

0-

1913

85112

ARKIV  
EKSEMPLAR

1.

O-85112 O-86090 E-86600

# Simulering av økologiske forhold i Gjersjøen ved bruk av modellen

FINNECO

Rapport nr. 2

# 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 97 00

Prosjektnr.: 0-85112 0-86090 E-86600
Undernummer: 1
Løpenummer: 1913
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Simulering av økologiske forhold i Gjersjøen ved bruk av modellen FINNECO. Rapport nr. 2	Dato: 10. november 1986
	Prosjektnummer: 0-85112 0-86090 E-86600
Forfatter (e): Torulv Tjomsland Bjørn Faafeng	Faggruppe: Vassdrag
	Geografisk område: Akershus
	Antall sider (inkl. bilag): 51

Oppdragsgiver: Norsk hydrologisk komité (NHK) Statens forurensningstilsyn (SFT) Norsk institutt for vannforskning (NIVA)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Økologiske forhold i Gjersjøen ble simulert med den matematiske modellen FINNECO for sommerhalvårene i 1971, 1980 og 1983. Resultatene ble sammenlignet med feltobservasjoner. Modellen simulerte temperatur meget godt, vannkjemi bra og viste hovedtrekkene i algeutviklingen. Grunnlaget for å ta beslutninger om tiltak osv. vil i mange tilfeller bli forbedret ved bruk av modellen.
---

4 emneord, norske:
1. Gjersjøen
2. Vannkvalitet
3. Alger
4. Matematisk modell FINNECO

4 emneord, engelske:
1. Lake Gjersjøen
2. Water quality
3. Algae
4. Mathematical model FINNECO

Prosjektleder:

*Torulv Tjomsland*

For administrasjonen:

*Bjørn Faafeng*

ISBN 82-577-1134-9

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

OSLO

0-85112 0-86090 E-86600

SIMULERING AV ØKOLOGISKE FORHOLD

I GJERSJØEN VED BRUK AV MODELLEN

FINNECO

Rapport nr. 2

Oslo, 10.november 1986

Prosjektleder : Torulv Tjomsland

Medarbeider : Bjørn Faafeng

## FORORD

Arbeidet er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet er finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT), Norsk hydrologisk komité (NHK) og interne forskningsmidler fra NIVA.

Vi har fått oversendt dataprogrammet til modellen FINNECO fra Vattenstyrelsen i Finland v/Jorma Niemi. Bjørn Faafeng, som i en årrekke har utført limnologiske studier i Gjersjøen, har bidratt til det løpende arbeidet med råd og korrektur. Torsten Källqvist (NIVA) har med sine laboratorieforsøk bidratt med hjelp til å bestemme de ulike koeffisientene som beskriver algenes vekst.

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.

Det er tidligere innen prosjektet gitt ut en innledende rapport om bruk av modellen FINNECO på Gjersjøen (Tjomsland 1986).

## 1. SAMMENDRAG

Arbeidet som presenteres i denne rapporten gikk ut på å teste den matematiske modellen FINNECO mot observerte data fra Gjersjøen for somrene 1971, 1980 og 1983. Målet med prosjektet var å kunne utarbeide kvantitative prognoser om økologiske forhold i innsjøen.

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 km<sup>2</sup>. Største dyp er 63 m. Innsjøen er næringsrik (eutrof). Imidlertid er vannkvaliteten blitt sterkt forbedret i perioden 1971-1983 p.g.a. tiltak for å redusere kloakktilførslene m.m.

Modellen simulerte temperaturutviklingen meget bra. Også de kjemiske forholdene ble brukbart modellert (fig. 1.1). Videre ble hovedtrekkene i algeutviklingen riktig gjengitt (fig. 1.2).

Simuleringsresultatene for Gjersjøen viste at modellen kan være nyttig til å prognosere hvordan effekten av tiltak i nedbørfeltet kan influere på de økologiske forholdene i innsjøen. Den kan bidra til å klarlegge enkeltfaktorenes betydning, være til hjelp for å kunne skille viktige prosesser fra mindre viktige og dermed øke forståelsen av innsjøens økosystem. Dette kan også utnyttes til å utarbeide et hensiktsmessig program for datainnsamling i felt.

Grunnlaget for å ta beslutninger om nye tiltak osv. vil i mange tilfeller utvilsomt bli forbedret ved bruk av modellen FINNECO.

Det er nødvendig å kalibrere modellen mot feltobservasjoner før den kan brukes til prognoser mm.

Det er ønskelig å teste modellen for innsjøer med høyere og lavere trofigrad enn Gjersjøen, samt for grunnere innsjøer hvor det f.eks. er fosforlekkasjer fra sedimentene.

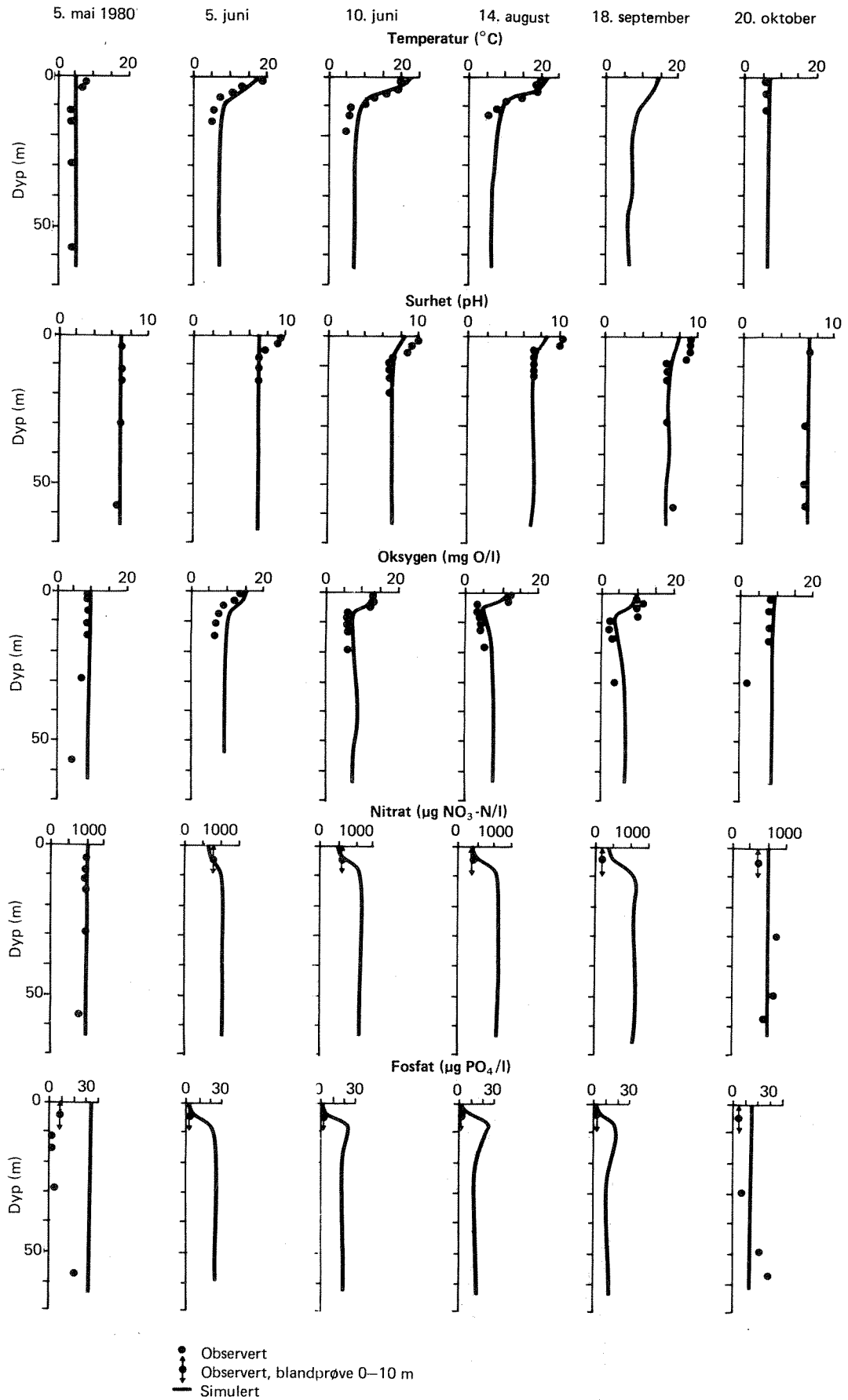


Fig. 1.1 Simulerte og observerte dybdeprofiler 1980. Temperatur, surhet, oksygen, nitrat og fosfat.

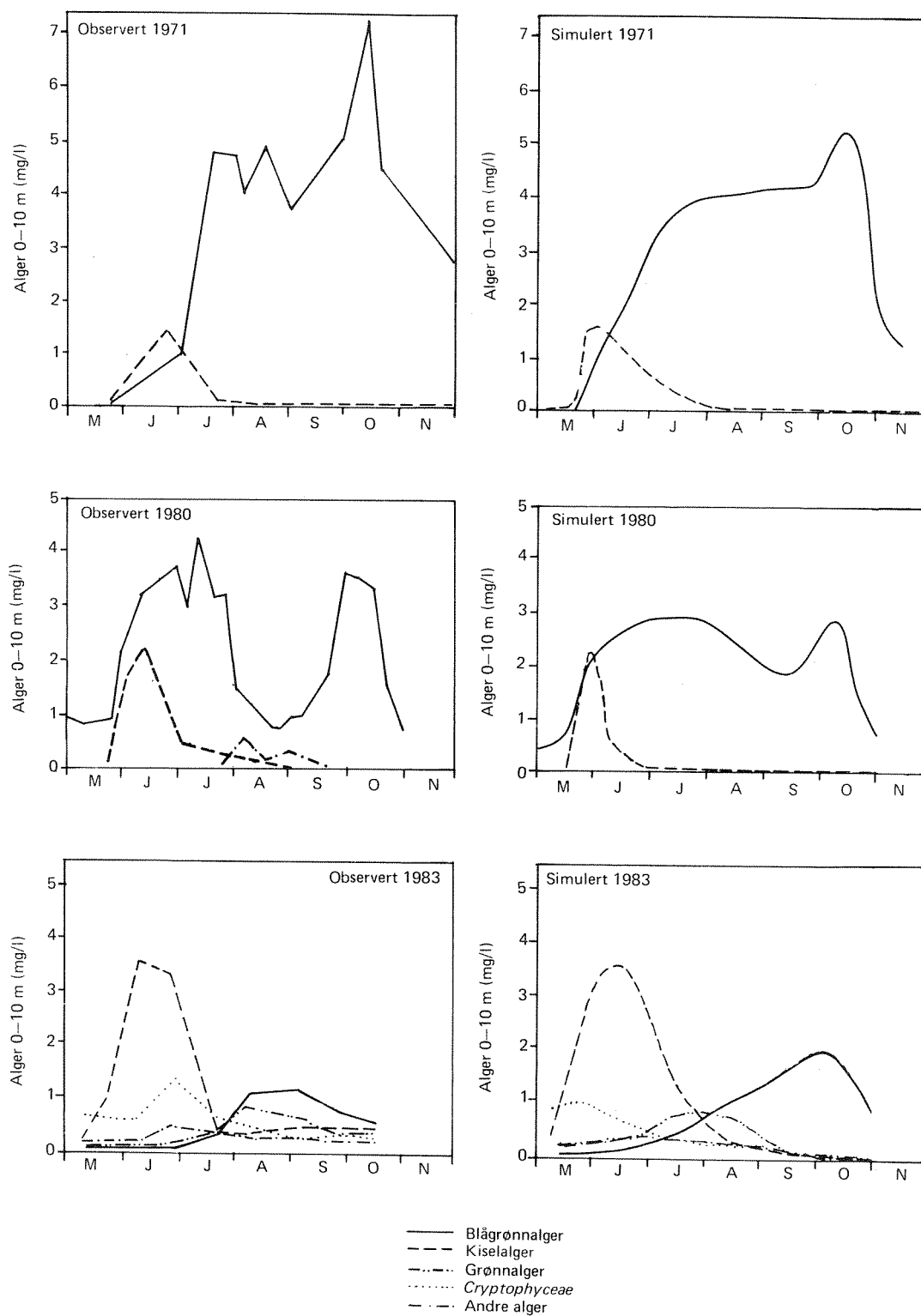


Fig. 1.2 Midlere algekonsentrasjon 0-10 m. Observerte og simulerte verdier 1971, 1980 og 1983.

## 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.

I dag benytter vi vanligvis enkle erfaringsmodeller for å beregne innsjøens midlere fyttoplanktoninnhold / klorofyllinnhold som funksjon av årlige tilførsler av vann og fosfor samt innsjøens størrelse. For en rekke problemstillinger gir slike modeller tilstrekkelig med informasjon i forhold til behovet.

Dersom vi er interessert i et mer nyansert bilde av forholdene i en innsjø f.eks. årstidsvariasjoner, dybdeforsjeller, spesielle kjemiske stoffer eller algetyper, er det behov for å ta hensyn til en rekke prosesser. Samspillet mellom fysiske, kjemiske og biologiske prosesser er så komplekst at det i utstrakt grad er nødvendig å nytte matematiske simuleringsmodeller 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 vertikal retning ved adveksjon (strøm) og diffusjon.



Modellen egner seg bl.a. 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.

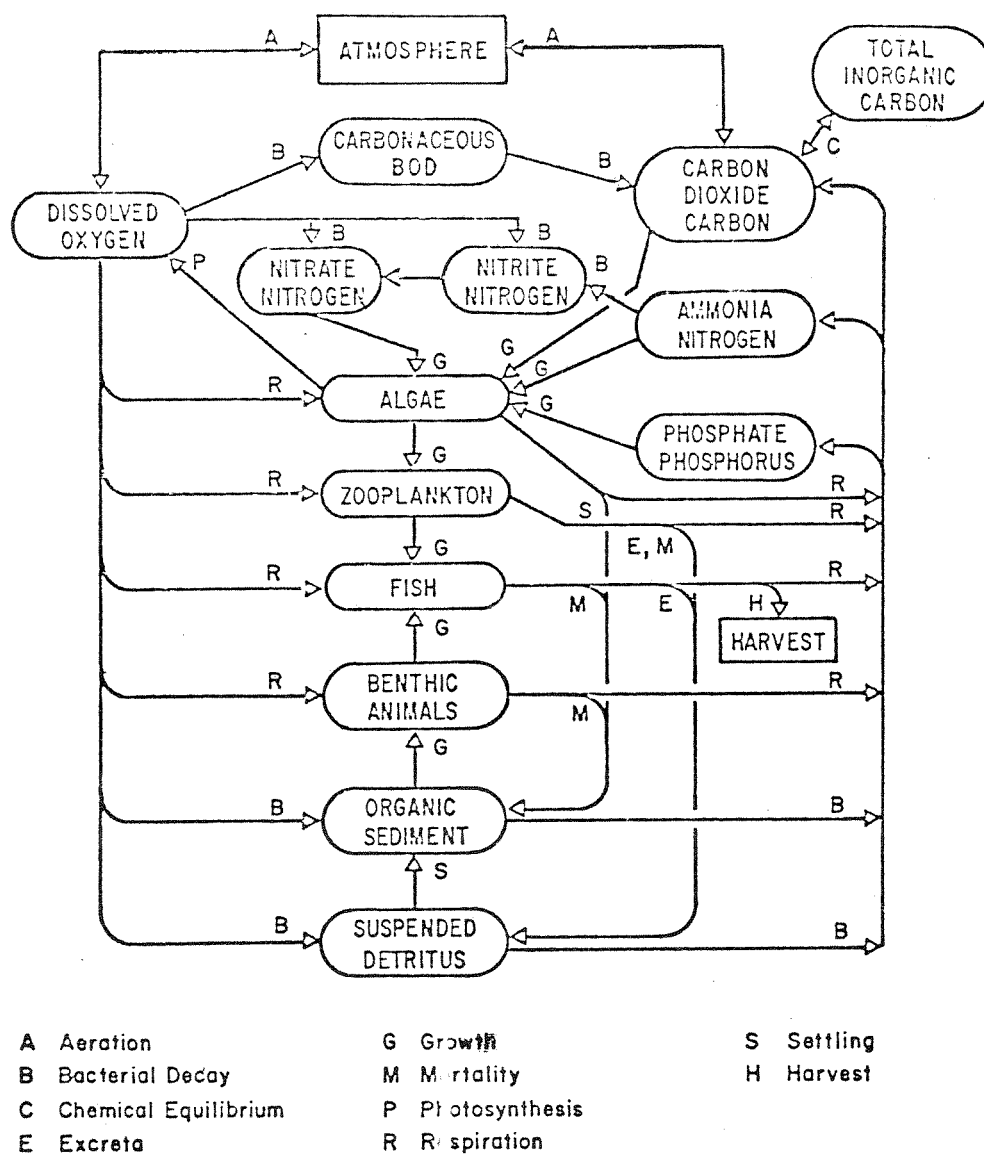


Fig. 2.1 Økologiske prosesser i en innsjø (HEC 1978). (Fisk og dyr blir utelatt i FINNECO-modellen.)

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	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			G				
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

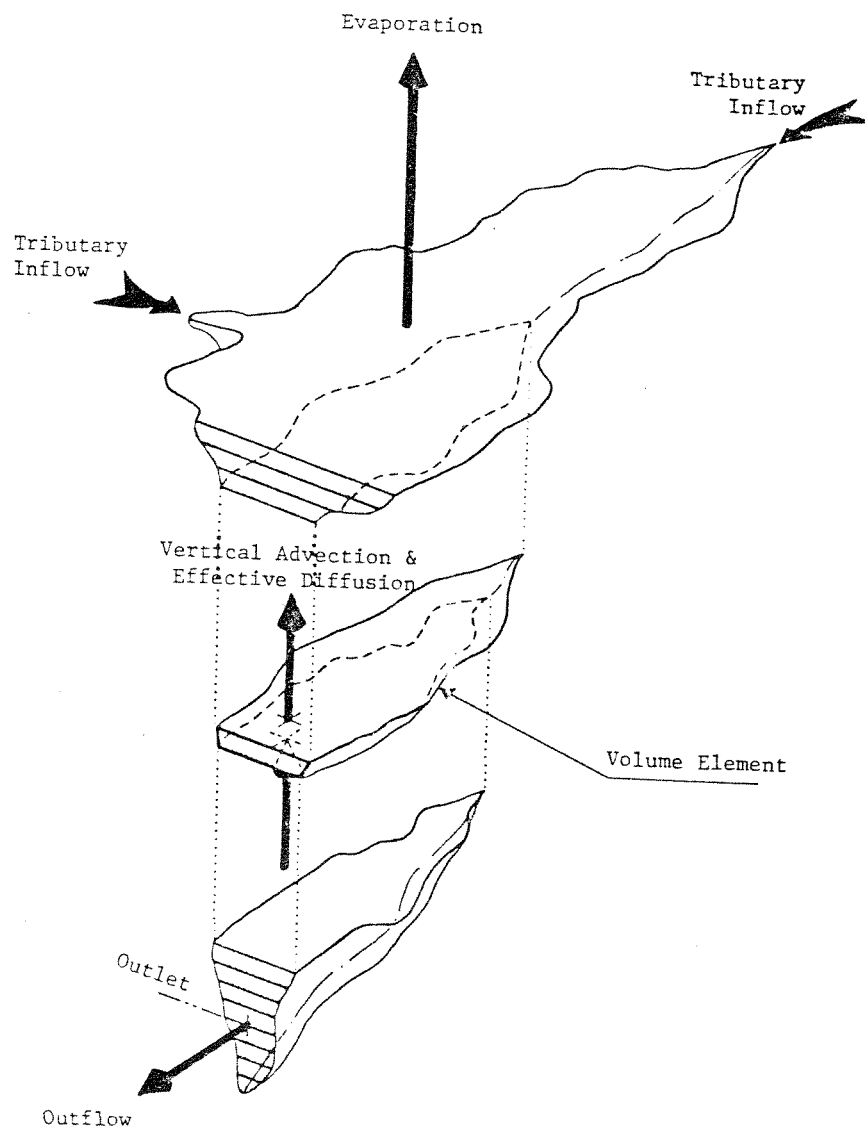


Fig. 2.2 Inndeling av innsjøen i horisontale skiver/elementer og massetransportmekanismer. (HEC 1978).

## 2.2 Variable som simuleres

Modellen simulerer 20 variable som funksjon av tiden (tabell 2.2). Med unntak av fosfor i uorganisk sediment ( $P_i$ ) og organisk sediment (S) blir de variable også beregnet som funksjon av dypet.

## 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 2.3). Disse koeffisientene holdes konstante, eventuelt endres systematisk med temperatur og oksygenforhold, og er følgelig typiske for den innsjøen vi ønsker å simulere. I tabell 2.3 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 <sup>2</sup>
$\phi$	Løst oksygen	mg/l
R	Total oppløst stoff	mg/l
S	Organisk sediment	mg/m <sup>2</sup>
T	Temperatur	°C
Y	Alkalitet	mg/l
Z	Zooplankton	mg/l
$H_z$	Vannstand	m

Tabell 2.3 Innsjøparametre

Symbol	Parameter	Benevnning	Normalt verdi-intervall	Avhengig av
$\alpha_{ac}$	Karboninnhold i algene	mg C/mg alge	0,4-0,5	
$\alpha_{an}$	Nitrogeninnhold i algene	mg C/mg alge	0,07-0,09	
$\alpha_{ap}$	Fosforinnhold i algene	mg C/mg alge	0,01-0,012	
$\alpha_{cc}$	Karboninnhold i BOD	mg C/mg BOD	0,2	
$\alpha_{dc}$	Karboninnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,2-0,5	
$\alpha_{dn}$	Nitrogeninnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,05-0,09	
$\alpha_{dp}$	Fosforinnhold i detritus	mg C/mg detr.	0,005-0,012	
$\alpha_{1n}$	Nitrogeninnhold i BOD	mg N/mg BOD	0,01-0,02	
$\alpha_{1p}$	Fosforinnhold i BOD	mg P/mg BOD	0,002-0,003	
$\alpha_{sc}$	Karboninnhold i organisk sediment	mg C/mg org.sed.	0,2-0,4	
$\alpha_{sn}$	Nitrogeninnhold i organisk sediment	mg N/mg org.sed.	0,03-0,06	
$\alpha_{sp}$	Fosforinnhold i organisk sediment	mg P/mg org.sed.	0,005-0,01	
$\alpha_{zc}$	Karboninnhold i zooplankton	mg C/mg zoo.	0,4-0,5	
$\alpha_{zn}$	Nitrogeninnhold i zooplankton	mg N/mg zoo.	0,07-0,09	
$\alpha_{zp}$	Fosforinnhold i zooplankton	mg P/mg zoo.	0,01-0,012	
$\beta_1$	Ammonium decay	pr. døgn	0,05-0,02	T,0
$\beta_2$	Nitritt decay	pr. døgn	0,2-0,5	T
$\beta_3$	Nitrat denitrifikasjon	pr. døgn	0,01-0,3	T,0
$\gamma_1$	Fosforets taps-/sedimentasjonsrate	pr. døgn	0,05-0,2	T,0
$\gamma$	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 <sup>2</sup> /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
$\lambda$	Zooplanktonets assimilasjonseffektivitet	pr. døgn	0,5-0,8	
$\Lambda_1$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg NH <sub>3</sub> oksydert		3,5	
$\Lambda_2$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg NO <sub>2</sub> oksydert		1,2	
$\Lambda_3$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg detritus decay		1,4-2	
$\Lambda_4$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg alge som respirerer		1,6-1,8	
$\Lambda_5$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg alge som vokser		1,6-1,8	
$\Lambda_6$	mg O <sub>2</sub> forbruk pr. mg organisk sedim. decay		1,45	
$\mu_a$	Maksimum algevekst	pr. døgn	1,0-3	
$\mu_z$	Maksimum zooplanktonvekst	pr. døgn	0,05-0,3	
$\omega_{aj}$	Algenes dødsrate	pr. døgn	0,001-0,01	T
$\omega_z$	Zooplanktonets dødsrate	pr. døgn	0,001-0,02	T
$\rho_{aj}$	Algenes standard respirasjonsrate	pr. døgn	0,01-0,4	T
$\rho_{aj}$	Algenes passive respirasjonsrate	pr. døgn	0,001-0,1	T
$\rho_z$	Zooplanktonets standard respirasjonsrate	pr. døgn	0,01-0,5	T
$\sigma_{aj}$	Algenes sedimentasjonshastighet	m/døgn	0-1	T
$\sigma_d$	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

$$\begin{aligned} \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 + \\ &\quad \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 \\ &\quad - \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 + \\ &\quad K_4 \alpha_{sn} S - \beta_1 N_1 - P_1 \alpha_{an} \sum_{j=1}^n \mu_{aj} A_j \end{aligned}$$



Tabell 2.4 (forts.)

$$\begin{aligned} \text{NITRITE} \\ \text{NITROGEN (N}_2\text{)} \quad \frac{\partial N_2}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial N_2}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} N_2)}{A_z} + \frac{S_{N_2}}{A_z dz} + \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2 \\ \\ \text{NITRATE} \\ \text{NITROGEN (N}_3\text{)} \quad \frac{\partial N_3}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial N_3}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} N_3)}{A_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 \\ \\ \text{DISSOLVED} \\ \text{OXYGEN (\phi)} \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial \phi}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} \phi)}{A_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 \\ &\quad - \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) \\ \\ \text{HYGIENIC} \\ \text{INDICATOR (M)} \quad \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial M}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} M)}{A_z} + \frac{S_M}{A_z dz} - K_3 M \\ \\ \text{SODIUM} \\ \text{LIGNOSULFONATE} \\ \text{(LS)} \quad \frac{\partial LS}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial LS}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} LS)}{A_z} + \frac{S_{LS}}{A_z dz} - K_6 L \\ \\ \text{TOTAL DISSOLVED} \\ \text{SOLIDS (R)} \quad \frac{\partial R}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial R}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} R)}{A_z} + \frac{S_R}{A_z dz} \\ \\ \text{ALKALINITY (Y)} \quad \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial (A_z D_z \frac{\partial Y}{\partial z})}{A_z} - \frac{\partial (A_z \bar{v} Y)}{A_z} + \frac{S_Y}{A_z dz} \\ \\ \text{TEMPERATUR (T)} \quad \frac{\delta T}{\delta t} &= \frac{\delta (A_z D_z \frac{\delta T}{\delta z})}{A_z} - \frac{\delta (A_z \bar{v} T)}{A_z} + \frac{S_T}{A_z dz} + H \end{aligned}$$

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	$m^2/s$	
$\delta$	Andel av elementets areal i kontakt med bunnen		
$\Delta_{aj}$	Alger konsumert av zooplankton	mg/l/døgn	
$\epsilon$	Elementets tykkelse	m	
$\phi^*$	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 uttakens høydenivå (dybde).

### Koeffisienter

Det er nødvendig å stipulere verdiene til ca. 60 koeffisienter som beskriver fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i innsjøen, jmfør 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. Dette gjør at simulering av en innsjø krever stor arbeidsinnsats.

Startforhold De fysiske, kjemiske og biologiske variable som skal modelleres må være kjent ved simuleringens start, jmfør tabell 2.2. For å redusere antall observasjoner i innsjøen er det gunstig å velge starttidspunktet til vårsirkulasjonen. Da er også algeinnholdet vanligvis 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. 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 vindstyrke, lufttrykk, skydekke, lufttemperatur og duggpunkttemperatur.

Verdiene kan gis som middelerverdi 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 nødvendig å ha 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

## 2.7 Endringer i den opprinnelige versjon av modellen

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.

Algenes sedimentasjonshastighet (S) ble gjort avhengig av veksthastigheten (Seip 1985) :

$$S = S_{\max} - (S_{\max} - S_{\min}) (\mu/\mu_{\max})^k$$

$S_{\min}/S_{\max}$	: minimum/maksimum sedimentasjonshastighet
$\mu/\mu_{\max}$	: aktuell veksthastighet / maksimum veksthastighet ved samme temperatur, d.v.s. ingen lys eller næringsbegrensninger
k	: konstant

Det ble videre gjort mulig å tilføre stoff i ulike dyp. Dette ble nyttet for å ta hensyn til fosfortilførsler fra fisk.

Forøvrig ble det også laget endringer for på en rask måte å kunne variere vann- og stofftilførslene. Dette for å simulere effekter av tiltak.

Desuten ble det foretatt enkelte forandringer i input- og utskrifts rutinene.

### 3. INNSJØBESKRIVELSE

#### 3.1 Beskrivelse av innsjøen og dens nedbørfelt

Gjersjøen (2,7 km<sup>2</sup>) ligger nær Oslo (fig. 3.1). Berggrunnen i nedbørfeltet (87,2 km<sup>2</sup>) består av gneis og granitt. Løsmassene består av marin leire og morene.

Innsjøen tilføres betydelige forurensninger fra befolkning og jordbruksvirksomhet. På grunn av rensetiltak har tilførslene 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 35 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. 3.2-3.4. For mer informasjon henviser vi til Faafeng 1981 og Faafeng 1985. Rapporten inneholder også liste over tidligere rapporter og publikasjoner om Gjersjøen.

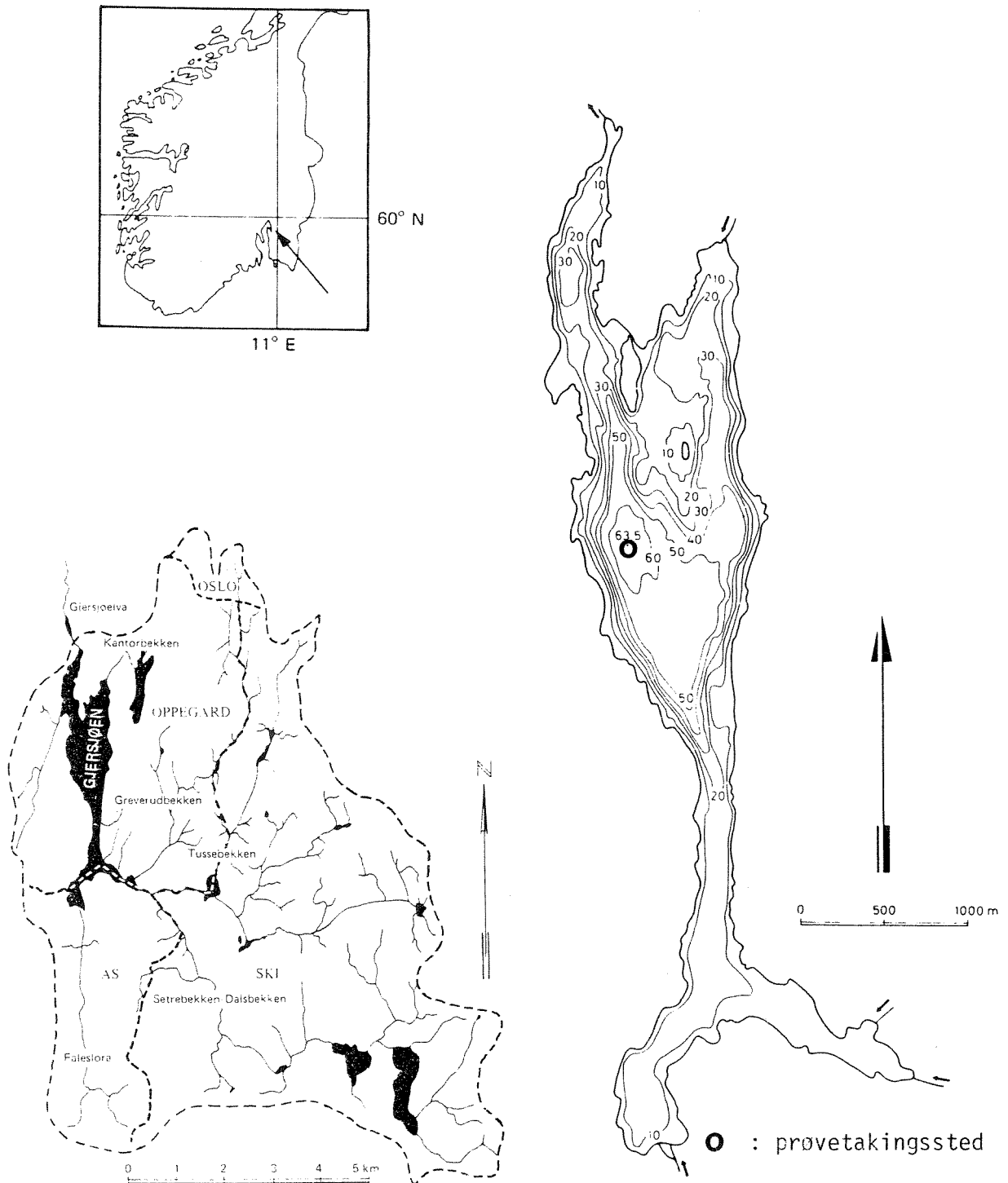


Fig. 3.1 Oversiktskarter

Tabell 3.1 Karakteristiske innsjødata (Holtan 1972)

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

Tabell 3.2 Arealfordeling i Gjersjøens nedbørfelt (Holtan 1972)

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

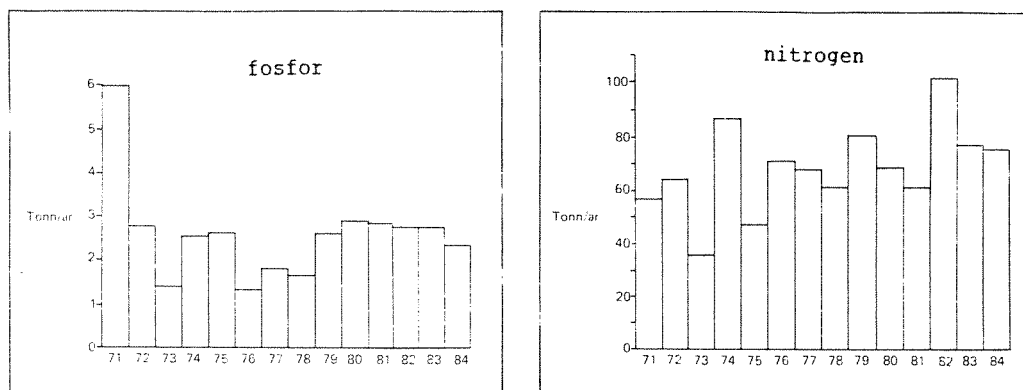


Fig. 3.2 Årlige tilførsler av fosfor og nitrogen (Faafeng 1985)

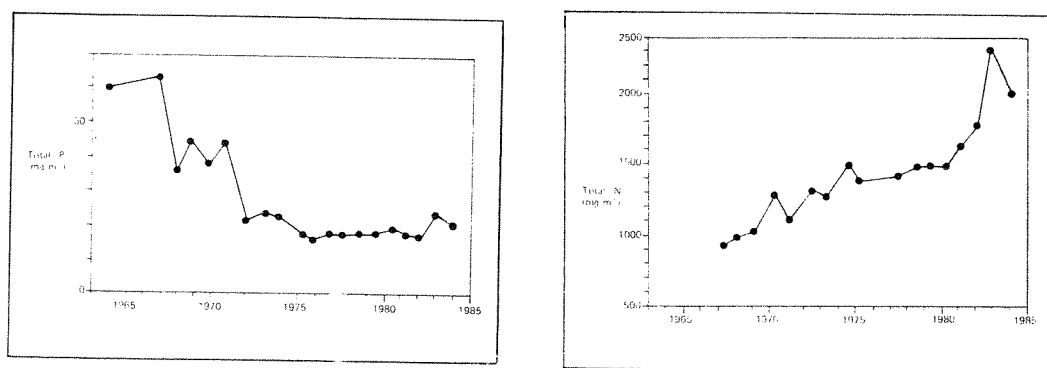


Fig. 3.3 Konsentrasjon av fosfor og nitrogen i vårsirkulasjonen (Faafeng 1985)

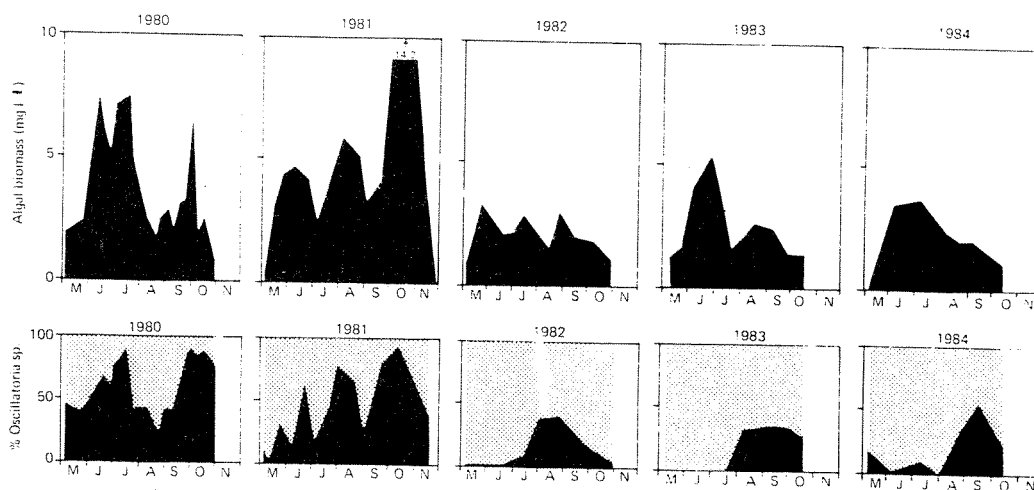


Fig. 3.4 Total konsentrasjon av planteplankton (øverst) og andelen av blågrønnalger (nederst) (Faafeng 1985).



#### 4. RESULTATER

Modellen ble testet mot observasjonsdata fra sommerhalvåret, dvs. tiden mellom vår og høstsirkulasjon i vannmassene i årene 1971, 1980 og 1983.

Data fra 1980 ble, i den grad det var mulig, benyttet til å kalibrere modellen. Dvs. at de ulike koeffisientene, innen rimelige grenser, ble valgt slik at overensstemmelsen med observasjonsdataene ble best mulig.

Data fra 1971 og 1983 ble benyttet til verifisering. Dvs. at vi brukte de kalibrerte koeffisientene for sommeren 1980 uendret. Dette gjaldt fortrinnsvis simulering av temperatur og vannkjemi.

##### 4.1 Input data

Nye inputverdier ble lest inn for hver uke.

Vannføring og klimadata (vindhastighet, lufttemperatur, doggpunkt, skydekkeprosent og lufttrykk) ble observert daglig. Klimadataene ble registrert på Ås, ca 10 km fra Gjersjøen, av Det Norske Meteorologiske Institutt.

Det ble overveiende tatt ukentlige prøver i elvene for analyse av vannkjemi. Det ble samtidig målt vanntemperatur.

Noen av de viktigste inputdataene er vist på fig. 4.1.

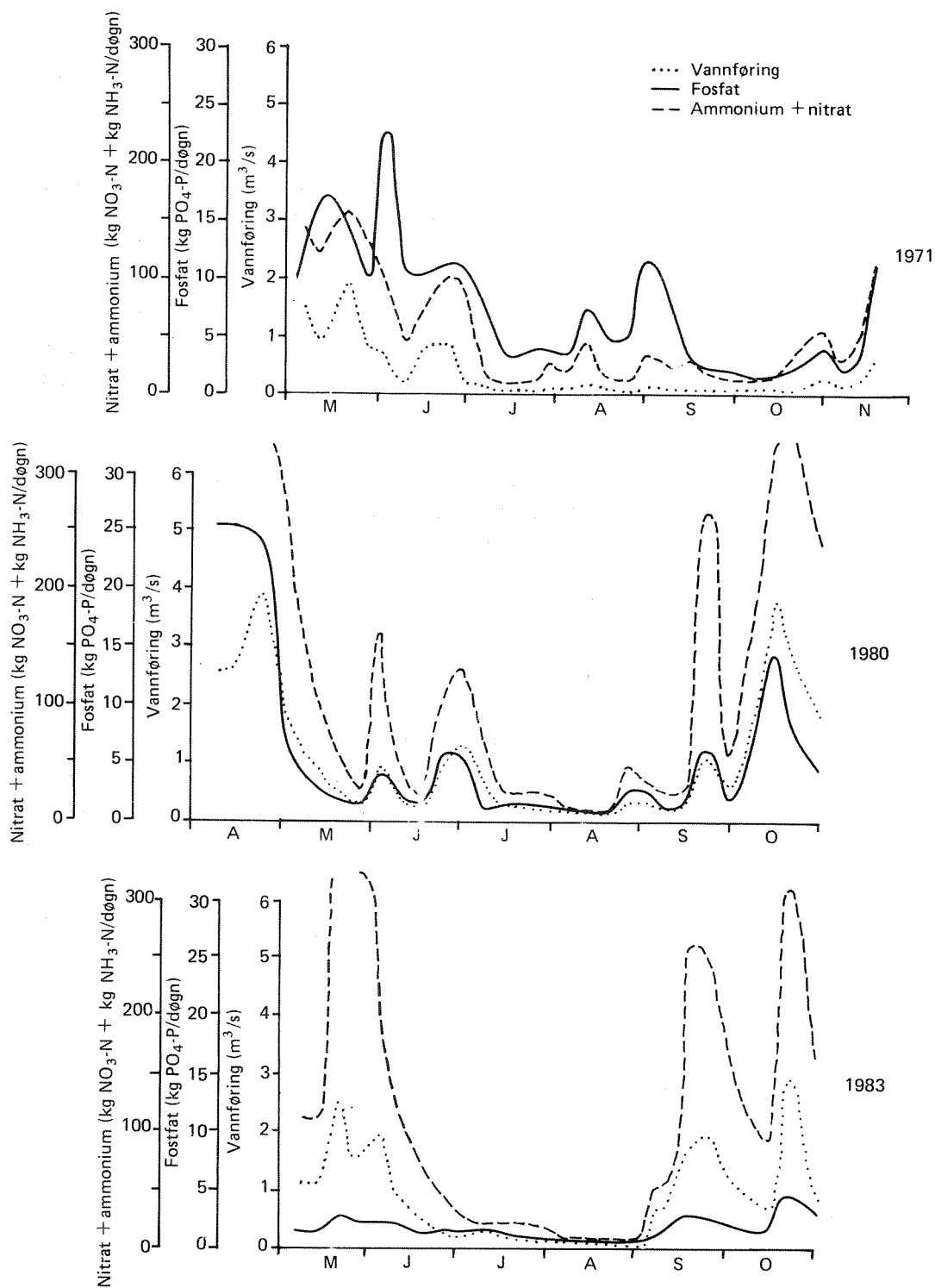


Fig. 4.1 De største tilførsene av vann og næringsalter kom vår og høst. Fosfortilførslene har avtatt og nitrogentilførslene økt i perioden 1971-1983. (Kilder: Faafeng 1978, Faafeng 1981 og Faafeng 1984.)

I Gjersjøen er det en stor fiskebestand. Særlig har mort bidratt til en betydelig gjødsling av vannmassene ved å spise store mengder bunnslam (sediment) som igjen utskilles i fordøyd form i de øvre vannmassene, se fig. 4.2 (Brabrand og medarb., under utgivelse). I modellen ble dette bidraget tilført vannmassene nær sprangsjiktet, hvilket er vanlig oppholdsdybde for mort i følge ekkoloddregistreringer og prøvefiske. Data fra 1980 (fig. 4.2) ble også benyttet for 1971 simuleringene. I 1983 var bidraget fra mort langt mindre, anslagsvis 10% av i 1980.

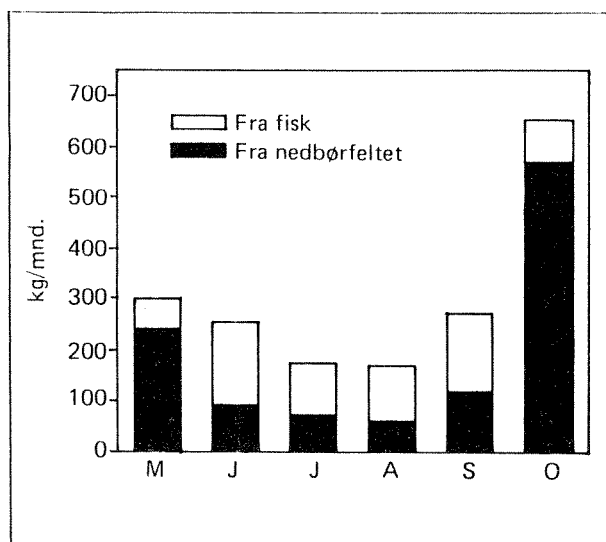


Fig. 4.2 Fosfortilførslene fra mort ble i 1980 beregnet til å utgjøre en betydelig del av de samlede tilførslene (kilde: Faafeng 1985).

#### 4.2 Simulering av forholdene i 1971, 1980 og 1983

Data for kontroll av beregningene ble samlet inn fra sentrum av innsjøen, se fig. 1.1.

Simuleringene startet under vårsirkulasjonen i vannmassene. Nye outputverdier ble beregnet suksessivt fremover i tiden med en periode på 8 timer.

Et utvalg av simuleringsresultatene sammenliknet med observerte verdier er vist på fig. 4.3-4.7.

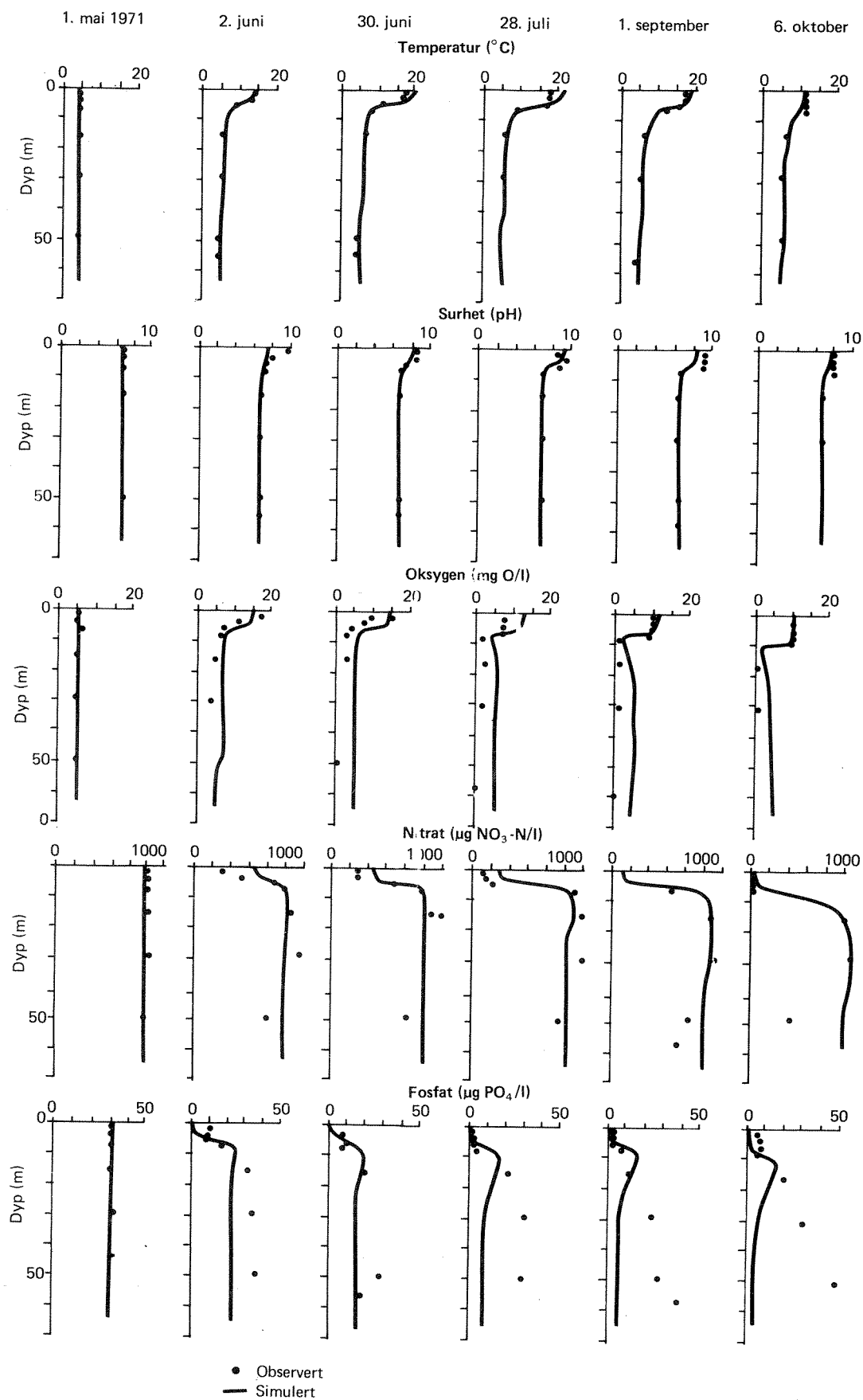


Fig. 4.3 Simulerte og observerte dybdeprofiler 1971. Temperatur, surhet, oksygen, nitrat og fosfat.

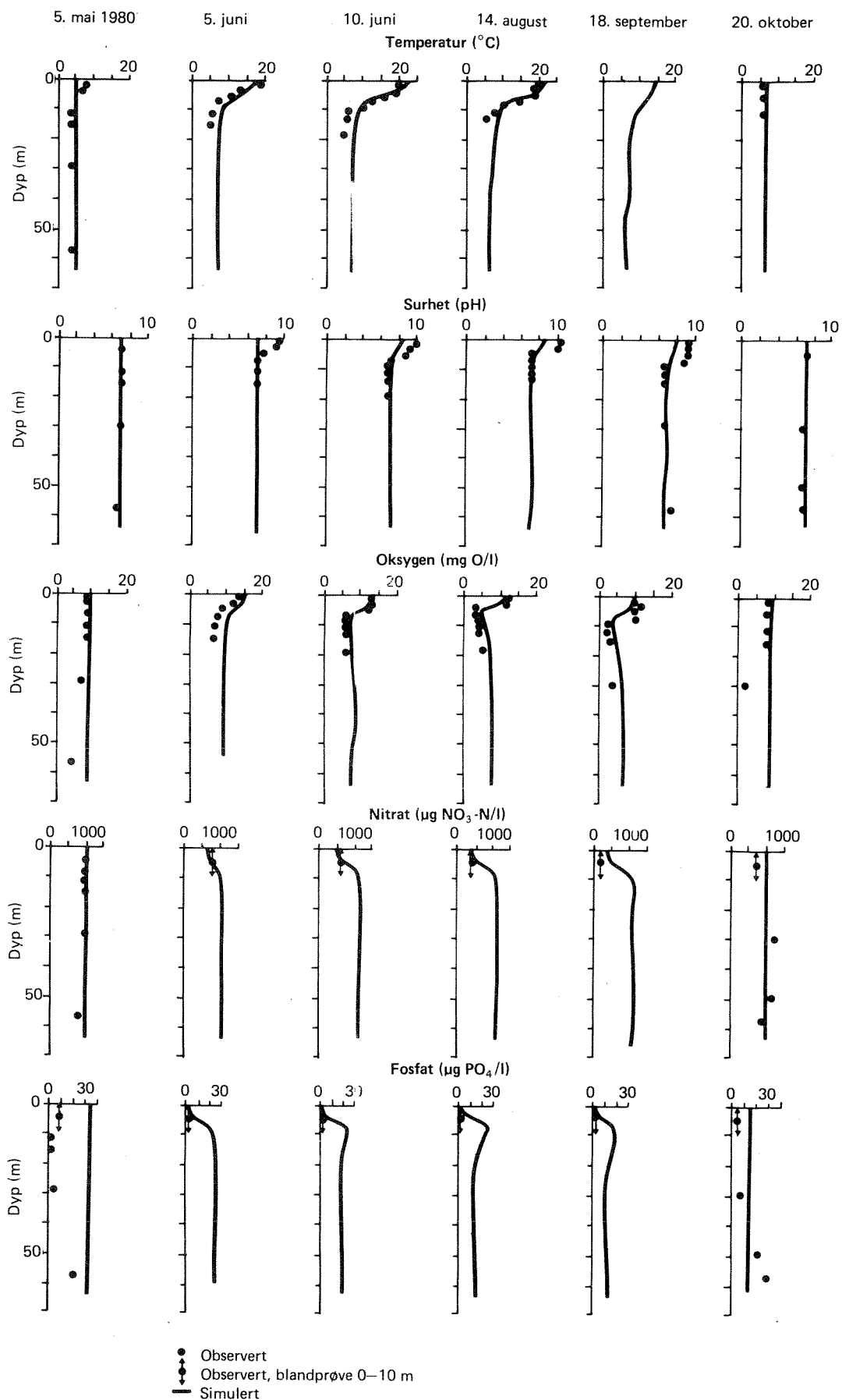


Fig. 4.4 Simulerte og observerte dybdeprofiler 1980. Temperatur, surhet, oksygen og fosfat.

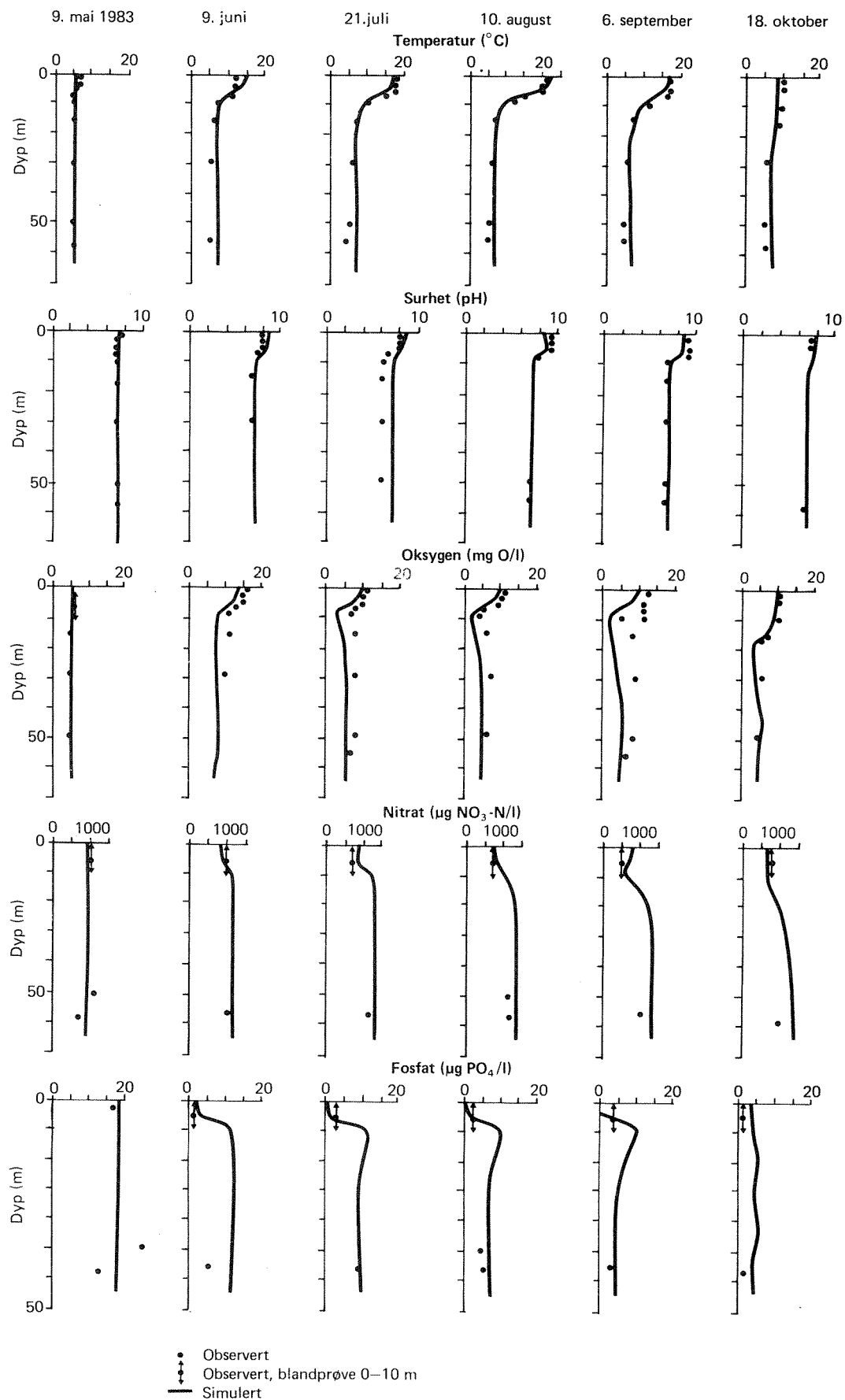


Fig. 4.5 Simulerte og observerte dybdeprofiler 1983. Temperatur, surhet, oksygen, nitrat og fosfat.

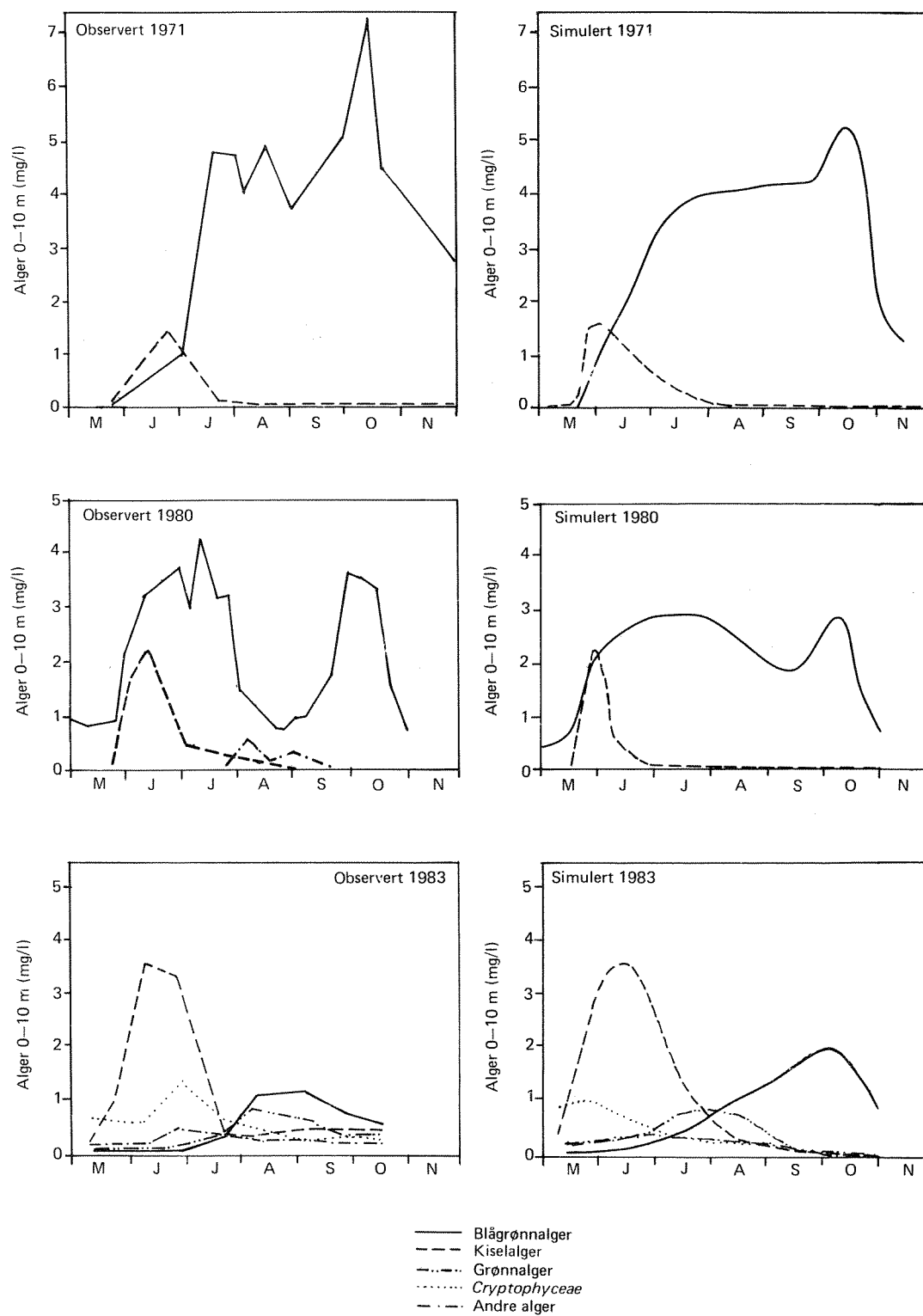


Fig. 4.6 Midlere algekonsentrasjon 0-10 m. Observerte og simulerte verdier 1971, 1980 og 1983.

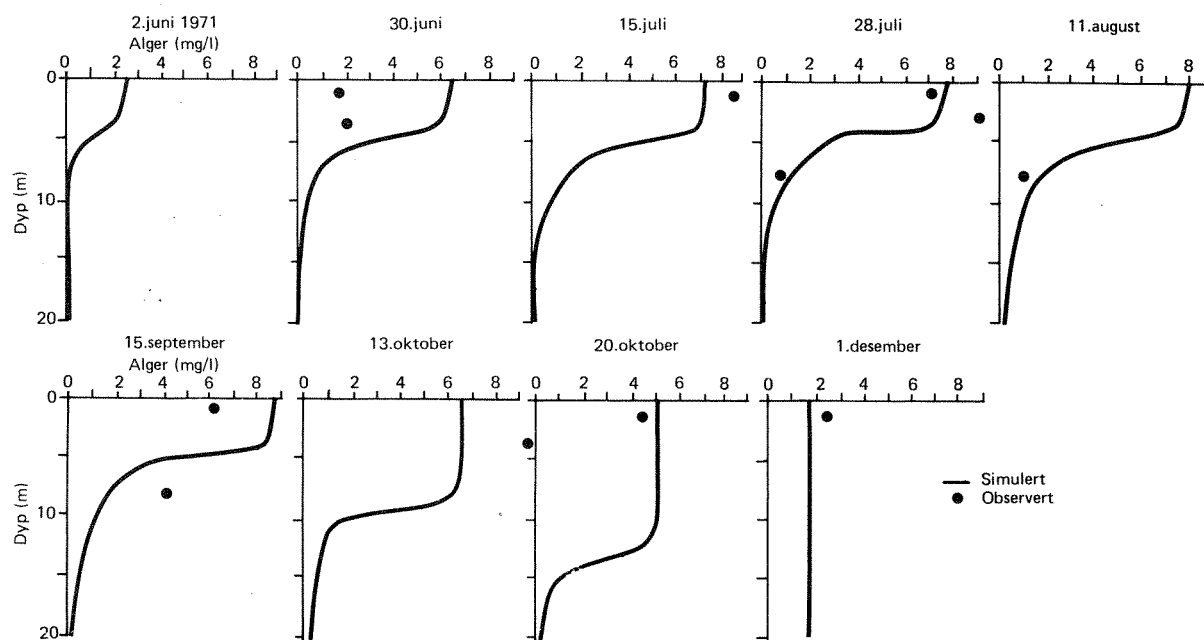


Fig. 4.7 Simulerte og observerte algekonsentrasjonsprofiler 1971.



### Temperatur

Modellen simulerte temperaturutviklingen meget godt. En eventuell usikkerhet av betydning for f.eks. algeveksten var fortrinnsvis knyttet til tidspunktet for vårsirkulasjonens avslutning og den begynnende utviklingen av sprangsjiktet. I denne perioden vil et tynt varmt overflatelag f.eks. lett bryte sammen p.g.a. kortvarig sterk vind, hvilket vi ikke tar tilstrekkelig hensyn til i modellen ved bruk av ukkesmidler.

### Vannkjemi

Modellen klarte i rimelig grad å beregne hvordan pH i de øvre vannmassene økte fra pH 7 til pH 9 i løpet av sommeren.

De simulerte oksygenverdiene var høyest nær overflaten, dette p.g.a. stor algeproduksjon og utveksling med atmosfæren. Like under dette laget ble verdiene spesielt lave fordi de relativt store algemengdene der forbruker oksygen ved ånding (respirasjon) samtidig som produksjonen er liten på grunn av lav lysintensitet. Dette forløpet var i stor grad i overensstemmelse med observasjonene.

Det simulerte oksygeninnholdet viste en økende tendens nedover i dypet. Dette passet bra med observasjonene i 1983, men dårlig for de to andre årene hvor det ble påvist oksygenvinn i bunnlagene.

Forsøk på å endre koeffisienter i modellen for å redusere oksygeninnholdet i bunnlagene førte samtidig til oksygenvinn også i sprangsjiktet og dermed en urealistisk algedød der.

Det var godt samsvar mellom simulerte og observerte nitratverdier. I følge simuleringene var ikke nitrogen (nitrat + ammonium) begrensende på algeveksten. Dette var, muligens med unntak av høsten 1971, i overensstemmelse med observasjonene.

Modellen viste, i likhet med observasjonsdataene, at fosfor (fosfat) virket begrensende på algeveksten. Konsentrasjonene i det øvre vekstlaget var gjennomgående nær null ( / analysegrensen) i størsteparten av sesongen. I 1971 og 1980 viste de observerte verdiene, i motsetning til simuleringresultatene, en økende tendens nedover i vannmassene. Dette kan ha sammenheng med fosforlekkasje fra sedimentene p.g.a. oksygenvinn, hvilket vi som nevnt ikke lyktes å simulere.

For de øvrige kjemiske variable som modellen simulerte, var

observasjonsmaterialet for lite for en tilfredsstillende kontroll. Vi nevner imidlertid at simulerte verdier av uorganisk karbon, detritus og totalt oppløst stoff viste rimelig samsvar med de fåtallige observasjonene som eksisterte.

### Alger

Blågrønnalgene besto omtrent utelukkende av Oscillatoria agardhii. Det ble benyttet de samme vekstkoeffisientene for alle tre simuleringsårene. Like koeffisienter ble også benyttet for kiselalgene i 1980 og 1983. Sammensetningen var da dominert av Synedra sp. og Diatoma sp. For de øvrige algene var det nødvendig å kalibrere modellen i samsvar med observasjoner for hvert enkelt år. Materialet egnet seg følgelig ikke til i ønskelig grad å verifisere modellen mot uavhengig materiale, dvs. å benytte koeffisienter for ett år uendret på de øvrige.

Som grunnlag for valg av koeffisienter ble det, i den grad slikt materiale var tilgjengelig, benyttet resultater fra vekstforsøk ved NIVA (Källqvist T., personlig meddelelse).

Modellen gjenga hovedtrekkene i algeutviklingen (fig. 4.6 og fig. 4.7). Algeinnholdet var stort om våren, avtagende utover sommeren og en ny topp om høsten.

I følge modellen var algekonsentrasjonene lave tidlig på våren på grunn av lav vanntemperatur og sirkulasjon i vannmassene. Etterat det ble dannet et sprangsjikt økte algeinnholdet raskt. Dette på grunn av høyere temperatur og stor tilgang på næringssalter. Reduksjonen utover sommeren skyldtes hovedsakelig fosforbegrensning. Økte fosfortilførsler samt økt dybde til sprangsjiktet, 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.

Vi merker oss at modellen simulerte noenlunde riktig størrelse på toppen om våren. Dette t.l. tross for store forskjeller i fosfortilførslene og ulik konkurransesituasjon mellom algene i de tre årene. 1980 og 1983 resultatene tyder på at konkurranseforholdet mellom blågrønnalgene og kiselalgene ble realistisk modellert i denne perioden. Kiselalgens topp om våren skyldes stor veksthastighet i kjølig vann. Oscillatoria agardhii har lav veksthastighet, men har et fortinn overfor de øvrige algene ved liten tilgang på lys og næringssalter. Den ble derfor utkonkurrert våren 1983 av de øvrige algetypene på grunn av lav startkonsentrasjon. I 1971 var det stor

våroppblomstring av blågrønnalger til tross for lav konsentrasjon under vårsirkulasjonen. Dette skyldes at den relativt langsomme veksten til kiselalgen Fragilaria crotonesis som da var eneste konkurrent.

Videre ble oppblomstringen høsten 1971 og 1980 brukbart simulert. Blågrønnalgene var totalt dominerende. Dette p.g.a. høy overlevelsessevne i løpet av sommeren hvor det var fosforbegrensning.

På den negative siden var at modellen simulerte en noe for tidlig våroppblomstring, for høye blågrønnalgeverdier midtsommers 1980 og 1983 samt høsten 1983.

Våroppblomstringen kom et par uker for tidlig. Dette kan ha sammenheng med at modellen simulerte en noe for tidlig sprangsjiktutvikling. Muligens ble det tatt for lite hensyn til at lysintensiteten i vannmassene svekkes p.g.a. store slamtilførsler i løpet av snøsmeltingen. Vi hadde ikke tilstrekkelig observasjonsmateriale til å kontrollere dette.

Observasjonene viste at blågrønnalgekonsentrasjonen avtok raskere utover sommeren enn modellresultatene viste. Dette skyldes at denne algen, som vanligvis har en meget lav sedimentasjonshastighet, kan sedimentere raskt under vanskelige vekstforhold. F.eks. var den observerte algereduksjonen særlig stor sommeren 1980 samtidig med at næringssalttilførslene var meget små. De prosessene som beskriver denne periodevis raske sedimentasjonen er ikke dokumentert og vi lyktes ikke å ta tilstrekkelig hensyn til dette i modellen.

For høye blågrønnalgeverdier midtsommeren 1980 og høsten 1983 førte til at det (i modellen) ble for lite næring og lys tilgjengelig for de øvrige algene. Disse fikk dermed for lave verdier.

Det lyktes å kalibrere modellen relativt tilfredsstillende for de øvrige algene som var til stede i 1983 (grønnalger, Cryptophyceae m.fl.). I hvilken grad de beskrivende koeffisientene er fysisk riktige er usikkert da disse algene ikke var av betydning i de øvrige årene og dermed ikke lot seg kontrollere under varierende forhold.

Observasjonene viser at det er tildels store forskjeller i algesammensetningen i de ulike årene og at startverdiene om våren er av stor betydning for utviklingen utover sommeren. Følgelig ville det ha vært ønskelig å ha simulert algeutviklingen også gjennom vintersesongen.

De egenskapene som avgjør i hvilken grad algene overlever på

eksistensminimum i løpet av vinteren ville ikke kunne prognoseres ved bruk av de benyttede "sommerkoeffisientene". Koeffisientenes verdier ved lave temperaturer m.m. måtte i såfall tilpasses spesielt. Den fysiologiske kunnskapen om hvorfor ulike alger er tilstede eller ikke fra år til år er også mangelfull.

Bruk av modellen for prognose av algeutviklingen ved endrede inputbetingelser vil sikrest kunne utføres for en kjent startsituasjon om våren. Videre er det helt nødvendig først å kalibrere modellen mot feltobservasjoner og helst benytte flere år med varierende forhold.

#### 4.3 Bruk av modellen til å studere effekter av endrede inputverdier

Simuleringsresultatene er vist på fig. 4.8.

Vi tar utgangspunkt i simuleringsresultatene for 1983. Dobling av fosfortilførselene fra elvene førte til økt algevekst. Maksimumkonsentrasjonene av både kiselalger og blågrønnalger økte med ca 0,3 mg/l. Innholdet av de øvrige algetypene ble nær uforandret eller eventuelt noe redusert.

Ved å la fosfortilførselene via elvene opphøre fullstendig ble algeveksten redusert. Imidlertid var verdiene av samme størrelsesorden som tidligere. Dette har sammenheng med at algene utnytter det fosforet som var i innsjøen ved simuleringens start, dvs. under vårsirkulasjonen. Disse forforkonsentrasjonene, ca 20  $\mu\text{g/l}$ , er tilstrekkelig til å fremskaffe en markant våroppblomstring. Etterhvert som sprangsjiktets dyp øker utover sommeren blir nytt fosfor fra det næringrike dyplaget tilgjengelig for algeproduksjon i overflatelaget. I følge simuleringene var startsituasjonen om våren viktigere enn fosfortilførselene fra elvene utover sommeren for algeutviklingen i 1983.

Fosfortilførselene i 1983 var på grunn av rensetiltak og klimatiske forhold langt mindre enn i 1971 og 1980, se fig. 4.1. Konsentrasjonen under vårsirkulasjonen var også i disse årene meget viktig, men av relativt mindre betydning enn i 1983.

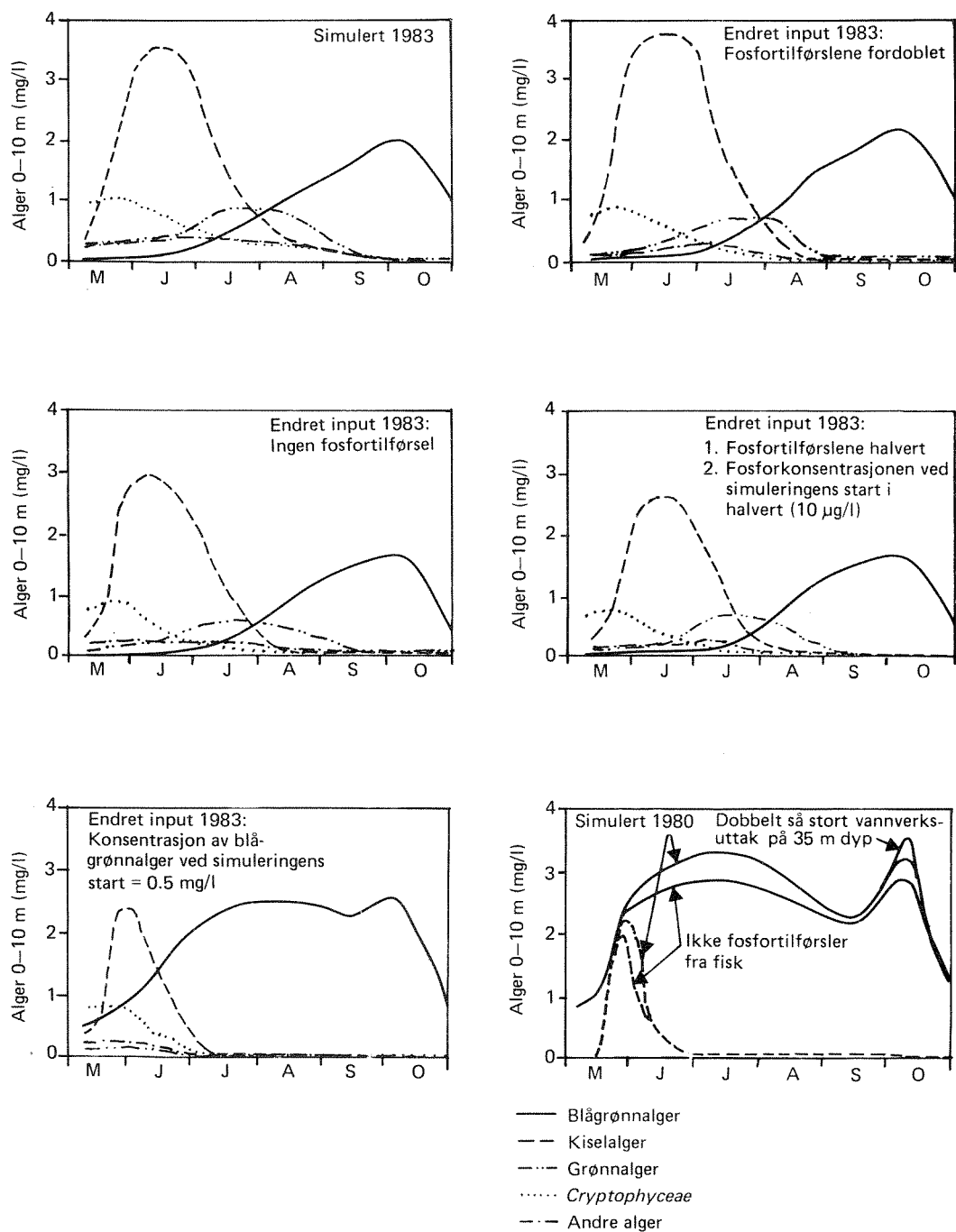


Fig. 4.8 Simulerte algekonsentrasjoner 1980 og 1983 ved endrede inputverdier.

Vi ønsket videre å simulere hvordan algeutviklingen i 1983 ville ha vært om fosfortilførslene ble halvert hele året igjennom. Dette vil selvsagt også påvirke konsentrasjonen under vårsirkulasjonen. Vi lar for enkelthets skyld også denne bli halvert, dvs. 10 µg/l. Dette medfører først og fremst at våroppblomstringen av kiselalger blir betydelig redusert. Maksimumskonsentrasjonen blir nesten 1 mg/l lavere. For de øvrige algene blir reduksjonen relativt liten.

Fosfortilførslene ble beregnet på grunnlag av analyser av vannprøver som ble samlet inn ca en gang i uken. Verdiene er følgelig beheftet med stor usikkerhet. De overnevnte eksemplene gir en pekepinn på hvilken effekt feil stipulerte fosfortilførsler har på simuleringensresultatene. I 1983, da tilførslene var lave, ville de simulerte algekonsentrasjonene ikke blitt betydelig påvirket av f.eks. 50% økte fosfortilførsler. I 1971, da tilførslene var langt større (ca 4 ganger), ville gode tilførselsmålinger være langt viktigere. I begge tilfellene ville det vært ønskelig å legge vekt på å utføre målinger under vårsirkulasjonen.

I 1983 var det meget lavt innhold av blågrønnalger ved simuleringens start. Samtidig var det flere andre algetyper med større startkonsentrasjoner å konkurrere med. Dette førte til en langsom blågrønnalgevekst utover første del av vekstsesongen. Dersom konsentrasjonen av blågrønnalgene under vårsirkulasjonen hadde vært 0,5 mg/l, ville denne algen blitt dominerende i omtrent hele sesongen. Kiselalgernes våroppblomstring ville blitt sterkt redusert og innholdet av de øvrige algene ville raskt blitt neglisjerbart. Resultatet er i rimelig overensstemmelse med observasjonene i 1980. Simuleringene viser at om blågrønnalgekonsentrasjonen i fremtiden skulle bli større under vårsirkulasjonen, må vi forvente at disse algene i likhet med tidligere år igjen blir nesten totalt dominerende.

Hvorfor innholdet av blågrønnalger våren 1980 var større enn i de to øvrige årene vet vi ikke. Modellen er neppe istand til å simulere dette ut fra de prosessene vi har tatt hensyn til. Korrekte verdier for algekonsentrasjon om våren er derfor viktig for et pålitelig simuleringensresultat. Ved bruk av modellen til prognoser kan vi ikke se bort i fra feil p.g.a. endring av enkelte startverdier om våren som vi ikke har forutsett.

Som nevnt i kap. 4.1. har vi tatt hensyn til fosfortilførsler til de øvre vannmassene fra fiskeekskrementer (mort). I 1980, da bestanden av mort var stor, førte dette ifølge simuleringene til en merkbar høyere algevekst i hele vekstsesongen.

Vi antok så at vannverksuttaket på 35 m's dyp økte fra  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . I 1980 ville dette ifølge modellen ha ført til økt algevekst kun på høsten. Dette fortrinnsvis på grunn av at utløpselven da ville blitt tørrlagt og avløpet fra det næringsrike og algerike overflatelaget dermed ville blitt redusert.

## 5. 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 bruken av modellen på Gjersjøen 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 likevel 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 også 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 observerte data.

Modellen simulerer i alt 20 kjemiske og økologiske variable. Manglende observasjonsdata hindrer vanligvis en test på alle disse. 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.

Da de ulike variable dessuten kan ha ulik betydning fra innsjø til innsjø, er det følgelig ønskelig å bruke modellen på flere typer innsjøer, f.eks. innsjøer med lavere og høyere trofigrad i forhold til Gjersjøen. Vi regner det for spesielt interessant å teste modellen på en grunn innsjø med f.eks. fosforlekkasje fra sedimentene på grunn av oksygenvinn i bunnvannet.

Simuleringsresultatene for Gjersjøen viser at modellen kan være nyttig til å prognosere hvordan effekten av tiltak i nedbørfeltet kan influere på de økologiske forholdene i innsjøen. Den kan være til hjelp for å klarlegge enkeltfaktorenes betydning på helheten, være til hjelp for å kunne skille viktige prosesser fra de mindre viktige og dermed øke forståelsen av innsjøens økosystem generelt. Dette kan også utnyttes til å utarbeide et hensiktsmessig program for datainnsamling i felt.

Vi understreker at modellen ikke gir noe fasitsvar, men kun er et



hjelpemiddel. Det er fortsatt brukeren som må ta eventuelle beslutninger eller gi råd ut fra generell økologisk forståelse. Grunnlaget for beslutningene/rådene vil imidlertid i mange tilfeller utvilsomt bli sterkt forbedret ved bruk av modellsimuleringer.

## 6. 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. 1978: Hydrologiske og vannkjemiske måledata fra utløpsbekken og tilløpsbekkene til Gjersjøen. A2-06. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Faafeng B. 1980. Fytoplanktonundersøkelser i Gjersjøen 1958-1978. Datarapport. F80401. Norsk institutt for vannforskning, Oslo
- Faafeng, B. 1981. Rutineundersøkelser i Gjersjøen 1968-1980. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 3/81. O-70006. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Faafeng, B. 1984. Rutineovervåking av Gjersjøen med tilløpsbekker 1983. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 143/84. O-8000205. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Faafeng, B. 1985. Overvåking av Gjersjøen - Akershus. Utvidet rutineundersøkelse 1984. O-8000205. 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 - an 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.
- Seip, K. 1985. Impact of River Regulation. "Simulation v.s. Regression Models". Rapport nr. 851014, Senter for industriforskning, Oslo.

Tjomsland, T. 1986. Simulering av økologiske forhold i Gjersjøen ved bruk av modellen FINNECO. Rapport nr. 1. O-85112. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

## VEDLEGG 1. EKSEMPEL PÅ DATAUTSKRIFT

Algegruppe 1: Blågrønnalger

Algegruppe 2: Øvrige alger

Algegruppe 3: Grønnalger

Algegruppe 4: Kiselalger

Algegruppe 5: Cryptophyceae

GJERSJØEN 1985

SIMULATION DAYS	180
SPECIAL PRINT DAYS	9
OUTPUT FREQ(DAYS)	7
VERT OUTPUT	1
OUTPUT INTERVAL(HRS)	2
NUM OUTLETS	2
WEATHER OBS HRS	24
WEATHER FREQ	7
LOADING FREQ	7
REPEATED EX	3
NUMBER TRIBS	6
ALGAE GROUPS	5
NO. VERT. PROF. PTS.	5

NORMAL DZ	2.00
MAXIMUM EL	36.0
EX DEPTH	3.000E+00
EVAP COEFF A	1.000E-09
EVAP COEFF B	2.000E-09
MIN STAB	-1.100E-01

CRITICAL STAB	1.800E-06
LOW GRAD COFF	2.000E-05
CALC INTERCEPT	1.904E-09
EXPONENT	-7.000E-01
REACH LENGTH	3.000E+05
WATER SURFACE	6.400E+01

WINTER 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+05
WATER SURFACE	6.400E+01

OUTLET	ELEVATION	EFF WIDTH
1	2.800E+01	1.000E+00
2	5.350E+01	1.000E+00

## DECAY COEFFICIENTS

BOD, PER DAY	.300
NH3-N, PER DAY	.200
NO3-N, PER DAY	.300
NO2-N, PER DAY	.300
DETRITUS, PER DAY	.020
ORG.SED., PER DAY	.005
HYG.IND., PER DAY	.150
LIGN.SULPH., PER DAY	.020
PHOSPH.LEACH., PER DAY	.020
PHOSPH.PREC., PER DAY	.100

## THETA PARAMETERS A AND B

BOD	1.04700	.00000
NITRIF.RATE	1.08000	.00000
DENITRIF.RATE	1.08000	.00000
DETRITUS DECAY	1.12500	-.00270
ORG.SED. DECAY	1.12500	-.00270
HYG.IND. DECAY	1.06000	.00000
LIGN.SULPH.DECAY	1.15800	-.00530
PHOSPH.LEACH RATE	1.12500	-.00270
PHOSPHATE PHOSP.PREC.	1.08000	.00000
NITRITE DECAY RATE	1.08000	.00000

## ZOOPLANKTON RATE COEFFICIENTS

GROWTH	.100E+00	
MORTALITY	.200E-01	
ACTIVE RESPIRATION	.150E-01	
PASSIVE RESPIRATION	.100E-02	
THETA PARAMETERS A AND B	.108E+01	-.500E-02

## CHEMICAL EQUIVALENCE

OXYGEN CONSUMPTION OF NITRIFICATION	1.20000
OXYGEN PRODUCTION OF DENITRIFICATION	1.200
OXYGEN CONSUMPTION OF DETRITUS DECAY	1.600
OXYGEN CONSUMPTION OF ORG.SEDIMENT DECAY	1.600
OXYGEN PRODUCTION OF ALGAL GROWTH	1.200
OXYGEN CONSUMPTION OF ALGAL RESPIRATION	1.600

## 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

		ACTIVE	PASSIVE
ALGAE GROUP NUMBER	1	.400E-01	.100E-02
ALGAE GROUP NUMBER	2	.100E+00	.100E-02
ALGAE GROUP NUMBER	3	.100E+00	.100E-02
ALGAE GROUP NUMBER	4	.100E+00	.100E-02
ALGAE GROUP NUMBER	5	.100E+00	.100E-02

## ORGANIC SEDIMENT DATA

PHOSPHORUS FRACTION OF ORGANIC SEDIMENT	.00600
NITROGEN FRACTION OF ORGANIC SEDIMENT	.04000
CARBON FRACTION OF ORGANIC SEDIMENT	.30000

## BOD DATA

PHOSPHORUS FRACTION OF BOD	.00250
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	1.500000

## 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 - EXP

PHYTOPLANKTON, GROUP	1	.000E+00	.100E+00
PHYTOPLANKTON, GROUP	2	.100E+00	.100E+00
PHYTOPLANKTON, GROUP	3	.100E+00	.100E+00
PHYTOPLANKTON, GROUP	4	.100E+00	.100E+00
PHYTOPLANKTON, GROUP	5	.100E+00	.100E+00

## HALF-SATURATION CONSTANTS OF ALGAE

		LIGHT	CO2	N	PO4
ALGAE	1	.001	.020	.040	.005
ALGAE	2	.003	.020	.060	.013
ALGAE	3	.004	.030	.060	.010
ALGAE	4	.003	.030	.060	.010
ALGAE	5	.003	.040	.060	.015

## TEMPERATURE TOLERANCE LIMITS, DEGREE C

		LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
ALGAE	1	.000	30.000
ALGAE	2	.000	30.000
ALGAE	3	.000	30.000
ALGAE	4	.000	23.000
ALGAE	5	.000	27.000

## TEMPERATURE CORRECTIONS FOR ALGAE

## GROWTH

-1	.0414	.0414	.0414	.3364	.1049
0	.0533	.0533	.0533	.3715	.1274

4	.1325	.1325	.1325	.6333	.2555
5	.1625	.1625	.1625	.5998	.2977
6	.1972	.1972	.1972	.7663	.3438
7	.2371	.2371	.2371	.8314	.3937
8	.2821	.2821	.2821	.8937	.4458
9	.3323	.3323	.3323	.9518	.5027
10	.3875	.3875	.3875	1.0042	.5605
11	.4471	.4471	.4471	1.0494	.6193
12	.5106	.5106	.5106	1.0861	.6782
13	.5770	.5770	.5770	1.1132	.7358
14	.6451	.6451	.6451	1.1299	.7910
15	.7135	.7135	.7135	1.1356	.8424
16	.7805	.7805	.7805	1.1299	.8887
17	.8445	.8445	.8445	1.1129	.9287
18	.9036	.9036	.9036	1.0851	.9612
19	.9560	.9560	.9560	1.0471	.9852
20	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
21	1.0340	1.0340	1.0340	.9450	1.0050
22	1.0567	1.0567	1.0567	.8836	1.0000
23	1.0673	1.0673	1.0673	.8173	.9850
24	1.0652	1.0652	1.0652	.7478	.9603
25	1.0502	1.0502	1.0502	.6768	.9267
26	1.0229	1.0229	1.0229	.6057	.8850
27	.9840	.9840	.9840	.5361	.8363
28	.9348	.9348	.9348	.4690	.7820
29	.8769	.8769	.8769	.4057	.7233
30	.8120	.8120	.8120	.3469	.6618

## MORTALITY

-1	.1268	.1268	.1268	.1268	.1268
0	.1528	.1528	.1528	.1528	.1528
1	.1826	.1826	.1826	.1826	.1826
2	.2164	.2164	.2164	.2164	.2164
3	.2542	.2542	.2542	.2542	.2542
4	.2962	.2962	.2962	.2962	.2962
5	.3421	.3421	.3421	.3421	.3421
6	.3917	.3917	.3917	.3917	.3917
7	.4446	.4446	.4446	.4446	.4446
8	.5002	.5002	.5002	.5002	.5002
9	.5577	.5577	.5577	.5577	.5577
10	.6162	.6162	.6162	.6162	.6162
11	.6748	.6748	.6748	.6748	.6748
12	.7321	.7321	.7321	.7321	.7321
13	.7870	.7870	.7870	.7870	.7870
14	.8382	.8382	.8382	.8382	.8382
15	.8843	.8843	.8843	.8843	.8843
16	.9241	.9241	.9241	.9241	.9241
17	.9564	.9564	.9564	.9564	.9564
18	.9803	.9803	.9803	.9803	.9803
19	.9950	.9950	.9950	.9950	.9950
20	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
21	.9950	.9950	.9950	.9950	.9950
22	.9801	.9801	.9801	.9801	.9801
23	.9556	.9556	.9556	.9556	.9556
24	.9221	.9221	.9221	.9221	.9221
25	.8806	.8806	.8806	.8806	.8806
26	.8322	.8322	.8322	.8322	.8322
27	.7781	.7781	.7781	.7781	.7781
28	.7197	.7197	.7197	.7197	.7197
29	.6585	.6585	.6585	.6585	.6585
30	.5960	.5960	.5960	.5960	.5960

## RESPIRATION

-1	.1268	.1268	.1268	.1268	.1268
0	.1528	.1528	.1528	.1528	.1528
1	.1826	.1826	.1826	.1826	.1826

-1	.1268	.1268	.1268	.1268	.1268
0	.1528	.1528	.1528	.1528	.1528
1	.1826	.1826	.1826	.1826	.1826
2	.2164	.2164	.2164	.2164	.2164
3	.2542	.2542	.2542	.2542	.2542
4	.2962	.2962	.2962	.2962	.2962
5	.3421	.3421	.3421	.3421	.3421
6	.3917	.3917	.3917	.3917	.3917
7	.4446	.4446	.4446	.4446	.4446
8	.5002	.5002	.5002	.5002	.5002
9	.5577	.5577	.5577	.5577	.5577
10	.6162	.6162	.6162	.6162	.6162
11	.6748	.6748	.6748	.6748	.6748
12	.7321	.7321	.7321	.7321	.7321
13	.7870	.7870	.7870	.7870	.7870
14	.8382	.8382	.8382	.8382	.8382
15	.8843	.8843	.8843	.8843	.8843
16	.9241	.9241	.9241	.9241	.9241
17	.9564	.9564	.9564	.9564	.9564
18	.9803	.9803	.9803	.9803	.9803
19	.9950	.9950	.9950	.9950	.9950
20	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
21	.9950	.9950	.9950	.9950	.9950
22	.9801	.9801	.9801	.9801	.9801
23	.9556	.9556	.9556	.9556	.9556
24	.9221	.9221	.9221	.9221	.9221
25	.8806	.8806	.8806	.8806	.8806
26	.8322	.8322	.8322	.8322	.8322
27	.7781	.7781	.7781	.7781	.7781
28	.7197	.7197	.7197	.7197	.7197
29	.6585	.6585	.6585	.6585	.6585
30	.5960	.5960	.5960	.5960	.5960

## SEDIMENTATION

-1	.3812	.3812	.3812	.3812	.3812
0	.3991	.3991	.3991	.3991	.3991
1	.4178	.4178	.4178	.4178	.4178
2	.4375	.4375	.4375	.4375	.4375
3	.4580	.4580	.4580	.4580	.4580
4	.4796	.4796	.4796	.4796	.4796
5	.5021	.5021	.5021	.5021	.5021
6	.5257	.5257	.5257	.5257	.5257
7	.5504	.5504	.5504	.5504	.5504
8	.5763	.5763	.5763	.5763	.5763
9	.6034	.6034	.6034	.6034	.6034
10	.6317	.6317	.6317	.6317	.6317
11	.6614	.6614	.6614	.6614	.6614
12	.6925	.6925	.6925	.6925	.6925
13	.7251	.7251	.7251	.7251	.7251
14	.7591	.7591	.7591	.7591	.7591
15	.7948	.7948	.7948	.7948	.7948
16	.8322	.8322	.8322	.8322	.8322
17	.8713	.8713	.8713	.8713	.8713
18	.9122	.9122	.9122	.9122	.9122
19	.9551	.9551	.9551	.9551	.9551
20	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
21	1.0470	1.0470	1.0470	1.0470	1.0470
22	1.0962	1.0962	1.0962	1.0962	1.0962
23	1.1477	1.1477	1.1477	1.1477	1.1477
24	1.2017	1.2017	1.2017	1.2017	1.2017
25	1.2582	1.2582	1.2582	1.2582	1.2582
26	1.3173	1.3173	1.3173	1.3173	1.3173
27	1.3792	1.3792	1.3792	1.3792	1.3792
28	1.4440	1.4440	1.4440	1.4440	1.4440
29	1.5119	1.5119	1.5119	1.5119	1.5119
30	1.5829	1.5829	1.5829	1.5829	1.5829



NO	ELEVATION	SEC AREA	CULM VOL	DELTA VOL	DELT AREA
1	.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	1.410E+06	7.100E+05	7.000E+04
6	10.0	3.900E+05	2.120E+06	8.400E+05	6.000E+04
7	12.0	4.500E+05	2.960E+06	9.300E+05	3.000E+04
8	14.0	4.800E+05	3.890E+06	9.900E+05	3.000E+04
9	16.0	5.100E+05	4.880E+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	6.400E+05	9.450E+06	1.320E+06	4.000E+04
14	26.0	6.800E+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	8.800E+05	1.683E+07	1.840E+06	8.000E+04
19	36.0	9.600E+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	2.480E+06	8.000E+04
23	44.0	1.230E+06	2.763E+07	2.660E+06	1.000E+05
24	46.0	1.380E+06	3.029E+07	2.860E+06	1.000E+05
25	48.0	1.430E+06	3.315E+07	3.060E+06	1.000E+05
26	50.0	1.500E+06	3.621E+07	3.280E+06	1.200E+05
27	52.0	1.700E+06	3.949E+07	3.550E+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	2.350E+06	5.554E+07	4.900E+06	2.000E+05
32	62.0	2.550E+06	6.044E+07	5.300E+06	2.000E+05
33	64.0	2.750E+06	6.574E+07	5.550E+06	5.000E+04
34	66.0	2.800E+06	7.129E+07	.000E+00	.000E+00

INITIAL CONDITIONS OF THE ECOSYSTEM

ELEV	TEMP	DO	90D	ALKA	PH	CO2C	NH3N	NH3N	N03N	N02N	P04P	Z00PL	ALGA1	ALGA2	ALGAS	DETRI	TDS	SEDM	L.SUL
M	C	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	UG/L	MG/L	MG/L	G/M2	MG/L
65.0	6.90	9.09	.00	25	7.8	369	360	849	0	9	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
61.0	6.50	9.18	.00	25	7.7	452	360	858	0	10	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
59.0	6.10	9.26	.00	25	7.5	683	360	866	0	12	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
57.0	5.70	9.35	.00	25	7.6	697	360	875	0	14	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
55.0	5.30	9.44	.00	25	7.5	854	360	884	0	15	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
53.0	4.90	9.52	.00	25	7.3	1269	360	893	0	17	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
51.0	4.50	9.61	.00	25	7.3	1316	360	901	0	18	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
49.0	4.10	9.70	.00	25	7.2	1613	360	910	0	20	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
47.0	4.06	9.44	.00	25	7.2	1613	361	910	0	21	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
45.0	4.01	9.21	.00	25	7.2	1614	363	910	0	21	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
43.0	3.97	8.97	.00	25	7.2	1614	364	910	0	22	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
41.0	3.93	8.73	.00	25	7.2	1615	366	910	0	23	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
39.0	3.89	8.49	.00	25	7.2	1615	367	910	0	24	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
37.0	3.84	8.24	.00	25	7.2	1615	369	910	0	24	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
35.0	3.80	8.00	.00	25	7.2	1616	370	910	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
33.0	3.80	8.15	.00	25	7.2	1653	371	900	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
31.0	3.80	8.30	.00	25	7.2	1692	372	890	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
29.0	3.80	8.45	.00	25	7.2	1731	373	880	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
27.0	3.80	8.60	.00	25	7.2	1772	374	870	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
25.0	3.80	8.75	.00	25	7.1	1813	375	860	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
23.0	3.80	8.90	.00	25	7.1	1855	376	850	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
21.0	3.80	9.05	.00	25	7.1	1899	377	840	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
19.0	3.80	9.20	.00	25	7.1	1943	378	830	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0
17.0	3.80	9.35	.00	25	7.1	1988	379	820	0	25	0	21	5	152	99	1.3	5	50	0

15.0	3.80	9.50	.00	25.	7.1	2054.	380.	810.	0.	25.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
13.0	3.79	9.29	.00	25.	7.1	1969.	359.	790.	0.	23.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
11.0	3.77	9.07	.00	25.	7.1	1905.	337.	770.	0.	22.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
9.0	3.76	8.86	.00	25.	7.1	1844.	316.	750.	0.	20.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
7.0	3.74	8.64	.00	25.	7.2	1784.	294.	730.	0.	18.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
5.0	3.73	8.43	.00	25.	7.1	2055.	273.	710.	0.	16.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
3.0	3.71	8.21	.00	25.	7.1	1991.	251.	690.	0.	15.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.
1.0	3.70	8.00	.00	25.	7.1	1929.	230.	670.	0.	13.	21.	5.	152.	99.	1.3	5.	50.	0.

FOSFOR FRA FISK (KG/MONTH)-ANDEL I DE 5 ØVRE LAG

0.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
0.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
0.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3.	.33	.33	.33	.33	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6.	.33	.33	.33	.33	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
15.	.25	.25	.25	.25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20.	.25	.25	.25	.25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
0.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

PHOSPHORUS IN ALGAE	.1835E+06	CARBON IN ALGAE	.2329E+08
PHOSPHORUS IN DETRITUS	.5103E+06	CARBON IN DETRITUS	.2552E+08
PHOSPHORUS IN SUSPENS.	.1158E+07	CARBON IN SUSPENSION	.4759E+09
PHOSPHORUS IN ORG. SED.	.1353E+09	CARBON IN ORGANIC SED.	.4053E+08
PHOSPHORUS IN ANORG. SED.	.5139E+11	CARBON IN BOO	.0000E+00
TOTAL PHOSPHORUS	.5153E+11	CARBON IN ZOOPLANKTON	.4115E+06
		TOTAL CARBON	.5657E+09

METEOROLOGIC DATA

SHORTWAVE RAD(KC/M2/S)	1.437E-01	WATER ELEV(1)	6.41E+01
LONGWAVE RAD(KC/M2/S)	7.705E-02	SURF AREA(M2)	2.75E+06
DRY BULB TEMP(DEG C)	17.800	TOTAL VOL(M3)	6.60E+07
DEW POINT TEMP(DEG C)	12.100	TOTAL INFLOW(CMS)	2.93E-01
WIND SPEED(M/SEC)	2.366	TOTAL OUTFLOW(CMS)	2.00E-01
EVAPORATION RATE(M/H)	.187	RESIDENCE TIME(D)	2.41E+03
TOTAL EVAPORATION(M)	.203	ALGAL PROD(MG/M2/D)	-170.472
HEAT CONTENT (MCAL)	.62518E+09	PRIM PROD (MG C/M2/D)	929.
		SUP PRIM PROD(G C/M2)	72.

MEAN 0-10 M (UG/L)

ALG 1	234.	ALG 2	603.	ALG 3	1900.	ALG 4	170.	ALG 5	0.	ALG 6	0.	ALG 7	0.	ALG 8	0.	ALG 9	0.	ALG 10	SUM	Z00	
																			0.	3054.	157.

INFLOW AND OUTFLOW QUALITIES

TRIB	TEMP C	DO MG/L	BOD KG/D	ALKA MG/L	PH	CO2C UG/L	NH3N UG/L	N03N UG/L	N02N UG/L	P04P UG/L	HYGIND MPN/100	ALGA1 UG/L	ALGA2 UG/L	ALGA3 UG/L	DETRI MG/L	TDS MG/L	SLS MG/L
1	19.00	9.30	.00	40.	7.6	727.	300.	200.	0.	60.	.0	0.	0.	0.	.8	1.	0.
2	13.00	10.50	.00	40.	7.8	515.	209.	690.	0.	12.	.0	0.	0.	0.	2.0	4.	0.
3	16.00	9.90	.00	40.	7.5	963.	240.	600.	0.	10.	.0	0.	0.	0.	1.0	6.	0.
4	14.00	10.30	.00	40.	7.7	634.	270.	900.	0.	68.	.0	0.	0.	0.	.8	4.	0.
5	12.00	10.30	.00	40.	7.8	526.	360.	4000.	0.	160.	.0	0.	0.	0.	1.2	4.	0.
6	13.00	10.50	.00	40.	7.9	422.	200.	690.	0.	12.	.0	0.	0.	0.	2.0	4.	0.

INFLOW QUANTITIES

TRIB	DO KG/D	BOD KG/D	NH3N KG/D	N03N KG/D	P04P KG/D	CO2C UG/L	NH3N UG/L	N03N UG/L	N02N UG/L	P04P UG/L	HYGIND MPN/100	ALGA1 UG/L	ALGA2 UG/L	ALGA3 UG/L	DETRI MG/L	TDS MG/L	SLS MG/L
1	61.9	.0	2.0	1.3	.4	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
2	14.5	.0	.3	1.0	.0	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
3	13.7	.0	.3	.8	.0	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
4	114.8	.0	3.0	10.0	.8	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
5	26.1	.0	.9	9.7	.4	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
6	24.5	.0	.5	1.6	.0	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
YHT.	255.5	.0	7.0	24.4	1.6	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.

OUTL	TEMP C	DO MG/L	BOD MG/L	ALKA MG/L	PH	CO2C UG/L	NH3N UG/L	N03N UG/L	N02N UG/L	P04P UG/L	HYGIND MPN/100	ALGA1 UG/L	ALGA2 UG/L	ALGA3 UG/L	DETRI MG/L	TDS MG/L	SLS MG/L
1	6.93	6.02	.00	25.	7.1	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.
AVGOUT	6.93	6.02	.00	25.	7.1	1774.	23.	1295.	25.	9.	.1	2.	14.	10.	1.1	5.	0.

OUTFLOW DISTRIBUTION(BOTTOM TO TOP)  
 GATE 1  
 FLOW CMS .20

SUMMARY OF OUTPUT FOR SIMULATION DAY 199 ( JUL 9 ) INTERVAL 2 ( 5 PER DAY ) --- RESERVOIR QUALITY PROFILES

ELEV M	TEMP C	DO MG/L	BOD MG/L	ALKA MG/L	PH	CO2C UG/L	NH3N UG/L	NO3N UG/L	NO2N UG/L	PO4P UG/L	ZOOPL. UG/L	ALGA1 UG/L	ALGA2 UG/L	ALGA3 UG/L	ALGA4 UG/L	ALGA5 UG/L	DETRI MG/L
65.0	19.47	8.13	.00	27.	3.5	60.	111.	828.	84.	1.	134.	281.	329.	1040.	1189.	146.	1.3
61.0	19.47	8.13	.00	27.	8.5	58.	111.	823.	84.	1.	184.	281.	329.	1040.	1189.	146.	1.3
59.0	12.68	8.04	.00	27.	9.3	9.	194.	698.	126.	1.	245.	102.	296.	621.	4303.	252.	2.0
57.0	9.10	3.24	.00	26.	7.2	1598.	114.	1151.	77.	12.	133.	21.	134.	207.	2004.	135.	1.7
55.0	8.05	3.66	.00	26.	7.2	1639.	68.	1265.	52.	13.	86.	6.	64.	80.	790.	123.	1.5
53.0	7.61	4.43	.00	26.	7.1	1949.	48.	1290.	41.	11.	57.	4.	38.	40.	378.	95.	1.3
51.0	7.40	4.96	.00	26.	7.1	1898.	38.	1297.	35.	11.	57.	3.	28.	25.	33.	33.	1.2
49.0	7.27	5.23	.00	26.	7.1	1851.	33.	1299.	32.	10.	52.	3.	22.	18.	136.	75.	1.2
47.0	7.20	5.47	.00	26.	7.1	1846.	30.	1299.	30.	10.	49.	2.	20.	15.	97.	71.	1.2
45.0	7.13	5.63	.00	26.	7.1	1842.	28.	1299.	29.	10.	47.	2.	18.	13.	71.	68.	1.1
43.0	7.07	5.76	.00	26.	7.1	1838.	26.	1298.	27.	10.	45.	2.	16.	11.	52.	65.	1.1
41.0	7.02	5.87	.00	26.	7.1	1836.	25.	1297.	26.	9.	44.	2.	15.	10.	40.	63.	1.1
39.0	6.98	5.95	.00	25.	7.1	1833.	24.	1296.	26.	9.	42.	2.	15.	10.	31.	62.	1.1
37.0	6.95	6.02	.00	25.	7.1	1831.	23.	1296.	25.	9.	42.	2.	14.	9.	25.	60.	1.1
35.0	6.92	6.07	.00	25.	7.1	1830.	22.	1295.	25.	9.	41.	2.	14.	9.	21.	59.	1.1
33.0	6.90	6.10	.00	25.	7.1	1861.	22.	1294.	24.	9.	40.	2.	13.	9.	18.	58.	1.1
31.0	6.88	6.13	.00	25.	7.2	1584.	22.	1294.	24.	9.	40.	2.	13.	9.	16.	58.	1.1
29.0	6.87	6.16	.00	25.	7.2	1612.	21.	1294.	24.	9.	40.	2.	13.	8.	10.	57.	1.1
27.0	6.85	6.17	.00	25.	7.2	1641.	21.	1293.	24.	9.	40.	2.	13.	8.	14.	57.	1.1
25.0	6.85	6.18	.00	25.	7.2	1671.	21.	1293.	23.	9.	39.	2.	13.	8.	14.	57.	1.1
23.0	6.84	6.18	.00	25.	7.1	1702.	21.	1293.	23.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	57.	1.1
21.0	6.83	6.17	.00	25.	7.1	1732.	21.	1293.	23.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	57.	1.1
19.0	6.83	6.16	.00	25.	7.1	1764.	21.	1294.	23.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	56.	1.1
17.0	6.82	6.14	.00	25.	7.1	1796.	21.	1294.	23.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	56.	1.1
15.0	6.82	6.12	.00	25.	7.1	1829.	21.	1294.	24.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	57.	1.1
13.0	6.82	6.09	.00	25.	7.1	1785.	22.	1294.	24.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	57.	1.1
11.0	6.81	6.05	.00	25.	7.1	1742.	22.	1295.	24.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	57.	1.1
9.0	6.81	6.01	.00	25.	7.1	1700.	22.	1295.	24.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	58.	1.1
7.0	6.81	5.96	.00	25.	7.2	1658.	23.	1295.	24.	9.	39.	2.	13.	8.	13.	58.	1.1
5.0	6.81	5.92	.00	25.	7.1	1932.	23.	1296.	25.	9.	39.	2.	13.	9.	13.	58.	1.1
3.0	6.81	5.87	.00	25.	7.1	1886.	24.	1296.	25.	9.	39.	2.	13.	9.	13.	59.	1.1
1.0	6.81	5.84	.00	25.	7.1	1841.	24.	1294.	25.	9.	39.	2.	13.	9.	13.	59.	1.1

SUMMARY OF OUTPUT FOR SIMULATION DAY 190 ( JUL 9 ) INTERVAL 2 ( 5 PER DAY ) --- SUPPLEMENTARY INFORMATION

E	TEMP	I	CHI	GH0	GF1	GF2	GF3	GF4	GF5	MU/R01	MU/R02	DSORS	DSINK	TIC	TDS	SEDM	L.SUL
32	19.5	1.83E-01	.00	.00	.14	.06	.07	.07	.05	3.50949	1.32894	.52	.70	6.5	6.9	65124.	0.
31	19.5	3.12E-02	.14	.00	.14	.06	.07	.07	.05	3.50949	1.32894	.52	.70	6.5	6.9	66075.	0.
30	12.7	5.17E-03	.13	.00	.20	.09	.11	.11	.03	3.55634	1.53245	1.3	1.2	6.0	6.9	72505.	0.
29	9.1	8.56E-04	.01	.00	.23	.09	.07	.09	.03	3.41591	1.28537	.41	.42	7.6	6.3	60051.	0.
28	8.0	0.00E+00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.33E-05	.17	7.9	6.0	55816.	0.
27	7.6	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.98E-01	7.8	5.8	54252.	0.
26	7.4	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.61E-01	7.8	5.7	53669.	0.
25	7.3	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.8E-01	7.8	5.6	53370.	0.
24	7.2	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.42E-01	7.8	5.6	53153.	0.
23	7.1	0.00E+00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.37E-01	7.7	5.5	53008.	0.
22	7.1	0.00E+00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.34E-01	7.7	5.5	52937.	0.
21	7.0	0.00E+00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.31E-01	7.7	5.5	52859.	0.
20	7.0	0.00E+00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.30E-01	7.7	5.4	52800.	0.
19	7.0	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.29E-01	7.7	5.4	52753.	0.
18	6.9	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.28E-01	7.7	5.4	52715.	0.
17	6.9	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.28E-01	7.7	5.4	52677.	0.
16	6.9	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.27E-01	7.7	5.4	52705.	0.
15	6.9	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.25E-01	7.7	5.3	52783.	0.
14	6.9	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.25E-01	7.7	5.3	52730.	0.
13	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.26E-01	7.7	5.3	52734.	0.
12	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.26E-01	7.7	5.3	52722.	0.
11	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.25E-01	7.7	5.3	52754.	0.
10	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.25E-01	7.7	5.3	52747.	0.
9	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.26E-01	7.7	5.3	52741.	0.
8	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.26E-01	7.7	5.3	52735.	0.
7	6.8	0.00E+00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.26E-01	7.7	5.3	52729.	0.
6	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.29E-01	7.7	5.3	52545.	0.
5	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.31E-01	7.7	5.3	52422.	0.
4	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.33E-01	7.7	5.3	52315.	0.
3	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.37E-01	7.7	5.3	52041.	0.
2	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.42E-01	7.7	5.3	51782.	0.
1	6.8	0.00E+00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.00000	0.00000	.00E+00	.47E-01	7.7	5.3	51355.	0.

PHOSPHORUS IN ALGAE	.1302E+06	CARBON IN ALGAE	.1613E+08
PHOSPHORUS IN DETRITUS	.4928E+06	CARBON IN DETRITUS	.2464E+03
PHOSPHORUS IN SUSPENS.	.5045E+06	CARBON IN SUSPENSION	.4896E+09
PHOSPHORUS IN ORG.SED.	.1548E+09	CARBON IN ORGANIC SED.	.4645E+03
PHOSPHORUS IN AMORG.SED.	.5139E+11	CARBON IN BOD	.0000E+00
TOTAL PHOSPHORUS	.5155E+11	CARBON IN ZOOPLANKTON	.2014E+07
		TOTAL CARBON	.5739E+09