

0-
85112

O-85112

Simulering av økologiske forhold
i **Gjersjøen** ved bruk av modellen

FINNECO

Rapport nr. 1

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065)76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-85112
Undernummer:	
Løpenummer:	1804
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: Simulering av økologiske forhold i Gjersjøen ved bruk av modellen FINNECO. Rapport nr. 1	Dato: 31. januar 1986
	Prosjektnummer: 0-85112
Forfatter (e): Torulv Tjomsland Bjørn Faafeng	Faggruppe: Vassdrag
	Geografisk område: Akershus
	Antall sider (inkl. bilag): 45

Oppdragsgiver: SFT og NIVA	Oppdragsg. ref. (evt. NTF-nr.):
-------------------------------	---------------------------------

Ekstrakt:
Økologiske forhold i Gjersjøen 1980 ble simulert ved den matematiske modellen FINNECO. Modellen simulerte temperatur, pH og oksygenforhold meget godt, fosfor og nitrogen relativt godt og viste hovedtrekkene i algeutviklingen. Modellen var anvendelig til å studere betydningen av enkelte inputparametre (fosfortilførsler, endring av vannføringer m.m.) på algeveksten. Gjersjøen 1980 ble brukt til å kalibrere modellen. Det er behov for å verifisere den for år med annen algesammensetning m.m. for å vurdere dens anvendelighet til prognoser på uavhengig materiale.

4 emneord, norske:
1. Gjersjøen
2. Vannkvalitet
3. Algeoppblomstring
4. Matematisk innsjømodell
FINNECO

4 emneord, engelske:
1. Lake Gjersjøen
2. Water quality
3. Algal blooms
4. Mathematical modell
FINNECO

Prosjektleder:

Torulv Tjomsland

For administrasjonen:

Bjørn Faafeng

ISBN 82-577-1003-2

OSLO

0-85112

SIMULERING AV ØKOLOGISKE FORHOLD
I GJERSJØEN VED BRUK AV MODELLEN

FINNECO

Rapport nr. 1

Oslo, 31. januar 1986

Prosjektleder: Torulv Tjomsland

Medarbeider : Bjørn Faafeng

FORORD

Arbeidet er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet er finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT) og NIVA.

Dataprogrammet til modellen FINNECO har vi mottatt fra Vattenstyrelsen i Finland v/Jorma Niemi.

Data om vannkvaliteten i Gjersjøen er samlet inn i forbindelse med tidligere undersøkelser som er utført helt eller delvis av NIVA. Disse er finansiert gjennom Statlig program for forurensningsovervåking, av Oppegård kommune, Norges teknisk naturvitenskapelige forskningsråd (NTNF) og via NIVAs egne forskningsprosjekter.

INNHold

	Side
1 SAMMENDRAG	4
2 MODELLBESKRIVELSE	11
2.1 Innledning	11
2.2 Variable som simuleres	15
2.3 Parametre som er konstante for hver innsjø	15
2.4 Differensialligninger	15
2.5 Inputdata	21
2.6 Programbegrensninger	22
3 BRUK AV MODELLEN PÅ GJERSJØEN	23
3.1 Beskrivelse av innsjøen og dens nedbørfelt	23
3.2 Kalibrering av modellen for Gjersjøen 1980	26
3.3 Bruk av modellen til å studere effekter av endrede inputverdier	32
4 SLUTTBEMERKNINGER	37
5 REFERANSER	39
Vedlegg 1 Eksempler på inputparametre og utskrift	40

1. SAMMENDRAG

Målet med dette prosjektet har vært å få erfaring med matematiske innsjømodeller for å kunne utarbeide kvantitative prognoser for økologiske forhold i innsjøer. Arbeidet som presenteres i denne rapporten gikk ut på å kalibrere den matematiske modellen FINNECO for tilstanden i Gjersjøen 1980.

Modellen gir en dag-til-dag beregning av tilsammen 20 fysiske-, kjemiske- og biologiske variable. Bunndyr og fisk er utelatt.

Gjersjøens overflateareal er $2,7 \text{ km}^2$ (fig. 1.1). Største dyp er 63 m. I 1980 var innsjøen næringsrik (eutrof).

Modellen simulerte temperatur, surhetsgrad og oksygenforhold for Gjersjøen i 1980 meget godt (fig. 1.2). Fosfor og nitrogen ble brukbart gjengitt (fig. 1.3) og den viste hovedtrekkene i algeutviklingen (fig. 1.4). Modellen var anvendelig til å studere enkelte inputparametres betydning for algeveksten (fig. 1.5 - fig. 1.7).

FINNECO virker lovende og kan være et nyttig hjelpemiddel til å komme et skritt i retning av en mer kvantitativ beskrivelse av komplekse prosesser i innsjøer.

For å fullføre testen av modellen på Gjersjøen er det behov for å verifisere den mot observasjoner for år hvor vannkvaliteten er annerledes enn i 1980. Videre er det ønskelig å teste den for grunne innsjøer samt innsjøer med høyere og lavere trofigrad.

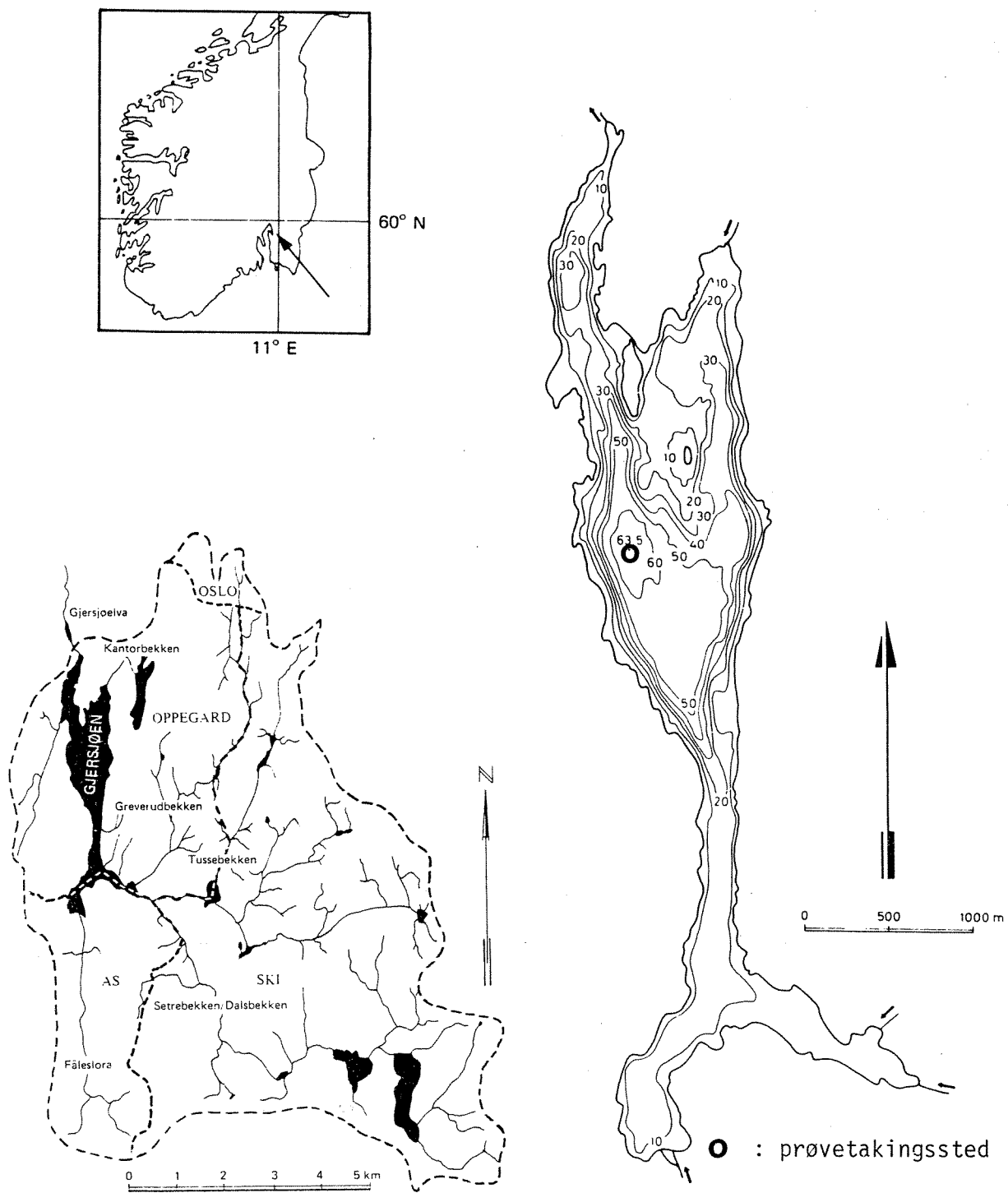


Fig. 1.1 Oversiktskart

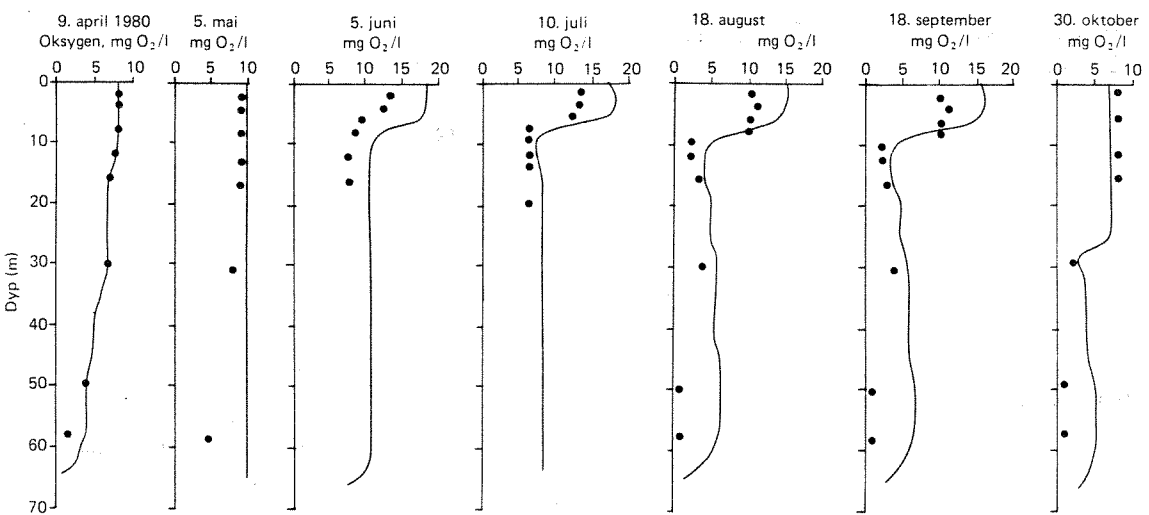
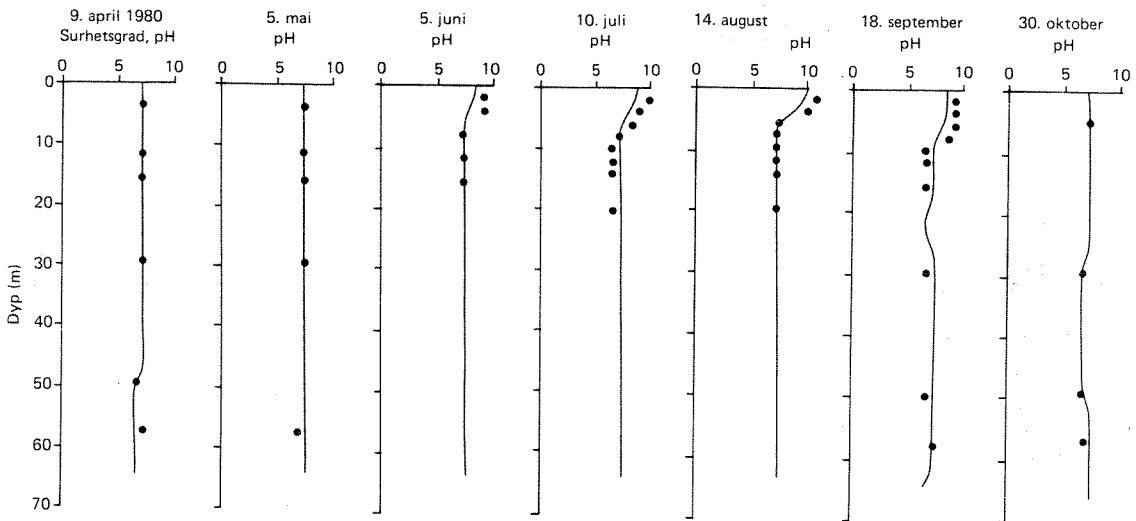
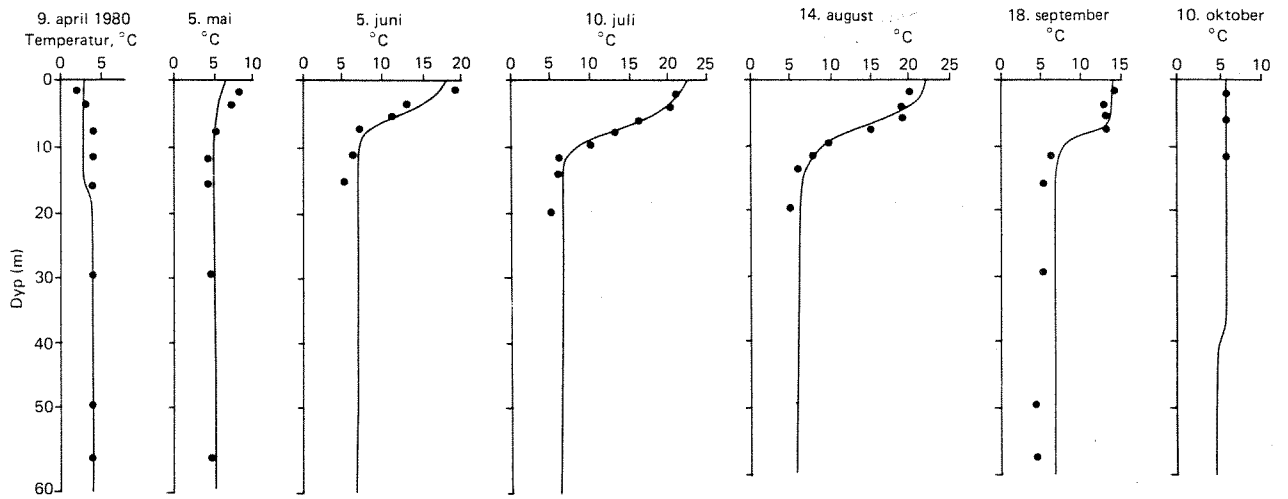


Fig. 1.2 Det var god overensstemmelse mellom observerte (•) og simulerte (-) verdier av temperatur, pH og oksygen.

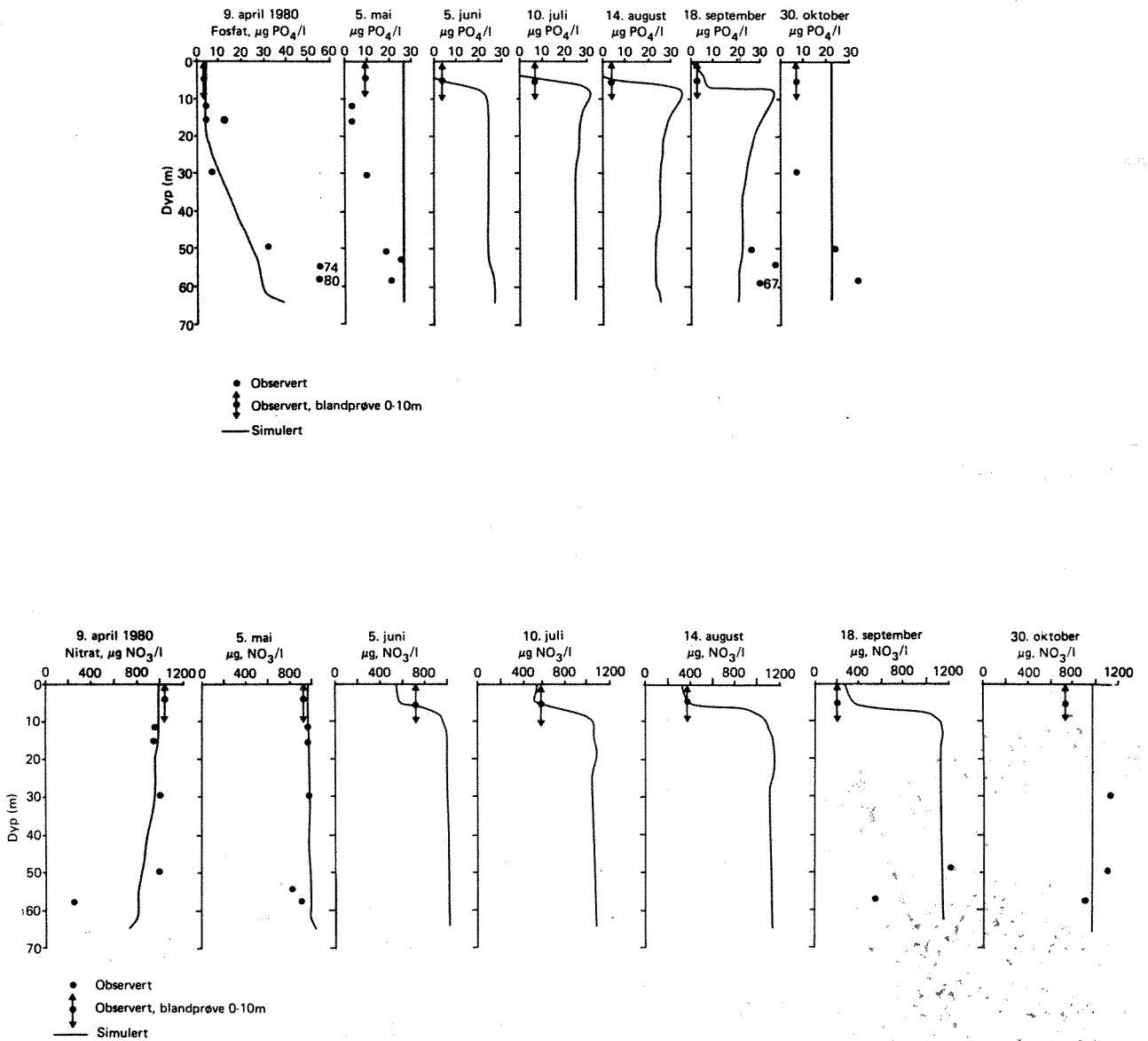
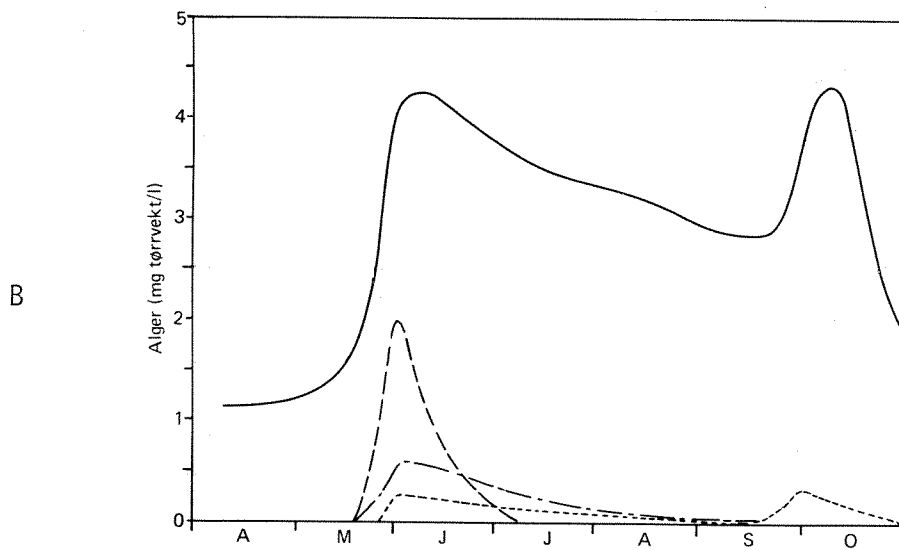
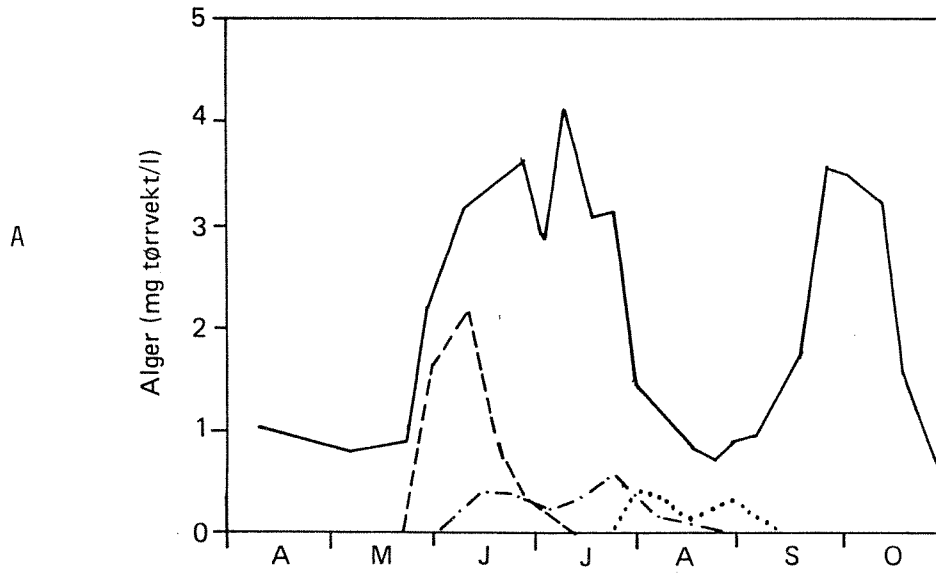


Fig. 1.3 Fosfat og nitrat.

Simuleringene (-) ga et rimelig godt inntrykk av forholdene



— Blågrønnalger (*Oscillatoria agardhii*)
- - - Kiselalger (*Diatoma* sp.)
- · - · Kiselalger (*Synedra* sp.)
· · · · Fureflagellater (*Ceratum* sp.)

Fig. 1.4 Den simulerte algeveksten (0-10 m) viste hovedtrekkene i algeutviklingen for 1980. A: Observert (7-døgns flytende middel), B: Simulert.

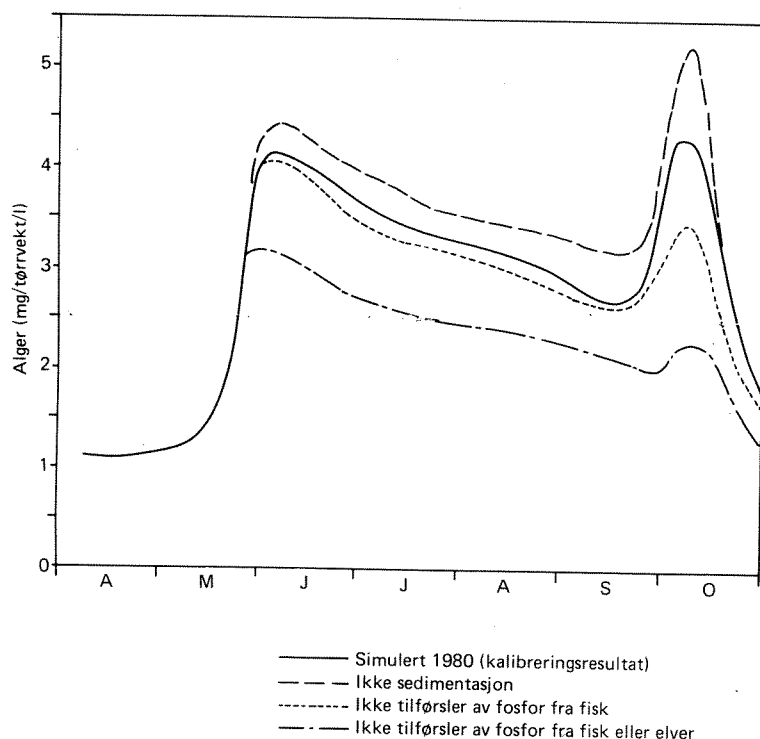


Fig. 1.5 Oscillatoria agardhii, 0-10 m. Redusert sedimentasjonshastighet medfører økt algekonsentrasjon. Fosfortilførsler fra fisk (mort) på 5 m's dyp har størst betydning på høsten. Innsjøens fosforinnhold under vårsirkulasjonen er meget viktig for algeutviklingen i hele vekstsesongen.

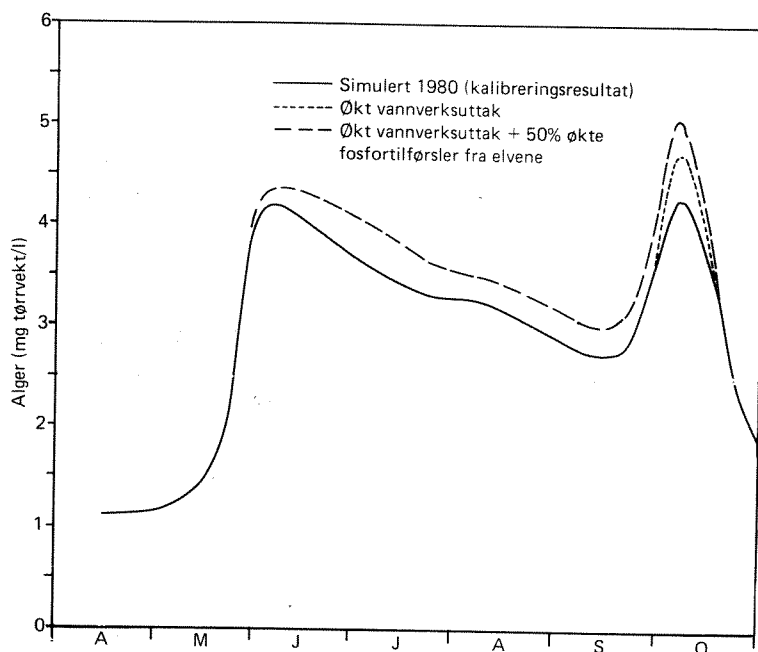
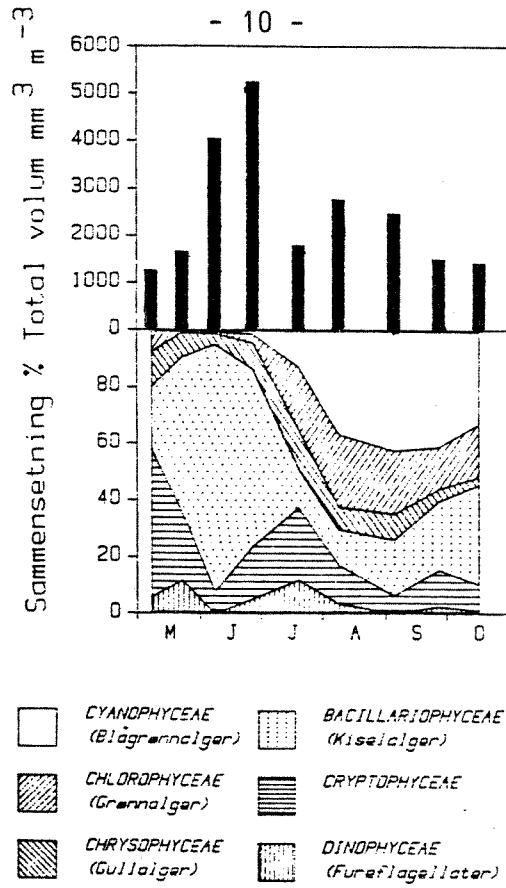


Fig. 1.6 Oscillatoria agardhii, 0-10 m. Økt drikkevannsutttak fører til økt algevekst på høsten. Dersom også fosfortilførslene øker blir algeveksten større hele sommeren.

observert
(Faafeng, 1984)



simulert

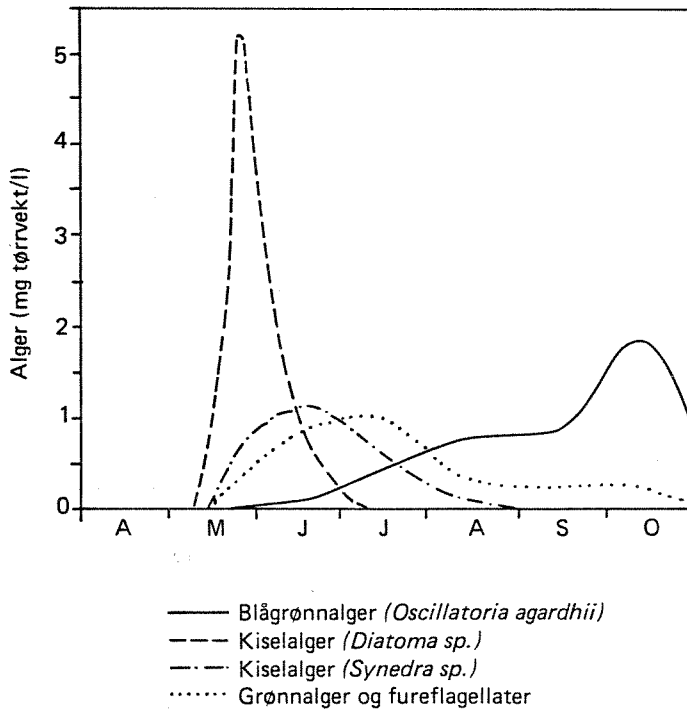


Fig. 1.7 Lav konsentrasjon av blågrønnalgen *Oscillatoria agardhii* om våren (som i 1983) medførte at denne algen først ble dominerende på høsten og andre alger ble mer fremtredende på forsommeren. Observasjoner i 1983 tyder på at denne utviklingen er realistisk.

2. MODELLBESKRIVELSE

2.1 Innledning

For en hensiktsmessig forvaltning av innsjøer er det behov for å kunne forutsi effekten av forurensningstilførsler, klimatiske endringer, vannføringsreguleringer m.m. på vannkvaliteten.

Samspeillet mellom fysiske, kjemiske og biologiske prosesser er såpass komplekst at det i utstrakt grad er nødvendig å nytte matematiske simuleringmodeller for å kunne gi kvantitative svar, se fig. 2.1 og tabell 2.1.

I den senere tid er det utviklet en del slike økologiske modeller. Vi har valgt å teste modellen FINNECO. FINNECO, som er laget ved Vattenstyrelsen i Finland (Kauranne 1983), er en videreutvikling av modellen EPAECO fra USA slik denne er publisert av Gaume and Duke (1975). Modellen i sin opprinnelige form er utviklet av Chen og Orlob (1972). Vi skal her gi en kort orientering om FINNECO. For en mer utførlig beskrivelse henviser vi til Kauranne (1983) hvor EDB-programmet blir dokumentert.

Vannkvaliteten i innsjøen blir simulert som funksjon av tiden. Den blir påvirket av klima, vannføring og vannkvalitet i tilløp og utløp samt av innsjøens dybdeforhold. De ulike prosessene blir beskrevet matematisk. Intensiteten i disse prosessene blir i stor utstrekning bestemt av verdiene på en rekke koeffisienter.

I modellen blir innsjøen delt inn i horisontale skiver (fig. 2.2). Vannet innen hver skive antas å være fullstendig blandet slik at vannkvaliteten der blir ensartet. F.eks. vil påvirkningen fra en tilførselselv fordeles momentant over hele innsjøen i innlagringsnivået. Varme og massetransport skjer i vertikalretning ved adveksjon (strøm) og diffusjon.

Modellen egner seg f.eks. til å beskrive de store vertikale forskjellene i vannkvaliteten som vi har i dype innsjøer. Det er imidlertid en forutsetning at det simulerte "middelverdiprofilet" i tilstrekkelig grad er representativt for innsjøen da modellen ikke beskriver horisontale variasjoner.

Modellen tar hensyn til at innsjøen kan være islagt.

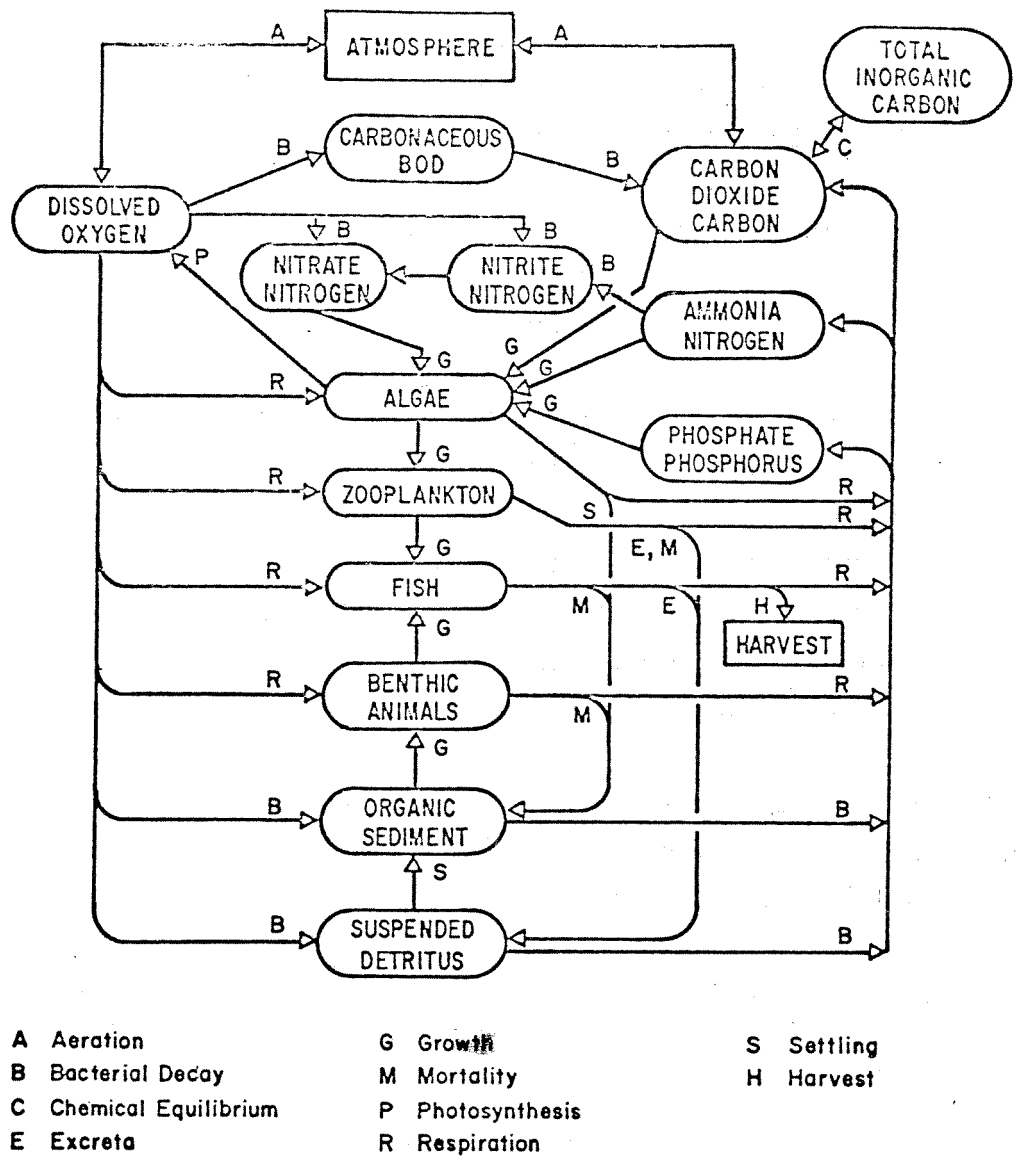


Fig. 2.1 Økologiske prosesser i en innsjø (HEC 1978).
 (Fisk og bunndyr blir utelatt i FINNECO-modellen)

Tabell 2.1 Avhengighetsforhold mellom ulike innsjøvariable (HEC 1978)

CONSTITUENT ↓ DEPENDENT ON	Temperature	Fish	Benthic Animals	Zooplankton	Aquatic Insects*	Phytoplankton	Benthic Algae*	Detritus	Inorganic Suspended Solids	Organic Sediment	Inorganic Sediment	Toxicity*	BOD	Coliform Bacteria	Total Inorganic Carbon	Ammonia	Nitrite	Nitrate	Phosphate	Oxygen	Alkalinity and TDS	Carbon Dioxide	pH	
	Temperature					K	K	K	K															
Fish	A		D	D	D	D				D		I								G				
Benthic Animals	A	L									D	I								G				
Zooplankton	A	L				D	D					I								G				
Aquatic Insects*	A	L					D			D		I								G				
Phytoplankton	A			L								I			D	D	D	D						
Benthic Algae*	A	L			L							I			D	D	D	D						
Detritus	A	E		E,L	E	J																		
Inorganic Suspended Solids											J													
Organic Sediment	A		E			J	J																	
Inorganic Sediment											J													
Toxicity*																								
BOD	A																			G				
Coliform Bacteria	A																							
Total Inorganic Carbon			B	B	B	B	B	B		B			B							G		M		
Ammonia	A		B	B	B	B	B	B		B														
Nitrite	A																B			G				
Nitrate	A																	B		C				
Phosphate			B	B	B	B	B	B		B														
Oxygen	F	C	C	C	C	C	C	C		C			C					C	C					
Alkalinity and TDS																								
Carbon Dioxide	F,H														M						H		M	
pH	H														H						H		H	

* Stream module only

LEGEND:

- A - Affects rate of decay, respiration, growth or mortality
- B - By-product of decay or respiration
- C - Consumed by decay and respiration
- D - Prey or nutrients required for growth
- E - By-product of growth
- F - Affects reaeration rates and saturation
- G - Limits growth or decay if out of acceptable range

- H - Affects chemical equilibrium
- I - Affects mortality
- J - Source through sedimentation or scour
- K - Limits energy input by affecting light penetration
- L - Consumed by growth of other constituents
- M - At chemical equilibrium with other constituents

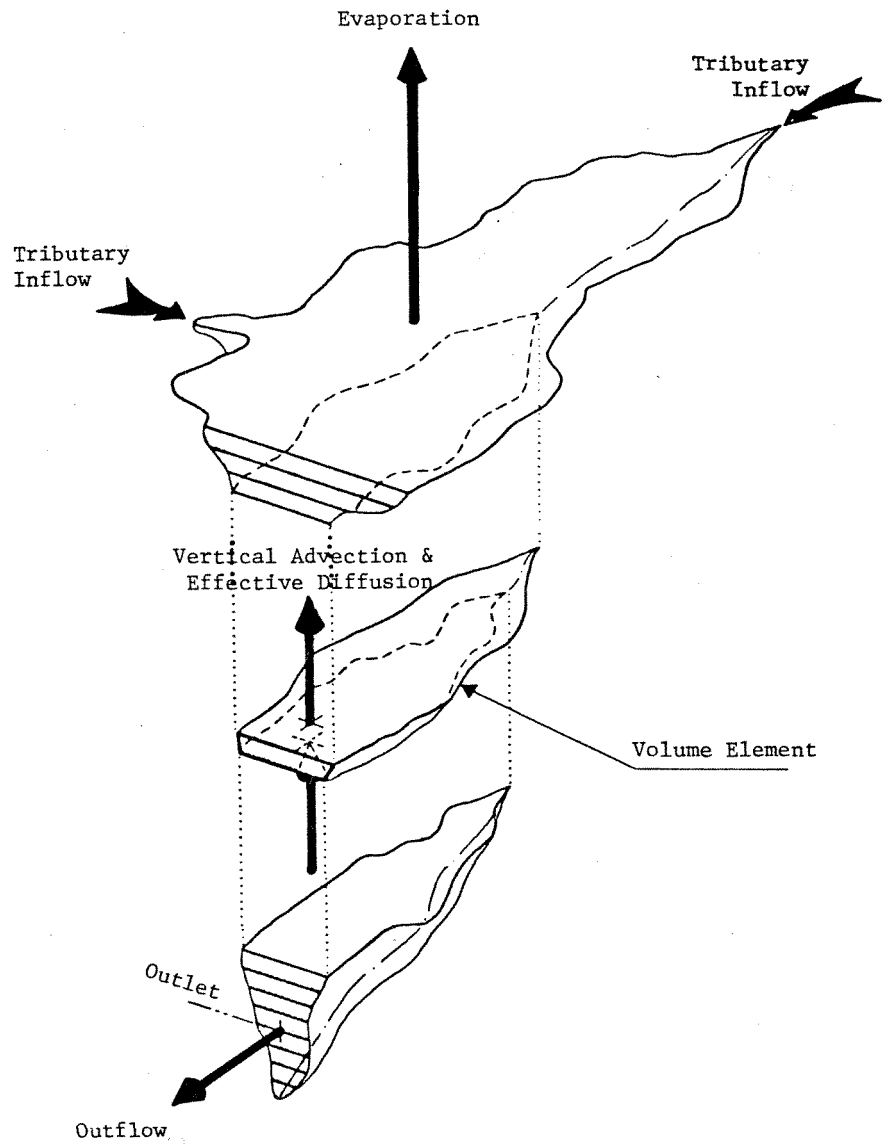


Fig. 2.2 Inndeling av innsjøen i horisontale skiver/elementer og masse-transportmekanismer. (HEC 1978).

2.2 Variable som simuleres

Modellen simulerer 20 variable som funksjon av tiden (tabell 2.1). Med unntak av fosfor i uorganisk sediment (P_i) og organisk sediment (S) blir de variable også beregnet som funksjon av dypet.

Det blir ikke tatt eksplisitt hensyn til bunndyr og fisk.

2.3 Parametre som er konstante for hver innsjø

I modellen inngår en rekke parametre som er med på å beskrive ulike forhold i innsjøen (tabell 2.2). Disse koeffisientene holdes konstante, eventuelt endres systematisk med temperatur og oksygenforhold, og er følgelig typiske for den innsjøen vi ønsker å simulere. I tabell 2.2 er det anslått et sannsynlig intervall for størrelsen av disse verdiene.

De største vanskelighetene for en realistisk simulering er gjerne forbundet med å bestemme disse koeffisientene tilfredsstillende.

2.4 Differensialligninger

De ulike prosessene som finner sted i innsjøen, jamfør fig. 2.1 og tabell 2.1, blir beskrevet av et sett differensialligninger (tabell 2.4). Disse blir løst numerisk etter eksplisitte skjemaer. Ut fra en kjent startsituasjon og kjennskap til ytre påvirkninger blir nye verdier beregnet suksessivt fremover i tiden.

Tabell 2.2 Variable som simuleres

Symbol	Variabel	Benevning
A _j	Alger, 10 typer/grupper	mg/l tør vekt
C	Total uorganisk karbon	mg/l
CO ₂	Karbondioksyd	mg/l
D	Detritus	mg/l
L	Biologisk oksygenforbruk (BOD)	mg/l
Ls	Natrium lignosulfat	mg/l
M	Hygienisk indikator	pr. 100 ml
N ₁	Ammonium-nitrogen (NH ₃ -N)	mg/l
N ₂	Nitritt-nitrogen (NO ₂ -N)	mg/l
N ₃	Nitrat-nitrogen (NO ₃ -N)	mg/l
P	Fosfat-fosfor (PO ₄ -P)	mg/l
pH	Surhetsgrad (pH)	
P _i	Fosfor i uorganisk sediment	mg/m ²
φ	Løst oksygen	mg/l
R	Total oppløst stoff	mg/l
S	Organisk sediment	mg/m ²
T	Temperatur	°C
Y	Alkalitet	mg/l
Z	Zooplankton	mg/l
H _Z	Vannstand	m

Tabell 2.3 Innsjøparametre

Symbol	Parameter	Benevning	Normalt verdi-intervall	Avhengig av
α_{ac}	Karboninnhold i algene	mg C/mg alge	0,4-0,5	
α_{an}	Nitrogeninnhold i algene	mg C/mg alge	0,07-0,09	
α_{ap}	Fosforinnhold i algene	mg C/mg alge	0,01-0,012	
α_{cc}	Karboninnhold i BOD	mg C/mg BOD	0,2	
α_{dc}	Karboninnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,2-0,5	
α_{dn}	Nitrogeninnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,05-0,09	
α_{dp}	Fosforinnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,005-0,012	
α_{1n}	Nitrogeninnhold i BOD	mg N/mg BOD	0,01-0,02	
α_{1p}	Fosforinnhold i BOD	mg P/mg BOD	0,002-0,003	
α_{sc}	Karboninnhold i organisk sediment	mg C/mg org.sed.	0,2-0,4	
α_{sn}	Nitrogeninnhold i organisk sediment	mg N/mg org.sed.	0,03-0,06	
α_{sp}	Fosforinnhold i organisk sediment	mg P/mg org.sed.	0,005-0,01	
α_{zc}	Karboninnhold i zooplankton	mg C/mg zoo.	0,4-0,5	
α_{zn}	Nitrogeninnhold i zooplankton	mg N/mg zoo.	0,07-0,09	
α_{zp}	Fosforinnhold i zooplankton	mg P/mg zoo.	0,01-0,012	
β_1	Ammonium decay	pr. døgn	0,05-0,02	T,0
β_2	Nitritt decay	pr. døgn	0,2-0,5	T
β_3	Nitrat denitrifikasjon	pr. døgn	0,01-0,3	T,0
γ_1	Fosforets taps-/sedimentasjonsrate	pr. døgn	0,05-0,2	T,0
γ	Fosforets utvaskingsrate	pr. døgn	0,01-0,02	T,0
K_A	Zooplankton halvmetningskonstant for alger	mg/l	0,2-0,6	
K_C	Algenes halvmetningskonstant for karbon	mg/l	0,1-0,5	
K_L	Algenes halvmetningskonstant for lysintensitet	Kcal/m ² /s	0,001-0,006	
K_N	Algenes halvmetningskonstant for nitrat + ammonium	mg/l	0,01-0,4	
K_P	Algenes halvmetningskonstant for fosfor	mg/l	0,005-0,05	
K_1	BOD decay rate	pr. døgn	0,01-0,3	T
K_3	Hygienisk indikator decay rate	pr. døgn	0,1-2,0	T
K_4	Organisk sediment decay rate	pr. døgn	0,001-0,01	T,0
K_5	Detritus decay rate	pr. døgn	0,001-0,05	T
K_6	Lignosulfat decay rate	pr. døgn	0,002-0,05	T
λ	Zooplanktonets assimilasjonseffektivitet	pr. døgn	0,5-0,8	
Λ_1	mg O ₂ forbruk pr. mg NH ₃ oksydert		3,5	
Λ_2	mg O ₂ forbruk pr. mg NO ₂ oksydert		1,2	
Λ_3	mg O ₂ forbruk pr. mg detritus decay		1,4-2	
Λ_4	mg O ₂ forbruk pr. mg alge som respirerer		1,6-1,8	
Λ_5	mg O ₂ forbruk pr. mg alge som vokser		1,6-1,8	
Λ_6	mg O ₂ forbruk pr. mg organisk sedim. decay		1,45	
μ_a	Maksimum algevekst	pr. døgn	1,0-3	
μ_z	Maksimum zooplanktonvekst	pr. døgn	0,05-0,3	
ω_{aj}	Algenes dødsrate	pr. døgn	0,001-0,01	T
ω_z	Zooplanktonets dødsrate	pr. døgn	0,001-0,02	T
ρ_{aj}	Algenes standard respirasjonsrate	pr. døgn	0,01-0,4	T
ρ_{aj}	Algenes passive respirasjonsrate	pr. døgn	0,001-0,1	T
ρ_z	Zooplanktonets standard respirasjonsrate	pr. døgn	0,01-0,5	T
σ_{aj}	Algenes sedimentasjonshastighet	m/døgn	0-1	T
σ_d	Detritus sedimentasjonshastighet	m/døgn	0-1	T
T_L	Nedre temperaturgrense for alger og zooplankton	°C	0	
T_U	Øvre temperaturgrense for alger og zooplankton	°C	40	

T: verdien endres med temperaturen

O: verdien endres med oksygeninnholdet

Tabell 2.4 Differensialligninger

$$\text{BOD (L)} \quad \frac{\partial L}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial L}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} L)}{A_z \partial z} + \frac{S_L}{A_z dz} - K_1 L$$

$$\text{ZOOPLANKTON (Z)} \quad \frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial Z}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} Z)}{A_z \partial z} + \frac{S_Z}{A_z dz} + (\mu_z - \rho_z - \omega_z) Z$$

$$\text{ALGAE (A}_j) \quad \frac{\partial A_j}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial A_j}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} A_j)}{A_z \partial z} + \frac{S_{A_j}}{A_z dz} + (\mu_{aj} - \rho_{aj} - \frac{\sigma_{aj}}{\epsilon} - \omega_{aj}) A_j - \Delta_{aj}$$

$$\text{DETRITUS (D)} \quad \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial D}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} D)}{A_z \partial z} + \frac{S_D}{A_z dz} + \sum_{j=1}^n \omega_{aj} A_j + \omega_z Z - K_5 D - \frac{\sigma_d D}{\epsilon}$$

$$\text{ORGANIC SEDIMENTS (S)} \quad \frac{\partial S}{\partial t} = (\sum_{j=1}^n \sigma_{aj} A_j + \sigma_d D) \frac{\delta}{\epsilon} - K_4 S$$

$$\text{INORGANIC SEDIMENTS (P}_i) \quad \frac{\partial P_i}{\partial t} = K_4 \alpha_{sp} S + \gamma_1 P - \gamma_2 P_i$$

$$\text{PHOSPHORUS (P)} \quad \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial P}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} P)}{A_z \partial z} + \frac{S_P}{A_z dz} + \alpha_{ap} \sum_{j=1}^n (\rho_{aj} - \mu_{aj}) A_j + K_5 \alpha_{dp} D + K_1 \alpha_{lp} L + \rho_z \alpha_{zp} Z + \gamma_2 P_i - \gamma_1 P$$

$$\text{TOTAL INORGANIC CARBON (C)} \quad \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial C}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} C)}{A_z \partial z} + \frac{S_C}{A_z dz} + \alpha_{cc} K_1 L + \alpha_{ac} \sum_{j=1}^n (\rho_{aj} - \mu_{aj}) A_j + \alpha_{sc} K_4 S + \alpha_{dc} K_5 D - \alpha_{zc} \rho_z Z + 0.78 T_C (CO_2^* - CO_2)$$

$$\text{AMMONIUM NITROGEN (N}_1) \quad \frac{\partial N_1}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial N_1}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} N_1)}{A_z \partial z} + \frac{S_{N_1}}{A_z dz} + \alpha_{an} \sum_{j=1}^n \rho_{aj} A_j + K_5 \alpha_{dn} D + \rho_z \alpha_{zn} Z + K_1 \alpha_{ln} L + K_4 \alpha_{sn} S - \beta_1 N_1 - P_i \alpha_{an_j=1} \sum_{j=1}^n \mu_{aj} A_j$$

Tabell 2.4 (forts.)

$$\begin{array}{l} \text{NITRITE} \\ \text{NITROGEN (N}_2\text{)} \end{array} \quad \frac{\partial N_2}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial N_2}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} N_2)}{A_z \partial z} + \frac{S_{N_2}}{A_z dz} + \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2$$

$$\begin{array}{l} \text{NITRATE} \\ \text{NITROGEN (N}_3\text{)} \end{array} \quad \frac{\partial N_3}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial N_3}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} N_3)}{A_z \partial z} + \frac{S_{N_3}}{A_z dz} + \beta_2 N_2 - (1 - p_1) \alpha_{an} \sum_{j=1}^n \mu_{aj} A_j - \beta_3 N_3$$

$$\begin{array}{l} \text{DISSOLVED} \\ \text{OXYGEN (\phi)} \end{array} \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial \phi}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} \phi)}{A_z \partial z} + \frac{S_\phi}{A_z dz} - K_1 L - \Lambda_1 \beta_1 N_1 - \Lambda_2 \beta_2 N_2 - \Lambda_3 K_5 D - \Lambda_6 K_4 S$$

$$- \Lambda_4 (\rho_z Z + \sum_{j=1}^n \rho_{aj} A_j) + \Lambda_5 \sum_{j=1}^n \mu_{aj} A_j + K_2 (\phi^* - \phi)$$

$$\begin{array}{l} \text{HYGIENIC} \\ \text{INDICATOR (M)} \end{array} \quad \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial M}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} M)}{A_z \partial z} + \frac{S_M}{A_z dz} - K_3 M$$

$$\begin{array}{l} \text{SODIUM} \\ \text{LIGNOSULFONATE} \\ \text{(LS)} \end{array} \quad \frac{\partial LS}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial LS}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} LS)}{A_z \partial z} + \frac{S_{LS}}{A_z dz} - K_6 L$$

$$\begin{array}{l} \text{TOTAL DISSOLVED} \\ \text{SOLIDS (R)} \end{array} \quad \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial R}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} R)}{A_z \partial z} + \frac{S_R}{A_z dz}$$

$$\begin{array}{l} \text{ALKALINITY (Y)} \end{array} \quad \frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial Y}{\partial z})}{A_z \partial z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} Y)}{A_z \partial z} + \frac{S_Y}{A_z dz}$$

$$\begin{array}{l} \text{TEMPERATUR (T)} \end{array} \quad \frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\delta (A_z D_z \frac{\delta T}{\delta z})}{A_z \delta t} - \frac{\delta (A_z \bar{v} T)}{A_z \delta z} + \frac{S_T}{A_z dz} + H$$

Tabell 2.4 (forts.)

Symbolene i tabell 2.2 og 2.3 er benyttet.

I tillegg gjelder:

Symbol	Definisjon	Enhet	Avhengig av
A_z	Elementets horisontale areal	m^2	
CO_2	Karbondioksydets metningskonsentrasjon	mg/l	T
D_z	Vertikal diffusjonskoeffisient	m^2/s	
δ	Andel av elementets areal i kontakt med bunnen		
Δ_{aj}	Alger konsumert av zooplankton	mg/l/døgn	
ϵ	Elementets tykkelse	m	
ϕ^*	Det løste oksygenets metningskonsentrasjon	mg/l	T
K_2	Oksygenets luftningskoeffisient		
n	Antall algegrupper		
P_1	Preferansekoefisient til NH_3 i forhold til NO_3 ved algevekst		
H	Netto varmeutveksling med atmosfæren	kcal/s	
S_x	Tilførsel/uttak av komponenten x	kg/døgn (m^3/s)	
T_c	Utvekslingskoeffisient for karbondioksyd mellom luft og vannoverflaten	pr. døgn	
\bar{v}	Vertikal strømhastighet	m/s	
z	Vertikal koordinat (dybde)	m	

T: temperaturavhengig

2.5 Inputdata

Innsjøens topografi

Det kreves kjennskap til innsjøens areal som funksjon av dyp (hypsografiske kurve), antall tilløpselver og uttakenes høydenivå (dybde).

Koeffisienter

Det er nødvendig å stipulere verdiene til koeffisienter (ca 60 stykker) som beskriver fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i innsjøen, jamfør tabell 2.3. Mange av disse koeffisientene kan bestemmes tilstrekkelig nøyaktig ut fra litteraturen. For andre er det ønskelig/nødvendig å kalibrere ved hjelp av observasjoner i innsjøen eller laboratoriet.

Startforhold

De fysiske, kjemiske og biologiske variable som skal modelleres må være kjent ved simuleringens start, jamfør tabell 2.2. For å redusere antall observasjoner i innsjøen er det gunstig å velge starttidspunktet til en sirkulasjonsperiode. Da er også algeinnholdet såpass lite at feil stipulerte verdier får relativt begrenset betydning i fortsettelsen.

Tilløps og utløpsdata

Utløps-/uttaksvannføringen må være kjent.

I tilløpene er det nødvendig å kjenne både vannføring og vannkvalitet. Dessuten er det nødvendig å kjenne vannkvaliteten i tilløpene. Aktuelle parametre er: temperatur, oksygen, biologisk oksygenforbruk, bakterier, detritus, ammonium, nitrat, fosfat, partikkelinnhold, pH, alkalitet og alger.

I modellen benyttes vanligvis døgnmidler av disse verdiene. Imidlertid er det i praksis nødvendig med lengre innlesningsintervaller, f.eks. 1 uke.

Klimadata

Nødvendige parametre er vindstryke, lufttrykk, skydekke, lufttemperatur og duggpunkttemperatur.

Verdiene kan gis som middelvei over døgnet eller beskrive endringer i løpet av døgnet. Av praktiske grunner blir verdiene for det innleste døgnet gjerne tilpasset slik at de er representative for en bestemt periode, f.eks. en uke.

Kontrolldata

Selv om det kun er de overnevnte innlesningsdataene som blir benyttet i selve beregningene, er det behov for observasjonsmateriale fra innsjøen for å kalibrere modellen og kontrollere dens pålitelighet.

2.6 Programbegrensninger

Dataprogrammet inneholder følgende begrensninger:

maksimum antall horisontale elementer/nivåflater:	35
maksimum antall utløpselver/uttak	: 10
maksimum antall tilløpselver	: 10
maksimum antall alger/algegrupper	: 10

I den opprinnelige versjonen av dataprogrammet FINNECO var maksimum antall elementer lik 100. Det var nødvendig å redusere dette antallet til 35 for å kunne benytte NIVAs NORD-100 datamaskin.

3. BRUK AV MODELLEN PÅ GJERSJØEN

3.1 Beskrivelse av innsjøen og dens nedbørfelt

Gjersjøen (2,7 km²) ligger nær Oslo (fig. 1.1). Berggrunnen i nedbørfeltet (87,2 km²) består av gneis og granitt. Løsmassene består av marin leire og morene.

Innsjøen tilføres betydelige forurensninger fra befolkning og jordbruksvirksomhet. På grunn av rens tiltak har tilførselene blitt redusert.

Selv om algeveksten i de senere årene har avtatt kan innsjøen fortsatt betegnes som eutrof. Siktedypet om sommeren er vanligvis mellom 2 og 3 m. Karakteristisk surhetsgrad og konduktivitetsverdi er henholdsvis pH 7,0 og 1,5 mS/m.

Innsjøen nyttes som drikkevannskilde for 25000 personer. Uttaket, 200 l/s, tas på 36 m's dyp. Dette medfører at det ikke er overflateavløp i en større del av sommeren.

Diverse bakgrunnsmateriale går frem av tabell 3.1 - 3.2 og fig. 3.1 - 3.3. For mer informasjon henviser vi til Faafeng 1985. Rapporten inneholder også liste over tidligere rapporter og publikasjoner om Gjersjøen.

Tabell 3.1 Karakteristiske innsjødata (Holtan 1972)

Overflateareal	2,68	km ²
Høyde over havet	42	m
Største dybde	64	m
Volum	61,2	mill. m ³
Midlere dybde	23	m
Største lengde	5000	m
Største bredde	900	m
Midlere avløp (1971-78)	0,67	m ³ /s
Teoretisk oppholdstid	ca 3	år

Tabell 3.2 Arealfordeling i Gjersjøens nedbørfelt (Holtan 1972)

	km ²	%
Totalt areal	87,20	100
Jordbruk	13,20	15
Skog	60,46	69
Myr	2,15	2
Vannoverflate	4,75	5
Bebodd areal	6,64	8

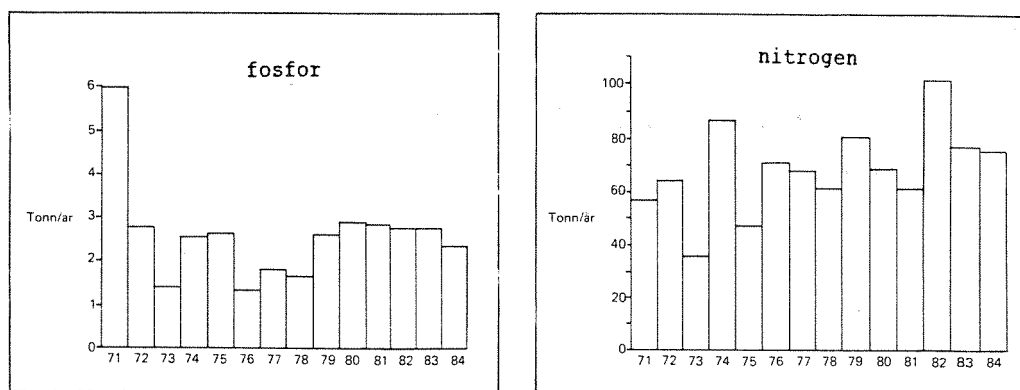


Fig. 3.1 Årlige tilførsler av fosfor og nitrogen (Faafeng 1985)

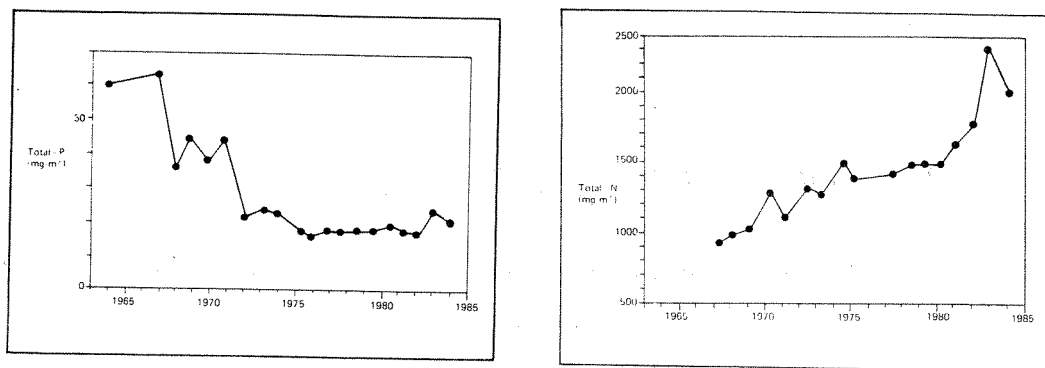


Fig. 3.2 Konsentrasjon av fosfor og nitrogen i vårsirkulasjonen (Faafeng 1985)

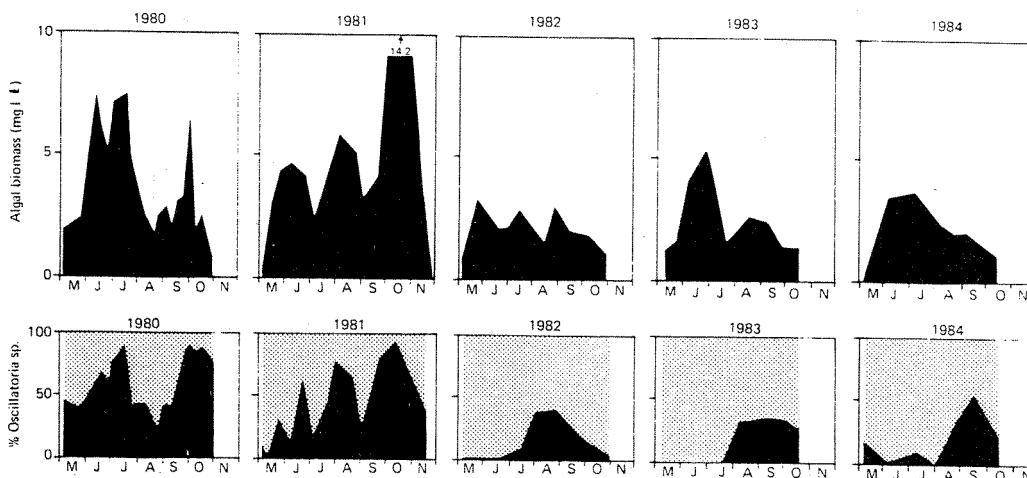


Fig. 3.3 Total konsentrasjon av planteplankton (øverst) og andelen av blågrønnalger (nederst) (Faafeng 1985).

3.2 Kalibrering av modellen for Gjersjøen 1980

Perioden 9. april - 30. oktober 1980 ble valgt for simuleringene, noe som tilsvarer perioden mellom vår og høstsirkulasjonen.

Det ble tatt ukentlige prøver i elvene for analyse av vannkjemi, samt vann-temperatur.

Vannføringer og klimadataene: vindhastighet, skydekkeprosent, lufttemperatur, doggpunkt og lufttrykk ble registrert daglig. Klimadataene ble observert på As av Det norske meteorologiske institutt.

I modellen ble verdier tilsvarende middeldøgnet i uken lest inn for hver uke. Nye outputverdier ble beregnet fremover i tiden med en periode på 8 timer.

Benyttede verdier på en del koeffisienter er vist i vedlegg 1.

Noen av de viktigste inputvariable i simuleringsperioden er vist på fig. 3.4.

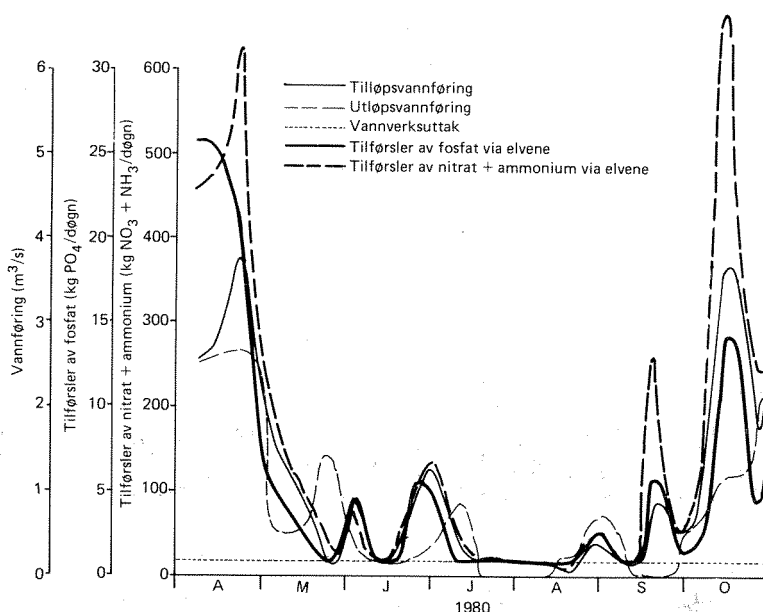


Fig. 3.4 De største tilførslene av vann og næringsstoffer kom vår og høst. Utløpselven var tørrlagt i store deler av juli, august og september.

I Gjersjøen er det en stor fiskebestand. Særlig mort bidrar til en betydelig gjødsling av vannmassene ved at den spiser store mengder bunnslam (sediment) som igjen utskilles i fordøyd form i de øvre vannmassene, jamfør fig. 3.5 (Brabrant og medarb., in press). I modellen ble dette bidraget tilført vannmassene på 5 m's dyp, hvilket er en vanlig oppholdsdybde for mort ifølge ekkoloddinger og prøvefiske.

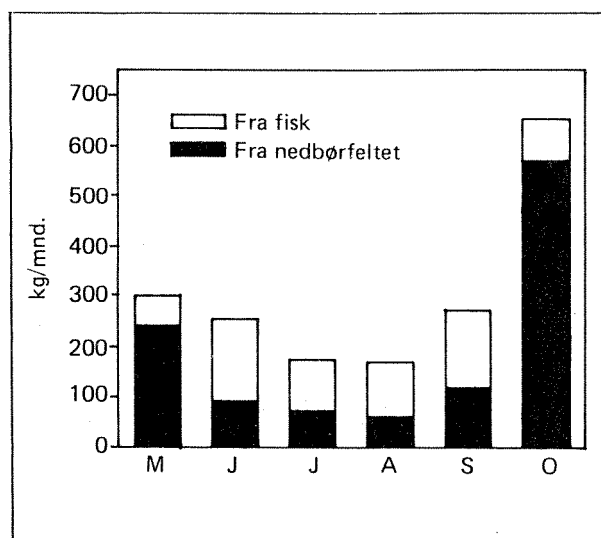


Fig. 3.5 Fosfortilførslene fra mort ble i 1980 beregnet til å utgjøre en betydelig del av de samlede tilførslene (Faafeng 1985).

Data for kontroll av beregningene ble samlet inn fra sentrum av innsjøen (fig. 1.1).

Modellen simulerte temperaturutviklingen meget godt (fig. 3.6). Også pH og oksygen ble godt gjengitt.

Modellen ga et realistisk inntrykk av utviklingen av fosfat (LMR-P) i overflatelaget (fig. 3.7). Da observasjonsmaterialet gjennomgående består av blandprøver fra 0-10 m er det ikke mulig på en fullgod måte å vurdere om simuleringens resultatene gir et nyansert bilde av virkeligheten. I dyplagene er observasjonsmaterialet for lite til at vi kan vurdere simuleringens pålitelighet.

Beregnete nitratverdier viste rimelig god overensstemmelse med observasjonsresultatene (fig. 3.7).

Modellen viste hovedtrekkene i algeutviklingen. Blågrønnalgen Oscillatoria agardhii var dominerende (fig. 3.8). Det var en kraftig oppblomstring om våren, reduksjon utover sommeren og en ny topp om høsten.

Observasjonene viste at Oscillatoria-konsentrasjonen avtok raskere utover sommeren enn modellresultatene antydte. Dette skyldes at denne algen, som vanligvis har svært lav sedimentasjonshastighet kan sedimentere meget raskt under spesielle vekstforhold.

Vi valgte en konstant sedimentasjonshastighet på 4 cm pr. døgn. Som vi ser av fig. 3.9 øker algekonsentrasjonen betydelig om vi ikke lar Oscillatoria sedimentere i det hele tatt.

Ved å øke sedimentasjonshastigheten til f.eks. 6 cm/døgn ble "vår og høst toppene" urealistisk lave. Det er følgelig særlig viktig å beskrive sedimentasjonsprosessene godt for denne arten. De prosessene som beskriver den periodevis raske sedimentasjonen er ikke dokumentert og det lyktes ikke å ta tilstrekkelig hensyn til dette i modellen.

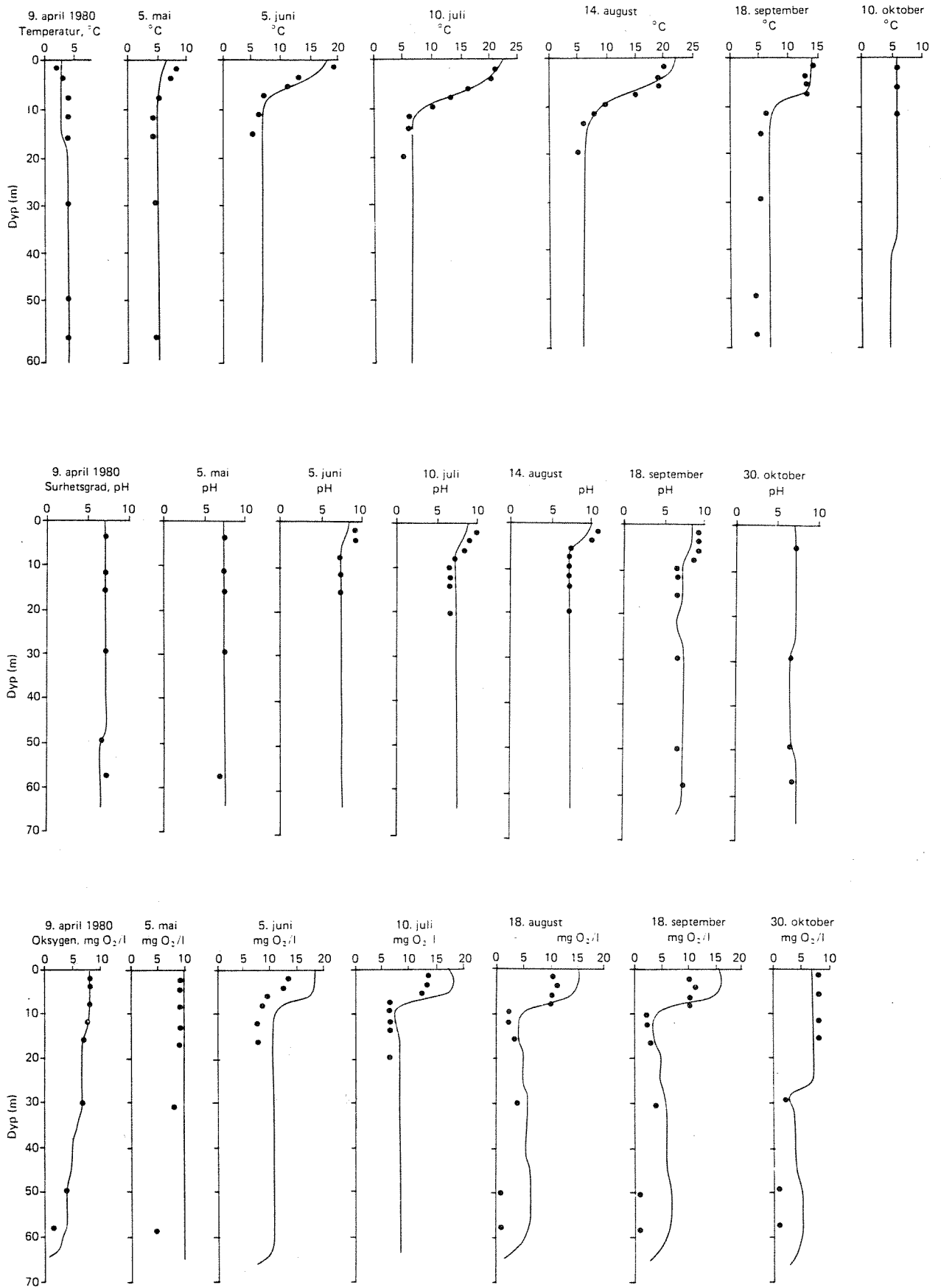


Fig. 3.6 Det var god overensstemmelse mellom observerte (•) og simulerte (-) verdier av temperatur, pH og oksygen.

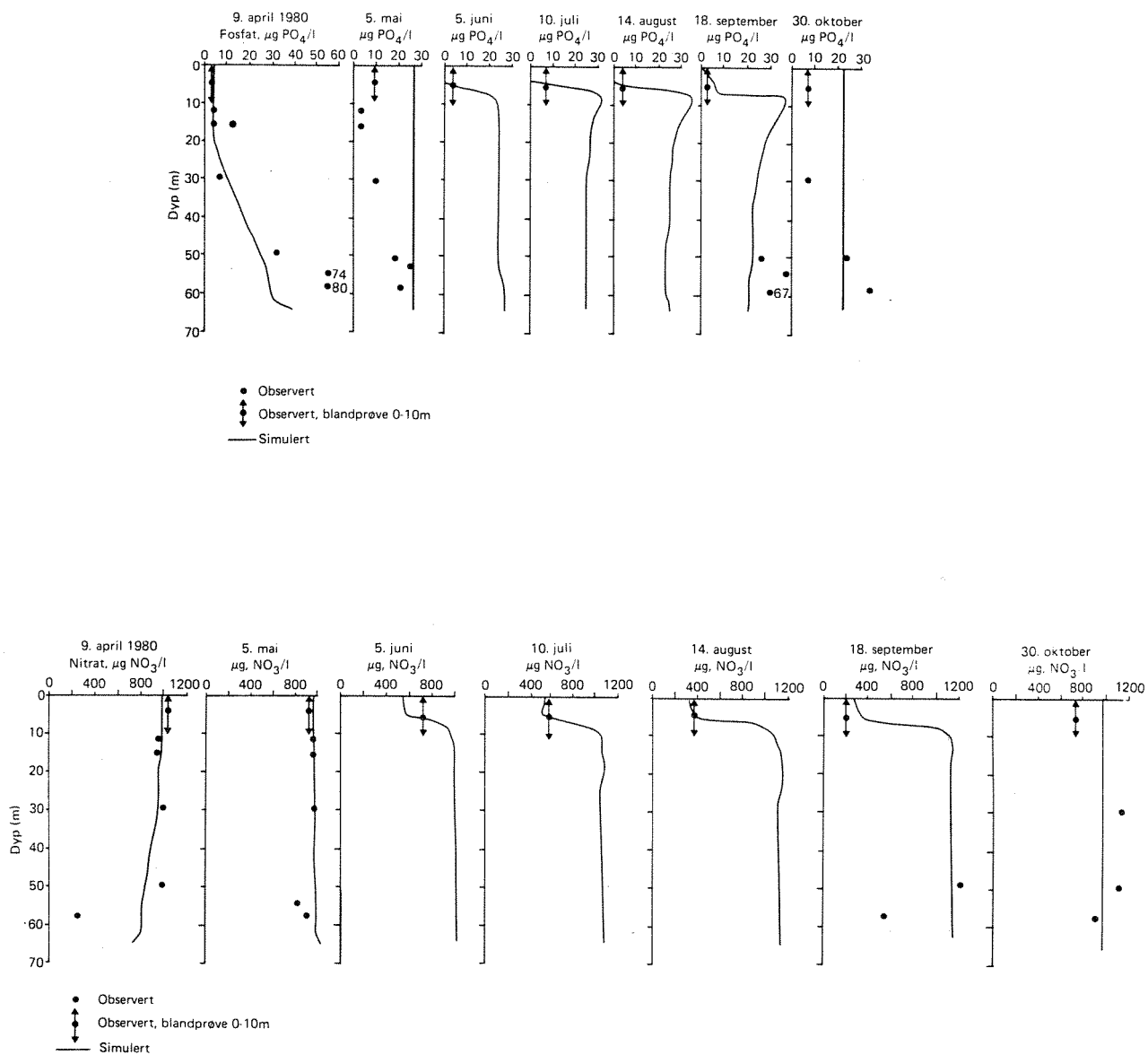


Fig. 3.7 Fosfat og nitrat.
Simuleringene (-) ga et rimelig godt inntrykk av forholdene

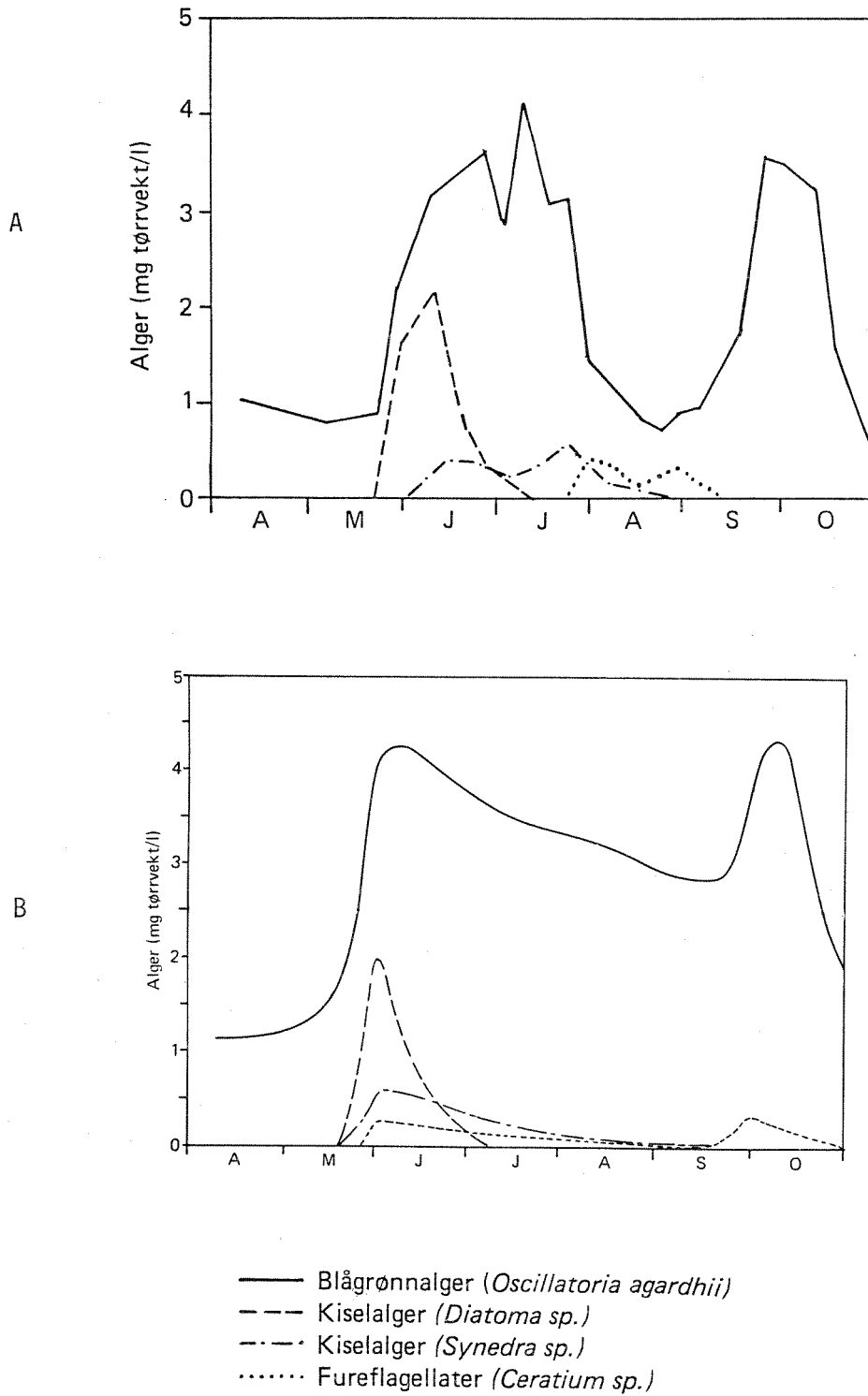


Fig. 3.8 Den simulerte algeveksten (0-10 m) viste hovedtrekkene i algeutviklingen for 1980. A: Observert (7-døgns flytende middel), B: Simulert.

I tillegg har Oscillatoria evne til å regulere oppholdsdybden. Det er i en rekke innsjøer blitt påvist høye konsentrasjoner i sprangsjiktet. I Gjersjøen er det i år med dominans av Oscillatoria agardhii blitt påvist et karakteristisk maksimum i klorofyllinnholdet mellom 6 og 8 meters dyp om sommeren (Faafeng 1984). I modellen tok vi teknisk hensyn til denne effekten ved å forflytte noe av Oscillatoria-mengden (ca 3% pr. døgn) fra overflatelaget (0-4 m) til dette nivået. Det ble dermed oppnådd en konsentrasjonsfordeling med dypet i rimelig samsvar med observerte klorofyll-a-verdier.

Den simulerte utviklingen av øvrige arter viste jevnt god overensstemmelse med observasjonene. Avvik i august kan forklares med at modellen simulerte for høye verdier for Oscillatoria slik at det (i modellen) ble mindre næring tilgjengelig for de andre algene på dette tidspunktet.

I følge modellen var algekonsentrasjonene små i april på grunn av lav vann-temperatur og sirkulasjon i vannmassene. Etterat det ble dannet et sprangsjikt økte algeinnholdet raskt. Dette på grunn av høyere temperatur og stor tilgang på næringsalter. Reduksjonen utover sommeren skyldtes hovedsakelig fosforbegrensning, se fig. 3.6. Økte fosfortilførsler medvirket til en ny topp ut på høsten. På grunn av redusert lystilgang og redusert vanntemperatur med påfølgende sirkulasjon i vannmassene, avtok algekonsentrasjonen raskt utover i oktober.

3.3 Bruk av modellen til å studere effekter av endrede inputverdier

Vi skal her vise noen eksempler på bruk av modellen til å studere effekter som følge av endrede inputverdier i forhold til observasjonene i 1980.

Vi antar at vannverkets vannuttak på ca 30 m's dyp øker til det dobbelte, dvs. fra $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ til $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Ifølge modellen fører dette til økt algevekst kun på høsten (fig. 3.10). Dette fortrinnsvis pga tørrlagt utløpselv og dermed redusert avløp fra det næringsrike overflatelaget.

Dersom vi i tillegg til økt vannuttak også øker fosfortilførslene med 50% blir Oscillatoria-veksten større hele sommeren igjennom (fig. 3.10).

Vi ser av fig. 3.9 at fosfortilførslene fra fisk (mørt) på 5 m's dyp først og fremst førte til økte Oscillatoria-konsentrasjoner om høsten. Bidraget til våroppblomstringen var neglisjerbart fordi fosforet da ble tilført vannmassene under sprangsjiktet, noe som hemmet transporten opp til det produktive overflatelaget. Dersom fisketilførslene hadde funnet sted ved overflaten, ville også algekonsentrasjonen om våren ha økt. Usikkerhet om fiskens vandring/oppholdsdybde og dens betydning som fosforkilde gjør at også en vurdering av dens betydning for algeveksten blir noe usikker.

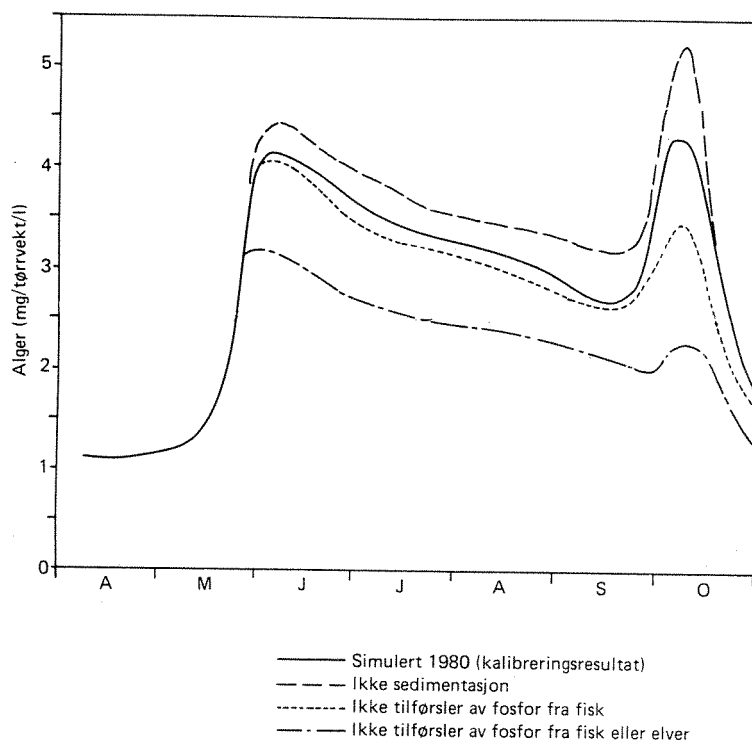


Fig. 3.9 Oscillatoria agardhii, 0-10 m.

Redusert sedimentasjonshastighet medfører økt algekonsentrasjon. Fosfortilførsler fra fisk (mørt) på 5 m's dyp har størst betydning på høsten. Innsjøens fosforinnhold under vårsirkulasjonen er meget viktig for algeutviklingen i hele vekstsesongen.

Vi antar så at fosfortilførslene både fra fisk og tilløpselvene opphører fullstendig etter vårsirkulasjonen. I følge modellen blir oppblomstringen av Oscillatoria om våren likevel betydelig. Forløpet har derfor sammenheng med utnyttelse av fosforinnholdet i vannmassene under vårsirkulasjonen. Tilførsler fra hypolimnion ved erosjon av sprangsjiktet utover sommeren ville være tilstrekkelig til å opprettholde en relativ høy algevekst også da. At høsttoppen uteblir tyder på at fosfortilførslene fra elvene normalt er dominerende årsak til algeoppblomstring på denne tiden.

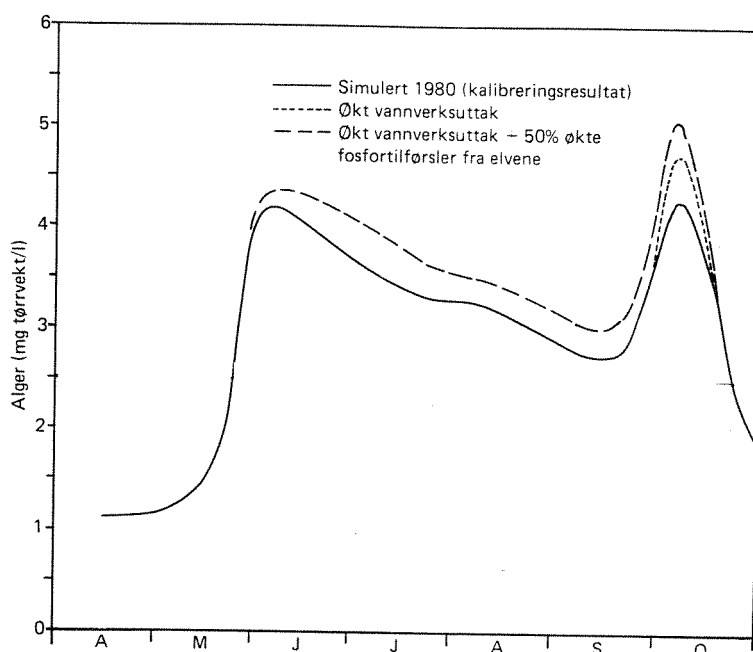
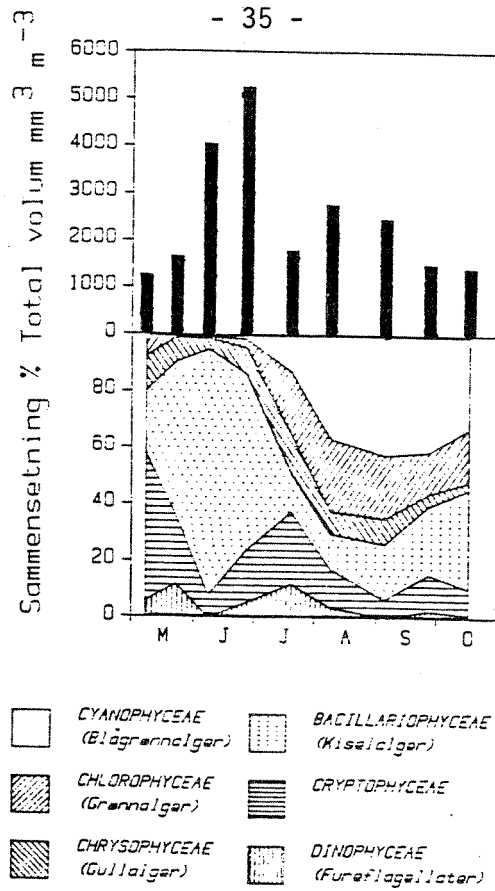


Fig. 3.10 Oscillatoria agardhii, 0-10 m.

Økt drikkevannsutttak fører til økt algevekst på høsten. Dersom også fosfortilførslene øker blir algeveksten større hele sommeren.

observert
(Faafeng, 1984)



simulert

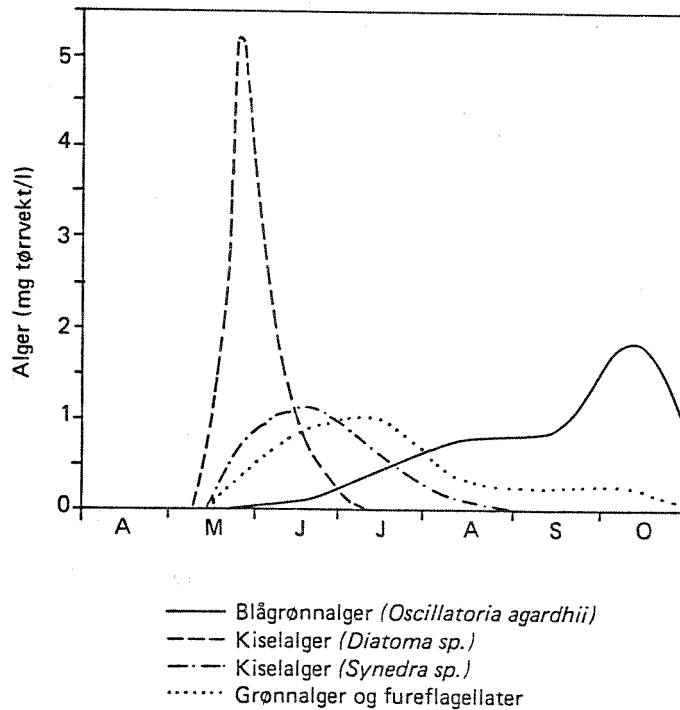


Fig. 3.11 Lav konsentrasjon av blågrønnalgen *Oscillatoria agardhii* om våren (som i 1983) medførte at denne algen først ble dominerende på høsten og andre alger ble mer fremtredende på forsommeren. Observasjoner i 1983 tyder på at denne utviklingen er realistisk. A: observert 1983, B: simulert (tilførsler som i 1980).

Forrige eksempel viser at forholdene ved vekstsesongens start under vår-sirkulasjonen er avgjørende for utviklingen i løpet av sommeren. Dette gjelder innholdet av næringssalter, men også innholdet av alger. I 1980 var konsentrasjonen av Oscillatoria ved simuleringens start ca 1,1 mg/l. Dette ga denne arten et konkurransemessig forsprang overfor de øvrige algene som hadde konsentrasjoner på omkring 0,01 mg/l. Ved å redusere Oscillatoria-innholdet om våren til samme størrelse som de øvrige algetypene, hvilket er i overensstemmelse med situasjonen i 1983, viste det seg at andre alger ble dominerende på forsommeren. Oscillatoria ble først fremtredende på sensommeren og da i langt mindre grad enn det kalibreringsresultatet for 1980 viser. Dette er også i samsvar med den reelle utviklingen i Gjersjøen i 1983 (fig. 3.11).

4. SLUTTBEMERKNINGER

Den fysiske delen av modellen omfatter tilløp, utløp og vertikal utveksling av vann og varme i innsjøen. Selv om bestemmelsen av diffusjonskoeffisientene m.m. nok kan forbedres, beskriver modellen disse prosessene godt. For kalibrering av modellen for Gjersjøen 1980 hadde usikkerheten i de fysiske forholdene relativt liten betydning for de endelige kjemiske og biologiske simuleringsresultatene.

Den kjemisk-biologiske delen av modellen beskriver et meget komplekst samspill av ulike prosesser. Modellen beskriver mange av de viktigste prosessene, men dette vil selvsagt alltid representere en betydelig forenkling av virkeligheten. Det er forbundet med store problemer å bestemme de ulike koeffisientene som beskriver reaksjonshastighetene m.m. med tilstrekkelig nøyaktighet. Koeffisientene vil ofte kunne endres over tid. Ulike algesammensetninger krever f.eks. ulike koeffisienter. Algetester i laboratorier og erfaringer fra andre undersøkelser er til god hjelp. Men for en rekke av koeffisientene er det nødvendig med kalibrering mot observert data. Kalibreringsprosedyren kan være meget tidkrevende.

En best mulig presisjon i simuleringsresultatene kan lett føre til et uoverkommelig behov for kontrolldata. I praksis må dette avpasses i forhold til økonomi og den nøyaktighet det er behov for i hvert enkelt tilfelle. Det vil imidlertid ikke være forsvarlig å bruke modellen på innsjøen uten at det foreligger kalibreringsdata.

Videre er det ønskelig å verifisere modellen på uavhengig materiale. Det vil si å teste modellen med uforandrede koeffisienter på andre år med ulike vannkvalitetsforhold. Dette vil gi informasjon om modellens pålitelighet ved eventuelle prognoser om effekter som følge av forurensningsbegrensende tiltak, reguleringstiltak m.m. Forholdene i Gjersjøen 1983, da algesammensetningen var meget forskjellig fra 1980, vil for eksempel være meget gunstig for en slik verifisering, jamfør fig. 3.11.

Modellen simulerer totalt 18 kjemiske og biologiske variable, jamfør tabell 2.2. Manglende observasjonsmateriale hindrer vanligvis en test på alle disse. Da de ulike variable dessuten kan ha ulik betydning i fra

innsjø til innsjø, er det ønskelig å teste modellen på flere typer innsjøer. Vi regner det for spesielt interessant å teste modellen på en grunnere innsjø med f.eks. fosforlekkasje fra sedimentene på grunn av oksygenvinn i bunnvannet, og innsjøer med høyere og lavere trofigrad i forhold til Gjersjøen.

Samsillet mellom fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i innsjøer er meget komplisert. For å kunne gi kvantitative prognoser om effekter av endrede tilførsler m.m., vil det i mange tilfeller være helt nødvendig med en omfattende modellering. Modellen FINNECO synes å bidra til å komme et skritt i riktig retning.

5. REFERANSER

- Chen, C.W. and Orlob, G.T. 1972. Ecological Simulation for Aquatic Environments. Final Report prepared for the Office of Water Resources Research, U.S. Department of the Interior. Water Researches Engineers, Inc. Walnut Creek, California.
- Faafeng, B. 1981. Rutineundersøkelser i Gjersjøen 1968-1980. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 3/81. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Faafeng, B. 1984. Rutineovervåking av Gjersjøen med tilløpsbekker 1983. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 143/84. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Faafeng, B. 1985. Overvåking av Gjersjøen - Akershus. Utvidet rutineundersøkelse 1984. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Gaume, A.N. and Duke, J.H. 1974: Simulation of measured water quality and ecologic responses of Barletts Ferry reservoir using the reservoir ecologic modell EPAECO. Water Resources Engineers, Walnut Creek, California.
- HEC 1978. Water Quality for River-Reservoir System. U.S. Army Corps of Engineers. The hydrologic Engineering Center. California.
- Holtan, H. 1972. Gjersjøen - a eutrophic lake in Norway. Verh. Int. Verein. Limnol. 18.
- Kauranne, T. 1983: Computer Program documentation for the Lake Model FINNECO and the River Model QUAL-II. National Board of Waters, Finland. Helsinki.

VEDLEGG 1 Eksempel på inputparametre og utskrift

Algae group 1: Blågrønnalger (Oscillatoria agardhii)

Algae group 2: Blågrønnalger (Anabena sp.)

Algae group 3: Grønnalger og fureflagelater

Algae group 4: Kiselalger (Diatoma sp.)

Algae group 5: Kiselalger (Synedra sp.)

SIMULATION DAYS 2U7
 SPECIAL PRINT DAYS 7
 OUTPUT FREQ(DAYS) 15
 VERT OUTPUT 1
 OUTPUT INTERVAL(HRS) 2
 NWA OUTLETS 2
 WEATHER OBS HRS 24
 WEATHER FREQ 7
 LOADING FREQ 7
 REPEATED EA 3
 NUMBER TRIBS 6
 ALGAE GROUPS 5
 NO.VERT.PROF.PTS. 5

NORMAL DZ 2.00
 MAXIMUM EL 56.0
 EA DEPTH 3.000E+00
 EVAP COEFF A 0.000E+00
 EVAP COEFF B 1.500E-09
 MIN STAB -1.000E-01

CRITICAL STAB 3.000E-06
 LOW GRAD COFF 2.000E-05
 CALC INTERCEPT 2.725E-09
 EXPONENT -7.000E-01
 REACH LENGTH 3.000E+03
 WATER SURFACE 6.400E+01

WATER CONDITIONS

CRITICAL STAB 1.400E-06
 LOW GRAD COFF 1.000E-04
 CALC INTERCEPT 1.400E-10
 EXPONENT -1.000E+00
 REACH LENGTH 3.000E+03
 WATER SURFACE 6.400E+01

OUTLET	ELEVATION	EFF WIDTH
1	2.800E+01	1.000E+00
2	6.350E+01	1.000E+00

NO	ELEVATION	SEC AREA	CULM VOL	DELTA VOL	DELT AREA
1	2.0	5.000E+04	.000E+00	1.500E+05	5.000E+04
2	2.0	1.000E+05	1.500E+05	2.700E+05	7.000E+04
3	4.0	1.700E+05	4.200E+05	4.200E+05	8.000E+04
4	6.0	2.500E+05	8.400E+05	5.700E+05	7.000E+04
5	8.0	3.200E+05	1.100E+06	7.100E+05	7.000E+04
6	10.0	3.700E+05	2.120E+06	8.400E+05	6.000E+04
7	12.0	4.200E+05	2.960E+06	9.300E+05	3.000E+04
8	14.0	4.500E+05	3.390E+06	9.900E+05	3.000E+04
9	16.0	5.100E+05	4.830E+06	1.050E+06	3.000E+04
10	18.0	5.400E+05	5.930E+06	1.110E+06	3.000E+04
11	20.0	5.700E+05	7.040E+06	1.170E+06	3.000E+04
12	22.0	6.000E+05	8.210E+06	1.240E+06	4.000E+04
13	24.0	6.300E+05	9.450E+06	1.320E+06	7.000E+04
14	26.0	6.300E+05	1.077E+07	1.390E+06	3.000E+04
15	28.0	7.100E+05	1.216E+07	1.450E+06	3.000E+04
16	30.0	7.400E+05	1.361E+07	1.540E+06	6.000E+04
17	32.0	8.000E+05	1.515E+07	1.680E+06	8.000E+04
18	34.0	8.500E+05	1.683E+07	1.840E+06	8.000E+04
19	36.0	9.500E+05	1.867E+07	2.000E+06	8.000E+04
20	38.0	1.040E+06	2.067E+07	2.160E+06	8.000E+04
21	40.0	1.120E+06	2.283E+07	2.320E+06	8.000E+04
22	42.0	1.200E+06	2.515E+07	2.430E+06	8.000E+04
23	44.0	1.280E+06	2.753E+07	2.660E+06	1.000E+05
24	46.0	1.330E+06	3.029E+07	2.860E+06	1.000E+05
25	48.0	1.430E+06	3.315E+07	3.030E+06	1.000E+05
26	50.0	1.530E+06	3.621E+07	3.230E+06	1.200E+05
27	52.0	1.700E+06	3.949E+07	3.500E+06	1.500E+05
28	54.0	1.850E+06	4.304E+07	3.850E+06	1.500E+05
29	56.0	2.000E+06	4.689E+07	4.150E+06	1.500E+05
30	58.0	2.150E+06	5.104E+07	4.500E+06	2.000E+05
31	60.0	2.300E+06	5.554E+07	4.900E+06	2.000E+05
32	62.0	2.500E+06	6.044E+07	5.300E+06	2.000E+05
33	64.0	2.700E+06	6.574E+07	5.500E+06	5.000E+04
34	66.0	2.900E+06	7.129E+07	.000E+00	.000E+00

O₂, PER DAY .300
 NH₃-N, PER DAY .200
 NO₃-N, PER DAY .200
 NO₂-N, PER DAY .500
 DETRITUS, PER DAY .020
 ORG.SED., PER DAY .005
 FIG.IRD., PER DAY .150
 LIQ.SULPH., PER DAY .020
 PHOSPH.LEACH., PER DAY .020
 PHOSPH.PREC., PER DAY .020

THEIA PARAMETERS A AND B

BOD 1.04700
 NITRIF.RATE 1.08000
 DENITRIF.RATE 1.08000
 DETRITUS DECAY 1.12500
 ORG.SED. DECAY 1.12500
 FIG.IRD. DELAY 1.06000
 LIQ.SULPH.DECAY 1.15800
 PHOSPH.LEACH RATE 1.12500
 PHOSPHATE PHOSP.PREC. 1.08000
 NITRATE DECAY RATE 1.08000

ZOOPLANKTON RATE COEFFICIENTS

GROWTH .100E+00
 MORTALITY .200E-01
 ACTIVE RESPIRATION .150E-01
 PASSIVE RESPIRATION .100E-02
 THEIA PARAMETERS A AND B .108E+01

CELLULAR EQUIVALENCE

O₂GEN CONSUMPTION OF NITRIFICATION 4.47000
 O₂GEN PRODUCTION OF DENITRIFICATION 1.140
 O₂GEN CONSUMPTION OF DETRITUS DECAY 1.450
 O₂GEN CONSUMPTION OF ORG.SEDIMENT DECAY 1.450
 O₂GEN PRODUCTION OF ALGAL GROWTH 1.800
 O₂GEN CONSUMPTION OF ALGAL RESPIRATION 1.800

DETRITUS DATA

PHOSPHORUS FRACTION OF DETRITUS .006
 NITROGEN FRACTION OF DETRITUS .040
 CARBON FRACTION OF DETRITUS .300
 DETRITUS SEDIMENTATION RATE .050

RESPIRATION RATES, PER DAY

ALGAE GROUP NUMBER	ACTIVE	PASSIVE
1	.400E-01	.100E-02
2	.100E+00	.100E-02
3	.100E+00	.100E-02

JOB DATA

PHOSPHORUS FRACTION OF BOD .00300
 NITROGEN FRACTION OF BOD .01000
 CARBON FRACTION OF BOD .20000

MAXIMUM SPECIFIC GROWTH RATE, PER DAY

PHYTOPLANKTON, GROUP 1 1.000000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 2 2.500000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 3 2.500000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 4 1.800000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 5 2.500000

SPECIFIC MORTALITY RATE, PER DAY

PHYTOPLANKTON, GROUP 1 .005000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 2 .005000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 3 .005000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 4 .005000
 PHYTOPLANKTON, GROUP 5 .005000

SETTLING RATE, PER DAY, GROW - NOGROW

PHYTOPLANKTON, GROUP 1 .400E-01
 PHYTOPLANKTON, GROUP 2 .100E-01
 PHYTOPLANKTON, GROUP 3 .100E-01
 PHYTOPLANKTON, GROUP 4 .600E-01
 PHYTOPLANKTON, GROUP 5 .100E-01

HALF-SATURATION CONSTANTS OF ALGAE

ALGAE	Light	CO2	N	P04
1	.001	.020	.040	.005
2	.005	.020	.010	.010
3	.005	.050	.080	.010
4	.005	.030	.060	.010
5	.005	.050	.060	.010

TEMPERATURE TOLERANCE LIMITS, DEGREE C

ALGAE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
1	1.000	30.000
2	4.000	30.000
3	5.000	30.000
4	4.000	20.000
5	.000	27.000

METEOROLOGIC DATA

SHORTWAVE RAD(KC/M2/S) 9.020E+02
 LONGWAVE RAD(KC/M2/S) 5.921E-02
 DRY BULB TEMP(DEG C) 4.100
 WEA POINT TEMP(DEG C) .300
 WIND SPEED(M/SEC) .977
 EVAPORATION RATE(M/H) .012
 TOTAL EVAPORATION(M) .000
 HEAT CONTENT (MCAL) .21601E+09

GENERAL INFORMATION

WATER ELEV(M) 6.40E+01
 SURF AREA(M2) 2.75E+06
 TOTAL VOL(M3) 6.59E+07
 TOTAL INFLOW(CMS) 1.09E+00
 TOTAL OUTFLOW(CMS) 2.96E+02
 RESIDENCE TIME(D) -3.806
 ALGAL PROD(MG/M2/D) 45.
 PRIM PROD (MG C/M2/D) 0.

ALG 1 ALG 2 ALG 3 ALG 4 ALG 5 ALG 6 ALG 7 ALG 8 ALG 9 ALG 10 SUM ZOO
 100. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1155. 100.

INFLOW AND OUTFLOW QUALITIES

INFL	TEMP	DO	SS	ALKA	PH	CO2C	NH3N	NO3N	NO2N	P04P	HYGI0	ALGA1	ALGA2	ALGA3	DETRI	TDS	SLS
MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MPN/100	UG/L	UG/L	UG/L	MG/L	MG/L	MG/L
1	1.00	1.20	5.25	90.	7.7	1931.	195.	1270.	0.	190.	5000.0	0.	0.	0.	2.9	5.	0.
2	1.00	14.20	5.29	90.	7.5	3399.	228.	1440.	0.	35.	5000.0	0.	0.	0.	3.1	17.	0.
3	2.00	15.80	6.00	90.	7.4	5912.	186.	1040.	0.	38.	5000.0	0.	0.	0.	1.8	9.	0.
4	1.00	1.20	7.06	90.	7.3	4757.	960.	1800.	0.	200.	5000.0	0.	0.	0.	3.6	17.	0.
5	1.00	1.20	6.55	90.	7.4	3805.	983.	2450.	0.	290.	5000.0	0.	0.	0.	5.4	84.	0.
6	1.00	1.20	5.29	90.	7.5	5399.	228.	1440.	0.	35.	5000.0	0.	0.	0.	3.1	10.	0.

INFLOW QUALITIES

INFL	TEMP	DO	SS	ALKA	PH	CO2C	NH3N	NO3N	NO2N	P04P	HYGI0	ALGA1	ALGA2	ALGA3	DETRI	TDS	SLS
MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MPN/100	UG/L	UG/L	UG/L	MG/L	MG/L	MG/L
1	203.7	52.3	2.8	18.2	2.7	.17											
2	400.6	168.5	7.2	45.3	1.1	.36											
3	403.0	173.2	5.4	31.0	1.1	.34											
4	1313.2	655.8	88.9	166.7	18.5	1.07											
5	23.5	10.4	1.6	4.0	.5	.02											
6	739.4	283.1	12.2	77.0	1.9	.62											
TOT.	5151.2	1541.4	118.1	342.2	25.8	2.58											

INFL	TEMP	DO	SS	ALKA	PH	CO2C	NH3N	NO3N	NO2N	P04P	HYGI0	ALGA1	ALGA2	ALGA3	DETRI	TDS	SLS
MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MPN/100	UG/L	UG/L	UG/L	MG/L	MG/L	MG/L
1	2.36	7.03	3.29	60.	7.1	4972.	3.	982.	0.	12.	699.6	1133.	5.	5.	.7	1.	0.
2	2.62	8.72	3.29	60.	7.2	4364.	3.	1029.	0.	4.	802.8	1135.	5.	5.	.7	1.	0.
AVERAGE	2.92	3.03	5.29	60.	7.1	4606.	3.	1010.	0.	7.	760.5	1134.	5.	5.	.7	1.	0.

INFLOW DISTRIBUTION(BOTTOM TO TOP)
 GATE 1
 FLOW CMS .45