



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Overløbsbygværkers hydrauliske belastning af vandløb**

Larsen, Torben; Schaarup-Jensen, Kjeld

*Publication date:*  
1981

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Larsen, T., & Schaarup-Jensen, K. (1981). *Overløbsbygværkers hydrauliske belastning af vandløb*. Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Michael Broffer*

OVERLØBSBYGVERKERS HYDRAULISKE BELASTNING  
AF VANDLØB

af

Torben Larsen og K. Schaarup-Jensen  
Aalborg Universitetscenter  
Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg

**AALBORG UNIVERSITETSCENTER  
LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING  
SOHNGÅRDHOLMSVEJ 57 DK-9000 AALBORG DANMARK**

.Nordisk Seminar om Transport, Omsætning og Effekt af Regnvandsafledning til  
Recipienter.

Aalborg, december 1981

OVERLØBSBYGVÆRKERS HYDRAULISKE BELASTNING  
AF VANDLØB

af

Torben Larsen og K. Schaarup-Jensen  
Aalborg Universitetscenter  
Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning .....	side	1
Møldrup by/Skravad Bæk .....	side	2
Systematisk Dataindsamling .....	side	5
Den enkelte overløbshændelse .....	side	9
Numerisk vandføringsmodel .....	side	14
Numerisk model af transport og dispersion .....	side	18
Kobling af vandkvalitetsprocesser .....	side	20



## INDLEDNING

Nærværende indlæg er baseret på en større undersøgelse af vandløbs reaktion på regnvandsafledning fra fælleskloakerede byområder, udført af Institutet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg Universitetscenter, for Miljøstyrelsen i årene 1978-80.

Baggrunden for denne undersøgelse var et ønske i såvel Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité som i Miljøstyrelsen om at opnå større viden om de forureningsmæssige konsekvenser af regnafledning fra større byområder til vandløb. Denne viden påtænkes anvendt ved udarbejdelsen af retningslinier for en ændret praksis, en ændring der er motiveret i et ønske om en bevidst recipientbeskyttelse.

Ovennævnte undersøgelse, der er rapporteret i form af "Miljø-projekter" (nr. 36/juli 1980), foregik i og omkring 2 vandløb i den nordlige del af Midtjylland: Skravad Bæk og Halkær Å (fig. 1).

I det følgende beskrives kort, hvorledes nedbør og overløbshændelser samt den ikke-stationære vandføring og transport blev målt under og efter regnafledning til Skravad Bæk. Endvidere præsenteres nogle af undersøgelsens resultater, herunder en statistisk bearbejdning af overløbshændelserne samt en kalibreret numerisk model af den ikke-stationære vandføring og transport i vandløbet.

### MØLDRUP BY/SKRAVAD BÆK

Møldrup by er en landsby på ca. 1100 indbyggere beliggende i Midtjylland, ca. 20 km nord for Viborg (fig. 1).

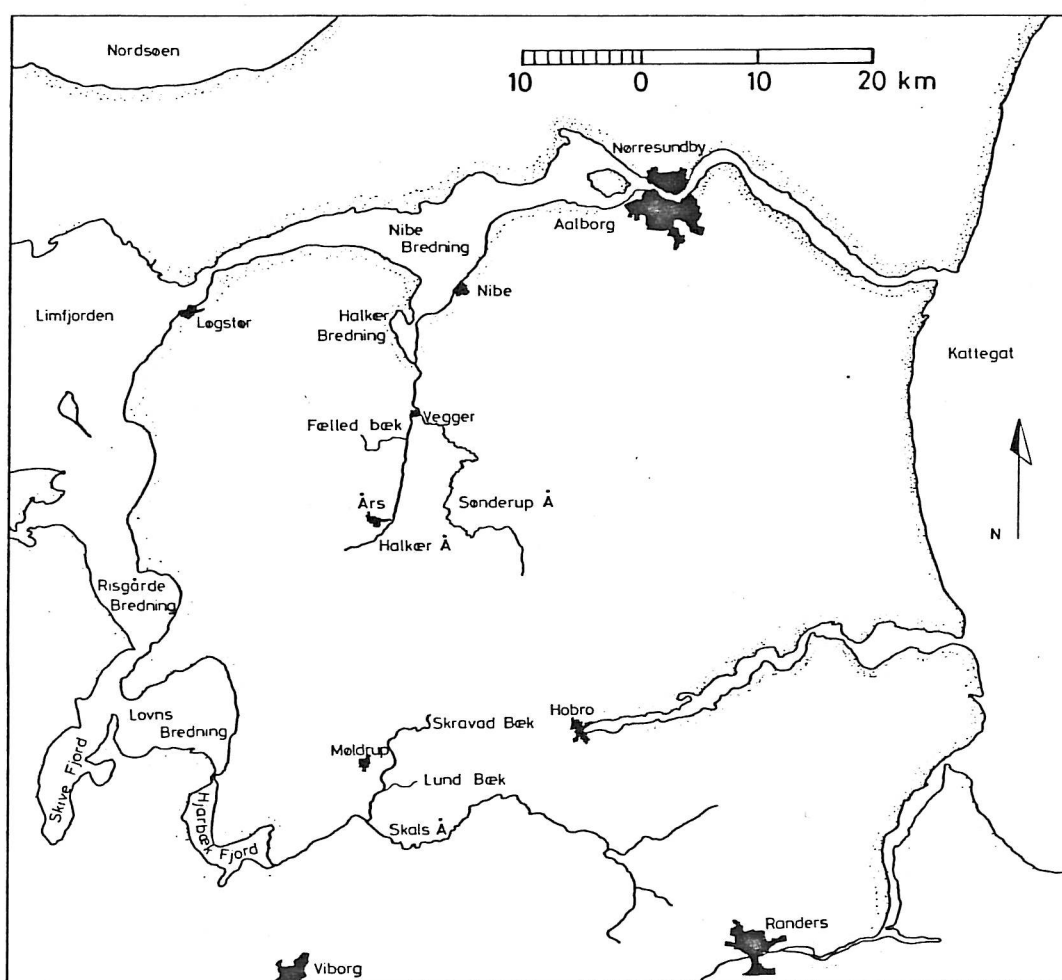


Fig. 1 Kortudsnit af Jylland

Hele byen er fælleskloakeret med et samlet kloakeret areal på ca. 70 ha eller  $0,7 \text{ km}^2$ . Fra byens detalnet føres spildevand og regnvand gennem en ca. 2 km lang afskarende ledning til et rensningsanlæg beliggende ved Skravad Bæk (fig. 2).

På denne ledning er der ca. 500 m før rensningsanlægget indbygget et overløbsbygværk, og ledningen afsluttes ved indløbet til rensningsanlægget i en pumpe- sump forsynet med nødoverløb. Via overløbsbygværk og nødoverløb afledes under

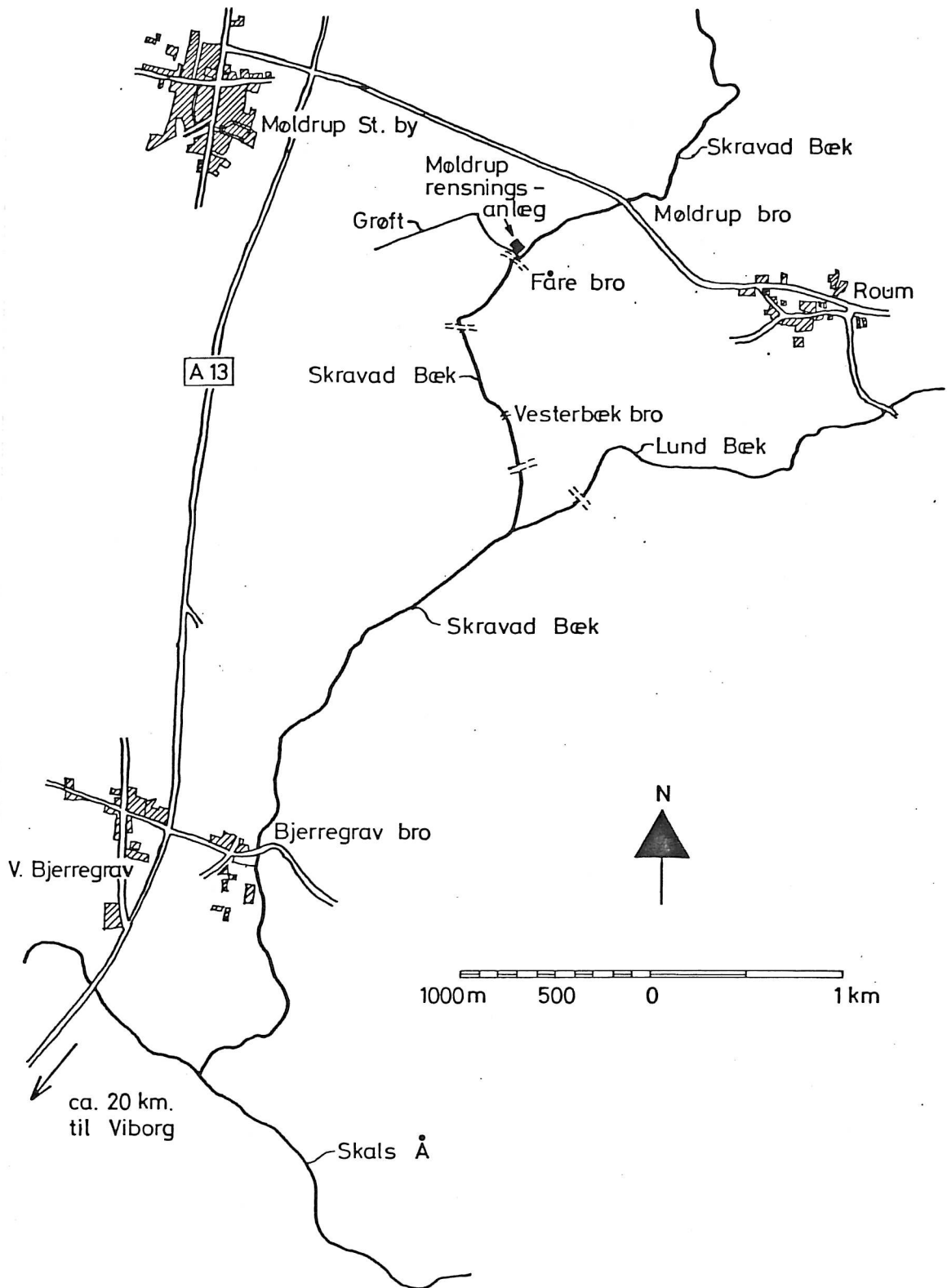


Fig. 2 Kort over Møldrup by og Skravad Bæk

tilpas kraftig regn en blanding af regn- og spildevand til en mindre grøft der løber ud i Skravad Bæk ved Fåre bro. Under regn vil nødoverløbet træde i funktion, når ledningens samlede vandføring består af en regnvandsmængde på  $(2,5 - 30) \times$  spildevandsmængden. Overløbsbygværket træder altid senere i funktion, nemlig når ovennævnte vandføringsforhold antager værdier på 9-45.

Afløbstiden mellem Møldrup by og rensningsanlægget er 15-30 min. afhængig af vandføringens størrelse.

Skravad Bæk udgør en del af Skals å systemet, der udmunder i Hjarbæk Fjord (Limfjorden). Bækken løber i en dal, der gennemskærer et jævnt småbakket morænelandskab beliggende mellem kote +30 og +40. De væsentligste vandløbskarakteristika fremgår af nedenstående figur.

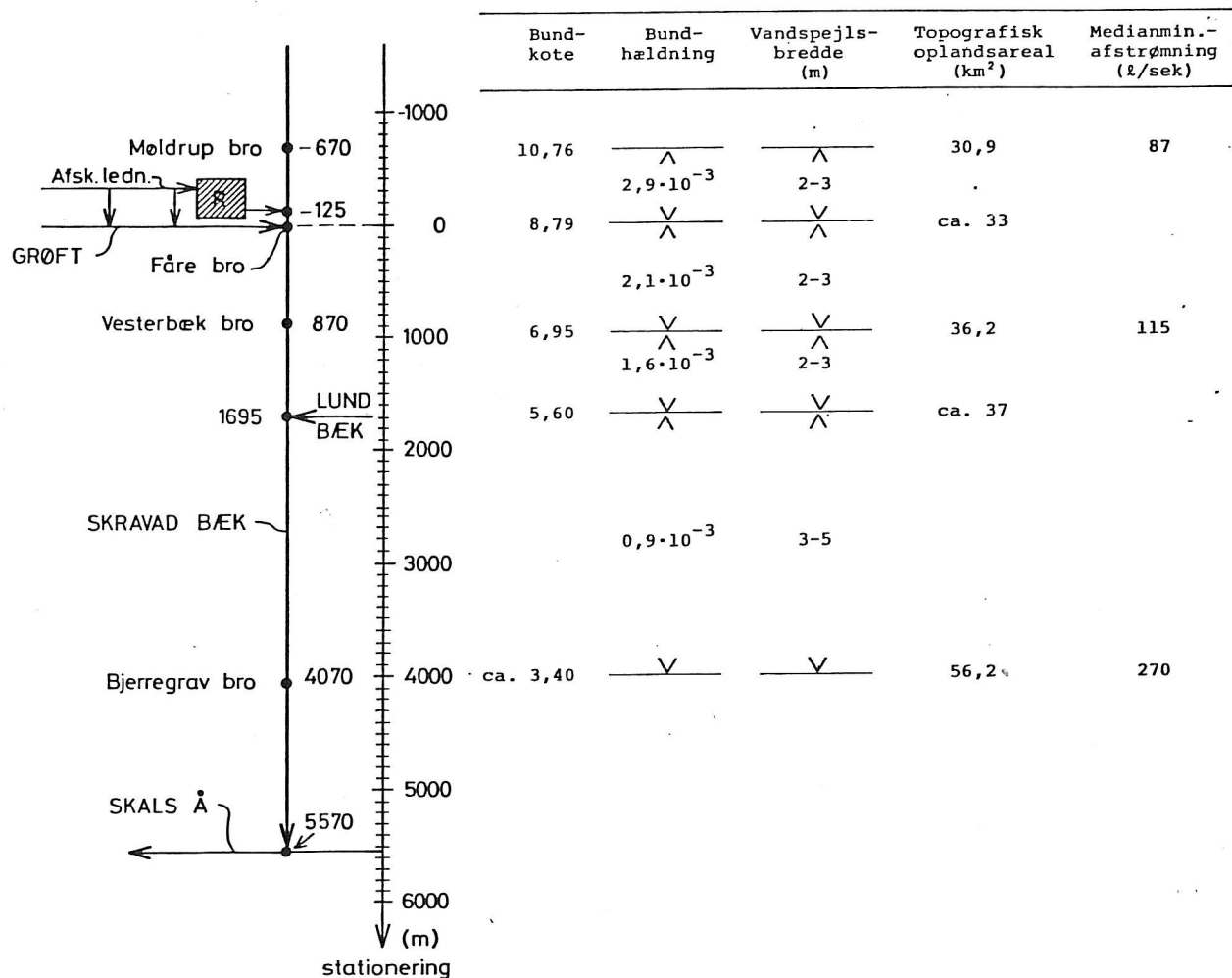


Fig. 3 Stationering og vandløbskarakteristika, Skravad Bæk

### SYSTEMATISK DATAINDSAMLING

Som et led i den overordnede undersøgelse blev der gennem en ca. 2-årig periode gennemført en systematisk dataindsamling med henblik på at belyse følgende:

1. Hvor ofte træder ét eller begge overløbsbygværker ved Skravad Bæk i funktion?
2. Hvor "stor" kan den enkelte overløbshændelse blive?

Afledt af det første spørgsmål blev der i sommeren 1978 igangsat en kontinuert vandføringsregistrering ved omtalte grøfts udløb i Skravad Bæk, og for at danne sig et indtryk af den "normale" overløbsfrekvens blev der samtidig igangsat en kontinuert nedbørsregistrering i Møldrup by samt påbegyndt en indsamling af nedbørsdata (mm/døgn) fra 3 nærliggende stationer i Meteorologisk Instituts (MI) landsnet.

Hvad angår det andet spørgsmål, blev det, i denne sammenhæng, af mange grunde valgt at kvantificere den enkelte overløbshændelse ved hjælp af parameteren  $q = Q_{a,max}/Q_{basis}$  (for  $x = 0$ ) - jf. fig. 4.

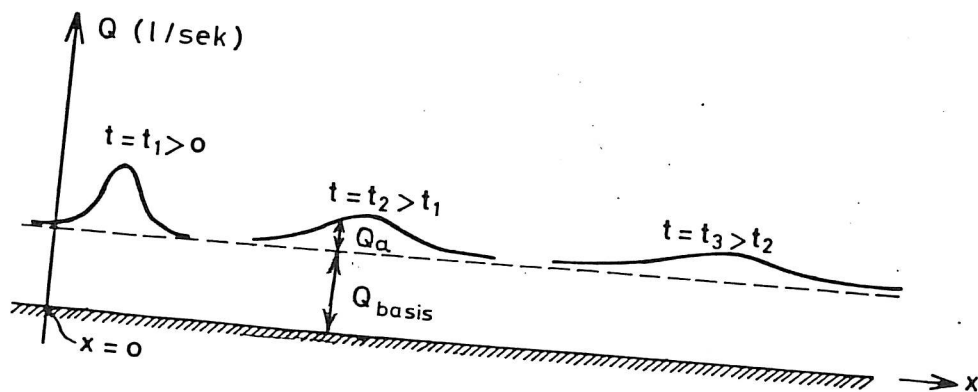


Fig. 4 Udbredelse af kortvarig flombølge

Med henblik på  $Q_{basis}$  blev der derfor i sommeren 1978 igangsat en kontinuert afstrømningsregistrering i Skravad Bæk, først ved Møldrup bro og på et senere tidspunkt ved Fåre bro.

Om den systematiske dataindsamling kan herefter resumeres:



Tabel 1 Systematisk dataindsamling, Møldrup by/Skravad Bæk

MÅLESTATION	PARAMETER	METODE	PERIODE
Møldrup by	Nedbør	Vippekar måler	juni 78 - sept. 80
Grøftens udløb	$Q_a$	Cipoletti-overløb	juni 78 - sept. 80
Skravad Bæk { Møldrup bro } Fåre bro }	$Q_{basis}$	{ Naturlig Q-h-relation	sept. 78 - april 80
		{ Venturi-kanal	maj 80 - aug. 80

Resultatet af nedbørsmålingen i Møldrup by fremgår af nedenstående figur.

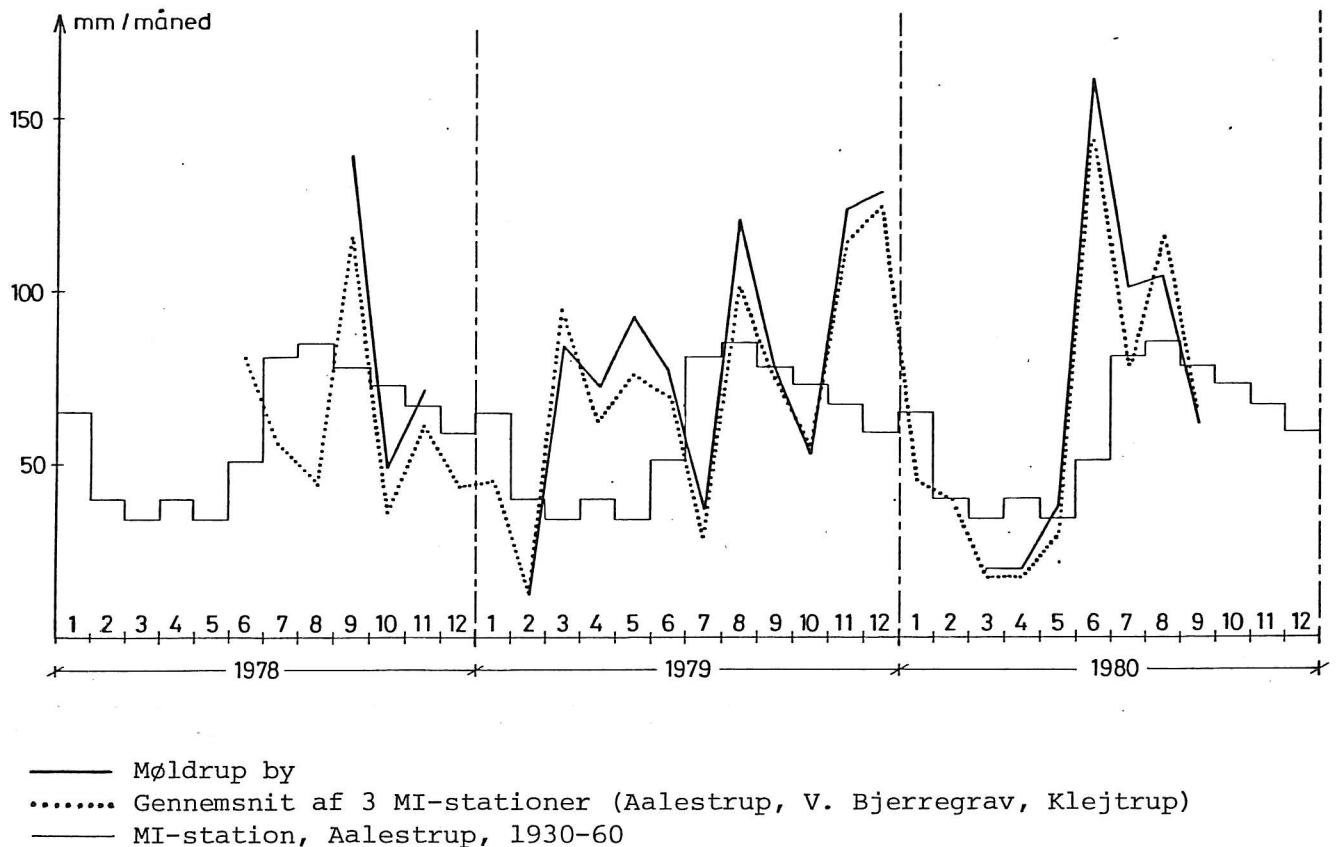


Fig. 5 Månedsnedbørsmængder

Det fremgår heraf - for det første, at der er en rimelig overensstemmelse mellem nedbørsmålingen i Møldrup by og en gennemsnitsværdi for de 3 førnævnte klimastationer - og for det andet, at nedbørsmængderne under denne gennemsnitskurve for perioden juli 1978 - juni 1980 er 13% større end "normalnedbøren" (1930-60) i én af disse klimastationer.

Det registrerede antal overløbshændelser fremgår af fig. 6:

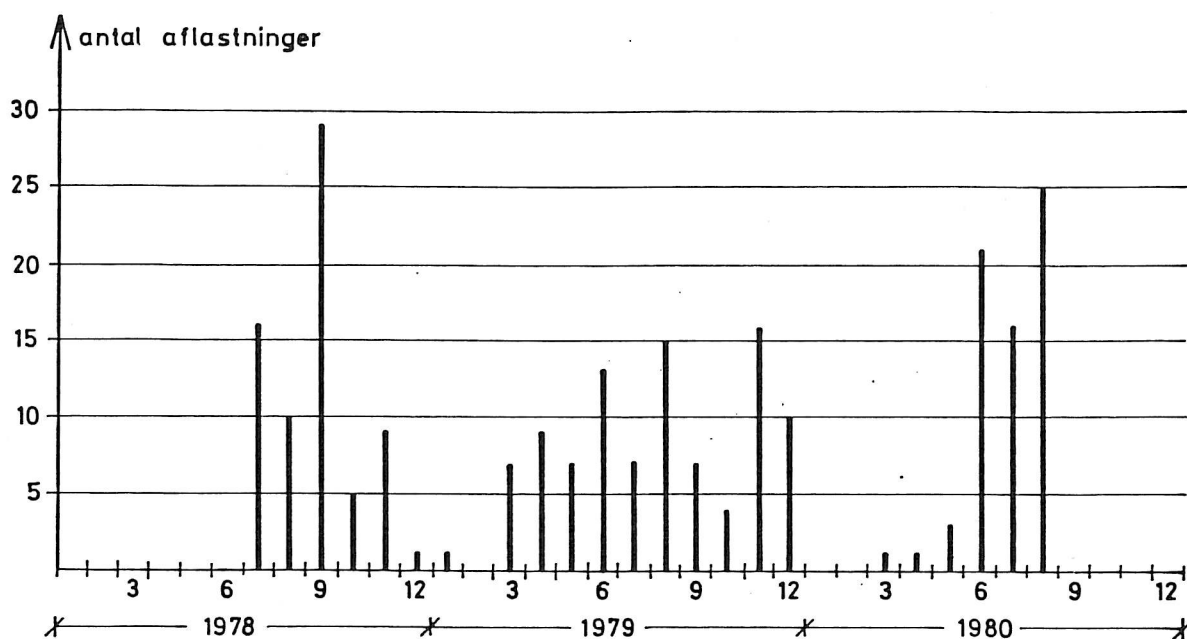


Fig. 6 Antal overløbshændelser pr. måned

Heraf fremgår det bl.a., at der i perioden juli 1978 - juni 1980 er registreret ialt 192 overløbshændelser. I samme periode er registreret ialt 294 nedbørshændelser, hvoraf altså 65% har været overløbshændelser.

På dette grundlag skønnes det, at der for Skravad Bæks vedkommende under normale omstændigheder vil blive tale om i middel ca. 60 overløbshændelser pr. år, idet der - udover de forøgede nedbørsmængder - i perioden juli 1978 - juni 1980 tillige har været tale om kortperiodiske driftsforstyrrelser med nedsat indpumpningskapacitet på rensningsanlægget. Korrigeres der alene for de forøgede nedbørsmængder skønnes der i middel at blive tale om ca. 80-85 overløbshændelser pr. år.

Et indtryk af overløbshændelsernes kvantitative karakter kan erhverves af nedenstående figur:

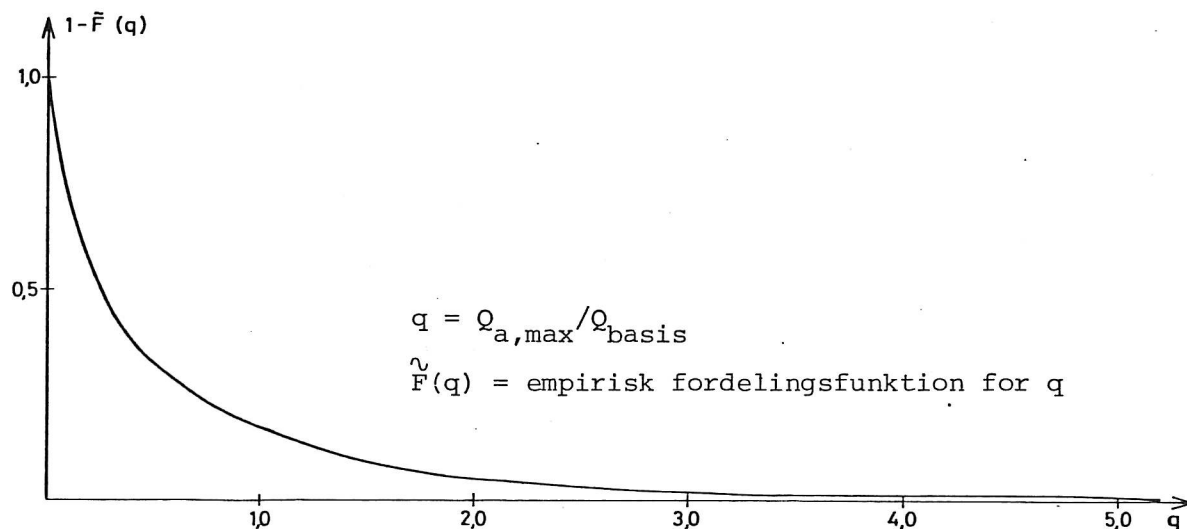


Fig. 7 Den empiriske fordeling af q-værdierne i perioden 24.8.1978 - 19.8.1980

Det fremgår heraf, at de fleste overløbshændelser kvantitativt har været relativt beskedne. Dog har ca. 17% af overløbshændelserne haft en  $Q_{a,max}$ -værdi større end eller lig  $Q_{basis}$ , og for 2 hændelsers vedkommende er der i nævnte periode målt  $q \geq ca. 5$ .

#### DEN ENKELTE OVERLØBSHÆNDELSE

I det øjeblik regnvand fra fælleskloakerede byområder afledes til vandløb gennem overløbsbygværker og nødoverløb, er dette énsbetydende med såvel en hydraulisk som en forureningsmæssig påvirkning eller belastning af recipienten.

Den hydrauliske belastning består i en forøgelse af vandløbets vandføring og vandstand på selve udledningsstedet, og denne vandførings- og vandstandsforøgelse vil bevæge sig nedstrøms som en flombølge (fig. 4).

Regnafledningens forureningsmæssige virkninger vil være én eller flere af følgende:

- æstetisk forringelse
- ændring af iltkoncentrationen
- eutrofiering
- giftvirkning
- bakteriel forurening.

Ret tidligt i undersøgelsen blev det besluttet at koncentrere indsatsen omkring regnafledningens indvirkning på vandløbets iltforhold, herunder hvorledes denne effekt hænger sammen med transport, omsætning og akkumulation af det afledte regn- og spildevands indhold af organisk stof.

Da et udbygget og automatiseret måle- og prøvetagningssystem er en nødvendig forudsætning for at løse denne opgave, blev der forsøgsvis foretaget 2 kunstige udledninger af "overløbsvand" til Skravad Bæk. Dette skete ved - fra et ledigt bassin på rensningsanlægget - at lede ca. 200 m<sup>3</sup> "overløbsvand" ud i recipienten i løbet af ca. 1 time. Måleresultaterne under disse 2 kunstige udledninger viste - sammenholdt med tilsvarende måleresultater under virkelige overløbshændelser - at de kunstige udledninger ikke adskiller sig fra virkelige overløbshændelser, hvad angår effekten på vandløbets iltforhold.

Sammenhængen mellem transport, omsætning og akkumulation af udledt regn- og spildevands indhold af organisk stof og den tilhørende effekt på vandløbets iltforhold er derfor klarlagt på basis af måleresultater indhentet under ialt 6 sådanne kunstige udledninger til Skravad Bæk.

Ovennævnte sammenhæng er beskrevet af Hvitved-Jacobsen, T., (1981) og skal derfor ikke yderligere omtales her.

Som det fremgår af nedenstående tabel, indebar denne metode, at måle- og prøvetagningssystemet under den enkelte overløbshændelse blev relativt simpelt, idet manuel måling kunne anvendes i vid udstrækning.

Tabel 2 Måle- og prøvetagningssystem  
Virkelige og kunstige overløbshændelser, Skravad Bæk

OVERLØBSHÆNDELSER	MÅLESTATION	PARAMETER	METODE
Virkelig (ialt 4)	Grøftens udløb	{ Vandføringsmåling Prøvetagning	Cipoletti-overløb automatisk
	Bjerregrav Bro	{ Vandstandsmåling Iltmåling	elektrode
Kunstig (ialt 6)	Fåre bro	{ Vandføringsmåling Iltmåling Prøvetagning	Venturi-kanal elektrode manuel
	275 m opstrøms for Lund Bæk	{ Vandføringsmåling Iltmåling Prøvetagning	propelmåling elektrode manuel
	Bjerregrav bro	{ Vandføringsmåling Iltmåling Prøvetagning	propelmåling elektrode manuel

Af samme tabel fremgår det, at effekten af ialt 4 virkelige overløbshændelser er registreret. Nedenfor (fig. 8 og 9) er vist et eksempel på en sådan registrering.

De efterfølgende figurer (10 og 11) viser resultatet af de udførte målinger under én af de ovenfor omtalte kunstige udledninger.



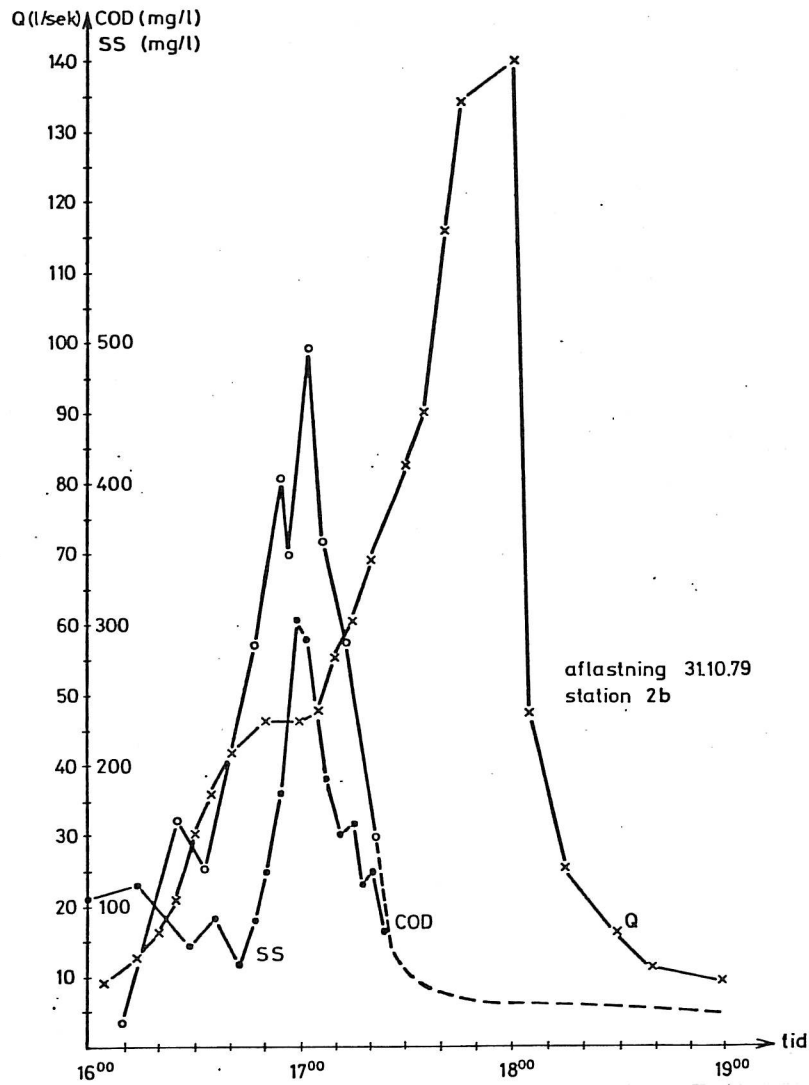


Fig. 8 Vandføring og koncentration af SS og COD, Grøftens udløb d. 31.10.1981

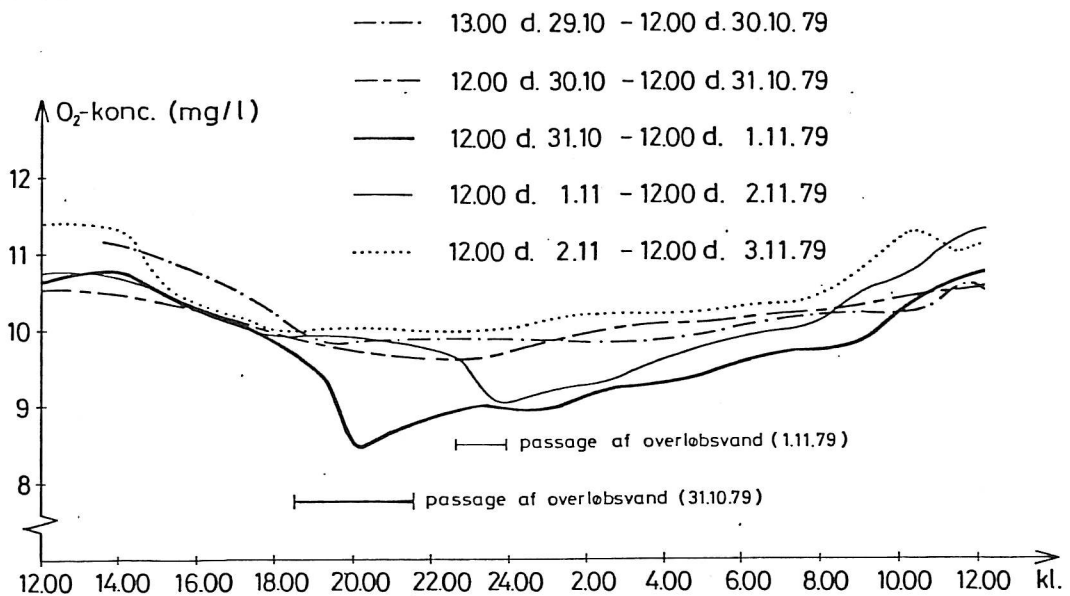


Fig. 9 O<sub>2</sub>-koncentration, Skravad Bæk/Bjerregrav bro d. 31.10.1981

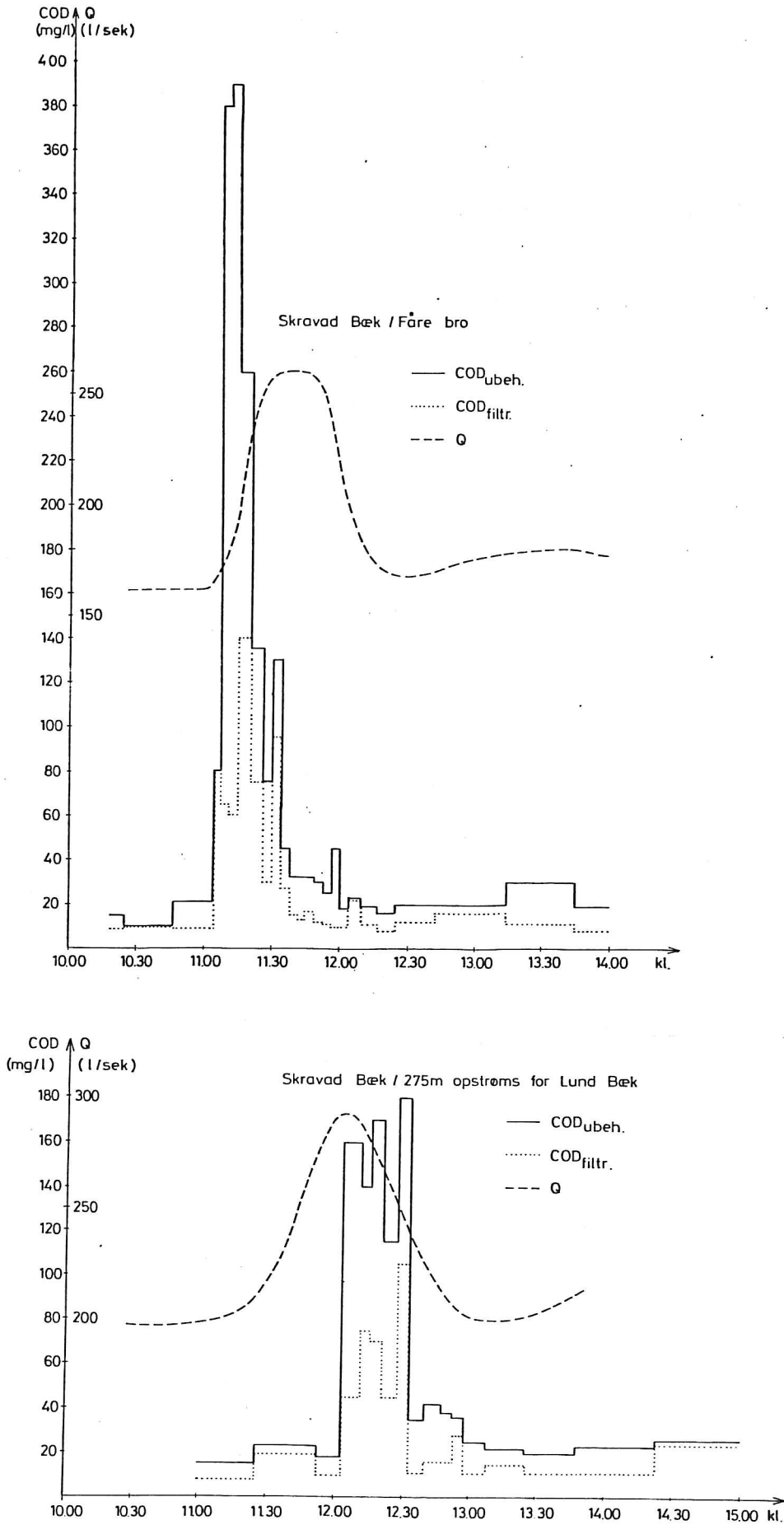


Fig. 10 Vandføring og COD under kunstig udledning til Skråvad Bæk d. 28.9.1978

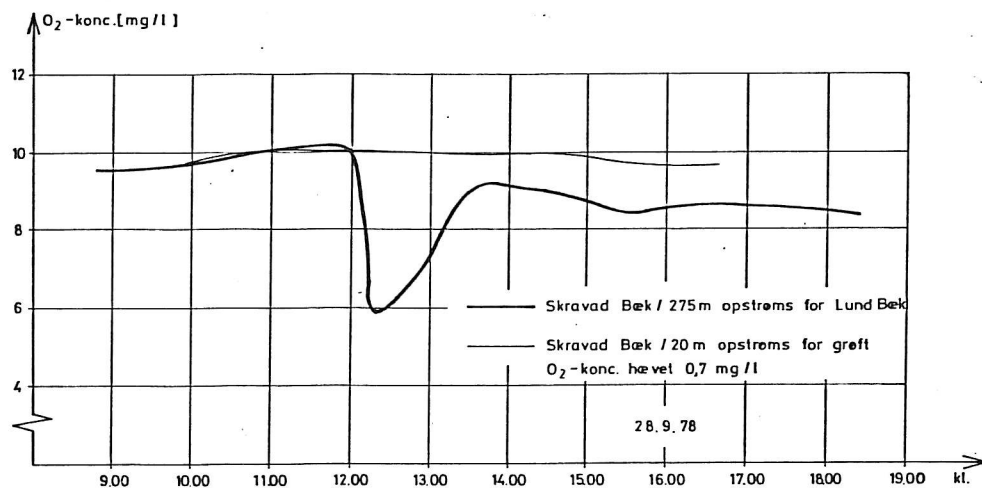
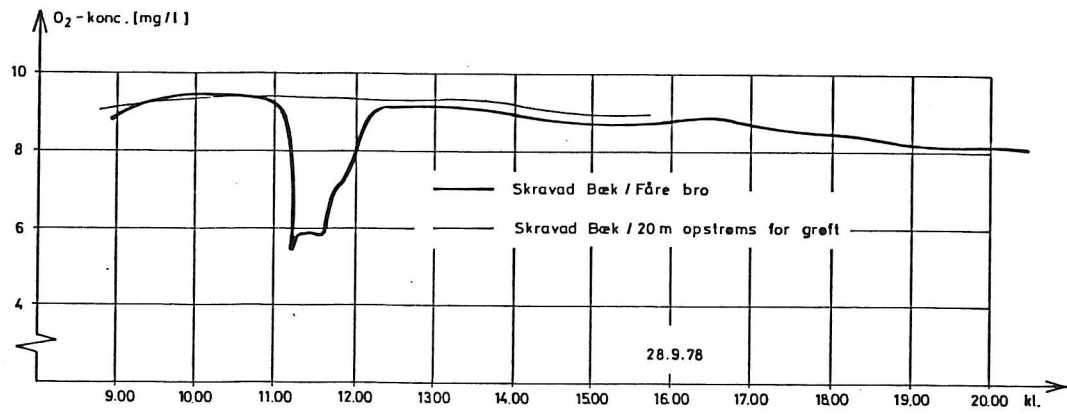


Fig. 11 O<sub>2</sub>-koncentration under kunstig udledning  
til Skravad Bæk d. 28.9.1978

### NUMERISK VANDFØRINGSMODEL

Den ikke-stationære vandføring i et åbent vandløb kan med tilnærmelse beskrives ud fra de to grundlæggende hydrauliske ligninger, kontinuitetsligningen og impulsligningen (se f.eks. Liggett, J.A. (1975)). Ligningerne er

Kontinuitetsligningen

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

Impulsligningen

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha' \frac{Q^2}{A} \right) + g A \frac{\partial y}{\partial x} = g A (I_0 - I) + q u_x \quad (2)$$

- Q vandføringen
- A det "våde" tværsnitsareal
- $I_0$  bundhældningen
- I energiliniens hældning med vandret
- t tiden
- x koordinat langs vandløbet positiv i strømretningen
- g tyngdens acceleration
- y vanddybden
- q det laterale tilløb
- $u_x$  det laterale tilløbs komponent i strømretningen
- $\alpha'$  hastighedsfordelingskoefficient

En generel løsning af ligningerne (1) og (2) er ikke mulig, medmindre man indfører visse begrænsninger i start- og randbetingelser. Desuden er disse ligninger kun at betragte som tilnærmelser til fysiske fænomener. Da det er et fundamentalt videnskabeligt princip at opsøge den simpleste model, som netop med tilstrækkelig nøjagtighed kan beskrive det observerede fænomen, har man foretaget en analyse af størrelsesordenen af de enkelte led i impulsligningen. Analysen er foretaget på grundlag af feltmålingerne ved overløbet fra Møldrup og i Skravad Bæk. Størrelsesordenen af de enkelte led er følgende:

	Umiddelbart ved overløbet	ca. 500 m nedstrøms for overløbet
$\frac{\partial Q}{\partial t}$	$10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/s}$	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/s}$
$\frac{\partial}{\partial x}(\alpha' \frac{Q^2}{A})$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
$g A \frac{\partial y}{\partial x}$	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$g A I_o$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$g A I$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$

På baggrund af denne analyse, som altså knytter sig til lokaliteten, kan det konkluderes, at de to første led i impuls-ligningen kan negligeres og tilbage er:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = I_o - I + \frac{qu_x}{g A} \quad (4)$$

Man har herefter antaget, at friktionsledet  $I$  kan bestemmes af Manning-formlen

$$V = M R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{eller} \quad Q = M A R^{2/3} I^{1/2} \quad (5)$$

$V$     middelhastigheden

$M$     Manningtallet

$R$     hydraulisk radius

Indsættes (5) i (4) fås

$$Q = M A R^{2/3} (I_o - \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{qu_x}{g a})^{1/2} \quad (6)$$

Ved indsættelse af (6) i (3) elimineres  $Q$  og man får

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [M A R^{2/3} (I_o - \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{qu_x}{g a})^{1/2}] - q = 0 \quad (7)$$

Denne ligning omskrives herefter til et differensudtryk og tværsnitsarealet  $A$  og hydraulisk radius  $R$  udtrykkes ved vanddybden  $y$  i et trapezformet tværsnit.

Af pladmæssige årsager kan løsningsmetoden ikke angives i detaljer her, men metoden kan betragtes som en udvidelse af metoden beskrevet af Akan og Yen (1977), hvortil der henvises. Iøvrigt er metodens anvendelse på Skravad Bæk nøje beskrevet af Koop og Nielsen (1980).

Ligning (7) er en ikke-lineær differentilligning, og den tilhørende differensligning er ligeledes ikke-lineær. Denne differensligning er opstillet i et såkaldt implicit differensskema, hvor ligningen for hver delstrækning også indeholder ubekendte størrelser for nabostrækningen. Differensligningen er følgende:



$$\frac{A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1} - A_{i+1}^j - A_i^j}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} M A_{i+1}^{j+1} (R_{i+1}^{j+1})^{2/3} \left( I_{o,i} - \frac{y_{i+1}^{j+1} - y_i^{j+1}}{\Delta x} \right)^{1/2} - \frac{1}{\Delta x} M A_i^{j+1} (R_i^{j+1})^{2/3} \left( I_{o,i} - \frac{y_i^{j+1} - y_{i-1}^{j+1}}{\Delta x} \right)^{1/2} - q_i = 0 \quad (8)$$

Figur 12 viser beregningsnettet

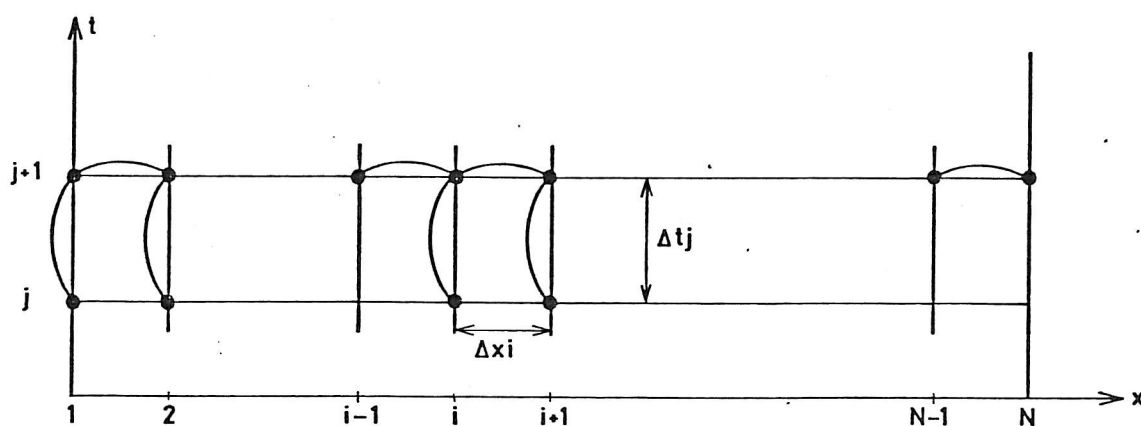


Fig. 12 Beregningsnettet

Man har i dette projekt valgt at løse dette sæt af sammenhørende ikke-lineære ligninger uden at linearisere ligningerne. For hvert tidsskridt blev lignings-systemet løst ved anvendelse af Newton-Raphson's iterationsmetode.

På nedenstående figur nr. 13 er vist beregnede og målte vandføringer i Skravad Bæk under en kunstig aflastning

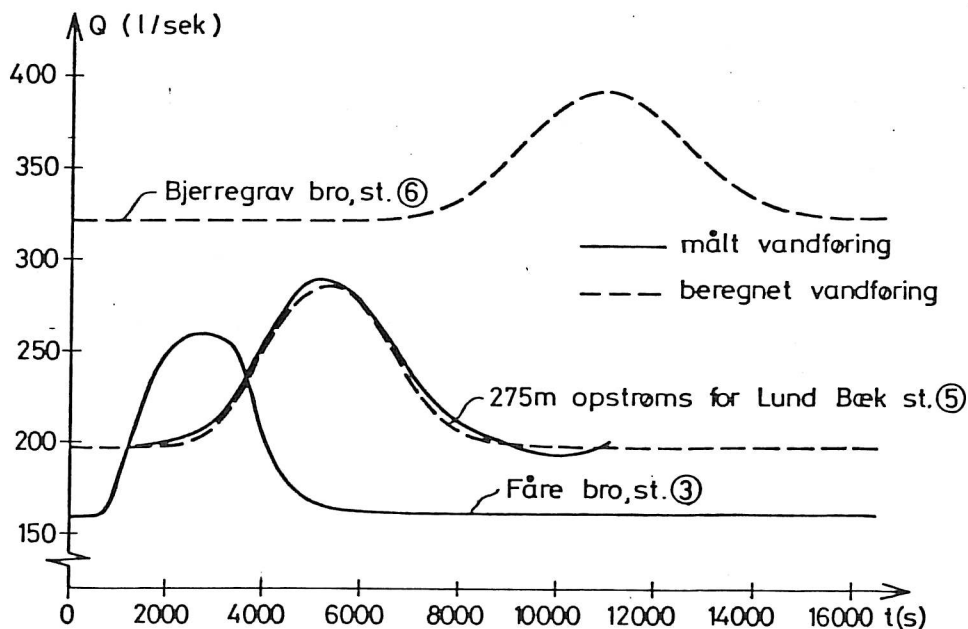


Fig. 13 Beregnede og målte hydrografer i Skravad Bæk under kunstig aflastning d. 28.9.1978 ( $\Delta x = 20$  m og  $\Delta t = 30$  sek).

Da trykledet i impuls ligningen er medtaget i den anvendte model, har man mulighed for at beskrive opstuvningen opstrøms for udledningspunktet. På grund af Skravad Bæks relativt store fald, har denne opstuvning kun begrænset betydning. Imidlertid vil dette forhold i de fleste danske vandløb have en væsentlig større betydning.

På den følgende figur nr. 14 er vist vandstandsvariationen opstrøms for udledningspunktet, svarende til situationen angivet på forrige figur.

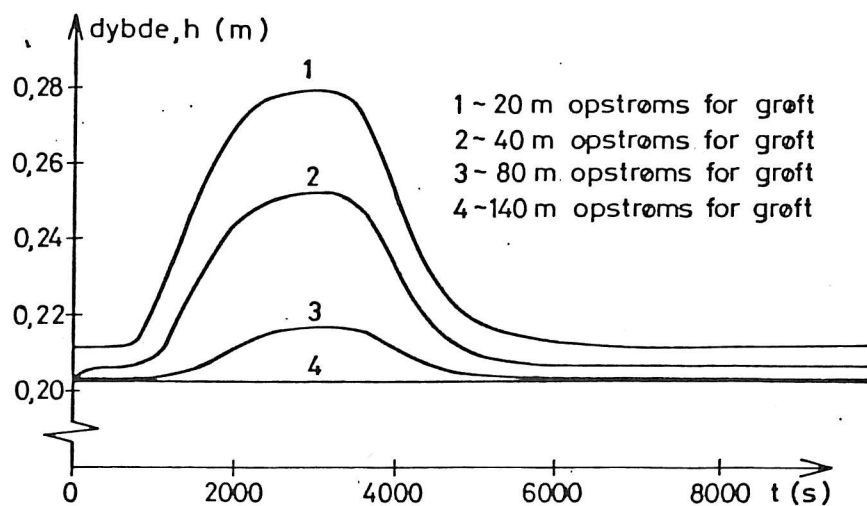


Fig. 14 Simulering af opstuvning i 4 stationer beliggende opstrøms for grøftens udløb i Skravad Bæk ( $\Delta x = 20$  m og  $\Delta t = 30$  sek).

### NUMERISK MODEL AF TRANSPORT OG DISPERSION

Beskrivelsen af hvorledes udledt stof fra aflastningen transporteres og spredes i vandløbet tager udgangspunkt i den endimensionale transport-dispersionsligning (se f.eks. Fischer, 1979):

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) + \frac{\partial}{\partial x}(AVC) = \frac{\partial}{\partial x}(AD \frac{\partial c}{\partial x}) + q C_i \quad (9)$$

- C koncentrationen af stof i vandløbet  
 $C_i$  koncentrationen i det laterale tilløb  
 D dispersionskoefficient

Ved løsning af denne ligning benyttes de værdier af tværsnitsarealer A og middelhastigheder V, som er beregnet af den i forrige afsnit beskrevne vandføringsmodel. Da ligningen er lineær, er løsningen simplere, og tilnærmelser er unødvendige. Det væsentligste problem i den numeriske løsning af ligningen ligger i at holde de numeriske fejl på et uvæsentligt niveau. De numeriske fejl giver sig udslag i, at beregningsskemaet i sig selv spreder stoffet i langsgående retning. Effekten betegnes også "pseudo-dispersion". For at holde den effekt på et kontrollabelt niveau, har man anvendt et sekspunkts differensskema af typen Crank-Nicholson's implicitte skema. Differentialkvotienternes omskrivning til differenskvotienter skal af pladmæssige grunde ikke medtages her, men princippet skulle fremgå af nedenstående figur nr. 15.

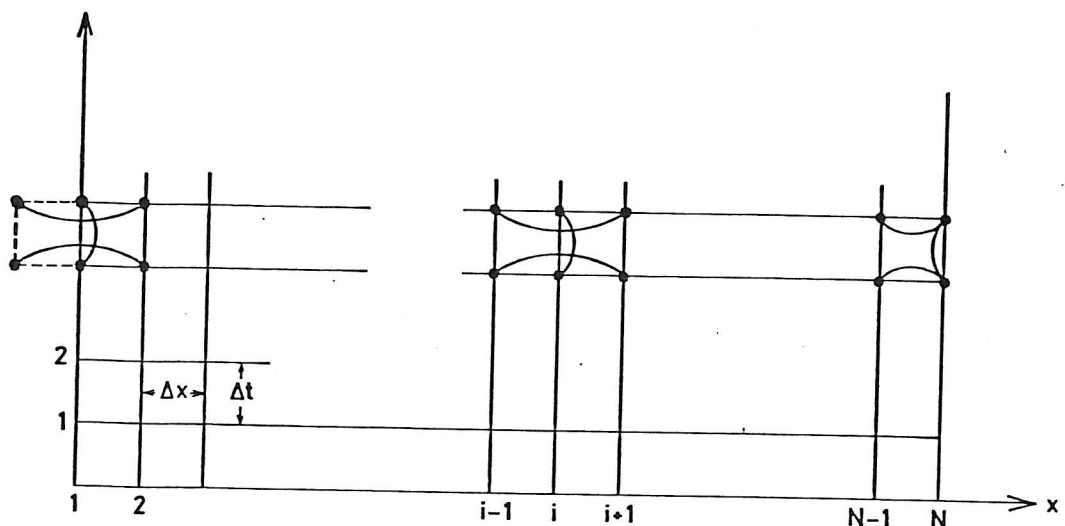


Fig. 15 Differensskemaet, der anvendes til at løse TD-ligningen

Under ikke-stationære strømningsforhold vil dispersionskoefficienten i princip variere i tid og sted. Da de udledninger, man normalt ser i forbindelse med overløbsbygværker, er relativt langstrakte, kan det vises, at dispersionen domineres af den såkaldte dødzoneeffekt, se f.eks. Pedersen (1977). Under disse forhold er dispersionskoefficienten proportional med middelhastigheden, og da denne i Skravad Bæk varierer mindre end 10% under en aflastning, har man i de numeriske beregninger antaget, at dispersionskoefficienten er konstant i tiden. Desuden skal det nævnes, at man ved sporstofundersøgelser ved de kunstige aflastninger har fået bekræftet værdien af den teoretisk beregnede dispersionskoefficient.

På følgende figur nr. 16 er vist et eksempel på en gennemregning med den numeriske transportdispersionsmodel. Man har her vist, hvorledes iltkoncentrationen har kunnet beregnes under samme kunstige aflastning som tidligere, idet man havde forudsat, at ilt var et konservativt sporstof.

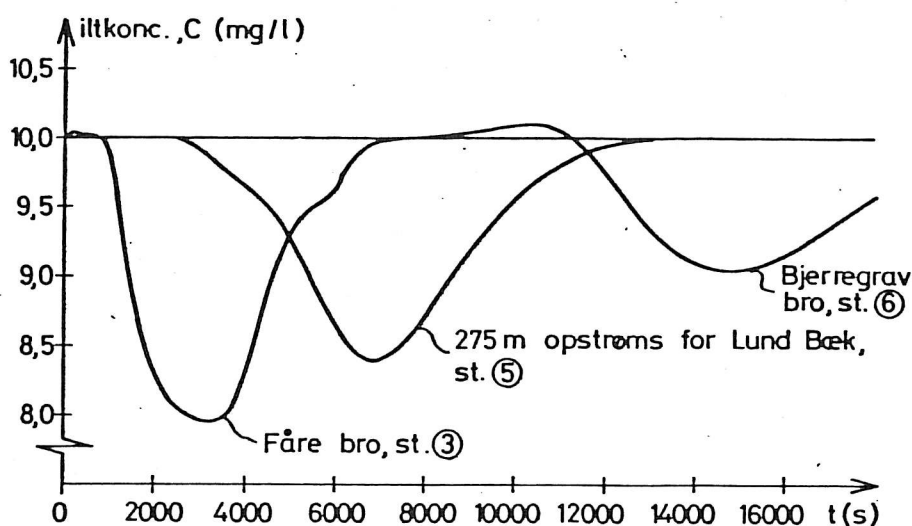


Fig. 16 Iltkoncentrationsfordeling under kunstig aflastning til Skravad Bæk d. 28.9.1978 (ilt er regnet for at være et konservativt stof)

#### KOBLING AF VANDKVALITETSPROCESSER

Den numeriske simulering af vandkvalitetsprocesser må i princippet foregå ved disse processers indbygning i transport-dispersionsligning. Der må således opstilles en model for hvert stof, som ønskes beregnet. Er processerne indbyrdes afhængige, må disse modeller desuden løses parallelt i tiden. Særlige komplicerede differensudtryk kan opstå på denne måde.

I det forliggende tilfælde er man imidlertid gået en anden og simplere vej. Da den anvendte transport-dispersionsmodel benytter implicit differensskema, er de numeriske beregninger vilkårligt stabile for fejl som introduceres udefra i koncentrationsfordelingen. Dette udnyttes til vandkvalitetsberegningerne. Først beregnes den langsgående koncentrationsfordeling på det nye tidsskridt ud fra ligning (9) som om stoffet var konservativt. Dernæst korrigeres koncentrationsfordelingen inden for hver enkelt box, svarende til virkningen af den aktuelle proces.

Udviklingsarbejdet med denne modeltype er afsluttet, for så vidt angår den numeriske testning. Imidlertid tilbagestår indkalibrering af vandkvalitetsprocesserne. Med henblik på afprøvningen af beregningernes numeriske stabilitet har man forsøgsvis tilkøbt følgende processer:

1. Geniltning som antages at kunne beregnes som værende proportional med iltdeficit på traditionel vis.
2. Nedbrydning af organisk stof i vandfasen, beregnet som en 1. ordens proces.
3. Adsorption på bunden af organisk stof, beregnet som en 1. ordens proces.
4. Nedbrydning af adsorberet stof på bunden (bundens iltforbrug), også beregnet som en 1. ordens proces.

Denne beregningsmodel indebærer, at der parallelt måtte køre modeller for iltkoncentrationen i vandfasen, koncentrationen af organisk stof i vandfasen og mængden af adsorberet stof på bunden. Den numeriske test af modellen har vist, at processer af nævnte karakter med god nøjagtighed kan simuleres numerisk. Figur nr. 17 viser et testeksempel, som bygger på den tidligere omtalte kunstige aflastning.



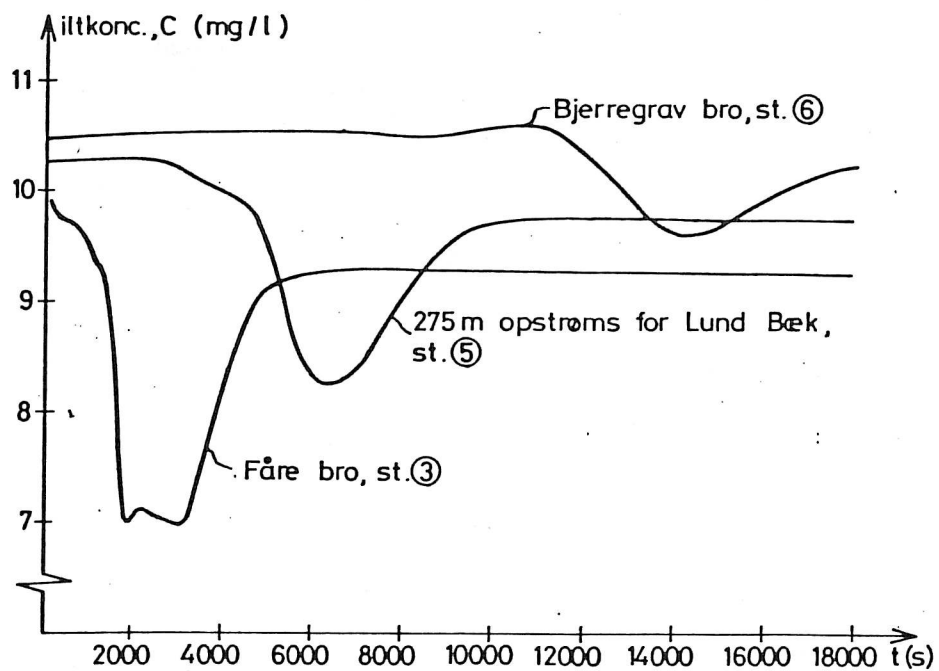


Fig. 17 Simulering af iltkoncentrationer i Skråvad Bæk under den kunstige aflastning d. 28.9.1978

REFERENCER

Akan, A.O. og Yen, B.C.: "A nonlinear diffusion-wave model for unsteady open-channel flow", IAHR conference, 1977, pp 181-190.

Fischer, H.B. et.al.: "Mixing in Inland and Coastal Waters", Academic Press, 1979.

Hvitved-Jacobsen, T.: "Vandløbs reaktion på regnvandsafledning fra fælleskloakerede byområder", Nordisk seminar om transport, omsætning og effekt af regnafledning til recipienter, Aalborg Universitetscenter, 1981.

Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg Universitetscenter, "Vandløbs reaktion på regnvandsafledning fra fælleskloakerede byområder", Miljøstyrelsen, Miljø-Projekt nr. 36, 1980

Koop, V. og J.N. Nielsen: "Ikke-stationær vandløbsmodel", Afgangsprøje, Aalborg Universitetscenter, 1980.

Liggett, J.A.: "Basic Equations of Unsteady Flow" fra "Unsteady Flow in Open Channels" vol. I edited by K. Mahmood and V. Yevjevich, Fort Collins, 1975.

Pedersen, F. Bo: "Prediction of Longitudinal Dispersion in Natural Streams", Instituttet for strømningsmekanik og vandbygning, Danmarks tekniske Højskole, 1977.