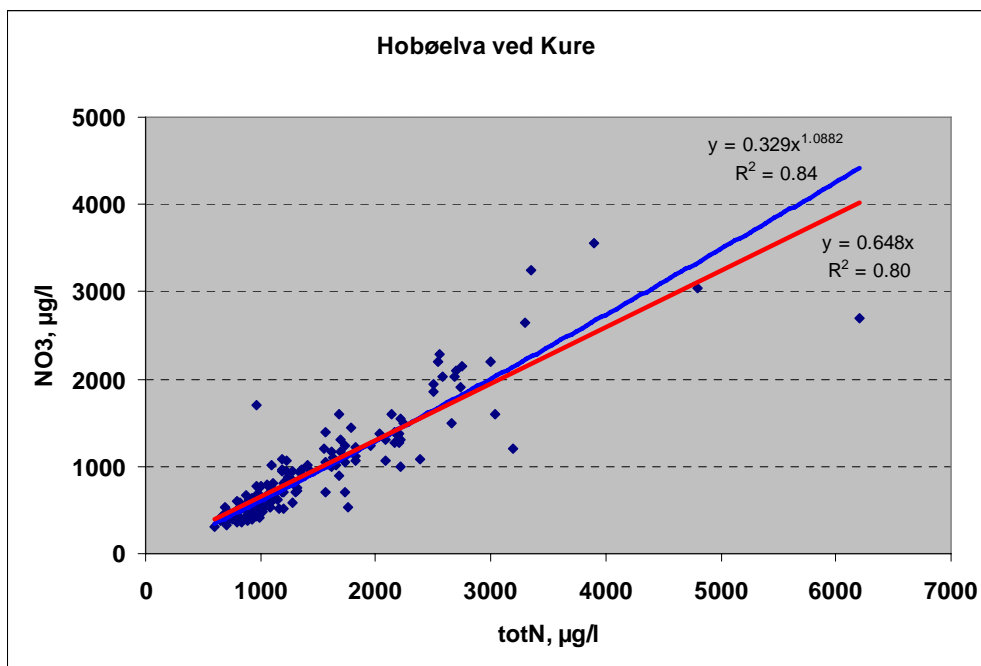
I Hobølelva ble det i gjennomsnitt tatt prøver for kjemisk analyse annen hver uke. De viktigste parametrene var total fosfor og total nitrogen og total organisk materiale (TOC). PO₄-P og NO₃-N verdiene ble funnet som funksjon av totP og totN ved regresjonsanalyse for data for to år utenom simuleringsperioden hvor begge parameterene var observert, **Figur 6 - Figur 8**. Regresjonen var til hjelp for nitrogen, men ikke for fosfor. Innholdet av total fosfor viste godt samsvar med suspendert materiale. Dvs. at erosjon i leirholdig jord fører til stor fosfortransport til Vansjø via Hobølelva, og rimeligvis også fra jordbruksområdene i leirterreng omkring Vansjø. Imidlertid er det usikkert hvor stor del av denne fosfortransporten som er direkte biologisk aktiv i form av fosfat. Fosfat ble fastsatt ut fra sporadiske observasjoner og kalibrering. TOC verdiene ble benyttet for å stipulere organisk materiale.

Av mangel på data ble det for de øvrige tilførslene benyttet konstante konsentrasjoner i hele simuleringsperioden. Vi benyttet enkelte observasjoner fra Svinna. Manglende data om tilførsler av næringssalter gjorde det nødvendig med utstrakt bruk av kalibreringsteknikk.

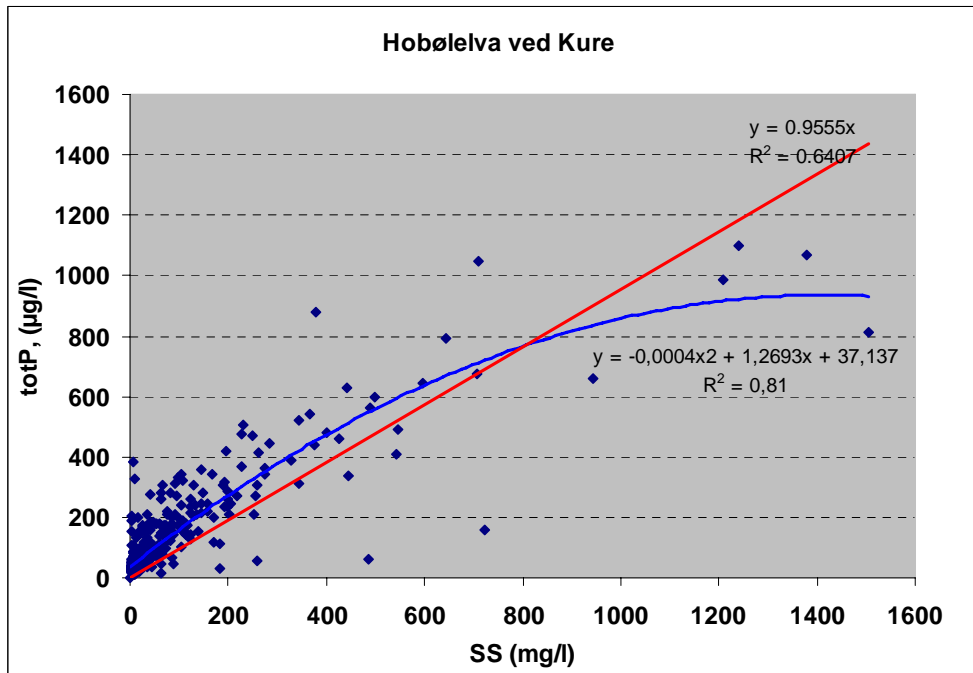
Daglige vanntemperatur i tilløpene ble simulert med modellen på forhånd. Alle tilløpene fikk samme temperatur. Temperaturene ble antatt å være i likevekt med klimaet lokalt.



Figur 6. Forsøk med ulike regresjonslikninger ga ikke signifikant sammenheng mellom total fosfor (totP) og løst fosfor (PO₄-P).



Figur 7. Det var god sammenheng mellom total nitrogen (totN) og nitrat (NO₃-N).



Figur 8. Økt konsentrasjon av suspenderte partikler (SS) førte til økt konsentrasjon av total fosfor (totP).

2.1.2 Data fra Vannsjø for kontroll og kalibrering

Det forelå temperaturmålinger i dybdeprofiler i fra Storefjorden, Vannemfjorden og Grepperudfjorden. Dette gjaldt særlig fra 2005. Det fantes vannkjemiske data fra de samme stasjonene av totP, PO₄-P, totN, NO₃-N, alger, klorofyll, bakterier med mer. Resultatene gjaldt blandprøver fra 0 til 4 meter sommerstid.

Det fantes en god del data for temperatur, vannkemi og alger fra ulike deler av Vannsjø. Vannkemi- og algekonsentrasjonene gjaldt blandprøver for overflatelagene 0 – 4 meter.

2.2 Resultater

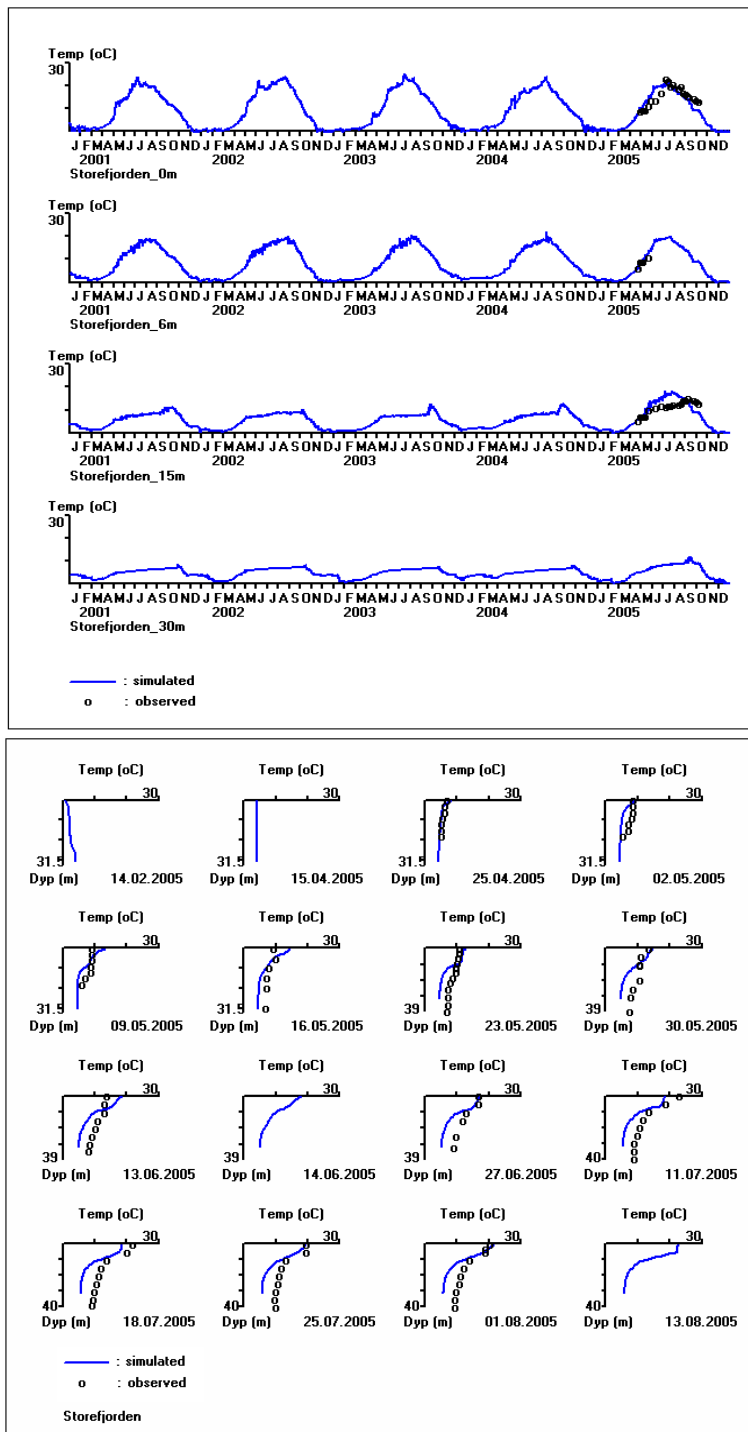
Modellen ble først kalibrert/testet mot observerte verdier for perioden 2001 – 2005. I modellen ble algene gitt koeffisienter som beskriver farten på ulike prosesser som de tar del i. Maksimum veksthastigheter blir begrenset av lys, fosfat eller nitrat. Nedbrytende prosesser er respirasjon, avskalling, sedimentasjon og ”død”. De fleste av prosessene er temperaturavhengige. Koeffisientene ble til å begynne med gitt verdier i henhold til litteratur. Deretter ble de systematisk endret for å oppnå best mulig samsvar med observerte verdier. Resultatene ble beregnet fremover i tid med tidssteg på noen minutter. Hver simulering tok noen timer. En betydelig del av prosjektet gikk med til denne kalibreringsprosessen.

Det ble modellert to algegrupper. En som var begünstiget med stor vekstrate og kaldt vann (kiselalger) og en med lav veksthastighet og konkurransefortrinn ved lite lys (cyanobakterier/blågrønnalger). Cyanobakterier økte sin andel på dypt vann og utover høsten fordi de har et konkurransefortrinn ved lite lys. De hadde også et fortrinn i Vanemfjorden i forhold til i Storefjorden pga. større vekst ved lave nitratkonsentrasjoner. Da simuleringen kun omfattet to algegrupper (kiselalger og cyanobakterier) representerer disse også andre algegrupper med lignende egenskaper.

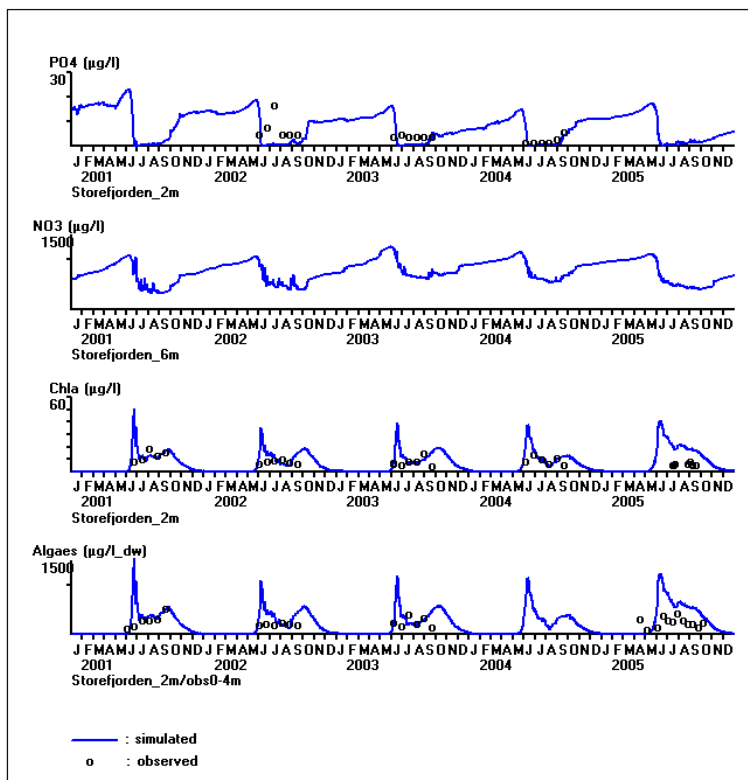
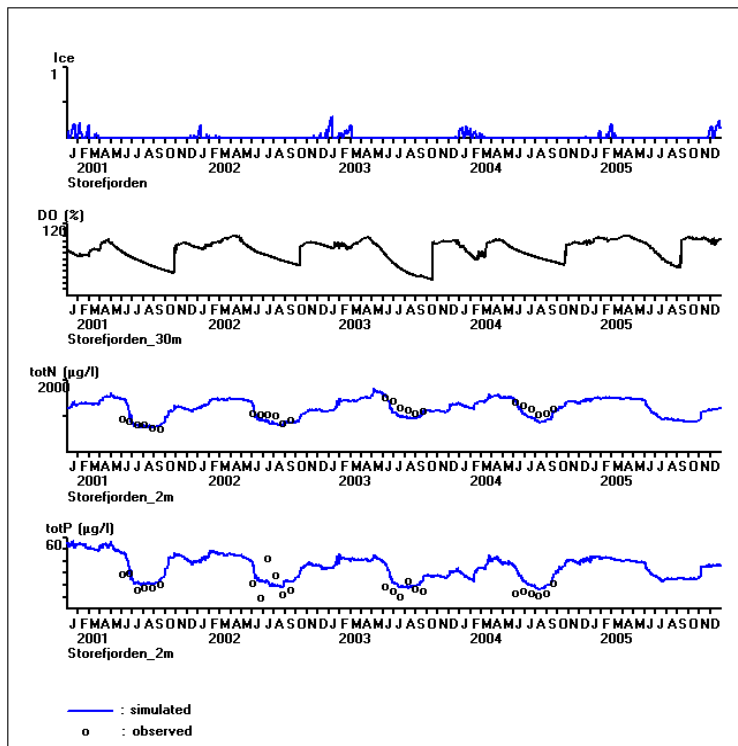
Det var i store trekk godt samsvar mellom simulerte og observerte verdier av temperatur, vannkjemi og alger, **Figur 9 - Figur 16**.

Vannkjemiske konsentrasjoner ble i utgangspunktet gitt konstante verdier i samsvar med enkeltstående data. Disse ble deretter korrigert ved kalibrering mot observerte verdier i innsjøen. Vi forandret ikke disse konsentrasjonene i tid for å simulere spesielle hendelser i løpet av et år. Konstante tilførselskonsentrasjoner er sannsynligvis tilstrekkelig nøyaktige for å kalibrere koeffisienter som beskriver ulike prosesser i modellen. Scenarieresultater og derav følgende praktiske konklusjoner vil neppe bli betydelig påvirket. Det fantes kun observerte kjemi- og algekonsentrasjoner fra overflaten. Kalibreringen ville blitt sikrere hvis det hadde eksistert observasjonsdata fra dypere lag.

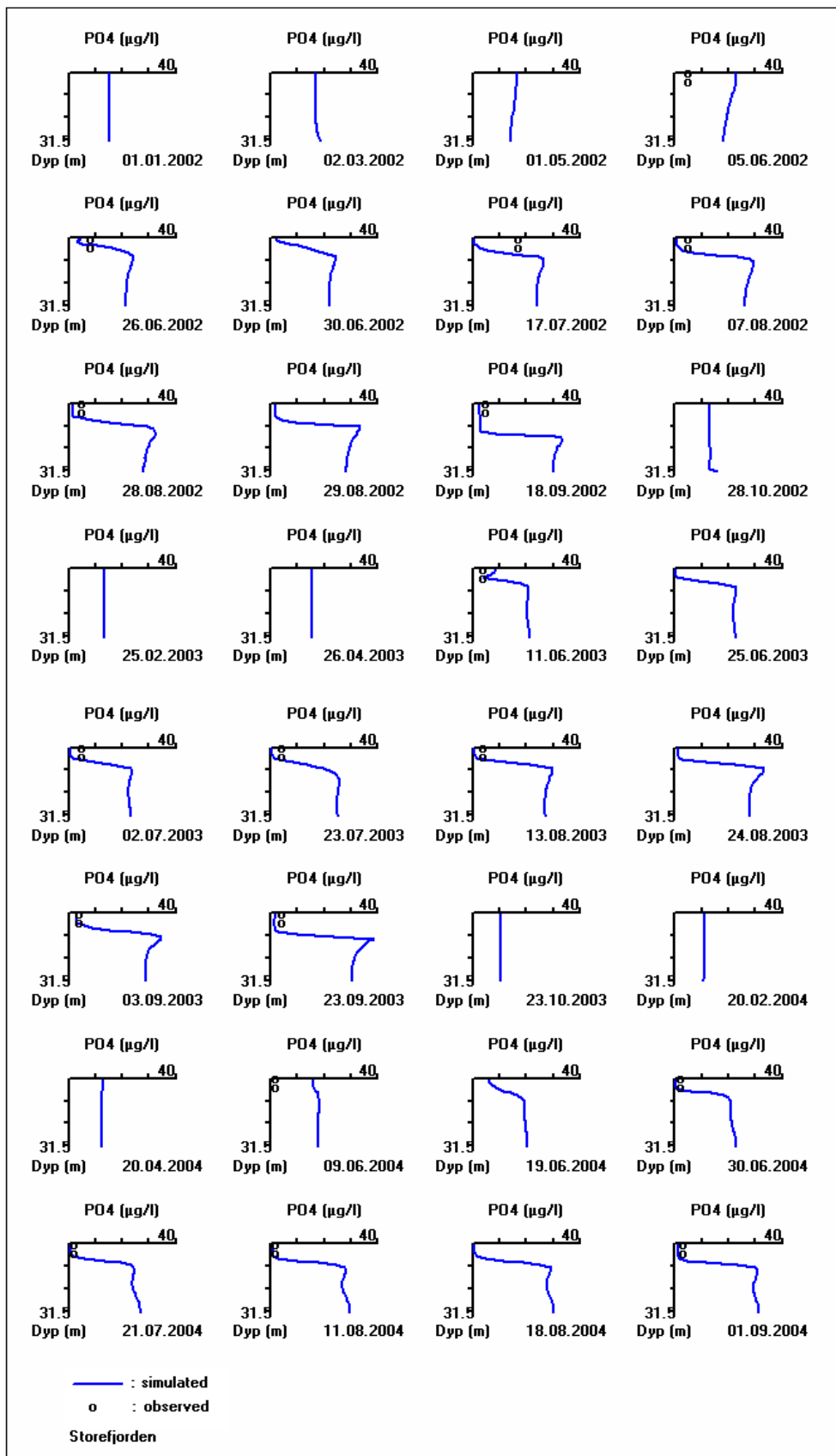
Tilførslene til Storefjorden fra de største elvene var sannsynligvis store nok til å oppnå de simulerte verdiene i Storefjorden. Det var ikke behov for ekstra diffuse tilførsler. I Vanemfjorden ville algekonsentrasjonene blitt for små uten betydelige lokale tilførsler av næringsstoffer og da særlig fosfat. Dette fordi fosfat var begrensende næringsstoff for algevekst i Storefjorden, mens nitrat i perioder var begrensende i Vanemfjorden. Også i Grepperødfjorden var det behov for betydelige ekstra diffuse tilførsler, særlig fosfat utover sommeren og høsten, for å oppnå samsvar mellom observerte og simulerte algeverdier. De lokale "ukjente"/ikke målte tilførslene kan være avrenning fra tett befolkede arealer, jordbruksarealer og lekkasjer på avløpsnett. I 2008 ble det gjort en undersøkelse med vekt på å kvantifisere disse tilførslene, hvilket bekreftet det overnevnte utsagnet (Skarbøvik m.fl. 2008).



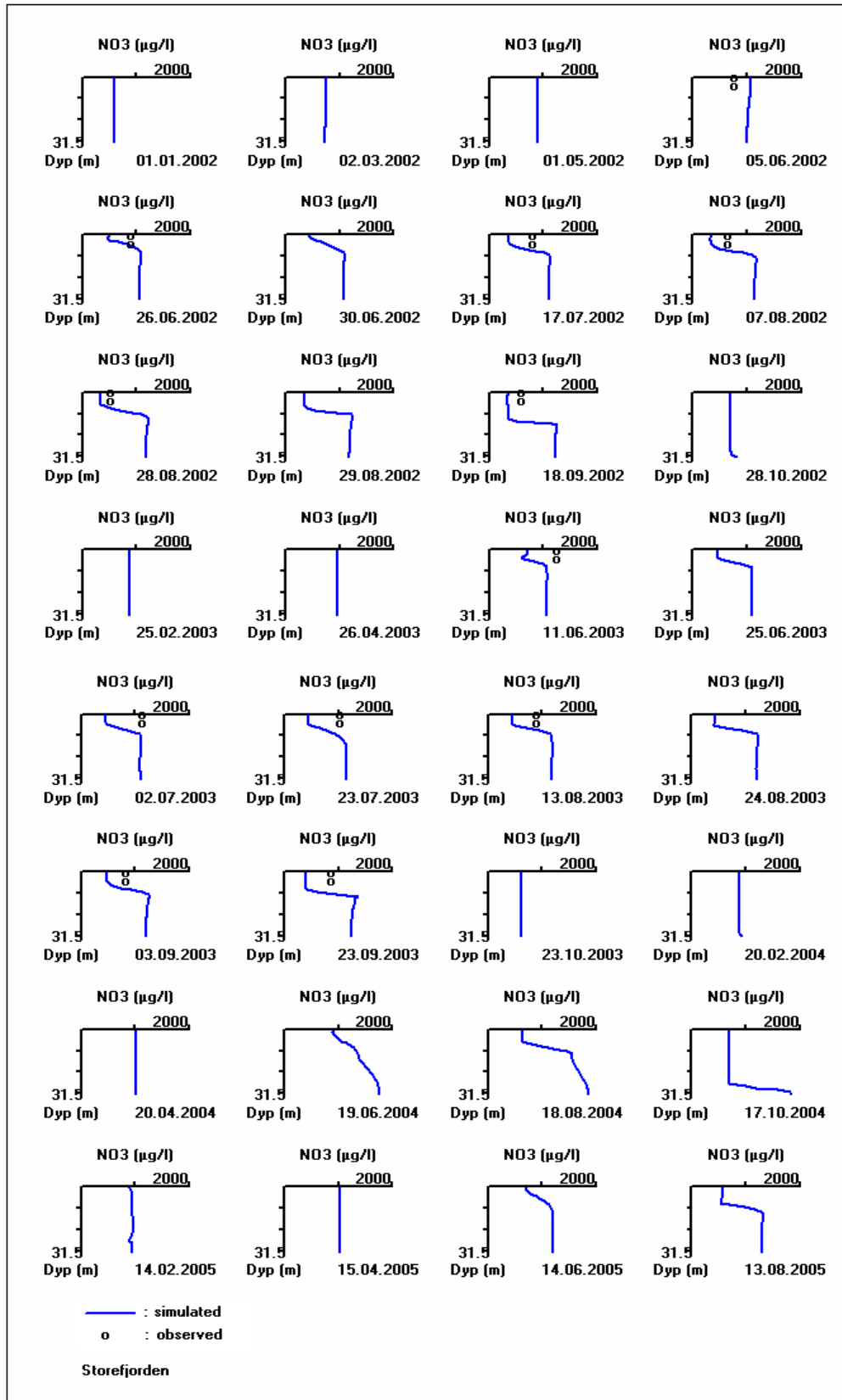
Figur 9. Vansjø - Storefjorden. Observerte og simulerte temperaturer viste overveiende god overensstemmelse.



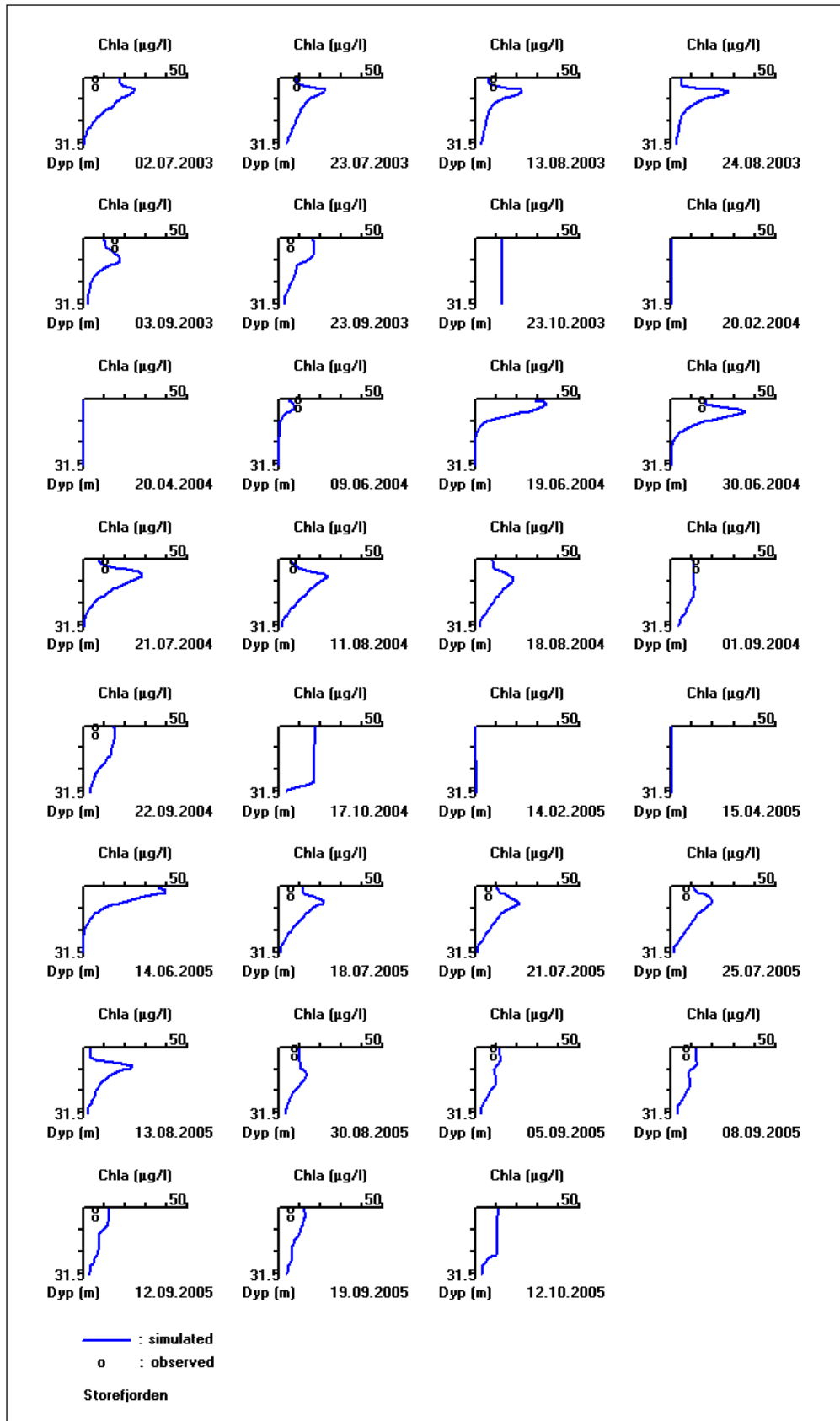
Figur 10. Vansjø - Storefjorden. Innsjøen ble islagt i desember til ut i mars. Oksygeninnholdet avtok i løpet av sommeren uten at det oppsto problemer med oksygenvinn. Observerte og simulerte verdier av total fosfor og total nitrogen viste god overensstemmelse. Fosfat var begrensende næringsstoff for algeveksten om sommeren. De simulerte algeinnholdet var sannsynligvis for høyt om våren og senhøstes. For øvrig var det overveiende godt samsvar med observerte verdier.



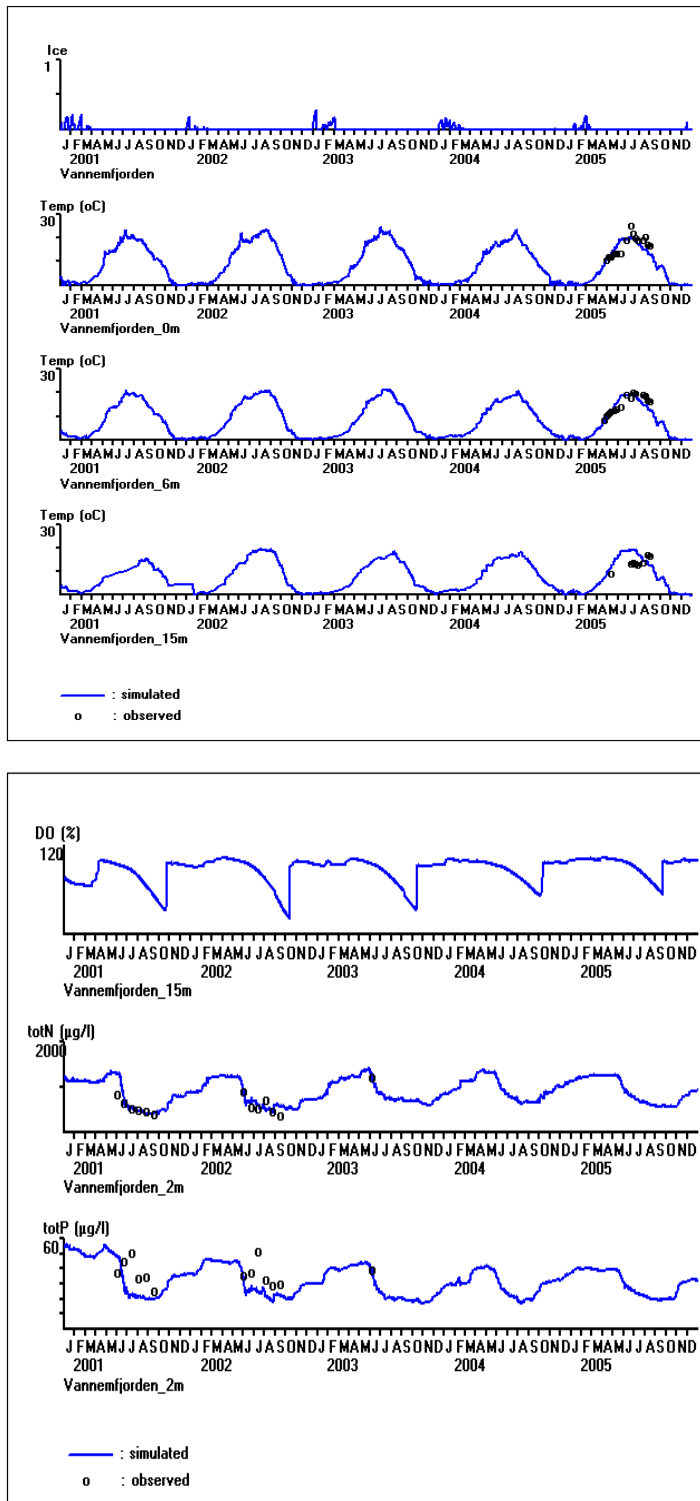
Figur 11. Vansjø – Storefjorden. I vekstsesongen om sommeren gikk all tilgjengelig fosfat med til algevekst i overflatelagene, dvs. fosfat var begrensende næringsstoff. Dypere ned var konsentrasjonene langt høyere.



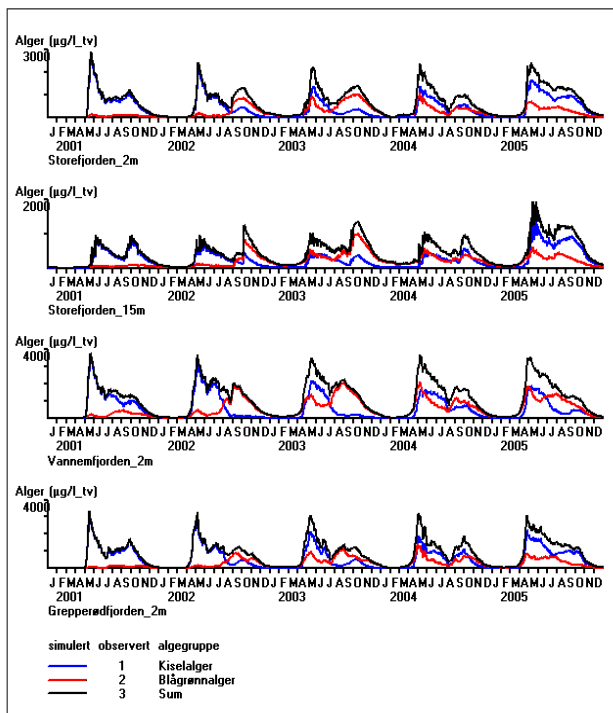
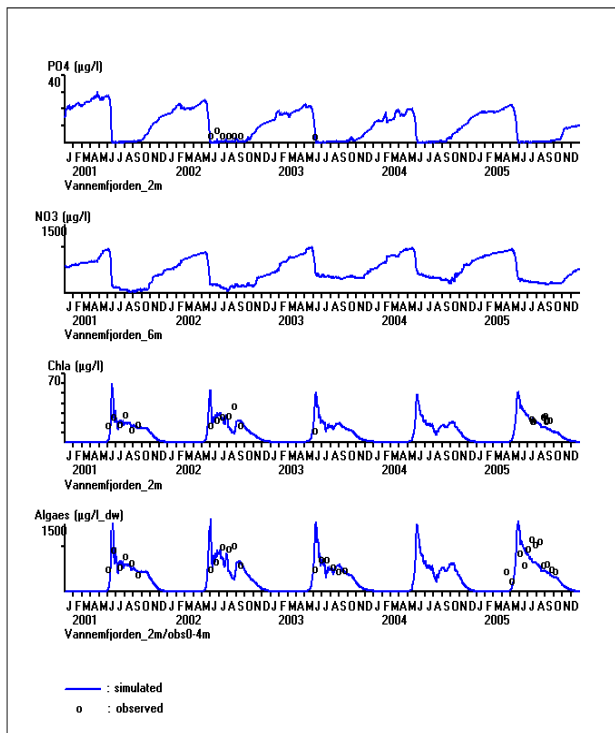
Figur 12. Vansjø – Storefjorden. Observerte og simulerte nitrat konsentrasjoner. Nitrat var ikke begrensende næringsstoff.



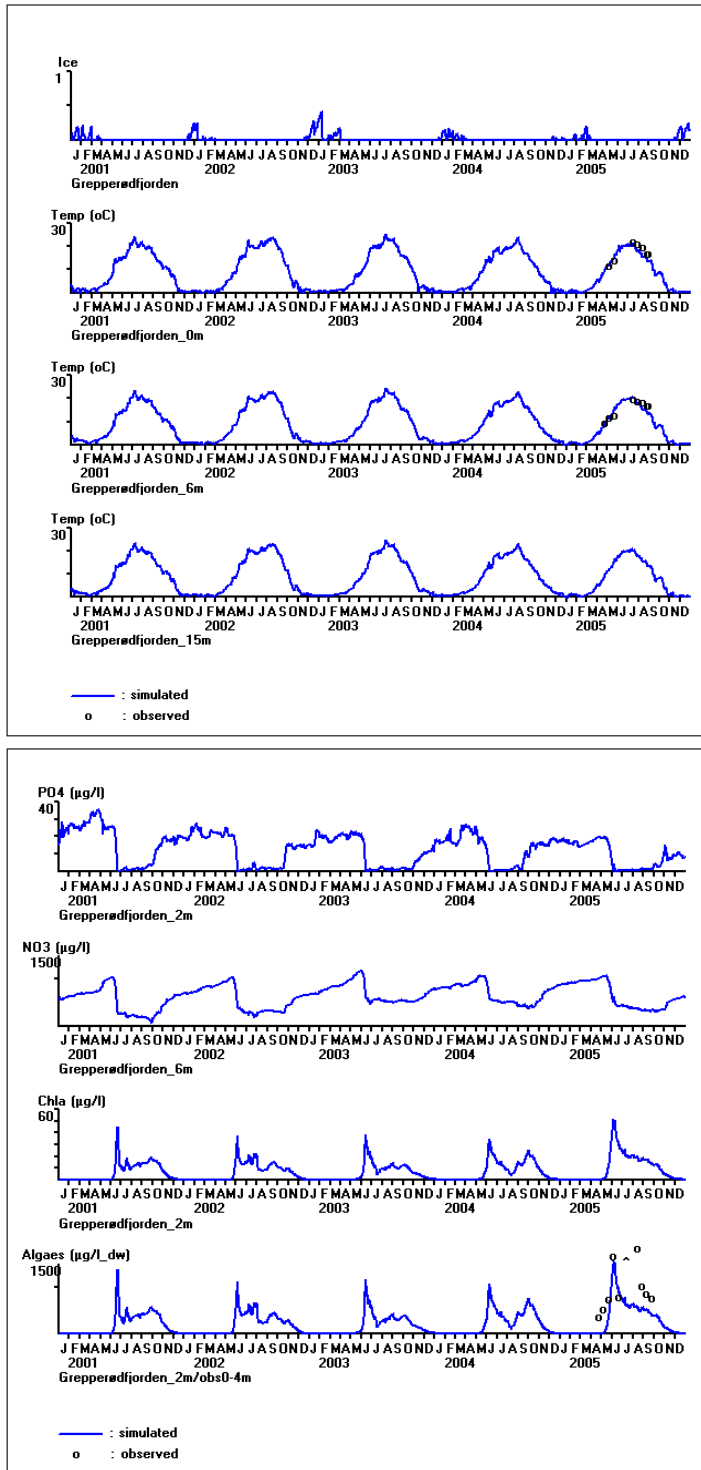
Figur 13. Vansjø – Storefjorden. Observerte og simulerte algekonsentrasjoner målt som klorofyll a.



Figur 14. Vansjø_Vanemfjorden. Innsjøen var islagt i desember til ut i mars. Det var godt samsvar mellom simulerte og observerte temperaturer. Oksygeninnholdet avtok i løpet av sommeren uten at det oppsto problemer med oksygenvinn. Observerte og simulerte verdier av total fosfor og total nitrogen viste god overensstemmelse.



Figur 15. Vansjø-Vannemfjorden. Både fosfat og nitrat var periodevis begrensende næringsstoff. Simulerte algekonsentrasjoner var av samme størrelse som observerte. Cyanobakteriene økte sin andel i på dypt vann og utover høsten fordi at de har et konkurransefortrinn ved lite lys. De hadde også et fortrinn i Vannemfjorden i forhold til i Storefjorden pga. større vekst ved lave nitratkonsentrasjoner. Da simuleringen kun omfattet to algegrupper (kiselalger og blågrønnalger) representerer disse også andre algegrupper med lignende egenskaper.



Figur 16. Vansjø - Grepperødfjorden. Temperatur, fosfat, nitrat og alger. Fosfat var begrensende næringsstoff.

3. Scenarier for tiltak

Vi har benyttet modellen til å simulere scenarier for effekter av tiltak. Dette gjaldt hydrologiske tiltak som rask nedtapping av magasinet og overføring av Hobølelva fra Storefjorden til Grepperødfjorden samt reduserte tilførsler av næringsstoffer.

3.1 Nedtapping av Vansjø

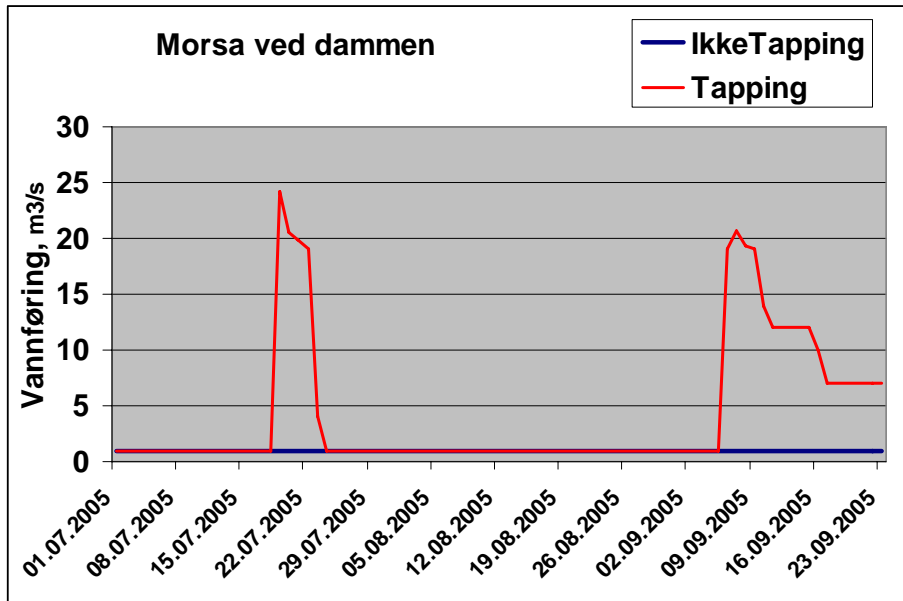
19.-23. juli og 6.-10. september 2005 ble Vansjø tappet ned ved å øke vannføringen over dammen. Dette reduserte vannstanden med henholdsvis 20 cm og 18 cm. Hensikten var å studere om dette kunne være et tiltak for å fjerne algene i overflaten og slik at vannkvaliteten dermed ble bedre. Tappingen ble fulgt opp med målinger. Konklusjonen var at endringen av klorofyllkonsentrasjoner og andre parametere i Vanemfjorden var mindre enn naturlige variasjoner (Skarbøvik m.fl. 2006).

Denne tappingen inngikk i de observerte vannføringene som ble benyttet ved kalibreringen av modellen. Det ble laget et scenarium med lav utløpsvannføring i disse periodene, pluss et par uker i tillegg i september, for å anskueliggjøre hvilke endringen tappingen medførte med hensyn til algevekst og andre parametere, **Figur 17** og **Figur 18**.

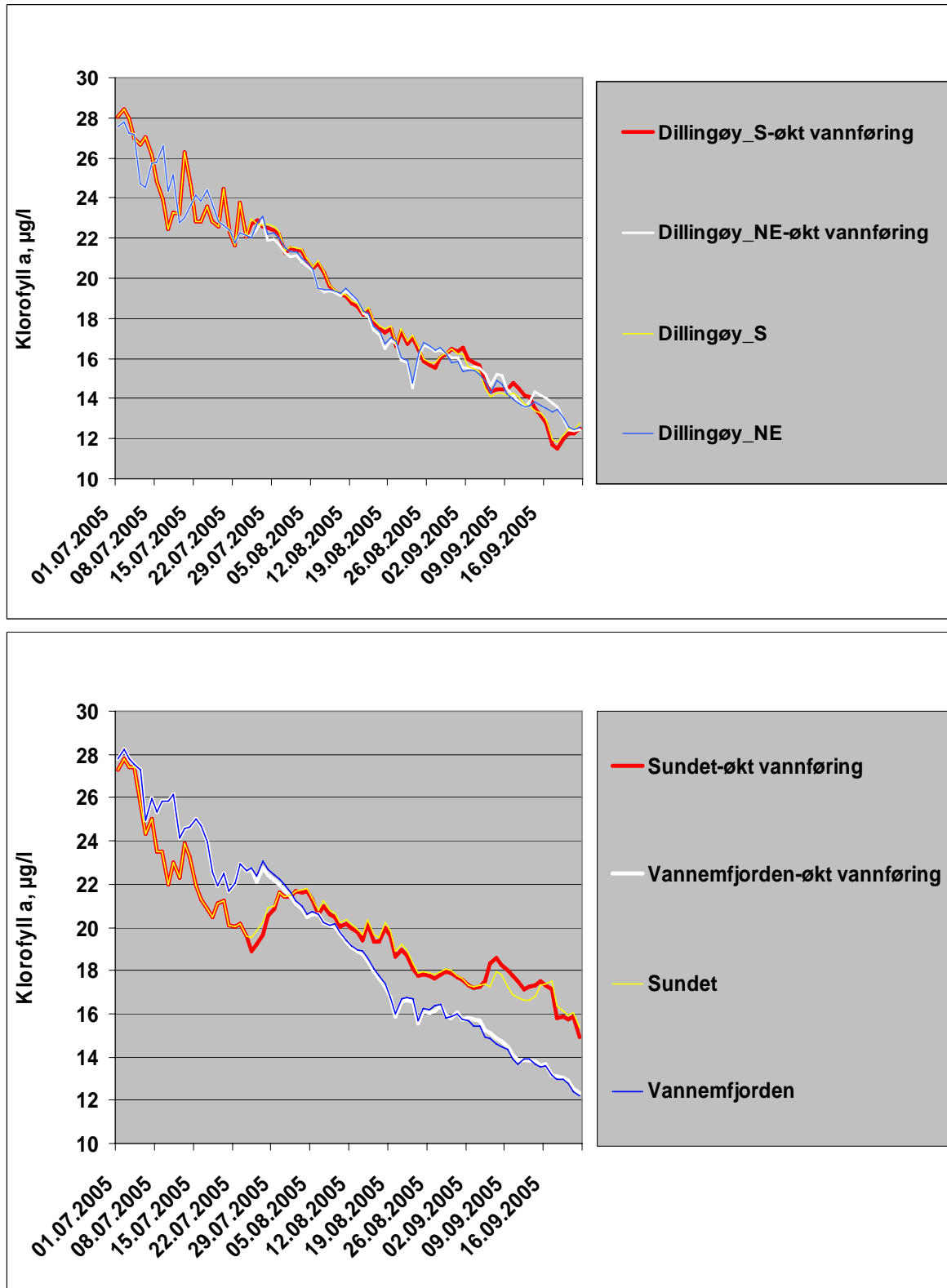
Algemengden var av samme størrelse både med og uten ekstra tapping. I perioden juli - september ble simulerte algeverdier jevnlig lavere. Eventuelle observerte reduksjoner kunne derfor ikke uten videre tilskrives virkninger av tappingen. I følge simuleringene førte tappingen til meget små forskjeller mht. klorofyllkonsentrasjoner. I Vanemfjorden var forskjellene ubetydelige. Forskjellene var størst i Sundet (0,5 µg/l), hvor avvikene forløp i ulik retning i henholdsvis juli og september. Forskjellene var for små til å kunne påvises ved observasjoner. De presenterte simuleringsresultatene gjaldt for 2 meters dyp, hvilket er nær 0 – 4 meter, som er standard prøvetakingsdybde for Vansjø. Økt vannføring førte til en effektiv tapping i dette laget. Tappingen kan likevel ha en gunstig effekt på algeflak som måtte drive på overflatehinnen av innsjøen nær utløpet.

I følge scenariene har det liten hensikt å ”fjerne” det øverste overflatelaget i den hensikt å redusere uønsket høye algekonsentrasjonene der. Algene som blir fjernet blir raskt erstattet som følge av oppstrømmende næringsrikt og ofte også algerikt vann.

Dyreplankton ble ikke modellert, kun tatt hensyn i form av økt dødsrate for algene. Ved en tapping vil også dyreplankton bli fjernet i overflatelaget. Dyreplankton har lavere veksthastighet og vil bruke lengre tid enn algene for å etablere seg igjen. Dvs. at vi i tappeperioden får redusert beiting, hvilket vil bidra i negativ retning mht. å redusere algeinnholdet. Med andre ord vil utelatelsen av dyreplankton i modellen ikke endre konklusjonen av simuleringene.



Figur 17. Modellen ble kjørt med og uten en ekstra tapping over dammen i juli og i september 2005.



Figur 18. Ekstra høy utløpsvannføring hadde liten betydning for algeinnholdet i ulike deler av vestre Vansjø.

3.2 Hobøleva til Grepperødfjorden

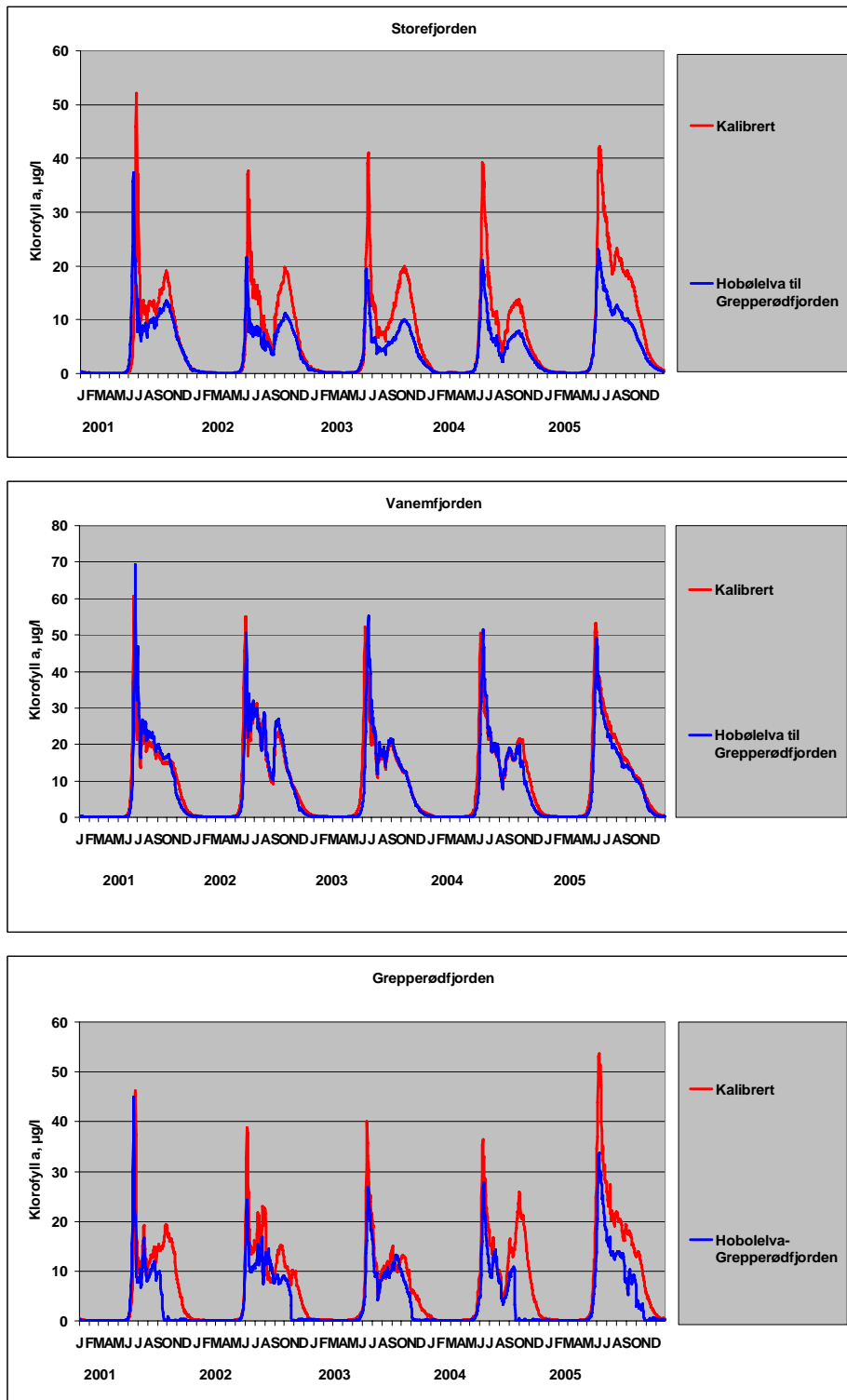
Ca. halvparten av vannet som drenerer til Vansjø kommer via Hobøleva til Storefjorden. Ca. 10 % drenerer direkte til Vanemfjorden og Grepperødfjorden. I dette scenariet flyttet vi utløpet av Hobøleva til nordenden av Grepperødfjorden. Dette er faktisk mulig å gjøre og har blitt diskutert som tiltak ved flere anledninger.

Dette førte til en betydelig reduksjon i algemengden målt som klorofyll i Storefjorden og Grepperødfjorden. Forskjellene var størst utover sommeren og høsten. I Vanemfjorden ble det liten forskjell, **Figur 19** og **Tabell 2**.

Tabell 2. Overføring av Hobøleva til Grepperødfjorden.

Midlere klorofyll konsentrasjon 0 - 4 m i vekstsesongen, 15.april - 30. oktober 2001-2005

Stasjon	Naturlig/ Kalibrert µg kla/l	Hobøleva til Grepperødfjorden µg kla/l
Vanemfjorden	16.6	15.7
Sundet	12.6	8.8
Grepperødfjorden	12.5	7.6
Storefjorden	11.9	7.3

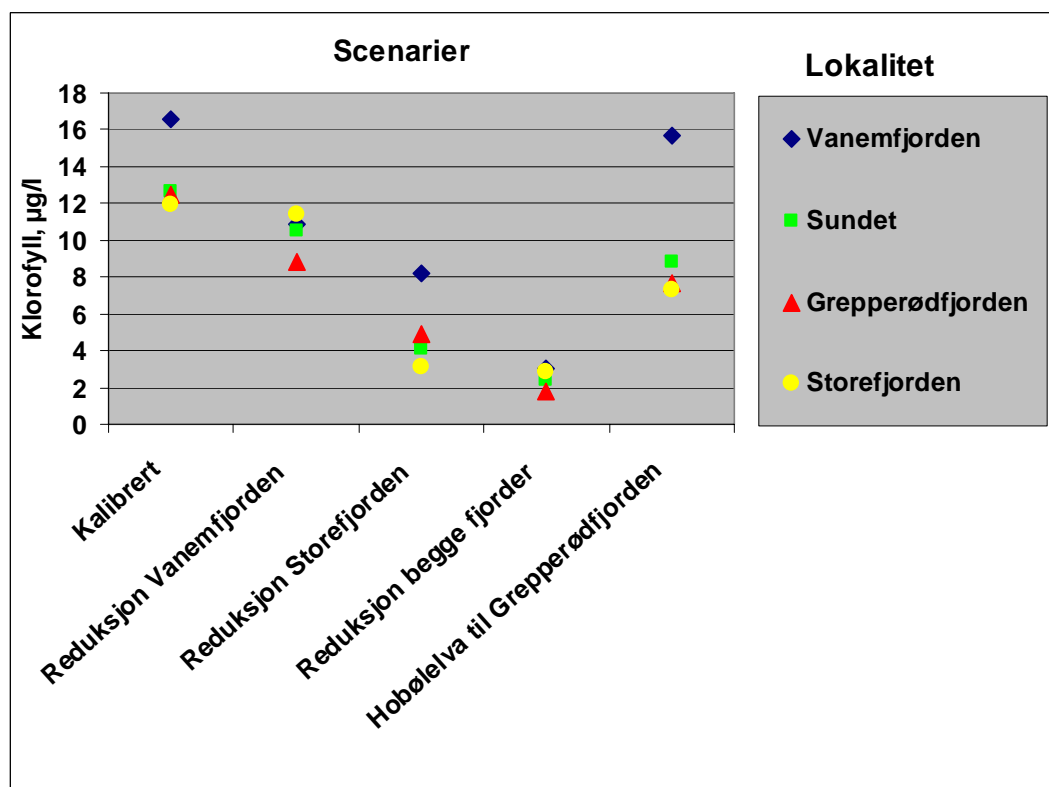


Figur 19. Overføring av Hobøelva til Grepperødfjorden førte til betydelig reduserte algekonentrasjoner i Storefjorden og Grepperødfjorden. I Vanemfjorden ble det liten forskjell.

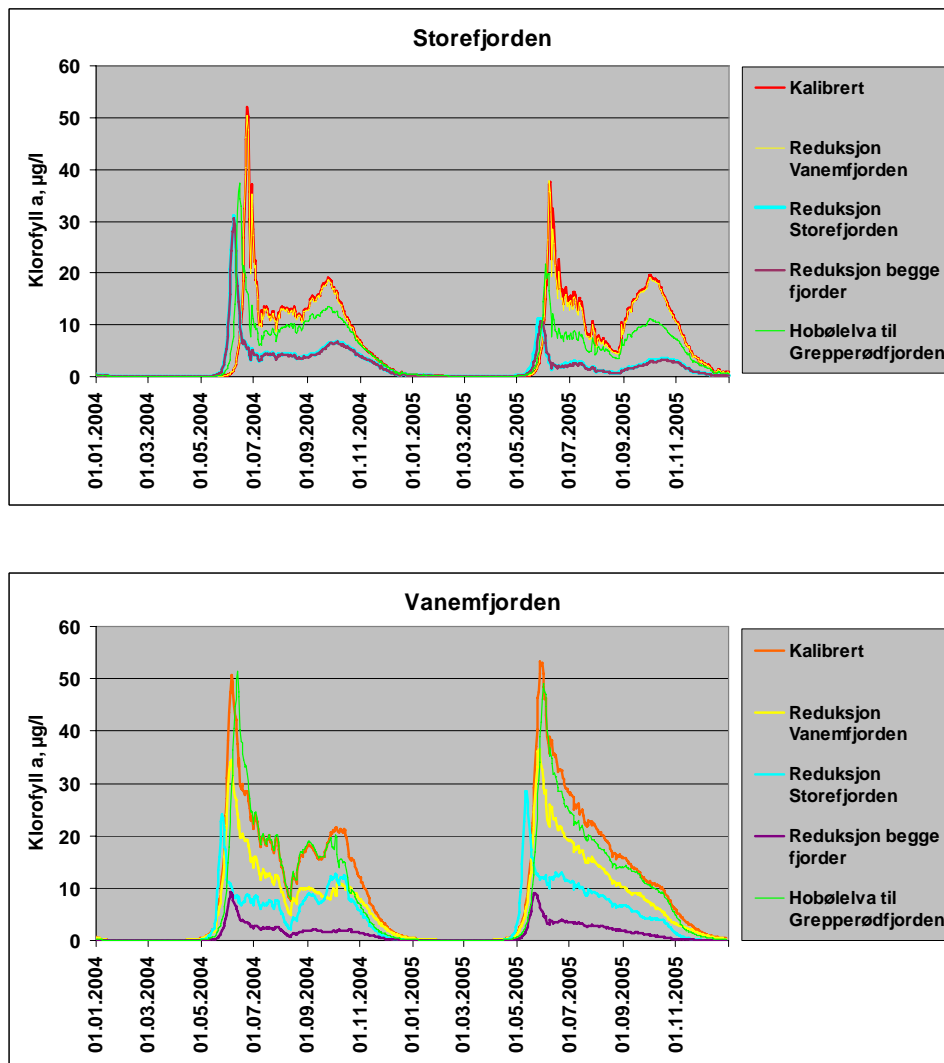
3.3 Reduserte tilførsler

Tilførslene ble redusert ved at konsentrasjonen i tilførslene ble gitt et fosfatinnhold på 3 µg/l og et totalt organisk karboninnhold på 5 mg/l hvorav 2 mg/l ble antatt å være lett nedbrytbart. Tilførslene representerer moderat påvirkning av menneskelige aktiviteter. Resultatene er presentert som midlere klorofyll konsentrasjon på 0 - 4 meters dyp i vekstsesongen, 15.april - 30. oktober 2001-2005. For Storefjorden utgjorde dette en halvering av fosfortilførslene, for Vanemfjorden og Grepperødfjorden betydelig mer.

Resultatene av simuleringene er vist på **Figur 20** og **Figur 21**. Reduserte tilførslene til Vanemfjorden og Grepperødfjorden førte til klart reduserte algekonsentrasjoner i disse lokalitetene og til dels også i Sundet, mens Storefjorden ble lite påvirket. Dersom tilførslene ble redusert kun til Storefjorden førte dette til betydelig lavere klorofyllinnhold i både Storefjorden og Vanemfjorden/Grepperødfjorden. Midlere sommerverdier i overflatelaget ble henholdsvis 3, 4, 5 og 8 µg/l i henholdsvis Storefjorden, Sundet, Grepperødfjorden og Vanemfjorden. Dersom tilførslene til hele Vansjø ble redusert ble algeinnholdet målt som klorofyll redusert til mellom 2 og 3 µg/l over hele innsjøen. Dette tilsvarer tilstandsklasse 2 God (2-4 µg/l) i følge SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet (SFT 1997).



Figur 20. Midlere klorofyll i vekstsesongen, 15.april – 30.oktober i overflatelaget 0 – 4 m. Overføring av Hobøelva til Grepperødfjorden førte til betydelig reduserte algekonsentrasjoner i Storefjorden og Grepperødfjorden, men ikke i Vanemfjorden. Reduserte tilførsler til Vanemfjorden og Grepperødfjorden har god effekt for disse delene men liten betydning for Storefjorden. Reduserte tilførsler til Storefjorden har stor betydning for hele innsjøen.



Figur 21. Midlere klorofyll i overflatelaget 0 – 4 m 2004 og 2005. Scenarier for klorofyll konsentrasjoner gjennom året i Storefjorden og Vanemfjorden.

3.4 Kommentarer

Bruk av matematiske modeller for strøm og vannkvalitet kan være et nyttig verktøy for kommunale myndigheter med ansvar vannkvalitet i innsjøer. Modellen kan, som vi har sett i scenariene, gi kvantitative svar på respons i innsjøen som følge av tiltak. Mer spesielt kan modellen gi informasjon om optimal plassering av nye vannverksinntak eller utslipp fra renseanlegg. Man kan utføre scenarier angående innsjøens generelle eutrofisituasjon eller mer spesielt hvor utsatt vanninntak og badeplasser er forurensende uhell. Det kan være brudd på kloakkledning, forurensende lekkasjer som følge av uhell med tankbiler, tog eller fly m.m. I hvilken grad er det nødvendig med restriksjoner i nedbørfeltet? Er hyttebygging, bading eller bruk av fritidsbåter, veibygging m.m. betenkelig. Ved et uhell, hvor store konsentrasjoner kan være aktuelle og hvor lang reaksjonstid har man. Hvilke tiltak vil være mest effektive? Et fremtidig varmere klima vil føre til varmere vann, kortere periode med islegging og lengre perioder med sirkulasjon i vannmassene. Hvordan vil dette påvirke eutrofitilstanden eller endre sårbarheten for vannverk? Matematiske modeller kan gi svar på de fleste av slike spørsmål.

Algeinnholdet i innsjøer er en følge av et komplisert samspill mellom en rekke prosesser. I tillegg har Vansjø en komplisert form. Modellen er i stand til å ta hensyn til de fleste av disse faktorene. Vi hadde mindre observasjonsdata i Vansjø enn ønskelig for en sikker test av modellen. Erfaringer fra lignende undersøkelser i Steinsfjorden og Kolbotnvatn, hvor observasjonsmaterialet var meget godt, viste at modellen beregnet temperatur- og oksygenforhold meget bra. Også algeinnholdet, som i likhet med Vansjø var sterkt påvirket av cyanobakterier, ble godt gjengitt. Presisjonen var imidlertid dårligere enn for temperatur og oksygen (Tjomsland mfl. 2006 og Oredalen mfl. 2005). I Kolbotnvatn ble det blant annet laget et scenarium som viste at luftning av bunnlaget ville ha en gunstig reduserende effekt på oksygen og algeinnhold. Tiltaket ble prøvd i 2008 med resultat i samsvar med simuleringene, (personlig meddelelse, foreløpig ikke rapportert). Disse resultatene tyder på at modellen beregner hydrodynamiske forhold på en pålitelig måte, inkludert vertikale bevegelser som er viktig for utbredelsen av oksygen, næringstoffer og alger.

Modellen et utmerket pedagogisk redskap. Man kan lage figurer for karakteristiske situasjoner eller videoer som fortløpende viser hvordan forurensningene spres som følge av skiftende vind og temperaturforhold i løpet av året. Dette gir en utmerket anledning til å forstå helheten, få oversikt over hvordan ulike prosessene påvirker hverandre og skille mellom viktige og mindre viktige fenomen. Man skaffer seg erfaring uten å bli "våt på benene".

Matematiske modeller er en forenklet etterligning av naturen. Det vil fortsatt så absolutt være nødvendig med undersøkelser i felt og bruk av faglig skjønn. Simuleringer vil imidlertid være et nyttig grunnlag for beslutningstakere.

Dersom man ønsker å følge opp enkelte av scenariene med tiltak, vil modellen egne seg til å nansere virkningene av aktuelle tiltakene. Presisjonen vil øke om det blir utført formålsrettede observasjoner i forkant.

Dersom man ønsker å følge opp enkelte av scenariene med tiltak, vil modellen være nyttig for å nansere virkningene av alternativ utførelse av hvert tiltak. For eksempel kan man lage en serie scenarier med gradvis endret belastning og få en sammenlikning av tiltak, respons i innsjøen og kostnader, hvilket kan være til hjelp for å prioritere mulige tiltak. Presisjonen i scenariene vil øke om det blir utført formålsrettede observasjoner i forkant.

4. Konklusjoner

For en sikrere kalibrering av modellen og forståelse angående innsjøens eutrofieringssituasjon og respons på tiltak, er det ønskelig med bedre målinger av tilførslene. Særlig gjelder dette fosfat og nitrat i løst form og bundet til organisk materiale. Videre er det ønskelig med dybdeprofiler i innsjøen av spesielt næringsstoffer og alger.

Kalibreringen tyder på at det er betydelig ”ukjente”/ikke målte næringsstofftilførsler i Vanemfjorden og Grepperødfjorden.

Modellen er egnet til å beskrive det kompliserte samspillet mellom diverse prosesser som angår eutrofiering. Vansjøens form med diverse fjordarmer og trange sund er ingen hindring.

I følge scenariene har det liten hensikt å ”fjerne” det øverste overflatelaget i den hensikt å redusere algekonsentrasjonene der. Algene som blir fjernet blir raskt erstattet som følge av oppstrømmende næringsrikt og ofte også algerikt vann.

Overføring av Hobølelva til Grepperødfjorden reduserte algeinnholdet betydelig i Grepperødfjorden og Storefjorden. Vanemfjorden vil i liten grad bli påvirket av denne overføringen.

Reduserte tilførslene til Vanemfjorden og Grepperødfjorden førte til klart reduserte algekonsentrasjoner i disse lokalitetene og til dels også i Sundet, mens Storefjorden ble lite påvirket. Reduserte tilførsler til Storefjorden har stor betydning for hele innsjøen.

Ved å redusere alle tilførslene til Vansjø av fosfat til 3 µg/l og totalt organisk materiale til 5 mg/l, ble midlere simulerte klorofyllverdier 0 - 4 mg i vekstsesongen i de ulike delene av Vansjø mellom 2 og 3 µg kl/l, dvs. god vannkvalitet ifølge SFTs klassifisering av vannkvalitet.

Dersom tilførslene til hele Vansjø ble redusert ble algeinnholdet målt som klorofyll redusert til mellom 2 og 3 µg/l i hele innsjøen. Dette tilsvarer tilstandsklasse 2 God (2-4 µg/l) i følge SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet.

Dersom man ønsker å følge opp enkelte av scenariene med tiltak, vil modellen være nyttig for å nyansere virkningene av hvert tiltak. For eksempel kan man lage en serie scenarier med gradvis endret belastning som underlag for en kost nytte vurdering. Presisjonen vil øke om det blir utført formålsrettede observasjoner i forkant.

5. Referanser

Cole, Thomas M. Wells Scott A. 2002. CE-QUAL-W2 A two dimensional, Lateral Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1. User manual. U.S. Army Corps of Engineers, Wasington, DC. (<http://www.ce.pdx.edu/w2>).

Lyche Solheim, A., Vagstad, N. Kraft, P., Løvstad, Ø. Skoglund, S., Turtumøygard, S. og Selvik, J.R. 2001. Tiltaksanalyse for Morsa (Vansjø-Hobøl-vassdraget) – Sluttrapport. Rapport nr. 4377-2001, 104 s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Morsaprojektet 2003. Handlingsplan for Morsa 2002-2005. En sammenstilling av kommunenes og landbrukets planer. 51 s

Oredalen T.J., Rohrlack T. og Tjomsland T. 2005. Tiltaksvurdering i Kolbotnvannet, 5147-2006, 41 s. Norsk Institutt for vannforskning, Oslo.

SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning 97:04. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

Skarbøvik, E., Eggestad, H-O., Bjørndalen K., Fjelstad, K. og Tingvold, J.K. 2006. Utprøving av endret manøvrerings-reglement i Vansjø. Resultater fra første forsøksperiode, sommer/høst 2005. Rapport nr. 5141-2006, 55 s, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Skarbøvik, E. Rohrlack, T., Bechmann, M., Andersen, T. og Færøvik, P.J. Vansjøundersøkelsene 2007. Resultater fra overvåking og undersøkelser i innsjø og tilførselsbekker/-elver i 2007. Bioforsk rapport Vol.3 Nr. 72 2008. Bioforsk, Ås

Stålnacke, P.G., Lyche Solheim A. og Bechmann, M. 2005. Utvikling av vannkvaliteten i Vansjø og Hobølelva. En foreløpig analyse av tidsserier. Rapport nr. 4937-2005, 30 s, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Tjomsland, T., Berge, D., Halstvedt, C.B. and Rohrlack, T. 2006. Gjenåpning av Kroksund. Effekter på vannkvaliteten i Steinsfjorden og Tyrifjorden. 5198-2006, 49 s. Norsk Institutt for vannforskning, Oslo.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no