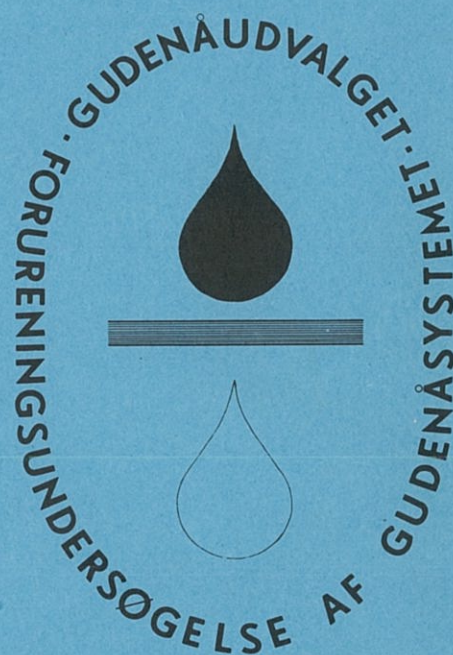


RAPPORT NR. 34



GUDENÅUNDERSØGELSEN
Dambrugsundersøgelsen

556.53 Gud

639.31

GUDENAUNDERSØGELSEN 1973 - 1975

8/12 78 .

RAPPORT NR. 34

DAMBRUGSUNDERSØGELSEN I FORBINDELSE MED
GUDENAUNDERSØGELSEN 1973-75

1. DEL: TEKSTDEL.

POUL AAGAARD

KARSTEN BJØRNKJÆR

ECOPLAN 1/S

FORORD.

SOM ET DELPROJEKT I FORBINDELSE MED GUDENÅUNDER-
SØGELSEN 1973-75 ANMODEDES UNDERTEGNEDE SOM SPECIA-
LESTUDERENDE VED INSTITUT FOR GENETIK OG ØKOLOGI
(DAVÆRENDE ZOOLOGISK INSTITUT, LABORATORIUM B) OM
AT FORETAGE UNDERSØGELSER TIL BELYSNING AF PROBLE-
MATIKKEN OMKRING DAMBRUGSFORURENINGEN.

DENNE RAPPORT ER DEN AFSLUTTENDE RAPPORT I FOR-
BINDELSE MED DAMBRUGSUNDERSØGELSEN, KILDEUNDERSØ-
GELSERNE (FAUNISTISK AFDELING) SOM ER FORETAGET I
SAMME REGI ER RAPPORTERET SELVSTÆNDIGT, SOM RAPPORT
NR. 33 AF FRANK JENSEN, SOM OGSÅ HAR DELTAGET I DE
I DENNE RAPPORT RAPPORTEREDE UNDERSØGELSER.

DET MEGET OMFATTENDE ANALYSEARBEJDE HAR VÆRET
UDFØRT AF INGE-LISE MADSEN OG KIRSTEN KREJBJERG.
DE FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER ER UDFØRT I SAM-
ARBEJDE MED GORM RASMUSSEN, DANM.FISK.-OG HAVUNDERS.

HER SKAL RETTES EN GANSKE SÆRLIG TAK TIL LODSEJE-
RE, SOM HAR LADET OS FÅ MEGET FRIE LINIER FOR VORT
FELTARBEJDE.

RAPPORTEN ER INDDELT I 2 DELE:

1. DEL.: TEKSTDEL.

2. DEL.: BILAG, TABELLER OG KURVER, FINDES
KUN SOM ARKIVMATERIALE VED ÅRHUS AMTSVANDVÆSEN.

ÅRHUS 30.11.1977

POUL AAGAARD KARSTEN BJØRNKJÆR

INDHOLDSFORTEGNELSE:

	SIDE
1. INDLEDNING.	1
2. RESUME OG KONKLUSION.	6
2.1. STOFTRANSPORT.	6
2.2. MODEL FOR UDSKYLNING AF FODERTAB.	7
2.3. SEDIMENTUNDERSØGELSER.	7
2.4. STUDIER AF SIMULIEPOPULATIONEN PÅ MAR 601.	8
2.5. FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER.	9
2.6. MAKROFYTTERS ROLLE I VANDLØBSØKOSYSTEMET.	10
2.7. ILTFORHOLD OG ILTFLOWS PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.	11
2.8. ILTMODEL SAMT MASSEBALANCER FOR NÆRINGS- STOFFER OG ORGANISK STOF.	11
2.9. KONKLUSION.	12
3. STOFTRANSPORT.	16
3.1. MÅLEMETODER.	16
3.1.1. OPLØST ILT.	16
3.1.2. VANDANALYSER.	16
3.1.3. SEDIMENTANALYSER.	17
3.2. ESTIMERING AF DET UMIDDELBARE FODERSPILD (FT).	18
3.3. STOFTRANSPORT VED BREGNHOLM MØLLE.	19
3.4. KONKLUSION.	24
4. MODEL FOR FODERTABETS UDSKYLNING FRA DAMBRUGET.	25
4.1. FODERTABETS UDSKYLNING EFTER FODRING AD ÉN GANG.	25
4.2. FODERTABETS UDSKYLNING EFTER FODRING AD FLERE GANGE.	26
4.3. AFPRØVNING AF UDSKYLNINGSMODELLENS ANVEN-	

	SIDE
DELIGHED.	26
4.4. KONKLUSION.	28
5. SEDIMENTUNDERSØGELSER.	29
5.1. KVALITATIV KARAKTERISTIK AF SEDIMENTET PÅ MAR 601.	29
5.2. SEDIMENTAKKUMULERING PÅ MAR 601 - MAR 602.	33
5.3. SEDIMENTETS ILTFORBRUG.	33
5.4. MATEMATISK MODEL FOR ILTFORBRUG.	34
5.5. SEDIMENTETS REDOXFORHOLD.	37
5.6. KONKLUSION.	37
6. STUDIER AF SIMULIEPOPULATIONEN PÅ MAR 601.	39
6.1. SIMULIEPOPULATIONENS PRODUKTION OG RESPIRATION.	39
6.2. SIMULIEPOPULATIONENS OMSÆTNING AF ORGANISK STOF PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.	46
6.3. KONKLUSION.	48
7. FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER.	49
7.1. BIOMASSE, PRODUKTION OG KONSUMTION AF ØRRED OG REGNBUEØRRED PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.	49
7.2. GYDEPLADSUNDERSØGELSER.	52
7.3. FISKEBESTANDEN I MATTRUP Å NEDEN FOR BREGNHOLM MØLLE.	52
7.4. KONKLUSION.	54
8. MAKROFYTTERS ROLLE I VANDLØBSØKOSYSTEMET.	56
8.1. MAKROFYTTERNES BIOMASSE OG PRODUKTION.	56
8.2. MAKROFYTTERS INDFLYDELSE PÅ NÆRINGSSTOF- BALANCEN FOR FOSFOR OG KVÆLSTOF PÅ MAR 601-602.	59
8.3. MAKROFYTTERS INDFLYDELSE PÅ STOFTRANSPORT OG VANDFØRING.	62

	SIDE
8.4. KONKLUSION.	63
9. ILTFORHOLD OG ILTFLOWS PÅ MAR 601 - MAR 602.	65
9.1. ILTFORHOLD OG ILTSTYRENDE PROCESSER	66
9.2. BEREGNING AF ILTFLOWS VED HJÆLP AF ODUM'S TWIN-CURVE METODE.	70
9.3. BEREGNING AF ILTFLOWS VED DIREKTE MÅLIN- GER AF DE ILTINFLUERENDE PROCESSER.	72
9.4. KONKLUSION.	77
10. ILTMODEL SAMT MASSEBALANCER FOR NÆRINGSSTOFFER OG ORGANISK STOF.	79
10.1. MEKANISTISK, DETERMINISTISK ILTMODEL FOR STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.	79
10.1.1. FUNKTIONSUDTRYK I MODELLEN.	81
10.1.2. MODELBEREGNINGER.	84
10.1.3. SIMULERINGER.	86
10.2. MASSEBALANCE FOR NÆRINGSSTOFFER PÅ MAR 601 - MAR 602.	94
10.3. MASSEBALANCE FOR ORGANISK STOF PÅ MAR 601 - MAR 602.	95
10.4. KONKLUSION.	97
11. ØKOLOGISKE ASPEKTER AF DAMBRUGSDRIFT OG RECI- PIENTFORHOLD.	99
11.1. ENERGIFLOWS FOR DAMBRUGET OG MAR 601 - 602.	101
11.2. ENERGIFLOWS FOR MAR 601 - MAR 602.	102
11.3. KONKLUSION.	104
12. STATIONSBESKRIVELSER.	105
12.1. MATTRUP Å.	105
12.2. FUNDER Å.	109

	SIDE
12.3. BJERGS KOV BÆK.	112
12.4. SALTEN Å.	112
12.5. LINÅ.	114
ORDFORKLARINGER TIL ANVENDTE FAGUDTRYK.	115
REFERENCER.	118

1. INDLEDNING.

Da det for enhver er øjensynligt og intuitivt forståeligt, at et dambrug bevirker en væsentlig ændring af den nedenfor liggende vandløbsstræknings fysisk-kemiske og biologiske miljø, har der i flere år været ført en heftig debat, hvor dambrug og dambrugere ofte har været betragtet med en voldsom animositet. Hovedpunkterne i den offentlige debat har været at dambrugene forårsager tilslamning af vandløbene, ødelæggelse af vildfiskebestanden til skade for lystfiskeriet samt katastrofale ændringer af invertebratfaunaen.

Med baggrund i den almene interesse for dambrugsproblematikken har der i de senere år været foretaget en række undersøgelser af dambrugsforureningen, FREDERIKSEN (1967), SOLBERG (1971a, 1971b, 1976), RØNN LARSEN (1970), CHRISTENSEN og MORTENSEN (1972), VEJLE AMTSKOMMUNE (1974) samt VKI og JTI (1976). Den gennemgående ide i disse undersøgelser har været at beskrive og analysere hvorledes vandets indhold af forskellige stoffer ændres ved passage gennem et dambrug. Samtlige undersøgelser har påvist at et dambrug tilfører ret store mængder total-fosfat, total-kvælstof, ammoniak, BOD, COD) m.m. til recipienten. Yderligere er det konstateret at denne tilførsel sker med et karakteristisk døgnforløb, idet der forekommer en meget tydelig top på koncentrationskurverne efter fodring. Et generelt træk ved ovennævnte undersøgelser er belastningsvurderinger, hvor man omregner de fra dambruget tilførte stofmængder til personækvivalenter for at drage kvantitative sammenligninger mellem forskellige forureningskilder. Imidlertid har samtlige undersøgelser manglet en mere dybtgående analyse af recipientens reaktion på tilførslen af forskellige stoffer. Og da enhver vurdering af konsekvenser af en dambrugstilførsel

organisk stof
(kvælstof)

nødvendigvis må baseres på en dynamisk, analytisk betragtning af recipienten, fandt vi det ved GUDENÅUNDER-SØGELSEN 1973-75 af ganske særlig relevans at foretage en kvantitativ økologisk undersøgelse af en/flere dambrugspåvirkede vandløbsstrækninger. Denne recipient-orienterede anskuelsesmåde forstærkedes betydeligt af at Forsøgdambruget i Brøns - på samme tidspunkt som Gudenåundersøgelsen 1973-75 skulle påbegyndes - planlagde en større undersøgelse med henblik på afprøvning af en matematisk model for produktionsstyring, herunder også forholdet mellem driftstekniske procedurer og forurening fra dambrug.

Et dambrugs placering ved et vandløb må antages at resultere i en væsentlig påvirkning af den i frivandet eksisterende vildfiskebestand. Temperatur- og især iltforhold i vandløbet neden for dambruget vil ofte ændres ligesom sedimentet og vegetationen forandres som følge af blandt andet vandets kemiske ændring. Mængden af de invertebrater, som direkte tjener som føde for fiskene vil inden for visse grænser, og som følge af den organiske eutrofiering forøges. Invertebratfaunaens sammensætning vil ændres i en for visse fiskearter positiv retning, hvorimod andre fiskearters foretrukne fødedyr vil decimeres eller direkte forsvinde. Man må derfor på forhånd forvente, at frivandets fiskebestande ændres, hvad angår artssammensætning og bestandstørrelse i forhold til, hvad der var gældende før dambrugets placering ved vandløbet.

Foruden de miljøbetingede ændringer af den naturlige fiskefauna, forøges denne med den fra Nordamerika i slutningen af 1800-tallet introducerede regnbueørred (Salmo gairdneri), som er den i danske dambrug mest anvendte fiskeart. Under den nuværende dambrugsdriftform er et udslip af regnbueørreder uundgåeligt, hvilket ofte bevirker at regnbueørreden bliver helt dominerende i fiskefaunaen.

Som det påvistes i BJØRNKJÆR et al. (1972) bevirker dambrug en markant ændring af invertebratfaunaen nedstrøms dambruget, idet der sker en begunstiging af visse dyregrupper (filterfeeders og depositfeeders) på bekostning af andre grupper (stenfaunaen). På denne måde vil stenfauna-prædatorer få forringede vilkår medens prædatorer på øvrige grupper begunstiges. Slamdannelser eller slamtilledninger vil influere betydeligt på salmoniders reproduktionsmuligheder, idet æggene, som lægges i grus, kræver konstant tilførsel af ilt, hvilket umuliggøres af slamansamlinger mellem de enkelte partikler i gruset. Fiskefaunaen ses således i høj grad at være påvirket af de ændringer i recipienten, som et dambrug kan forårsage.

Bortset fra enkelte mindre undersøgelser, RASMUSSEN (1974), MORTENSEN (1974) og MARKMANN (1975) over regnbueørredens biologi i frivand her i landet, vides intet om betydningen og størrelsen af den ændring af fiskefaunaens sammensætning og produktionsforhold, som tilgangen af regnbueørreder rimeligvis må medføre, ligesom habitatsændringers indflydelse på fiskefaunaen ikke er undersøgt.

Idet ethvert krav om begrænsning af forurening fra dambrug nødvendigvis må have baggrund i en eksakt viden om hvorledes tilledningen ændrer det biologiske miljø i vandløbet, har vi - stærkere og stærkere som undersøgelsen skred frem - set det som vor væsentligste opgave at forsøge at beskrive og kvantificere de økologiske mekanismer, som er de mest betydningsfulde set i relation til dambrugspåvirkningen.

Det er klart at en konstatering af en koncentrationsøgning for forskellige stoffer (undtagen giftstoffer) ikke i sig selv kan berettige krav om forureningsbegrænsende foranstaltninger. For eksempel vil en reduktion af næringssaltindholdet ikke altid have nogen effekt i vandløbet, som det er dokumenteret i denne undersøgelse i tilfældet MATTRUP Å. Andre steder, for eksempel HAGENSTRUP MØLLEBÆK, hvor vandløbets naturlige

transport af næringssalte er meget ringe, vil en øgning af denne kunne få en særdeles mærkbar effekt på vandløbsstrækningen.

Som det således er antydnet, er hele dambrugsproblematikken af særdeles kompleks natur. Derfor har vi valgt at betragte selve dambruget som en "black box" og udelukkende analysere på den nedenfor liggende vandløbsstrækning. Vor interesse har koncentreret sig om følgende problemkomplekser:

1. FODERSPILDETS KVANTITET OG KVALITET.
2. EFFEKTEN AF UDLEDNING AF ILTFORBRUGENDE STOFFER.
3. EFFEKTEN AF TILFØRSEL AF NÆRINGSSALTE.
4. TRANSPORTVEJE Gennem ØKOsystemet FOR ILT, NÆRINGSSTOFFER OG ORGANISK STOF.
5. EFFEKTEN AF SLAMAKKUMULERING OG SEDIMENTATION.

Ordet problemkompleks er anvendt fordi de fem hovedproblemer i i høj grad er indbyrdes forbundne, og opdelingen blot er udtryk for at der er anvendt disse fem hovedangrebsvinkler.

Det har været formålet med vort arbejde at etablere en økologisk model for den neden for dambruget beliggende vandløbsstrækning. Dette arbejde er langt fra tilendebragt gennem nærværende rapport. Ønsket om etablering af en model har været begrundet ud fra ønsket om at have et "instrument", som man kan stille spørgsmål og hente svar fra. På denne måde vil man få mulighed for at vurdere kvantitativt på konsekvenser af ændringer på de i modellen indgående størrelser. En økologisk baseret model for en vandløbsstrækning må nødvendigvis være en syntese af flere delmodeller. Af sådanne har vi etableret fire:

1. MODEL FOR ILTFORHOLDENE.
2. MODEL FOR ORGANISK STOF.
3. MODEL FOR NÆRINGSSALTE.
4. UDSKYLNINGSMODEL.

Et eksempel på et spørgsmål, som kan besvares af ud-

skylningsmodellen er: "Hvorledes bliver døgnforløbet af COD på stationen neden for dambruget, hvis fodring med et givet antal kg foder startes på et givet tidspunkt på en dag med en given vandføring og basisværdi for COD er givet?". Med dette input i modellen vil output give koncentrationsforløbet over døgnet på stationen neden for dambruget. Efter denne information om koncentrationsændringen ud fra udskylningsmodellen, skal andre modeller anvendes til vurdering på ændringens konsekvens for økosystemet.

I forbindelse med vort arbejde med GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973-75, har det været formålstjenligt at opdele arbejdet i en række delundersøgelser, som i nærværende rapport omtales hver for sig. De behandles i en slags dynamisk rækkefølge, forstået på den måde at vi først betragter output fra dambruget og derefter ser på disse outputs passage og omsætning ned gennem vandløbet. I KAPITEL 11 fremlægges en konklusion i form af en syntese af de enkelte delundersøgelser. KAPITEL 10, som omhandler modeller, er et forsøg på en analytisk syntese, som danner baggrund for KAPITEL 11's mere verbale fremlægning.

2. RESUME OG KONKLUSION.

DAMBRUGSUNDERSØGELSEN har omfattet undersøgelser af stoftransporter på en række udvalgte vandløbsstrækninger, der er beliggende neden for dambrug ved MATTRUP Å, SALTEN Å, FUNDER Å, LINÅ, HAGENSTRUP MØLLEBÆK samt BJERGSKOV BÆK.

Til belysning af recipientens reaktion på de tilførte stofmængder er der på en undersøgelses strækning neden for Bregnholm Mølle ved MATTRUP Å udført datailundersøgelser af følgende problemer:

1. EFFEKT AF UDLEDNING AF ILTFORBRUGENDE STOFFER.
2. EFFEKT AF SLAMAKKUMULERING.
3. EFFEKT AF NÆRINGSSTOFTILFØRSEL.
4. TRANSPORTVEJE GENNEM ØKOSYSTEMET FOR ILT, NÆRINGSSTOFFER OG ORGANISK STOF.

I arbejdet har tillige indgået undersøgelser af dambrugets indflydelse på populationen af vildtlevende ørred (Salmo trutta) og regnbueørred (Salmo gairdneri). Der er udført undersøgelser af produktion, reproduktionssucces, fødekonsumention, bestandstætheder. Ligeledes er der udført fiskeribiologiske referenceundersøgelser på en ikke dambrugsbelastet strækning af MATTRUP Å ved Tirsvad Bro.

2.1. STOFTRANSPORT.

Gennem ca. 100 stationsdøgnmålinger er påvist en forøgelse af recipientens transport af stoffraktionerne: AMMONIAK, TOTAL ORGANISK KVÆLSTOF, TOTAL FOSFOR, ORTHOFOSFAT, COD samt BOD ved passage gennem dambruget. Der er fundet en lineær sammenhæng mellem tilført fodermængde og det umiddelbare fodertab (FT). Transporten af ammoniak, total organisk kvælstof, total fosfor og orthofosfat på målestationerne umiddelbart neden

for Bregnholm Mølle (MAR 601) og 750 m neden for Bregnholm Mølle (MAR 602) er omtrent lige store. For COD er forholdet det, at der i sommermånederne er større transport på MAR 601 end på MAR 602, medens forholdet om vinteren og foråret er det modsatte. Dette betyder at der i sommermånederne sker en stofakkumulering og stofomsætning, medens der om vinteren sker en udskylning.

2.2. MODEL FOR UDSKYLNING AF FODERTAB.

Til beskrivelse af det tidsmæssige forløb af fodertabets udskylning i recipienten er udviklet en model. En afprøvning af modellen på samtlige COD-målinger fra Bregnholm Mølle (MAR 601) i 1975 viser at modellen giver en udmærket beskrivelse af udskylningsforløbet. Uden at skulle iværksætte en større analyseserie er man således i stand til at opnå en anvendelig kvantitativ beskrivelse af recipientens belastning.

2.3. SEDIMENTUNDERSØGELSER.

Kemiske undersøgelser af sedimentet neden for Bregnholm Mølle viser at sedimentet i løbet af sommerperioden beriges med organisk stof. I løbet af sommerperioden bevirker dambruget altså en forøgelse af mængden af organisk slam i vandløbet nedenfor. I løbet af vinter og forår udskylles det aflejrede organiske stof som følge af øget vandføring og strømhastighed. Glødetabet i sedimentet stiger fra 40 mg/g til 150 mg/g fra forår til sommer, hvorefter det igen falder. Et udtryk for den iltkrævende mikrobielle aktivitet i sedimentet opnås gennem måling af sedimentets iltforbrug. Der er på sediment bestående af rent mineralsand målt respirationsstørrelser på $0.05 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{time}$, medens værdien for organisk beriget sediment er målt ca. 10 gange så stor - begge værdier angivet ved en iltkoncentration på 10 ppm i vandfasen over sedimentet. Sedi-

mentets respiration er en betydningsfuld parameter i forbindelse med vurdering af iltforhold i vandløb neden for dambrug.

Et udtryk for iltforholdene ned gennem sedimentet kan fås gennem måling af redoxpotentialiet (E_h). På en lang række målinger fra MAR 601 er der fundet, at overfladelaget (1-3 cm's dybde) er aerobt, medens der i dybden hersker anaerobe forhold. Analyser af porevand fra samme sediment viser meget høje koncentrationer af ammoniak og orthofosfat (henholdsvis 32 mg/l og 4 mg/l) i dybder hvor forholdene er anaerobe. Frigivelse af disse meget store mængder næringsstoffer til vandfasen forhindres af den aerobe overfladezone.

Ved MAR 601 er det påvist at sedimentet og den dertil knyttede fauna påvirkes betydeligt af dambruget, idet tilslamning af sedimentet bevirker en opblomstring af depositfeeders, medens den rheophile stenfauna reduceres betydeligt.

2.4. STUDIER AF SIMULIEPOPULATIONEN PÅ MAR 601.

Der er foretaget populationsdynamiske undersøgelser af en population af Simulium spp. på undersøgelsesfeltet på MAR 601, herunder bestemmelse af biomasse og produktion samt målinger af respiration. Undersøgelserne viser at simuliernes fødeindtag kan redegøre for 20-50 % af den mængde organisk stof, som forsvinder fra vandfasen ved vandets passage fra MAR 601 til MAR 602.

Fjernelsen er dog ikke udtryk for en metabolisk omsætning af det organiske stof, idet ca. 90% af simuliernes konsumtion udskilles som fækalier. LADLE (1972) har udført en lignende undersøgelse i Bere Stream i det sydlige England, hvor han har fundet produktionsstørrelser på ca. 6 g/m²/år, hvilket er betydeligt lavere end de i nærværende påviste produktionsstørrelser på ca. 50 g/m²/år. Da Bregnholm Mølle dambrug forårsager ca. en fordobling af åens transport af organisk stof, målt som COD, og dette bidrag ydermere består af let-omsætteligt proteinrigt organisk stof i form af fiske-

rester, tyder det på at forklaringen på den høje produktion af Simulium spp. netop må være tabet af suspenderet organisk stof fra dambruget.

2.5. FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER.

Der er foretaget fiskeribiologiske undersøgelser på to vandløbsstrækninger i Matstrup å, en 100 m strækning neden for Tirsvad bro samt en 250 m strækning neden for Bregnholm Mølle. På begge stationer er foretaget bestemmelse af biomasse og produktion af ørred og regnbueørred. Produktionen af ørred på de to stationer var nogenlunde ens (henholdsvis 7.6 g og 9.3 g vådvægt/m²/år). Regnbueørred forekom ikke ved Tirsvad bro, men var meget talrig ved Bregnholm Mølle, hvor produktionen bestemtes til 33 g vådvægt/m²/år. Ved Bregnholm Mølle er produktionen ca. 6 gange større end ved Tirsvad bro, når man betragter ørred og regnbueørred under ét. Yngeltillæget er tilsyneladende udmærket ved Tirsvad bro. Den fundne produktion på dette sted må derfor antages at være identisk med lokalitetens produktionskapacitet. Den større samlede produktion ved Bregnholm Mølle må tilskrives bedre ernæringsbetingelser (større fødeudbud). At produktionen af ørred ikke er større end ved Tirsvad bro kan der ikke gives nogen forklaring på, men der er ikke fundet yngeltillæg ved Bregnholm Mølle, og bestanden er derfor afhængig af tilvandring af fisk fra Gudenåen. Den totale mængde undslupne regnbueørreder som bliver på MAR 601 er således gennem deres vækst skyld i produktionsforøgelsen på stationen. Bestanden af regnbueørreder er ikke selvreproducerende, men holdes vedlige gennem spild af fisk fra dambruget. Ved månedlige befiskninger på strækningen MAR 601 - MAR 602 er det påvist, at ørredbestanden er overordentlig ringe i sommermånederne. Denne bestandsnedgang er sammenfaldende med tilgroning med grøde og forekomst af lave iltværdier. Dette betyder, at fiskebestanden neden for Bregnholm Mølle om sommeren er indespærret

mellem dambruget og den miljømæssigt dårlige strækning længere nede ad åen (ved MAR 602). Ved vækstenergetiske beregninger er det vist, at fødeoptagelsen er ca. 25% af den maximalt mulige, hvorfor det må antages at bestandstætheden overstiger strækningens kapacitet. Reproduktionsmuligheder for ørred ved Tirsvad bro og Bregnholm Mølle - hvor der begge steder findes velegnede gydepladser - er undersøgt. Det er herigennem konstateret at der sker et fint yngeltillæg ved Tirsvad bro medens gydepladser ved Bregnholm Mølle tilslammer således at æggene dør, hvorfor der ikke er konstateret yngel ved befiskningerne.

2.6. MAKROFYTTES ROLLE I VANDLØBSØKOSYSTEMET.

I 1974 og 1975 er væksten af makrofytter på undersøgelsesfeltet ved MAR 601 fulgt gennem en række biomasbestemmelser. Vækstmønstret er beskrevet med en logistisk vækstmodel. I 1974 var produktionen 114 g tørstof/m² medens den i 1975 blev 180 g tørstof/m². Disse produktionsstørrelser ligger på niveau med andre produktionsmålinger foretaget i Danmark og England. Der er foretaget beregninger af akkumulation af kvælstof og fosfor i makrofytter for juli 1975, hvor den højeste produktionsrate nåedes. Beregningerne viser at henholdsvis ca. 0% af åens kvælstof-transport og ca. 0.5% af åens fosfor-transport optages i makrofytter. Disse diminutive størrelser viser, at dambrugets tilskud af kvælstof og fosfor til åens transport (henholdsvis 22% og 12%) ikke kan have effekt på produktionen af makrofytter.

De høje produktionstal betyder at grøden om sommeren forårsager akkumulering af vand på strækningen MAR 601 til MAR 602, hvilket betyder nedsat strømhastighed og dermed nedsat transportevne for suspenderet stof. Dette bidrager til at øge tilslamningen i løbet af sommeren.

2.7. ILTFORHOLD OG ILTFLOWS PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.

Der er gennemgået de vigtigste transportveje for ilt året igennem, hvorved der er konstateret årstidsvariationer på de forskellige iltflows, størst på produktion og respiration.

Der er foretaget beregninger af iltomsætninger på strækningen MAR 601 - MAR 602 på tre forskellige måder, som alle er modifikationer af den klassiske ODUM-metode. Ved ODUM 1 og ODUM 2 fås en voldsom overestimering af respiration og genluftning. Estimerer for brutto-primærproduktion er ret ens for de forskellige metoder. Dette skyldes at genluftningskoefficienten (K) og respirationen (R) er korrelerede, således at en stor K giver stor R, hvorfor ændringer på disse størrelser i vid udstrækning ophæver hinanden.

Selv om det ud fra beregningerne af iltomsætninger er muligt at konstatere at f.ex. sedimentrespirationen er høj - eventuelt højere end primærproduktionen - så er det dog ikke ud fra disse data alene muligt at afgøre hvorledes dette vil influere på recipientens iltforhold i løbet af døgnet, ligesom det heller ikke er muligt ved hjælp af beregningsmetoderne at vurdere på effekten af forskellige indgreb som f.ex. grødeslåning eller nedsat fodermængde.

2.8. ILTMODEL SAMT MASSEBALANCER FOR NÆRINGSSTOFFER OG ORGANISK STOF.

Der er opstillet simple massebalancer for næringsstoffer og organisk stof. Massebalancen for organisk stof viser, at dambruget tilfører ca. 27 tons/år, hvoraf ca. 10 tons tilbageholdes på strækningen MAR 601 - MAR 602. Af disse 10 tons omsættes ca. 2 tons aerobt på strækningen. Under antagelse af jævn sedimentation over strækningen gennem sommerhalvåret vil de sidste 8 tons organisk stof foranledige en sedimenttilvækst på ca. 1.5 cm.

Dette pålejlighed sedimentlag udskylles gennem vinter- og forårsperioden. Den selvrensning vandet har undergået fra MAR 601 til MAR 602 er altså kun i mindre grad udtryk for en metabolisk omsætning af det tilførte organiske stof. Med andre ord har åen ikke kunnet omsætte den tilførte mængde organisk stof, der derfor må transporteres videre ud af systemet med en vis tidsforsinkelse. Foruden det fra dambruget tilførte materiale, allochtont materiale, tilføres også organisk stof som produceres på stedet, autochtont materiale. På årsbasis drejer det sig om ca. 0.5 tons organisk stof. Der er udviklet en matematisk model for iltforholdene. Ved hjælp af denne iltmodel er der foretaget en række beregninger og simuleringer på tænkte indgreb, ligesom dens forudsigelighed er afprøvet på direkte observationer af iltforhold. Resultatet af simuleringerne er:

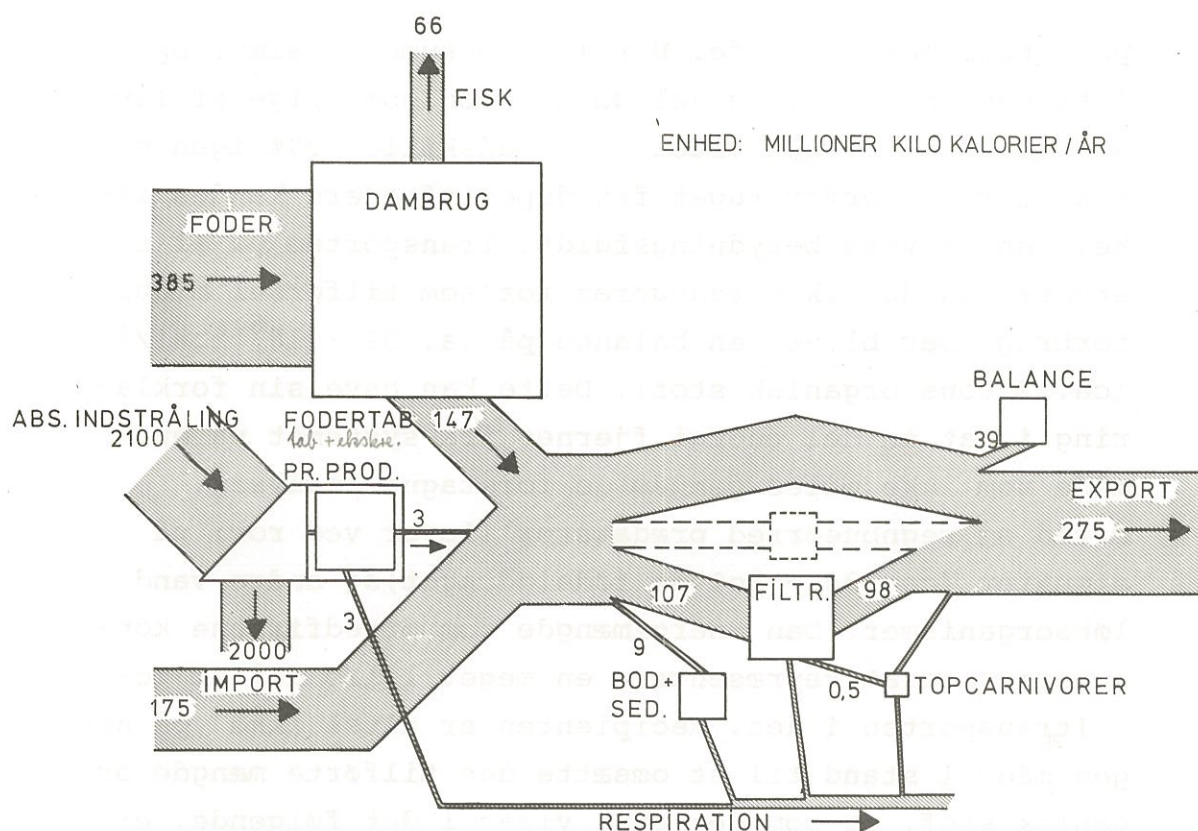
1. Effekten af foderspildet er af underordnet betydning, da det forekommer på et tidspunkt på dagen, hvor der er høje iltkoncentrationer.
2. En reduktion af sedimentrespirationen er ikke i sig selv tilstrækkeligt til at opnå tilfredsstillende iltforhold.
3. Grødeslåning bedrer iltforholdene betydeligt, idet lave natværdier elimineres.

Hvis iltforholdene på MAR 601 kunne bedres, f.ex. gennem beluftning, vil situationen i åen forbedres betydeligt. Specielt i forbindelse med en reduktion af makrofytbiomassen vil et sådant indgreb være virkningsfuldt. Ved nærværende undersøgelse af iltforholdene i Mattrup å har det ikke været muligt at påvise en direkte sammenhæng mellem dambrugets direkte målelige effekt på åen og de observerede iltforhold.

2.9. KONKLUSION.

På FIGUR 2.1. er de vigtigste energistrømme vist for strækningen MAR 601 - MAR 602. Enheden er kcal/år for hele strækningen. Desuden er vist fodertilførsel til

? omsættes
af foderspildet i
den den biologiske
O₂ periode indtæ-
les



FIGUR 2.1.

Energibalance for strækningen MAR 601 - MAR 602.

ABS. INDSTRÅLING	= absorberet indstråling
Pr. PROD.	= planternes primærproduktion
BOD + SED	= iltforbrug fra BOD5-nedbrydning i vandet og sedimentrespiration
FILTR.	= filtratorer (simulier)
TOPCARNIVORER	= ørred og regnbueørred
IMPORT	= tilførsel fra opstrøms dambruget
EXPORT	= Transport ved MAR 602
"Stiplede kasse"	= ikke målte processer

dambruget samt den energimængde, som fjernes fra dette i form af fiskekød. Af figuren fremgår, at dambrugets bidrag betyder en forøgelse af recipientens transport af energi på ca. 100%. Da dette stofspild er meget protein- og fedtholdigt, har det særdeles høj næringsværdi, hvorfor det er let omsætteligt i recipienten. Stoffet omsættes af mikroorganismer i såvel sedimentet som vandfasen, hvilket kommer til udtryk gennem sedimentrespiration og BOD5. Imidlertid ses af figuren, at denne omsætning kun repræsenterer en ringe del af den trans-

porterede energimængde. Derimod konsumerer simuliopopulationen en betydelig del deraf, men som følge af lav assimilationseffektivitet (10%) udskilles 90% igen som fækalier. Foderforbruget fra depositfeeders kendes ikke, men må være betydningsfuldt. Transporten ud af systemet kan der ikke redegøres for som tilførsel minus forbrug. Der bliver en balance på ca. $39 \cdot 10^6$ kcal/år (ca. 7 tons organisk stof). Dette kan have sin forklaring i, at en del energi fjernes fra systemet på en måde som ikke måles gennem de foretagne analyser.

Ørred og regnbueørred prædaterer (lever ved rov) på simulier (ca. 30 - 50% af fødeindtaget) og andre vandløbsorganismer. Den energimængde som ørredfiskene konsumerer ses at repræsentere en meget lille del af totaltransporten i åen. Recipienten er altså ikke på nogen måde i stand til at omsætte den tilførte mængde organisk stof, og som det skal vises i det følgende, er recipientens evne til at omsætte organisk stof udnyttet i betydeligt omfang, idet iltindholdet i vandet i sommerperioden er meget lavt. Som nævnt under omtalen af sedimentundersøgelser (KAPITEL 5), sker der i sommerperioden en midlertidig akkumulering af organisk stof, der således i denne kritiske periode forøger iltforbruget.

Gennem 1974 og 1975 er iltforholdene på døgnbasis målt ved Bregnholm Mølle (MAR 601) og Madesvad (MAR 602). Disse målinger viser høje iltværdier og ringe døgnsvingninger i vintermånederne, medens der i sommermånederne iagttages betydelige døgnamplituder med forekomst af meget lave iltkoncentrationer. For at forklare disse forhold blev de forskellige iltinfluerende processer målt og formuleret matematisk. De iltinfluerende processer er:

1. PLANTERNES ILTPRODUKTION OG RESPIRATION
2. SEDIMENTETS RESPIRATION
3. ILTFORBRUG I VANDFASEN, BOD
4. GENLUFTNING FRA ATMOSFÆREN

Disse processer samt udskylningsmodellen indgår i en

samlet model for iltforholdene neden for dambruget. Modellen muliggør beregninger af effekten af forskellige indgreb, som f.ex. anvendelse af forskellige fodermængder på dambruget, grødeslåning m.m.

Beregninger med modellen, simuleringer viser:

At effekten af dambrugets foderspild på iltforholdene er af underordnet betydning for dyrelivet lige neden for dambruget, da foderspildet forekommer på et tidspunkt af dagen, hvor iltkoncentrationen er høj.

At sedimentrespirationen er af stor betydning. Dog vil en nedsættelse af den ikke give en tilstrækkelig forbedring af iltforholdene til at rentvandsdyr (f.ex. ørred og regnbueørred) kan trives på dette sted.

At grødeslåning bedrer iltforholdene betydeligt, idet de lave natværdier undgås.

Hovedkonklusionen af dambrugsundersøgelsen er, at dambruget gennem tilførsel af organisk stof til recipienten forårsager en betydelig forringelse af vandløbskvaliteten. Denne forringelse fremkommer som følge af vandløbets utilstrækkelige kapacitet til at omsætte de tilførte mængder organisk stof. 20

Påvirkninger er dog forskellige fra vandløb til vandløb, således at en udledning som et sted kan absorberes, et andet sted vil kunne få alvorlige følger.

3. STOFTRANSPORT.

Stoftransport er målt ved en række dambrug i Gudenåsystemet: BREGNHOLM MØLLE DAMBRUG, ANSØ DAMBRUG, KATRINEDAL MØLLE DAMBRUG, SKÆRSKOV DAMBRUG, FUNDER FISKERI, KALPENDAL DAMBRUG, SKELLERUP MØLLE DAMBRUG, HAGENSTRUP MØLLE DAMBRUG samt YDING DAMBRUG.

I alle tilfælde er transporten bestemt på en station oven for dambruget samt på 1-3 stationer neden for. De mest intensive undersøgelser er foretaget ved Bregnholm Mølle, hvor der er gennemført 16 døgnmålinger i 1973-75.

Resultaterne af samtlige døgnmålinger findes i nærværende rapports 2. DEL, BILAGSDEL, hvor de er præsenteret i tabeller over målte værdier sammen med døgntransporterne samt afbilledet på kurveform.

3.1. MÅLEMETODER.

Her skal kort gennemgås hvilke metoder, der er anvendt ved analyser på laboratoriet. Der skal ikke gives detaillerede beskrivelser af de enkelte metoder, men henvises til litteratur, hvor metoderne er udførligt beskrevet. Denne litteratur er medtaget i REFERENCELISTE.

3.1.1. OPLØST ILT.

Til målinger i felten er benyttet en polarografisk elektrode med tilhørende instrument af typen YSI MODEL 54 RC. I laboratoriet er anvendt et instrument af typen RADIOMETER pH-METER 71. Begge ovennævnte instrumenter er kalibreret ved hjælp af kemisk bestemmelse af opløst ilt i følge en modificeret WINKLER-metode, beskrevet i GOLTERMAN (1971).

3.1.2. VANDANALYSER.

AMMONIAK (NH): Der er anvendt en kolorimetrisk metode, INDOPHENOL-metoden, som er beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Vandanalyser.

TOTAL ORGANISK KVÆLSTOF (TN): Metoden består i en KJEL-

DAHL-destruktion med efterfølgende destillation. Metoden er beskrevet i GOLTERMAN (1971).

NITRAT: Reduceres gennem cadmiumsøjler til nitrit, som bestemmes kolorimetrisk i følge metode beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Vandanalyser.

NITRIT: Bestemmes kolorimetrisk i følge metode beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Vandanalyser.

ORTHOFOSFAT (PO): Bestemmes kolorimetrisk efter metode beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Vandanalyser.

TOTALFOSFAT (TP): Oxideres til PO_4^{--} med persulfat. Metoden er beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Vandanalyser.

COD (OD): 100-300 ml vandprøve filtreres gennem 25 mm WHATMAN GFF filter. Derefter foretages vådoxidation med $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ på filter + filterrest. Efter oxidationen bestemmes overskydende mængde $\text{Cr}_2\text{O}_7^{--}$ med Fe^{++} i fosforsur væske. Metoden er beskrevet i MACIOLEK (1962).

BOD, BI_5 (BF): Vandprøver fortyndes 1:1. Iltindholdet i en lukket brun flaske måles initialt. Prøver (i brune flasker) inkuberes, og iltindhold måles med 24 timers mellemrum i 5 døgn.

3.1.3. SEDIMENTANALYSER.

GLØDETAB: Måles som vægttab efter 24 timers glødning ved 550°C .

COD: Vådoxidation med $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. I øvrigt som beskrevet ovenfor under COD.

TOTALFOSFAT: Oxidation med persulfat som beskrevet i INTERKALIBRERINGSRAPPORT, Sedimentanalyser.

REDOXPOTENTIALE (E_h): Målingerne foretages som beskrevet i FORUNDERSØGELSESRAPPORT, BJØRNKJÆR et al (1972). Se endvidere HARGRAVE (1972).

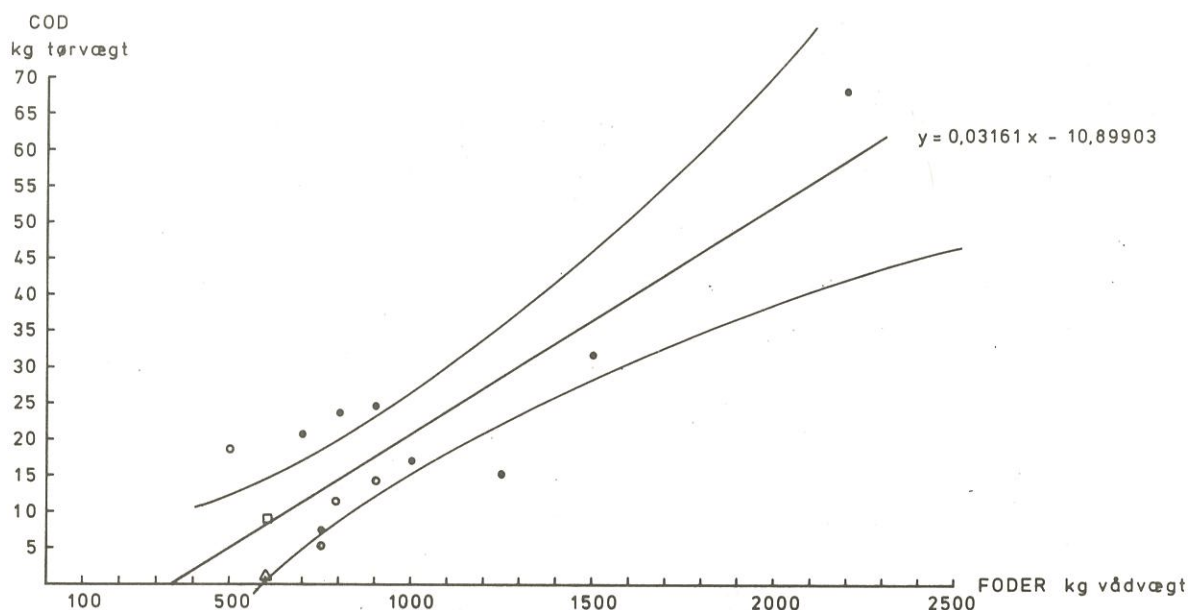
VANDFØRING: Strømhastigheden måles med OTT-vinge i et antal punkter fordelt over åens tværsnit. Ved hjælp af strømhastighed og tværprofil/tværsnitsareal beregnes vandføringen. Målingerne er kalibreret med målinger udført af Det Danske Hede-

selskab ved Lille bro, Matstrup å, MAR 603.

3.2. ESTIMERING AF DET UMIDDELBARE FODERSPILD (FT).

Gennem 14 døgnmålinger er det umiddelbare foderspild (FT) (=fodertabet) beregnet for målinger fra KALPENDAL DAMBRUG, SKELLERUP MØLLE DAMBRUG, SKÆRSKOV DAMBRUG og BREGNHOLM MØLLE DAMBRUG.

Relationen mellem det umiddelbare foderspild og den tilførte fodermængde (vådfoder) kan beskrives ved en lineær relation som angivet på FIGUR 3.2.1. På denne er desuden vist 95% confidensgrænser for linien. Disse grænser markerer inden for hvilket interval 95% af observationerne af foderspild ved en given fodermængde må forventes at falde. Figuren og ligningen kan ikke anvendes til estimering af foderspild, hvor fodermængden ligger uden for intervallet 500-2200 kg vådfoder. Af kurvens nedre ende fremgår, at foderspildet ligger



FIGUR 3.2.1.

Relationen mellem tilført fodermængde og det umiddelbare foderspild (FT).

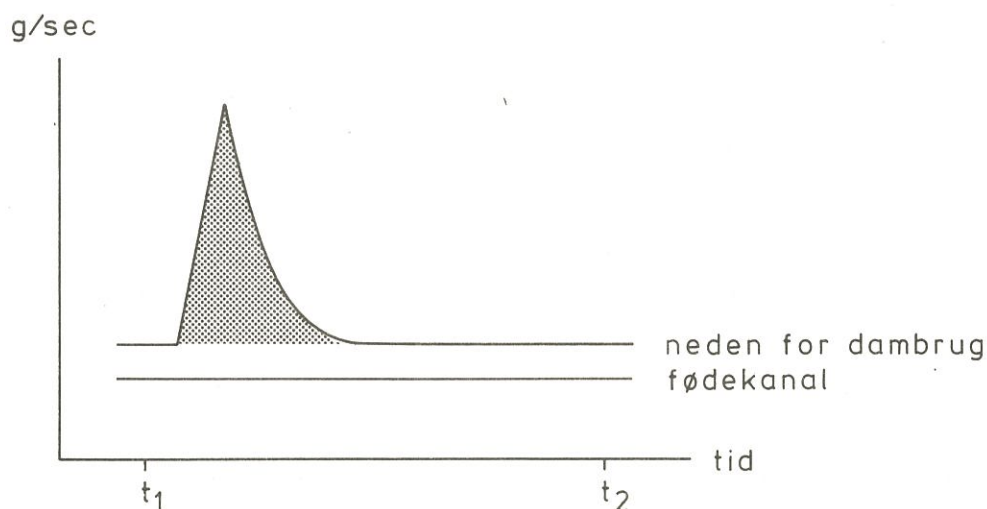
Udfyldt kvadrat	=	SKELLERUP MØLLE DAMBRUG, LINÅ
Udfyldt trekant	=	KALPENDAL DAMBRUG, KALPENDAL BÆK
Udfyldt cirkel	=	SKÆRSKOV DAMBRUG, FUNDER Å
Udfyldt cirkel	=	BREGNHOLM MØLLE DAMBRUG, MATTRUP Å

tæt ved nul for en fodermængde på 400 kg. En statistisk test viser at linien ikke går gennem (0,0). Dette skal ikke tages som bevis for at man ved anvendelse af mindre end 400 kg foder pr. dambrug vil bringe foderspildet til ophør. Den størrelse, som har betydning er fodermængden pr. dam. Er fodermængden pr. dam ringe, bliver koncentrationsændringerne, man skal måle på, meget små, således at usikkerhed på analyser spiller en stor rolle. Ved høje fodertilførsler, omkring 2200 kg på figuren, hvilket svarer til ca. 50 kg pr. dam, bliver det umiddelbare foderspild knap 10%. På FIGUR 3.2.1. er Skellerup Mølle Dambrug angivet med udfyldte firkanter. På dette dambrug er anvendt tørfoder, som er omregnet til ækvivalent mængde vådfoder (på tørvægt- og kaloriebasis). Det ses at målepunktet ikke skiller sig ud fra de øvrige, således at der i dette tilfælde ikke er tale om at tørfoder medfører mindre foderspild end vådfoder. Ved nærværende undersøgelse har det ikke været formålet at analysere sammenhænge mellem foderspild og bestandstætheder, vandmængde, fodringsteknik og fodertype. Analysen på det foreliggende materiale viser en positiv korrelation mellem fodermængde og det umiddelbare foderspild. Som det fremgår af figuren er der ret vide confidensgrænser på regressionslinien.

3.3. STOFTRANSPORT VED BREGNHOLM MØLLE.

Stoftransporterne er beregnet ved numerisk integration af analysedataene for transport pr. tidsenhed gennem perioden t_1 til t_2 , hvor t_1 er kl.00 og t_2 er kl.24. Det fremgår af FIGUR 3.3.1. hvorledes transporterne er defineret. Specielt er fodertabet (FT) angivet med raster.

Ved Bregnholm Mølle Dambrug er der fundet en lineær relation mellem tilført fodermængde (TF) på en given dag og det umiddelbare foderspild (FT) bestemt som det med raster angivne areal under kurven på FIGUR 3.3.1. Fodermængden er målt i kg vådfoder og fodertabet i kg



FIGUR 3.3.1.

Stoftransporter. Transporten udregnes som arealet under kurven. Fodertabet (FT) angivet med raster.

tørvægt. Ud fra den fundne relation kan fodertabet (FT) på en given dag beregnes af:

$$FT = a \cdot TF + b$$

hvor TF er tilført mængde foder i vådvægt og a og b er konstanter. Fodertabet kan udtrykkes ved BOD5, COD, NH_3 , TON, OP eller TUP. I TABEL 3.3.1. er angivet parametrene for de forskellige fraktioner af fodertabet ved Bregnholm Mølle, MAR 601.

FRAKTION	a	b	r
BOD5	0.0161	5.98	0.94753
COD	0.03264	-11.37	0.87082
NH_3	0.00139	0.12347	0.62321
TON	0.00335	-0.95227	0.78032
OP			-0.30431
TUP	0.00050	0.27544	0.69217

TABEL 3.3.1.

På grundlag af oplysninger fra Bregnholm Mølle dambrug om foderforbrug pr. måned i 1974 og 1975 er der ved hjælp af de fundne relationer beregnet fodertab for BOD5, TON, COD, NH_3 , TUP og OP gennem de pågældende år. Der i oplysninger om foderforbrug alene medtaget vådfoder, idet den anvendte fodermængde er minimal, og udelukkende anvendes til opfodring af yngel i kummer, hvor-

for det fra tørfoder stammende fodertab er forsvindende. Da indholdet af fosfor, kvælstof og organisk stof i foderet er kendt både fra egne analyser og fra analyser udført på LANDØKONOMISK FORSØGSLABORATORIUM, kan fodertabet beregnes som procent af tilført fodermængde. Det umiddelbare foderspild (FT) ved dambruget Bregnholm Mølle er, beregnet som

FOSFOR	13%
KVÆLSTOF	10%
Org. STOF	8%

Således tabes ca. 10% af den tilførte fodermængde ved det umiddelbare foderspild (FT). Af frisk foder (våd-vægt) udgør fosfor ca. 0.5%, kvælstof 3.0% og organisk stof 21%. Ved Skærskov Dambrug, FUD 611, fandtes at 6% af den tilførte fodermængde blev tabt gennem det umiddelbare foderspild.

Måned	1974			1975		
	Fodermængde Opgivet kg/måned	Fodermængde Beregnet kg/dag	Fodermængde Opgivet kg/dag	Fodermængde Opgivet kg/måned	Fodermængde Beregnet kg/dag	Fodermængde Opgivet kg/dag
Januar	4800	218		20205	918	
Februar	12650	575		19750	898	800
Marts	13700	623	700	27650	1257	
April	3750	170		38150	1734	1725
Maj	2250	102		37400	1700	750
Juni	16500	750		16300	741	
Juli	24850	1130		21400	973	900
August	31400	1427	1500	23850	1084	750
Septemb.	20000	909		23900	1086	
Oktober	16300	741	1000	27200	1236	
Novemb.	12000	545		11400	518	
Decemb.	6000	273		13500	614	
Total	164200 kg/år			280700 kg/år		
	41050 kg tørstof/år			70175 kg tørstof/år		
Fosfor	821 kg/år			1336 kg/år		
Nitrogen	4466 kg/år			7268 kg/år		
Org. stof	27944 kg/år			45424 kg/år		

TABEL 3.3.2.

Opgivne og beregnede fodermængder for Bregnholm Mølle Dambrug for 1974 og 1975.

Af TABEL 3.3.2. fremgår opgivne og beregnede fodermængder for Bregnholm Mølle dambrug for 1974 og 1975. Desuden er opgivet totalmængden pr. år for foder, fosfor, kvælstof (nitrogen) samt organisk stof.

I TABEL 3.3.3. er angivet fodertabets forskellige fraktioner på månedsbasis for Bregnholm Mølle dambrug.

Fodertab på månedsbasis. 1974					De forskellige fraktioner 1975					
Måned	TON	TUP	NH ₃	COD	BOD5	TON	TUP	NH ₃	COD	BOD5
Januar	o	8.45	9.38	o	208	49.74	16.16	30.79	409	457
Februar	23.3	12.4	20.3	163	335	48.2	15.9	30.2	395	450
Marts	27.0	12.9	21.8	197	352	75.8	19.9	41.2	652	577
April	o	7.9	7.9	o	192	112.6	25.3	55.7	995	746
Maj	o	7.2	5.8	o	168	109.9	24.8	54.7	971	737
Juni	36.8	14.3	25.7	288	397	36.1	14.2	25.4	282	394
Juli	66.1	18.5	37.3	561	532	54.0	16.8	32.5	449	476
August	88.9	21.8	43.2	775	637	62.5	17.9	35.9	528	516
September	49.0	16.1	30.5	402	454	62.7	18.0	35.9	230	516
Oktober	36.1	14.2	25.4	282	394	74.2	19.7	40.5	637	569
November	21.0	12.0	19.4	141	325	18.9	11.8	18.6	121	315
December	0.1	9.0	11.1	o	228	24.3	12.8	21.7	190	349
Total	1028.0	355.1	618.9	8327	9971	(1974 + 1975)				

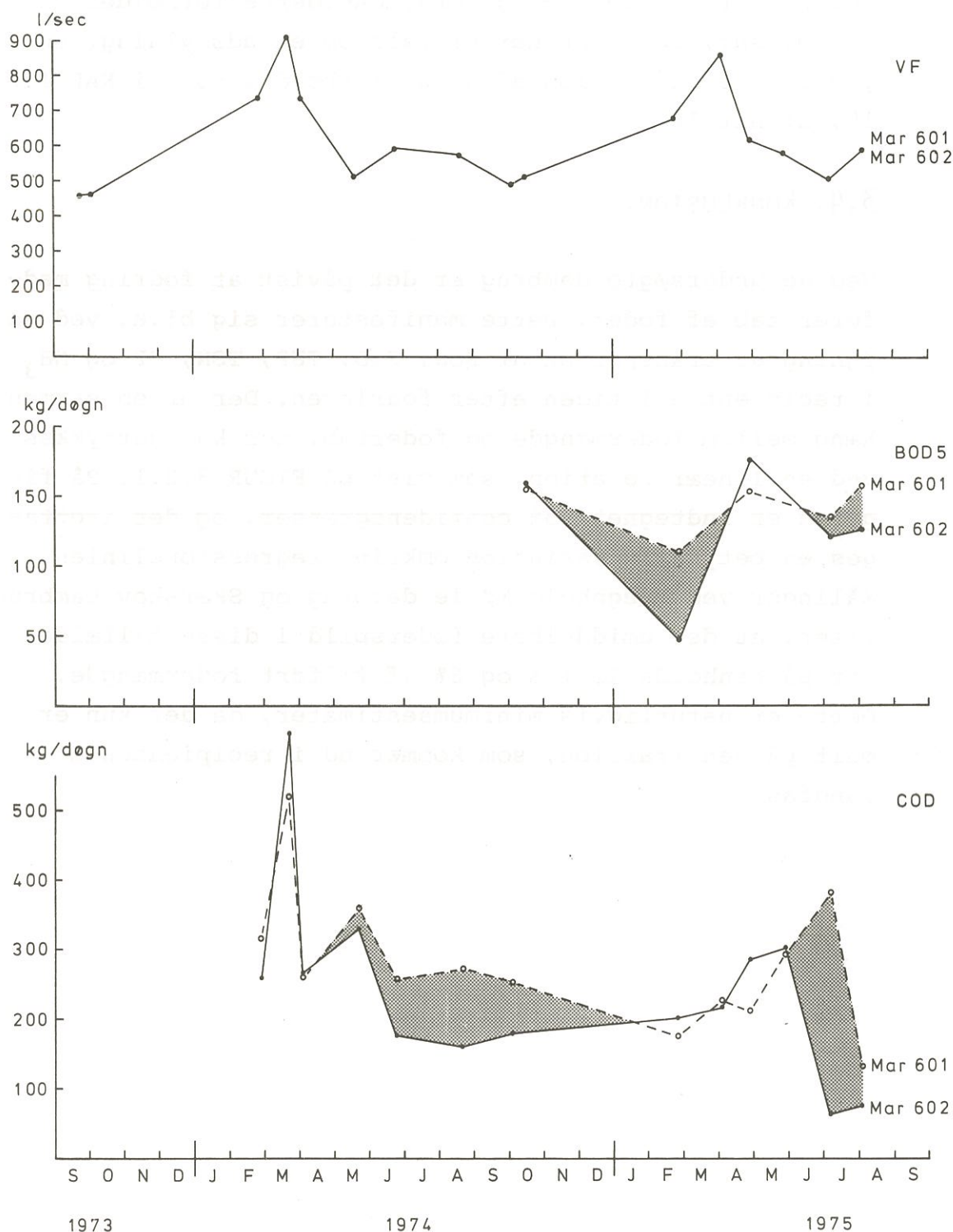
Enheder: kg/måned og kg/2 år

TABEL 3.3.3.

Fodertabets forskellige fraktioner på månedsbasis for Bregnholm Mølle dambrug 1974 og 1975.

Af transportmålingerne, som de fremgår af tabellerne i BILAGSDELEN fremgår, at der forekommer variationer på størrelsen af totaltransporten mellem stationerne MAR 601 og MAR 602. På strækningen mellem disse stationer er gennemsnitsbredden 5.0 m og længden 750 m, hvilket giver et areal på 3750 m². Totaltransporten på de to stationer for NH₃, OP, TUP og TON er ikke væsentligt forskellige, hvilket betyder at der på strækningen gør sig en ekvilibriumtilstand gældende, således, at der ikke forekommer hverken stofakkumulation eller stofudskylning. For COD og BOD5 er situationen en ganske anden. På FIGUR 3.3.2. er vist vandføringen (VF) i l/sec,

BOD5 i kg/døgn samt COD i kg/døgn på MAR 601 og MAR 602 månedsvis gennem perioden 1973-75.



FIGUR 3.3.2.

Vandføring (VF) og transport af BOD5 og COD på MAR 601 og MAR 602, 1973 - 1975.

Det fremgår tydeligt at der i sommermånederne finder en akkumulation sted, idet transporten på MAR 601 er større end transporten på MAR 602. Dette er vist på figuren med raster. I vinter- og forårmånederne forholder det sig modsat, idet der her er tale om en udskylning. En yderligere diskussion af disse forhold findes i KAPITEL 10, afsnit 10.2.

3.4. KONKLUSION.

Ved de undersøgte dambrug er det påvist at fodring medfører tab af foder. Dette manifesterer sig bl.a. ved en øgning af transporten af BOD, COD, TUP, TON, OP og NH_3 i recipienten i tiden efter fodringen. Der er en sammenhæng mellem fodermængde og fodertab, der kan udtrykkes ved en lineær relation, som vist på FIGUR 3.2.1. På figuren er indtegnet 95% confidensgrænser, og der iagttages en betydelig variation omkring regressionslinien. Målinger ved Bregnholm Mølle dambrug og Skærskov Dambrug viser, at det umiddelbare foderspild i disse tilfælde var på henholdsvis 10% og 6% af tilført fodermængde. Dette er naturligvis minimumsestimater, da der kun er målt på den fraktion, som kommer ud i recipienten i vandfasen.

4. MODEL FOR FODERTABETS UDSKYLNING FRA DAMBRUGET.

I det foregående kapitel er der givet en beregnings-procedure til bestemmelse af det umiddelbare foderspild. Det næste problem bliver at få klarlagt dette fodertabs uds skylning i recipienten. Det må pointeres at der med udtrykkene fodertab og umiddelbare foderspild menes den på FIGUR 3.3.1. definerede størrelse FT.

Ud over størrelsen af fodertabet er det en absolut nødvendig for kvantitative vurderinger på dets effekt i recipienten, at kende det tidsmæssige forløb af uds skylningen.

4.1. FODERTABETS UDSKYLNING EFTER FODRING AD ÉN GANG.

Det system, som skal betragtes, består af dambruget, det vil sige dets vandvolumen, og det vandløbsvolumen, som ligger mellem udløbet og første målestation neden for dambruget. Formelt kan disse to volumina på henholdsvis V_1 og V_2 , hvorigennem der er en konstant flow V . Foderet doseres i 1. reaktor, V_1 (dambruget). Foderdoseringen foregår med konstant rate over tidsrummet t_0 . Tilføres der foder mængden FM bliver fodertabet $FT(FM)$, hvilket beregnes i følge formlen (3.1.) i KAPITEL 3. Til V_1 tilføres altså stof med raten:

$$FT(FM)/t_0 \cdot g/h$$

Kaldes starttidspunktet for fodringen t_1 , kan stofkoncentrationen, U , til tiden t , hvor $t_1 \leq t \leq t_1 + t_0$ beregnes af:

$$U(t, t_1, t_0) = FT(FM)/V/t_0 \cdot (1 - \exp(-V/V_2 \cdot (t - t_1)) - V_1/(V_1 - V_2) \cdot (\exp(-V/V_1 \cdot (t - t_1)) - \exp(-V/V_2 \cdot (t - t_1)))) + C_b \quad (4.1)$$

hvilket giver en værdi, som stiger asymptotisk mod

$$FT(FM)/t_0/V + C_b$$

Ved fodringens ophør følger stofkoncentrationen funktionen:

$$\begin{aligned}
 V(t, t_1, t_0) = & U(t_1 + t_0, t, t_0) \cdot \exp(-V/V_2 \cdot (t - t_1 - t_0)) \\
 & + V_1/(V_1 - V_2) \cdot (\exp(-V/V_1 \cdot (t - t_1 - t_0)) \\
 & - \exp(-V/V_2 \cdot (t - t_1 - t_0)))
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

der beskriver en udskylning gennem 2 reaktorer med de givne volumina.

Kombineres (4.1) og (4.2) til en fælles funktion fås:

$$C(t, t_1, t_0) = U \cdot C_{01} + V \cdot C_{02} \quad (4.3)$$

hvor

$$\begin{aligned}
 C_{01} &= \begin{cases} 1 & \text{for } t_1 \leq t \leq t_1 + t_0 \\ 0 & \text{for } t < t_1 \text{ eller } t > t_1 + t_0 \end{cases} \\
 C_{02} &= \begin{cases} 0 & \text{for } t < t_1 + t_0 \\ 1 & \text{for } t \geq t_1 + t_0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

4.2. FODERTABETS UDSKYLNING EFTER FODRING AD FLERE GANGE.

Fodring ad flere gange kan beskrives ved hjælp af et system af flere af ovenstående ligninger. Kaldes fodringstidspunkterne for F_1, F_2 etc. bliver ligningen:

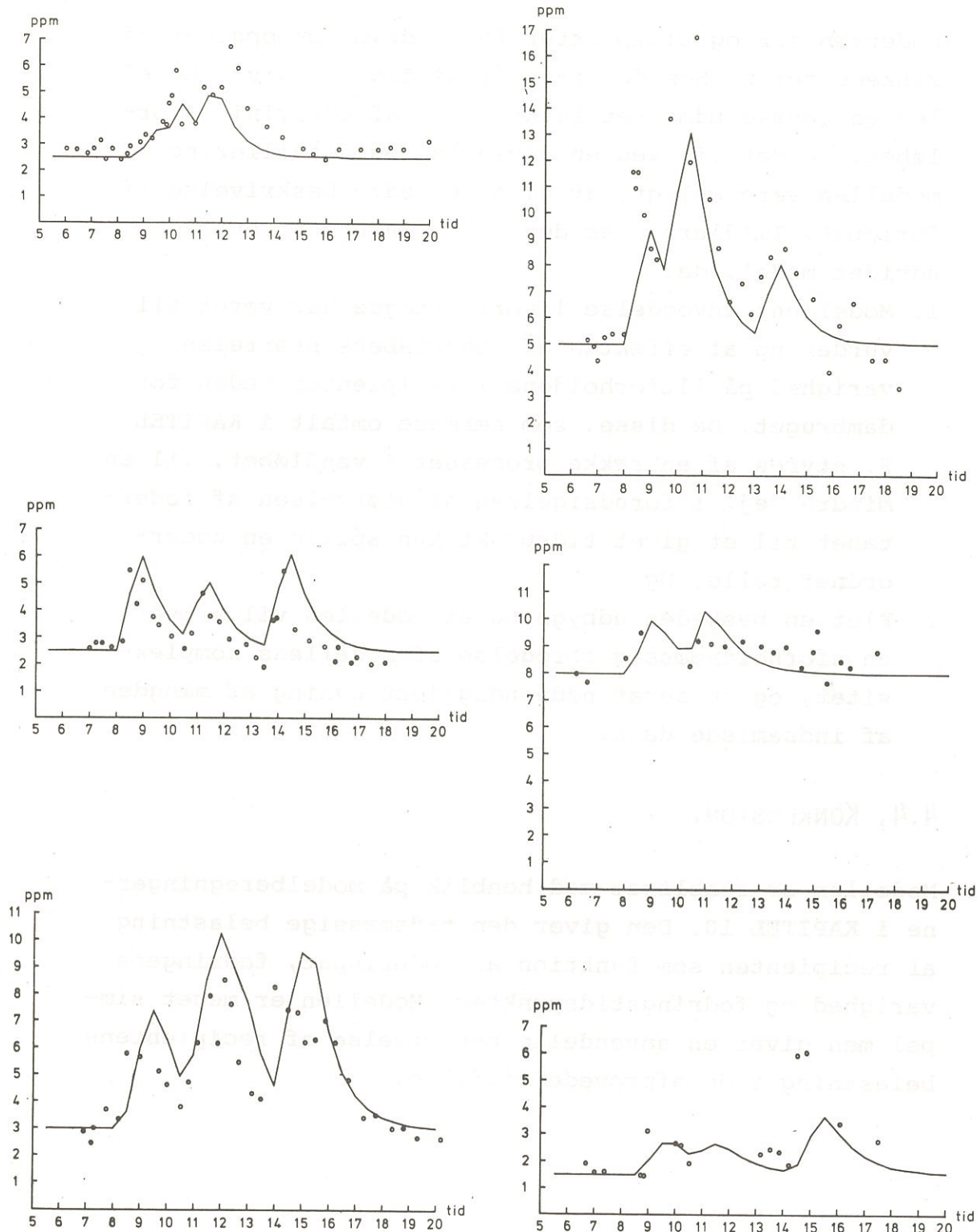
$$\begin{aligned}
 C(t) &= K_1(t) \cdot C_1(t) + K_2(t) \cdot C_2(t) \dots\dots\dots \\
 &= \sum_{i=1}^n K_i(t) \cdot C_i(t)
 \end{aligned} \quad (4.4)$$

hvor $K_i(t) = 0$ for $t = F_i$ og $K_i(t) = 1$ for $t > F_i$.

C_i er bidraget fra fodringsomgang i , C_b er basiskoncentrationen (ppm), V = vandføringen (m^3/h), V_1 = volumen af dambruget (m^3) og V_2 = volumen af vandløbet mellem dambrugsudløbet og første målestation (m^3).

4.3. AFPRØVNING AF UDSKYLNINGSMODELLENS ANVENDELIGHED.

Til illustration af modellens anvendelighed er den afprøvet for COD for samtlige døgnmålinger foretaget i 1975 på station MAR 601. Modellens forudsigelser af COD på MAR 601 er sammenholdt med de faktiske målinger. Resultaterne fremgår af FIGUR 4.3.1., hvor det beregnede døgnforløb er angivet sammen med det observerede for 6 døgnmåleserier.



FIGUR 4.3.1.

Observerede (uudfyldte cirkler) og beregnede (optrukne linier) værdier for COD på MAR 601. I venstre kolonne oppe fra og ned: 25.2.1975, 3.4.1975 og 29.4.1975.

I højre kolonne fra oven og ned: 27.5.1975, 9.7.1975 og 5.8.1975

Fodermængder og tidspunkter for fodring er opgivet af fiskemesteren. Som det fremgår af figuren giver modellen en ganske udmærket beskrivelse af udskylningsforløbet, og det vil ved en udvidelse og detaillering af modellen være muligt, at give en bedre beskrivelse af forløbet. Imidlertid er der ikke udarbejdet en sådan udvidet model, da:

1. Modellens anvendelse i vort arbejde har været til vurdering af effekten af fodertabets størrelse og varighed på iltforholdene i recipienten neden for dambruget. Da disse, som nærmere omtalt i KAPITEL 9, styres af en række processer i vandløbet, vil en mindre fejl i forudsigelsen af størrelsen af fodertabet til et givet tidspunkt kun spille en underordnet rolle. Og
2. Blot en beskeden udbygning af modellen vil kræve en uforholdsmæssig forøgelse af modellens kompleksitet, og en deraf nødvendiggjort øgning af mængden af indsamlede data.

4.4. KONKLUSION.

Modellen er etableret med henblik på modelberegningerne i KAPITEL 10. Den giver den tidsmæssige belastning af recipienten som funktion af foderinput, fodringens varighed og fodringstidspunktet. Modellen er meget simpel men giver en anvendelig beskrivelse af recipientens belastning i de afprøvede tilfælde.

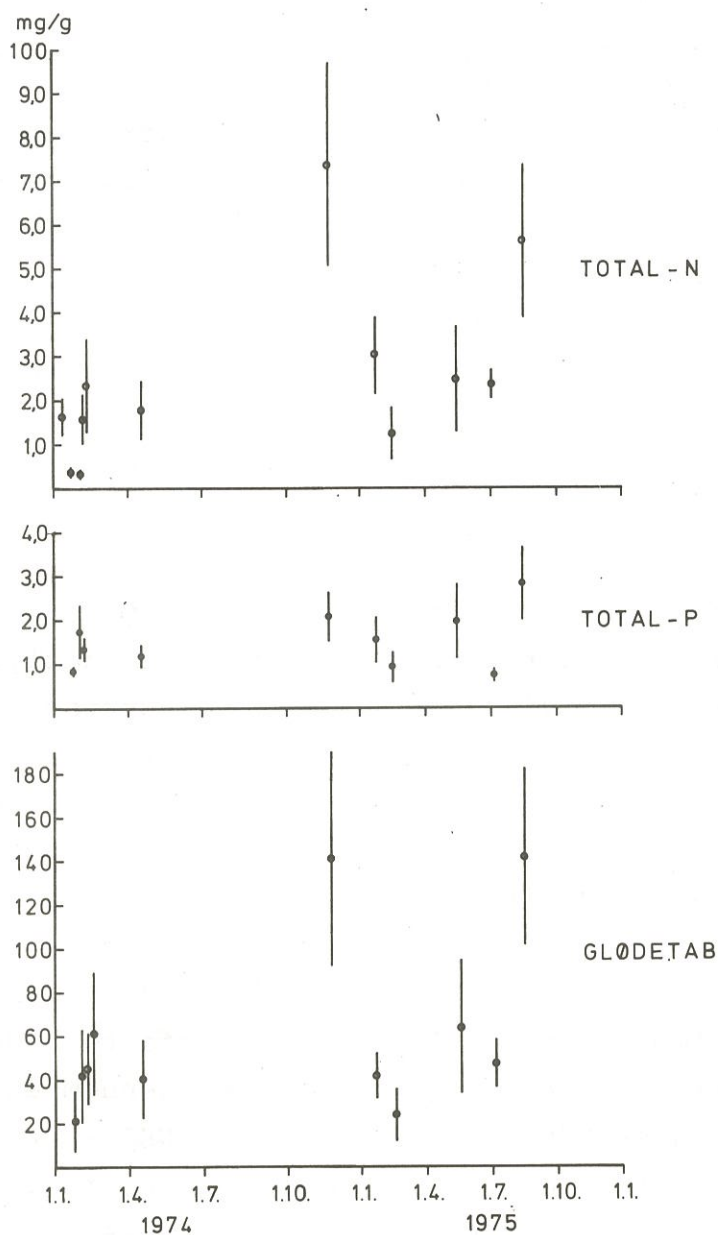
5. SEDIMENTUNDERSØGELSER.

Med sediment menes her det materiale, som udgør vandløbets bund. Med betegnelsen omfattes altså: sand, grus, sten, slam samt dødt organisk materiale (planterester, døde fisk). Sedimentet er substrat for en væsentlig del af faunaen samt for den rodfæstede submerse vegetation. Da forskellige flora- og faunatyper er knyttet til diverse sedimenttyper, HYNES (1970), vil sedimentets sammensætning være af afgørende betydning for de biologiske forhold i vandløbet, og eventuelle ændringer i sedimenttyper vil manifestere sig meget kraftigt.

Ud over den direkte fysiske indflydelse på faunaen og floraen har sedimentet en mere indirekte indflydelse på hele vandløbet via dets iltforbrug, grundet den mikrobielle omsætning og mineralisering af sedimenteret materiale. Ikke alene organismer, som lever direkte i eller på sedimentet er stærkt påvirkede af dette. For eksempel kan laksefisk, som gyder nede i rent grus, ved tilslamning af gydebanker få ødelagt deres reproduktionsmuligheder. En vurdering af sedimentets indflydelse på vandløbsøkosystemet må derfor omfatte både de fysiske, kemiske og biologiske aspekter gennem en hel sæson. I FORUNDERSØGELSESRAPPORTEN, BJØRNKJÆR et al (1972), er redegjort for nogle kvalitative effekter af tilslamning på stenfaunaen, idet det påvistes, at de der levende arter blev reduceret i antal. I nærværende rapports KAPITEL 7 er der omtalt mulige effekter på floraen, som kan forarmes på grund af tilslamning.

5.1. KVALITATIV KARAKTERISTIK AF SEDIMENTET PÅ MAR 601.

Ved nærværende undersøgelse er sedimentet blevet karakteriseret kvalitativt (grus, sand, mudder etc.), kemisk ved glødetab, kulstofindhold, kvælstofindhold og fosforindhold. Af fysiske målinger er iltforbruget blevet målt på et stort antal sedimentprøver. Disse målinger er gennemført på årsbasis i 1974 og 1975. Samtlige ana-

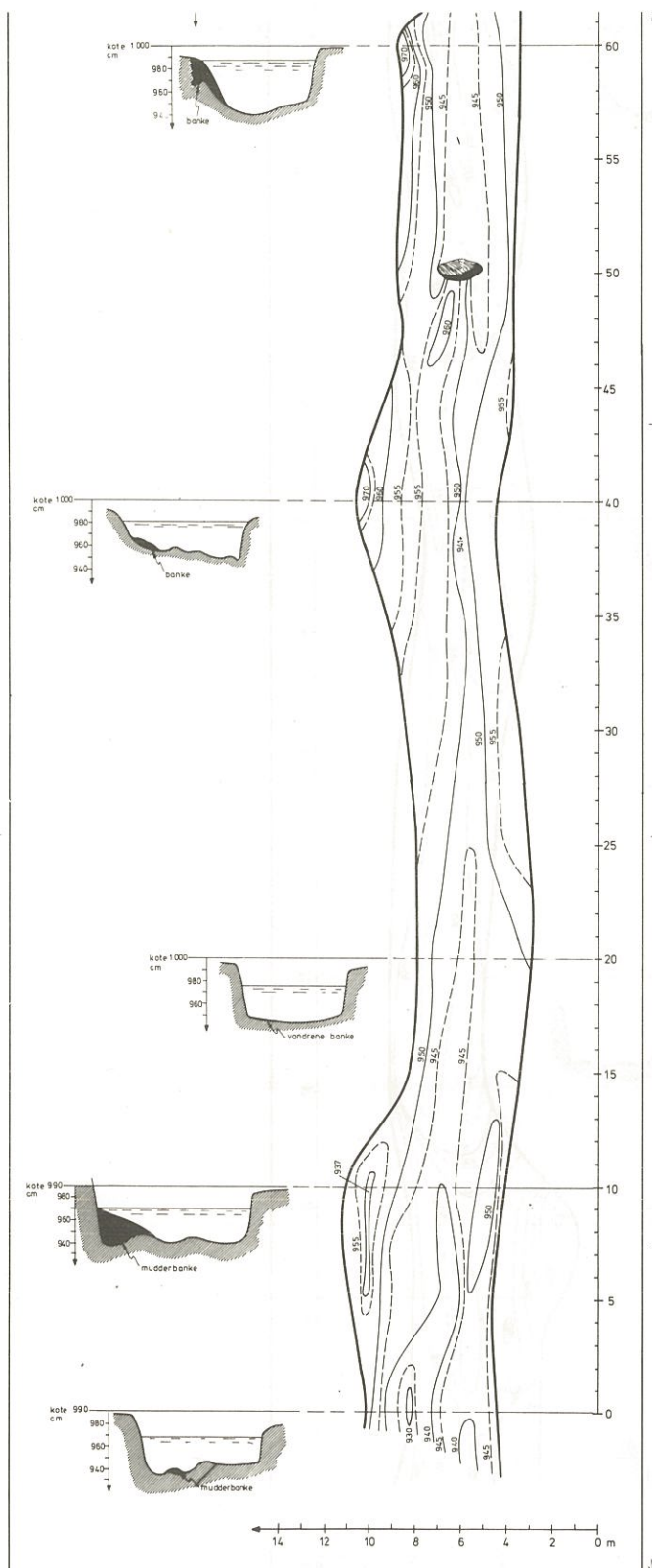


FIGUR 5.1.1.

Analyser af N, P og glødetab på sedimentprøver fra MAR 601. Middelværdi angivet $\pm$ S.D.

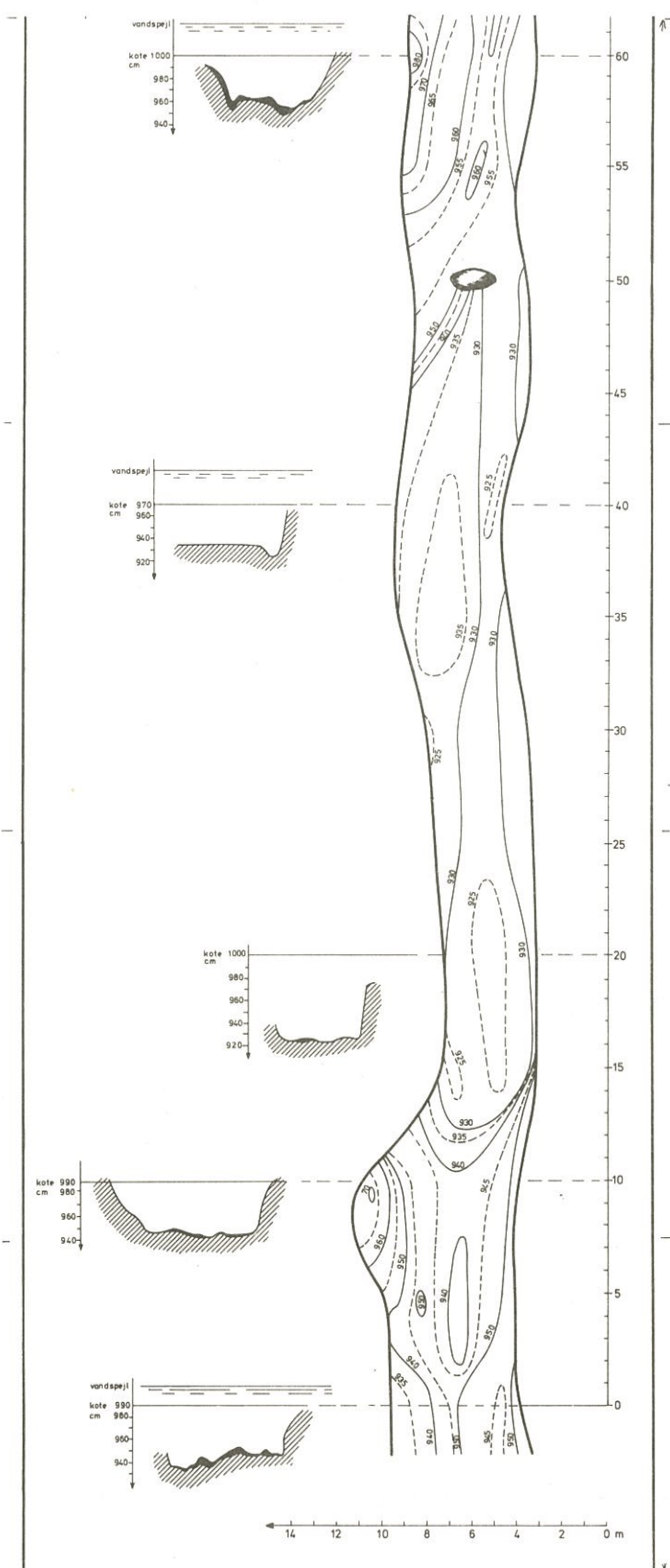
lyseresultater, redoxmålinger og respirationsmålinger foreligger som interne bilag og er ikke medtaget i BILAGSDEL. Af FIGUR 3.3.2. ses, at stoftransporten på MAR 601 om sommeren overstiger stoftransporten på MAR 602, hvilket betyder at der sker en berigelse af sedimentet med organisk stof. I vinter- og forårsmånederne er forholdet det modsatte, idet der fra strækningen sker en udskylning.

Sedimentanalyserne er præsenteret på FIGUR 5.1.1. Det



FIGUR 5.2.1.

Nivellering på undersøgelsesfeltet, MAR 601, 30.3.1974.



FIGUR 5.2.2.

Nivellering på undersøgelsesfeltet, MAR 601, 1.9.1974.

ses tydeligt at sedimentet beriges gennem sommerperioden, medens der om foråret er lave værdier for N, P og glødetab som følge af vinterudskylningen. Dette forhold er i i meget fin overensstemmelse med resultaterne fra transportanalyserne, som vist på FIGUR 3.3.2.. Som nævnt ovenfor indikerer både stoftransportmålinger og sedimentanalyser, at der i sommerperioden sker en sedimentpålejring på strækningen MAR 601 - MAR 602.

5.2. SEDIMENTAKKUMULERING PÅ MAR 601 - MAR 602.

Sedimenttilvækst i perioden marts-september 1974 er målt gennem detaljerede nivelleringer på den 100 m lange undersøgelsesstrækning ved MAR 601. På FIGUR 5.2.1. og FIGUR 5.2.2. er vist nedfotograferede udgaver af nivelleringskortene. Som det fremgår har der været tale om omfattende sedimentakkumuleringer gennem perioden. Det har ikke været muligt at finde en anvendelig procedure til kvantitative beregninger af tilvæksten på grundlag af nivelleringerne.

5.3. SEDIMENTETS ILTFORBRUG.

Sedimentets indhold af organisk stof er eksistensgrundlag for såvel invertebrater som en rig mikroflora og mikrofauna. Den aerobe respiration giver sig umiddelbart udslag i et iltforbrug. Da det organiske stof i sedimentet er næringssubstrat for mikroorganismerne, var det ventet, at sedimentets iltforbrug var korreleret med dets kemiske sammensætning. En oversigt over respirationskonstanter samt de dermed sammenhørende kemiske indices er vist i TABEL 5.3.1. En statistisk analyse (Spearman's Rank Correlation Analysis) kunne ikke påvise en signifikant sammenhæng mellem respirationsstørrelsen og de forskellige indices. Ligeledes kunne EDWARDS and ROLLEY (1965) og samme (1967) ikke påvise nogen sammenhæng. Førstnævnte kunne heller ikke påvise nogen korrelation mellem respirationens størrel-

Station	Tidspunkt	ak(16°C) m/h	C mg/l	N mg/l	CxN	C/N
Mar 601	Maj 1975	0.01376	4.52	0.84	3.80	5.38
		0.07309	11.00	1.22	13.40	9.02
		0.14428	75.85	11.76	892.00	6.45
		0.03851	60.60	9.92	600.60	6.11
		0.04393	6.82	1.27	8.66	4.94
	Juli 1975	0.008	27.31	4.02	109.79	6.79
		0.0041	8.91	2.04	18.18	4.37
		0.00617	4.35	0.96	4.18	4.53
		0.00949	1.08	1.32	1.43	0.82
		0.01082	34.27	5.08	174.09	6.75
	August 1975	0.01159	10.07	0.85	8.56	11.85
		0.01216	55.37	10.27	568.65	5.39
		0.00789	82.08	16.63	364.99	4.94
		0.00711	13.63	3.79	51.66	12.10
	December 1975	0.00382				
		0.00504				
		0.00792				
		0.00628				
		0.00206				
Mar 602	Maj 1975	0.0355	1.79	0.24	0.43	7.46
		0.0255	11.30	0.77	8.72	14.68
		0.01235	2.68	0.27	0.72	10.70
		0.03362	2.46	0.23	0.57	5.00
		0.01991	1.10	0.22	0.24	0.20
	August 1975	0.00342	59.55	4.92	293.16	12.00
		0.008310	69.63	8.52	593.24	8.17
		0.00290				
	December 1975	0.00254				
		0.00262				
		0.00284				
		0.00292				
		0.00230	0.63	0.04	0.025	1.58
Mar 603	Maj 1975	0.00739	4.37	0.30	1.31	14.37
		0.00386	2.41	0.40	0.96	6.03
	August 1975	0.00385	24.57	2.79	68.55	8.81
		0.00949	2.10	1.84	3.86	1.14

TABEL 5.3.1.

Respirationskonstant med sammenhørende kemiske indices på sedimentprøver fra Mattrup å.

se og tykkelsen af sedimentets slamlag. EDWARDS and ROLLEY (1965) påviste at sedimentrespirationen var iltafhængig, hvilket også er konstateret ved nærværende undersøgelse. Det kan umiddelbart forekomme paradoksalt at respirationen ikke skulle afhænge af slamlagets tykkelse. Dette forhold skal i det følgende forklares nærmere.

5.4. MATEMATISK MODEL FOR ILTFORBRUG.

I alle målte tilfælde har respirationsstørrelsen kunnet beskrives ved følgende relation:

$$R = ak \cdot C, \quad (5.1)$$

hvor R = respirationen i $\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{h}$, og C = iltkoncentrationen i ppm. ak har derfor dimensionen m/h .

Relationen (5.1) kan forklare, at respirationen kan være ens for slamlag af forskellig tykkelse og desuden for forskellige sedimenttyper. En sedimenttype kan karakteriseres ved en parameter, som kan kaldes typens specifikke iltforbrug. Denne størrelse har ved en given iltkoncentration dimensionen $\text{g/m}^3/\text{h}$.

Befinder en sedimentoverflade sig i kontakt med en vandmasse med en konstant iltkoncentration, C_0 , kan iltkoncentrationen C i dybden x af sedimentet beregnes af:

$$D \frac{d^2 C}{dx^2} - kC = 0$$

der med den angivne randbetingelse har løsningen:

$$C(x) = C_0 \cdot \exp(-\sqrt{k/D} \cdot x) \quad (5.2)$$

hvor D er diffusionskonstanten (diffusionskoefficienten) for ilt i sedimentet. Har det iltforbrugende sediment (slamlaget) tykkelsen x bliver det totale iltforbrug derfor:

$$R = C_0 \cdot D\sqrt{k/D} \cdot (1 - \exp(-\sqrt{k/D} \cdot x)) \quad (5.3)$$

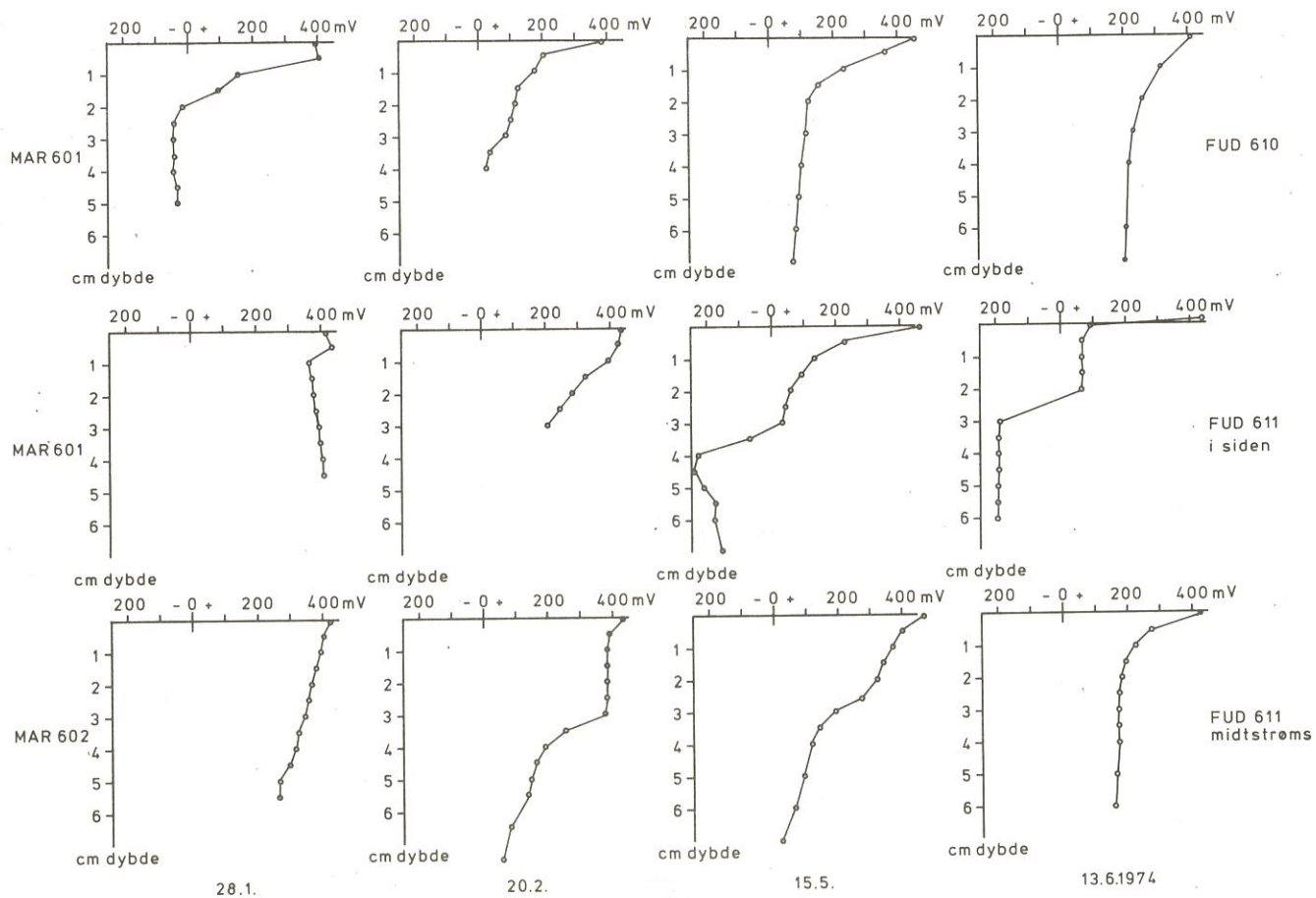
R får dimensionen $\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ og fremkommer ved integration af:

$$C_0 \cdot k \cdot \exp(-\sqrt{k/D} \cdot x)$$

Af (5.3) ses umiddelbart at et tyndt sedimentlag (slamlag) med højt specifikt iltforbrug kan udvise samme respiration, som et tykkere med et mindre specifikt iltforbrug. Endvidere ses, at hvis k er høj vil eksponentialleddets virkning forsvinde hurtigt med voksende tykkelse af slamlaget.

Denne respirationsmodel kan også forklare forløbet af redoxprofiler i homogent sediment. På FIGUR 5.4.1. er vist forløbet af en række redoxprofiler. Der er målt en lang række redoxprofiler, som findes i et internt bilag. Flertallet af kurverne viser et typisk eksponent-

ielt fald i redoxpotentiale (E_h), hvilket er en konsekvens af iltgradientens forløb.



FIGUR 5.4.1.

Redoxprofiler fra Matstrup å og Funder å.

I øjeblikket kan der ikke knyttes mange kommentarer til respirationsstørrelserne, da der ikke foreligger et større publiceret materiale fra danske vandløb. Egne målinger fra Salten å og Vejle å viser dels større og dels mindre værdier end de på TABEL 5.3.1. angivne værdier fra Matstrup å. Det undersøgte sediment fra Vejle å er meget stærkt beriget med organisk stof fra dambrug og viser derfor meget høje respirationsværdier. Sedimentet fra Salten å er præget af rent mineralsand, som følge af en overvældende stor materialetransport, og udviser derfor ringe biologisk aktivitet. OWENS and ROLLEY (1967) anfører en række respirationsværdier og

og de fra Matstrup å opnåede værdier falder i gruppen "below effluents", der omfatter sedimenter neden for mekaniske rensningsanlæg og aktiv-slam anlæg- Selv om sedimentet således udviser en relativ høj respiration er det ikke muligt alene på dette grundlag at foretage kvantitative vurderinger på sedimentrespirationens indflydelse på iltforholdene i vandløbet. Dette vil blive gennemgået i KAPITEL 10.

5.5. SEDIMENTETS REDOXFORHOLD.

På FIGUR 5.4.1. vistest en række redoxkurver målt på sediment fra forskellige årstider fra Matstrup å samt fra 3 stationer i Funder å. For samtlige kurver (med undtagelse af FUD 611) gælder, at de øverste 1-3 cm af sedimentet er aerobt (det vil sige E_h ligger over 100 mV). Dette betyder, at der ikkeforegår forgæringsprocesser (ufuldstændig anaerob nedbrydning af organisk stof). Forgæring med dannelse af sumpgas (methan, brint m.m.), NH_3 og sulfid (S^{--}) kan derimod foregå dybere nede i sedimentet i den varmere årstid, hvor der hersker anaerobe forhold. Her kan der iagttages sortfarvning som følge af sulfidforekomst og desuden stiger koncentrationen af orthofosfat og denitrifikation kan foregå. På kurverne fra Funder å ses et meget typisk forløb. Det naturlige sediment er mineralsand. Oven for dambruget (FUD 610) er sedimentet oxideret i dybden. Neden for dambruget, i siden, hvor organisk materiale fra dambrugets fodertab akkumuleres, er sedimentet faktisk anaerobt lige fra overfladen. Midtstrøms, hvor organisk stof ikke kan akkumuleres er der veloxideret langt ned i sedimentet.

5.6. KONKLUSION.

Resumerende kan siges at sedimentet i løbet af sommeren beriges med organisk stof. Det øverste lag af sedimentet er aerobt, medens der i dybden hersker anaerobe

forhold. Dette betyder at porevandet får meget høje koncentrationer af orthofosfat og NH_3 . Desuden optræder sulfid, der fremkommer ved nedbrydning af proteiner. Sedimentet er ret iltforbrugende, betydeligt højere respirationsværdier end der er gældende for mineral-sand er målt.

Faunaen er stærkt påvirket idet slambunden forårsager en opblomstring af depositfeeders (Oligochaeta og Chironomidae), medens stenfaunaens diversitet reduceres. Salmonidernes reproduktionsmuligheder er væsentligt forringede på grund af tilslamning. Dambruget må altså siges at påvirke sedimentet særdeles kraftigt. Det kan derfor konkluderes at dambruget via sin indvirkning på sedimentet påvirker vandløbets flora og fauna betydeligt.

6. STUDIER AF SIMULIEPOPULATIONEN PÅ MAR 601.

Det har gentagne gange i den offentlige debat om dambrugsforureningen været fremført at dambrug begunstiger kvægmyg (Simulium spp.). Påstanden er især fremhævet af Anker Nielsen, sidst i DANMARKS NATUR, BD.5 samt NIELSEN (1974).

MACIOLEK and TUNZI (1968) og LADLE et al. (1972) har påvist at simulier over en kortere vandløbsstrækning er i stand til at reducere mængden af suspenderet organisk stof.

Ved FORUNDERSØGELSEN 1972 var det et umiddelbart indtryk at simuliebestanden neden for Bregnholm Mølle var langt større end ovenfor. Endvidere kunne det påvises at sommergenerationerne udvikledes hurtigere nedenfor end oven for dambruget. Begge steder er simuliefaunaen artsrig. Simulium nitidifrons og Simulium equinum er de absolut dominerende arter. Når der i det følgende refereres til simulier vil det være en kollektiv betegnelse for disse to arter.

6.1. SIMULIEPOPULATIONENS PRODUKTION OG RESPIRATION.

Formålet med nærværende undersøgelse var at få belyst simuliepopulationens rolle i omsætningen af det suspenderede stof (organisk stof) som transporteres i vandløbet neden for dambruget. Produktion og respiration af simulier bestemtes i 1974, medens det i 1975 viste sig umuligt at opnå anvendelige data til bestemmelse af produktion fordi grøden ved gentagne lejligheder blev slået på undersøgelsesfeltet. Dette forstyrrede populationsstrukturen så meget at en nærmere analyse blev umuliggjort.

Ud fra 1974-dataene bestemtes produktionen af simulier ved numerisk, trapezoid integration i følge den klassiske "Allen-curve method", se f.ex. WINBERG (1971). Princippet i denne metode er at man følger udviklingen af et kuld på antal og middelvægt. I det foreliggende

tilfælde er det et alvorligt komplicerende problem, at der optræder overlap af 4 generationer i løbet af året. Vintergenerationen udskilles nemt, medens de 3 sommergenerationer i højere grad overlapper. Ved hjælp af FORUNDERSØGELSENS instaranalyser kan generationstiden nogenlunde fastlægges. Resultaterne af disse analyser er vist på FIGUR 6.1.1. og FIGUR 6.1.2.. Ud fra disse figurer kan generationstiden fastlægges. Generations-tider samt antal og vægte for de 4 generationer fremgår af TABEL 6.1.1..

Dato	N1 antal/m ²	W1 ug	N2 antal/m ²	W2 ug	N3 antal/m ²	W3 ug	N4 antal/m ²	W4 ug
26.6	60000	202						
9.7	17500	544	7000	42				
19.7.	3300	816	24700	157				
20.8.			6700	381	18300	142		
12.9.					14200	305	4300	42
1.11.							5400	92

1. sommergeneration (N1, W1): 15.5. - 15.7.
2. sommergeneration (N2, W2): 1.7. - 25.8.
3. sommergeneration (N3, W3): 1.8. - 1.10.
- Vintergeneration (N4, W4): ca. 1.10. - 1.5.

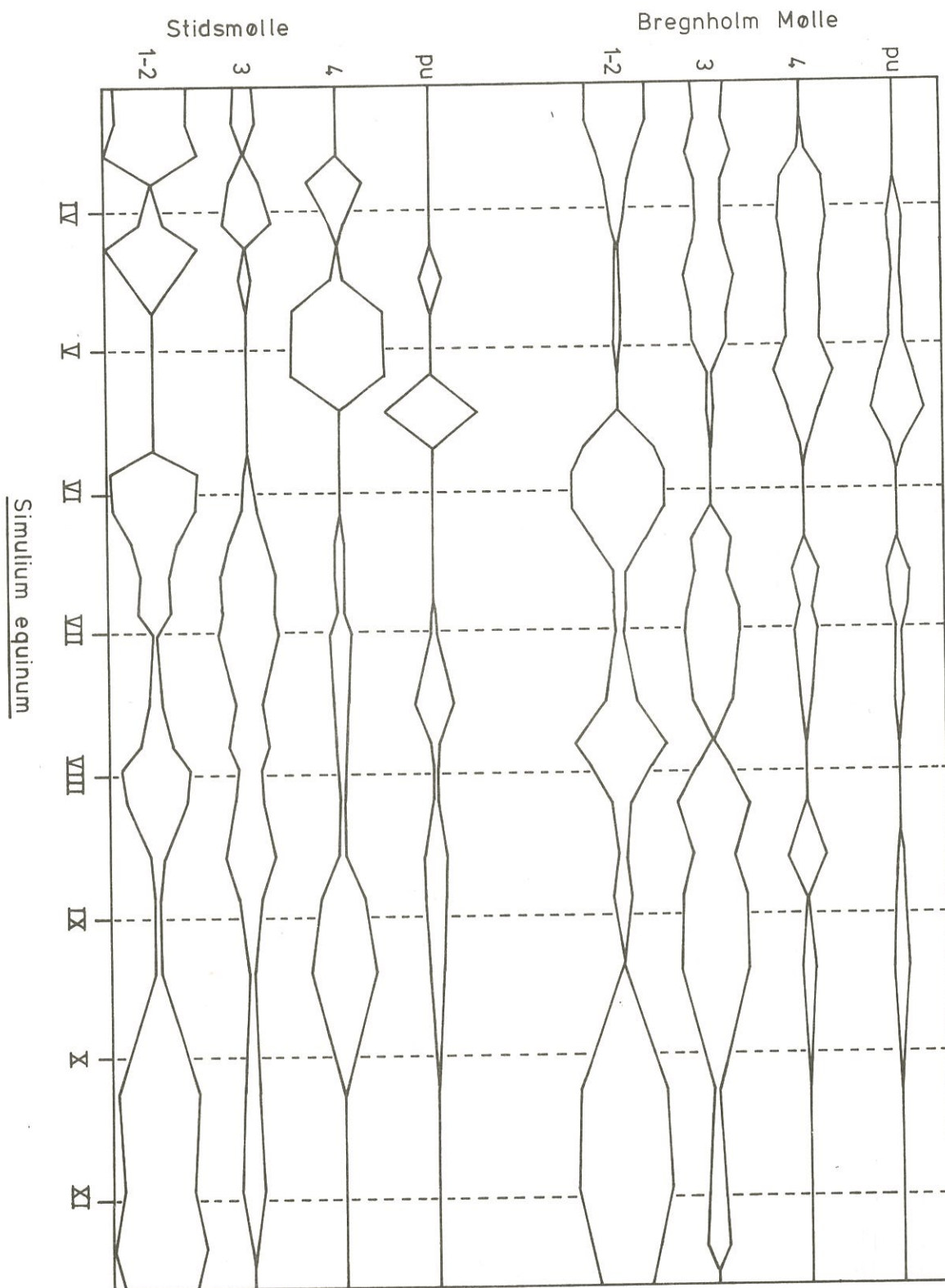
TABEL 6.1.1.

Antal og gennemsnitsvægte for de 4 generationer af Simulium spp. på MAR 601, 1974.

CASSIE (1950) har beskrevet en metode til adskillelse af normalfordelte grupper fra polymodale fordelinger. Ved hjælp af denne metode kan man fastlægge længdefordelingsgrænser mellem de forskellige generationer. Dataene er samlet i TABEL 6.1.1..

Længdefrekvensfordelingen er vist på FIGUR 6.1.3., med 0.5 mm som frekvensklasse. Denne figur viser altså populationssammensætningen den pågældende dag. Længdefrekvensfordelingen kan ved hjælp af længde-vægt rela-

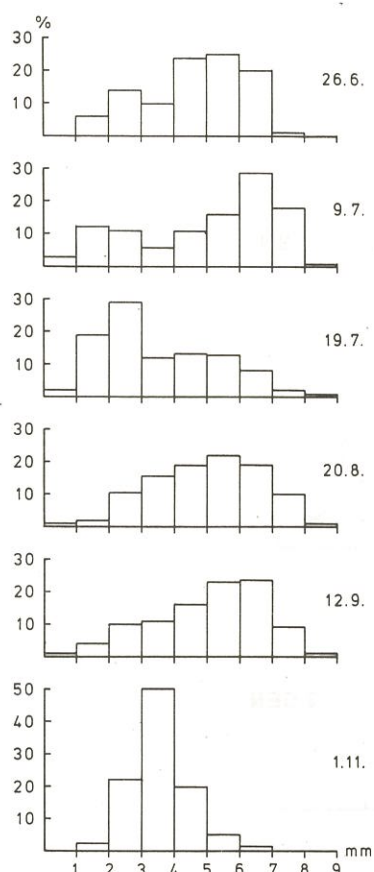
5



FIGUR 6.1.2.

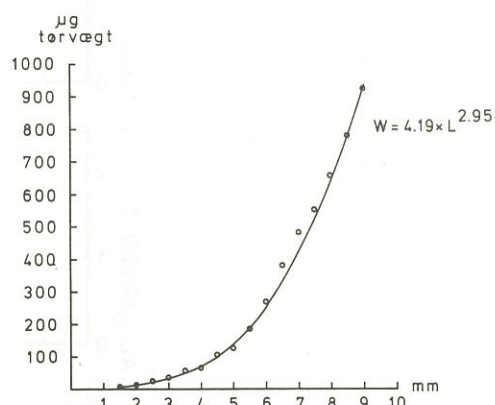
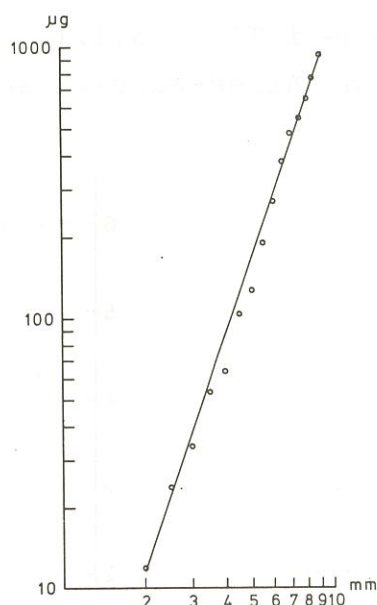
Procentuel fordeling af *Simulium equinum* på 3 størrelsesklasser larver og pupper gennem året.

omregnes til en vægtfrekvensfordeling. Længde-vægt relationen er angivet på FIGUR 6.1.4.. Ved hjælp af vægtfrekvens fordelingen kan middelvægtene inden for de enkelte grupper beregnes.



FIGUR 6.1.3.

Længdefrekvensfordelingen for Simulium spp.



FIGUR 6.1.4.

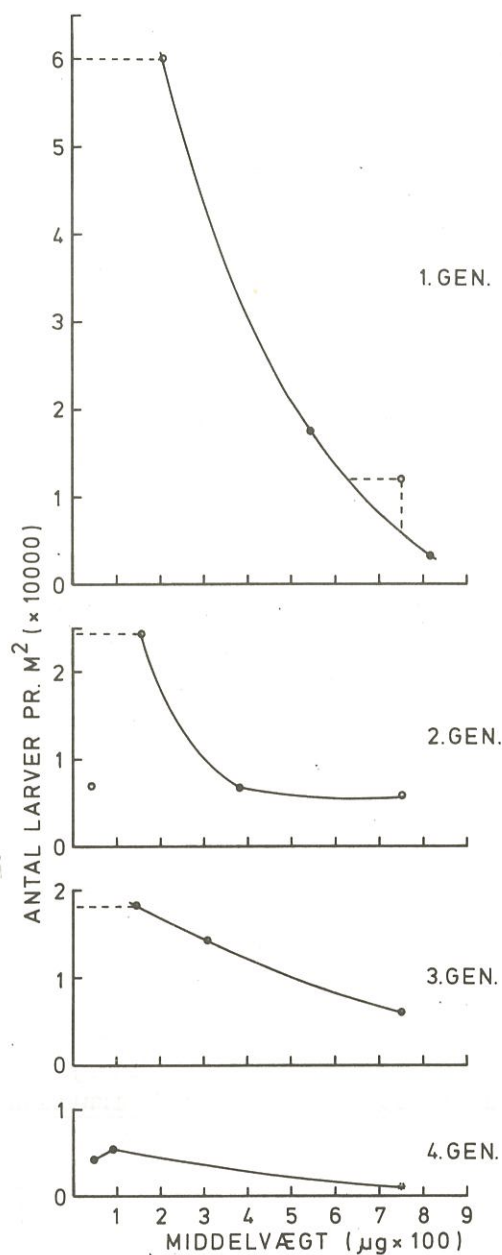
Længde-vægt relation for Simulium spp... Øverst log-log, nederst lineært.

Af FIGUR 6.1.3. fremgår:

1. 26.6. optræder alene 1. sommergeneration.
2. 9.7. optræder 1. og 2. sommergeneration, hvilket fremgår af den tydelige bimodale fordeling.

3. 19.7. optræder alene 2. sommergeneration.
4. 20.8. og 12.9. optræder 3. sommergeneration.
20.8. iblandet 2. sommergeneration og 12.9.
iblandet vintergenerationen.
5. 1.11. er alene vintergenerationen repræsenteret.

Dataene i TABEL 6.1.1. har dannet grundlag for optegning af Allen-kurver, som er vist på FIGUR 6.1.5.



FIGUR 6.1.5.

Allen-kurver for 4 generationer af Simulium spp.

Yderligere har dataene dannet grundlag for beregning af produktion af de forskellige generationer. Disse produktionsberegninger er anført i TABEL 6.1.3..

Respirationen for Simulium spp. blev målt i et strøm-akvarium ved 4.5°C på 3 forskellige vægtgrupper. Resultaterne af disse målinger fremgår af TABEL 6.1.2.

Middelvægt $\pm$ S.D.(W) mg	Iltforbrug (Q) ug O ₂ /mg h
0.123 $\pm$ 0.064	1.19
0.387 $\pm$ 0.136	0.98
1.079 $\pm$ 0.289	0.73

$$Q = 0.78 W^{-0.206} \quad (r = 0.9940)$$

TABEL 6.1.2.

Respirationsdata for Simulium spp.

Genera- tion (længde) dage	Produk- tion g/m ²	Respira- tion g O ₂ /m ²	Produk- tion kcal/m ²	Respira- tion kcal/m ²
1. (54)	28.24	29.97	176.46	101.91
2. (53)	8.63	13.33	51.75	45.31
3. (43)	9.74	10.26	58.45	34.87
4. (210)	2.69	6.57	16.13	22.35

TABEL 6.1.3.

Produktion og respiration for de 4 generationer (1., 2., 3. og vintergeneration) af Simulium spp.

De indbyrdes relationer mellem produktion og respiration er rimelige. Dog angiver respirationen et minimumsestimat, da det vides at fødeoptagelse og omsætning af føde øger respirationen, som er målt på fastende individer.

6.2. SIMULIEPOPULATIONENS OMSÆTNING AF ORGANISK STOF PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.

Med de opnåede estimater for produktion og respiration skal simuliernes rolle som filtratorer og som omsættere af organisk stof undersøges.

I KAPITEL 3, om stoftransport påvistes en tilbageholdelse af betydelige mængder organisk stof på strækningen MAR 601 - MAR 602 i sommermånederne. Der skal nu foretages beregninger af, hvor stor en del af denne tilbageholdelse simuliepopulationen kan redegøre for. TABEL 6.2.1. angiver transportdifferens mellem MAR 601 og MAR 602 i kg organisk stof pr. døgn. Transportdifferensen er den mængde organisk stof, som tilbageholdes over strækningen.

Maj	40 kg org. stof/dag
Juni	70 kg org. stof/dag
Juli	60 kg org. stof/dag
August	60 kg org. stof/dag
September	60 kg org. stof/dag
Oktober	60 kg org. stof/dag

TABEL 6.2.1.

Transportdifferens mellem MAR 601
og MAR 602.

Simulier er passive filtratorer, som har en meget lav assimilationseffektivitet. Denne ligger mellem 5 og 15%, hvorfor der i nedenstående beregninger er regnet med en assimilationseffektivitet på 10%, i mangel af egne målinger. Således bliver konsumtionen (fødeindtagelsen) 10 gange assimilationen og egestionen 0.9 gange konsumtionen.

Under antagelse af en assimilationseffektivitet på 10% må 90% af konsumtionen udskilles igen som fækalier. Disse er forholdsvis store partikler, som er indesluttet i en peritrof membran. Da disse fækaliepartikler

er mange gange større end fødepartiklerne, vil de sedimentere hurtigere og ved større strømhastigheder end disse. Dette er iagttaget i 'strømakvarium, hvor fækalierne sedimenterede. Under antagelse af sedimentation af samtlige producerede fækaliepilller inden for den betragtede strækning, vil dette betyde en berigelse af sedimentet. For 1. sommergeneration fås:

$$(9.1 \cdot 0.9 \cdot 5 \cdot 60)/10000 = 2.5 \text{ mm}$$

Hvis samtlige fækalier udskilt af 1. sommergeneration sedimenteres, vil en sedimenttilvækst på 2.5 mm være resultatet.

Af TABEL 6.2.2. fremgår energibudget for simuliepopulationen på MAR 601 - MAR 602 samt den beregnede sedimenttilvækst under forudsætning af sedimentation af alle fækalier.

Generation	Assimilation	Consumption		Egestion		Mar 601-602		Sediment- tilvækst
	g org. stof/m ² dag	-	-	-	-	Ass. Cons.	kg/dag -	
1. sommer	0.91	9.1		8.19		3.2 32.0		2.5
2. sommer	0.35	3.5		3.15		1.2 12.0		1.2
3. sommer	0.31	3.1		2.79		1.1 11.0		1.1
vinter	0.04	0.4		0.36		0.14 1.4		0.14

TABEL 6.2.2.

Energibudget for simuliepopulationen, MAR 601-MAR602. 1974.

I beregningerne er kalkuleret med 20% tørstof i fækalierne, som produceres over 60 dage. Sedimentationen på grund af fækalier fra simulier andrager altså ca. 8 g organisk stof/m²/dag. Bidraget fra de øvrige generationer er udregnet på analog vis. De energetiske beregninger over simuliepopulationen, som angivet i TABEL 6.2.2. viser at 1. sommergeneration energetisk spiller den største rolle af de 4 generationer. I tabellen er angivet assimilation og konsumtion over hele strækningen MAR 601 - MAR 602 på m²-basis. For 1. som-

mergeneration ses konsumtionen at andrage 32.0 kg organisk stof pr. dag (døgn) for hele strækningen. Af TABEL 6.2.1. fremgår hvilke mængder, der tilbageholdes på samme strækning, udregnet som differensen mellem transporter af organisk stof på MAR 601 og MAR 602. Denne drejer sig om ca. 60 kg organisk stof pr. døgn. Således vil populationen af Simulium spp. på den ca. 3750 m² store vandløbsstrækning konsumere ca. 50% af den mængde organisk stof, som forsvinder over strækningen. Omkring 1.7. andrager populationen af simulier omkring 110.000.000 individer med en samlet biomasse på ca. 33000 g tørstof. For 2. og 3. konsumeres ca. 20% af den på strækningen tilbageholdte mængde organisk stof.

6.3. KONKLUSION.

Konklusionen på simulieundersøgelsen må blive, at simuliepopulationen kan redegøre for 20-50% af den mængde organisk stof, som forsvinder fra vandfasen under vandets passage fra MAR 601 til MAR 602. Fjernelsen fra vandfasen er ikke udtryk for en metabolisk omsætning af det organiske stof, idet ca. 90% af simuliernes konsumtion udskilles igen som fækalier. LADLE (1972) har udført en lignende undersøgelse i det sydlige England, hvor han målte produktionsstørrelser på ca. 6g/m²/år, hvilket er betydeligt lavere end de i denne undersøgelse fundne produktionsstørrelser, som ligger på ca. det tidobbelte, nemlig 50 g/m²/år. Da Bregnholm Mølle dambrug forårsager ca. en fordobling af åens transport af suspenderet organisk stof, målt som COD, og dette bidrag ydermere består af letomsættelige proteinrige organiske forbindelser i form af fiskerester m.m., tyder det på at forklaringen på den meget høje produktion af Simulium spp. netop må være tabet af organisk stof fra dambruget.

7. FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER.

De fiskeribiologiske undersøgelser er udført i samarbejde med Gorm Rasmussen, Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser. Disse undersøgelser er rapporteret i en selvstændig rapport, udarbejdet af Gorm Rasmussen, hvor der er lagt særlig vægt på metoder og beregningsprocedurer til bestemmelse af biomasse, produktion og konsumtion af ørred og regnbueørred på strækningen MAR 601 - MAR 602. Her skal derfor blot resumeres de vigtigste resultater, som har interesse i en økologisk sammenhæng.

7.1. BIOMASSE, PRODUKTION OG KONSUMTION AF ØRRED OG REGNBUEØRRED PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.

Der er efterhånden foretaget en del produktionsbestemmelser for salmonider i vandløb, jvfr. LE CREN (1969). Her i landet foreligger der nylige bestemmelser af ørredproduktion fra Nordfyn, MORTENSEN (1974), og fra Villestrup å, MARKMANN (1975). I begge tilfælde lå produktionen på 13-15 g/m²/år. Der er tale om vådvægt. Bortset fra produktionsbestemmelser i Horokiwi River, ALLEN (1951), hvor der beregnedes en total ørredproduktion på 50 g/m²/år, synes størrelsen af naturlige, mindre vandløbs produktionspotentiel at have et maksimum på omkring 12 g/m²/år, LE CREN (1969). Produktionsstørrelsen for ørred alene ved Bregnholm Mølle og Tirs vad bro ligger nær dette postulerede produktionsmaksimum. Hertil kommer et produktionsbidrag fra regnbueørred ved Bregnholm Mølle, således at den samlede salmonidproduktion her når op på 42.3 g/m²/år. Med en gennemsnitlig salmonidbiomasse i samme periode (1974-1975) på 39.4 g/m² bliver salmonidbiomassens turn-over rate 1.1. For Horokiwi River fås med en biomasse på 26.8 g/m² og en korrigeret produktion, se LE CREN (1969), på 38.0 g/m²/år en turn-over rate på 1.4. Der foreligger kun få beregninger over fiskepopulatio-

ners bioenergetik. ALLEN (1951) og HORTON (1961) benyttede Pentelow's data fra 1939, se PENTELow (1939) til at bestemme parametre til primitive modeller til beregning af fødekonsumention for ørredpopulationer. I nærværende undersøgelse er i stedet benyttet en af URSIN (1967) opstillet vækstmodel. Den økologiske effektivitet, der i de fleste tilfælde kan sættes lig produktion:konsumention (produktion/konsumention), postulerer MANN (1965) at variere mellem 0.05 og 0.15 i akvatiske miljøer. For de ovenfor nævnte undersøgelser fås:

	PRODUKTION	KONSUMENTION	ØKOLOGISK EFFEKTIVITET
	g/m ² /år	g/m ² /år	
HORTON (1961)	13.1	31.1	0.43
MANN (1965)	42.6	704.5	0.06
Bregnholm Mølle	42.3	226.0	0.19
Tirsvad bro	7.6	60.0	0.13

Da man i de fleste dambrug med en vådfoderkonvertering på omkring 5 (foderforbrug/tilvækst) får en "økologisk effektivitet" på 0.25 er den stærkt begunstigede fødetilgang for salmonidbestanden neden for dambruget ved Bregnholm Mølle tydelig. Den økologiske effektivitet fra Hortons undersøgelse er usædvanlig stor, men skal sandsynligvis forklares ved en underestimering af fødekonsumentionen. Den økologiske effektivitet ved Tirsvad bro ligger inden for det af Mann postulerede og karakteriserer sandsynligvis relativt upåvirkede vandløb. Da energiberegningerne for regnbueørredbestanden ved Bregnholm Mølle (MAR 601) er den mest sikre, er beregninger til bestemmelse af fødekonsumention foretaget for denne bestand med benyttelse af de målte størrelser for produktion, gennemsnitsstørrelser af fisk til forskellige tidspunkter og temperatur. De beregnede størrelser er følgende:

	WINBERG's vækstmodel	URSIN's vækstmodel
Totalkonsumtion g/m ² /år	158.3	169.5

Der er en utrolig overensstemmelse mellem de to beregningsmetoder, og før end flere resultater foreligger må det anbefales at anvende Ursin's vækstmodel, som er funderet på et fysiologisk grundlag. Det er konstateret, at produktionen af ørred ved Bregnholm Mølle, trods forbedrede fødebetingelser, ikke er væsentlig forskellig fra ørredproduktionen ved Tirsvad bro, der må betragtes som den, der ville have eksisteret ved Bregnholm Mølle før dambrugets oprettelse. Hvis vi antager, at de beregnede produktion/biomasse-tal for henholdsvis ørred og regnbueørred til de forskellige tidspunkter ved dambruget er generelt gældende for de stærkt varierende bestande længere nede ad åen, jvfr. FIGUR 7.3.1., er det muligt at give tal for, hvorledes produktionen på strækningen fra den øverste mølleopstemning (ved MAR 600) og ned til Lillebro vil fordele sig på henholdsvis ørred og regnbueørred. Strækningen har en total længde på i alt 1700 m. I nedenstående tabel er angivet årsproduktion for de enkelte strækninger:

	ØRRED		REGNBUEØRRED	
	total g	g/m ²	total g	g/m ²
Langs dambruget	15030	12.0	51666	41.3
Mellemstrækning	13068	13.1	33159	33.2
Nedre strækning	15426	2.6	13562	2.3
Total	43524		98387	

Langs dambruget er en strækning på 250 m, mellemstrækningen er på 200 m og nedre strækning er på 1300 m. Total for samme strækning med ørredproduktionsstørrelser som ved Tirsvad bro fås 99750 g. Der er således på grund af dambruget sket en forøgelse af den samlede produktion af salmonider på ca. 40%. Men ørredpro-

duktionen er halveret, væsentligst på grund af de forringede iltforhold ca. 500 m neden for Bregnholm Mølle og ned til Lillebro. Den manglende eller forringede rekruttering, se afsnit 7.2., spiller også en rolle.

7.2. GYDEPLADSUNDERSØGELSER.

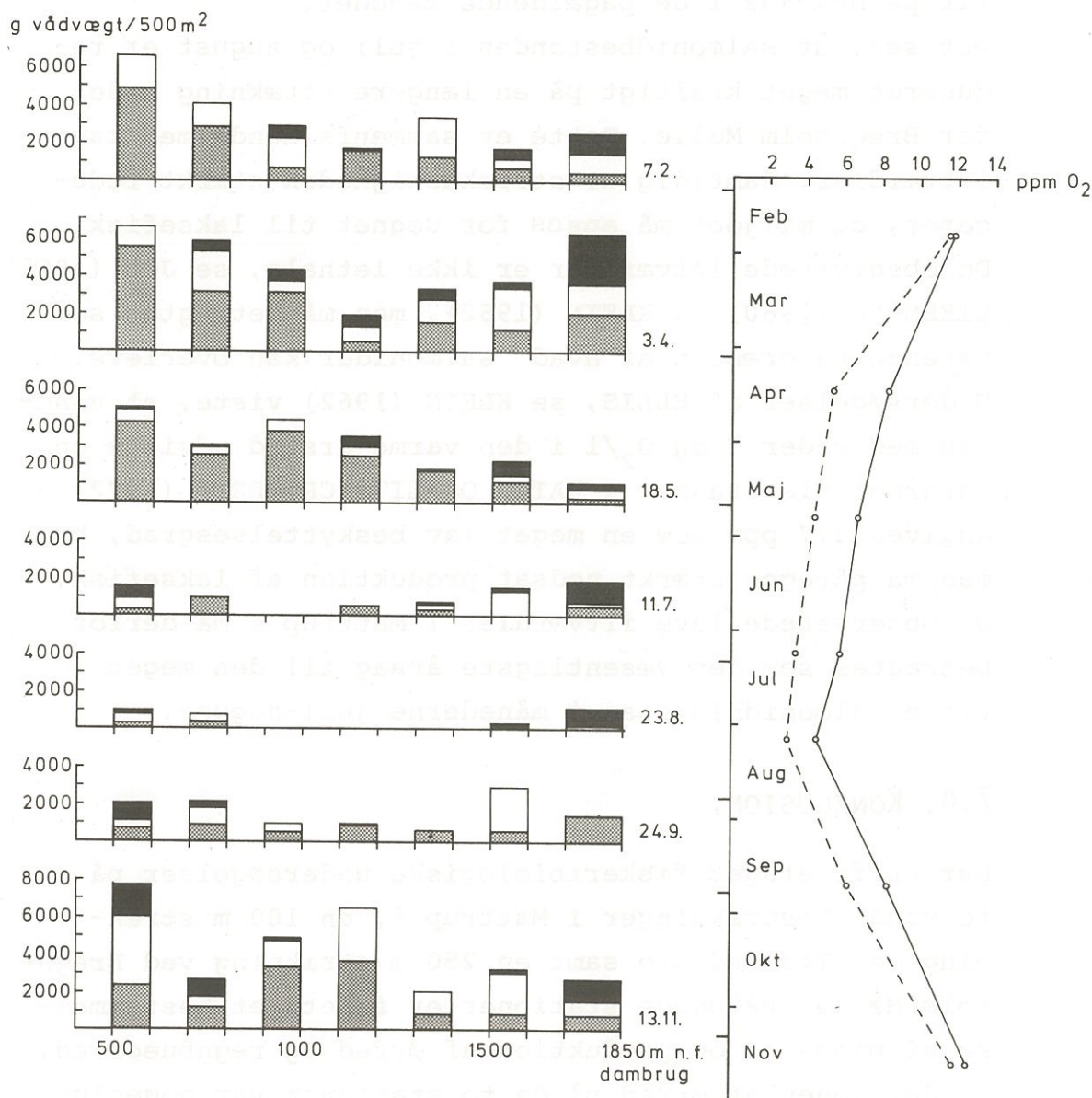
I oktober 1974 iagttoges legemodne ørreder på legepladser ved Bregnholm Mølle, på selve undersøgelsesfeltet ved MAR 601. I november iagttoges legen på 3 forskellige legepladser på samme sektion. 1 uge efter legens ophør blev prøver udtaget på legebankerne med et cylinderrør (14 cm). Der blev udtaget én prøve i hver legebanke, og i alle konstateredes levende æg. I det tidlige forår 1975 blev de samme legepladser undersøgt igen for at konstatere, hvorvidt æggene havde overlevet. I løbet af vinteren var der konstateret en vis tilslamning af legebankerne. I foråret var det ikke muligt at konstatere æg med cylinderrøret. Derfor opgravedes alle 3 gydebanks under anvendelse af SURBER-sampler. Der fandtes blot et dødt æg, resten må være rådnet op. Som kontrol blev 5 gydebanks ved Tirsvad undersøgt ved udtagelse af prøver med cylinderrøret. Derved fandtes i gennemsnit 30 levende embryoner (æg) i hver prøve.

Først efter september 1975 indgik 1975-årgangen af ørreder i elektrofangsterne ved Bregnholm Mølle. Da der ikke er lokaliseret gydepladser længere oppe under møllen, og der ikke er passage oppefra og ned forbi møllen må disse fisk stamme fra andre steder i Gudenåsystemet.

7.3. FISKEBESTANDEN I MATTRUP Å NEDEN FOR BREGNHOLM.

I 1974 besluttedes det at undersøge variationen af fiskebestanden over en strækning fra MAR 601 til MAR 603 til forskellige tidspunkter af året 1975.

Åen er på visse strækninger meget dyb, hvorfor normalt elektrofiskeri ikke kan foretages. Strækningen blev derfor elektrofisket fra båd. På denne måde var det muligt at befiske de enkelte delstrækninger (100 m) fra 2 til 3 gange igennem umiddelbart efter hinanden, af hensyn til en så vidt muligt mest effektiv befiskning.



FIGUR 7.3.1.

Salmonidbiomasser og iltforhold på MAR 601 - MAR 602.

Venstre figur: Salmo trutta (ørred) med raster.
Salmo gairdneri (regnbueørred) hvid.
Thymallus thymallus (stalling) sort.

Højre figur: Minimums- og maximumsværdier for ilt på MAR 602 gennem 1975.

Åstrækningen blev delt op i 100 m sektioner, med en mellemliggende strækning, som ikke blev befisket.

På FIGUR 7.3.1. er vist biomassen af stalling (sort), ørred (raster) og regnbueørred (hvid) på de enkelte befiskningsstrækninger fra Bregnholm Mølle til Lillebro. Desuden er vist maximal- og minimalværdierne for ilt på MAR 602 i de pågældende måneder.

Det ses, at salmonidbestanden i juli og august er reduceret meget kraftigt på en længere strækning neden for Bregnholm Mølle. Dette er sammenfaldende med lave iltværdier. Samtidig er strømhastigheden stærkt reduceret, og miljøet må anses for uegnet til laksefisk. De observerede iltværdier er ikke lethale, se JOB (1955), LIEBMANN (1960) og KLEIN (1962), men må betragtes som værende på grænsen af hvad salmonider kan overleve. Undersøgelser af ELLIS, se KLEIN (1962) viste, at vandløb med under 5 mg O_2 /l i den varme årstid udviste en forarmet fiskefauna. I WATER QUALITY CRITERIA (1972) angives 4.7 ppm som en meget lav beskyttelsesgrad, hvor man må påregne stærkt nedsat produktion af laksefisk. De observerede lave iltværdier i Matstrup å må derfor betragtes som den væsentligste årsag til den meget ringe salmonidbiomasse i månederne juli-august.

7.4. KONKLUSION.

Der er foretaget fiskeribiologiske undersøgelser på to vandløbsstrækninger i Matstrup å, en 100 m strækning ved Tirsvad bro samt en 250 m strækning ved Bregnholm Mølle. På begge stationer er foretaget bestemmelse af biomasse og produktion af ørred og regnbueørred. Produktionen af ørred på de to stationer var nogenlunde ens (henholdsvis 7.6 g og 9.3 g vådvægt/ m^2 /år). Regnbueørred forekom ikke ved Tirsvad bro, men var meget talrig ved Bregnholm Mølle, hvor produktionen bestemtes til 33 g vådvægt/ m^2 /år. Ved Bregnholm Mølle er produktionen ca. 6 gange større end ved Tirsvad bro, når man betragter ørred og regnbueørred under ét. Yngeltillæget er tilsyneladende udmærket ved Tirsvad bro.

Den fundne produktion på denne lokalitet må derfor antages at være identisk med lokalitetens produktionskapacitet. Den større samlede produktion ved Bregnholm Mølle må tilskrives bedre ernæringsbetingelser (større fødeudbud). At produktionen af ørred ikke er større, end ved Tirsvad bro kan der ikke gives nogen forklaring på, men der er ikke fundet yngeltillæg ved Bregnholm Mølle, og bestanden er derfor afhængig af tilvandring af fisk fra Gudenåen. Den totale mængde undslupne regnbueørreder på MAR 601 er således gennem deres vækst skyld i produktionsforøgelsen på stationen. Bestanden af regnbueørreder er ikke selvreproducerende, men holdes vedlige gennem udslip af fisk fra dambruget. Ved månedlige befiskninger på strækningen MAR 601 - MAR 602 gennem 1975, er det påvist, at ørredbestanden er overordentlig ringe i sommermånederne. Denne bestandsnedgang er sammenfaldende med tilgroning med grøde og forekomst af lave iltkoncentrationer. Dette betyder, at salmonidbestanden umiddelbart neden for Bregnholm Mølle om sommeren er indespærret mellem dambruget og den miljømæssigt dårlige strækning længere nede ad åen. Ved vækstenergetiske beregninger er det vist, at fødeoptagelsen er ca. 25% af den maksimalt mulige, hvorfor det må antages at bestandstætheden ved Bregnholm Mølle overstiger strækningens kapacitet. Reproduktionsmulighederne for ørred ved Tirsvad bro og Bregnholm Mølle - hvor der begge steder findes velegnede gydebanker - er undersøgt. Der er herigennem konstateret at der sker et fint yngeltillæg ved Tirsvad bro, medens gydepladser ved Bregnholm Mølle tilslammer. således at æggene dør, hvorfor der heller ikke konstateres yngel ved befiskningerne.

8. MAKROFYTTERS ROLLE I VANDLØBSØKOSYSTEMET.

Med makrofytter menes her den iagttagelige submerse vegetation. I det følgende skal forholdene på MAR 601 og MAR 602 omtales. På begge stationer findes en varieret flora. Floraliste fremgår af TABEL 12.1.1.. Mængden af makrofytter spiller en betydelig rolle i vandløbsøkosystemet, bl.a. influeres iltforhold, vandføring og transportevne for organisk stof. Endvidere betyder makrofytterne en væsentlig forøgelse af substratoverfladen, hvilket har omfattende fysiske og biologiske konsekvenser. Da makrofytterne således har en meget markant indflydelse, har vi fulgt deres vækstmønster gennem vækstsæsonerne 1974 og 1975.

8.1. MAKROFYTTERNES BIOMASSE OG PRODUKTION.

Vækstsæsonens start er defineret som det tidspunkt til hvilket fremkomsten af grønne bladspirer har kunnet iagttages. Både i 1974 og 1975 faldt dette tidspunkt i dagene omkring 1.5., hvorfor denne dato er valgt som starttidspunkt. Biomassen er fulgt ved manuel høstning på de i TABEL 8.1.1. angivne tidspunkter. Ved biomassebestemmelserne er kun medregnet den del af planterne, som befinder sig i vandmassen. Da submerse planter (spec. Sparganium og Potamogeton) rodsystem kun udgør en ringe del af plantens samlede biomasse, har vi ikke fundet det påkrævet at medtage rodsystemet i biomassebestemmelserne. Yderligere ville en rodhøstning også forårsage betydelige og uheldige ændringer af sedimentet. Ved hver biomasseopgørelse er høstet 5-7 parceller af 0.5 m's længde i hele vandløbets bredde, som varierer mellem 3.5 m og 5.5 m, således at der ved hver høstning er opgjort biomasse på ca. 10 m².

På grundlag af høstningerne er vækstmønstret beskrevet. I begge vækstsæsoner har en logistisk vækstmodel kunnet give en god beskrivelse af vækstforløbet.

Beregningsproceduren for en logistisk model for vækst kan udføres som følger:

$$P = dW/dt = aW((W_{\max} - W)/W_{\max}) \quad (8.1)$$

hvor biomassen udtrykkes som W , $W_{\max}$ = maximale biomasse, t = tiden i dage og a = vækstratekonstant med dimensionen dag^{-1} .

Det ses således:

$$dW/dt/W = a - (a/W_{\max})W \quad (8.2)$$

altså at den specifikke vækstrate er en lineært aftagende funktion af biomassen.

Vækstmodellen kan verbalt udtrykkes:

I starten af vækstsæsonen foregår væksten eksponentielt. Snart begynder en skyggevirksomhed (hæmning af fotosyntesen) at gøre sig gældende og væksten aftager for til sidst, september til oktober, at ophøre.

Den maximale biomasse er nu nået, og produktionen kan blot opveje planternes respiration. Desuden begynder aftagende daglængde at gøre sig gældende, således at respirationen overstiger produktionen. Det skal her lige nævnes at produktionen skyldes planternes fotosyntese og derfor kun foregår i dagtimerne, medens respirationen foregår hele døgnet rundt. At respirationen overstiger produktionen betyder at planterne henfalder langsomt i løbet af efteråret, så kun en forsvindende del af sommerens biomasse kan iagttages om vinteren. I TABEL 8.1.1. er angivet de forskellige vækstparametre, biomasser og vækstligninger.

På FIGUR 8.1.1. er vist biomassen til tiden t samt produktionen til tiden t . Tiden t er antallet af vækstdage. Som det fremgår var produktionen større i 1975 end i 1974. Ligeledes var vækstraten højere i 1975 end i 1974. Dette manifesterer sig i højere biomasse.

Den store forskel i produktion og biomasse fra 1974 til 1975 kan ikke forklares tilfredsstillende, da kendskab til de faktorer, som styrer plantevæksten, er for

Dato	Vækstdage	Biomasse	Gennems. biomasse	Vækst	Vækst
		g/m ²	g/m ²	g/m ² dag	g/g dag
1. 5.1975	0	0	16.0	0.91	0.0569
4. 6.1975	34	32.0	68.0	2.76	0.0406
1. 7.1975	61	104.0	141.7	2.69	0.01898
28. 7.1975	89	179.4	129.2	-2.71	
4. 9.1975	126	79.0			

$$W_{\max} = 205 \text{ g/m}^2$$

$$r = -0.99980$$

$$a = 0.06144 \quad 0$$

$$W = 205 / (1 + \exp(3.70 - 0.06144 t))$$

$$b = 3.70 \text{ (integrationskonstant)}$$

1. 5.1974	0	0	20.3	0.71	0.03508
26. 6.1974	57	40.6	53.6	2.00	0.0373
1. 7.1974	70	66.6	68.1	0.30	0.0044
10. 7.1974	80	69.6	88.3	1.17	0.01325
20. 8.1974	112	107.0	110.5	0.30	0.00271
12. 9.1974	135	114.0		-1.57	
1.11.1974	184	37.0			

$$W_{\max} = 116 \text{ g/m}^2$$

$$r = 0.80798$$

$$a = 0.04523$$

$$W = 116 / (1 + \exp(2.71 - 0.04523 t))$$

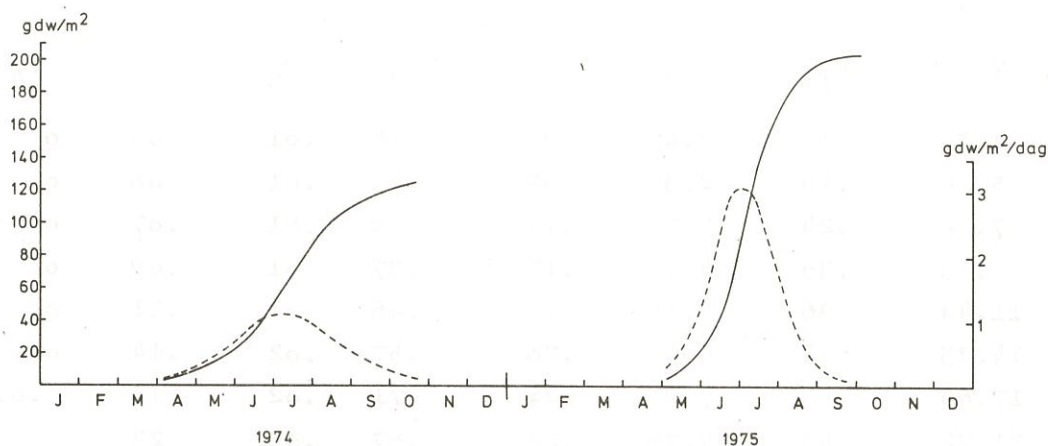
$$b = 2.71 \text{ (integrationskonstant)}$$

TABEL 8.1.1.

Vækstparametre, biomasser og vækstligninger for grødevæksten på undersøgelsesfeltet MAR 601 for 1974 og 1975.

dårligt kendte. Dette er diskuteret af WESTLAKE (1971), LADLE and CASEY (1971), WESTLAKE et al. (1972), WESTLAKE (1973) samt CASEY and WESTLAKE (1974).

LARSEN (1973) og (1975) angiver nogle tal for relationen mellem planternes nettoproduktion og fosforindholdet i vandet. Ved et fosforindhold iagttag han pro-



FIGUR 8.1.1.

Biomasse og produktion beregnet efter vækstligningerne, som angivet i TABEL 8.1.1.

duktionsstørrelser mellem 100 og 300 g tørstof/m²/år. Dette er i god overensstemmelse med resultaterne fra Matstrup å (MAR 601), som ligger mellem 100 og 200 g tørstof/m²/år. Ovennævnte relation giver dog ikke mulighed for at vurdere på om produktionen bliver 100 eller 200 g tørstof/m²/år.

På undersøgelsesfeltet, MAR 601, er produktionen ikke specielt høj. LARSEN (1973) og (1975) angiver værdier for produktionsstørrelser mellem 9 og 605 g tørstof/m²/år. I engelske vandløb (chalk streams) angives størrelsen af produktionen mellem 150 og 520 g tørstof/m²/år af DAWSON (1973), WESTLAKE et al. (1972) og EDWARDS and OWENS (1960).

8.2. MAKROFYTTES INDFLYDELSE PÅ NÆRINGSSTOFBALANCE FOR FOSFOR OG KVÆLSTOF PÅ MAR 601 - MAR 602.

I Matstrup å og mange andre vandløb kan iagttages det fænomen, at transporten af plantenæringsstoffer i åen er langt større end den mængde, som akkumuleres i makrofytterne. Som en illustration af dette kan anføres følgende beregning, der er foretaget for juli 1975, hvor produktionen er maximal, samtidig med at transporten af næringsstoffer er minimal, hvorfor en even-

Stofakkumulation i makrofyter 1974.

Dag nr.	W_1	P_1	W_2	P_2	W_3	P_3	W_4	P_4
95	4.55	.15	2.05	.07	.18	.01	.05	o
102	5.76	.19	2.59	.09	.23	.01	.06	o
109	7.26	.24	3.24	.11	.29	.01	.07	o
116	9.13	.30	4.11	.13	.37	.01	.09	o
123	11.44	.36	5.15	.16	.46	.01	.11	o
130	14.25	.44	6.41	.20	.57	.02	.14	o
137	17.66	.53	7.95	.24	.71	.02	.18	.01
144	21.72	.63	9.78	.28	.87	.03	.22	.01
151	26.50	.73	11.92	.33	1.06	.03	.26	.01
158	32.01	.84	14.40	.38	1.28	.03	.32	.01
165	38.23	.94	17.20	.42	1.53	.04	.38	.01
172	45.09	1.02	20.29	.46	1.80	.04	.45	.01
179	52.47	1.08	23.61	.49	2.10	.04	.52	.01
186	60.17	1.11	27.08	.50	2.41	.04	.60	.01
193	67.99	1.11	30.60	.50	2.72	.04	.68	.01
200	75.69	1.08	34.06	.49	3.03	.04	.76	.01
207	83.06	1.02	37.38	.46	3.32	.04	.83	.01
214	89.91	.94	40.46	.42	3.60	.04	.90	.01
221	96.12	.84	43.25	.38	3.84	.03	.96	.01
228	101.61	.73	45.72	.33	4.06	.03	1.02	.01
235	106.37	.63	47.87	.28	4.25	.03	1.06	.01
242	110.42	.53	49.69	.24	4.42	.02	1.10	.01
249	113.81	.44	51.22	.20	4.55	.02	1.14	o
256	116.62	.36	52.48	.16	4.66	.01	1.17	o
263	118.91	.30	53.51	.13	4.76	.01	1.19	o
270	120.77	.24	54.35	.11	4.83	.01	1.21	o
277	122.27	.19	55.02	.09	4.89	.01	1.22	o
284	123.47	.15	55.56	.07	4.94	.01	1.23	o
291	124.43	.12	55.99	.05	4.98	o	1.24	o

Enhed: W : g/m², P : g/m² dag

W_1 = tørstof, P_1 = produktion, W_2 og P_2 : kulstof, W_3 og P_3 : kvælstof

W_4 og P_4 : fosfor

FIGUR 8.2.1.

Stofakkumulation i makrofyter på MAR 601 - MAR 602.
1974.

Stofakkumulation i makrofyttter

1975.

Dag nr.	W ₁	P ₁	W ₂	P ₂	W ₃	P ₃	W ₄	P ₄
124	5.28	.31	2.38	.46	.21	.01	.05	o
131	7.97	.46	3.59	.21	.32	.02	.08	o
138	11.94	.68	5.37	.31	.48	.03	.12	.01
145	17.72	.98	7.97	.44	.71	.04	.18	.01
152	25.92	1.38	11.66	.62	1.04	.06	.26	.01
159	37.17	1.85	16.73	.83	1.49	.07	.37	.02
166	51.89	2.36	23.35	1.06	2.08	.09	.52	.02
173	70.03	2.81	31.51	1.26	2.80	.11	.70	.03
180	90.76	3.08	40.84	1.39	3.63	.12	.91	.03
187	112.56	3.10	50.65	1.39	4.50	.12	1.13	.03
194	133.53	2.85	60.09	1.29	5.34	.11	1.34	.03
201	152.04	2.42	68.42	1.09	6.08	.10	1.52	.02
208	167.20	1.91	75.24	.86	6.69	.08	1.67	.02
215	178.86	1.43	80.49	.64	7.15	.06	1.79	.01
222	187.41	1.03	84.33	.46	7.50	.04	1.87	.01
229	193.45	.72	87.05	.32	7.74	.03	1.93	.01
236	197.62	.49	88.93	.22	7.90	.02	1.98	o
243	200.44	.33	90.20	.15	8.02	.01	2.00	o
250	202.33	.22	91.05	.10	8.09	.01	2.02	o
257	203.59	.14	91.61	.07	8.14	.01	2.04	o
264	204.42	.10	91.99	.04	8.18	o	2.04	o
271	204.96	.06	92.23	.03	8.20	o	2.05	o

Enheder og symboler som i foregående tabel.

FIGUR 8.2.2.

Stofakkumulation i makrofyttter på MAR 601 - MAR 602.
1975.

tuel effekt vil manifestere sig kraftigst på dette tids-
punkt. Den maximale produktionsrate er 3.2 g tørstof/
m²/dag, hvilket svarer til at fosfor akkumuleres med
raten:

$$0.002 \cdot 3.2 \text{ g P/m}^2/\text{dag} = 0.0064 \text{ g P/m}^2/\text{dag}$$

På hele strækningen MAR 601 - MAR 602 (3750 m²) akkumu-
leres derfor:

$$3750 \cdot 0.0064 \text{ g P/m}^2/\text{dag} = 24.0 \text{ g P/dag}$$

I samme tidsrum er vandløbets totaltransport 4400 g P. Den i makrofytter akkumulerede fosformængde andrager således 0.5% af totaltransporten i vandløbet. Af vandløbets totaltransport af P bidrager dambruget med 12%. Det må således anses for udelukket at dambrugets fosfortilskud til vandløbet kan have nogen som helst indflydelse på vækst og biomasse af makrofytter.

Lignende beregninger er udført for kvælstof. Her er den i makrofytter akkumulerede del af åens totaltransport ca. 0%. Af åens totaltransport af kvælstof bidrager dambruget med 22%. Det må derfor betragtes som udelukket at dambrugets tilskud af kvælstof skulle kunne influere makrofytproduktionen. Kvælstof er beregnet som summen af $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og TON. I TABEL 8.2.1. og TABEL 8.2.2. er angivet produktion og stofakkumulation i makrofytter for henholdsvis 1974 og 1975.

8.3. MAKROFYTTERS INDFLYDELSE PÅ STOFTRANSPORT OG VANDFØRING.

Fremvækst af makrofytter i et vandløb medfører en voldsom øgning af modstanden. En direkte effekt heraf er, at der akkumuleres vand, hvilket iagttages som en stigning i vandstanden. En anden effekt er at den nedsatte strømhastighed betyder en forringelse af vandløbets transportevne for suspenderet stof. Stoftransportmålinger viser da også at der sker en tilbageholdelse af stof i månederne maj - september på strækningen MAR 601 - MAR 602. Dette medfører en berigelse af sedimentet og en generel tilslamning af sediment såvel som plantevækst. En sådan tilslamning af makrofytter påvistes af LADLE and CASEY (1971) at have en direkte effekt på Batrachium sp., idet nedsat strømhastighed og tilslamning reducerede denne slægts udbredelse. Modsat hævdes Sparganium simplex at begunstiges af en organisk beriget bund, HYNES (1971). Egne iagttagelser, som ikke er systematiseret, tyder i samme retning, idet organisk berigede vandløb som oftest er præget

af Sparganium simplex og Potamogeton pectinatus.

I sommeren 1975 udførtes et mindre antal analyser af porevand fra sediment fra MAR 601. Der konstateredes meget høje koncentrationer af NH_3 og PO_4^{--} (ammoniak og orthofosfat). For ammoniak op til 32000 $\mu\text{g/l}$ og for orthofosfat op til 4000 $\mu\text{g/l}$. I sedimentet er der derfor ganske betydelige reserver af næringsstoffer som makrofyttene kan udnytte. WESTLAKE (1971) angiver at makrofytter optager næringsstoffer fra både sediment og vandfase. Grunden til de høje næringsstofkoncentrationer i sedimentet er, at der hersker anaerobe forhold, hvorunder der frigives ammoniak og orthofosfat i forbindelse med den mikrobielle omsætning. Det er sandsynligt at dambruget gennem indflydelse på sedimentet kan have en indirekte indflydelse på floraen. Der er ikke foretaget en kvantitativ opgørelse af den floristiske sammensætning. Bevæger man sig fra MAR 601 ned mod MAR 603 iagttages, at der ved MAR 601 er dominans af Sparganium simplex, ved MAR 602 af Potamogeton pectinatus og Sparganium simplex, medens floraen ved MAR 603 er mere divers, idet både Batrachium sp., Callitriche sp. og Helodea canadensis optræder i større mængder. Dominansen bevares dog også på MAR 603 af Sparganium simplex og Potamogeton pectinatus.

8.4. KONKLUSION.

I 1974 og 1975 er væksten af makrofytter på undersøgelsesfeltet ved MAR 601 fulgt gennem en række biomassebestemmelser. Vækstmønstret er beskrevet med en logistisk vækstmodel. I 1974 var produktionen 114 g tørstof/ m^2 og i 1975 180 g tørstof/ m^2 . Disse produktionsstørrelser ligger på niveau med andre produktionsmålinger foretaget i Danmark og England.

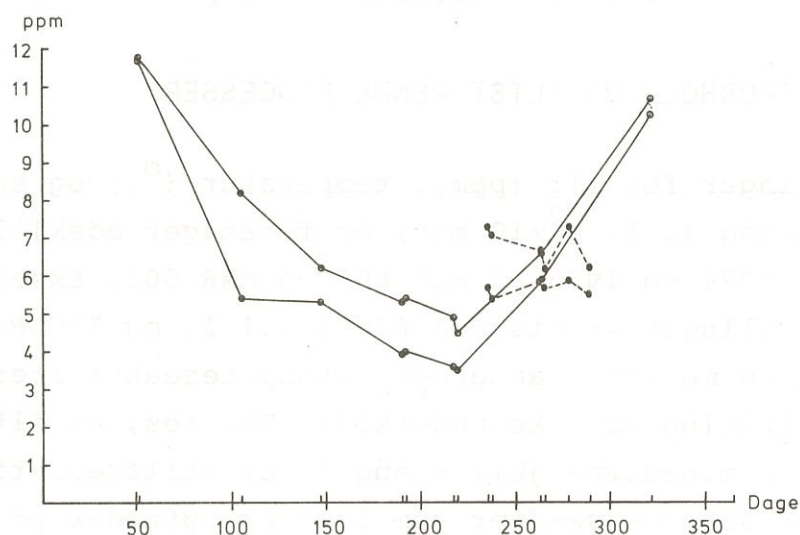
Der er foretaget beregninger af akkumulation af kvælstof og fosfor i makrofytter på strækningen MAR 601 - MAR 602 for juli 1975, hvor den højeste produktions-

rate nåedes. Beregningerne viser, at henholdsvis ca. 0% og 0.5% af åens totaltransport af kvælstof og fosfor optages i makrofytter. Disse diminutive størrelser viser, at dambrugets tilskud af N og P til åens transport (dambrugstilskuddet er på henholdsvis 22% og 12% af totaltransporten) ikke kan have effekt på produktionen af makrofytter.

De høje produktionstal betyder at grøden om sommeren forårsager akkumulering af vand på strækningen MAR 601 - MAR 602, hvilket betyder nedsat strømhastighed og dermed nedsat transportevne for suspenderet stof. Dette bidrager til at øge tilslamningen i løbet af sommeren.

9. ILTFORHOLD OG ILTFLOWS PÅ STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.

Iltforholdene i et vandløb er af helt afgørende betydning for vandløbets kvalitet. Sedimentets udseende, sammensætningen af flora og fauna og indholdet af forskellige stoffer i vandfasen er stærkt influeret af iltindholdet i vandet.



FIGUR 9.0.0.

Minimum og maximum værdier for ilt på MAR 601 (øverst) og MAR 602 (nederst). Fuldt optrukne kurve er 1975 og stiplede kurve er 1974.

I Mattrup å blev iltkoncentrationen derfor målt på døgnbasis på MAR 601 og MAR 602 gennem 1974 og 1975.

Døgnamplituden (minimum og maximum) på de enkelte måledøgn er vist på FIGUR 9.0.0.. På begge stationer iagttages at iltindholdet falder gennem perioden februar - august, med tiltagende døgnamplitude. Herefter stiger iltindholdet igen og døgnamplituden aftager, for for sidst på året at være forsvindende. Det fremgår, at døgnamplituden er forøget fra MAR 601 til MAR 602, således at de ekstreme værdier opnås på MAR 602.

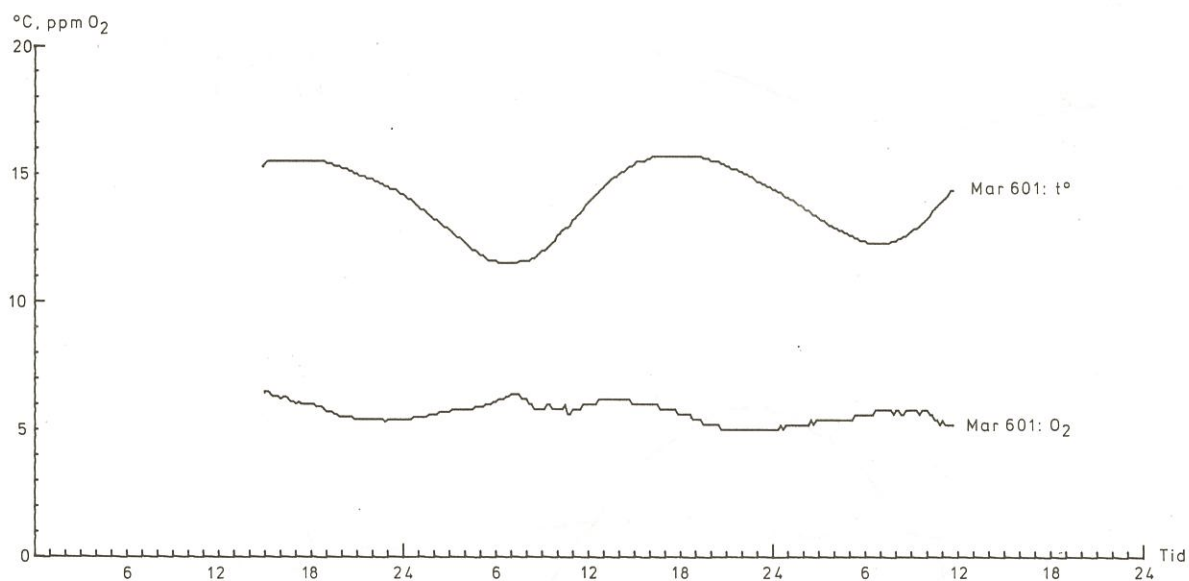
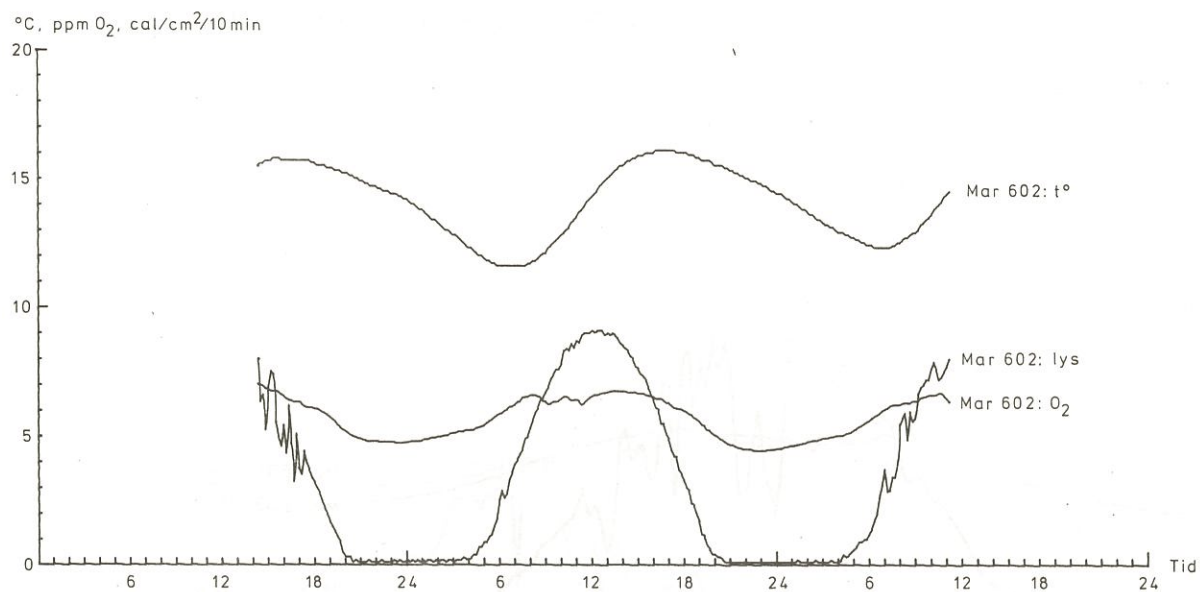
9.1. ILTFORHOLD OG ILTSTYRENDE PROCESSER.

Døgnmålinger for ilt (ppm), temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og energiindstråling ($\text{cal}/\text{cm}^2/10 \text{ min}$) er foretaget adskillige gange i 1974 og 1975 på MAR 601 og MAR 602. Eksempler på døgnmålinger er vist på FIGUR 9.1.1. og FIGUR 9.1.2. Relationen mellem planternes fotosynteseaktivitet og lysindstråling er ikke undersøgt. Det ses, at iltforholdene i månederne juli - august er utilfredsstillende, idet så lave værdier som 3.0 ppm optræder på MAR 602 i august. Disse målinger motiverede en nærmere analyse af de processer som har indflydelse på iltforholdene. Indledningsvis skal de iltforbrugende og iltproducerende processer identificeres og kvantificeres. De vigtigste processer, som har indflydelse på iltforholdene, det vil sige de iltstyrende processer, er:

1. FOTOSYNTETISK ILTPRODUKTION.
2. MAKROFYTTERNES RESPIRATION.
3. SEDIMENTETS RESPIRATION.
4. RESPIRATION I VANDFASEN, BOD.
5. GENLUFTNING FRA ATMOSFÆREN.

Iltens transportveje, iltflows, er bestemt ud fra to forskellige metoder:

1. ODUM's KLASSISKE "TWIN-CURVE METHOD",
2 FORSKELLIGE MODIFIKATIONER.
2. VED DIREKTE MÅLINGER PÅ DE ILTSTYRENDE PROCESSER.



FIGUR 9.1.1.

Ilt, temperatur og energiindstråling, 27.5.1975.
Øverst MAR 602 og nederst MAR 601.
Energiindstråling er kun målt på MAR 602.

9.2. BEREGNING AF ILTFLOWS VED HJÆLP AF ODUM'S TWIN-CURVE METODE.

Ved itlflows forstås strømmen af ilt gennem én m² bund. Enheden er g O₂/m²/dag.

1. BEREGNINGSPROCEDURE.

Odum's klassiske metode, her benævnt ODUM 1. En nærmere gennemgang af metoden findes hos ODUM (1956). Metoden baserer sig på massebalancen:

$$Q = P - R + D - B$$

hvor Q = ændringsrate fra station 1 til station 2 (ppm/h)

P = bruttoprimærproduktion (ppm/h)

R = respiration, her temperaturafhængig (ppm/h)

D = genluftning regnet med fortegn (ppm/h)

B = iltforbrug fra BOD-udledning fra dambrug (ppm/h)

Således er

$$R = R_0 \cdot 1.07^{(T-T_0)}$$

og $D = K(C_s - C)$

hvor T_0 er temperaturen ved hvilken R_0 er beregnet og K er genluftningskonstanten. C_s er mætningsværdien for ilt ved den givne temperatur og C er den observerede iltkoncentration.

2. BEREGNINGSPROCEDURE.

Ved denne procedure er respirationen gjort iltafhængig. Metoden benævnes ODUM 2.

Allerede ODUM (1956) påpeger muligheden for iltafhængig respiration. Senere har EDWARDS and ROLLEY (1965) påvist iltafhængighed for sedimentets respiration. Desuden har OWENS and MARIS (1964), MCDONNELL and WEE-TER (1972) og GESSNER und PANNIER (1958) påvist iltafhængighed for akvatiske makrofytters respiration.

ODUM's massebalance ændres derfor til:

$$Q = P - K_2 C + K(C_s - C) - B$$

hvor $R = K_2 C$

K_2 har altså dimensionen h^{-1} ($time^{-1}$).

3. BEREGNINGSPROCEDURE.

I modsætning til metoden i ODUM 1 bestemmes genluftningskonstanten ved hjælp af hydrauliske parametre. Metoden benævnes ODUM 3.

BANSAL (1973) angiver en empirisk formel til beregning af genluftningskonstanten ud fra middeldybde og middelstrømhastighed. Se nærmere i KAPITEL 10.

Beregningsresultater for de 3 beregningsprocedurer fremgår af TABEL 9.2.1.

Enhed: $gr\ O_2/m^2/døgn$

	Q	P	R	D	B
27.5.1975, Odum 3	.13	5.63	7.00	2.18	.28
11.7.1975, Odum 1	.18	10.88	44.33	34.07	.39
Odum 2	.18	10.29	21.03	11.83	.39
Odum 3	.18	5.39	6.70	2.84	.39
12.7.1975, Odum 1	3.49	10.20	34.22	28.31	.37
Odum 2	3.49	8.94	15.50	11.23	.37
Odum 3	3.49	6.15	3.42	2.83	.37
5.8.1975, Odum 1	÷1.06	3.52	28.59	25.20	.19
Odum 2	÷1.06	3.95	13.06	9.28	.19
Odum 3	÷1.06	1.44	2.86	2.51	.19
6.8.1975, Odum 1	÷1.61	4.91	43.00	37.36	.19
Odum 2	÷1.61	4.06	12.92	8.32	.19
Odum 3	÷1.61	2.63	5.79	2.73	.19

TABEL 9.2.1.

Iltflows beregnet efter ODUM 1, ODUM 2 og ODUM 3.

2-stationsbestemmelser på strækningen MAR 601 - MAR 602.

9.3. BEREGNING AF ILTFLOWS VED DIREKTE MÅLINGER AF DE ILTINFLUERENDE PROCESSER.

PRIMÆRPRODUKTION.

Nettoprimærproduktionen beregnes i følge (8.1) ved indsættelse af de i TABEL 8.1.1. angivne parametre for 1975.

Da bruttoprimærproduktionen er givet ved:

$$BPP = NPP + Rdt$$

hvor Rdt er respirationen over døgnet, kan den beregnes ud fra kendskab til nettoprimærproduktion og respiration. Respirationen er beregnet ud fra:

$$R = (0.66 + 0.069 \cdot C) \cdot W \cdot (1.07^{(T-20)}) \quad \text{efter} \\ \text{MCDONNELL and WEETER (1972).}$$

SEDIMENTRESPIRATION.

Denne størrelse beregnes i følge (5.1) integreret over døgnet.

BOD-RESPIRATION.

Respirationen fra BOD5 beregnes i følge:

$$R_{BOD} = K_1 \cdot \frac{BOD5}{1 - \exp(-120 \cdot K_1)}$$

hvor K_1 er henfaldskonstanten for organisk stof i vandfasen ved 16°C . BOD5 koncentrationen til tiden t beregnes i følge (4.1), (4.2) og (4.3).

Respirationsbidraget fra BOD5 kan opdeles i to fraktioner:

1. Respirationsbidraget fra basisværdien af BOD5.
Basisværdien er den størrelse, der er benævnt C_b i de netop omtalte formler, og er altså den BOD5-værdi, som forekommer før og et stykke tid efter fodringen.
2. Respirationsbidraget fra fodertabets BOD5-fraktion.

Herefter har man:

P = BPP

R = makrofytrespiration + sedimentrespiration
+ BOD_{basis}

B = BOD-respiration fra FT

D = $K(C_s - C)$

Disse størrelser betragtes herefter som de bedste estimater for de forskellige iltstrømme. Størrelserne fremgår af TABEL 9.3.1.

O₂-flows i Matstrup Å, n.f. Bregnholm Mølle, station 1.

P = Primærproduktion, målt ved grødehøstning + R

R = Respiration målt ud fra makrofytbiomasse samt direkte måling af sedimentrespiration.

D = Diffusion beregnet ud fra hydrauliske parametre i.flg. BANSAL.

B = BOD-respiration beregnet ud fra målt BOD-kinetik og udskyllingsmodel anvendt på fodertab estimeret ud fra regressionsligning mellem fodertab og fodertilførsel.

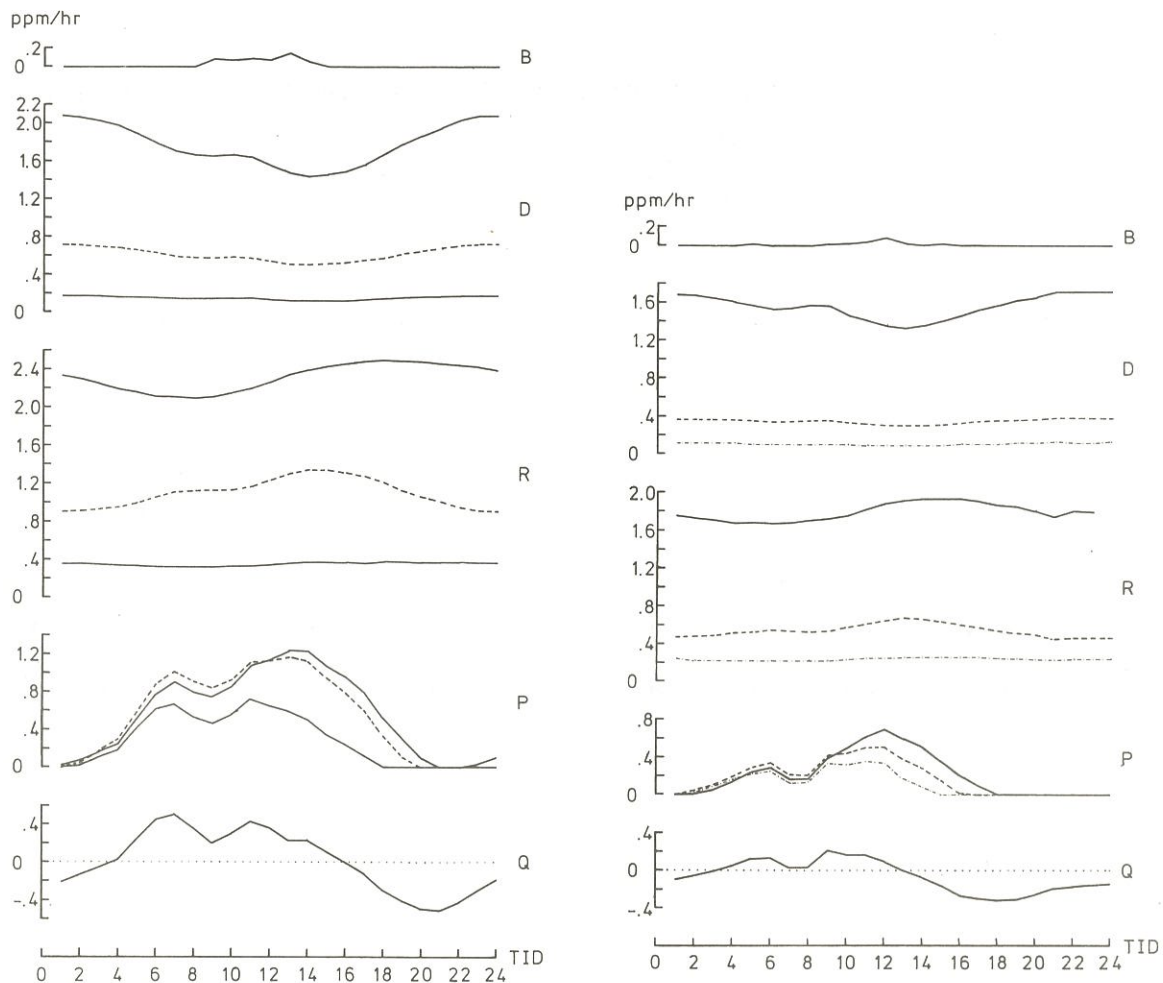
Enhed: gr O₂/m²/døgn

	P	R	D	B
20.2. 1975	0	.71	1.85	.02
27.5. 1975	1.4	3.25	4.53	.10
11.7. 1975	6.08	5.55	2.46	.16
12.7.1975	5.95	5.17	2.49	.28
5.8. 1975	5.17	6.51	2.22	.23
6.8. 1975	5.15	6.40	2.42	.30
20.9. 1975	3.43	5.70	1.81	.26
18.11.1975	2.55	.61	2.57	.04

TABEL 9.3.1.

Iltflows målt direkte på MAR 601, 1975.

De samme størrelser beregnet ved ODUM 1, ODUM 2 og ODUM 3 er angivet i TABEL 9.2.1. Ved sammenligning mellem TABEL 9.2.1. og TABEL 9.3.1. fremgår tydeligt, at af de 3 ODUM-beregningsprocedurer giver ODUM 3 de bedste estimater. Det som først og fremmest er påfaldende er, at man ved ODUM 1 og ODUM 2 får en voldsom overestimering af både respiration og genluftning. Dette er mest udtalt for ODUM 1. Estimatet for P er forbavsende ens for de forskellige beregningsmetoder. Dette har sin forklaring i at K og R er korrelerede,



FIGUR 9.3.1.

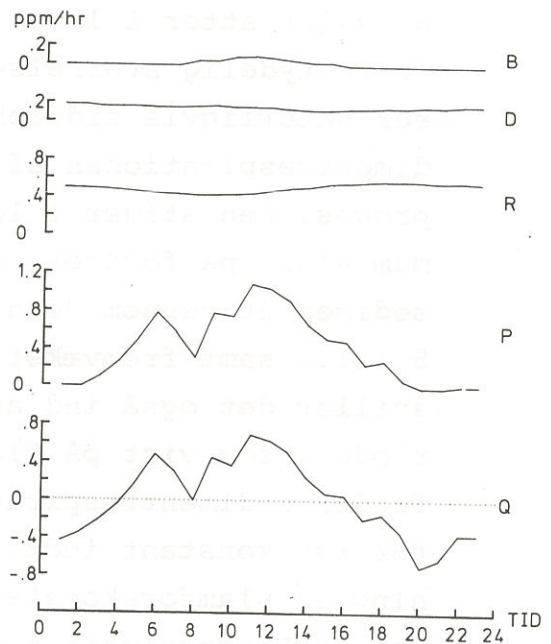
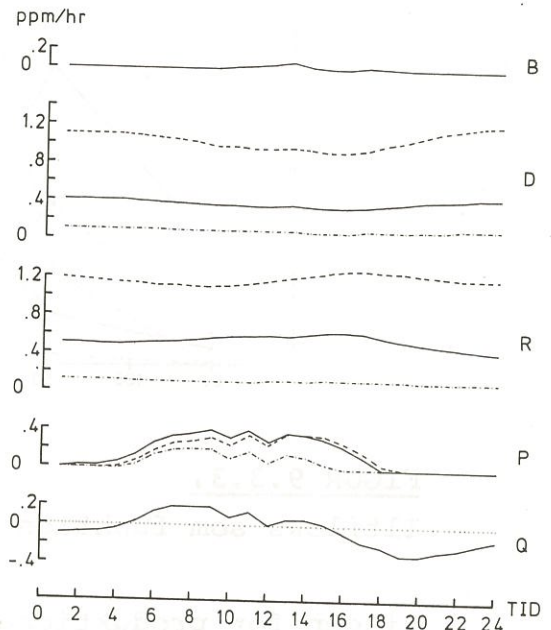
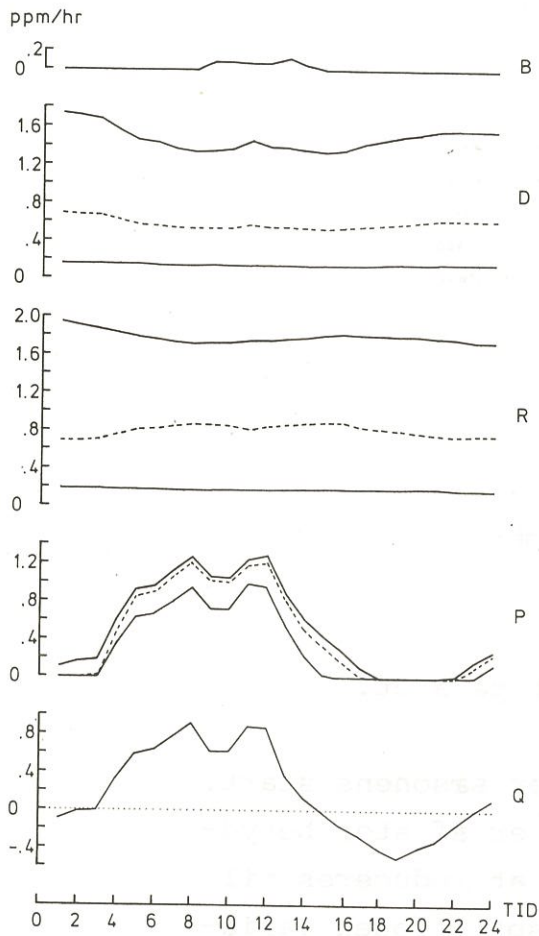
Fordelingen over døgnet af Q, P, R, D og B i følge beregninger efter ODUM 1, ODUM 2 og ODUM 3.

Til venstre: ODUM 3, 27.5.1975

Til højre: ODUM 1, 11.7.1975, øverste optrukne linie.
 ODUM 2, 11.7.1975, stiplede linie.
 ODUM 3, 11.7.1975, nederste optrukne linie.

således at en stor K-værdi giver en stor R-værdi, hvorfor ændringer på disse størrelser i stor udstrækning ophæver hinanden. Dette fremgår af TABEL 9.2.1, datoerne 11.7.1975 og 5.8.1975. På FIGUR 9.3.1. fremgår resultaterne af beregninger efter ODUM 1, ODUM 2 og ODUM 3 fremstillet grafisk. Det samme er vist på FIGUR 9.3.2. og på FIGUR 9.3.3., hvor forskellige datoers beregningsresultater er vist.

Af TABEL 9.3.1. ses størrelserne af de forskellige iltstrømme, som ses at ændres gennem året. Størst er ænd-



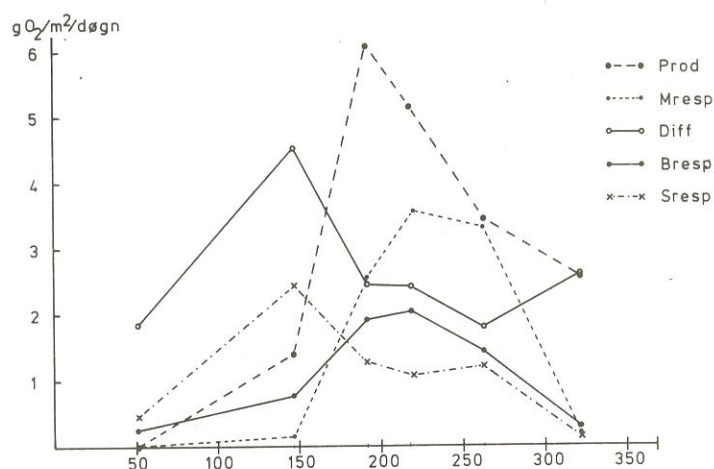
FIGUR 9.3.2.

Fordelingen over døgnet af Q, P, R, D og B i følge beregninger efter ODUM 1, ODUM 2, ODUM 3.

Til venstre: ODUM 1, 12.7.1975, øverste optrukne linie.
ODUM 2, 12.7.1975, stiplede linie.
ODUM 3, 12.7.1975, nederste optrukne linie.

Tilhøjre: Øverst 5.8.1975.
Nederst 6.8.1975.

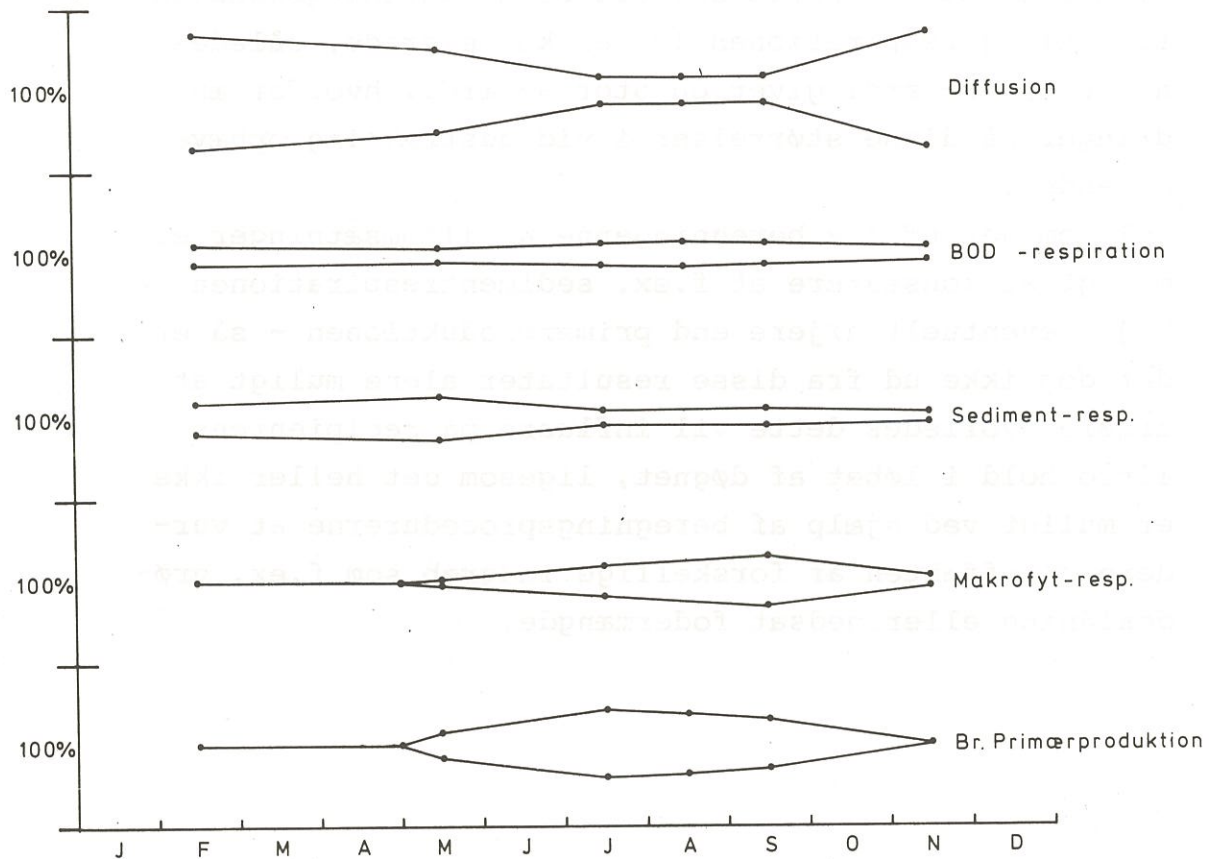
ODUM 1, stiplet; ODUM 2, fuldt optrukket;
ODUM 3, stiplet, prikket.



FIGUR 9.3.3.

Iltflows som funktion af tidspunktet på året.

ringen for produktionen, der er 0 før sæsonens start, og derefter i løbet af sommeren bliver af stor betydning for atter i løbet af efteråret at reduceres til en ubetydelig størrelse. Makrofytrespirationen varierer naturligvis sideløbende hermed. Hele året er sedimentrespirationen af betydning som iltforbrugende proces. Den stiger i løbet af foråret og når et maksimum sidst på foråret. Dette skyldes en berigelse af sedimentet gennem denne periode, som vist på FIGUR 5.1.1., samt fremvækst af bentiske alger. Endvidere spiller det også ind at temperaturen stiger gennem perioden, som vist på FIGUR 7. .1.. I løbet af sommeren falder sedimentrespirationen lidt og holder sig derefter ret konstant indtil faldende temperatur og udskylning af slamforekomster reducerer den i løbet af vinteren. BOD5-respirationen varierer efter foderforbruget på dambruget samt efter temperaturen i vandet. Variationen er nogenlunde som for sedimentrespirationen. På alle årstider er genluftningen betydelig, om sommeren grundet lavt iltindhold og resten af året grundet en høj genluftningskonstant. Disse forhold er illustreret på FIGUR 9.3.3. og FIGUR 9.3.4., som angiver de forskellige iltflows størrelse gennem året. På FIGUR 9.3.4. er de forskellige iltflows procentuelle betyd-



FIGUR 9.3.4.

De forskellige iltflows procentuelle fordeling gennem året.

ning gennem året.

9.4. KONKLUSION.

Der er gennemgået de vigtigste transportveje for ilt året igennem, hvorved der er konstateret store årstidsvariationer på de forskellige iltflows. Størst på produktion og respiration.

Der er foretaget beregninger af iltomsætninger på strækningen MAR 601 - MAR 602 på 3 forskellige måder, som alle er modifikationer af den klassiske ODUM-metode. Ved ODUM 1 og ODUM 2 fås en voldsom overestimering af respiration og genluftning. Estimerer for brutto-primærproduktion er ret ens for de forskellige beregninger.

ningsprocedurer. Dette skyldes at genluftningskonstanten (K) og respirationen (R) er korrelerede, således at en høj K-værdi giver en stor R-værdi, hvorfor ændringer på disse størrelser i vid udstrækning ophæver hinanden.

Selv om det ud fra beregningerne af iltomsætninger er muligt at konstatere at f.ex. sedimentrespirationen er høj - eventuelt højere end primærproduktionen - så er det dog ikke ud fra disse resultater alene muligt at afgøre hvorledes dette vil influere på recipientens iltforhold i løbet af døgnet, ligesom det heller ikke er muligt ved hjælp af beregningsprocedurerne at vurdere på effekten af forskellige indgreb som f.ex. grødeslåning eller nedsat fodermængde.

10. ILTMODEL SAMT MASSEBALANCER FOR NÆRINGSSTOFFER OG ORGANISK STOF.

Dette kapitel er en syntese af kapitlerne 3 - 9. I kapitlerne om stoftransport, sediment, simulier og makrofytter er der redegjort for transport, produktion og forbrug af organisk stof. Dette vil her blive samlet til et totalbudget for strækningen MAR 601 - MAR 602. For næringsstofferne vedkommende er der foretaget beregninger over fosforakkumuleringens døgnmæssige forløb.

10.1. MEKANISTISK, DETERMINISTISK ILTMODEL FOR STRÆKNINGEN MAR 601 - MAR 602.

I afsnittet om iltflows er der redegjort for de processer som deltager i produktion og forbrug af ilt, respiration, primærproduktion og genluftning. I nærværende afsnit vil disse processer blive formuleret matematisk og en mekanistisk, deterministisk model for hvorledes iltforholdene vil være på et givet sted ned gennem strækningen MAR 601 - MAR 602, vil blive udviklet. Formålet med modellen er at få et apparat, som på grundlag af målte størrelser kan forklare observerede iltforhold og som desuden giver mulighed for en kvantitativ vurdering af veldefinerede indgrebs betydning i recipienten. Man vil f.ex. kunne besvare spørgsmål som: "Hvorledes bliver iltforholdene ved en halvering af den på dambruget anvendte fodermængde?" eller "Hvorledes bliver iltforholdene, hvis sedimentets respiration reduceres til 20% af det aktuelle?". Modellen består af funktionsudtryk for de processer, som styrer iltforholdene: de styrende funktioner. De indgående processer er:

1. MAKROFYTTERNES FOTOSYNTESE.
2. MAKROFYTTERNES RESPIRATION.
3. RESPIRATION FRA BOD's BASISVÆRDI.
4. RESPIRATION FRA BOD's FODERBETINGEDE FORLØB.

5. SEDIMENTETS RESPIRATION.

6. GENLUFTNING.

Disse processers indvirkning på et vandvolumens iltindhold under dettes transport nedad åen er modelberegningerne. Kendes iltkoncentrationen på station 1, udregnes iltkoncentrationen på et givet tidspunkt og sted nedstrøms herfor ved at følge et vandvolumen under dets transport nedad åen og udregne de styrende funktioners indflydelse undervejs. I det følgende er C betegnelsen for iltkoncentrationen, t for tiden og d for en differential størrelse (en lille størrelsesændring). dt betyder således et kort tidsrum. Er C_0 iltkoncentrationen på station 1 til tiden t fås C_1 , iltkoncentrationen dt længere nede ad åen, af:

$$C_1 = C_0 + dC(t+dt/2, C_0 + dC_0/dt \cdot dt/2)/dt \cdot dt \quad (10.1)$$

Dette er en modificeret EULER-metode til numerisk løsning af en differentialligning.

Herefter kan C_2 på analog vis udregnes ud fra C_1 og således bevæger man sig successivt ned til station 2. For at kunne regne på udtrykket må de enkelte processer formuleres matematisk ved hjælp af forskellige funktionsudtryk.

Således:

$$P(t) = B \cdot P_{\max} \cdot 24/C_s \cdot \cos(2\pi/A \cdot t/24)$$

$$R_m(T, C) = 24(0.66 + 0.096C)W/1000 \cdot 1.07^{(T-20)}/C_s$$

$$R_s(T, C) = 24/C_s \cdot K_2 \cdot C \cdot 1.07^{(T-16)}$$

$$R_{\text{BODbasis}}(T) = K_1 \cdot \text{BOD5}/(1 - \exp(-K_1 \cdot 120)) \cdot 24/C_s$$

$$R_{\text{BODfodertab}}(t, T) = K_1 \cdot \text{BOD5}(t, T)/(1 - \exp(-K_1 \cdot 120)) \cdot 24/C$$

$$D(T, C) = 24/C_s \cdot K(C_s - C) (1.024)^{T-20}$$

hvor $P(t)$ er bruttoprimærproduktionen

R_m er makrofytternes respiration

R_s er sedimentets respiration

R_{BODbasis} er basisrespirationen fra BOD5

$R_{\text{BODfodertab}}$ er den fodertabsbetingede respi-

ration fra BOD5
D er genluftningen

Disse udtryk gennemgås nærmere nedenfor. Det ses, at modellen er simpel. En simpel model har flere fordele fremfor en kompliceret, først og fremmest betyder det begrænsede antal parametre og funktionsudtryk, at der kun er ringe mulighed for manipulation og antallet af mulige tilpasninger af modellen er stærkt begrænset. Der er således god mulighed for at konstatere mangler. Dette betyder at man forholdsvis nemt kan vurdere på modellens anvendelighed og påvise hvorledes den kan forbedres.

10.1.1. FUNKTIONSUDTRYK I MODELLEN.

De indgående parametre er målt gennem et helt år således at man kan regne på iltforholdene på en given dag i året, såfremt man kender iltkurvens døgnforløb på øverste station, MAR 601. De enkelte funktionsudtryk skal nu gennemgås:

PRIMÆRPRODUKTION.

Denne består af to delkomponenter, nettoprimærproduktion og bruttoprimærproduktion.

1. ESTIMERING AF NETTOPRIMÆRPRODUKTION.

Produktionen tilskrives i alt væsentligt makrofyterne. I KAPITEL 8 er metoden til biomasse- og produktionsberegninger gennemgået. Det blev der påvist at udtrykket

$$W(t) = W_{\max} / (1 + \exp(a - bt))$$

på udmærket vis gengiver makrofytbiomassen til tiden t og produktionen, P ved

$$P = dW/dt = bW(W_{\max} - W)/W_{\max}$$

2. ESTIMERING AF BRUTTOPRIMÆRPRODUKTION.

Der gælder følgende relation:

$$BPP = NPP + Rdt$$

hvor R_{dt} er makrofyttens respiration integreret over et døgn.

MCDONNELL and WEETER (1972), OWENS and MARIS (1964) og GESSNER und PANNIER (1958) har påvist at makrofyttens respiration er afhængig af såvel iltkoncentration som temperatur.

Udtrykket udledt af McDonnell and Weeter er:

$$R = a + bC \quad (\text{mg/g/h})$$

Det ses, at $C = 0$ giver $R = a$. Dette er udtryk for at planterne selv ved lave iltkoncentrationer kan opretholde en vis respiration via det intercalære luftrum.

Da Sparganium simplex netop har omfattende luftrum, anses ovennævnte udtryk for det mest realistiske. Det gælder endvidere, at udtrykket er lineært helt op til 20 ppm (ca. 200% mætning).

3. PRODUKTIONENS DØGNFORLØB.

Da både kvælstof og fosfor i følge KAPITEL 8, må antages at forekomme i overskud, må lyset være begrænsende faktor for produktionen. Da lysindstrålingens forløb på en skyfri dag er sinusformet som funktion af tiden, må produktionen også være fordelt således.

Er den relative daglængde A , P_m middelproduktionen og P_{max} maximumsproduktionen, gælder det:

$$P_{max} = \pi/A \cdot P_m$$

Er t målt i timer bliver

$$P = P_{max} \cdot \cos(2\pi/A \cdot t/24) \quad \text{for } -6A = t = 6A$$

$$P = 0 \quad \text{for } t = -6A \text{ og } t = 6A$$

se i øvrigt gennemgang i HARREMOËS (1973).

SEDIMENTRESPIRATION.

Som omtalt i afsnittet om sediment, udtrykkes sedimentets respiration ved:

$$R = ak \cdot C \cdot 1.07^{(T-T_o)}$$

hvor T er temperaturen og $T_0 = 16^{\circ}\text{C}$.

Temperaturafhængigheden er ikke målt. EDWARDS and ROLLEY (1965) angiver målinger på 7.7% og 6.5% henholdsvis pr. grad, hvorfor 7.0% er anvendt her. Da temperaturen ikke i noget tilfælde har afvejet mere end 3°C fra døgnets middeltemperatur kan der ikke være tale om nogen alvorlig fejl ved at anvende denne temperaturkorrektion.

RESPIRATION FRA BOD's BASISVÆRDI.

BOD5's basisværdi er den målte, af fodringen uafhængige, værdi, som stort set er konstant gennem døgnet. Der regnes med den almindelige monomolekylære teori for BOD kinetik, se f.ex. KLEIN (1962).

$$R = K_1 \cdot \text{BOD5} / (1 - \exp(-120 \cdot K_1))$$

RESPIRATION FRA BOD's FODERBETINGEDE FORLØB.

I KAPITEL 3 er der udledt en model for udskylning fra dambruget, formlerne (3.1) og (3.2) og (3.3). Kendes derfor fodermængde og fodringstidspunkter, kan man beregne den til tiden t eksisterende belastning, $\text{BOD5}(t)$. Respirationen beregnes derefter analogt med det for BOD's basisværdi anførte. K_1 er bestemt ved et større antal målinger (15 i alt) og er bestemt til:

$$0.0287 \text{ h}^{-1} \pm 0.006$$

GENLUFTNING.

Genluftningen følger udtrykket:

$$D = K \cdot (C_s - C)$$

Bestemmelsen af K er problematisk, og en mængde formler af både teoretisk og empirisk oprindelse findes. Disse er diskuteret af SIMONSEN (1975). Her er valgt en empirisk formel af BANSAL (1973). Bansal's undersøgelser viser god overensstemmelse mellem målte og efter formlen beregnede værdier. Bansal under-

søger endvidere mange andre formlers anvendelighed. Bansal's formel kan anvendes ved måling ved måling af to letmålelige hydrauliske parametre, middeldybde og middelstrømhastighed.

EDWARDS and OWENS (1962) undersøger et vandløb af nogenlunde samme dimensioner som Mattrup å og de angiver værdier for K på fra 0.02 til 0.1 h^{-1} . Efter Bansal fås i juli-august ca. 0.03 h^{-1} i Mattrup å på den undersøgte strækning. Desuden giver formelen stort set de samme værdier af K på data fra vandløb, undersøgt af SIMONSEN (1975), som angivet af denne. Formlen er derfor accepteret som tilfredsstillende, og blot mindre justeringer af K har været nødvendige. Dette er tilladeligt, da K er bestemt ud fra en regressionsligning.

10.1.2. MODELBEREGNINGER.

I det følgende vil de observerede forhold blive simuleret. Og virkningen af forskellige indgreb vil blive belyst ved hjælp af modellen.

Følgende indgreb vil blive betragtet:

1. Effekten af anvendelse af forskellige fodermængder på dambruget.
2. Effekten af forskellige sedimentrespirationsstørrelser.
3. Effekten af grødeslåning.
4. Effekten af uforstyrret grødevækst.

I første omgang skal det imidlertid undersøges, hvorledes modellen arbejder i den aktuelle situation. Der er udført beregninger for 27.5., 11.7., 12.7., 5.8., 6.8. og 18.11., alle 1975.

I TABEL 10.1.1. er angivet de parametre, som indgår i beregningerne.

MODELBEREGNINGER 27.5.1975.

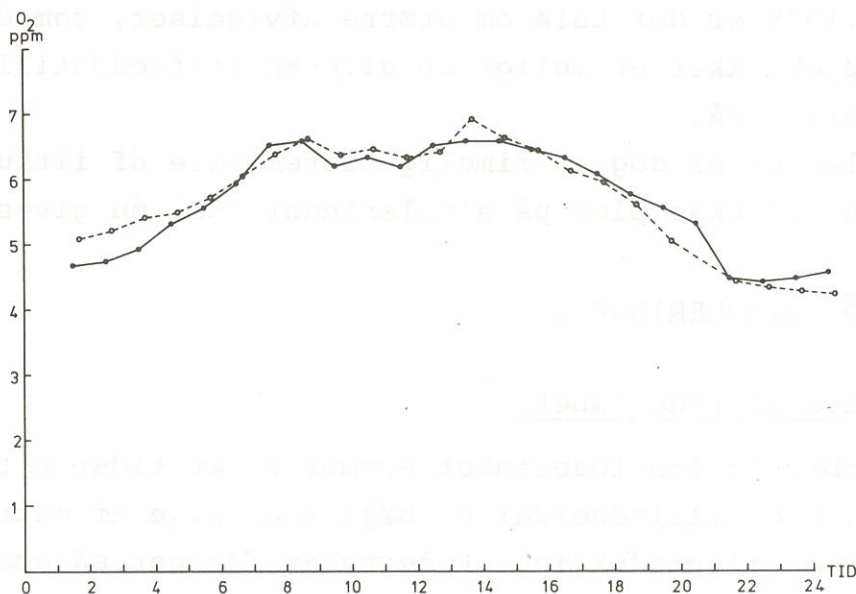
De anvendte parametre fremgår af TABEL 10.1.1.. Fodringen foregår ad 2 gange af hver 1 times varighed. På FIGUR 10.1.1. er vist det observerede forløb af

Måned	TR	A	H7	V3	V	V1	V2	C1	K1	C3	Do	K2
Januar		0.6	0.4	0.39		1750	165		0.03	2.0	0	
Februar		0.76	0.4	0.39	2275	1750	165		0.03	2.0	0	
Marts		0.96	0.4	0.39			165		0.03	2.0	0	
April		1.14	0.4	0.36	2025	1750	165		0.03	3.0	0	
Maj	1.0	1.34	0.5	0.29	2088	1750	220	41.4	0.03	3.0	26	0.04
Juni		1.43	0.7	0.23			275		0.03			
Juli	1.9	1.42	0.8	0.13	1655	1750	440	17.3	0.03	2.5	72	0.007
August	2.0	1.25	1.0	0.10	1560	1750	440	17.3	0.03	2.0	97	0.01
September		1.04	1.0	0.11	1750	1750	440		0.03	2.0		
Oktober		0.86	0.5	0.25	2000	1750	300		0.03	2.0		
November	0.5	0.67	0.4	0.46	2630	1750	250	14.3	0.03	2.0	310	0.003
December		0.59	0.4	0.46		1750	165		0.03	2.0		

A = Relative daglængde, H7 = middeldybde(m), V3 = middelstrømhastighed (m/s),
V = vandføring (m^3/h), V1 = volumen af dambrug (m^3), V2 = volumen af åen til
Mar 601 (m^3), C1 = foderspild beregnet ud fra (TF 0.0161 + 5.98) (kg),
K1 = henfaldskonstant for BOD (h^{-1}), C3 = basisværdi for BOD5 (ppm),
Do = antal vækstdage, K2 = respirationskonstant for sediment (m/h),
TR = transporttid (h)

TABEL 10.1.1.

Parametre, som anvendes ved modelberegningerne.



FIGUR 10.1.1.

Observeret (fuldt optrukket linie) og beregnet (stiplet) døgnforløb for ilt på MAR 602, 27.5.1975.

døgncurven for ilt på MAR 602. På samme figur er vist forløbet af den simulerede kurve. Det ses, at det beregnede (simulerede) forløb stemmer fint overens med det observerede. Det beregnede forløb er jævner end det observerede forløb, og dette skyldes, at tilfældige hændelser i åen på vejen ned til MAR 602 ikke er indregnet i modellen. Virkningen af sådanne hændelser, der kommer til udtryk på MAR 601, vil også kunne registreres på MAR 602, da forløbet på MAR 601 er startbetingelser for beregningerne. 27.5.1975 står solen op kl. 04⁰⁰, hvorfor lyset kan initiere fotosyntesen allerede kl 03³⁰. På dette tidspunkt begynder iltkoncentrationen da også at stige, og fortsætter dermed indtil mellem kl.8 og 9, hvor virkning af munkerensning og fodring begynder at gøre sig gældende. Fodertabets iltforbrugende virkning holder sig indtil hen på eftermiddagen. Kurverne for de øvrige måledøgn er vist på FIGUR 10.1.2., FIGUR 10.1.3., FIGUR 10.1.4., FIGUR 10.1.5. og FIGUR 10.1.6. Disse forløber i princippet på samme måde som det er beskrevet for 27.5.1975. Den 6.8.1975 og 18.11.1975 er der tale om større afvigelser, som det ikke i øjeblikket er muligt at give en tilfredsstillende forklaring på.

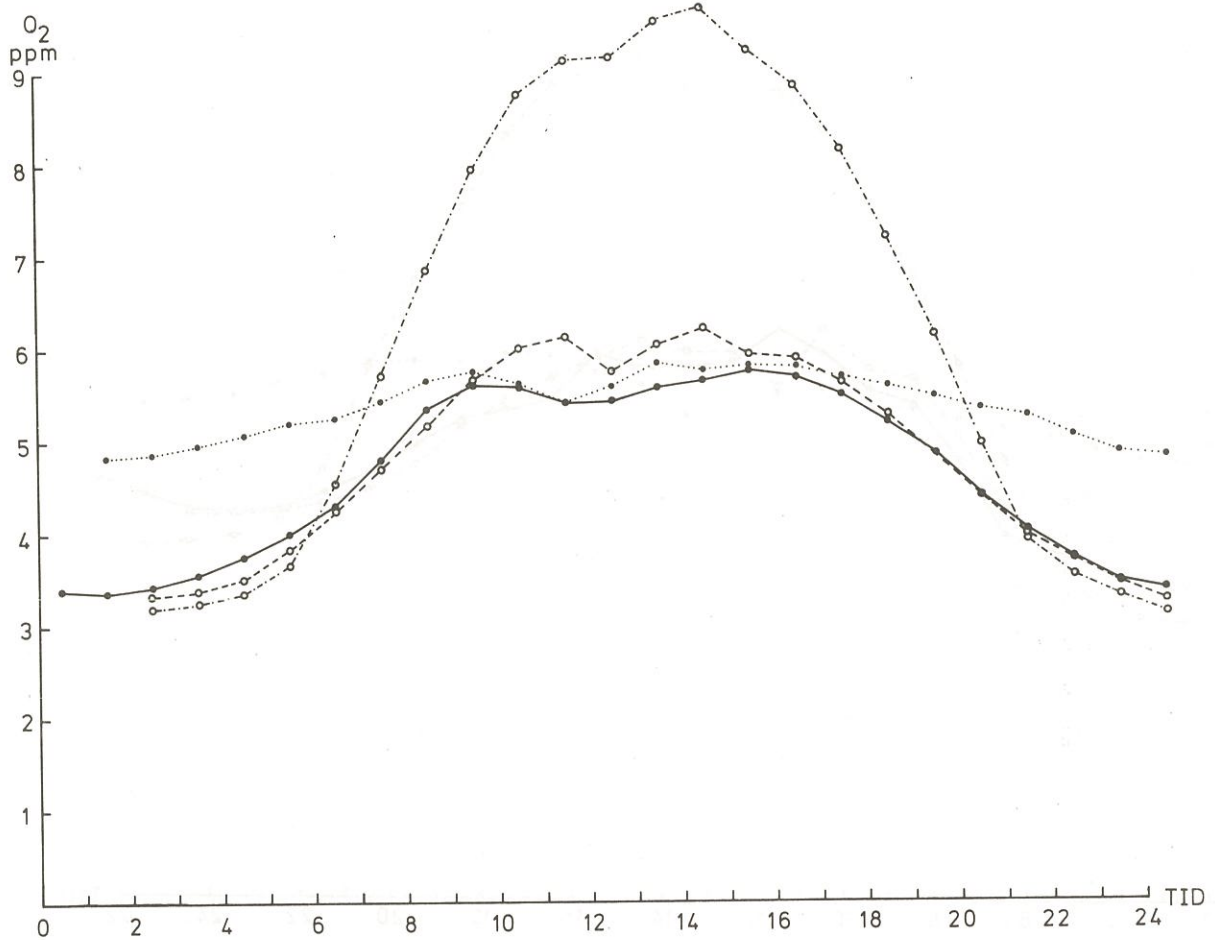
Modellen giver dog en rimelig bestemmelse af iltkurvens forløb, og eksempler på simuleringer skal nu gives.

10.1.3. SIMULERINGER.

Effekten af fodertabet.

Iltforbruget fra fodertabet kommer på et tidspunkt af dagen, hvor iltindholdet er højt som følge af makrofytternes iltproduktion. Fodertabet fjerner således toppen af iltkurven (se diverse iltkurver) og har ingen direkte indflydelse i mørketimerne, hvor iltindholdet når minimum.

Yderligere er fodertabets effekt begrænset til en periode af ca. 6 timer.



FIGUR 10.1.2.

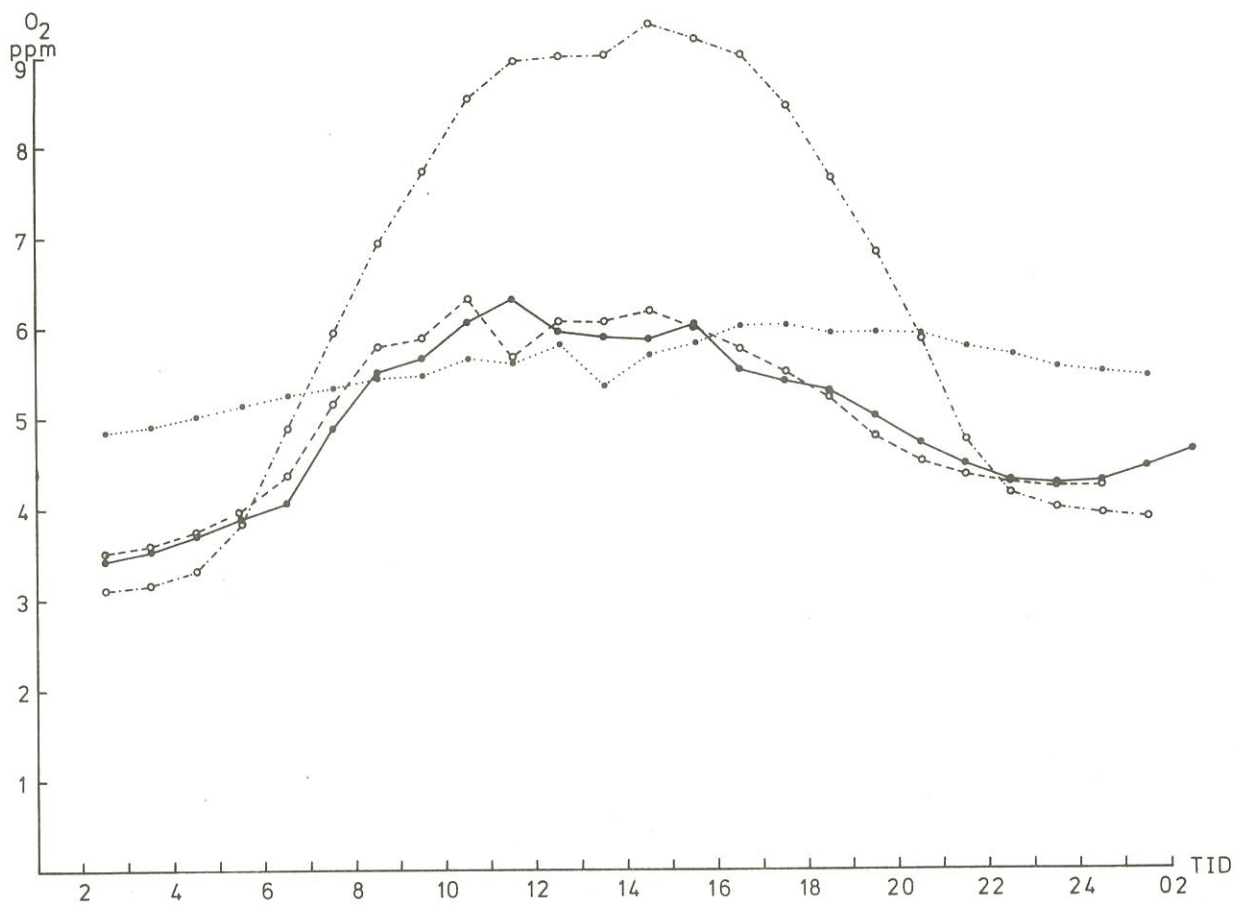
Iltkurver for 11.7.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb.

Stiplet er beregnet forløb.

Punkteret er simulering med total grødeslåning.

Punkteret, stiplet er med uforstyrret grødevækst



FIGUR 10.1.3.

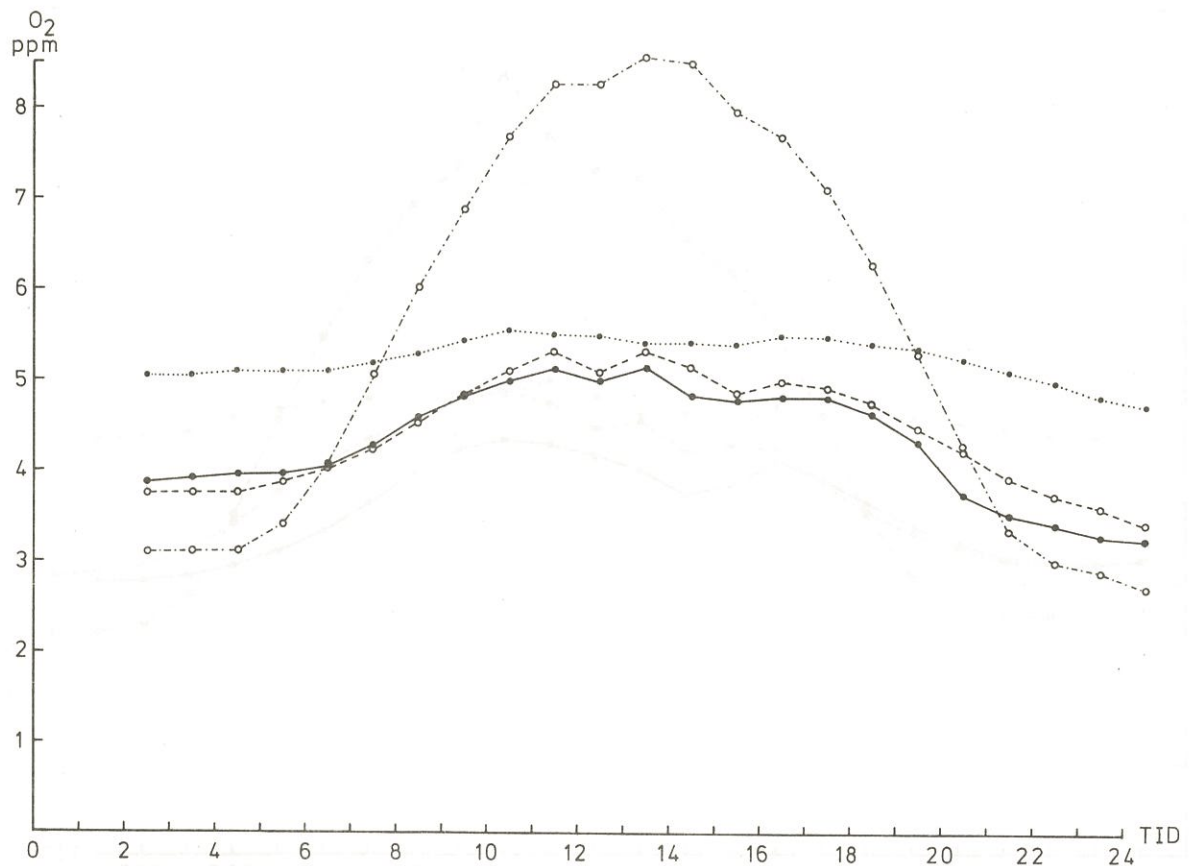
Iltkurver for 12.7.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb.

Stiplet er beregnet forløb.

Punkteret er simulering med total grødeslåning.

Punkteret, stiplet er med uforstyrret grødevækst.



FIGUR 10.1.4.

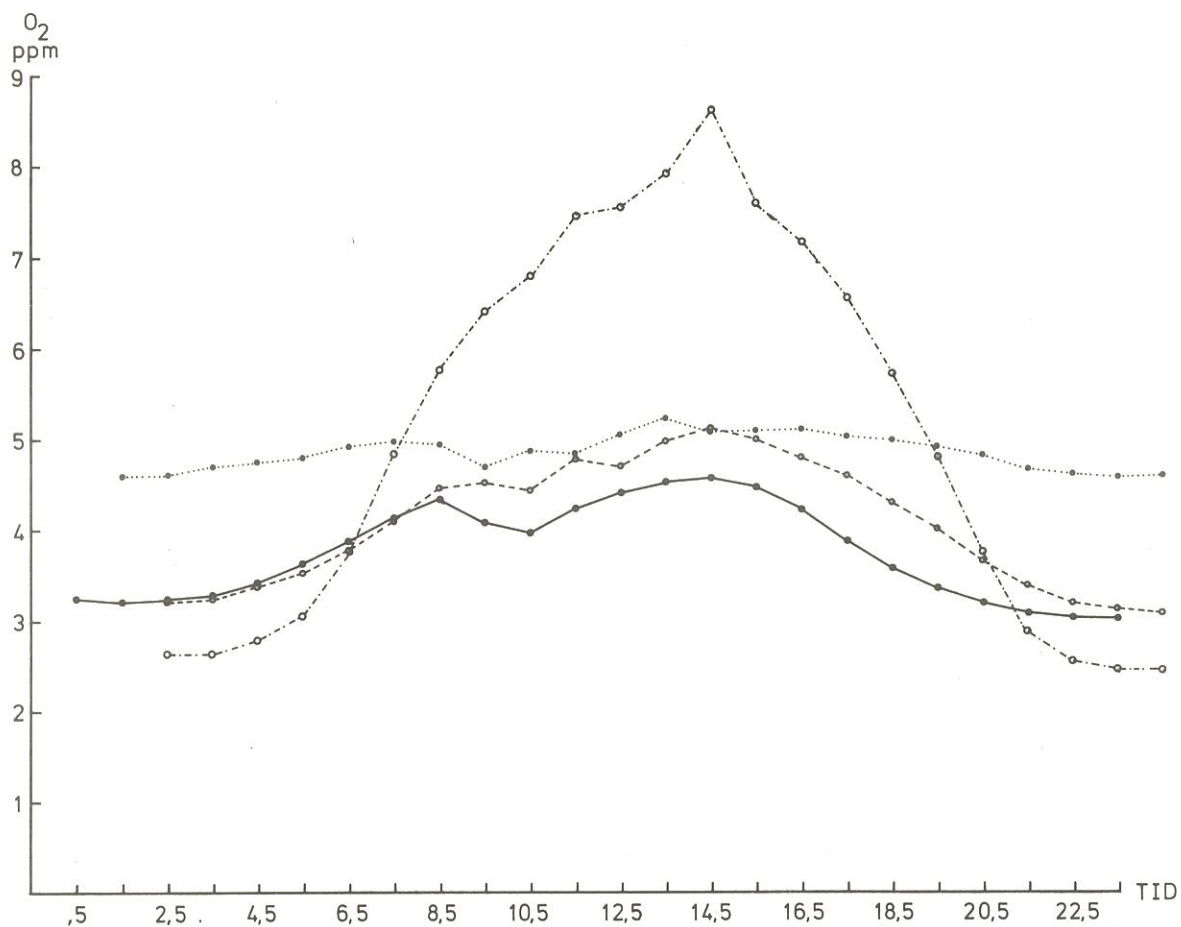
Iltkurver for 5.8.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb.

Stiplet er beregnet forløb.

Punkteret er simulering med total grødeslåning.

Punkteret, stiplet er med uforstyrret grødevækst.



FIGUR 10.1.5.

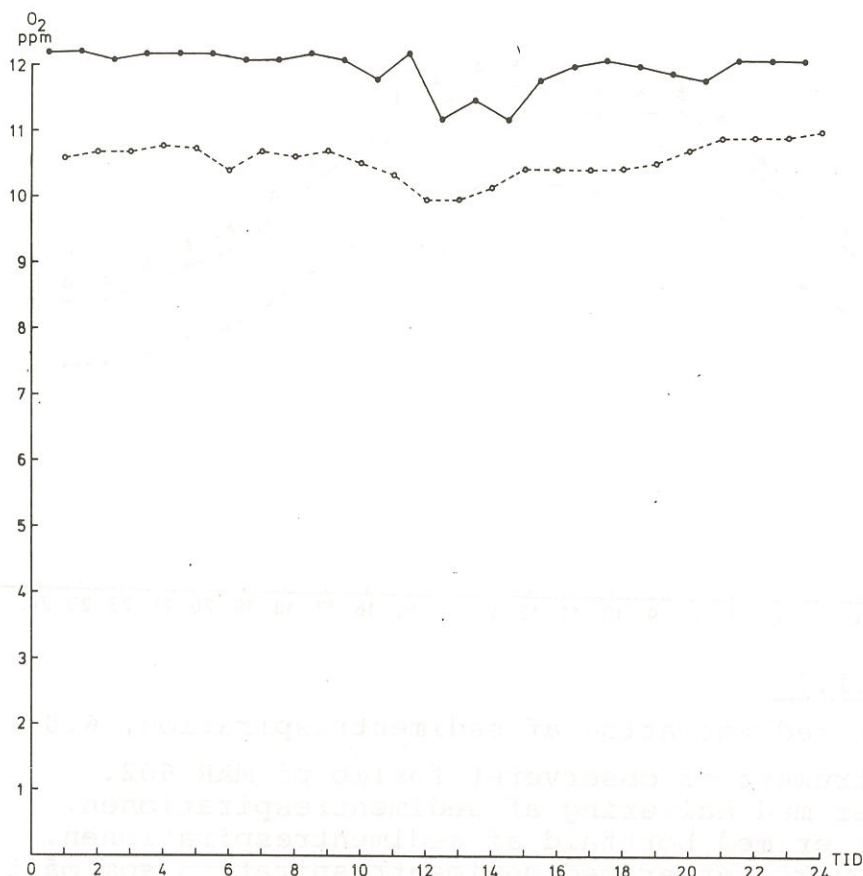
Iltkurver for 6.8.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb.

Stiplet er beregnet forløb.

Punkteret er simulering med total grødeslåning.

Punkteret, stiplet er med uforstyrret grødevækst.



FIGUR 10.1.6.

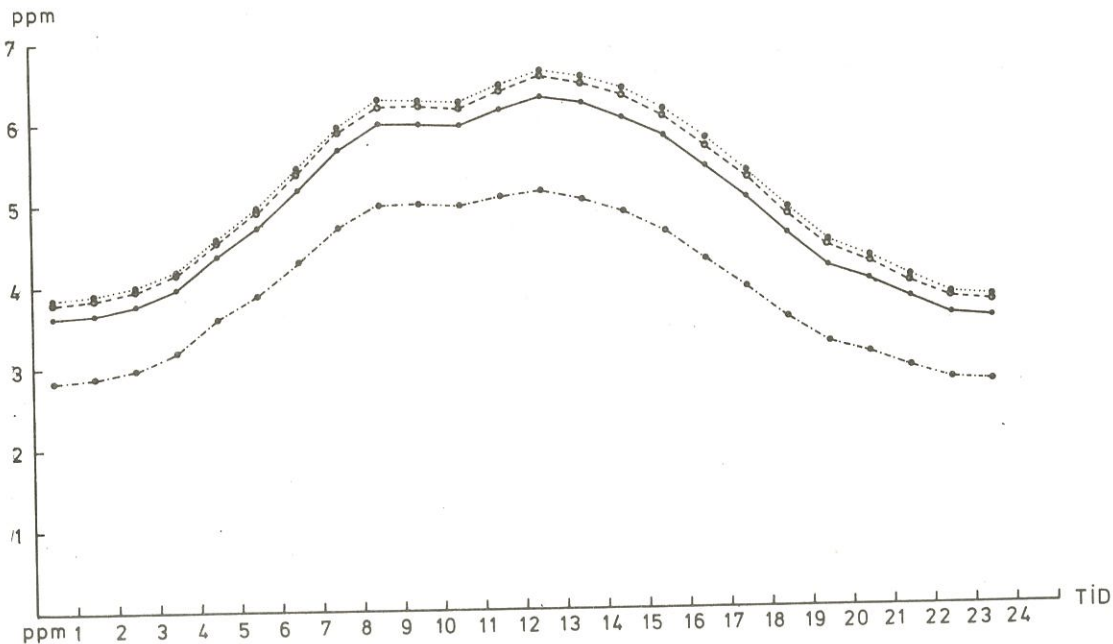
Iltkurver for 18.11.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb.

Stiplet er beregnet forløb.

EFFEKTEN AF VARIATIONER PÅ SEDIMENTRESPIRATIONEN.

Medens fodertabet er af tidsbegrænset varighed, respirerer sedimentet døgnet rundt. På FIGUR 10.1.7. er vist effekten af varierende sedimentrespiration. Det ses, at sedimentet spiller ret betydningsfuldt ind. Dog vil bortfald af sedimentrespirationen ikke forbedre iltforholdene i tilstrækkeligt omfang. På FIGUR 10.1.8 er vist effekten af variation på sedimentrespirationen kombineret med 2 forskellige makrofytbiomasser. Såvel den høje, som den lave makrofytbiomasse giver resultater med ringe iltforhold ved øgning af sedimentrespirationen. Effekten er dog kraftigst ved fuld makrofytbiomasse (uforstyrret grødevækst). Her vil man



FIGUR 10.1.7.

Iltkurver med variation af sedimentrespiration, 6.8.1975.

Fuldt optrukket er observeret forløb på MAR 602.

Stiplet er med halvering af sedimentrespirationen.

Punkteret er med bortfald af sedimentrespirationen.

Stiplet, punkteret er med sedimentrespiration som målt i Vejle å.

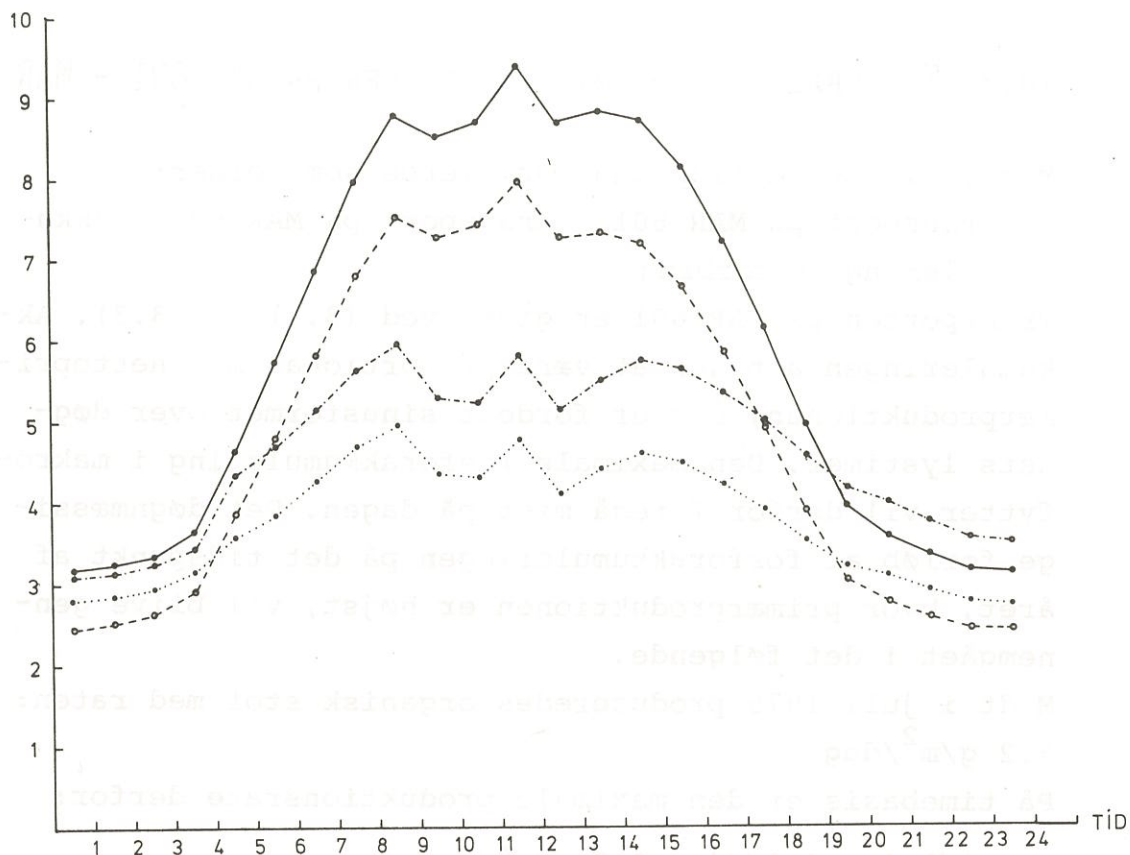
se, at situationen i de mørke timer bliver særdeles kritisk, idet så lave værdier som 2.4 ppm opnås.

EFFEKTEN AF GRØDESLÅNING.

Den 11.7., 12.7., 5.8. og 6.8.1975 er 3 forskellige situationer simuleret:

1. De aktuelle forhold.
2. Fuld grødevækst, grøden ikke slået.
3. Total slåning af grøden.

Ved grødeslagningen har der måttet gøres nogle simplificerende antagelser. I mangel af direkte observationer er det antaget, at gennemsnitsdybden halveres, gennemsnitsstrømhastigheden fordobles, og transporttiden mellem MAR 601 og MAR 602 halveres. Sedimentrespirationen er antaget lig med værdier for sandbund, som målt i Salten å. Resultaterne af simuleringerne er vist på FIGURERNE 10.1.2., 10.1.3., 10.1.4., 10.1.5. og 10.1.6.



FIGUR 10.1.8.

Iltkurver med variation af sedimentrespiration kombineret med variation af makrofytbiomassen.

Fuldt optrukket er uforstyrret grødevækst og sedimentrespiration som målt.

Stiplet er uforstyrret grødevækst med sedimentrespiration, som målt i Vejle å.

Punkteret, stiplet er aktuel makrofytbiomasse og aktuel sedimentrespiration.

Punkteret er aktuel makrofytbiomasse med sedimentrespiration som målt i Vejle å.

Fuld grødevækst giver som ventet store døgnamplituder, med natverdier, som er kritiske for iltkrævende fiskearter som Salmo trutta, Salmo gairdneri og Thymallus thymallus. Grødeslåning forbedrer derimod iltforsyningen. Om end det ikke kan anses for fuldt tilfredsstillende, er der dog tale om en markant forbedring, idet helt lave iltkoncentrationer ikke optræder og døgnamplituden er næsten helt elimineret.

10.2. MASSEBALANCE FOR NÆRINGSSTOFFER PÅ MAR 601 - MAR 602.

Massebalancemodellen kan formuleres som følger:

$$\text{Transport på MAR 601} - \text{transport på MAR 602} = \text{akkumulering} + \text{forbrug}$$

Transporten på MAR 601 er givet ved (3.1) og (3.3). Akkumuleringen antages at være proportional med nettoprimærproduktionen, der er fordelt sinusformet over døgnets lystimer. Den maximale fosforakkumulering i makrofyter vil derfor foregå midt på dagen. Det døgnmæssige forløb af fosforakkumuleringen på det tidspunkt af året, hvor primærproduktionen er højst, vil blive gennemgået i det følgende.

Midt i juli 1975 produceredes organisk stof med raten:
 $3.2 \text{ g/m}^2/\text{dag}$

På timebasis er den maximale produktionsrate derfor:

$$\pi/1.4 \cdot 3.2/24 = 0.3 \text{ g/m}^2/\text{h}$$

Den maximale fosforakkumulering er da $0.0006 \text{ g P/m}^2/\text{h}$.

For strækningen MAR 601 - MAR 602, som har et areal på ca. 3750 m^2 og hvorigennem transporttiden er 2 timer, bliver den maximale fosforakkumulering:

$$0.0006 \cdot 750 \cdot 5 \cdot 2 = 4.5 \text{ g P}$$

hvilket i procent af totaltransporten bliver:

$$500 \text{ l/sec} \cdot 100 \text{ } \mu\text{g/l} \cdot 3600 \text{ sec/h} \cdot 2 \text{ h} = 360 \text{ g P}$$

derfor i procent:

$$4.5 \text{ g P}/360 \text{ g P} \cdot 100 = 1.25\%$$

Et budget for et døgn vil således give:

	P (MAR 601) μg/l	P (MAR 602) μg/l	Svind %
Solopgang	100	100	0
Kl. 8	100	99.2	0.8
Kl. 12	100	98.9	1.12
Kl. 16	100	99.2	0.8
Solnedgang	100	100	0

Det ses således, at makrofytternes indflydelse på næringsstoftransporten, selv på et tidspunkt, hvor transporten er i minimum og optagelsen er maximal, er ringe. Den almindelige måleusikkerhed vil umuliggøre en detek-

tion af en så ringe reduktion.

10.3. MASSEBALANCE FOR ORGANISK STOF PÅ MAR 601 - MAR 602.

I dette afsnit vil det blive forsøgt at opgøre, hvorledes det organiske stof omsættes i åen. De beregnede størrelser er angivet i TABEL 10.3.1.

Periode	T ₆₀₁ - T ₆₀₂	Simulie- consumption	Sediment- respiration	BOD	Balance	Sediment- tilvækst
		kg	organisk stof/dag			cm
15.5.- 15.7.						
maj	40	32	6.0	1.8	0	0
juni	70	32	4.2	3.7	30	0.13
juli	60	32	3.2	4.5	20	0.21
1.7.- 25.8.						
juli	60	12	3.2	4.6	40	0.53
august	60	12	2.8	4.6	41	
25.8.- 1.10.						
august	60	11	2.8	4.6	42	
september	60	11	2.9	3.5	43	0.72
oktober	60	11	2.9	3.5	43	0.91

TABEL 10.3.1.

Massebalance for organisk stof for strækningen MAR 601 - MAR 602. Alle størrelser er omregnet til organisk stof ud fra iltækvivalenter.

I første kolonne er angivet differencen mellem transporten på MAR 601 og transporten på MAR 602. Anden kolonne angiver simuliepopulationens konsumtion, tredje kolonne sedimentrespirationen, 4. kolonne den aerobe omsætning fra BOD og 5. kolonne viser balancen, idet kolonnerne 2, 3 og 4 viser forbruget og 1. kolonne, hvad der er tilbageholdt. Balancen er differencen mellem tilbageholdt mængde og diverse forbrug. Den ikke omsatte mængde, balancen, må sedimenteres. I sidste kolonne er angivet den derved forårsagede sedimenttilvækst, kumuleret. Beregningen er foretaget på samme måde som beregningen i KAPITEL 6. Sedimenttilvæksten er her udregnet alene som bidrag fra balancen. Som nævnt i KAPITEL 6 assimileres kun 10% af simulierne

konsumtion, hvilket betyder at 90% af denne er egestion og derfor også antages at bidrage til sedimenttilvæksten, se TABEL 6.2.2., således at den samlede sedimenttilvækst i oktober vil andrage ca. 1.4 cm, svarende til at der i alt gennem vækstsæsonen er sedimenteret 9.8 tons organisk stof på strækningen MAR 601 - MAR 602. I tidsrummet maj 1974 - maj 1975 omsættes der:

$$\begin{aligned} \text{Sediment: Summen af sedimentrespirationen gennem} \\ \text{året} \\ &= 30(6.0+4.2+3.2+2.8+2.9+2.9+2.9+1.6+1.6+1.6 \\ &\quad +6.0) \\ &= 1.25 \text{ tons organisk stof /år} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD: Summen af BOD gennem året} \\ &= 30(0.77+0.77+1.91+1.95+1.45+0.30+0.30+0.30 \\ &\quad +0.30+0.30+0.77) \\ &= 0.32 \text{ ton organisk stof/år} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Assimilation fra simuli populationen:} \\ \text{Summen af de 4 generationer} \\ &= 0.1 \cdot 30(32+32+32/2) + 0.1 \cdot 210(0.4 \cdot 5 \cdot 750) \\ &= 0.37 \text{ tons organisk stof/år} \end{aligned}$$

$$\text{I alt} = 1.94 \text{ tons organisk stof/år}$$

I samme tidsrum transporteres på MAR 600, 31.8 tons organisk stof, på MAR 601 58.5 tons organisk stof og på MAR 602 48.9 tons organisk stof. Ved dambrugets mellemkomst tilføres vandløbet $58.5 - 31.8 = 26.7$ tons organisk stof/år. Transportdifferencen mellem MAR 602 og MAR 601 er, $58.5 - 48.9 = 9.6$ tons organisk stof/år. På strækningen MAR 601 - MAR 602 tilbageholdes ca. 10 tons organisk stof/år. Af denne mængde omsættes ca. 2 tons ved aerob respiration. Størrelsen af den anaerobe respiration kendes ikke.

Hvis der ikke skal ske en stadig akkumulering må der derfor fjernes 8 tons organisk stof pr. år ad anden vej. Som omtalt i KAPITEL 5 sker der i sommermånederne en akkumulering af sediment, hvilket også demonstreres af nivelleringerne. Situationen, som den er udtrykt ved nivelleringen 30.3.1974, hvor der kun er meget små

slamforekomster oven på stenbunden, har været den samme i både 1973, 1975 og 1976, hvilket altså betyder, at de oven på den faste bund akkumulerede slammængder udskylles i løbet af vinteren og det tidlige forår. Fjernelsen af det akkumulerede materiale må altså foregå som "bed-load"-transport eftersom målingerne på vandfasen indicerer en akkumulering.

10.4. KONKLUSION.

ILTMODEL OG SIMULERINGER.

Simuleringerne giver som resultat:

1. Effekten af foderspildet er af underordnet betydning, da det forekommer på et tidspunkt af døgnet, hvor iltkoncentrationerne er høje.
2. En reduktion af sedimentrespirationen alene er utilstrækkelig til en tilfredsstillende bedring af iltforholdene.
3. Grødeslåning bedrer iltforholdene betydeligt, idet de lave natværdier elimineres.

Hvis iltforholdene på MAR 601 kunne bedres, f.ex. ved beluftning af dammene, vil iltforholdene i recipienten kunne forbedres betydeligt. Dette er ikke gennemregnet, men er umiddelbart indlysende. Specielt i forbindelse med en reduktion af makrofytbiomassen vil et sådant indgreb være virkningsfuldt.

Ved nærværende undersøgelse af iltforholdene i Matstrup å er det således ikke muligt, at påvise en direkte sammenhæng mellem dambrugets direkte målelige effekt på recipienten og de observerede iltforhold.

Disse konklusioner gælder naturligvis kun for den betragtede vandløbsstrækning. For en længere vandløbsstrækning (f.ex. 10 km) vil initialværdierne for ilt på MAR 601 være af mindre betydning, medens vandløbets egne processer (f.ex. sedimentrespirationen) vil bestemme iltkurvens døgnforløb. Dette skyldes at iltændringerne i en vandmæssig på én time ikke er større end at startværdierne på MAR 601 har stor indflydelse på

iltværdierne på MAR 602, da iltændringerne i løbet af transporttiden fra MAR 601 til MAR 602 er relativt små.

MASSEBALANCER FOR ORGANISK STOF OG NÆRINGSSTOFFER.

Der er opstillet simple massebalancer for næringsstoffer og organisk stof. Massebalancen for organisk stof viser, at dambruget tilfører ca. 27 tons/år, hvoraf ca. 10 tons tilbageholdes på strækningen MAR 601 - MAR 602. Af disse 10 tons omsættes ca. 2 tons aerobt på strækningen. Under antagelse af jævn sedimentation over strækningen gennem sommerhalvåret, vil de sidste 8 tons organisk stof foranledige en sedimenttilvækst på ca. 1.5 cm. Dette pålejrede sedimentlag udskylles gennem vinter- og forårsperioden. Den selvrensning vandet har undergået fra MAR 601 til MAR 602 er altså kun i mindre grad udtryk for en metabolisk omsætning af det tilførte organiske stof. Med andre ord har åen ikke kunnet omsætte den tilførte mængde organisk stof, som derfor må transporteres videre ud gennem systemet med en vis tidsforsinkelse. Foruden det fra dambruget tilførte materiale, allochtont materiale, tilføres også organisk stof, som produceres på stedet, autochtont materiale. På årsbasis drejer dette sig om ca. 0.5 tons organisk stof.

11. ØKOLOGISKE ASPEKTER AF DAMBRUGSDRIFT OG RECIPIENTFORHOLD.

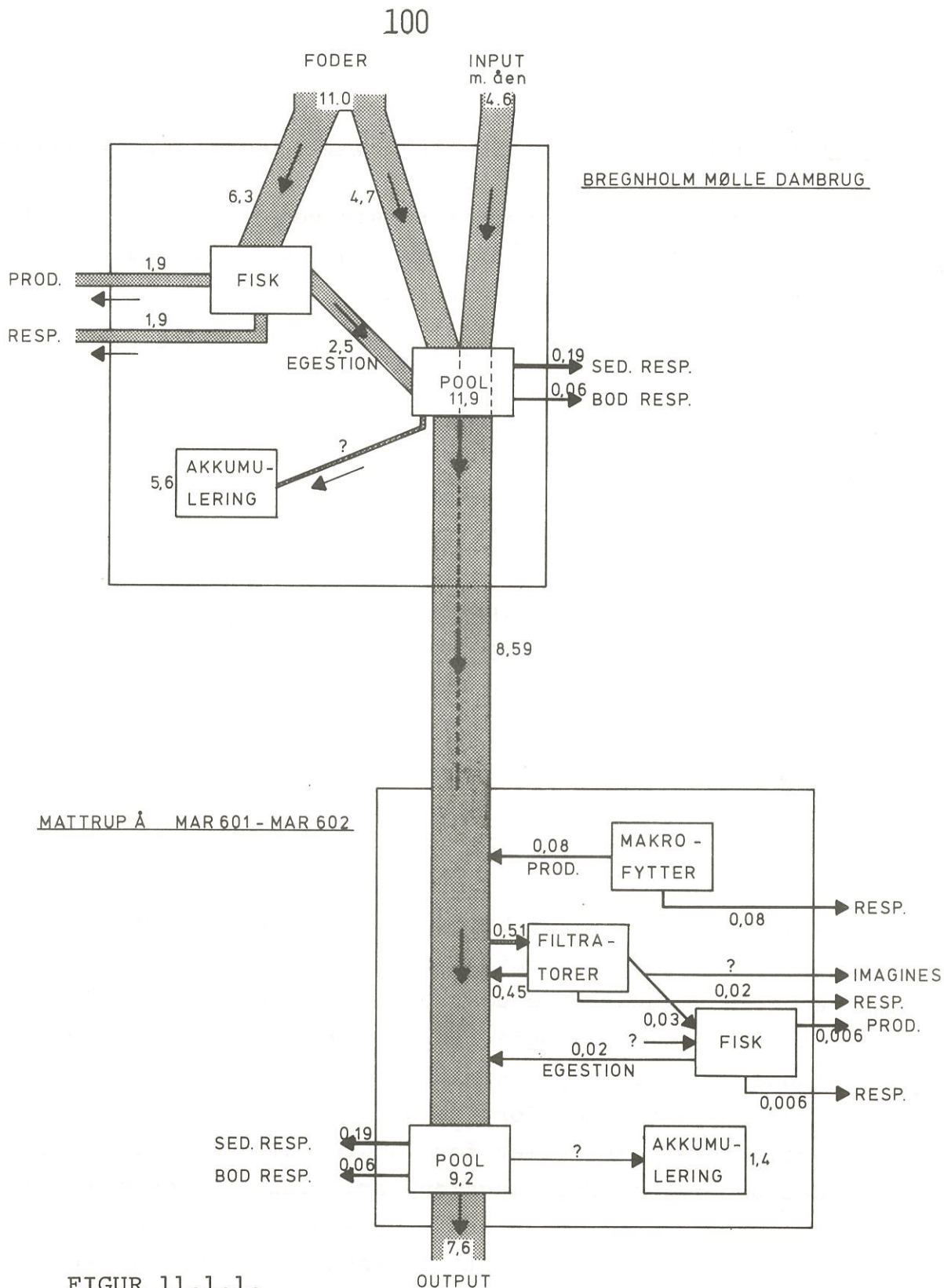
Et vandløbssystem undergår på sin vej fra udspring til havet en række ændringer, som kan indpasses i et generelt økologisk udviklingsmønster:

1. Forudsat vandløbssystemet ikke er udsat for voldsomme påvirkninger vil der gælde, at artsdiversiteten for såvel planter som dyr stiger nedstrøms.
2. P/R ratioen (primærproduktion/respiration) vil være stigende nedstrøms, indtil dybden og materialetransporten forringer lysnedtrængningen så meget, at primærproduktionen hæmmes.
3. Mængden af transporteret materiale (f.ex. suspenderet organisk stof) stiger nedstrøms.

I økologiske termer, taler man om at udviklingsmønstret, som det ovenfor er skitseret, beskriver en udvikling fra et ungt (juvenilt) økosystem mod et mere modent. Hermed menes at systemet øger sin kompleksitet. Det skal her fremhæves at øget kompleksitet medfører øget stabilitet (f.ex. stabile populationsparametre) så længe miljøet er stabilt. I modsat fald forringes evnen til at absorbere udefra kommende påvirkninger. Erfaringen viser da også, at vandløb med rig flora og fauna reagerer meget kraftigt på indgreb som vandløbsvedligeholdelse og forurening.

Ved forskellige former for indgreb kan man let ændre det generelle udviklingsmønster. F.ex. vil en kraftig tilførsel af organisk stof ændre den økologiske struktur radikalt, således at økosystemet vil bevæge sig mod et mere juvenilt stade.

Som et eksempel på en sådan ændring vil vi se på Mattrup å neden for Bregnholm Mølle, hvor dambrugsdriften er en betydelig faktor i en økologisk vurdering. På FIGUR 11.1.1. er vist energiflows på årsbasis for 1 m^2 dambrug og for 1 m^2 vandløbsstrækning.



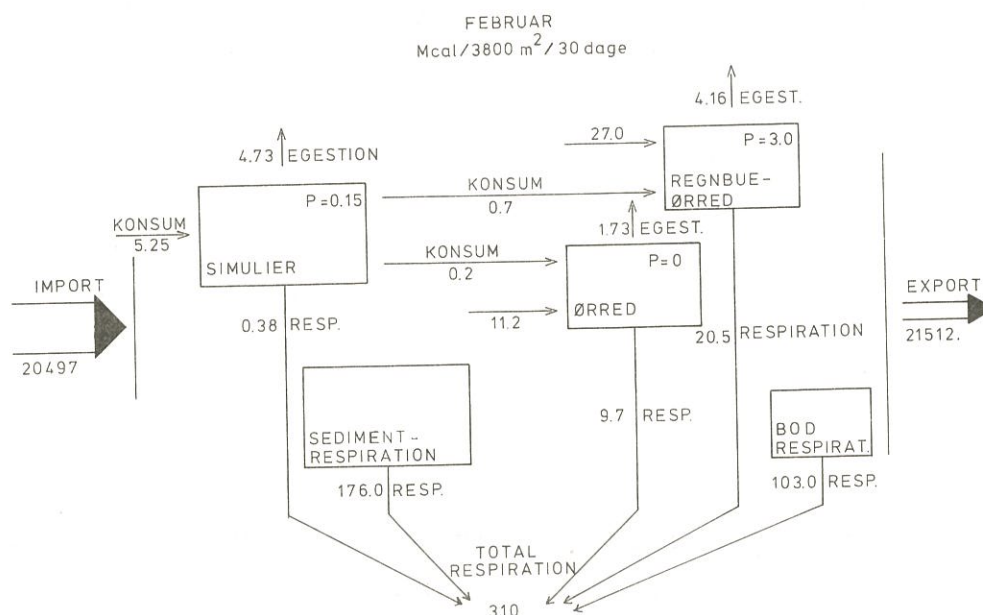
FIGUR 11.1.1.

Energiflows på årsbasis for 1 m^2 dambrug og 1 m^2 vandløb. Enheden er $10000 \text{ kcal/m}^2/\text{år}$. For hver konsumentpopulation er angivet konsumtion, produktion, respiration og egestion. De tre første størrelser fragår åens transport, medens den sidste (fækalier) tilføres. Pool omfatter frit organisk stof i sediment og vandfase. Differencen mellem tilførende og fraførende processer giver en balance, som er benævnt akkumulering. Denne er midlertidig.

11.1. ENERGIFLOWS FOR DAMBRUGET OG MAR 601 - MAR 602.

Et dambrug er et system, som drives med det formål, at maximere en indtjening ved produktion af en enkelt dyreart (her: Salmo gairdneri). For at opnå dette skal systemet være så simpelt som muligt. Det vil sige korte fødekæder, bekæmpelse af prædatorer og konkurrenter og kontrol med miljøet. En sådan strategi forudsætter et højt energiinput til styring samt energi i form af foder. Disse størrelser er vist på FIGUR 11.1.1.. Det er velkendt at et dambrug kræver omhyggelig pasning, da det er et meget ustabil system. Til trods for styringen spildes en ikke ubetydelig del af fodertilførslen. Spildet akkumuleres delvist i dambruget, idet den aerobe omsætning i sediment og vand kun kan omsætte en ringe del af spildet, og store mængder (ca. 35%) transporteres ud i recipienten. Stoftabet fra dambruget er af samme størrelse som recipientens naturlige transport. Dette betyder dog ikke at disse størrelser er ækvivalente, idet det organiske stof i recipienten består af detritus og levende organismer, medens tabet fra dambruget i alt væsentligt er dødt organisk stof, rigt på protein og fedt.

Det mest markante ved en sammenligning mellem 1 m² vandløb og 1 m² dambrug er at kun en ganske ringe del af det betydelige energiinput til recipienten kanaliseres over i levende organismer, og heraf kun en forsvindende del over i fisk. En del af forklaringen er, at spildet består af små foderpartikler, som fiskene ikke kan opfange. Derfor må energien først kanaliseres gennem invertebratpopulationen med deraf følgende energetisk spild. Desuden omsættes en del mikrobielt i vandfasen og sedimentet. I åen produceres organisk stof af de grønne planter. Det ses dog at denne produktion kvantitativt er af meget ringe betydning med sammenligningsgrundlag i de totalt involverede mængder.



FIGUR 11.2.1.

Energiflows for MAR 601 - MAR 602. Februar 1974.

C = konsumtion, E = egestion, R = respiration

P = produktion.

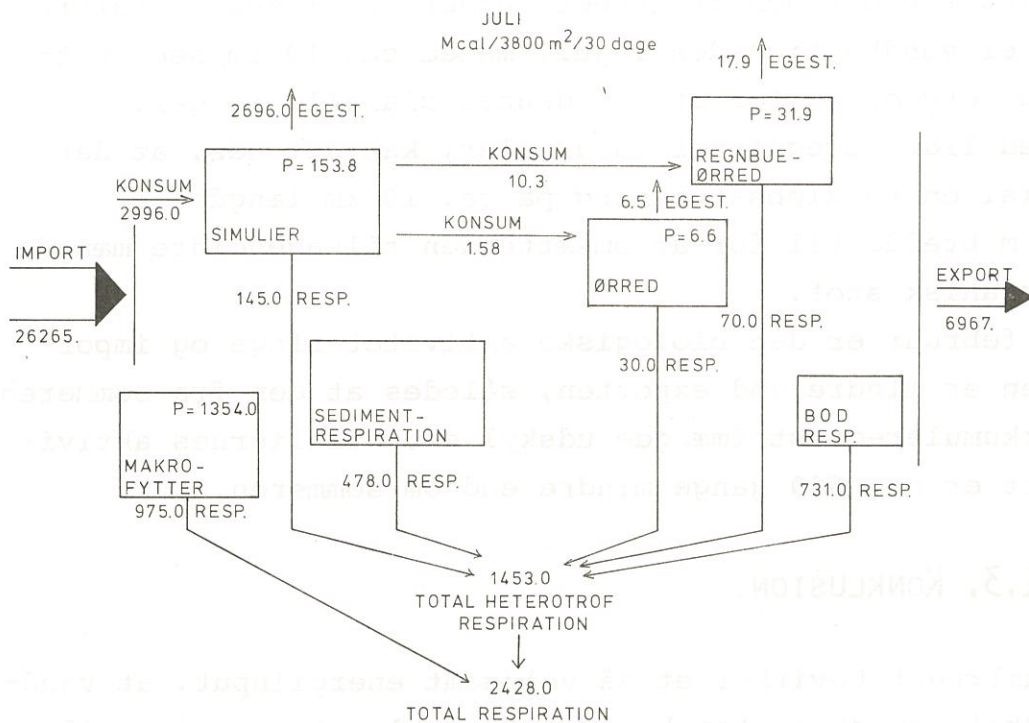
En pil til en kasse betyder, at energien optages.

En pil ud fra en kasse betyder at energien tabes.

11.2. ENERGIFLOWS FOR MAR 601 - MAR 602.

På FIGUR 11.1.1. vist en totalbalance for et år. Imidlertid forholder de involverede processer sig vidt forskelligt på forskellige tidspunkter af året. På FIGUR 11.2.1. og FIGUR 11.2.2. er vist månedsenergibudgetter for extreme situationer, juli måned, hvor de biologiske processer foregår med størst intensitet og februar, hvor der er lavest mulig aktivitet i vandløbet. Forskellen mellem de to figurer kan opsummeres således:

Den heterotrofe aerobe omsætning er i juli 1454 MKcal mod 310 MKcal i februar. Omsætningen er altså ca. 5 gange så stor i juli, som i februar. Dette er tildels en temperatureffekt, idet de biologiske processer vil



FIGUR 11.2.2.

Energiflows for MAR 601 - MAR 602. Juli 1974.

Figurforklaring som for foregående figur.

forløbe ca. 2.8 gange så hurtigt ved julitemperaturen som ved februartemperaturen. Den anden del af forklaringen er sedimentberigelsen og højere BOD-belastning. Importen er i juli større end exporten. Dette skyldes ikke nedbrydning af det organiske stof, idet kun 8% metaboliseres. Resten tilbageholdes i form af sediment ligesom noget inkorporeres i levende organismer som produktion, der eventuelt kan fjernes fra økosystemet (f.ex. lystfiskeri, udvandring af fisk og udflyvning af simulier) eller metaboliseres videre ved at blive ædt eller ved at blive nedbrudt af mikroorganismer. Det ses endvidere at simulierne konsumtion, 2.99 Mcal udgør ca. 16% af den tilbageholdte mængde og ca. 11% af importen. Respirationen udgør kun 145 Mcal og produktionen 154 Mcal, så 80% udskilles igen som fækalier.

I følge KLEIN (1962) dannes der organiske slamaflej-

ringer ved vandhastigheder under 20 cm/sec. I Matstrup å er vandhastigheden i juli måned ca. 10 cm/sec. Dette betyder derfor at der dannes slamaflejringer. Ved lidt beregninger på arealer, kan det ses, at der skal en vandløbsstrækning på ca. 10 km længde og 5 m bredde til for at omsætte den tilbageholdte mængde organisk stof.

I februar er den biologiske aktivitet ringe og importen er mindre end exporten, således at den fra sommeren akkumulerede stofmængde udskylles. Simuliernes aktivitet er ca. 600 gange mindre end om sommeren.

11.3. KONKLUSION.

Dambruget bevirker et så voldsomt energiinput, at vandløbet som økosystem betragtet er blevet mere juvenilt. Dette ses af kraftigt fald i diversitet og opblomstring af arter med høj produktion (f.ex. simulier, chironomider og mikroorganismer). Homogenisering af substratet til en blødbund favoriserer nogle få plantearter. Systemet er altså blevet højproduktivt med et højt iltforbrug/energiforbrug til denne produktion. Dette iagtages specielt for salmonider, hvor vandløbenes normale $12-15 \text{ g/m}^2/\text{år}$ er øget til en produktion på $40 \text{ g/m}^2/\text{år}$. Disse i og for sig ønskværdige ændringer modvirkes nedstrøms af en væsentlig forringelse af miljøets aerobe kapacitet, og dambrugets uheldige effekter træder så tydeligt frem.

I det aktuelle tilfælde, Matstrup å fra MAR 601 til MAR 602, er den tilførte mængde organiske stof så stor, at der vil medgå en ca. 10 km lang vandløbsstrækning til en total omsætning i sommermånederne. I vintertiden fjernes organisk stof ved transport med vandet.

12. STATIONSBEKRIVELSER.

12.1. MATTRUP Å.

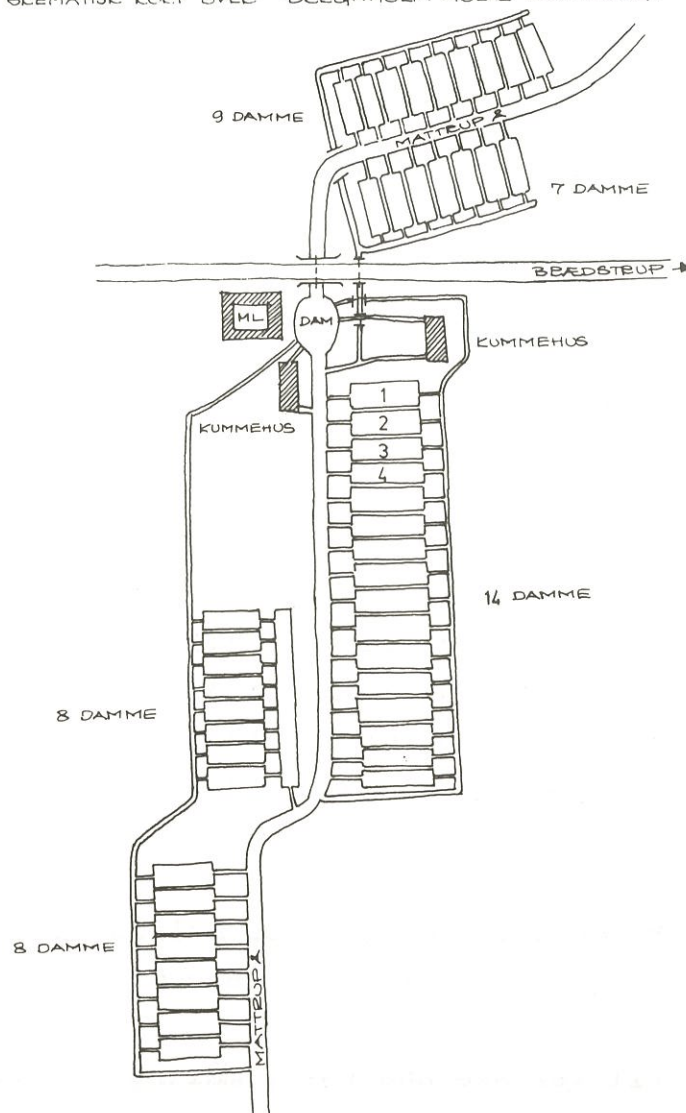
MAR 600: Bregnholm Mølle Dambrug. Stationen er beliggende umiddelbart oven for dambruget, i fødekanalen. Stationen er udelukkende anvendt til udtagning af prøver til kemiske analyser.

MAR 601: Stationen er placeret 50 m neden for dambrugs udløb, og dermed inde på det på FIGUR 5.2.1. viste undersøgelsesfelt. Stationen/prøvefeltet er anvendt til intensive undersøgelser, og har fungeret som hovedstation. Mattrup å er på dette sted 4.0-5.5 m bred og 0.25 - 1.0 m dyb. Årstidvariationen på dybden skyldes en meget kraftig submers vegetation. Der er stenbund. Dog er stenbunden kun fremme om vinteren, idet der resten af året forekommer varierende mængder slam, der om sommeren helt kan dække bunden i et tykt lag. Der er ingen vegetation af træer langs bredden. Strømshastigheden varierer fra ca. 50 cm/sec om vinterforår til 10-15 cm/sec om sommeren. Der findes på stationen en righoldig flora og fauna, som det fremgår af TABEL 12.1.1.. Forureningsgraden er II - III.

MAR 602: Madesvad. Stationen er beliggende ca. 800 m neden for udløbet fra Bregnholm Mølle dambrug. Stationen er anvendt til udtagning af prøver til kemiske analyser, måling af sedimentrespiration, ilt, temperatur og lys m.m. Bredden er 3.5 m - 5.0 m og dybden varierer mellem 0.5 m og 1.5 m. Bundens består af sand. I sommerperioden optræder store slamdannelser. Der er ingen vegetation af træer langs bredden. Den submerse vegetation er kraftig og består

væsentligst af Børstebladet vandaks (Potamogeton pectinatus). Yderligere forekommer Enkelt pindsvineknop (Sparganium simplex) og Vandstjerne (Callitriche stagnalis). Faunaen er forholdsvis righoldig og forureningsgraden er II. Både på MAR 601 og MAR 602 kan Mattrup å karakteriseres som øvre å.

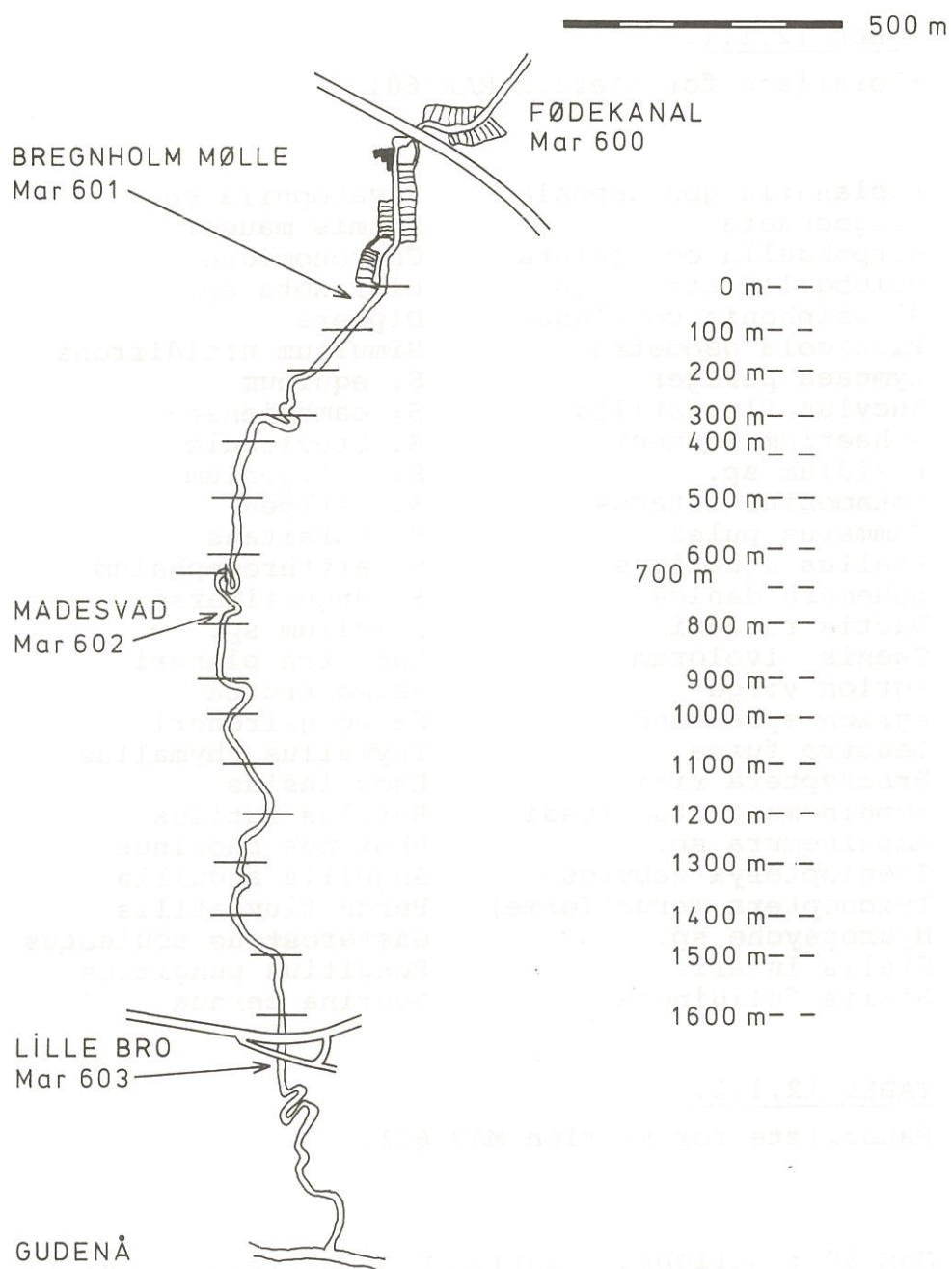
SKEMATISK KORT OVER BREGNHOLM MØLLE DAMBRUG.



FIGUR 12.1.1.

Skematisk kort over Bregnholm Mølle dambrug. Som det fremgår bruges åen på den øverste del af dambruget som fødekanal, medens den på den nederste del bruges som bagkanal (uden fisk).

MATTRUP Å 1: 9116

**FIGUR 12.1.2.**

Matstrup å på strækningen MAR 601 til MAR 602.

<i>Cladophora fracta</i>	<i>Potamogeton alpinus</i>
<i>Fontinalis antipyretica</i>	<i>Elodea canadense</i>
<i>Glyceria maxima</i>	<i>Batrachium fluitans</i>
<i>Sparganium simplex</i>	<i>Callitriche stagnalis</i>
<i>Potamogeton pectinatus</i>	<i>Batrachium aquatile</i>
<i>Potamogeton crispus</i>	

TABEL 12.1.1.

Floraliste for station MAR 601.

<i>Euplanaria gonocephala</i>	<i>Rhyacophila</i> sp.
<i>Oligochaeta</i>	<i>Helmis maugei</i>
<i>Herpobdella octoculata</i>	Chironomidae
<i>Helobdella stagnalis</i>	<i>Dicranota</i> sp.
<i>Glossiphonia complanata</i>	Diptera
<i>Piscicola geometra</i>	<i>Simulium nitidifrons</i>
<i>Lymnaea pereger</i>	<i>S. equinum</i>
<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>S. cambriense</i>
<i>Sphaerium corneum</i>	<i>S. brevicaulis</i>
<i>Pisidium</i> sp.	<i>S. latigonium</i>
<i>Potamobius astacus</i>	<i>S. latipes</i>
<i>Gammarus pulex</i>	<i>S. morsitans</i>
<i>Asellus aquaticus</i>	<i>S. erythrocephalum</i>
<i>Ephemera danica</i>	<i>S. angustitarse</i>
<i>Baëtis rhodani</i>	<i>Simulium</i> sp.
<i>Caenis rivolorum</i>	<i>Lampetra planeri</i>
<i>Agrion virgo</i>	<i>Salmo trutta</i>
<i>Agrion splendens</i>	<i>Salmo gairdneri</i>
<i>Leuctra fusca</i>	<i>Thymallus thymallus</i>
<i>Brachyptera risi</i>	<i>Esox lusius</i>
<i>Amphinemura standfussi</i>	<i>Rutilus rutilus</i>
<i>Amphinemura</i> sp.	<i>Phoxinus phoxinus</i>
<i>Taeniopteryx nebulosa</i>	<i>Anguilla anguilla</i>
<i>Trichoptera</i> (eruciforme)	<i>Perca fluviatilis</i>
<i>Hydropsyche</i> sp.	<i>Gasterosteus aculeatus</i>
<i>Sialis lutaria</i>	<i>Pungitius pungitius</i>
<i>Sialis fuliginosa</i>	<i>Acerina cernua</i>

TABEL 12.1.2.

Faunaliste for station MAR 601.

MAR 603: Lillebro. Stationen er beliggende ca. 1675 m neden for udløbet fra Bregnholm Mølle dambrug, umiddelbart oven for den gamle vejbro. Denne station er anvendt til udtagning af vandprøver til kemisk analyse, måling af ilt, temperatur og sedimentrespiration. Åens bredde er 5.0 - 6.5 m og dybden varierer mellem 0.25 m

og 1.0 m. Bunden består af sand med små sten partier. Der sker begrænsede slamaflejringer i løbet af sommeren. Broen spiller her en betydelig rolle, idet den er beliggende oven for stationen og hindrer submers vegetation på en 30-35 m strækning, således at strømhastigheden på stationen er rask, 30-50 cm/sec, hvilket betyder god transportevne. På stationen er der ingen skygning fra bredvegetation. Der er forholdsvis kraftig submers vegetation. Forureningsgraden er II. Mattруп å må på denne station karakteriseres som øvre å.

MAR 604: Bregnholm Mølle dambrug. Afløbet fra dam nr. 5 på den del af dambruget, som ligger nedstrøms landevejen. Stationen er udelukkende anvendt til udtagning af vandprøver.

12.2. FUNDER Å.

Skærskov dambrug er beliggende ved den øvre del af Funder å, ved broen, hvor Silkeborg - Herning vejen skærer åen. Dambruget modtager udelukkende vand fra Funder å. Denne er på dette sted stort set upåvirket af spildevand, idet der kun tilføres ringe mængder delvis renset spildevand fra et sommerhusområde om sommeren. Der er en del okker i vandet.

FUD 610: Skærskov dambrug. Stationen er beliggende i dambrugets fødekanal, som modtager hele åens vandføring. Stationen er anvendt til udtagelse af vandprøver til kemisk analyse. Åens bredde er ca. 3.5 m og dybden ca. 0.5 m. Bunden består af sand, farvet rødt af okker. På grund af skygning fra trævegetationen langs bredden er der næsten ingen submers vegetation. Strømhastigheden er meget ringe, da åen er opstemmet for vandindtag til dammene.

FUD 611: Stationen er beliggende ca. 100 m neden for dambrugets udløb, neden for opblandingszonen. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver til kemisk analyse, måling af sedimentrespiration, ilt og temperatur. Åen er ca. 3 m bred og 0.5 - 0.75 m dyb. Strømhastigheden er ikke særlig høj. Der sker en del slamaflejringer, ofte 20 - 40 cm tykke, i løbet af sommeren. Der er nogen vegetation langs bredden i form af pile- og ellekrat. Den submerse vegetation består væsentligst af Enkelt pindsvineknop og Potamogeton sp. Den submerse vegetation er fordelt i småøer, hvoraf følger en del variation på dybden. Vandet er okkerfarvet. Forureningsgraden er II. Åen kan karakteriseres som nedre bæk.

FUD 612: Stationen er beliggende ca. 350 m neden for dambrugets udløb. Den er anvendt til udtagning af vandprøver samt til måling af sedimentrespiration. I øvrigt svarer stationen til FUD 611.

FUD 613: Stationen er beliggende ca. 600 m neden for dambrugets udløb. Stationen er anvendt som og svarer fysisk til FUD 611 og 612.

FUD 614: Stationen er beliggende ca. 900 m neden for dambrugets udløb og svarer i øvrigt til de ovenfor liggende stationer.

Funder Fiskeri A/S. Dette dambrug er beliggende ved Funder å, hvor vejen fra Funder St. mod Løgager Gd. skærer åen.

FUD 633: Denne station er beliggende i Funder å oven for opstemningen før dambruget. Åen er her ca. 4 m bred og ca. 0.5 m dyb. Stationen er udelukkende anvendt til udtagning af vandprø-

ver. Bundforholdene er meget afvekslende, med sten, grus og sand. På rolige steder ligger en del slam. Langs bredden er der ellekrat. Derfor er den submerse vegetation sparsom med Enkelt pindsvineknop, Potamogeton sp. og vandstjerne.

FUD 634: Stationen er beliggende i åen ca. 50 m neden for dambruget. Her løber kun ca. 50% af åens vandføring, medens resten via rørsystem føres til et nedenfor liggende dambrug. Denne station er udelukkende anvendt til udtagning af vandprøver. Vandet er som regel grumset af foderrester. Bunden består af sten, som er kraftigt overgroet af mikroorganismer. Strømmen er meget rask. Bredden er ca. 2.5 m og dybden er 0.3-0.6 m.

Kalpendal dambrug. Dette dambrug er beliggende ved Kalpendal bæk, hvor denne løber til Funder å. Dambruget tager vand både fra bækken og fra Funder å. Ovenfor ligger ved Kalpendal bæk 2 små dambrug. Ved Funder å ligger 2 dambrug ovenfor.

FUD 645: Stationen er beliggende i Kalpendal bæk ovenfor dambruget. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver. Bækken er her 1.5 m bred og 0.25 -0.4 m dyb. Bækken er noget reguleret. Der er okkerforekomster. Vandtemperaturen når aldrig over 15°C. Bunden består af sten og grus. Der er submers vegetation af Vandstjerne, Batrachium sp. og Batrachospermum sp. Faunaen er artsrig.

FUD 646: Stationen er beliggende i Kalpendal bæk umiddelbart neden for dambruget. De fysiske og biologiske forhold svarer stort set til forholdene på FUD 645. Afløbsforholdene fra dam-

bruget er temmeligt indviklede, idet en del af dambrugets afløb går direkte i Funder å.

12.3. BJERGS KOV BÆK.

Yding dambrug er som eneste forureningskilde beliggende ved bækken.

BSK 640: Stationen er beliggende i den arm af bækken, som kommer fra åbent terræn. Strømmen er rask og bunden består af sten med sandpartier. Der er ingen submers vegetation. Faunaen er særdeles rig med bl.a. *Ephemera danica*, *Centropetium luteolum*, *Brachyptera risi*, *Amphinemura standfussi*, *Nemoura cinerea*, *Nemoura flexuosa*, *Leuctra fusca*, *Leuctra nigra*, *Isoperla grammica*, *Euplanaria gonocephala* med flere.

BSK 641: Stationen er beliggende i den arm af bækken, der kommer fra skoven oven for dambruget. Bækken er fysisk og biologisk svarende til BSK 640. Begge stationer er anvendt til udtagning af vandprøver. Vandføringen anvendes 100%.

BSK 642: Stationen er beliggende i bækken neden for dambruget. Bækken er her ca. 1.0 m bred og ca. 0.25 m dyb. Bunden består af sten og grus. Der er vegetation af ellekrat langs bredden. Der findes nogen vegetation i bækken af *Sium erectum*. Faunaen er rig. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver.

12.4. SALTEN Å.

Ansø Fiskeri er beliggende øverst ved Salten å, ved Vråds. Bortset fra et meget lille dambrug ved Sillerup væld, modtager åen ikke spildevand, hvorfor parameterværdierne i indløbsvandet til Ansø Fiskeri er temmelig konstante. Der er okker i vandet.

SAT 630: Stationen er beliggende i Salten å ved opstemningen før indløbet i dambrugets fødekanal. Stationen er udelukkende anvendt til indsamling af vandprøver til kemisk analyse. Bunden består af sand. Åens bredde er ca. 4 m og dybden 0.5 - 0.7 m. På højre bred findes egekrat. Der er stort set ingen submers vegetation.

SAT 631: En del af dambruget har afløb direkte til åen. Den resterende vandmængde fra dambruget løber i en bæk, som fører afløbsvand fra to andre dambrug, Bøgelund Fiskeri og Vråds Fiskeri. Denne bæk løber til Salten å umiddelbart neden for Ansø Fiskeri. Stationen er beliggende i Salten å før bækken støder til. Stationen er udelukkende anvendt til udtagning af vandprøver. Bredden er 2.5 - 3.0 m og dybden 0.5 m. Strømmen er rask og bunden består af sand og grus.

SAT 632: Denne station er beliggende i bagkanalen fra den resterende del af dambruget, før bagkanalen løber i den ovenfor omtalte bæk. Bredden er ca. 1 m og dybden 0.75 m. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver. Der findes kun ringe submers vegetation.

Katrinedal Dambrug. Dambruget er beliggende, hvor Silkeborg - Nørre Snede vejen skærer Salten å. Inden Salten å når Katrinedal, har den modtaget spildevand fra 6 -7 dambrug.

SAT 643: Stationen er beliggende i Salten å umiddelbart oven for dambruget. Åen er her opstemmet og anvendes som fødekanal. Åen er reguleret og kanalagtig. Bredden er 6 - 7 m og dybden er over 1 m. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver. Bunden består af slam og sand.

Der findes ingen submers vegetation. Langs bredden findes kraftig vegetation af el og birk m.m.

SAT 644: Denne station er beliggende ca. 200 m neden for Katrinedal Dambrug. Åen er her hurtigt-flydende. Bredden er ca. 6 m og dybden 0.4 - 1.2 m. Bunden består af sand. Om sommeren ligger der noget slam. Stationen er blot anvendt til udtagning af vandprøver. Der findes submers vegetation. Åen må karakteriseres som øvre å.

12.5. LINÅ.

Skellerup Mølle er beliggende nederst i Linå, ved Resenbro - Sminge vejen. Åen er opstemt ovenfor dambruget, som anvender det meste/al vandet i åen.

LIA 647: Stationen er beliggende umiddelbart oven for opstemningen oven for dambruget. Åen er her 1.5 m bred og 0.5 m dyb. Der er ringe strøm på grund af opstemningen. Stationen er anvendt til udtagning af vandprøver. Der er kraftig submers vegetation af Grenet pindsvineknop.

LIA 648: Stationen er beliggende ca. 50 m neden for udløbet fra dambruget. Vandløbet er her ca. 2 m bredt og 0.1 - 0.3 m dybt. Bunden består af sten og grus. Strømmen er kraftig. Der er næsten helt overskygget af ellevegetation langs bredden. Der er udtaget vandprøver.

ORDFORKLARING TIL ANVENDTE FAGUDTRYK.

AEROB:	adj., aerobt miljø = iltholdigt miljø, aerob respiration = iltkrævende forbrænding.
ALLOCHTON:	adj., allochtont stof = stof som tilføres det betragtede økosystem udefra.
ANAEROB:	adj., anaerobt miljø = iltfrit miljø, anaerob respiration = forbrænding uden forbrug af ilt (f.ex. forgæring)
ARTSDIVERSITET:	subst., talmæssigt udtryk for artsrigdom.
ASSIMILATIONSEFFEKTIVITET:	subst., den procentdel af den indtagne føde, som omsættes af organismen.
AUTOCHTON:	adj., autochtont stof = stof, som er produceret i det betragtede økosystem.
AUTOTROF:	adj., autotrof organisme = organisme, som ud fra uorganiske bestanddele opbygger organisk stof (ex. grønne planter).
BED-LOAD:	subst., stof som transporteres henover vandløbets bund uden at være suspenderet i vandfasen.
BIOMASSE:	subst., kvantitativt udtryk for mængden af en organisme pr. arealenhed.
BLACK-BOX:	subst., et system, hvis indre funktionsmåde er ukendt eller lades ude af betragtning.
BRUTTOPRIMÆRPRODUKTION:	subst., en plantes totale produktion af organisk stof i en given periode. Bruttoprimærproduktion er summen af nettoprimærproduktion og respiration.
EGESTION:	subst., den energimængde (eller stofmængde) en organisme udskiller i form af fækalier (spildprodukter).
ENERGIFLOW:	subst., mængden af energi, som transporteres fra én komponent i et økosys-

	tem til en anden komponent.
EUTROFIERING:	subst., berigelse af et økosystem med f.ex. gødningsstoffer eller org. stof.
FILTRATOR:	subst., organisme, som ernærer sig ved at filtrere partikler fra vandet.
FILTERFEEDER:	subst., samme som FILTRATOR.
FOTOSYNTESE:	subst., opbygning af organisk stof fra uorganiske bestanddele med lys som energikilde.
HABITAT:	subst., levested for en organisme.
HETEROTROF:	adj., heterotrof organisme = organisme, der som næring kun kan bruge organisk stof, og som ikke kan opbygge organisk stof ud fra uorganiske bestanddele.
INPUT:	subst., indgangsværdier til et system eller en beregning.
INSTAR:	subst., livsstadie for insektlarve mellem to hudskifter.
INTERCALÆR:	adj., befindende sig i en plantes væv, uden for cellerne, ex. luftrum.
INVERTEBRAT:	subst., samlebetegnelse for dyr uden rygrad.
KONSUMTION:	subst., fødeindtag.
MEKANISTISK MODEL:	subst., en speciel type model, som er formuleret ud fra en teori om dens funktionsmåde.
METABOLISME:	subst., den samlede energiomsætning i en organisme omfattende såvel opbygning som nedbrydning.
MODEL:	subst., formaliseret beskrivelse af et system
NETTOPRIMÆRPRODUKTION:	subst., den del af bruttoprimærproduktionen, som i den betragtede tidsperiode bliver til plantevæv.
OUTPUT:	subst., resultatet af en beregning eller udgangsværdier for parametre fra

- et system.
- PERITROF MEMBRAN: subst., en fækalierne omsluttende hinde, som dannes af midttarmen hos visse insekter.
- POOL: subst., pulje.
- PRÆDATOR: subst., prædation, prædatere er lig rovdyr, at leve ved rov.
- RECIPIENT: subst., modtager, her vandområde som tilføres spildevand.
- REPRODUKTION: subst., formering.
- RESPIRATION: subst., iltforbrug.
- RHEOPHIL: adj., strømskende.
- SALMONIDER: subst., samlebetegnelse for fisk hørende til familien Salmonidae, laksefisk (ex. laks, ørred, stalling, helt).
- SUBMERS: adj., befindende sig under vandoverfladen.
- VEGETATION: subst., plantevækst.
- ØKOSYSTEM: subst., et afgrænset landområde (som studeres af en økolog).

REFERENCER. ---

- Allen, K.R.(1951): Bull.mar.Dep.N.Z.Fish.No. 10.
- Bansal, M.K.(1973): Water Research, vol. 7, Pergamon Press.
- Bjørnkjær, K. et al.(1972): Dambrugseffekt på Mattrup å ved Bregnholm Mølle.
- Casey, H. and D.F. Westlake (1974): Proc.Eur.Weed Res. Coun. 4.Int.Symp.Aquatic Weeds.
- Cassie, R.M.(1950): Aust.J.Mar.Freshwat.Res. 5(3),pp. 513-522.
- Christensen, N.O. og B.F. Mortensen (1972): Medlemsblad for Den Danske Dyrlægefor. pp. 511-516.
- Danmarks Natur, Bd.5, Politikens Forlag 1969.
- Dawson, F.H.(1973): F.B.A. Annual Report, vol. 41.
- Edwards, R.W. and M. Owens (1960): J.Ecol. 48, pp.157-162.
- Edwards, R.W. and M. Owens (1962): J.Ecol. 50, pp. 207-220.
- Edwards, R.W. and H.L.I. Rolley (1965): J.Ecol. 53, pp. 1-19.
- Frederiksen, J.(1967): Hedeselskabets Tidsskrift, nr. 1-2.
- Gessner, F. und R. Pannier (1958): Hydrobiologia, vol.10. pp. 323-351.
- Golterman, H.L.(1972): IBP Handbook no.8.
- Hargrave, B.J.(1972): Oikos 23.2, pp.167-178.
- Harremoës, P.(1973): Vand, Nr.1.
- Horton, P.A.(1961): J.Anim.Ecol. 30,pp.311-338.
- Hynes, H.B.N.(1970): The Ecology of Running Waters, Liverpool University Press.
- Job, S.V.(1955): Publ. of the Ontario Res.Lab.No.LXXIII.
- Klein, L.(1962): River Pollution, Vol 2. Blackwell.
- Ladle, M. and H. Casey (1971): Proc.Eur.Weed Res.Counc. 3. Symp.Aquatic Weeds, pp.53-64.
- Ladle, M. et al.(1972): Hydrobiologia, Vol.39.pp.429-448.
- Larsen, V.(1973): Hedeselskabets Tidsskrift.94.pp.102-108
- Larsen, V.(1975): Hedeselskabets Tidsskrift.15/1 1975, pp.14-21.
- Liebmann, H.(1960): Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie. Band II, Stuttgart.
- LeCren, E.D.(1969): Symp.on Salmon and Trout in Streams.

- Maciolek, J.A.(1962): Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Res.Rep.60.
- Maciolek, J.A. and M.G.Tunzi (1967): Ecology.Vol49.1.
- Mann, K.H.(1965): J.Anim.Ecol. 34.pp.253-275.
- Markmann, P.N.(1975): Specialerapport, Kbh.Univ.
- McDonnell, A.J. and D.W. Weeter (1972): J.Sanit.Eng. Div.pp.325-338.
- Mortensen, E.(1974): Specialerapport, Kbh.Univ.
- Nielsen, A.(1974): Proc.First Int.Symp.Trichopt. The Hague.
- Odum, H.T.(1956): Limnol.Oceanogr,Vol.1.pp.102-117.
- Owens, M. and R.W.Edwards (1961): J.Ecol.49.pp.119-126.
- Owens, M. and R.W. Edwards(1962): J.Ecol.50.pp.157-162.
- Owens, M. and R.W. Edwards(1962): J.Ecol.50.pp.157-162.
- Owens, M. and P.J. Maris(1964): Hydrobiol.23.pp.533-543.
- Pentelow, F.T.K.(1939): J.Exp.Biol.16.pp.446-473.
- Rolley, H.J.L. and M. Owens (1967): Water Research,Vol 1.pp.759-766.
- Rønn Larsen, (1970): Dambrugene - et "glemt" forureningsproblem?.
- Simonsen, J.(1973): Vand, 2, pp.10-17.
- Simonsen, J.(1974): Ph.D. thesis, Dept.of Sanit.Eng. Tech.Univ. of Denmark.
- Solberg, S.O.(1971 A): Medd. fra Forsøgdambruget nr. 43.
- Solberg, S.O.(1971 B): Medd. fra Forsøgdambruget nr. 44.
- Solberg, S.O.(1976): Medd. fra Forsøgdambruget nr.56.
- Ursin, E.(1967): J.Fish.Res.Bd.Canada, 24.pp.2355-2453.
- Vejle Amtskommune (1974): Recipientundersøgelse i Vejle å under dambrugstørlægningen.
- Viborg Amtskommune (1972): Recipientundersøgelse i Nørre å, ved Rindsholm Dambrug.
- VKI og JTI (1976): Forskellige driftsparametres indflydelse på forureningen fra dambrug.
- Water Quality Criteria (1972): E.P.A.,Washington D.C.
- Westlake, D.F.(1971): Biology and Human Affairs,Vol 36, No.2.pp.1-10.
- Westlake, D.F. et al.(1972): Proc.IBP-UNESCO Symp. on Productivity Problems of Freshwaters, Poland.
- Westlake, D.F.(1973): Pol.Arch.Hydrobiol.20.1.pp.31-40.

Winberg, G.G.(1960): Fish.Res.Bd.Canada, Transl.Ser.
No.194.

Winberg, G.G.(1971): Methods for the Estimation of Pro-
duction of Aquatic Animals. Academic Press.