

02-2290

E -88403

# **Simuleringsmodell for vannkvalitet i elver**

Test mot resultater fra eksperimentelle  
studier av begroing

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

**Hovedkontor**  
Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

**Sørlandsavdelingen**  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

**Østlandsavdelingen**  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

**Vestlandsavdelingen**  
Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:

E-88403

Undernummer:

Løpenummer:

2290

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:

Simuleringsmodell for vannkvalitet i elver.  
Test mot resultater fra eksperimentelle studier  
av begroing.

Dato:

2. oktober 1989

Prosjektnummer:

E-88403

Forfatter (e):

Torulv Tjomsland

Faggruppe:

Vassdrag

Geografisk område:

Antall sider (inkl. bilag):

40

Oppdragsgiver:

Norsk institutt for vannforskning

Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):

Ekstrakt:

Den økologiske modellen for elver, QUAL-2E, ble utvidet til også å omfatte begroing. Modellen, med vekt på begroing, ble testet mot resultater fra eksperimentelle forsøk i renner. Simuleringsresultatene viste overveiende bra samsvar med de observerte verdiene. Dette til tross for betydelige forskjeller i de enkelte rennene med hensyn til begroingsmengde, vanntemperatur, strømhastighet og fosforinnhold. Resultatene var tilstrekkelig lovende til at vi vil anbefale å prøve modellen på et naturlig vassdrag.

4 emneord, norske:

1. Matematisk modell
2. QUAL-2E
3. Begroing
4. Forsøksrenner

4 emneord, engelske:

1. Mathematical model
2. QUAL-2E
3. Bentic algae
4. Experimental channels

Prosjektleder:

*Torulv Tjomsland*

For administrasjonen:

*Dag Blye*

ISBN 82-577-1591-3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

E88403

**Simuleringsmodell for vannkvalitet i elver**

**Test mot resultater fra eksperimentelle**

**studier av begroing**

**Oslo, 2. oktober 1989**

**Prosjektleder: Torulv Tjomsland**

**Medarbeider : Tor Traaen**

## **FORORD**

Arbeidet er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Prosjektet er et bidrag til et arbeide for å kunne forutsi økologiske virkninger i vassdrag som følge av menneskelige inngrep og naturlige endringer.

Vi har benyttet den økologiske modellen for elver, QUAL-2E, som er utviklet ved National Council for Air and Stream Improvement (NCASI) i USA.

Modellen er videreutviklet til også å omfatte begroing og testet mot resultatene fra begroingsstudier ved NIVAs forsøksstasjon ved Maridalsvannet i Oslo. De eksperimentelle forsøkene der ble utført av Tor Traaen i 1986 og av Dag Berge, Tor Traaen og Torsten Källqvist i 1979.

## INNHOOLD

INNHOOLD	1
FIGURER	1
TABELLER	2
1. SAMMENDRAG	3
2. MODELLBESKRIVELSE	4
2.1 Innledning	4
2.2 Hva modellen simulerer	4
2.3 Inputdata	5
3. RESULTATER	8
3.1 Forsøksanlegget	8
3.2 Begroing ved ulik vanntemperatur og strømhastighet	8
3.3 Begroing ved trinnvis økt vannføring	11
3.4 Begroing ved ulik fosforkonsentrasjon	13
4. DISKUSJON	15
5. REFERANSER	18
Vedlegg A. Matematiske formuleringer	19
Vedlegg B. Eksempel på resultatutskrift	28
Vedlegg C. Observasjonsdata	36
FIGURER	
2.1 Inndeling av elvesystemet i segmenter.	6
2.2 Økologiske prosesser som blir simulert innen hvert segment.	6
3.1 Simulert og observert begroing 1986. Test på effekter av vanntemperatur og strømhastighet.	10
3.2 Begroing som hadde vokst opp ved høy strømhastighet var mest motstandsdyktig mot spyleflommer.	12
3.3 Begroing ved ulik fosforkonsentrasjon.	14
A.1 Økt skjærstress under oppveksten reduserer erosjonen.	27
A.2 Erosjon p.g.a. raskt økt skjærkraft.	27
B.1 Modellens inndeling av forsøksrennene i segmenter.	37
C.1 Temperatur i overflatevann (1 m) og i dypvann (20 m).	28

## TABELLER

3.1	Fysiske forhold i rennene.	9
C.1	Observert 1986. Vannkjemi i overflatevann (1 m).	37
C.2	Observert 1986. Vannkjemi i dypvann (20 m).	38
C.3	Begroing 1986. Artssammensetning.	39
C.4	Begroing 1988. Artssammensetning.	40



## 2. MODELLBESKRIVELSE

### 2.1 Innledning

For en hensiktsmessig utnyttelse av vannet i elver er det behov for å kunne forutsi effekten av forurensningstilførsler, klimatiske endringer, vannføringsreguleringer m.m. på vannkvaliteten.

I dag benyttes vanligvis enkle fortynningsberegninger sammen med kvalifisert skjønn for å forutsi kjemiske og biologiske effekter av utslipp til elver. For en rekke problemstillinger gir slike vurderinger tilstrekkelig informasjon. Dersom vi har behov for å gi en mer detaljert beskrivelse av hvordan ulike kjemiske stoffer og alger fordeles nedover en elvestrekning i løpet av en årssyklus, er det behov for å ta hensyn til en rekke prosesser. Samspillet mellom disse fysiske-, kjemiske- og biologiske prosessene er såpass komplekst at det er nødvendig å nytte matematiske simuleringsmodeller for å kunne gi kvantitative svar.

I den senere tid er det utviklet en del slike økologiske modeller for elver. Vi har valgt å nytte modellen QUAL-2E slik den er presentert av National Council for Air and Stream Improvement (NCASI 1985).

I tillegg har vi videreutviklet modellen til også å omfatte fastsittende alger på bunnen av elven (begroing).

### 2.2 Hva modellen simulerer

Vannkvaliteten i elvesystemet blir beregnet som funksjon av tid og sted.

Modellen simulerer følgende variable:

- vannstand
- strømhastighet
- temperatur
- oksygen
- biologisk oksygenforbruk
- organisk bundet nitrogen
- ammonium-nitrogen
- nitritt-nitrogen
- nitrat-nitrogen
- organisk bundet fosfor
- løst fosfor
- koliforme bakterier



- ikke konservativt stoff
- konservativt stoff, 3 typer
- sum frittstående alger
- fastsittende alger/begroing, 3 typer

Elvesystemet, med eventuelle sideelver, blir inndelt i segmenter (fig 2.1). Innen hvert segment antas forholdene å være ensartede.

Med unntak av begroing kan modellen direkte beregne sluttresultatene (likevektskonsentrasjonene) for hvert segment dersom de ytre påvirkningene er konstante (klima, tilførsler m.m.). Ellers blir resultatene beregnet suksessivt fremover i tiden med et valgt tidsintervall.

Elven blir tilført vann og stoff i gitte punkter. Dette blir transportert nedover i vassdraget samtidig som det inngår i ulike prosesser (fig. 2.2).

Prosessene blir beskrevet matematisk. Intensiteten i prosessene blir i stor utstrekning bestemt av gitte koeffisienter. Disse kan eventuelt endres systematisk med temperatur og oksygenforhold. De største vanskelighetene for en realistisk simulering er gjerne forbundet med å bestemme disse koeffisientene tilfredsstillende.

Ligningssystemene som beskriver de ulike prosessene blir løst ved numeriske metoder.

For en mer detaljert beskrivelse av modellen viser vi til vedlegg A.

### 2.3 Inputdata

#### Elveløpets beskaffenhet

Elvesystemet deles inn i segmenter. For hvert segment må ruhet, gradient og tverrsnitt være kjent.

#### Koeffisienter

Det er nødvendig å stipulere verdien til ca 60 koeffisienter som beskriver fysiske, kjemiske og biologiske prosesser (Vedlegg A). Mange av disse koeffisientene kan bestemmes tilstrekkelig nøyaktig ut fra litteraturen. For andre er det ønskelig/nødvendig å kalibrere ved hjelp av observasjoner i felt.

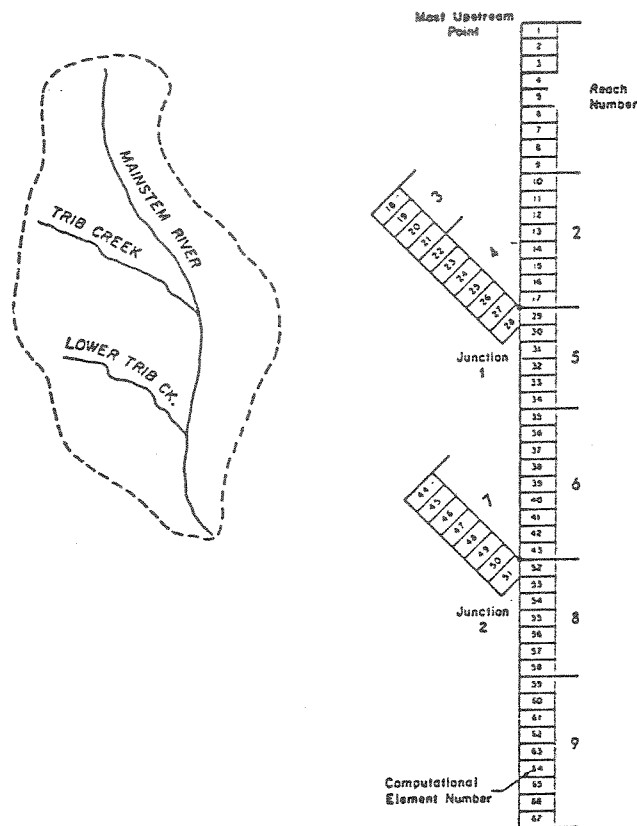


Fig. 2.1 Inndeling av elvesystemet i segmenter (NCASI 1985).

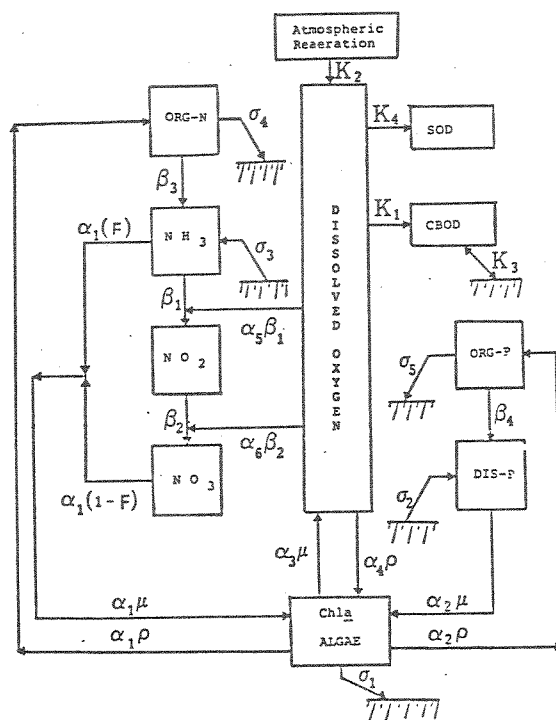


Fig. 2.2 Økologiske prosesser som blir modellert innen hvert segment (NCASI 1985).

### Klimadata

Avhengig av hva som skal simuleres kan det er behov for informasjon om lufttemperatur, duggpunkttemperatur, skydekke, lufttrykk, vindstyrke og solstråling. Verdiene for solstråling kan eventuelt beregnes ved hjelp av de øvrige klimadataene. Det kan være nødvendig med hyppige innlesninger for å kunne få frem endringene i løpet av et døgn.

### Tilførsler

Tilførsler av vann og stoff til aktuelle segmenter innen elvesystemet må være kjent. Vannet kan eventuelt antas å bli rensset eller fjernet fra elven. Manglende observasjoner gjør at det vanligvis er nødvendig å nytte middelverdier for en gitt periode, f.eks. en uke.

### 3. RESULTATER

Modellen ble testet mot resultatene fra begroingsstudier i renner ved Oset forsøksanlegg ved Maridalsvatnet i Oslo. Det ble lagt vekt på å studere begroingsutviklingen som funksjon av næringstilførsler, temperatur og strømhastighet.

#### 3.1 Forsøksanlegget

Det var 6 renner av gråhvit glassfiberarmert polyester, 15 m lange, 20 cm brede og 15 cm høye. Det ble pumpet vann fra Maridalsvannet fra 1 m's dyp (varmt vann) og fra 20 m's dyp (kaldt vann). Det var installert utstyr for dosering av fosfor.

På bunnen av rennene ble det festet uglaserte porfyrfliser (10x10x1 cm). Flisene ble plassert med 10 cm's mellomrom. For kvantitativ bestemmelse av algebiomasse ble begroingen skrapet av fra fire fliser innen hver renne og analysert med hensyn til organisk karbon.

For en mer detaljert beskrivelse av forsøksopplegget viser vi til Traaen 1987 og Berge og Traaen 1989.

Ved simuleringene ble begroingsalgene delt inn i gruppene: Kiselalger, grønnalger og øvrige alger. Vanligste kiselalge var Tabellaria flocculosa. Av grønnalgene var Zygnema a og Mougeotia a mest utbredt (Vedlegg C).

Det ble benyttet de samme koeffisientverdiene ved samtlige simuleringer. Simulerte begroingsverdier ble regnet om fra tørrvekt til karbon ved å multiplisere med 0.4.

#### 3.2 Begroing ved ulik vanntemperatur og strømhastighet

Simuleringsresultatene ble testet mot observerte verdier sommeren 1986.

Karakteristiske fysiske forhold innen hver renne er vist i tabell 3.1. Temperaturen i overflatevannet avtok fra ca 20°C til 10°C i løpet av forsøksperioden. Temperaturen på dyputtaksvannet økte fra ca 8°C til 10°C. Fosfor var begrensende næringsstoff. Verdiene var i hele perioden nær 1 µg PO<sub>4</sub>-P/l i alle rennene (Vedlegg C).

Tabell 3.1 Fysiske forhold i rennene

Renne nr.	Kode	Vannf. l/s	Strømhast. cm/s	Dybde cm	Vanntype, uttaksdyp
1	010	1.	10	5	Overflatevann, 1 m
2	025	3.	25	6	"
3	050	7.	50	7	"
4	D50	7.	50	7	Dypvann, 20 m
5	D25	3.	25	6	"
6	D10	1.	10	5	"

Resultatene er vist på fig. 3.1.

Det var god overenstemmelse mellom simulert total biomasse og observerte verdier.

Algenes veksthastighet avtok i modellen med avtakende temperatur. Dette førte til en betydelig mindre begroingsmengde i rennene med dypvannsinntak enn i rennene med overflatevann, jfr. 010 og D10, 025 og D25, 050 og D50.

Begroingsandelen som ble antatt kontinuerlig erodert, var i modellen proporsjonal med vannets skjærkraft mot bunnen. F.eks. vil en dobling av strømhastigheten føre til en fire ganger så stor erosjon. Metoden beskrev forholdene i rennene bra, jfr. 010, 025 og 050 samt D10, D25 og D50. Imidlertid må vi regne med at løsrivningen i virkeligheten foregår noe diskontinuerlig og til ulike tidspunkter i de forskjellige delene av rennene. Største begroingsmengde på de fire flisene som ble høstet på prøvetakingsdagene kunne i enkelte tilfeller være dobbel så stor som mengden på den minst begrodde flisen. Det er derfor rimelig å vente periodevis avvik mellom simulerte og observerte verdier. Dette kan være en vesentlig årsak til den spesielt høye observerte verdien i renne 025 i september.

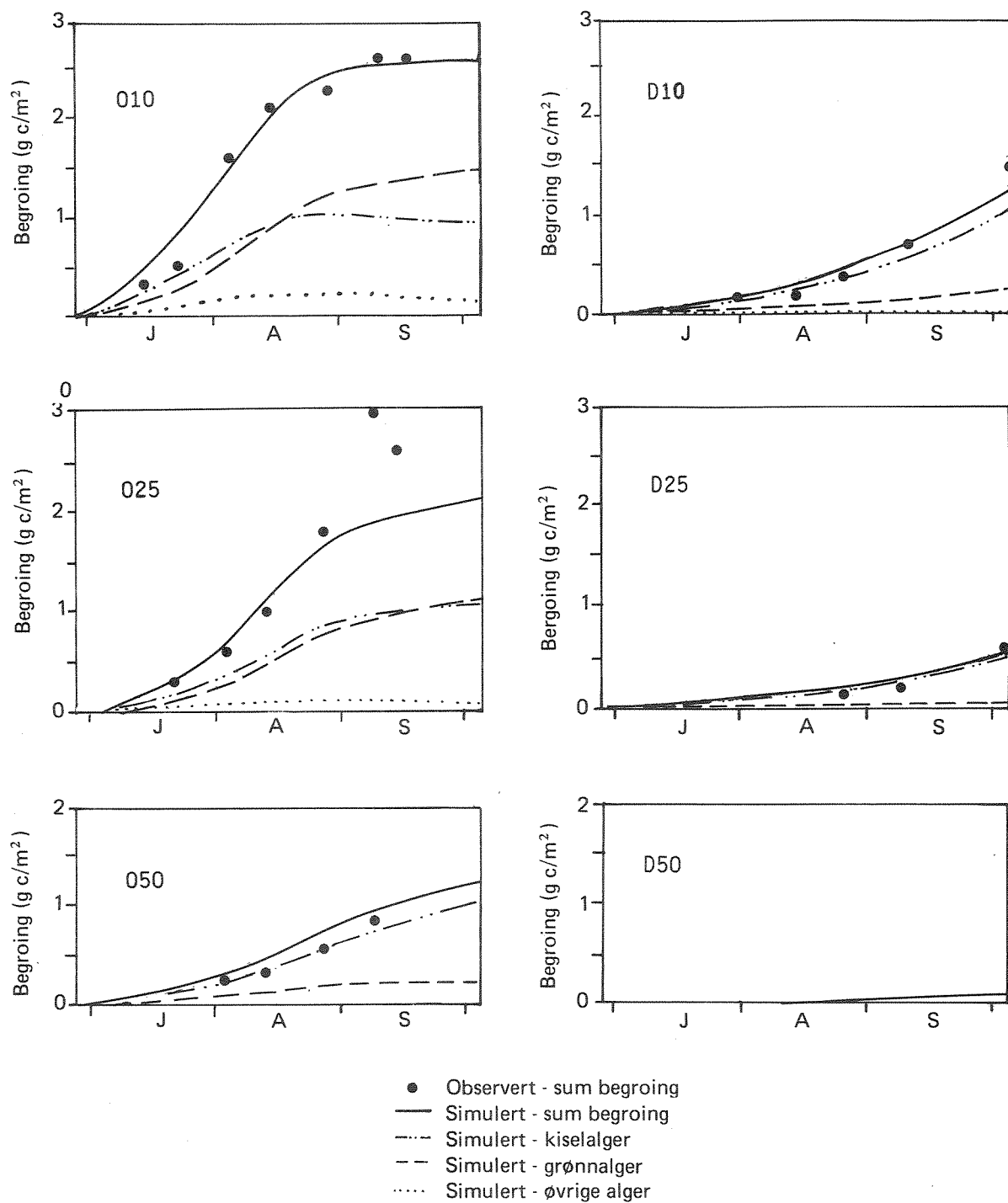


Fig. 3.1 Simulert og observert begroing 1986. Test på effekter av vanntemperatur og strømhastighet.

Begroingsmengden i renne 010 økte langsommere enn i renne 025 i september. I modellen skyldes dette at veksten ble redusert ved økende begroingsmengde. Dette p.g.a. selvskygging, plassmangel m.m. Det vil derfor være mulig å oppnå noenlunde samme begroingsmengde i renner med ulike vekstbetingelser f.eks. 010 og 025. Tiden som er nødvendig for å nå den øvre grensen vil imidlertid være forskjellig.

Den mengdemessige fordelingen av de ulike begroingsartene ble kun vurdert skjønsmessig. Simuleringsresultatene samsvarte bra med disse kvalitative observasjonene.

Større motstandsdyktighet mot erosjon medførte at kiselalgene klarte seg forholdsvis bedre enn de øvrige algene ved økende strømhastighet (010, 025 og 050). I rennene med dypvannsinntak var også kiselalgene dominerende. Dette p.g.a. mindre vekstreduksjon enn de øvrige algene ved avtagende temperatur. Ved høye temperaturer hadde grønnalgene størst veksthastighet. I renne 010 var dette tilstrekkelig til at disse algene etterhvert oppnådde de høyeste modellerte begroingsverdiene. Kiselalgens dominans i startfasen skyldes trolig bedre evne til å feste seg til underlaget, eventuelt også at de var mengdemessig mest utbredt i vannet som ble pumpet. I modellen ble dette tilpasset ved større innleste verdier ved simuleringens start.

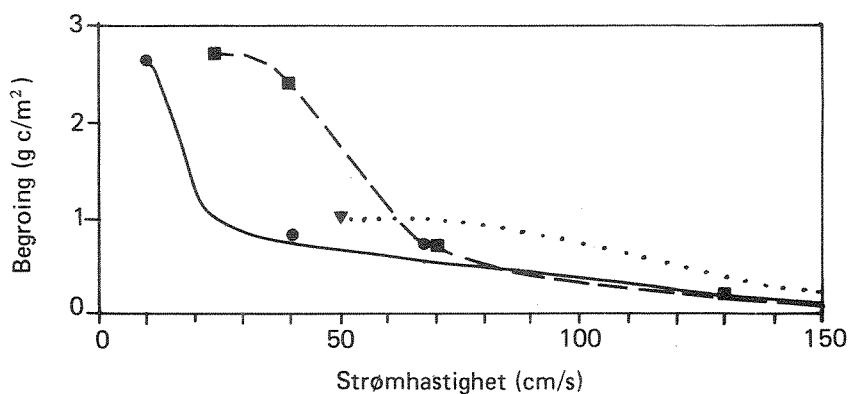
### 3.3 Begroing ved trinnvis økt vannføring

De omtalte vekstforsøkene i 1986 ble avsluttet med å studere hvordan trinnvis økt vannføring virket eroderende på begroingen. Forsøkene ble utført med alger fra rennene 010 og 025, dvs. på alger som var vokst opp i overflatevann ved strømhastigheter på henholdsvis 10 cm/s og 25 cm/s. Strømhastigheten ble økt trinnvis, slik at det ikke oppsto bølger, opp til 70 cm/s. Det ble tatt begroingsprøver som representerte hastighetene 40 cm/s og 70 cm/s.

Resultatene er vist på fig. 3.2.

Forsøkene viste at nødvendig strømhastighet for å fjerne begroing var avhengig av hvilken strømhastighet algene hadde vokst opp ved. Algene som hadde vokst opp ved en strømhastighet på 10 cm/s (010) ble effektivt redusert ved en økning til 40 cm/s, mens algene som hadde vokst opp ved 25 cm/s (025) ble lite påvirket. Ved hastighetsøkning til 70 cm/s var gjenværende biomasse liten og omtrent lik i begge disse rennene.

Modellen klarte rimelig bra å beskrive denne utviklingen.



sum begroing	strømhastighet ved	renne
observert	oppvekst (cm/s)	
● ———	10	010
■ - - - -	25	025
▼ .....	50	050

Fig. 3.2 Begroing som hadde vokst opp ved høy strømhastighet var mest motstandsdyktig mot spyleflommer.

For hver algetype må det i modellen oppgis hvor mange ganger skjærkraften mot bunnen, som er proporsjonal kvadratet av strømhastigheten, må øke for å fjerne halvparten av begroingen. Modellen kan da beregne erosjonseffektene av en vilkårlig manøvrering av vannføringen.

Erosjonskoeffisienten samt formlene for erosjonskurven (fig. 3.2) ble valgt i den hensikt å oppnå samsvar mellom de simulerte og observerte resultatene. Ytterligere eksperimentelle forsøk ville kunne ha forbedret denne beregningsmåten.

Imidlertid er resultatene rimelige også i forhold til observasjoner utført i et naturlig vassdrag (Lindstrøm og Traaen 1984).



### 3.4 Begroing ved ulik fosforkonsentrasjon

Modellen ble testet mot resultatene fra renneforsøk i 1988 hvor det ble studert hvordan begroingen utviklet seg ved ulik dosering av fosfor.

I den ene av rennene besto vannet av upåvirket overflatevann fra Maridalsvannet, dvs. med en fosforkonsentrasjon på ca  $1 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ . I to andre renner ble vannet kontinuerlig tilsatt løst fosfor tilsvarende en konsentrasjonsøkning på henholdsvis  $5 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$  og  $15 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ . Øvrige forhold var ensartede i alle rennene. Strømhastighet og vannstand var henholdsvis 20 cm/s og 5 cm. Vanntemperaturen var nær  $14^\circ\text{C}$ . Begroingen ble dominert av de samme algetypene som ved de tidligere beskrevne forsøkene.

Observasjonene viste at fosforinnholdet i det doserte vannet varierte såpass mye at vi måtte vente at dette ville medvirke til mindre avvik mellom observerte og simulerte begroingsverdier.

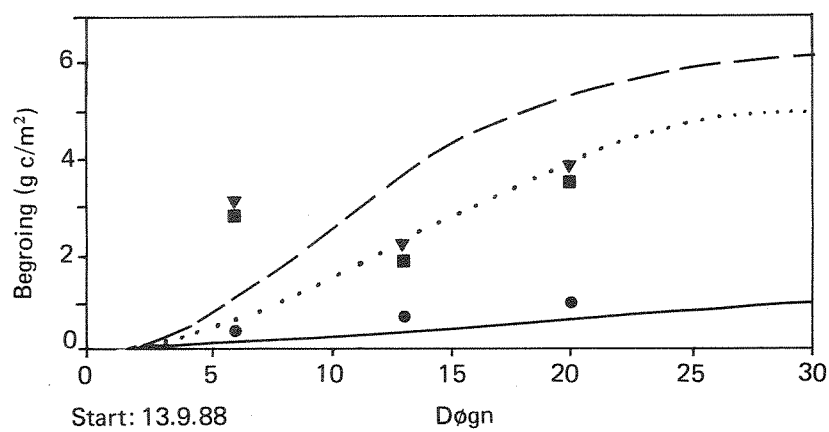
Resultatene er vist på fig. 3.3.

I følge observasjonene økte begroingsmengden betydelig ved å dosere tilsvarende en konsentrasjonsøkning på  $5 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ . Ytterligere fosfortilførsler ga liten respons. Simuleringene viste en lignende tendens.

I den upåvirkede rennen (C1) var det bra samsvar mellom observerte og simulerte begroingsverdier.

Begroingen utviklet seg nesten likt i de to øvrige rennene (C6 og C16). Etter tre dager uten iøynefallende vekst økte konsentrasjonene meget raskt til ca  $3 \text{ g C/m}^2$ . En betydelig andel av dette ble erodert på mindre enn ett døgn. Etter tyve dager ble det målt verdier på nær  $4 \text{ g C/m}^3$ .

Også modellen viste liten begroingsrespons ved økte fosforkonsentrasjoner utover  $5 \mu\text{g PO}_4\text{/l}$  selv om forskjellen var noe større enn observasjonene indikerte. Det er naturlig at erosjonen, i motsetning til i modellen, foregår tildels periodevis. Flere observasjoner og over en lengre periode ville gitt sikrere informasjon om modellens pålitelighet angående dette.



sum begroing observert	simulert	Renne Vanntype/dosering	Omtrentlig konsentrasjon $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$
●	—	C1 upåvirket overflatevann	1
■	.....	C6 økt konsentrasjon på 5 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$	6
▼	-----	C16 økt konsentrasjon på 15 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$	16

Fig. 3.3 Begroing ved ulike fosforkonsentrasjoner.

#### 4. DISKUSJON

En elv er et komplekst økosystem hvor det er et samspill mellom utallige fysiske, kjemiske og biologiske faktorer. En modell vil alltid representere en sterk forenkling av et naturlig system. Det kan kun bli tatt hensyn til et relativt lite antall av disse prosessene. Videre må prosessene kunne beskrives ved matematiske ligninger. Modellstrukturen vil alltid måtte bli et kompromiss mellom økosystemets kompleksitet og eksisterende kunnskap om de ulike prosessene. Videre er det sjelden tilstrekkelig med observasjonsdata for å bestemme verdiene til de ulike parametrene og for kalibrering og verifisering av modellen. Observasjonsdataene kan dessuten være feilaktige.

Eksperimentene i rennene ble ikke utført i den hensikt å teste modellen. Ytterligere prøveinnsamling ville utvilsomt forbedret simuleringens utsagnskraft. Likevel var dataene særdeles nyttige da de i sjelden grad ga oss anledning til å "rendyrke" en rekke sentrale prosesser.

Den største vanskeligheten ved bruk av modellen er forbundet med å bestemme verdiene på de ulike parametrene. Mange av disse kan stipuleres tilfredsstillende ut fra litteraturen. Imidlertid vil det alltid gjenstå en rekke verdier som kun kan bestemmes ved kalibrering mot observasjonsdata, f.eks. algespesifikke koeffisienter som beskriver vekst og erosjon. Kalibreringsprosessen er meget tidkrevende. Det finnes ingen objektiv måte å gjøre dette på. Selv om vi kan dra nytte av enkelte optimaliseringsmetoder (Jørgensen m.fl. 1978 og Bensen 1979), blir kalibreringsprosessen i stor grad subjektiv. I vårt tilfelle ble en eller eventuelt to parameterverdier endret av gangen. Virkningen i modellen ble studert og resultatet sammenlignet med observerte verdier. Vanligvis ga dette ideer til forsøk med nye verdier. Metoden krever inngående kjennskap til modellens virkemåte, forståelse av de økologiske prosessene samt en god porsjon intuisjon.

Ulike sett av parameterverdier kan tenkes å gi et tilnærmet likt sluttresultat. For å finne et mest mulig tilfredsstillende verdsett er det derfor viktig å kjenne parametrenes biologiske relevans og å ha observasjonsdata som gjør det mulig å skille mellom de enkelte prosessene. I så måte var observasjonsresultatene fra renneforsøkene meget godt egnet både for kalibrering av modellen og til å studere følsomheten til en rekke sentrale parametre. Simuleringsresultatene viste overveiende bra samsvar med de observerte verdiene. Dette til tross for betydelige forskjeller i de enkelte rennene med hensyn til

begroingsmengde, strømhastighet, vanntemperatur og fosforinnhold. Vi anvendte de samme parameterverdiene ved alle de presenterte simuleringene.

Modellen er tilstrekkelig generell til at den kan anvendes på et naturlig vassdrag. Andre typer begroingsalger m.m. vil gjøre det nødvendig med nye verdier på en rekke parametre. Resultatene vil ventelig bli mer usikre enn for rennene. Det finnes i dag lite kvantitativ kunnskap om hvordan de forskjellige typer begroingsalger reagerer under ulike forhold. I en viss utstrekning kan en dra nytte av studier av alger i innsjøer. Men også her er den kvantitative datatilgangen langt mindre enn hva modellene er i stand til å utnytte. Det er følgelig ønskelig med spesialstudier for å bedre dette.

Modellen som simulerer begroingsutviklingen er laget ved NIVA. Den er imidlertid konstruert slik at den inngår som et tillegg til den økologiske modellen QUAL-2E. Test av modellen på et naturlig vassdrag i Norge, samt på de øvrige variable som inngår, gjenstår. Imidlertid ble modellens fysiske og kjemiske deler testet i Finland med tilfredsstillende resultat (Kinnunen m.fl. 1982). Den ble forøvrig foretrukket ved sammenlignende studier av ulike økologiske modeller for bruk i elver i Sverige (Heyman og Marton 1983).

Modellen kan være nyttig til å prognosere hvordan effekten av tiltak i nedbørfeltet kan influere på de økologiske forholdene i vassdraget. Den kan være til hjelp for å klarlegge enkeltfaktorenes betydning på helheten, være til hjelp for å skille viktige prosesser fra mindre viktige og dermed øke forståelsen av økosystemet. Dette kan også utnyttes til å utarbeide et hensiktsmessig program for datainnsamling i felt.

Innlegging av data samt kalibreringsprosedyren er tidkrevende. Når først dette arbeidet er gjort vil den videre bruk av modellen til f.eks. prognoser kunne utføres meget raskt. Denne delen av arbeidet setter også mindre krav til økologisk og modellteknisk innsikt.

Dersom f.eks. lokale myndigheter ønsker å bruke modellen til å studere økologiske effekter av tiltak i en bestemt elv, kan det være hensiktsmessig å få eksperthjelp til å kalibrere modellen for siden å utføre de nødvendige prognosesimuleringene selv. Kjøringene kan utføres på en PC.

Vi må imidlertid understreke at modellen ikke gir noe fasitsvar. Den er kun et hjelpemiddel. Det er fortsatt brukeren som må ta beslutninger ut i fra generell økologisk forståelse. Imidlertid vil

grunnlaget for å ta beslutninger i mange tilfeller utvilsomt bli sterkt forbedret ved bruk av modellsimuleringer.

## 5. REFERANSER

- Benson, M. 1979. Parameter fitting in dynamic models. *Ecol. Modelling*, 6.
- Berge, D., Källqvist, T. og Traaen, T. 1989. Biotilgjengelighet av fosfor fra ulike forurensningskilder. 0-87079. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Heyman, U. og Marton M. 1983. En oversiktlig jmførelse av vattenkvalitetsmodeller. Tulea 20. Høgskolan i Luleå.
- Jørgensen, S.E., Mejer, J and Friis, M. 1978. Examination of lake model. *Ecol. Modelling* 4.
- Kinnunen, K., Nyholm, B., Niemi, J., Frisk, T., Tellervo, K.H., Kauranne, T. 1982. Water quality modelling of Finnish water bodies. National Boards of Waters, Finland.
- Lindstrøm, E.A. og Traaen, T. 1984. Influence of current velocity on periphyton distribution and succession in a Norwegian soft water river. *Verh. Internat. Verein. Limnol*, no. 22.
- NCASI 1985. Computer program for the enhanced stream water quality model QUAL-2E. NCASI, technical bulletin no. 471, New York.
- Traaen, T. 1987. Eksperimentelle undersøkelser for manøvreringsrettet kunnskap. Begroing og strømhastighet. Fremdriftsrapport for 1986.

## VEDLEGG A. MATEMATISKE FORMULERINGER

Modellen er en-dimensjonal. Dvs. at elven blir inndelt i segmenter med ensartede forhold innen hvert segment. For hvert element blir massebalansen for en gitt variabel beskrevet av en grunnleggende ligning på formen:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{\delta(A D \frac{\delta C}{\delta x})}{A \delta x} - \frac{\delta(A u C)}{A \delta x} + \frac{dC}{dt} + \frac{K}{V} \quad (1)$$

Ligningen uttrykker hvordan en gitt konsentrasjon innen et segment endres med tiden som følge av massetransport nedover elven (diffusjon og adveksjon), indre prosesser og eksterne kilder.

C: konsentrasjon (mg/l, °C, m³/s)

t: tid

A: tverrsnittsareal (m²)

V: volum (m³)

u: strømhastighet (m/s)

D: diffusjonskoeffisient (m²/s)

K: tilførsler fra eksterne kilder eller uttak/fjerning av stoff (/s)

### Hydrauliske variable

Vi antar stasjonære hydrauliske forhold ( $\delta Q / \delta t$ ) = 0. Ligning 1 blir da redusert til:

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = Qk$$

Q: vannføring

Qk: vannføringstilskudd/uttak fra ytre kilder

De øvrige hydrauliske variable kan beregnes på to måter:

## 1) Avløpskoeffisienter

$$u = aQ^b$$

$$A = Q/y$$

$$h = cQ^d$$

u: strømhastighet

A: tverrsnittsareal

d: dybde

a,b,c og d: innleste koeffisienter

## 2) Kjent tverrsnitt

Dersom segmentets tverrsnitt (A) er kjent som funksjon av dybden (d) kan strømhastigheten beregnes ved prøve og feilemetoden av ligningene:

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3}S^{1/2} \quad (\text{Mannings formel})$$

$$Q = A u$$

n: Mannings ruhetskoeffisient

R: hydraulisk radius

S: energilinjens gradient

Temperatur

Temperatur kan betraktes som "konsentrasjon" av varme i ligning 1. Indre prosesser antas å være neglisjerbare ( $dT/dt = 0$ ). Varmeutveksling mellom vann og atmosfæren blir beskrevet ved:

$$E_n = E_k + E_{ls} - E_{lv} \pm E_c - E_f$$

$E_n$  : netto varmetveksling med atmosfæren

$E_k$  : solstrålingsenergi (kortbølget stråling) som trenger ned i vannet

$E_{ls}$  : langbølget strålingsenergi (fra skyer m.m.) som trenger ned i vannet

$E_{lv}$  : langbølget stråling fra vannoverflaten

$E_c$  : varmetap/varmemottak ved konveksjon

$E_f$  : fordampningsvarme



Sentrale og biologiske prosesser

$$\frac{dA}{dT} = \mu A - \rho A - \frac{\sigma_1}{h} A$$

$$\frac{dORGN}{dt} = \alpha_1 \rho A - \sigma_4 ORGN$$

$$\frac{dNH_4}{dt} = \beta_3 ORGN - \beta_1 NH_4 + \frac{\sigma_3}{h} - F\alpha_1 \mu A$$

$$\frac{dNO_2}{dt} = \beta_1 NH_4 - \beta_2 NO_2$$

$$\frac{dNO_3}{dt} = \beta_2 NO_2 - (1-F)\alpha_1 \mu A$$

$$\frac{dORGP}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 ORGP - \sigma_5 ORGP$$

$$\frac{dDISP}{dt} = \beta_4 ORGP + \frac{\sigma_2}{h} - \alpha_2 \mu A$$

$$\frac{dBOD}{dt} = -K_1 BOD - K_3 BOD$$

$$\frac{dO}{dt} = K_2 (O^1 - O) + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A - K_1 BOD - \frac{K_4}{h} - \alpha_5 \beta_1 NH_4 - \alpha_6 \beta_2 NO_2$$

$$\frac{dNC}{dt} = -K_6 NC - \sigma_6 NC + \frac{\sigma_7}{h}$$

$$\frac{dCOLI}{dt} = -K_5 COLI$$

## Symbolforklaring

Temperaturavhengige koeffisienter er oppgitt ved 20°C, KOEF(20). Disse verdiene blir endret med temperaturen, T, i henhold til formelen  $KOEF(T) = KOEF(20) \cdot TETA^{(T-20)}$ . Karkarakteristiske verdier på TETA er eventuelt oppgitt:

Symbol	Beskrivelse	Enhet	vanlig verdiområde	TETA
A	Frittsvevende alger, tørrvekt	mg A/l		
ORGN	Organisk nitrogen	mg ORGN/l		
NH <sub>4</sub>	Ammonium nitrogen	mg NO <sub>4</sub> /l		
NO <sub>2</sub>	Nitritt nitrogen	mg NO <sub>2</sub> /l		
NO <sub>3</sub>	Nitrat nitrogen	mg NO <sub>3</sub> /l		
ORGP	Organisk nitrogen	mg ORGP/l		
DISP	Løst fosfor	mg DISP/l		
BOD	Biologisk oksygenforbruk	mg BOD/l		
O	Oksygen	mg O/l		
O <sup>1</sup>	Metningskonsentrasjon for oksygen	mg O/l		
NC	Ikke konservativt stoff	mg NC/l		
COLI	Koliforme bakterier	kolonier/100 ml		
h	Elvesegmentets midlere dybde	m		
O <sub>1</sub>	Algenes nitrogeninnhold	mgN/mgA	0.07-0.12	
O <sub>2</sub>	Algenes fosforinnhold	mgP/mgA	0.05-0.02	
O <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> produksjon ved algevekst	mgO/mgA	1.4-1.8	
O <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> opptak ved algerespirasjon	mgO/mgA	1.6-2.3	
O <sub>5</sub>	O <sub>2</sub> opptak ved NH <sub>3</sub> oksydasjon	mgO/mgN	3.0-4.0	
O <sub>6</sub>	O <sub>2</sub> opptak ved NO <sub>2</sub> oksydasjon	mgO/mgN	1.0-1.14	
μ <sub>max</sub>	Maksimum algevekst, celledelingshastighet	/døgn	1.0-3.0	1.047
ρ	Algerespirasjon	/døgn	0.05-0.5	1.047
F	Algenes ammoniumopptak i forhold til nitrat		0.0-1.0	
O <sub>1</sub>	Algesedimentasjon	m/døgn	0.1-2.0	1.024
O <sub>2</sub>	Fosforutveksling med sedimentene	mgP/m <sup>2</sup> /døgn		1.074
O <sub>3</sub>	Ammoniumutveksling med sedimentene	mgN/m <sup>2</sup> /døgn		1.074
O <sub>4</sub>	Organisk nitrogensedimentasjon	/døgn	0.001-0.1	1.024
O <sub>5</sub>	Organisk fosforsedimentasjon	/døgn	0.001-0.1	1.024
O <sub>6</sub>	Ikke konservativt stoffopptak fra sedimentene	/døgn		-
O <sub>7</sub>	Ikke konservativt stoffopptak fra sedimentene	mgNC/m <sup>2</sup> /døgn		-
K <sub>1</sub>	BOD decay	/døgn	0.02-3.4	1.047
K <sub>2</sub>	Oksygenopptak ved lufting	/døgn	0-100	1.024
K <sub>3</sub>	BOD-sedimentasjon	/døgn	-0.36-0.36	1.024
K <sub>4</sub>	Oksygenutveksling med sedimentene	mgO/m <sup>2</sup> /døgn		-
K <sub>5</sub>	Koliforme bakterier decay	/døgn	0.05-4.0	1.047
K <sub>6</sub>	Ikke konservativt stoff decay	/døgn		-
β <sub>1</sub>	Oksydasjon fra NH <sub>3</sub> til NO <sub>2</sub>	/døgn	0.1-1.0	1.083
β <sub>2</sub>	Oksydasjon fra NO <sub>2</sub> til NO <sub>3</sub>	/døgn	0.2-2.0	1.047
β <sub>3</sub>	Organisk nitrogen decay	/døgn	0.02-0.4	1.047
β <sub>4</sub>	Organisk fosfor decay	/døgn	0.01-0.7	1.047

### Fastsittende alger/begroing

Modellen QUAL-2E ble utvidet til også å omfatte alger som vokser på bunnen av elven. Vi har derfor presentert en mer utførlig beskrivelse av denne delen av modellen.

Begroingsalgene blir ikke transportert eller tilført elvesegmentet via ytre kilder. Massebalanseligningen (ligning 1) blir da redusert til:

$$\frac{dB}{dt} = \mu B - \rho B - eB - \text{PRED}$$

- B : Begroingsalger/fastsittende alger, tørrvekt (mg/m<sup>2</sup>)  
 μ : veksthastighet, celledelingshastighet (/døgn)  
 ρ : respirasjonshastighet (/døgn)  
 e : andel som blir erodert (/døgn)  
 PRED: predasjon (mg/døgn)

### Vekst (μ)

Algenes veksthastighet (celledelingshastighet) kan beregnes på tre alternative måter:

$$\mu = \mu_{\max}(T) \text{ FL minimum (FN, FP) FB}$$

$$\mu = \mu_{\max}(T) \text{ FL } \frac{2}{1/\text{FN}+1/\text{FP}} \text{ FB}$$

$$\mu = \mu_{\max}(T) \text{ FL minimum (FN,FP) FB}$$

μ<sub>max</sub>: maksimum veksthastighet ved temperatur T<sup>0</sup>C (/døgn)

FL : Vekstbegrensningsfaktor for lys

FN : Vekstbegrensningsfaktor for nitrogen (NH<sub>4</sub> + NO<sub>3</sub>)

FP : Vekstbegrensningsfaktor for fosfor (DISP)

FB : Vekstbegrensningsfaktor p.g.a. eksisterende begroingsmasse

Maksimum veksthastighet ved temperatur T<sup>0</sup>C, μ<sub>max</sub>(T) kan beregnes når maksimum veksthastighet ved 20<sup>0</sup>C, μ<sub>max</sub>(20), og verdien på koeffisienten TETA er kjent:

$$\mu_{\max}(T) = \text{TETA}(20)^{T-20}$$

Vekstbegrensningsfaktoren for lys, FL, kan beregnes på tre alternative måter:

$$FL = \frac{I}{IK1+I}$$

$$FL = \frac{I}{(IK2^2+I^2)^{1/2}}$$

$$FL = \frac{I}{IK3} e^{1-I/IK3}$$

IK1: Lysintensitet som reduserer  $\mu_{max}$  til 50% (halvmetningsintensitet)

IK2: Lysintensitet som reduserer  $\mu_{max}$  til 71%

IK3: Minste lysintensitet som ikke reduserer  $\mu_{max}$  (metningsintensitet)

I : Lysintensiteten ved bunnen av elven

Vekstbegrensningsfaktorene for fosfor, FP, og nitrogen, FN, beregnes ved "halvmetningsmetoden":

$$FN = \frac{NH_4+NO_3}{N_2+NH_4+NO_3}$$

$$FP = \frac{DISP}{P2+DISP}$$

N2: Nitrogenkonsentrasjon som reduserer veksten til halvdelen av  $\mu_{max}$

P2: Fosforkonsentrasjon som reduserer veksten til halvdelen av  $\mu_{max}$

Dersom begroingsmassen blir tilstrekkelig stor (over BS0) antas dette å begrense veksten:

$$FB = \text{minimum} (1.0, 1^{-0.7(BS-BS0)/(BS2-BS0)})$$

BS: sum begroingsmasse

BS0: sum begroingsmasse som ikke reduserer veksten (BS0 = BS212)

BS2: sum begroingsmasse som reduserer veksten av en gitt algetype til halvdelen

### Respirasjon ( $\rho$ )

Resipienthastigheten ved temperaturen  $T^{\circ}\text{C}$  blir beregnet ut fra respirasjonshastigheten ved  $20^{\circ}\text{C}$  og kjent verdi av koeffisienten TETA:

$$\rho(T) = \rho(20)^{T-20}$$

### Erosjon (e)

Strømmende vann utøver en kraft mot bunnen, skjærkraft, som virker eroderende på begroingssamfunnet. Andel av begroingen som blir erodert (e) blir beregnet som funksjon skjærkraften i beregningsintervallet (dt) (kontinuerlig erosjon) og skjærkraftøkningen i forhold til forrige tidsintervall (momentan erosjon).

$$e = e_1 + e_2/dt$$

$$e_1 = k_1 \cdot B k_2 \tau$$

$$e_2 = 1 - R(\tau)/R(\tau_s)$$

$$R(\tau) = \max[\exp(-0.7((\tau - \tau_0)/(\tau_2 - \tau_0))^2), 0.33 - 0.03 \tau]$$

$$\tau = \rho g h s$$

$$\tau_0 = \frac{\tau_0^1 + \mu dt \tau}{1 + \mu dt}$$

$$\tau_e = \max\left(\frac{\tau_0^1 + \mu dt \tau}{1 + \mu dt}, \tau\right)$$

$$\tau_2 = k_3 \cdot \tau_0$$

- $e_1$ : erosjonsintensitet p.g.a. eksisterende skjærkraft i beregningsintervallet (/døgn)
- $e_2$ : andel av begroing erodert momentant p.g.a. økt skjærkraft i forhold til forrige beregningsintervall
- $\tau$ : vannets skjærkraft mot bunnen ( $\text{N/m}^2$ )
- $\tau_0$ : veiet verdi som representerer den skjærkraften som begroingen er vokst opp ved ( $\text{N/m}^2$ )
- $\tau_e$ : veiet verdi som representerer den minste skjærkraften som virker eroderende på begroingen ( $\text{N/m}^2$ )
- $\tau_0^1, \tau_e^1$ : verdier av  $\tau_0$  og  $\tau_e$  fra forrige tidsintervall
- $\tau_2$ : skjærkraft hvor halvparten av begroingen blir erodert ( $\text{N/m}^2$ )
- $R(\tau)$ : andel av begroingen som er vokst opp ved  $\tau_0$ , med  $R=1.0$ ,

	som <u>ikke</u> blir erodert ved å øke skjærkraften fra $\tau_0$ til $\tau$ (se fig. A.2)
$\rho$ :	vannets tetthet (kg/l)
$g$ :	tyngdens akselerasjon ( $m/s^2$ )
$h$ :	midlere dybde (m)
$s$ :	energilinjens gradient
$\mu$ :	algenes veksthastighet (/d)
$k_1$ :	løsrivningskoeffisient for en gitt alge ( $m^4/gN$ )
$k_2, k_3$ :	algetype spesifikke koeffisienter

Andelen av biomassen som kontinuerlig blir erodert antas å være proporsjonal med skjærkraften langs bunnen. Koeffisienten  $K_2$  uttrykker hvordan erosjonsandelen endres med algebiomassen. For  $k_2 = 1$  vil erosjonsandelen f.eks. øke til det dobbelte ved en dobling av algebiomassen. For  $k_2 = 0$  er erosjonsandelen uavhengig av begroingsmengden.

Dersom skjærkraften har økt i forhold til forrige beregningsintervall kan dette føre til en momentan løsrivning av begroingsmasse. Andelen er avhengig av algetype og oppvekstvilkår. Vi tar hensyn til at en alge som er utsatt for stor skjærkraftpåvirkning under oppveksten er mer motstandsdyktig mot erosjon p.g.a. økt skjærkraft enn om oppvekstforholdene hadde vært mindre stressende (fig. A.1).

Erosjonsintensiteten (erosjon pr. økt skjærstressenhet) er størst for skjærstress ( $\tau_2$ ) som tilsvarer at halvdelen av algemassen som er vokst opp ved skjærkraften ( $\tau_0$ ) er igjen (fig. A.2). Dette innebærer f.eks. at en "spyleflom" som øker skjærkraften til  $\tau_e$  ifølge fig. A.2 kunne være en effektiv utnyttelse av vannet.

Samme vannmengde fordelt på flere mindre flommer ville gitt mindre erosjon. Å fjerne en større andel av begroingen kunne tenkes å være for ressursødende.

Etter at en skjærkraftsøkning til  $\tau_e$  har forårsaket erosjon vil kun en skjærkraftsøkning utover  $\tau_e$  føre til ytterligere erosjon. F.eks. vil kun den første av en rekke raskt påfølgende flommer ha eroderende virkning.

Verdiene til  $\tau_0$  og  $\tau_e$  endres gradvis mot elvens eksisterende skjærkraftverdi,  $\tau$ , avhengig av forholdet mellom algeproduksjon (primærproduksjon) og eksisterende algebiomasse. Dersom det oppstår en permanent konstant høyere vannføring med en tilhørende skjærkraft på  $\tau$  vil det f.eks. ta mindre tid å oppnå likevekt,  $\tau = \tau_0 = \tau_e$ , ved økende

veksthastighet.

### Predasjon

Reduksjon p.g.a. at fisk og bunndyr spiser begroingsalgene er kun gitt som en konstant verdi. PRED ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{døgn}$ ).

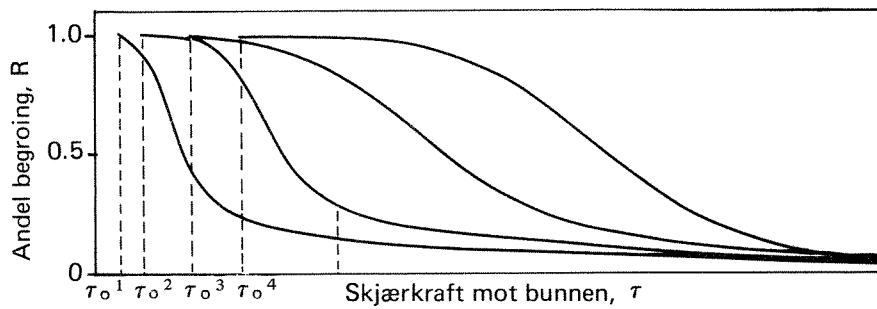


Fig. A.1. Økt skjærstress under oppveksten reduserer erosjonen.

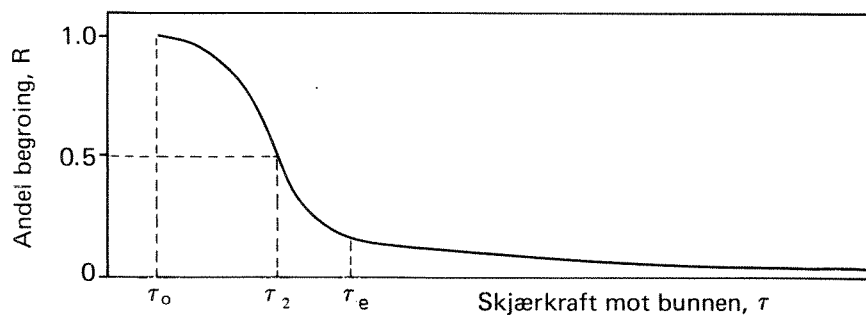


Fig. A.2. Erosjon p.g.a. rask økt skjærkraft.

## VEDLEGG B. EKSEMPEL PÅ RESULTATUTSKRIFT

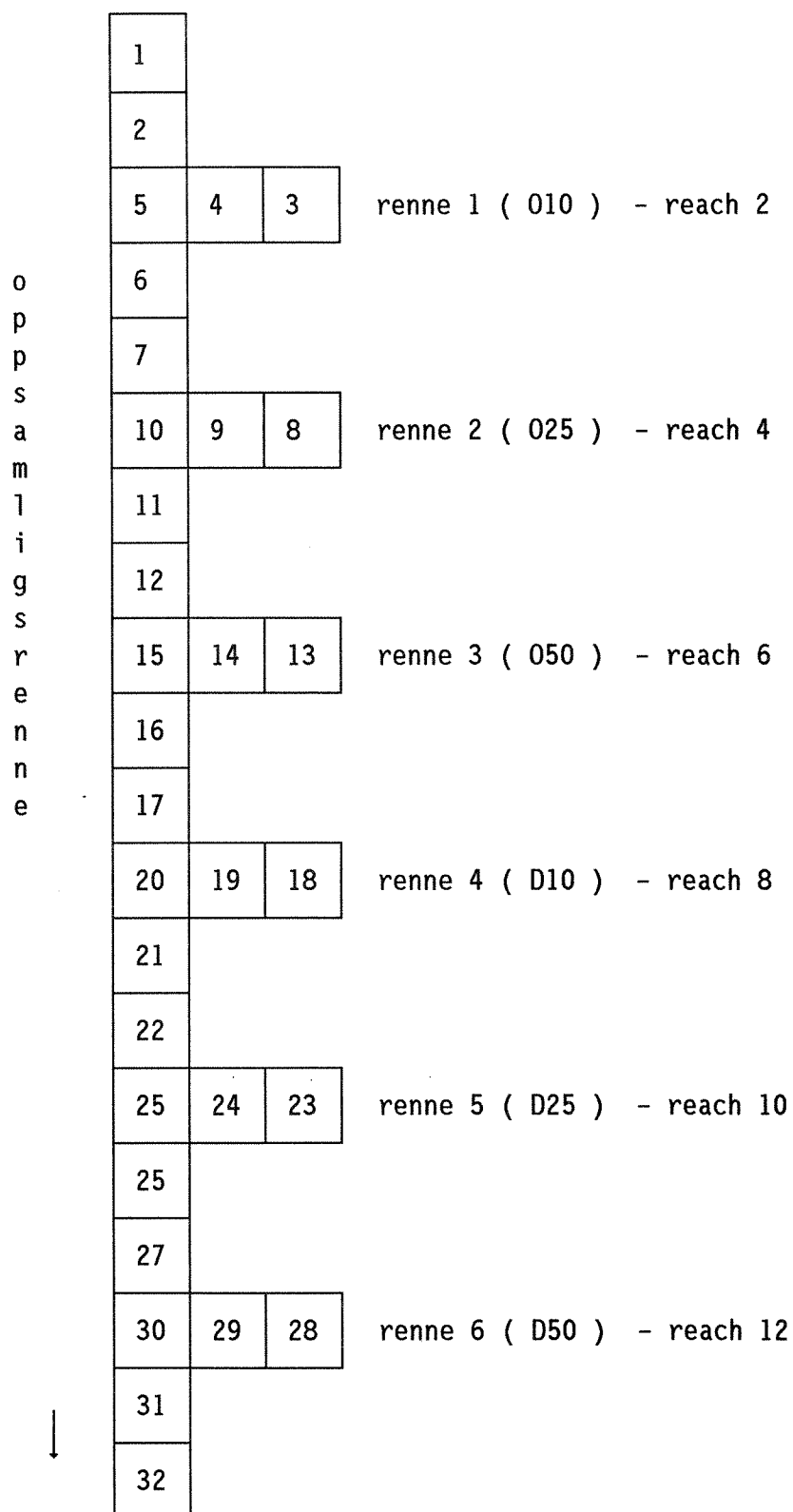


Fig. B.1 Modellens inndeling av forsøksrennene i segmenter



\* \* \* QUAL-2E STREAM QUALITY ROUTING MODEL \* \* \*

\* \* \* EPA/NCASI VERSION \* \* \*

\$\$\$ (PROBLEM TITLES) \$\$\$

CARD TYPE QUAL-2E PROGRAM TITLES  
 TITLE01 STREAM QUALITY MODEL--QUAL2E--CEWA558  
 TITLE02 OSET FORSKSSTASJON  
 TITLE03 NO CONSERVATIVE MINERAL I  
 TITLE04 NO CONSERVATIVE MINERAL II  
 TITLE05 NO CONSERVATIVE MINERAL III  
 TITLE06 NO TEMPERATURE  
 TITLE07 NO BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND  
 TITLE08 YES ALGAE AS CHL.A IN UG/L  
 TITLE09 YES PHOSPHORUS CYCLE AS P IN MG/L  
 TITLE10 (ORGANIC-P; DISSOLVED-P)  
 TITLE11 YES NITROGEN CYCLE AS N IN MG/L  
 TITLE12 (ORGANIC-N; AMMONIA-N; NITRITE-N; NITRATE-N)  
 TITLE13 NO DISSOLVED OXYGEN IN MG/L  
 TITLE14 NO FECAL COLIFORM IN NO./100 ML  
 TITLE15 NO ARBITRARY NON-CONSERVATIVE  
 ENDTITLE

\$\$\$ DATA TYPE 1 (CONTROL DATA) \$\$\$

CARD TYPE		CARD TYPE
LIST DATA INPUT	.00000	.00000
NO WRITE OPTIONAL SUMMARY	.00000	.00000
NO FLOW AUGMENTATION	.00000	.00000
NO STEADY STATE	.00000	.00000
TRAP CHANNELS	.00000	.00000
NO PRINT LCD/SOLAR DATA	.00000	.00000
NO PLOT DO AND BOD	.00000	.00000
NO FIXED DNSTM C (YES=1)=	.00000	.00000
INPUT METRIC	= 1.00000	5D-ULT BOD CONV K COEF =
NUMBER OF REACHES	= 13.00000	OUTPUT METRIC = 1.00000
NUM OF HEADWATERS	= 7.00000	NUMBER OF JUNCTIONS = 6.00000
TIME STEP (HOURS)	= 3.00000	NUMBER OF POINT LOADS = .00000
MAXIMUM ROUTE TIME (DAY)=	100.00000	LNTH. COMP. ELEMENT ( M)=
LATITUDE OF BASIN (DEG) =	60.00000	TIME INC. FOR RPT2 (DAY)= 10.00000
STANDARD MERIDIAN (DEG) =	11.00000	LONGITUDE OF BASIN (DEG)= 11.00000
EVAP. COEF.,(AE)	= .00001	DAY OF YEAR START TIME = 182.00000
ELEV. OF BASIN (FEET) =	150.00000	EVAP. COEF.,(BE) = .00001
ENDATA1	.00000	DUST ATTENUATION COEF. = .00000
		.00000

\$\$\$ DATA TYPE 1A (ALGAE PRODUCTION AND NITROGEN OXIDATION CONSTANTS) \$\$\$

CARD TYPE		CARD TYPE	
O UPTAKE BY NH3 OXID(MG O/MG N)=	3.5000	O UPTAKE BY NO2 OXID(MG O/MG N)=	1.2000
O PROD BY ALGAE (MG O/MG A) =	1.6000	O UPTAKE BY ALGAE (MG O/MG A) =	2.0000
N CONTENT OF ALGAE (MG N/MG A) =	.0850	P CONTENT OF ALGAE (MG P/MG A) =	.0100
ALG MAX SEC GROWTH RATE (1/DAY)=	.0000	ALGAE RESPIRATION RATE (1/DAY) =	.1000
N HALF SATURATION CONST (MG/L) =	.0400	P HALF SATURATION CONST (MG/L) =	.0100
LN ALG SHADE CO (1/M-UGCHA/L) =	.0088	NLIN SHADE (1/M-(UGCHA/L)**2/3)=	.0540

LIGHT FUNCTION OPTION (LFNOPT) = 1.0000  
 DAILY AVERAGING OPTION (LAVOPT) = 4.0000  
 NUMBER OF DAYLIGHT HOUR (DLH) = 14.0000  
 ALGY GROWTH CALC OPTION(LGROPT)= 1.0000  
 ALG/TEMP SOLR RAD FACTOR(TFACT)= 1.0000  
 ENDATA1A .0000  
  
 LIGHT SAT'N COEF (LANGLEYS/MIN)= .0200  
 LIGHT AVERAGING FACTOR (AFACT) = .9200  
 TOTAL DAILY SOLR RAD (LANGLEYS)= 700.0000  
 ALGAL PREF FOR NH3-N (PREFN) = .5000  
 NITRIFICATION INHIBITATION COEF= .5000  
 .0000

\$\$\$ DATA TYPE 1B (TEMPERATURE CORRECTION CONSTANTS FOR RATE COEFFICIENTS) \$\$\$

CARD TYPE	RATE CODE	THETA VALUE
THETA( 1)	BOD DECA	1.047 DFLT
THETA( 2)	BOD SETT	1.024 DFLT
THETA( 3)	OXY TRAN	1.024 DFLT
THETA( 4)	SOD RATE	1.060 DELI
THETA( 5)	ORGN DEC	1.047 DFLT
THETA( 6)	ORGN SET	1.024 DFLT
THETA( 7)	NH3 DECA	1.083 DFLT
THETA( 8)	NH3 SRCE	1.074 DELI
THETA( 9)	N02 DECA	1.047 DFLT
THETA(10)	PORG DEC	1.047 DFLT
THETA(11)	PORG SET	1.024 DFLT
THETA(12)	DISP SRC	1.074 DELI
THETA(13)	ALG GROW	1.150 USER
THETA(14)	ALG RESP	1.150 USER
THETA(15)	ALG SETT	1.024 DFLT
THETA(16)	COLI DEC	1.047 DELI
THETA(17)	ANC DECA	1.000 DFLT
THETA(18)	ANC SETT	1.024 DELI
THETA(19)	ANC SRCE	1.000 DFLT

\$\$\$ DATA TYPE 2 (REACH IDENTIFICATION) \$\$\$

CARD TYPE	REACH ORDER AND IDENT	R. MI/KM	TO	R. MI/KM
STREAM REACH	1.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.2
STREAM REACH	2.0 R1	FROM	TO	.2
STREAM REACH	3.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.2
STREAM REACH	4.0 R2	FROM	TO	.2
STREAM REACH	5.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.1
STREAM REACH	6.0 R3	FROM	TO	.1
STREAM REACH	7.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.1
STREAM REACH	8.0 R4	FROM	TO	.1
STREAM REACH	9.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.1
STREAM REACH	10.0 R5	FROM	TO	.1
STREAM REACH	11.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.0
STREAM REACH	12.0 R6	FROM	TO	.0
STREAM REACH	13.0 SAMLERENNE	FROM	TO	.0
ENDATA2	.0	FROM	TO	.0

\$\$\$ DATA TYPE 5 (HYDRAULIC DATA FOR DETERMINING VELOCITY AND DEPTH) \$\$\$

CARD TYPE	REACH	COEF-DSPN	SS1	SS2	WIDTH	SLOPE	CMANN
1. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.002	.025	
2. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.001	.025	
3. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
4. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.003	.025	
5. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
6. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.011	.025	
7. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
8. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.011	.025	
9. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
10. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.003	.025	
11. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
12. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	.200	.001	.025	
13. TRAPEZOIDA	5.42	.000	.000	1.000	.000	.025	
ENDATA5	.00	.000	.000	.000	.000	.000	

\$\$\$ DATA TYPE 6C (BENTHIC ALGAE COEFFICIENTS) \$\$\$

	AP	AN	ACL	GRWM	RESM	THETG	THETR	BKP	BKN	BKL	BKBA2	SCOUR1	SCOUR2	BKE2	BPRED
1 KISELALGER	.007	.080	.400	1.050	.070	1.040	1.050	.005	.040	.010	8.000	.007	.000	4.500	.000
2 GRONNALGER	.007	.080	.400	1.200	.070	1.060	1.050	.005	.040	.010	10.000	.017	.000	3.500	.000
3 GULALGER	.007	.080	.400	1.000	.070	1.080	1.050	.005	.040	.010	10.000	.050	.000	3.000	.000
ENDDATA6C															

CONTROL FILES : PKON/WKON :SYMB, DT = 5.0 CMAX= 4.0 ELEMENTS : 4 9 14 19 24 29

SYSTEM STATUS AFTER 70.00 DAYS OF DYNAMICOPERATION

\*\* HYDRAULICS SUMMARY \*\*

ELE ORD	RCH NUM	ELE NUM	BEGIN LOC KILO	END LOC KILO	FLOW CMS	POINT SRCE CMS	INCR FLOW CMS	VEL MPS	TRVL TIME DAY	DEPTH M	WIDTH M	VOLUME CU-M	BOTTOM AREA SQ-M	X-SECT AREA SQ-M	DSPRSN COEF SQ-M/S
1	1	1	3.47	3.46	.00	.00	.00	.081	.001	.012	1.000	.1	10.2	.01	.00
2	1	2	3.46	3.45	.00	.00	.00	.081	.001	.012	1.000	.1	10.2	.01	.00
3	2	1	3.47	3.46	.00	.00	.00	.101	.001	.049	.200	.1	3.0	.01	.00
4	2	2	3.46	3.45	.00	.00	.00	.101	.001	.049	.200	.1	3.0	.01	.00
5	3	1	3.12	3.11	.00	.00	.00	.046	.002	.043	1.000	.4	10.9	.04	.00
6	3	2	3.11	3.10	.00	.00	.00	.046	.002	.043	1.000	.4	10.9	.04	.00
7	3	3	3.10	3.09	.00	.00	.00	.046	.002	.043	1.000	.4	10.9	.04	.00
8	4	1	2.95	2.94	.00	.00	.00	.250	.000	.060	.200	.1	3.2	.01	.01
9	4	2	2.94	2.93	.00	.00	.00	.250	.000	.060	.200	.1	3.2	.01	.01
10	5	1	2.60	2.59	.00	.00	.00	.065	.002	.076	1.001	.8	11.5	.08	.00
11	5	2	2.59	2.58	.00	.00	.00	.065	.002	.076	1.001	.8	11.5	.08	.00
12	5	3	2.58	2.57	.00	.00	.00	.065	.002	.076	1.001	.8	11.5	.08	.00
13	6	1	2.43	2.42	.01	.00	.00	.506	.000	.072	.200	.1	3.4	.01	.02
14	6	2	2.42	2.41	.01	.00	.00	.506	.000	.072	.200	.1	3.4	.01	.02
15	7	1	2.08	2.07	.01	.00	.00	.090	.001	.136	1.000	1.4	12.7	.14	.01
16	7	2	2.07	2.06	.01	.00	.00	.090	.001	.136	1.000	1.4	12.7	.14	.01
17	7	3	2.06	2.05	.01	.00	.00	.090	.001	.136	1.000	1.4	12.7	.14	.01
18	8	1	1.91	1.90	.01	.00	.00	.506	.000	.072	.200	.1	3.4	.01	.02
19	8	2	1.90	1.89	.01	.00	.00	.506	.000	.072	.200	.1	3.4	.01	.02
20	9	1	1.56	1.55	.02	.00	.00	.105	.001	.186	1.000	1.9	13.7	.19	.01
21	9	2	1.55	1.54	.02	.00	.00	.105	.001	.186	1.000	1.9	13.7	.19	.01
22	9	3	1.54	1.53	.02	.00	.00	.105	.001	.186	1.000	1.9	13.7	.19	.01
23	10	1	1.39	1.38	.00	.00	.00	.250	.000	.060	.200	.1	3.2	.01	.01
24	10	2	1.38	1.37	.00	.00	.00	.250	.000	.060	.200	.1	3.2	.01	.01
25	11	1	1.04	1.03	.02	.00	.00	.110	.001	.205	1.000	2.0	14.1	.20	.01
26	11	2	1.03	1.02	.02	.00	.00	.110	.001	.205	1.000	2.0	14.1	.20	.01
27	11	3	1.02	1.01	.02	.00	.00	.110	.001	.205	1.000	2.0	14.1	.20	.01
28	12	1	.87	.86	.00	.00	.00	.101	.001	.049	.200	.1	3.0	.01	.00
29	12	2	.86	.85	.00	.00	.00	.101	.001	.049	.200	.1	3.0	.01	.00
30	13	1	.52	.51	.02	.00	.00	.112	.001	.211	1.000	2.1	14.2	.21	.01
31	13	2	.51	.50	.02	.00	.00	.112	.001	.211	1.000	2.1	14.2	.21	.01
32	13	3	.50	.49	.02	.00	.00	.112	.001	.211	1.000	2.1	14.2	.21	.01

## \*\* REACTION COEFFICIENT SUMMARY \*\*

RCH NUM	ELE NUM	D0 SAT	K2 OPT	OXYGN REAIR	BOD DECAY	BOD SETT	SOD RATE	ORGN DECAY	ORGN SETT	NH3 DECAY	NH3 SRCE	N02 DECAY	ORGP DECAY	ORGP SETT	DISP SRCE	COLI DECAY	ANC DECAY	ANC SETT	ANC SRCE	
		MG/L		1/DAY	1/DAY	1/DAY	G/M2D	1/DAY	1/DAY	1/DAY	MG/M2D	1/DAY	1/DAY	1/DAY	MG/M2D	1/DAY	1/DAY	1/DAY	MG/M2D	
1	1	.00	1	1.71	.00	.00	.00	.25	.10	.15	.00	.99	.20	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1	2	.00	1	1.71	.00	.00	.00	.25	.10	.15	.00	.99	.20	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	1	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	2	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	1	.00	1	1.01	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	2	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	3	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	1	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	2	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	1	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	2	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	3	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	1	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	2	.00	1	.62	.00	.00	.00	.19	.09	.10	.00	.77	.16	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	1	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	2	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	3	.00	1	.74	.00	.00	.00	.27	.10	.17	.00	1.09	.22	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	1	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	2	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	1	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	2	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	3	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10	1	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10	2	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
11	1	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
11	2	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
11	3	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
12	1	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
12	2	.00	1	.55	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.60	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13	1	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13	2	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13	3	.00	1	.54	.00	.00	.00	.15	.08	.06	.00	.59	.12	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00

## \*\* WATER QUALITY VARIABLES \*\*

RCH ELE NUM NUM	TEMP DEG-C	CM-1	CM-2	CM-3	DO MG/L	BOD MG/L	ORGN MG/L	NH3N MG/L	N02N MG/L	N03N MG/L	SUM-N MG/L	ORGP MG/L	DIS-P MG/L	SUM-P MG/L	COLI #/100ML	ANC	CHLA UG/L
1 1	20.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	-.01	.00	.15	.15	.000	.011	.012	.00	.00	.00
1 2	20.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.02	.00	.14	.14	.001	.011	.011	.00	.00	.00
2 1	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
2 2	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
3 1	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.01	.00	.15	.14	.001	.006	.006	.00	.00	.00
3 2	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.01	.00	.15	.14	.001	.005	.006	.00	.00	.00
3 3	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.02	.00	.14	.13	.001	.005	.006	.00	.00	.00
4 1	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
4 2	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
5 1	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	-.01	.00	.15	.15	.000	.002	.003	.00	.00	.00
5 2	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.01	.00	.15	.15	.000	.002	.003	.00	.00	.00
5 3	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.01	-.01	.00	.15	.15	.001	.002	.003	.00	.00	.00
6 1	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
6 2	14.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.16	.000	.001	.001	.00	.00	.00
7 1	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.15	.000	.002	.002	.00	.00	.00
7 2	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.15	.000	.001	.002	.00	.00	.00
7 3	22.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.16	.15	.000	.001	.002	.00	.00	.00
8 1	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
8 2	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
9 1	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.18	.18	.000	.001	.001	.00	.00	.00
9 2	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.18	.18	.000	.001	.001	.00	.00	.00
9 3	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.18	.18	.000	.001	.001	.00	.00	.00
10 1	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
10 2	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
11 1	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00
11 2	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00
11 3	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00
12 1	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
12 2	9.00	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.23	.23	.000	.001	.001	.00	.00	.00
13 1	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00
13 2	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00
13 3	8.50	.00	.00	.00	10.00	.00	.00	.00	.00	.19	.19	.000	.001	.001	.00	.00	.00

## \*\* BENTHIC ALGAE DATA \*\*

ELE	RCH	ELE	BALGAE-1	BALGAE-2	BALGAE-3	TOTAL	TOTCLA	SGROW	SRESP	SSCOUR	SPRED	SHEAR
			MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	MG/M2	N/M2
1	1	1	493.	20587.	1323.	22403.	8961.1	.113E+06	.882E+05	.190E+04	.000E+00	.788E-01
2	1	2	496.	20452.	1317.	22264.	8905.7	.112E+06	.875E+05	.189E+04	.000E+00	.788E-01
3	2	1	2532.	3280.	531.	6344.	2537.6	.203E+05	.139E+05	.294E+03	.000E+00	.767E-01
4	2	2	2519.	3285.	533.	6337.	2534.7	.205E+05	.141E+05	.298E+03	.000E+00	.767E-01
5	3	1	279.	18208.	2122.	20608.	8243.1	.107E+06	.864E+05	.398E+03	.000E+00	.170E-01
6	3	2	281.	18026.	2104.	20411.	8164.5	.106E+06	.853E+05	.393E+03	.000E+00	.170E-01
7	3	3	284.	17827.	2085.	20196.	8078.2	.105E+06	.841E+05	.387E+03	.000E+00	.170E-01
8	4	1	2263.	2148.	206.	4617.	1846.8	.134E+05	.800E+04	.897E+03	.000E+00	.439E+00
9	4	2	2280.	2183.	209.	4672.	1868.8	.136E+05	.816E+04	.915E+03	.000E+00	.439E+00
10	5	1	398.	14531.	1727.	16656.	6662.2	.723E+05	.552E+05	.412E+03	.000E+00	.279E-01
11	5	2	400.	14343.	1708.	16451.	6580.3	.712E+05	.543E+05	.406E+03	.000E+00	.279E-01
12	5	3	403.	14139.	1687.	16229.	6491.6	.699E+05	.533E+05	.398E+03	.000E+00	.279E-01
13	6	1	1632.	509.	2.	2144.	857.4	.672E+04	.358E+04	.109E+04	.000E+00	.170E+01
14	6	2	1658.	519.	2.	2180.	871.9	.682E+04	.364E+04	.111E+04	.000E+00	.170E+01
15	7	1	546.	10406.	1255.	12206.	4882.6	.375E+05	.250E+05	.288E+03	.000E+00	.437E-01
16	7	2	544.	10279.	1242.	12065.	4826.0	.370E+05	.247E+05	.284E+03	.000E+00	.437E-01
17	7	3	543.	10138.	1228.	11909.	4763.7	.365E+05	.243E+05	.279E+03	.000E+00	.437E-01
18	8	1	93.	16.	0.	109.	43.7	.318E+03	.161E+03	.783E+02	.000E+00	.170E+01
19	8	2	94.	16.	0.	110.	44.1	.321E+03	.162E+03	.786E+02	.000E+00	.170E+01
20	9	1	143.	72.	6.	221.	88.4	.388E+03	.167E+03	.290E+01	.000E+00	.538E-01
21	9	2	143.	72.	6.	221.	88.5	.389E+03	.168E+03	.291E+01	.000E+00	.538E-01
22	9	3	143.	72.	6.	221.	88.3	.388E+03	.167E+03	.290E+01	.000E+00	.538E-01
23	10	1	521.	71.	9.	600.	240.1	.130E+04	.671E+03	.849E+02	.000E+00	.439E+00
24	10	2	523.	71.	9.	603.	241.2	.130E+04	.674E+03	.851E+02	.000E+00	.439E+00
25	11	1	113.	58.	5.	176.	70.5	.315E+03	.140E+03	.262E+01	.000E+00	.572E-01
26	11	2	113.	58.	5.	176.	70.5	.315E+03	.140E+03	.262E+01	.000E+00	.572E-01
27	11	3	113.	58.	5.	176.	70.5	.315E+03	.140E+03	.261E+01	.000E+00	.572E-01
28	12	1	1233.	324.	47.	1603.	641.2	.322E+04	.170E+04	.411E+02	.000E+00	.767E-01
29	12	2	1225.	322.	47.	1593.	637.2	.321E+04	.170E+04	.410E+02	.000E+00	.767E-01
30	13	1	106.	55.	5.	165.	66.1	.297E+03	.133E+03	.254E+01	.000E+00	.582E-01
31	13	2	106.	55.	5.	165.	66.1	.298E+03	.133E+03	.254E+01	.000E+00	.582E-01
32	13	3	106.	55.	5.	165.	66.2	.298E+03	.133E+03	.254E+01	.000E+00	.582E-01

## VEDLEGG C. OBSERVASJONSDATA

For en mer utførlig beskrivelse av forsøksanlegget og datamaterialet henviser vi til Traaen 1987 og Traaen og Berge 1989.

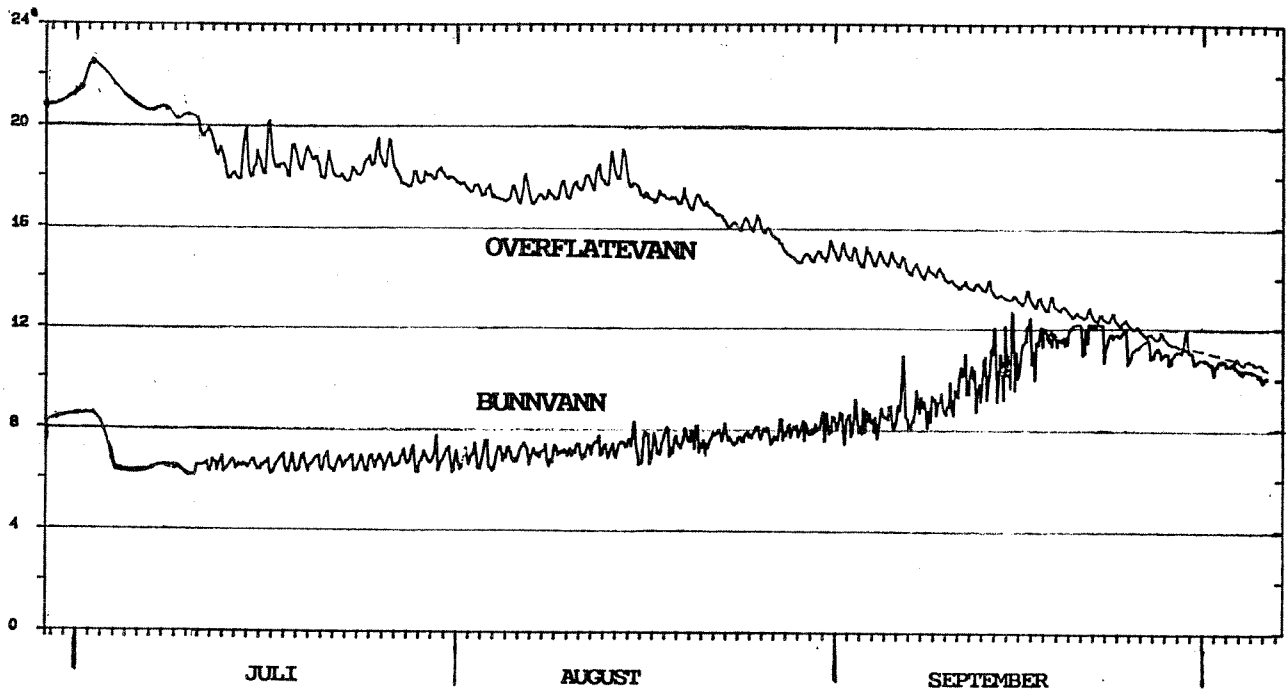


Fig. C.1 Temperatur i overflatevann (1 m) og i dypvann (20 m) 1986.



Tabell C.1 Observert 1986. Vannkjemi i overflatevann (1 m).

Dato	pH	Kond	Turb	Farg	Ca	Mg	SO4	Cl	Alk4.5	SiO2	NO3	Tot-P	PO4-P	Al-R	Al-IL
860704	6.53	2.92	.51	10.2	2.66	.46	6.7	1.5	.075	3.2	180	2.0	0.5	30	27
860715	6.68	2.80	.67	10.6	2.66	.45	6.2	1.5	.076	3.0	163	3.5	0.5	26	18
860722	6.55	2.88	.54	8.5	2.52	.44	5.7	1.5	.069	2.7	155	3.0	<0.5	23	19
860729	6.11	2.88	.49	9.7	2.48	.44	6.0	1.5	.065	2.5	155	3.0	<0.5	23	19
860805	6.65	2.74	.53	13.1	2.59	.42	6.1	1.6	.070	2.8	150	3.5	1.0	19	20
860812	6.66	2.75	.74	10.5	2.48	.41	6.0	1.4	.074	2.6	157	-	-	12	10
860819	6.79	2.70	.65	-	2.59	.39	5.9	1.4	.067	2.6	158	3.5	0.5	18	14
860826	6.61	2.74	.78	9.0	2.61	.43	8.4	1.4	.065	2.9	152	3.0	0.5	26	19
860902	6.77	2.82	1.00	8.4	2.67	.46	5.9	1.4	.070	2.6	163	4.0	0.5	27	16
860910	6.26	2.97	.50	9.6	2.68	.47	9.1	1.6	.075	-	163	3.0	0.5	22	13
860916	6.37	2.91	1.00	9.2	2.73	.46	8.2	1.6	.073	2.9	160	3.0	1.0	25	13
861008	6.53	2.94	.50	9.5	2.59	.46	6.0	1.5	.075	2.9	173	2.5	<0.5	16	15
Middel	6.54	2.84	.66	9.8	2.61	.44	6.7	1.5	.071	2.8	161	3.1	.6	22	17
SD	.204	.091	.187	1.30	.080	.024	1.18	.08	.0040	.21	8.6	.54	.20	5.2	4.4
Median	6.58	2.85	.60	9.6	2.60	.45	6.1	1.5	.072	2.9	159	3.0	.5	23	17

Tabell C.2 Observert 1986. Vannkjemi i dypvann (20 m).

Dato	pH	Kond	Turb	Farg	Ca	Mg	SO4	Cl	Alk4.5	SiO2	NO3	Tot-P	PO4-P	Al-R	Al-IL
860704	6.35	3.13	.76	14.7	2.90	.51	6.9	1.8	.076	3.6	235	2.0	1.0	49	44
860715	6.41	3.19	.31	14.7	2.87	.50	6.2	1.8	.082	3.6	235	5.5	1.5	43	32
860722	6.34	3.21	.54	13.3	2.73	.49	6.2	1.8	.077	3.5	230	3.5	2.0	48	40
860729	6.35	3.22	.60	13.1	2.78	.51	5.9	1.8	.074	3.5	215	3.0	0.5	46	37
860805	6.46	3.10	.62	13.5	2.84	.47	6.3	1.8	.078	3.6	240	2.5	1.0	47	42
860812	6.32	3.10	.53	15.8	2.73	.47	6.4	1.7	.064	3.7	225	3.0	1.0	42	29
860819	6.39	2.98	.73	-	2.88	.45	6.2	1.7	.074	3.6	245	3.0	1.0	45	36
860826	6.42	3.06	.55	13.0	2.90	.48	8.0	1.7	.074	3.8	230	3.0	1.5	42	31
860902	6.42	3.10	1.00	12.1	2.88	.50	6.0	1.7	.076	3.3	240	3.5	0.5	46	30
860910	6.30	3.22	.45	12.5	2.80	.50	8.9	1.8	.077	-	240	4.0	2.5	42	28
860916	6.40	3.06	1.20	11.7	2.81	.49	7.8	1.7	.075	3.3	200	3.5	1.0	39	29
861008	6.53	2.92	.56	11.6	2.59	.45	5.8	1.5	.075	2.9	175	3.5	<0.5	16	17
Middel	6.39	3.11	.65	13.3	2.81	.49	6.7	1.7	.075	3.5	226	3.3	1.2	42	33
SD	.064	.095	.244	1.34	.092	.021	.99	.09	.0042	.25	20	.86	.62	8.7	7.4
Median	6.40	3.10	.58	13.1	2.83	.49	6.3	1.8	.076	3.6	233	3.3	1.0	44	32

Tabell C.3 Begroing 1986. Artssammensetning.

renne :	010	025	050	D10	D25	D50
<b>CYANOPHYCEAE - BLÅGRØNNALGER</b>						
<i>Anabaena flos-aquae</i>	x	x	x			
<i>Gloeotheca cf. linearis</i>	x	x				
<i>Merismopedia tenuissima</i>	x	x				x
<i>Ubest. blågrønne tråder</i>		x	x			x
<b>CHLOROPHYCEAE - GRØNNALGER</b>						
<i>Binuclearia tatrana</i>	x				x	
<i>Bulbochaete sp.</i>	x	x				x
<i>Cosmarium spp.</i>	x	x	x		x	x
<i>Euastrum bidentatum</i>	x					
<i>Euastrum elegans</i>	x					
<i>Euastrum sp.</i>		x	x			x
<i>Hormidium rivulare</i>			x			
<i>Mougeotia a</i>	x	x	x	x		x
<i>Oedogonium spp.</i>	x	x		x	x	x
<i>Penium sp.</i>	x	x	x			
<i>Quadrigula sp.</i>	x	x				
<i>Scenedesmus spp.</i>	x	x			x	
<i>Spirogyra sp. 20-23 µ</i>	x					
<i>Spondylosium planum</i>		x				
<i>Staurastrum spp.</i>	x	x			x	
<i>Teilingia granulata</i>	x	x				
<i>Willea irregularis</i>	x	x				
<i>Zygnema a</i>	x	x	x		x	x
<b>BACILLARIOPHYCEAE - KISELALGER</b>						
<i>Achnanthes spp.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cyclotella sp.</i>		x			x	x
<i>Eunotia spp.</i>	x	x				
<i>Fragilaria sp.</i>		x				
<i>Frustulia rhomboides</i>	x					
<i>Gomphonema acuminatum</i>	x				x	
<i>Melosira sp.</i>	x					
<i>Pinnularia spp.</i>	x	x			x	x
<i>Stenopterobia intermedia</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Surirella sp.</i>	x			x	x	x
<i>Synedra rumpens</i>	x	x	x		x	x
<i>Tabellaria flocculosa</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Div. ubestemte</i>	x	x	x	x	x	x
<b>CHRYSOPHYCEAE - GULAGER</b>						
<i>Chrysoxys maior</i>	x	x		x	x	x
<i>Hyalobryon ramosum</i>				x	x	x
<i>Stichogloea doederleinii</i>	x	x	x			
<i>Cyster</i>	x			x	x	x

Tabell C.4 Begroing 1988. Artssammensetning.

xxx = Tallrik forekomst  
 xx = Vanlig forekomst  
 x = Forekommer, men i få eksemplarer

Rennenr.	C6	C16	C1
Dosering	5 ug orto-P	15 ug orto-P	Kontroll
<u>Blågrønnalger</u>			
Oscillatoria sp. 8um		x	
Pseudoanabaens sp. 3um			
<u>Grønnalger</u>			
Bulbochaete sp.	x		xx
Cosmarium sp.	x		x
Euastrum sp.			x
Hormidium rivulare			xx
Mougeotia sp. 13-15 um	xx	xx	xxx
Mougeotia sp. 6-9 um	xx	xxx	xxx
Oedogonium sp. 6-9 um	x		xx
Oedogonium sp. 14-17 um	x	x	xx
Scenedesmus sp.			
Staurastrum sp.		x	
Teilingia granulata	xx	x	x
Zygnema sp.	xxx	xx	x
<u>Gullalger</u>			
Chrysoxys maior			xx
<u>Kiselalger</u>			
Achnanthes minutissima			
Tabellaria flocculosa	xxx	xxx	xxx
Ubestemt kiselalger	xx	xx	xx