

Skrift nr. 22

Forurening af vandløb fra overløbsbygværker

Aalborg Universitetsbibliotek

530003107050



1985
DIF Spildevandskomiteen

Indholdsfortegnelse

	Side
Rekommandation	7
Symbolliste	9
Ordforklaring	13
Forord	16
Resumé	18
1. Indledning	20
2. Baggrund	21
3. Effekt af overløbsbelastning af vandløb	22
3.1 Indledning	22
3.2 Iltforhold ved overløbsbelastning	22
3.3 Forsinket iltvind som dimensionsgivende fænomen for overløbsbelastning	27
4. Fastlæggelse af vandkvalitetskriteriet i forbindelse med overløb	29
4.1 Indledning	29
4.2 Stationær contra momentan udledning af spildevand	29
4.3 Princip for kvalitetskriteriet	30
4.4 Fastlæggelse af enkeltelementer i kvalitetskriteriet	32
4.5 Valg af minimale iltkoncentrationer	35
4.6 Sammenfatning	37

5. Strategi og niveauer for beregning af tilladelig overløbsbelastning	39
5.1 Beregningsprincip	39
5.2 Niveauopdeling af beregningsmetoder	39
6. Grundlag for forenklet beregning af tilladelig overløbsbelastning	45
6.1 Indledning	45
6.2 Model for beregning af iltsvind i vandløb under en overløbshændelse	46
6.3 Principper for fastsættelse af parametre og variable	51
6.3.1 Generelt	51
6.3.2 Karakteristika for afløbssystem	51
6.3.3 Karakteristika for opland	52
6.3.4 Beregning af stofbelastning for individuelle regnhændelser	53
6.3.5 Vandløbskarakteristika	55
6.3.6 Fastlæggelse af hastighedskonstanter	56
7. Beregning af tilladelig overløbsbelastning ved diagrammetode, niveau 1	58
7.1 Indledning	58
7.2 Valg af parametre og variable	58
7.3 EDB-beregninger og resultater	61
7.4 Eksempel	64
8. Individuel, forenklet beregning af tilladelig overløbsbelastning, niveau 2	67
8.1 Indledning	67
8.2 Fastsættelse af parametre og variable	67
8.3 Beregningsgang	68
8.3.1 Beregningsgang ved manuel metode med eksemplificering	68
8.3.2 Beregningsgang ved EDB-metode	77

9. Individuel beregning af tilladelig overløbsbelastning , niveau 3	78
10. Avanceret beregning af tilladelig overløbsbelastning, niveau 4 - ∞	80
11. Konklusion	81
12. Litteratur	82
Bilag	89

Rekommandation fra Spildevandskomiteen, Dansk Ingeniørforening, vedrørende dimensionering af overløbsbygværker

I Spildevandskomiteens Skrift nr. 21: »Recipientbelastning fra overløbsbygværker« og Skrift nr. 22: »Forurening af vandløb fra overløbsbygværker« samt Miljøstyrelsens redegørelse, Miljøprojekter nr. 36: »Regnvandsundersøgelser — Vandløbs reaktion på regnafledning fra fælleskloakerede byområder« er der redegjort for det faglige grundlag for dimensionering af overløbsbygværker.

På dette grundlag ønsker Spildevandskomiteen at bringe nedenstående rekommandation om dimensionering af overløbsbygværker:

Spildevandskomiteen anbefaler, at foranstaltninger til imødegåelse af forurening forårsaget af regnafledning fra byområder i så stor udstrækning som muligt baseres på krav til opnåelse og vedligeholdelse af vandkvaliteten i recipienterne, og at sådanne framgangsmåder erstatter den nuværende praksis, fx baseret på erfaringstal for tilladelig hyppighed af overløbshændelserne eller for krævet opspædning ved overløbsbygværket.

For såvidt angår forurenende stoffer med en akkumulerende effekt i recipienten bør fastsættelse af det tilladelige overløb baseres på det gennemsnitlige bidrag med forurenende stoffer over en for problemstillingen relevant periode. For eutrofiering af søer, fjorde og bugter er dette typisk en periode på ét år. Metoder til beregning af sådanne gennemsnitlige belastninger er beskrevet i Skrift nr. 21.

For såvidt angår forurenende stoffer med akut virkning i recipienten bør fastsættelse af det tilladelige overløb baseres på en sammenligning mellem hyppigheden af vandkvalitetsforringelsen og et krav til vandkvaliteten, som er etableret på et statistisk grundlag. For overløb fra fællessystemer domineret af transport af almindeligt byspildevand anbefales det, at iltkoncentrationen i vandløbet betragtes som den kritiske vandkvalitetsegenskab, og at dimensioneringen baseres på et statistisk krav til iltkoncentrationen. Det anbefales at benytte de i Skrift nr. 22 angivne krav til iltkoncentrationen som grundlag for dimensionering af overløbsbygværker.

Det anbefales at foretage beregninger af overløbsbygværker på grundlag af metoder til beregning af overløbenes belastning af vandløbet, baseret på statistik for overløbshændelserne. Disse metoder er beskrevet i Skrift nr. 21. Med udgangspunkt i dette materiale anbefales det at basere dimensioneringen på metoder til beregning af statistik for forringelsen af iltkoncentrationen i vandløbet. Dette er beskrevet i Skrift nr. 22. I skrifterne er der beskrevet forskellige metoder, hvorefter disse beregninger kan gennemføres. Det karakteristiske er, at beregningerne kan gennemføres på forskellige niveauer, fra de simple metoder baseret på allerede etablerede tabeller og håndregning, til avancerede metoder baseret på et omfattende inddatamateriale og bekostelige EDB-beregninger. Valg af beregningsniveau afhænger af den aktuelle problemstilling. Brugeren må selv tage stilling til det foreliggende eller opnåelige inddatamateriales pålidelighed, til betydningen af forureningen i forhold til rimelige beregningsomkostninger ved dimensioneringen af de aktuelle overløbsbygværker og dertil eventuelt hørende bassiner og på dette grundlag selv vælge egnet beregningsniveau for den aktuelle situation.

Det må konstateres, at de foreslåede beregningsmetoder ikke uden en vis reservation kan anses for alment anvendelige. Fx er det ikke påvist ved de gennemførte undersøgelser, at de i recipientmodellen indgående konstanter er af generel gyldighed, fordi undersøgelserne kun omfattede to jyske vandløb. På dette grundlag må det i betydningsfulde tilfælde anbefales at foretage indgående lokale undersøgelser, på hvilket grundlag de foreslåede beregningsmetoder og/eller de til beregningerne foreslåede konstanter kan ændres i lyset af bedre viden om relationerne i det aktuelle tilfælde. Desuden må det anbefales, at der bevilges midler til supplerende, grundlæggende undersøgelser af regnpåvirkningen af vandløb, som i væsentlig grad adskiller sig fra de undersøgte jyske vandløb.

Symbolliste

Symbol	Definition	Enhed
a	Afløbstal ($= (Q_a - Q_s)/F_{red}$)	$(\ell \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1})$, $(\mu m/s)$ eller (m/s)
b	Vandløbsbredde	(m)
BOD	Biokemisk iltforbrug, BI	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C	Iltkoncentration i vandløb	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_{kr}	Kritisk iltkoncentration i vandløbet nedstrøms udledningspunkt svarende til laveste iltkoncentration på iltsvindskurven.	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_{krav}	Iltkoncentration bestemt af kvalitetskriteriet som funktion af hændelsens gentagelsesperiode T	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_{mid}	Middeliltkoncentration i vandløbet over et døgn	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_{min}	Den minimale iltkoncentration i vandløbet for en given hændelse (kritisk iltkoncentration). Værdien er bestemt som middelværdien over 1 time, ($C_{min}(1 hr)$) eller 12 timer, ($C_{min}(12 hr)$) efter overløbsvandets passage	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_s	Iltkoncentration ved mætning (i ligevægt med atmosfæren)	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
C_{Δ}	($= \min(C_{min} - C_{krav})$), den minimale værdi af $C_{min} - C_{krav}$ blandt samtlige gennemregnede hændelser i en regnserie. Såfremt $C_{\Delta} \geq 0$ er aktuel overløbsbelastning tilladelig; er derimod $C_{\Delta} < 0$ er kvalitetskriteriet overskredet	$(mg/\ell \sim g/m^3)$
COD	Kemisk iltforbrug med dichromat	$(mg/\ell \sim g/m^3)$

F_{red}	Reduceret areal for opland svarende til brøkdel af befæstede flader	(ha) eller (m^2)
h	Vanddybde	(m)
k	1' ordens fjernelseshastighed for adsorberbart eller sedimenterbart organisk stof i vandfasen	(m/d)
K'	1' ordens fjernelseskonstant for adsorberbart eller sedimenterbart organisk stof i vandfasen	(d^{-1})
K_1	1' ordens nedbrydningskonstant for organisk stof i vandfasen	(d^{-1})
K_2	Geniltningskonstant	(d^{-1})
K_4	1' ordens nedbrydningskonstant for organisk stof på vandløbsbunden	(d^{-1})
L	Koncentration af COD i vandfasen	(mg/l $\sim$ g/ m^3)
L_b	Mængde af COD pr. arealenhed af vandløbsbunden tilført ved adsorption eller sedimentation	(g/ m^2)
L'_o	Fiktiv koncentration af COD ved udløsningspunkt for overløbsvand angivet som funktion af tid efter det forurenede vandvolumens passage	(mg/l $\sim$ g/ m^3)
L_{ov}	Overvandskoncentration af COD	(mg/l $\sim$ g/ m^3)
L_{sp}	Spildevandskoncentration af COD	(mg/l $\sim$ g/ m^3)
m_s	(= $(Q_a - Q_s)/Q_s$), opspædningsgrad ved start af overløb	
M	Hændelsens rang; hændelsen med størst værdi tillægges rang nr. 1 osv.	
M_p	Hændelsens rang bestemt ud fra stofbelastning P målt som COD	
M_v	Hændelsens rang bestemt ud fra aflastet vandvolumen, V_a	
N	Tidsmæssig udstrækning af en regnserie	(år)
P	totalt udledt COD-mængde under en overløbsbegivenhed	(g) eller (kg)
$P(t)$	Iltproduktion (fotosyntese) som funktion af tiden	(mg $\cdot$ l $^{-1}$ $\cdot$ d $^{-1}$ $\sim$ g $\cdot$ m $^{-3}$ $\cdot$ d $^{-1}$)

q_s	($= Q_s/F_{red}$), intensitet af spildevandsstrøm	$(\ell \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1})$, ($\mu m/s$) eller (m/s)
Q_a	Maksimal vandføring i videreførende ledning fra overløbsbygværk	(m^3/s) eller (ℓ/s)
Q_b	Basisvandføring i vandløbet under tørvejr	(m^3/s) eller (ℓ/s)
Q_{ov}	Vandføring i overløb	(m^3/s) eller (ℓ/s)
Q_s	Spildevandsvandføring i afløbssystem	(m^3/s) eller (ℓ/s)
$R(t)$	Den samlede respiration i et vandløb som funktion af tiden	($mg \cdot \ell^{-1} \cdot d^{-1} \sim g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$)
t	Tid efter passage af forurenede vandvolumen for en given position i et vandløb	(s), (h) eller (d)
t_a	Varighed af den enkelte overløbs-hændelse	(s), (min), (h) eller (d)
t_f	Fuldtløbende afløbstid	(s), (min) eller (h)
t_h	Opholdstid i vandløbet fra udledningspunkt for overløbsvand	(s), (h) eller (d)
t_{kl}	Tidspunkt på døgnet. I forbindelse med beregning af iltsvind i et vandløb efter en overløbshændelse fås $t_{kl} = t_o + t_a/2 + t_h + t$ angivet som heltal i intervallet $0 \leq t_{kl} \leq 23$	
t_{kr}	Kritisk opholdstid i vandløbet fra udledningspunkt for overløbsvand svarende til opholdstid for opnåelse af laveste iltkoncentration på iltsvindskurven	(s), (h) eller (d)
t_o	Tidspunkt på døgnet for start af regnhændelse angivet som heltal i intervallet $0 \leq t_o \leq 23$	
T	Gentagelsesperiode	(år)
T_{max}	Gentagelsesperiode over hvilken et kvalitetskriterium ikke er defineret	(år)
u	Strømhastighed i vandløbet	(m/s)
V_a	Totalt aflastet vandvolumen ved en overløbsbegivenhed pr. befæstet areal	(mm) eller (m)
V_b	Bassinvolumen pr. befæstet areal	(mm) eller (m)
α	Relativ dagslængde i forhold til dagslængden ved jævndøgn	

β	Dimensionsløs parameter for iltssvingning over døgnet i et vandløb afhængig af geniltningsskonstant, K_2 , og relativ dagslængde, α	
$\beta_{\max}$	Maksimalværdi af β over døgnet	
$\beta_{\min}$	Minimalværdi af β over døgnet	
ΔC	Totalt iltudsving over et døgn i vandløbet	(mg/l $\sim$ g/m ³)
$\Delta\beta$	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	
Θ	Temperatur	(°C)
τ	($= (t_{kl} - 12)/24$), relativt tidspunkt på døgnet	

Omregningsfaktor: $1 \mu\text{m/s} = 10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$

Ordforklaring

Absorption

fjernelse af væsentligst opløst organisk stof fra vandfasen ved direkte optagelse og omsætning i vandløbsbundens dyriske organismer.

Adsorption

fjernelse af væsentligst kolloid organisk stof fra vandfasen til bundens faste bestanddele (grus, planter m.m.) på grund af fysisk-kemiske kræfter.

Eksponerings-tid

den tid en fiskebestand er udsat for en given påvirkning, her i form af lav iltkoncentration.

Ekstraktion

samlet betegnelse for fjernelse af organisk stof fra vandfasen ved absorption og adsorption.

Ekstrembelastning

stofbelastning ved et overløb i forbindelse med en enkeltstående regnhændelse; modsat eksempelvis årsbelastning.

Forsinket iltsvind

det iltsvind, som skyldes nedbrydning af organisk stof fjernet fra vandfasen ved adsorption og sedimentation. Iltsvindet finder især sted, efter at det aflastede vandvolumen har passeret den givne vandløbsstrækning.

Fotosyntese, $P(t)$

i et vandløb væsentligst grødens iltproduktion i dagtimerne.

Gentagelsesperiode, T

den reciprokke værdi af den enkelte regnhændelses hyppighed med hensyn til eksempelvis aflastet vandvolumen, aflastet stofmængde eller effekt målt ved kritisk

	iltkoncentration. For de enkelte hændelser i en historisk regnserie er gentagelsesperioden lig seriens tidsmæssige udstrækning divideret med hændelsens rang.
Iltdeficit	Underskud i forhold til iltmætningskoncentrationen.
Iltvindskurve	iltkoncentrationen i et vandløb som funktion af afstand eller opholdstid nedstrøms et udløb.
Iltsvingning	iltkoncentrationens variation over døgnet på grund af fotosyntese og respiration.
Kritisk iltkoncentration, C_{kr}	den minimale iltkoncentration som optræder på iltsvindskurven nedstrøms et udløb.
Kritisk opholdstid	opholdstiden (transporttiden) i vandløbet fra udledningspunktet til det kritiske punkt.
Kritisk punkt	det punkt i et vandløb nedstrøms et udløb, hvor den kritiske iltkoncentration optræder.
Kvalitetskriterium	Kvalitetsvariabel der sammen med et givet interval for acceptabel variation er forudsætningen for en ønsket anvendelse af et system, her et vandløb. Grænserne for intervallet fastlægges for den givne anvendelse med en passende grad af sikkerhed.
LC50	lethal koncentration svarende til 50% dødelighed for en given population, her fiskebestand.
Lethal	med dødelig udgang.
Medianværdi	værdi svarende til 50%-fraktilen for en given statistisk fordeling.
Overvand	regnvandsandelen i et fællessystem.

Parameter	en størrelse, der angiver en egenskab ved et system eller som indgår ved fastlæggelse af værdien af en proces.
Respiration, $R(t)$	nedbrydning af organisk stof i levende organismer med det formål at frembringe energi. Ved respiration forbruges fri ilt fra vandfasen. Den samlede respiration omfatter samtlige respirationsprocesser i vandløbet.
Umiddelbart iltsvind	det iltsvind, som skyldes nedbrydning af organisk stof i vandfasen eller som omsættes af organismer på vandløbsbunden. Iltsvindet finder sted under det aflastede vandvolumens passage af vandløbsstrækningen.
van't Hoff-udtryk	formel der angivet temperaturens indflydelse på en kemisk eller biokemisk proces.
Variabel	en målestørrelse som beskriver et systems tilstand gennem såvel systematiske som tilfældige variationer.

Forord

I løbet af 1970'erne etablerede Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité en koordination af dansk indsats til belysning af problemer relateret til afledning af regn fra bymæssige områder. Disse problemer domineres af de to skadevoldende fænomener: oversvømmelse og forurening. Dette skrift i rækken af publikationer om dette emne er helt koncentreret om forureningsproblemerne. Det er det grundlæggende udgangspunkt, at foranstaltninger til nedbringning af forurening forårsaget af regnaflledning skal være motiveret af krav til vandkvaliteten i recipienterne. I tilfældet regnaflledning er dette udgangspunkt specielt vanskeligt, fordi det indeholder et statistisk element, som skyldes regnens tilfældige natur — i modsætning til de daglige udledninger, som mere vedvarende belaster recipienten.

Skriftet er alene koncentreret om forurening forårsaget af regnens overbelastning af fællessystemer med deraf følgende pludselig belastning af vandløb fra overløbsbygværker. Med hensyn til den akkumulerede påvirkning af fx søer med næringssalte henvises til beregningsmetoderne beskrevet i Skrift nr. 21. Med hensyn til forurening fra udledninger fra separatsystemer og disses påvirkning af søer henvises til Miljøprojekter nr. 33, Miljøstyrelsen, 1981. Denne undersøgelse påviste en række effekter, bl.a. en akkumulering af tungmetaller. Med denne problemstillings karakter og det nuværende videnniveau er der ikke fundet grundlag for at udarbejde egentlige re-kommandationer for dimensionering af afløbssystemer.

Grundlaget for dette skrift er et flerårigt samarbejde mellem Miljøstyrelsen; Laboratoriet for Miljøteknik, Ålborg Universitetscenter; Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, Danmarks Tekniske Højskole og Spildevandskomiteen. Laboratoriet for Teknisk Hygiejne har stået for den teoretiske udvikling. Laboratoriet for Miljøteknik har foretaget alle praktiske undersøgelser. Miljøstyrelsen har finansieret undersøgelserne og Spildevandskomiteen har koordineret indsatsen. Lektor T. Hvitved-Jacobsen fra Laboratoriet for Miljøteknik har skrevet den rapport, som er forarbejdet til dette skrift. Licentiatstuderende, civilingeniør N.B. Johansen har foretaget alle EDB-be-

regninger. Jeg vil gerne takke begge for den omfattende indsats og for godt samarbejde i hele projektperioden. Desuden vil jeg gerne takke de øvrige medarbejdere ved de to Laboratorier, specielt medlemmer af Gruppen vedr. Urban Afstrømning ved Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, for interesse og for bidrag til udviklingen.

Skriftet har i udkast været forelagt Spildevandskomiteen, som har bidraget med ændringer og godkendt de konklusioner, der er draget på grundlag af det foreliggende undersøgelsesmateriale. Med hensyn til foreslået dimensioneringspraksis er dette skrift noget nyt. Der kendes ikke tilsvarende undersøgelser eller forslag fra udenlandsk litteratur. Forslagene bryder radikalt med mange års praksis for dimensionering af overløbsbygværker, som hidtil er dimensioneret uden specifik hensyntagen til den aktuelle recipient. Det er vort håb, at der med dette skrift er skabt grundlag for en væsentlig forbedret praksis for dimensionering af overløbsbygværker, således at rimelige krav til vandkvaliteten i vore omgivelser kan blive tilgodeset — også for så vidt angår de sjældne, men voldsomme belastninger vandløbene udsættes for under regn.

Poul Harremoës

Professor

Formand for Spildevandskomiteen
i perioden 1974-83

Peter Pallesen

Stadsingeniør

Formand for Spildevandskomiteen
siden 1983

Resumé

I det foreliggende skrift præsenteres en metode til dimensionering af overløb fra fælleskloakerede oplande til vandløb. Det er et grundlæggende udgangspunkt, at dimensioneringsprincippet er baseret på beskyttelse af recipienten som levested for fisk. Den momentane belastning med nedbrydeligt organisk stof fra et overløbsbygværk som årsag til iltsvind i vandløbet udgør for den enkelte regnhændelse det grundlag på hvilket den tilladelige belastning fastlægges.

Den beskrevne beregningsgang bygger på bestemmelse af ekstrembelastning efter Spildevandskomiteens Skrift nr. 21, Recipientbelastning fra Overløbsbygværker. Med dette udgangspunkt omfatter det foreliggende skrift følgende to hovedelementer i beregningsgangen:

- En metode til bestemmelse af den enkelte regnhændelses effekt på et vandløb ved hjælp af en iltsvindsmodel. Ved gennemregning af en regnserie fås herved en statistik over ekstrembelastningernes effekt i form af kritiske iltsvind.
- Et vurderingsgrundlag for tilladelig overløbsbelastning baseret på et statistisk bestemt kriterium for iltkoncentrationen som funktion af hændelsens gentagelsesperiode.

Den samlede metode gør det således muligt at vurdere, om en given overløbsbelastning er acceptabel med baggrund i fastholdelse af ønsket vandkvalitet.

Skriftet omfatter en detaljeret gennemgang af grundlaget for såvel iltsvindsberegningen som kriteriet for vandkvaliteten. Med dette grundlag som udgangspunkt er der, afhængig af krav til beregningsøkonomi, ønsket nøjagtighed i beregningsresultatet samt graden af data- og systemkendskab foretaget opdeling i forskellige beregningsniveauer, hvor benyttede modeller og omfanget af data er afpasset den givne problemstilling.

Der er til beregning af tilladelig overløbsbelastning mulighed for valg af såvel forenklede som mere avancerede metoder. Niveau 1 er som det mest

simple beregningsniveau karakteriseret ved benyttelse af allerede etablerede diagrammer med brug af forholdsvis få indgangsparametre til beskrivelse af afløbssystem, opland og recipient. På niveau 2, der ligeledes angiver en forenklet beregningsgang, har brugeren mulighed for med egne indgangsparametre at benytte forholdsvis simple modeller til dimensioneringen. Det er på dette niveau muligt at vælge mellem håndregning med en given, reduceret regnserie og en EDB-metode på basis af en mere omfattende regnserie. Udgangspunktet for beregning af iltsvindet er en vandløbsmodel, der tager det forsinkede iltsvind i forbindelse med den enkelte regnhændelse i regning. På niveau 3 er udgangspunktet en individuel afstrømningsmodel og en iltmodel for vandløbet, hvor flere fænomener af betydning for beregningsresultatet kan medtages. Dette niveau fører gradvist over i højere og mere avancerede niveauer med skærpede krav til såvel data som modeller.

Der er med den beskrevne dimensioneringsmetode for overløbsbygværker indført et princip om en bevidst recipientbeskyttelse gældende for momentane udledninger af overløbsvand til vandløb. Dette princip er et afgørende brud med den eksisterende praksis.

1 Indledning

Efterhånden som den daglige spildevandsstrøm renses i en grad svarende til ønskelig vandkvalitet i recipienterne, vil den relative betydning af regnvandsafledning fra byområder som årsag til forurening forøges. Den udbygning, som den kommunale spildevandsrensning gennem de seneste 10-15 år har været igennem, har således nu rettet søgelyset mod de ikke-kontinuerlige forureningskilder. Blandt disse udgør udledning af overløbsvand til vandløb et specielt, men meget væsentligt problem. En ændring af den nuværende praksis for aflastning fra fælleskloakerede byområder har derfor i stigende grad trængt sig på.

En sådan ændret praksis kræver imidlertid, at sammenhængen mellem belastning og resulterende recipienteffekt samt et vandkvalitetskriterium for overløbshændelser er fastlagt. Bestemmelse af disse relationer for en kontinuerlig belastning af et vandløb med iltforbrugende spildevand er velkendt. Det er imidlertid væsentligt at pointere, at belastning via overløb under regn udgør et ganske andet og mere komplekst problem. Beskrivelse af overløbsbegivenhedens væsentligste enkeltelementer, nemlig sammenhængen mellem belastning og recipienteffekt samt anvendte kriterier for overholdelse af ønskelig vandkvalitet, må antage ganske andre dimensioner. Det fundamentale i denne forbindelse er, at hændelsen både er momentan og optræder stokastisk.

Det er dette skrifts formål at beskrive en operationel metode til en ændret praksis for udledning af overløbsvand til vandløb. Heri indgår som noget fundamentalt en belastnings-effektberegning for udledning af overløbsvand til vandløb samt opstilling af et vandkvalitetskriterium for tilladeligt iltsvind.

2 Baggrund

Baggrunden for det foreliggende skrift har været et ønske i såvel Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité som i Miljøstyrelsen om at ændre den nuværende praksis for afledning af overløbsvand til vandløb.

Den nuværende praksis for regnafledning fra fælleskloakerede byområder hviler hvad angår recipientbeskyttelsen på et rent kvalitativt grundlag, idet praksis er indskrænket til et valg af enten hyppighed eller opspædningsgrad ved start af en aflastning.

En ændring af denne praksis er motiveret af et ønske om en bevidst recipientbeskyttelse, hvilket er blevet aktualiseret, efterhånden som den daglige spildevandsstrøm i stigende grad er blevet underkastet effektiv rensning eller er blevet afskåret fra følsomme recipienter. På grund af manglende viden om såvel overløbsbelastning som resulterende recipienteffekt er det imidlertid først nu blevet muligt at opstille en strategi for overløbsbelastning til vandløb under iagttagelse af vandkvaliteten.

De undersøgelser, som har dannet grundlag for dette skrifts beregningsmetoder vedrørende sammenhæng mellem overløbsbelastning og recipienteffekt er mere udførligt beskrevet i Miljøprojekter nr. 36. Det skal endvidere nævnes, at nærværende skrifts metode vedrørende beregning af stofbelastningen fra et opland hviler på de beregningsmetoder, der er beskrevet i Spildevandskomiteens Skrift nr. 21.

3 Effekt af overløbsbelastning af vandløb

3.1 Indledning

Når fællessystemer under regn aflastes for en blanding af regn- og spildevand er dette ensbetydende med såvel en hydraulisk som en forureningsmæssig påvirkning af et vandløb.

Af mulige påvirkninger af regnvandsafledning til vandløb må overløbsvands indhold af nedbrydeligt organisk stof anses for den væsentligste årsag til potentiel uønsket recipientkvalitet, jf. Miljøprojekter nr. 36. Denne konklusion bygger især på følgende:

- Iltkoncentrationen er generelt for vandløb den væsentligste faktor for opretholdelse af et varieret dyre- og planteliv. Iltsvind forårsaget af organisk stofs nedbrydning kan derfor være et kritisk forureningsmæssigt fænomen.
- Nedbrydeligt organisk stof er til stede i overløbsvand i forholdsvis stor koncentration sammenlignet med hvad der normalt er tilfældet ved udledning af spildevand til et vandløb.

Det er derfor besluttet at lade iltkoncentrationen udgøre det grundlæggende kriterium for ønskelig vandkvalitet i forbindelse med overløb. Denne beslutning forhindrer imidlertid ikke, at der ved fastlæggelse af kriteriet for tilladelig overløbsbelastning på det detaljerede niveau kan tages hensyn til andre vandkvalitetsvariable.

3.2 Iltforhold ved overløbsbelastning

Fastsættelse af en tilladelig overløbsbelastning forudsætter som noget fundamentalt en kvantificering af recipientreaktionen på regnvandsafledningen.

Denne videnopbygning stammer væsentligst fra det af Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité og Miljøstyrelsen iværksatte projekt vedrørende vandløbs reaktion på regnvandsafledning fra fælleskloakerede byområder, Miljøprojekter nr. 36.

Ved momentan udledning af nedbrydeligt organisk stof til et vandløb, som dette finder sted ved eksempelvis en overløbsbegivenhed, vil stoffjernelsen fra vandfasen i vandløbet kunne finde sted ved enten nedbrydning eller tilbageholdelse på vandløbets faste bestanddele. Afhængig heraf observeres to typer af effekter på et vandløbs iltkoncentration, nemlig et umiddelbart og et forsinket iltsvind:

- Umiddelbart iltsvind.

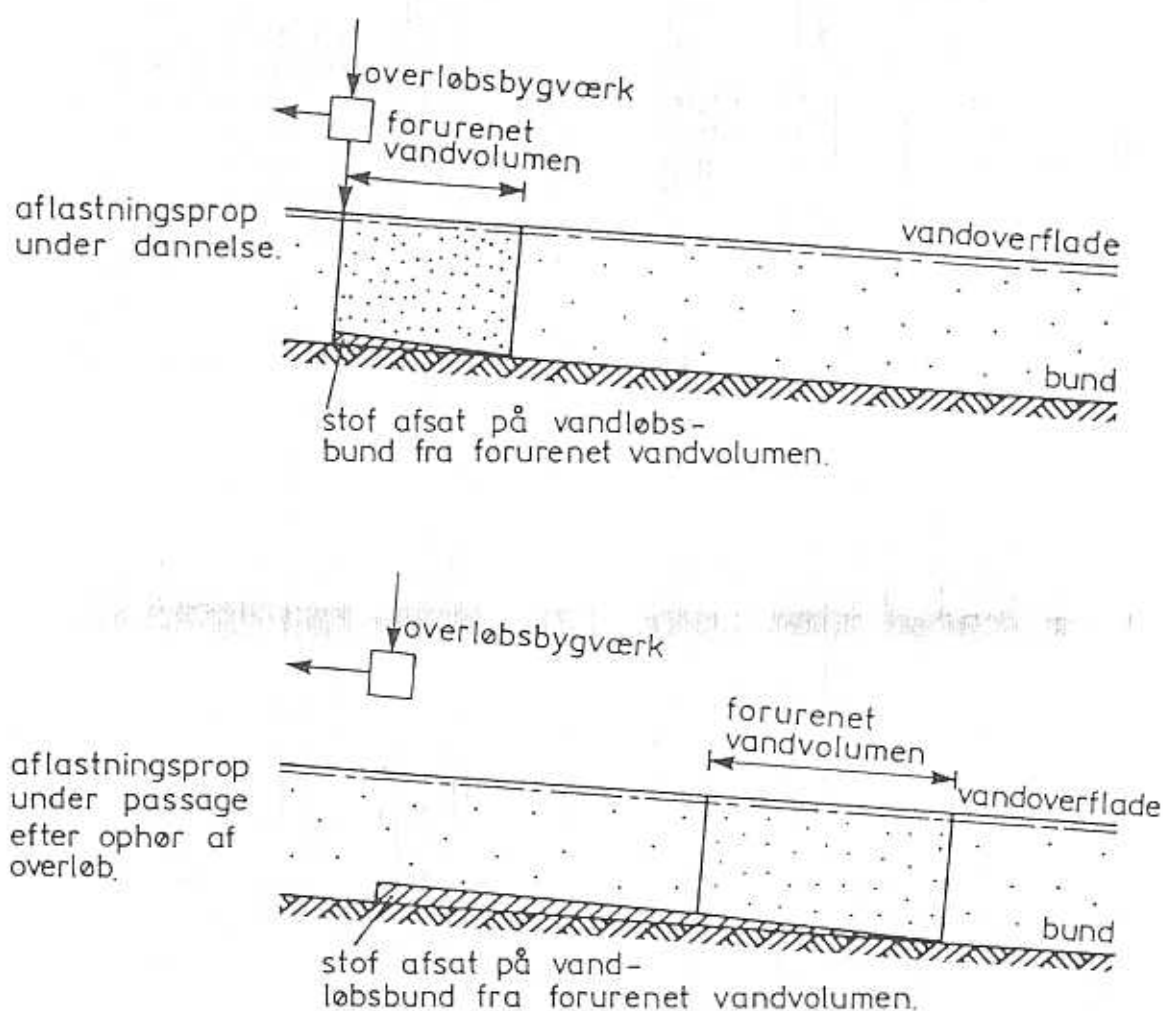
Fjernelse af det organiske stof fra vandfasen finder sted enten ved bakteriel nedbrydning i selve vandfasen eller ved en direkte absorption forårsaget af organismer på vandløbsbunden. I begge tilfælde modsvares stoffjernelsen af et øjeblikkeligt og et med den omsatte stofmængde ækvivalent iltforbrug.

Et fænomen, der ledsager det umiddelbare iltsvind, er den simple opblanding af overløbsvandet i recipientvandet ved udledningspunktet.

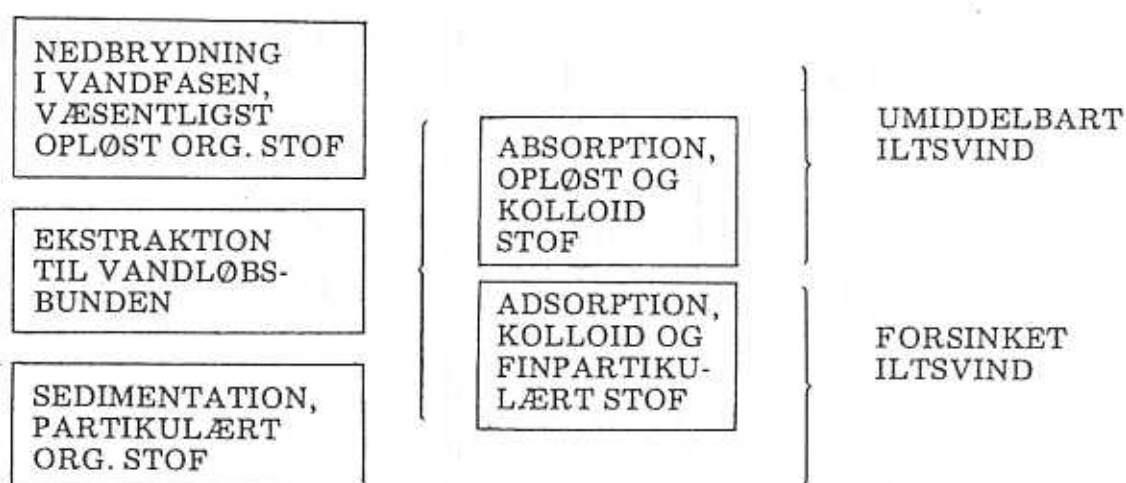
- Forsinket iltsvind.

Fjernelsen af det organiske stof fra vandfasen finder sted ved en fastholdelse til bunden. Fjernelsesprocessen kan være enten adsorption, hvorved stoffet fikseres til bundens faste bestanddele — eksempelvis sedimentpartikler, planter og sten — ved hjælp af fysisk-kemiske kræfter, eller sedimentation, hvorved partikulært stof tilbageholdes på bunden. Hverken adsorption eller sedimentation er ledsaget af en samtidigt forløbende nedbrydningsproces. Det adsorberede eller sedimenterede organiske stof vil først efter fjernelse fra vandfasen gradvist blive nedbrudt under forbrug af ilt fra den overliggende vandfase. Iltforbruget kan således i forhold til fjernelsen fra vandfasen — og dermed eksempelvis i forhold til en overløbsbegivenhed — betragtes som forsinket.

Sammenhængen mellem de omtalte fjernelsesmekanismer og recipienteffekten er skitseret i fig. 3.2.1 og 3.2.2.



Figur 3.2.1 Princip for dannelse henholdsvis passage af en aflastningsprop samt stof-fjernelse i et vandløb i forbindelse med overløb.



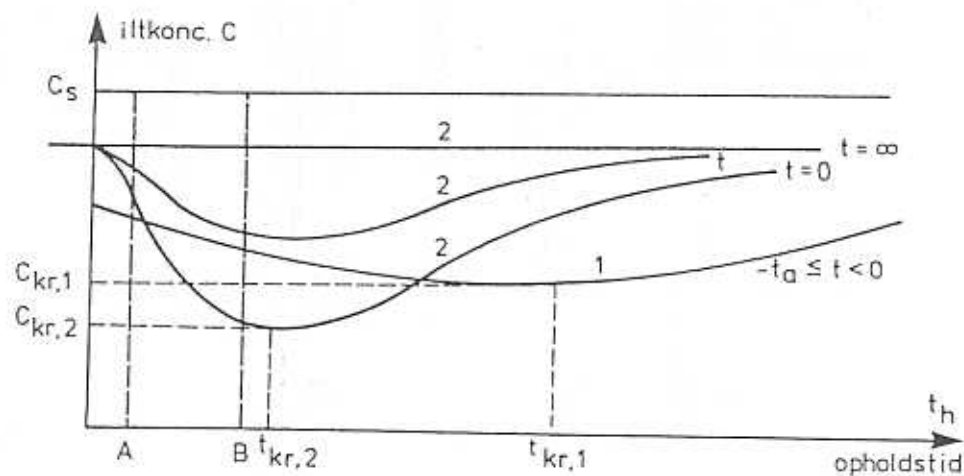
Figur 3.2.2 Oversigt over fjernelsesprocesser og iltsvind for organisk stof i et vandløb.

I fig. 3.2.3 er såvel det umiddelbare (1) som det forsinkede (2) iltsvind indflydelse på iltkoncentrationen C i et vandløb skitseret som funktion af opholdstiden t_h . Det umiddelbare iltsvind, som optræder under aflastningsproppens passage af vandløbet, er i princippet identisk med det fra Streeter og Phelps (1925) velkendte med et kritisk iltsvind svarende til iltkoncentrationen $C_{kr,1}$. Det forsinkede iltsvind stammende fra nedbrydningen af det på vandløbsbunden fastlagte organiske stof udviser et tilsvarende forløb, men optræder i princippet først, når den forurenede prop har passeret det pågældende sted på vandløbsstrækningen, hvilket svarer til, at tiden $t \geq 0$. Efterhånden som det fastlagte stof nedbrydes, formindskes effekten på iltkoncentrationen og for $t \rightarrow \infty$ er den stationære tilstand igen opnået, fig. 3.2.3. I praksis er det forsinkede iltsvind mærkbar over en periode på 5-20 timer efter aflastningens ophør.

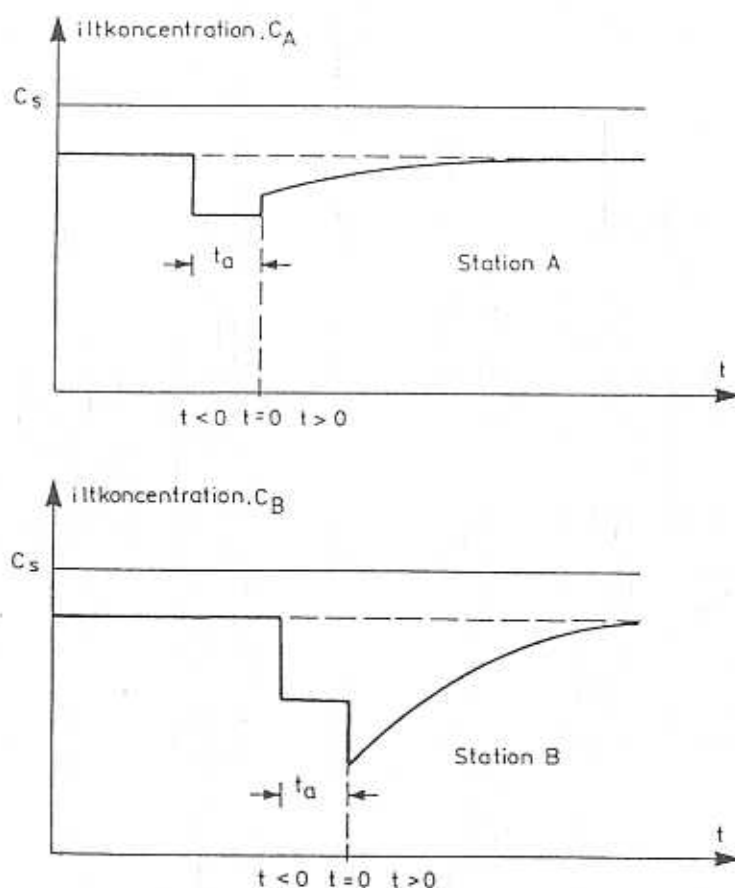
På tilsvarende måde som iltsvindskurverne i fig. 3.2.3 er vist som funktion af opholdstiden t_h i vandløbet, kan det tidsmæssige forløb for en fastlagt position beskrives. Dette fremgår af fig. 3.2.4 for t_h svarende til station A og B, hvor positioner i vandløbet med henholdsvis størst umiddelbart og størst forsinket iltsvind er eksemplificeret. På grund af dispersion i vandløbet og en kontinuerlig overgang mellem det umiddelbare og det forsinkede iltsvind vil et virkeligt forløb naturligvis være mere udjævnet end det fremgår af fig. 3.2.4.

Fig. 3.2.3 og 3.2.4 illustrerer på flere måder et simplificeret tilfælde. Bl.a. er vandløbets iltkoncentration i tørvejrstilstanden forudsat konstant over døgnet. På grund af grødevækstens iltproduktion i dagtimerne og iltforbruget til respiration over hele døgnet vil denne grundbelastning imidlertid kunne udvise en karakteristisk døgnsvingning med de højeste iltkoncentrationer i dagtimerne og de laveste om natten. Når effekten af den enkelte aflastning i form af et iltdeficit superponeres denne døgnsvingning, vil der afhængig af aflastningstidspunktet på døgnet kunne forekomme forskellig respons på én og samme aflastning. Dette princip er illustreret på fig. 3.2.5 for fastholdt position i et vandløb.

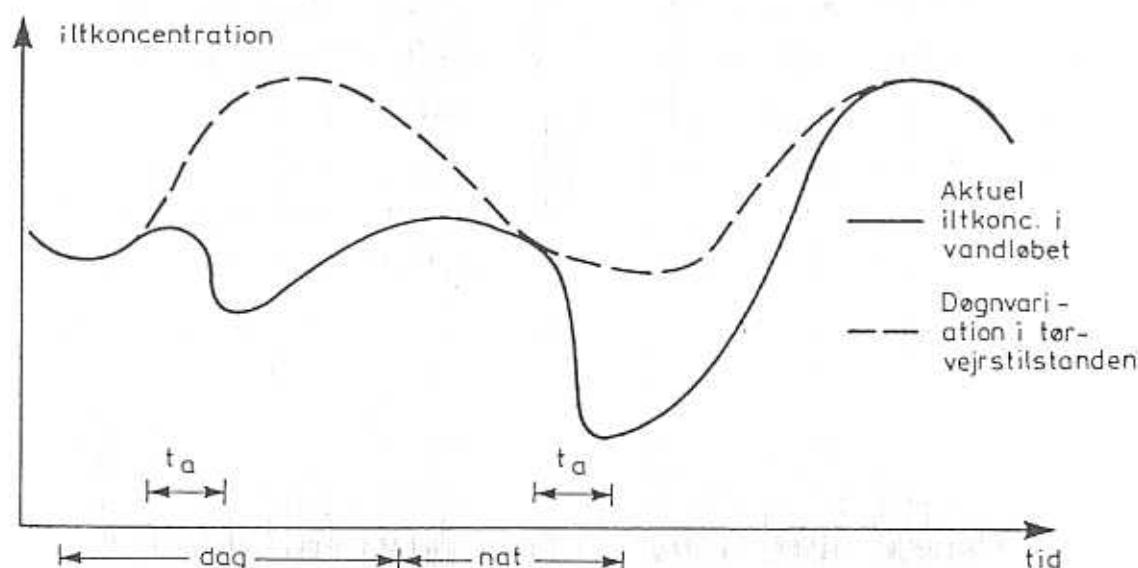
De i fig. 3.2.3, 3.2.4 og 3.2.5 skitserede forløb af iltsvind i vandløb i forbindelse med udledning af overløbsvand er eftervist ved såvel naturlige som kunstige aflastninger, Miljøprojekter nr. 36, Hvitved-Jacobsen and Harremoës (1982) samt Hvitved-Jacobsen (1982).



Figur 3.2.3 Princip for iltvindskurve for umiddelbart (1) og forsinket (2) iltvind. Sidstnævnte er angivet til forskellige tidspunkter t efter proppens passage. t_a er varigheden af aflastningen.



Figur 3.2.4 Princip for iltkoncentrationens variation i stationerne A og B før, under og efter det forurenedede vandvolumens passage. Det forsinkede iltvind forekommer for $t \geq 0$. Jf. fig. 3.2.3.



Figur 3.2.5 Iltsvind i et vandløb for fastholdt position med aflastning i henholdsvis dag- og nattetimerne. Varigheden af hver af de to aflastninger er angivet ved t_a .

3.3 Forsinket iltsvind som dimensionsgivende fænomen for overløbsbelastning

For en aktuel overløbsbelastning er det afgørende at få fastslået, om det er det umiddelbare, det forsinkede eller evt. det kombinerede iltsvind, der bliver bestemmende som kritisk og dermed dimensionsgivende fænomen for tilladelig belastning. Såvel gennemførte vandløbsundersøgelser som modelberegninger har vist, at det forsinkede iltsvind giver størst kritisk værdi og således bliver det dominerende fænomen. Årsagen hertil er især:

- Vandfasen udtømmes forholdsvis hurtigt efter udløbspunktet for nedbrydeligt organisk stof gennem adsorption og sedimentation til vandløbsbunden. Grunden hertil er, at denne fjernelseshastighed er væsentlig større end nedbrydningshastigheden i vandfasen.
- Det kritiske punkt for det forsinkede iltsvind vil på grund af forholdet omtalt ovenfor ligge forholdsvis nær udledningpunktet. Modsætningsvis ligger det kritiske punkt for umiddelbart iltsvind normalt væsentlig fjernere og eventuelt så langt nedstrøms, at naturlig indsigning og tilløb har formindsket en potentiel effekt.

- Nedbrydningshastigheden for det frisk adsorberede organiske stof på vandløbsbunden er relativ stor.
- Varigheden af det forsinkede iltsvind vil normalt være større end varigheden af det umiddelbare, der svarer til aflastningshændelsens varighed, t_a .

En forudsætning for det forsinkede iltsvinds dominerende effekt er, at der ikke ved opblanding af overløbsvandet med recipientvandet ved udledningspunktet opstår lave iltkoncentrationer. Denne forudsætning vil oftest være opfyldt på grund af regnvandets dominerende andel af overløbsvandet. Er dette ikke tilfældet, eller er opholdstiden i afløbssystemet lang, vil etablering af eksempelvis en iltningsstrappe før udledning af overløbsvandet kunne være en nødvendig foranstaltning for opretholdelse af gunstige iltforhold i vandløbet ved udledningspunktet. Under forudsætning heraf og på grund af de netop omtalte fire forhold kan effektberegningen for tilladelig belastning baseres på det forsinkede iltsvind som kritisk fænomen. Det forsinkede iltsvinds dominerende rolle for iltforholdene i vandløb efter en aflastning er altså en simplificeret, men samtidig acceptabel antagelse ved opstilling af en beslutningsstrategi for afledning af overløbsvand.

4 Fastlæggelse af vandkvalitetskriteriet i forbindelse med overløb

4.1 Indledning

Som nævnt i afsnit 3 er retningslinierne for tilladelig overløbsbelastning af vandløb baseret på aflastning af nedbrydeligt organisk stof og iltkoncentrationen som nøglevariabel for vandkvalitet. Der skal ved fastlæggelse af vandkvalitetskriteriet for tilladelig overløbsbelastning tages hensyn til en række forhold, hvoraf især skal fremhæves:

- Udledning af overløbsvand finder sted som en kortvarig og stokastisk begivenhed.
- Sjældne og mere effektfulde overløbsbegivenheder må behandles forskelligt fra de hyppige hændelser.
- Der må fastlægges en minimal acceptabel iltkoncentration svarende til dels overlevelse (lethal effekt), dels et givet aktivitetsniveau (sublethal effekt) for fiskebestanden.
- Effekten af lave iltkoncentrationer på fisk er afhængig af især art og udviklingstrin.
- Indvirkningen af bl.a. temperaturen på effekten af lave iltkoncentrationer må tages i betragtning.
- Øvrige effekter; dvs. en række af mere specielle forhold, som vil kræve lokal indsigt.

De nævnte fænomener vil kun blive diskuteret i den udstrækning, de er relevante for vandkvaliteten i forbindelse med overløbshændelser.

4.2 Stationær contra momentan udledning af spildevand

Som noget helt fundamentalt for et vandkvalitetskriterium må der skelnes mellem kontinuerlig og momentan udledning af iltforbrugende organisk

stof til vandløb. Førstnævnte tilfælde kan tilnærmelsesvis eksemplificeres ved udledning fra et rensningsanlæg, mens sidstnævnte tilfælde illustreres ved udledning af overløbsvand. Såvel naturen af overløbshændelsers indtræden som disses størrelsesorden gør, at kriteriet for tilladelig overløbsbelastning må behandles statistisk.

Kvalitetskriteriet for et vandløbs iltkoncentration under »stationære« forhold kan formuleres forskelligt, men i princippet kan følgende benyttes som illustration: Der fastlægges en mediankoncentration for opløst ilt over en vis periode — eksempelvis et døgn — og samtidig hermed en angivelse af den lavest acceptable iltkoncentration i denne periode. Et sådant princip er fulgt i EF-direktivet af 18. juli 1978, »Om kvaliteten af ferskvand, der kræver beskyttelse eller forbedring for at være egnet til, at fisk kan leve deri«, og i angivelsen af grænseværdier for opløst ilt i Miljøstyrelsens Vejledning i Recipientkvalitetsplanlægning nr. 1 (1983).

Et operationelt kriterium for iltkoncentrationen i vandløb under en overløbsbegivenhed må af flere grunde formuleres helt forskelligt herfra. For det første vil en overholdelse af et kriterium som det omtalte i princippet lægge hindring i vejen for afledning af overløbsvand, idet især de sjældne hændelser kan resultere i endog meget lave iltkoncentrationer. For det andet vil en benyttelse af det »stationære« kriterium — selv med ændrede iltkoncentrationsværdier — fortsat være baseret på et gennemsnit over en vis lang tidsperiode. Der er således i et sådant kriterium intet udtrykt, hvorved den enkelte overløbshændelses hyppighed og farlighed målt ved gentagelsesperiode samt niveau og varighed af lave iltkoncentrationer kan relateres til kriteriet.

4.3 Princip for kvalitetskriteriet

Et kvalitetskriterium for iltkoncentration i forbindelse med overløb, hvorved der tages hensyn til regnhændelsernes natur og virkning, må derfor baseres på følgende:

- En statistik for størrelsen af den enkelte hændelse.
- Et kriterium der tager hensyn til varigheden af lave iltkoncentrationer og den dermed forbundne effekt på vandløbets fiskebestand.

- En statistisk bestemt accept af, at kritiske — og sjældne — hændelser *kan* få konsekvenser for overlevelse af en del af fiskebestanden i et vandløb.
- Et kriterium der for hyppige hændelser bliver identisk med kravet til vandkvaliteten under »stationære« forhold fastlagt identisk med eksisterende vejledende grænseværdier for opløst ilt.
- Et kriterium der tager hensyn til vandløbets anvendelse som levested for henholdsvis karpe- og laksefisk.

Førstnævnte punkt vedrørende hyppighed og størrelse af den enkelte hændelse er, hvad angår den hydrauliske og stofmæssige belastning fra overløbsbygværker, indgående behandlet i Spildevandskomiteens Skrift nr. 21, »Recipientbelastning fra Overløbsbygværker«. Der skal derfor generelt henvises hertil og kun fremdrages helt fundamentale begreber og forhold. Den i dette skrift benyttede statistik for overløbsbelastning er baseret på 33 års målinger af nedbør omfattende ialt 1571 hændelser over 3,0 mm (Odense-serien). Denne statistik er suppleret med afstrømningsberegninger og måling af stofkoncentrationer i overvand, hvorved aflastning af vand og stof kan bestemmes. Følgende grundlæggende begreb er indført for gentagelsesperioden af den enkelte regnhændelse:

$$T = \frac{N}{M}$$

hvor T = gentagelsesperiode (år)

N = tidsmæssig udstrækning af overløbsserien; 33 år for Odense-serien

M = hændelsens rang. Hændelse med størst værdi tillægges rang nr. 1 osv.

Størrelsen af den enkelte hændelse kan bestemmes som:

Totalt aflastet vandvolumen.

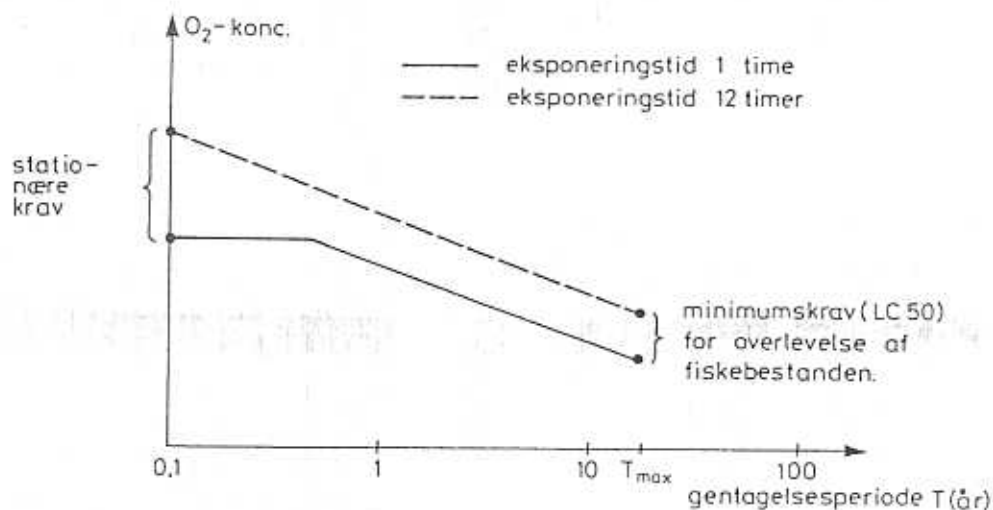
Totalt aflastet stofmængde målt som total COD.

Totalt aflastet stofmængde målt som opløst COD.

Varigheden af hændelsen, t_a .

Muligheden for at bestemme disse størrelser er helt afgørende for fastlæggelse af hændelsens recipienteffekt og dermed også bestemmende for de elementer, der skal indgå i kvalitetskriteriet.

I det følgende skal vises, hvorledes kendskabet til den nævnte statistik, det førstnævnte punkt, sammen med valg af delkriterier vedrørende de øvrige fire punkter, kan lede frem til et samlet operationelt vandkvalitetskriterium for udledning af overløbsvand. Det principielle i kriteriet fremgår af fig. 4.3.1 og er i det følgende nøjere forklaret.



Figur 4.3.1 Princip for kvalitetskriteriet, dvs. grænseværdier for iltkoncentration i forbindelse med overløb til vandløb, jf. tekst.

4.4 Fastlæggelse af enkeltelementer i kvalitetskriteriet

Af fig. 4.3.1 ses, at der svarende til pkt. nr. 2, afsnit 4.3, er fastlagt et minimumskriterium for eksponering af fiskebestanden til lave iltkoncentrationer i henholdsvis 1 time og 12 timer. Kriteriet er altså overholdt, såfremt kritisk iltkoncentration i ethvert punkt af vandløbet beregnet som middelværdi over 1 time ligger over den fuldt optrukne kurve, eller som middelværdi over 12 timer ligger over den stiplede kurve. Der er herved i kriteriet indbygget det faktum, at såvel overlevelse som aktivitetsniveau for fiskebestanden afhænger af eksponeringstid ved lave iltkoncentrationer; et forhold, der i princippet også er indbygget i det »stationære« kvalitetskrav.

Af fig. 4.3.1 fremgår endvidere i overensstemmelse med pkt. nr 3, afsnit 4.3, at jo større gentagelsesperioden T for minimal iltkoncentration i vandløbet er, dvs. jo mere sjælden og effektfuld hændelsen er, desto lavere tillades iltkoncentrationskriteriet (grænseværdien) at være. Der er endvidere indført det helt fundamentale princip i kvalitetskriteriet, at over en vis høj

gentagelsesperiode, $T_{\max}$, vil mere end 50% dødelighed blandt fiskebestanden på grund af iltmangel finde sted, selv ved en formel overholdelse af kvalitetskriteriet. Det bør dog bemærkes, at denne situation kun vil optræde omkring det punkt i vandløbet, hvor det minimale iltdeficit (kritisk iltkoncentration) opstår.

Det er værd at fremhæve, at såfremt overløb til et vandløb accepteres, må prisen herfor også betales i form af en potentiel risiko for fiskedrab. Det væsentlige i forbindelse med det angivne kriterium i forhold til nuværende praksis er imidlertid, at denne pris kan kvantificeres, idet effektberegningen kan sammenlignes med kriteriet.

Valget af $T_{\max}$ bestemmer graden af den langvarige beskyttelse, som vandløbets fiskebestand underkastes i forbindelse med overløbsbelastning. En rimelig afvejning mellem, hvad der af hensyn til beskyttelse af fiskebestanden er ønskeligt, og hvad der samtidigt er teknisk-økonomisk muligt, fører til valget af de i tabel 4.4.1 angivne $T_{\max}$ -værdier i relation til fiskevandsmålsætningerne B_{1-3} , jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 1 (1983).

Tabel 4.4.1 Beskyttelse af fiskebestande i vandløb i forbindelse med overløb angivet ved gentagelsesperiode, $T_{\max}$, for overskridelse af LC50.

Fiskevandsmålsætning	$T_{\max}$ (år)
B_1 *) gyde- og yngelopvækst- område for laksefisk	16
B_2 laksefiskevand	12
B_3 karpefiskevand	8

*) Etablering af overløbsbygværker opstrøms vandløbsstrækninger med målsætningen B_1 bør i videst mulig omfang undgås.

Som angivet på fig. 4.3.1 fastlægges for den valgte $T_{\max}$ -værdi 2 værdier for minimal iltkoncentration svarende til henholdsvis 1 og 12 timers eksponeringstid. Disse værdier bestemmes ud fra 50% overlevelse for den aktuelle fiskebestand. Fastlæggelsen af disse værdier (antydnet ved x) vil blive diskuteret i afsnit 4.5. Her skal blot princippet noteres, tabel 4.4.2:

Tabel 4.4.2 Princip for fastlæggelse af minimal iltkoncentration svarende til 50% overlevelse.

	1 times eksponeringstid	12 timers eksponeringstid
»karpefisk«	x	x
laksefisk	x	x

Som grundlag for fastlæggelse af grænseværdien for iltkoncentration svarende til 1 times eksponering i forbindelse med meget hyppige hændelser er benyttet de i Miljøstyrelsens Vejledning nr. 1 (1983) angivne vejledende grænseværdier for døgnminimum. De således valgte værdier er imidlertid ikke i princippet defineret i relation til begrebet gentagelsesperiode for overløbsbegivenheder. Det er valgt at lade de angivne grænseværdier være gældende såfremt gentagelsesperioden for den pågældende overløbshændelse er $\leq 0,1$ år, tabel 4.4.3. Et kriterium for 12 timers eksponering er ikke tilsvarende sammenligneligt med de vejledende værdier for laveste iltkoncentration i 50% af tiden. Kriteriet for 12 timers eksponering er valgt 1 mg/l højere end kriteriet for 1 times eksponering, tabel 4.4.3.

Tabel 4.4.3 Vejledende grænseværdier for opløst ilt såfremt gentagelsesperioden $T \leq 0,1$ år.

Fiskevandsmålsætning	Eksponeringstid	
	1 time (mg/l)	12 timer (mg/l)
B ₁ *) gyde- og yngelopvækstområde for laksefisk (15. jan. - 16. april)	8	9
B ₂ laksefiskevand	6	7
B ₃ karpefiskevand	4	5

*) Etablering af overløbsbygværker opstrøms vandløbsstrækninger med målsætningen B₁ bør i videst mulig omfang undgås.

Den fundamentale forskel i kriterierne for henholdsvis sjældne og meget hyppige hændelser er, at der i forbindelse med hyppige overløbshændelser må stilles krav til et »normalt« aktivitetsniveau for fiskebestanden eksempelvis i form af bevægelse, fødeoptagelse og reproduktionsevne, hvilket går videre end til den blotte overlevelse, som er afgørende, hvis hændelsen er sjældent forekommende.

Kvalitetskriteriet for udledning af overløbsvand kan herefter angives ved interpolation mellem de fastsatte kriterier for henholdsvis meget hyppige og sjældne hændelser defineret ved en gentagelsesperiode på henholdsvis $T = 0,1$ år og $T = T_{\max}$. Det samlede kriterium for en eksponeringstid på 12 timer som funktion af T fremkommer således ved at forbinde de to ekstreme punkter på kurven, fig. 4.3.1, med en ret linie. Gennem punktet $T = T_{\max}$ ved en eksponeringstid på 1 time tegnes endvidere en ret linie parallel med den netop indtegnede. Denne rette linie vil sammen med en eventuel vandret del på kurven svarende til den aktuelle vejledende grænseværdi for $T = 0,1$ år angive kriteriet for en eksponeringstid på 1 time, jf. fig. 4.3.1.

4.5 Valg af minimale iltkoncentrationer

Som angivet ved princippet vist i tabel 4.4.2 må der fastlægges minimale iltkoncentrationer for kortvarige, kritiske begivenheder.

Det må fastslås, at der ikke eksisterer noget entydigt niveau for minimal iltkoncentration under de simplificerede omstændigheder, som angives af matricen i tabel 4.4.2. For at blive operationel må de forhold, der er af væsentlig betydning ud over det anførte, derfor vurderes og eventuelt indirekte fremgå af de valgte iltkoncentrationsniveauer. Andre forhold, der vurderes af sekundær betydning, vil blive udeladt.

Følgende forhold vil således blive inddraget i fastlæggelsen af den minimale iltkoncentration svarende til princippet i tabel 4.4.2:

- Temperaturen, herunder fiskebestandens tilpasning hertil.
- Udviklingstrin for fiskebestanden.

ad 1. punkt:

Der er i princippet tre forhold at tage højde for i forbindelse med bestemmelse af temperaturens indflydelse på niveauet for lethal iltkoncentration, nemlig:

- a) Det forhold, at fisk med stigende temperatur får forøget stofskifte og et dermed stigende behov for ilt til respiration.
- b) Fisk akklimatiseret til et bestemt temperaturniveau kan i forbindelse med en overløbsbegivenhed pludselig blive udsat for en sådan temperaturændring, at denne nedsætter tolerancen for overlevelse ved lave iltkoncentrationer.
- c) At iltbindingskurven for hæmoglobin er temperaturafhængig svarende til, at iltoptagelsen vanskeliggøres ved temperaturstigning. Især laksefisk er følsomme over for dels højt temperaturniveau, dels ændringer heri i specielt opadgående retning. Undersøgelser viser, at laksefisk generelt kan tolerere en temperaturstigning på ca. 5°C til en maksimal temperatur på ca. 20°C uden at dø. For karpefisk er de tilsvarende forhold en stigning på ca. 8°C til en temperatur på ca. 30°C.

Der vil derfor blive lagt vægt på det forhold, at grænseværdien for iltkoncentrationen vil tillade overlevelse ved ca. 20°C for laksefisk og ca. 30°C for karpefisk. For danske vandløb er det derfor på denne baggrund en rimelig tilnærmelse at lade de valgte niveauer for lethale iltkoncentrationer være temperaturafhængige.

ad 2. punkt:

Især på æg- og larvestadiet vil lave iltkoncentrationer i vandfasen kunne være kritiske for overlevelse. Det bør derfor fremhæves, at udledning af overløbsvand til gyde- og yngelopvækstområder i videst muligt omfang bør begrænses.

Der er en række andre forhold, som kunne tages i betragtning ved valg af den minimale tilladelige iltkoncentration, men som af hensyn til såvel praktisk anvendelighed som forventet vigtighed vil blive nedprioriteret. Disse forhold er især:

- Udledning af stoffer, der vil kunne nedsætte fiskenes tolerance over for lave iltkoncentrationer.

Sådanne stoffer kan eksempelvis være tungmetaller og NH_3 .

- Forskellige fiskearters krav til koncentrationen af opløst ilt både mht. overlevelse og under iagttagelse af et »normalt« aktivitetsniveau er forskellige. Der vil her kun blive skelnet mellem to ikke homogene grupper, nemlig karpefisk og laksefisk.

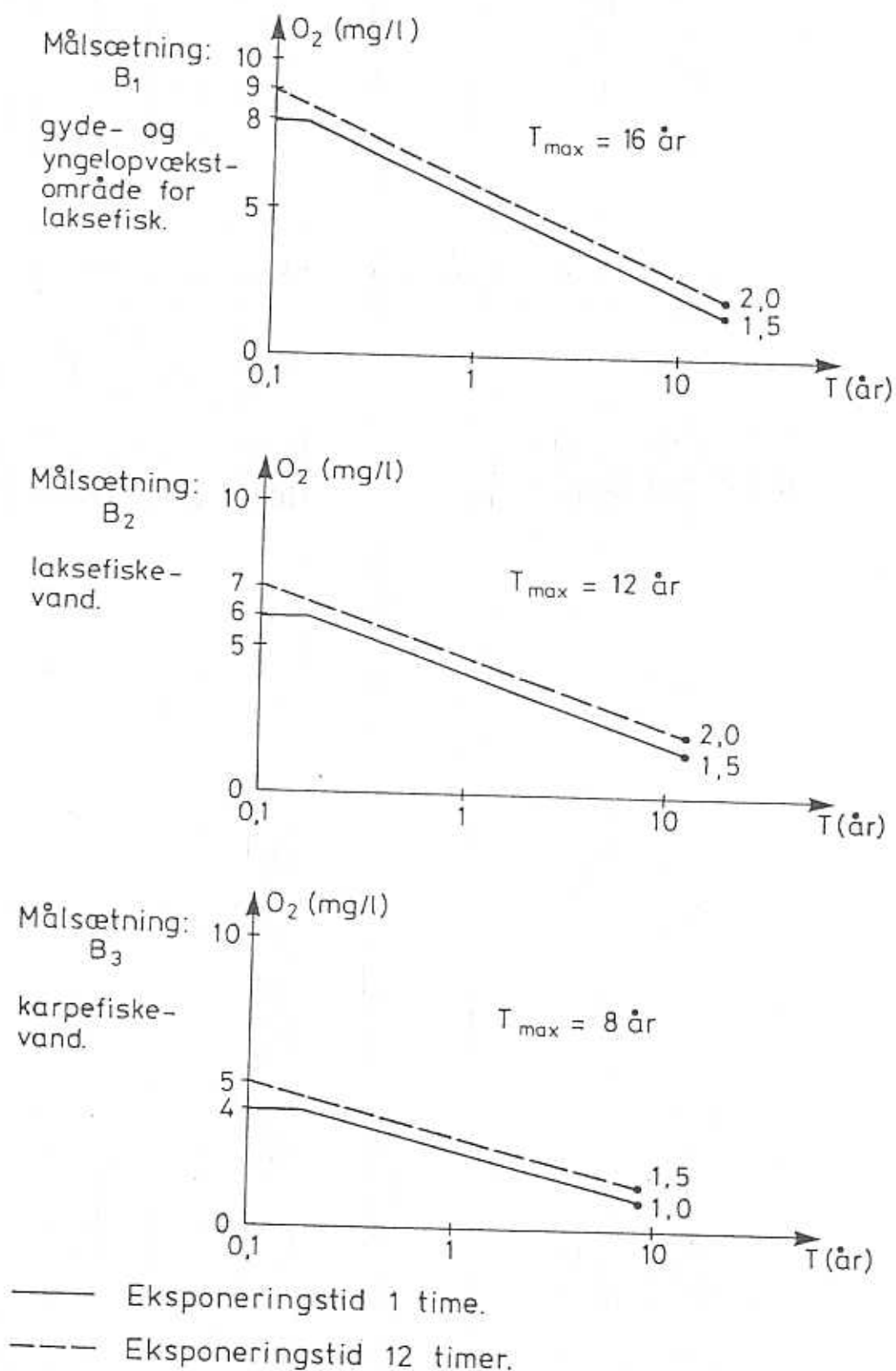
Med baggrund i studiet af et omfattende litteraturmateriale anført i referencelisten anbefales følgende konkrete udgave af tabel 4.4.2:

Tabel 4.5.1 Minimale iltkoncentrationer svarende til 50% overlevelse.

	Eksponeringstid	
	1 time (mg/l)	12 timer (mg/l)
»karpefisk«	1,0	1,5
laksefisk	1,5	2,0

4.6 Sammenfatning

Kriteriet for acceptabel vandkvalitet i forbindelse med overløb til vandløb kan herefter udmøntes i tre muligheder, idet det igen bemærkes, at overløb opstrøms vandløbsstrækninger med gyde- og yngelopvækstområder for laksefisk i videst mulig omfang bør undgås, jf. fig. 4.6.1.



Figur 4.6.1 Kriterier for acceptabel iltkoncentration i forbindelse med overløb.

5 Strategi og niveauer for beregning af tilladelig overløbsbelastning

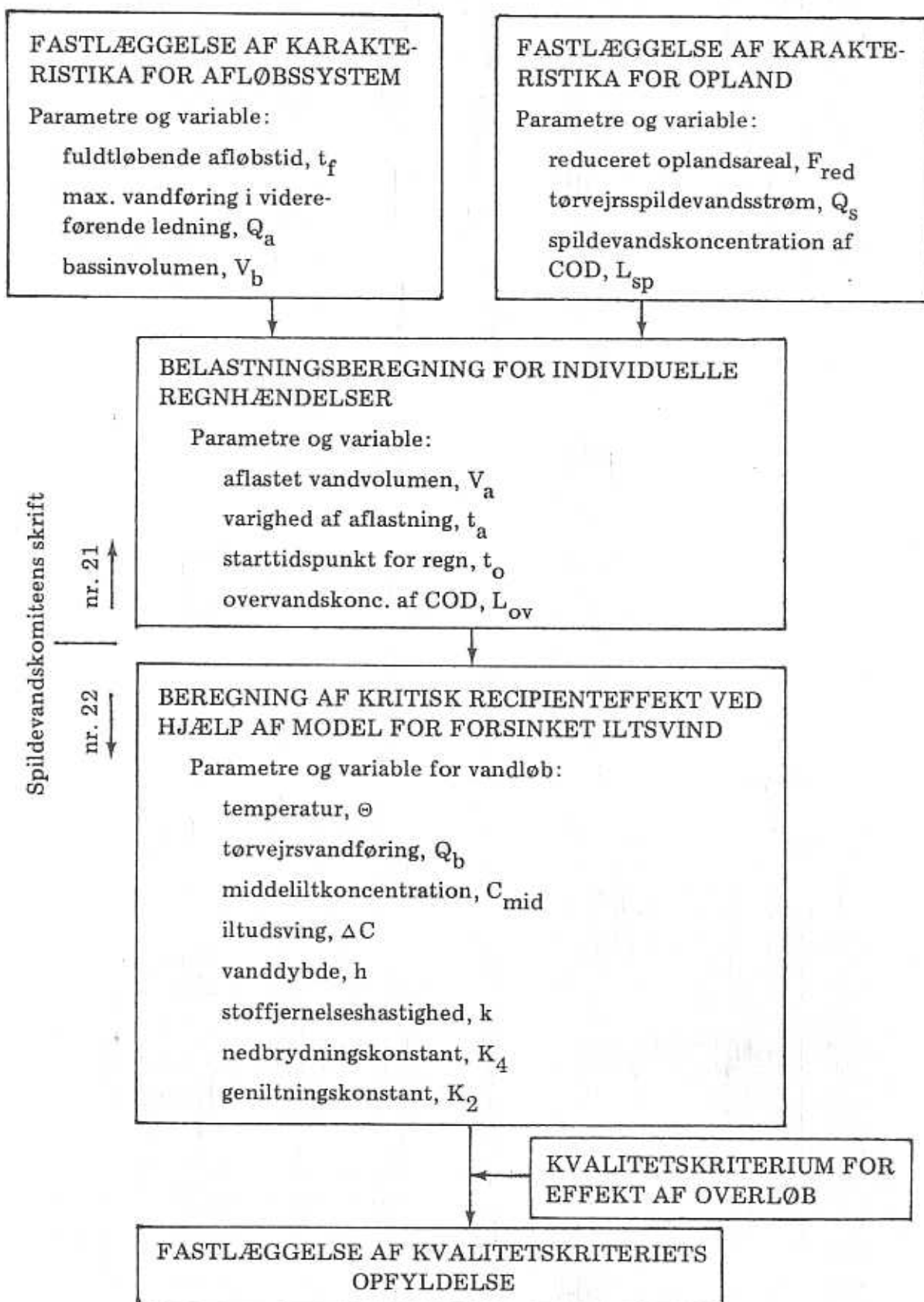
5.1 Beregningsprincip

I det følgende skal beregningsgangen for bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning kort beskrives. Denne beregningsgang er med udgangspunkt i oplands- og afløbskarakteristika baseret på beregning af ekstrembelastninger til vandløb for individuelle regnhændelser i en regnserie, jf. Spildevandskomiteens Skrift nr. 21, »Recipientbelastning fra Overløbsbygværker«. Disse ekstrembelastninger er herefter basis for beregning af kritisk recipienteffekt, som således kan sammenlignes med valgt kvalitetskriterium. Denne strategi er kort beskrevet i fig. 5.1.1.

Det fremgår af den skitserede beregningsgang, at en række parametre og variable må fastlægges før beregningsmetoden kan gennemføres. Fastlæggelsen af disse størrelser vil blive diskuteret i detaljer i relation til beregningsgangen på det enkelte beregningsniveau. De på figur 5.1.1 angivne parametre og variable skal således blot skitsere et mindstekrav svarende til en relativ simpel beregningsgang.

5.2 Niveauopdeling af beregningsmetoder

Dimensionering af overløbsbygværker baseret på en tilladelig belastning af vandrecipienten udgør et beregningskompleks, der bygger på en lang række delelementer. Disse elementer omfatter historiske regndata, beregningsmetoder for såvel regn- som stofafstrømning og en model for recipienteffekten. I praksis vil problemkompleksets enkeltelementer kunne anvendes på forskellige niveauer afhængig af formålet med beregningen. Ved denne niveauopdeling vil således indgå både beregningsøkonomi og ønsket nøjagtighed af resultaterne. Niveauopdelingen, som den vil blive defineret i dette



Figur 5.1.1 Strategi for bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning.

skrift, fremgår i skematisk form på figur 5.2.1. På det simpleste niveau 1 vil man på basis af kendskab til forholdsvis få indgangsparametre gennem aflæsning af diagrammer have mulighed for at identificere størrelsesordenen af recipientproblemet. Med baggrund i stigende brug af og viden om problemkompleksets primære data og fænomener samt ved anvendelse af mere og mere omfattende modeller er det muligt at gennemføre beregningerne på stadigt højere niveauer med deraf følgende større nøjagtighed i resultaterne.

Figur 5.2.1 gør ikke krav på at være en komplet angivelse af mulige beregningsniveauer. Det stilles brugeren helt frit selv at definere og benytte hensigtsmæssige kombinationer mellem de anførte niveauer afpasset efter muligheder og krav.

I det følgende vil især brugen af resultater fra niveau 1 og beregningsgang på niveau 2 blive vist i detaljer. Indledningsvis vil niveauopdelingen imidlertid blive forklaret nøjere med hensyn til både omfang, krav og resultater:

Niveau 1

De beregninger, som ligger til grund for niveau 1, er i princippet identiske med metoder omtalt under niveau 2. På niveau 1 er gennemregning blot udført med på forhånd valgte standardværdier for indgangsparametre og -variable. Slutresultatet af disse beregninger fremstår som en række kurver over kriteriet for tilladelig overløbsbelastning som funktion af afløbstallet, a :

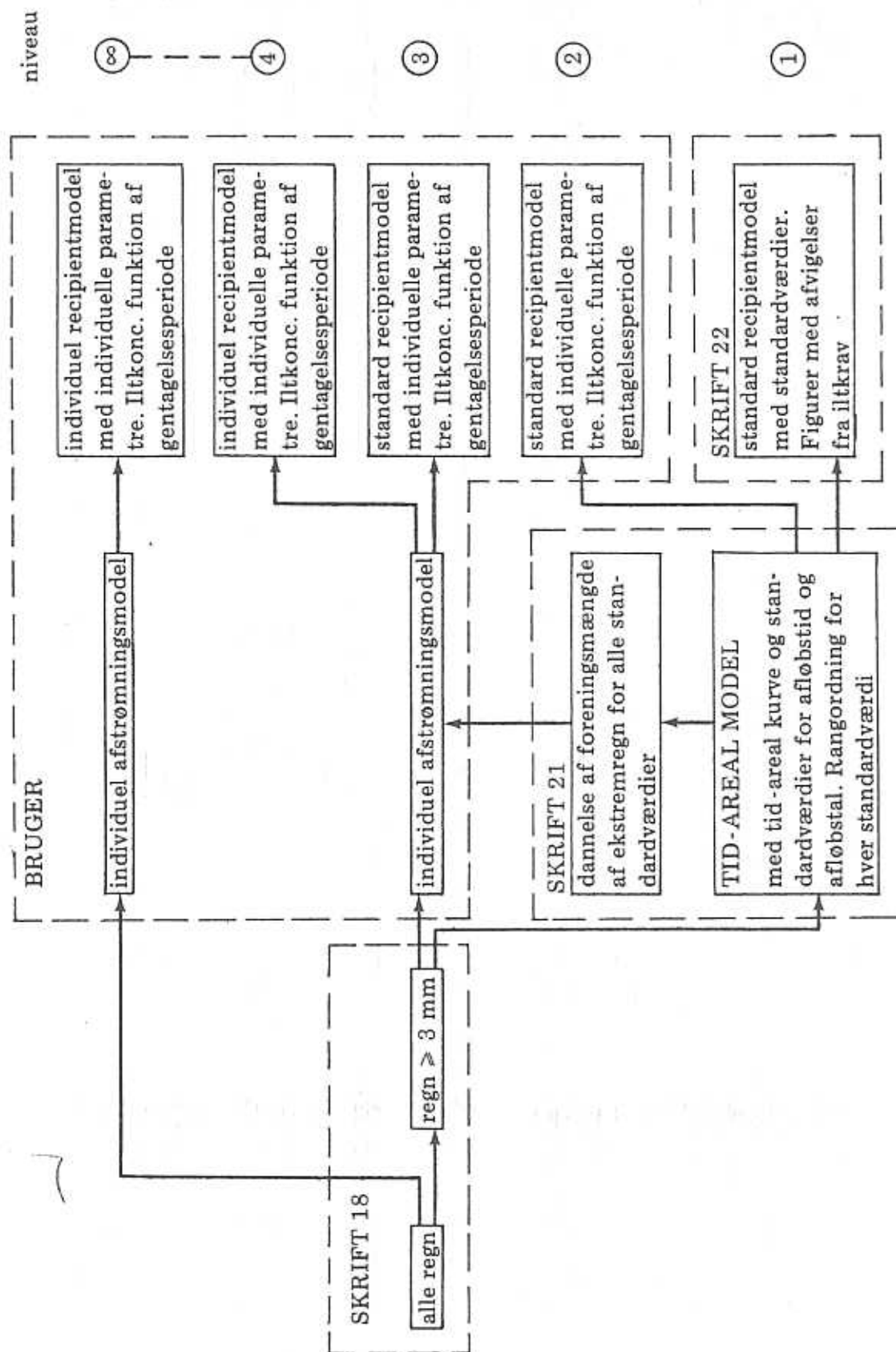
$$C_{\Delta} = f(a)$$

for variation i t_f , q_s , F_{red} , ΔC , V_b og Q_b .

Ovenstående funktionsudtryk for C_{Δ} er bestemt som

$$C_{\Delta} = \min(C_{min} - C_{krav})$$

hvor C_{min} = den minimale iltkoncentration i vandløbet for en given hændelse (kritisk iltkoncentration). Værdien er bestemt som middelværdien over enten 1 time ($C_{min}(1 \text{ hr})$) eller 12 timer ($C_{min}(12 \text{ hr})$) umiddelbart efter overløbsvandets passage i punktet, ($\text{mg/l} \sim \text{g/m}^3$).



Figur 5.2.1 Anbefalet niveauopdeling til beregning af tilladelig overløbsbelastning af vandløb.

C_{krav} = iltkoncentration bestemt af aktuel kvalitetskriterium for given gentagelsesperiode af regnhændelsen, ($\text{mg/l} \sim \text{g/m}^3$).

C_{Δ} , der både kan være positiv og negativ, er altså den minimale værdi af $C_{min} - C_{krav}$ fundet blandt samtlige gennemregnede regnhændelser i serien. På niveau 1 er dette antal 200, rangordnet efter aflastet vandvolumen, V_a . Kvalitetskriteriet er på niveau 1 eksemplificeret gennem valg af laksefiskevand, målsætning B_2 .

De pågældende diagrammer gør det muligt for brugeren at benytte relevante indgangsparametre til aflæsning direkte — eller ved interpolation — af aktuel C_{Δ} -værdi. Værdien af C_{Δ} afgør, om kriteriet for tilladelig overløbsbelastning er overholdt eller ej:

$C_{\Delta} \geq 0$: Kriteriet er overholdt.

$C_{\Delta} < 0$: Kriteriet er ikke overholdt.

Det må pointeres, at resultater opnået på niveau 1 kun er af orienterende art på grund af begrænset mulighed for variation i de valgte standardværdier.

Niveau 2

Der foretages beregninger af ekstremlastning for COD ifølge Skrift nr. 21 på basis af en retlinet tid-areal kurve. Gennemregnede kombinationer af fuldtløbende afløbstid, t_f , og afløbstal, a , fremstår i form af tabeller, hvorved aflastet vandvolumen, V_a , svarende til rang $M_v \leq 55$ direkte kan aflæses, jf. Skrift nr. 21 bilag 2. Det er i princippet muligt at udnytte hele regnserien ved denne gennemregning; det kræver imidlertid, at seriens primærdata er tilgængelige via EDB.

Med givne indgangsparametre karakteriserende såvel afløbssystem — med eller uden bassin —, opland, belastningstilstand og iltforhold i vandløbet foretages med en simpel vandløbsmodel for det forsinkede iltsvind beregning af iltkoncentrationer nedstrøms overløbet. Denne beregning gennemføres således, at man bestemmer iltkoncentrationens variation i et antal punkter nedstrøms udløbspunktet til forskellige tidspunkter efter passagen af det forurenede vandvolumen. Med dette datamateriale som udgangspunkt udregnes for hver regnhændelse den laveste iltkoncentration for given position i vandløbet som middel over henholdsvis 1 og 12 timer efter overløbsvandets passage.

De således beregnede to serier af henholdsvis $C_{\min}$ (1 hr) og $C_{\min}$ (12 hr), der hver omfatter 55 værdier, såfremt tabellerne i Skrift nr. 21 er blevet benyttet, rangordnes, afbildes som funktion af gentagelsesperioden, T , og sammenlignes med relevant kvalitetskriterium svarende til målsætning B_1 , B_2 eller B_3 .

Den detaljerede beregningsmetode vil blive beskrevet således, at brugeren kan udnytte det givne formelapparat med egne parametre og variable.

Niveau 3

Ekstremlastningen bestemmes ved anvendelse af individuel afstrømningsmodel, jf. Skrift nr. 21, fig. 3-3. Den samme iltmodel for vandløbet som anvendt på niveau 2 kan i princippet benyttes, men flere fænomener kan tages i regning. Valg af parametre og variable foregår individuelt.

Niveau 4 — ∞

Såvel individuel afstrømnings- som vandløbsmodel benyttes som udgangspunkt for bestemmelse af kritiske iltkoncentrationer i vandløbet. Der redegøres kort for de grundlæggende principper i brugen af disse modeller.

Der er en glidende overgang fra niveau 4 til niveau ∞ , hvor hele regnsen, et idealt kendskab til parametre og variable samt bedste afstrømnings- og vandløbsmodel er taget i brug.

6 Grundlag for forenklet beregning af tilladelig overløbsbelastning

6.1 Indledning

Ved en forenklet beregning af tilladelig overløbsbelastning skal i det følgende forstås en beregningsgang som gælder for niveau 1 og 2, jf. afsnit 5. Figur 5.2.1 viser, at både niveau 1 og 2 er baseret på beregning af ekstrembelastning for COD under forudsætning af en retlinet tid-areal kurve, jf. Skrift nr. 21. Den fundamentale forskel mellem niveau 1 og 2 er, at mens der på niveau 1 er foretaget gennemregning med på forhånd valgte standardværdier for indgangsparametre og -variable, giver niveau 2 mulighed for individuelt valg af disse størrelser. Det må pointeres, at niveau 1 på grund af en i praksis begrænset mulighed for variation i de valgte standardværdier ikke nødvendigvis giver andet end et resultat af orienterende art. Et sådant resultat vil derfor typisk kræve, at brugeren med principielt samme formelapparat som benyttet på niveau 1 selv foretager beregning med aktuelle parametre og variable.

Grundlaget for den forenklede beregning er i princippet følgende:

- Et formelapparat for beregning af kritisk iltkoncentration baseret på det forsinkede iltsvind som dimensionsgivende fænomen for overløbsbelastning af vandløb.
- Principper for fastsættelse eller beregning af parametre og variable karakteriserende overløbshændelsen. Disse størrelser er nødvendige for anvendelsen af ovennævnte formelapparat.

I det følgende vil det nævnte grundlag blive givet. For brugere på niveau 1 som et princip, for brugere på niveau 2 som en nødvendig baggrund for selv at kunne gennemføre beregning af den tilladelige overløbsbelastning.

6.2 Model for beregning af iltsvind i vandløb under en overløbshændelse

Som grundlag for en model til beregning af iltsvind i et vandløb i forbindelse med aflastning af overløbssvand er der taget udgangspunkt i Streeter-Phelps iltsvindmodellen:

$$\frac{dC}{dt_h} = K_2(C_s - C) - K_1 \cdot L(t_h) \quad (I)$$

hvor de to led på højre side af lighedstegnet repræsenterer henholdsvis geniltning fra atmosfæren og en 1' ordens nedbrydning af organisk stof i vandfasen.

C = iltkoncentration i vandløb, (mg/l).

C_s = iltkoncentration ved mætning (i ligevægt med atm.), (mg/l).

t_h = opholdstid i vandløbet fra udledningspunktet, (s), (h) eller (d).

K_1 = 1' ordens nedbrydningskonstant for organisk stof i vandfasen, (d^{-1}).

K_2 = geniltningkonstant, (d^{-1}).

$L(t_h)$ = koncentration af nedbrydeligt organisk stof i vandfasen som funktion af opholdstiden, (mg/l).

Til brug for en model til beskrivelse af forsinket iltsvind i mindre danske vandløb foretages følgende procesmæssige ændringer i den angivne simple Streeter-Phelps model, I.

- Superposition af en 1' ordens nedbrydning af organisk stof afsat på vandløbsbunden under det forurenede vandvolumens passage:

$$K_4 \cdot \frac{L_b}{h}$$

hvor K_4 = 1' ordens nedbrydningskonstant for organisk stof på vandløbsbunden, (d^{-1}).

L_b = mængde af nedbrydeligt organisk stof pr. arealen-

hed af vandløbsbunden tilført ved adsorption eller sedimentation, (g/m^2).

h = vanddybde, (m).

- Superposition af iltsvingningen over døgnet forårsaget af grødens fotosyntese og den totale respiration, begge under forudsætning af tørvejrforhold:

$$P(t) - R(t)$$

hvor $P(t)$ = grødens iltproduktion som funktion af tiden.

$R(t)$ = den totale respiration i vandløbet under tørvejrforhold som funktion af tiden.

Den pågældende stationære iltsvingning over et tørvejr-døgn vil blive beskrevet ved hjælp af en sinussvingning til simulering af fotosyntesen i dagtimerne og et maksimalt iltudsving, ΔC , i forhold til en valgt middelværdi, C_{mid} , af iltkoncentration i vandløbet over døgnet, jf. figur 6.2.1.

- Der kan ses bort fra andet led på højre side af lighedstegnet i ligning (I), idet nedbrydningen i vandfasen, efter at overløbsvandet har passeret en bestemt position i vandløbet, er medregnet i ovennævnte respiration, $R(t)$.

Den modificerede Streeter-Phelps model til beskrivelse af det forsinkede iltforbrug i vandløb bliver således:

$$\frac{dC}{dt_h} = K_2(C_s - C) - K_4 \frac{L_b}{h} + P(t) - R(t) \quad (\text{II})$$

Der er i forbindelse med dette modelvalg yderligere gjort følgende forudsætninger:

A. Hydrauliske og geometriske forudsætninger:

- Konstant vandløbsbredde, vanddybde, vandhastighed og bundhældning overalt i vandløbet.
- Longitudinal stofdispersion negligeres.

B. Aflastningsmæssige forudsætninger:

- I princippet er selve aflastningen momentan, i praksis er den kortvarig sammenlignet med den periode, hvor effekten på vandløbets iltkoncentration er mærkbar.
- Konstant koncentration af nedbrydeligt organisk stof i såvel tørvejrsspildevandsstrøm som overvand.
- Konstant flow i vandløbet i tørvejrstilstanden, Q_b , samt konstant flow i overløbet, Q_{ov} .

C. Øvrige forudsætninger:

- Konstant temperatur i såvel overløbsvand som vandløb.
- Alle hastighedskonstanter kan temperaturkorrigeres med et van't Hoff-udtryk.

Når de nævnte forudsætninger er gjort, skyldes det især hensynet til følgende:

- Det har været målet at benytte en forholdsvis simpel ilmodel, der kan gennemregnes uden brug af avanceret computerudstyr, dvs. i princippet med almindelig lommekalkulator.
- En model, der ikke stillede ovennævnte krav til forudsætninger, og som eksempelvis tog flere subprocesser i betragtning, ville modsætningsvis forudsætte et datakendskab, der ikke på nuværende tidspunkt er tilgængeligt for hovedparten af danske vandløb. Beregningerne skal altså kunne gennemføres med et forholdsvis begrænset kendskab til det aktuelle vandløbs karakteristika, herunder processer, parametre og variable.

Modellen for det forsinkede iltsvind, ligning II, kan udtrykkes på følgende form, jf. Miljøprojekter nr. 36 samt Hvitved-Jacobsen and Harremoës (1982):

$$\frac{dC}{dt_h} = K_2(C_s - C) - K' \cdot L'_o \cdot e^{-K' \cdot t_h} + P(t) - R(t) \quad (\text{III})$$

$$K' = k/h \quad (\text{IV})$$

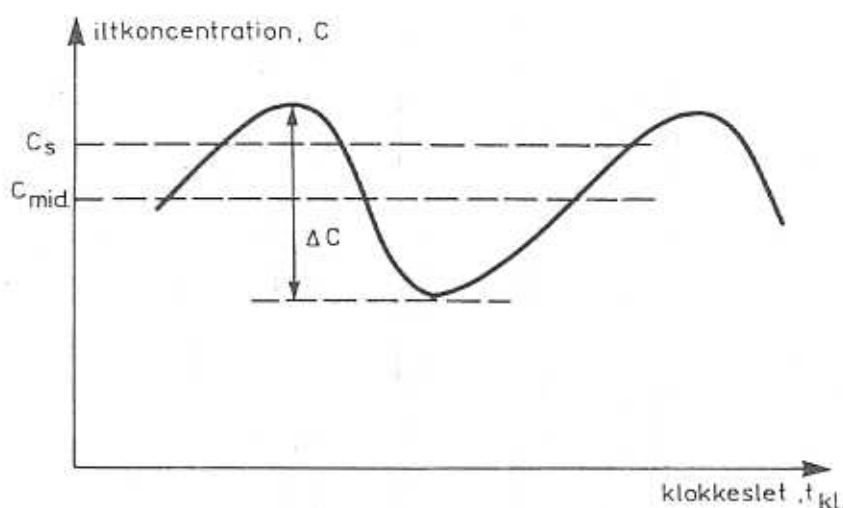
$$L'_o = K_4 \frac{P}{Q_{ov} + Q_b} e^{-K_4 \cdot t} \quad (\text{V})$$

- hvor K' = 1' ordens fjernelseskonstant for adsorberbart eller sedimenterbart organisk stof i vandfasen, (d^{-1}).
 k = 1' ordens fjernelseshastighed for adsorberbart eller sedimenterbart organisk stof i vandfasen, (m/d).
 L'_o = fiktiv koncentration af nedbrydeligt organisk stof ved udledningspunkt for overløbsvand som funktion af tid efter det forurenede vandvolumens passage, (mg/l).
 Q_{ov} = vandføring i overløb, (m^3/s).
 Q_b = basisvandføring i vandløbet, (m^3/s).
 t = tid efter passage af forurenede vandvolumen i et givet punkt af vandløbet, (s), (h) eller (d).
 P = totalt udledt mængde af nedbrydeligt organisk stof, (g).

Den analytiske løsning til ligning III kan simplest opfattes som løsningen til ligningen under tørvejrforhold med $L'_o = 0$ overlejret det forsinkede iltsvind, jf. figur 3.2.5. Idet der henvises til Miljøprojekter nr. 36 samt Simonson and Harremoës (1978) fås løsningen til ligning III ved addition af beregnede iltdeficit:

$$C = C_{mid} + \Delta C \frac{\beta}{\Delta \beta} - \frac{L'_o}{\frac{K_2}{K'} - 1} (e^{-K' \cdot t_h} - e^{-K_2 \cdot t_h}) \quad (VI)$$

hvor døgnvariationen i iltkoncentrationen er skitseret på figur 6.2.1.



Figur 6.2.1 Døgnsvingning af iltkoncentrationen angivet i tørvejrtilstanden.

I ligning VI angiver β iltsvingningens dimensionsløse form og størrelse over døgnet:

$$\beta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cos(\frac{\pi \alpha n}{2}) \cdot (K_2 \cos(2\pi n \tau) + 2\pi n \cdot \sin(2\pi n \tau))}{(1 - (\alpha n)^2) \cdot (K_2^2 + (2\pi n)^2)} \quad (\text{VII})$$

hvor $\tau = \frac{t_{kl} - 12}{24}$ er det relative tidspunkt på døgnet.

α = relativ dagslængde som angivet i tabel 6.2.1.

Endvidere angiver $\Delta\beta = \beta_{\max} - \beta_{\min}$ β -værdiens totale døgnudsving på det tidspunkt af året, den aktuelle aflastning finder sted.

Ved beregning af β efter ligning VII er det ofte tilstrækkeligt at vælge $n = 2$ eller 3 som grænse for summationen.

Tabel 6.2.1 Relativ dagslængde, α , angivet som månedsmiddelværdi.

Måned	Relativ dagslængde, α
Januar	0,63
Februar	0,80
Marts	0,98
April	1,16
Maj	1,33
Juni	1,45
Juli	1,42
August	1,24
September	1,07
Oktober	0,89
November	0,68
December	0,58

6.3 Principper for fastsættelse af parametre og variable

6.3.1 Generelt

Den i afsnit 6.2 opstillede iltmodel for bestemmelse af iltkoncentration i vandløb under en overløbsbegivenhed forudsætter fastsættelse af en række parametre og variable. Disse størrelser kan under henvisning til figur 5.2.1 mest hensigtsmæssigt opdeles og fastsættes gennem følgende gruppering:

- Karakteristika for afløbssystemet.
- Karakteristika for oplandet.
- Karakteristika for overløbsbegivenheden, herunder aflastet vand- og stofmængde.
- Karakteristika som må fastsættes dels ved måling i det aktuelle vandløb, dels gennem analyse af recipientvandsprøver.
- Fastsettelse af visse hastighedskonstanter, der ikke kan forudsættes bestemt for det aktuelle vandløb.

I det følgende vil væsentlige generelle principper for fastsættelse eller beregning af disse karakteristika blive vurderet og rekommanderet. I det omfang en parameter eller variabel tænkes holdt konstant ved beregningerne, vil også dette blive diskuteret.

6.3.2 Karakteristika for afløbssystem

Nødvendige basisparametre for afløbssystemet til beregning af tilladelig overløbsbelastning er:

Fuldtløbende afløbstid, t_f .

Maksimal vandføring i videreførende ledning, (den del af den indgående strøm til overløbsbygværket, som ikke føres i overløbsledningen til recipienten), Q_a .

Bassinvolumen, V_b .

Vedrørende disse parametres karakterisering henvises til almindeligt kendte beregningsmetoder for afløbssystemer og Spildevandskomiteens Skrift nr. 21.

6.3.3 Karakteristika for opland

Følgende parametre er nødvendige for beregningsmetoderne:

Oplandets reducerede areal, F_{red}

Det reducerede areal kan bestemmes med udgangspunkt i afløbskoefficienter baseret på enten en opdeling af området afhængig af bebyggelsesart eller på mere detaljerede opmålinger af befæstede arealer.

Tørvejrsspildevandsstrøm, Q_s

Q_s bestemmes ud fra det samlede antal personækvivalenter i oplandet under hensyntagen til indsivning.

Spildevandskoncentration af COD, L_{sp}

BOD er det traditionelt benyttede mål for koncentrationen af nedbrydeligt organisk stof i såvel spildevand som recipientvand. I dette skrift benyttes imidlertid COD. Årsagen hertil er:

- De undersøgelser, der har dannet grundlaget for bestemmelse af stofaflastning fra overløbsbygværker, jf. Spildevandskomiteens Skrift nr. 21, har været baseret på COD-målinger.
- COD som mål for koncentrationen af nedbrydeligt organisk stof har været benyttet ved opstilling af iltmodellen beskrevet i afsnit 6.2, jf. Miljøprojekter nr. 36. Såvel stof-fjernelseskonstanter som nedbrydningshastigheder har således været bestemt på basis af COD-målinger.

Spildevandskoncentrationen i afløbssystemet bestemmes bedst ud fra aktuelle målinger i oplandet. Såfremt sådanne ikke forefindes, vil standardværdier kunne anvendes, jf. eksempelvis Henze (1982) og tabel 6.3.1.

Tabel 6.3.1 Typiske værdier for koncentration af COD i husspildvand, (mg/l).

Indsivning i % af husspildevandsmængde			
0	50	100	200
740	490	360	250

6.3.4 Beregning af stofbelastning for individuelle regnhændelser

Den centrale indgangsparameter for bestemmelse af recipienteffekten er den totalt aflastede stofmængde, P , for den enkelte regnhændelse i en regnserie. Bestemmelsen af denne ekstremlastning er omtalt i Skrift nr. 21. Her skal derfor kun princippet beskrives og anvendelsen eksemplificeres.

Princippet for beregning af stofaflastning ved den enkelte regnhændelse er følgende:

Af 33 års regnobservationer stammende fra Odense-serien benyttes i alt 1571 regnbegivenheder større end 3 mm regn.

Hver af disse historiske regnhændelser — eller en delmængde heraf — kan transformeres til afstrømning for et givet opland for ved et overløbsbygværk at bestemme aflastet vandvolumen. På basis af udførte målinger og beregninger kan COD i såvel overvandet (regnvandsandelen) som tørvejrsspilddevandet bestemmes. Efter blanding af disse bestanddele er der mulighed for at bestemme den totalt aflastede stofmængde P ved overløbsbygværket for hver af de benyttede regnhændelser i en serie.

Det er på denne baggrund muligt at udnytte kendskabet til de enkelte regnhændelsers — og dermed aflastningernes — statistiske forudsigelighed. Da disse historiske begivenheder i alt omfatter 33 års observationer, er det meningsfyldt at opfatte de beregnede aflastningsvolumener, V_a , og stofmængder, P , som funktion af den enkelte begivenheds gentagelsesperiode T . Med udgangspunkt i fastlagte karakteristika for såvel afløbssystem som opland kan beregningen af stofaflastningen gennemføres for alle regnhændelser i serien eller blot en udvalgt delmængde heraf. Gennemregning af hele regnserien er naturligvis den principielt korrekte metode, såfremt uønsket informationstab af kritiske hændelser ønskes undgået.

På niveau 1 er de udførte beregninger af ekstreme stofbelastninger, P , baseret på hændelser med rang fra $M_v = 1$ til 200.

På niveau 2 må brugeren — såfremt primærdata for regnserien ikke er umiddelbart tilgængelige via EDB — basere beregningerne på benyttelse af tabeller over aflastede vandmængder, V_a , jf. Skrift nr. 21, bilag 2. Afhængig af ønsket kombination af følgende to parametre

$$\begin{aligned} &\text{fuldtløbende afløbstid, } t_f, \text{ og} \\ &\text{afløbstal, } a = (Q_a - Q_s)/F_{\text{red}}, \end{aligned}$$

kan man for beregning af de ekstreme stofbelastninger, P , benytte de fra $M_v = 1$ til 55 individuelt angivne regnhændelser med oplysning om starttidspunkt for regn, t_o , aflastet vandvolumen, V_a , og varigheden af aflastning, t_a . P kan herefter beregnes efter følgende udtryk anført i Skrift nr. 21:

$$P = F_{\text{red}} (V_a - V_b) (L_{\text{ov}} + \frac{t_a \cdot q_s}{V_a + t_a (a + q_s)} (L_{\text{sp}} - L_{\text{ov}})) \quad (\text{VIII})$$

hvor q_s = intensitet af spildevandsstrøm ($= Q_s/F_{\text{red}}$)

t_a = varighed af aflastning

L_{ov} = overvandskoncentration af COD

Når der kan mistes information ved beregning af stofbelastning på basis af tabellerne med de 55 hændelser rangordnet efter V_a er dette, jf. ligning VIII, forårsaget af især to forhold: Hændelser med forholdsvis store t_a -værdier kan bevirke rangombytning, hvorved en hændelse med $M_v \geq 55$ giver $M_p \leq 55$. Endvidere vil situationer med relativt store spildevandskoncentrationer, $L_{\text{sp}} \gg L_{\text{ov}}$, og samtidigt forholdsvis små værdier af opspædningsgraden

$$m_s = \frac{Q_a - Q_s}{Q_s} = a \cdot F_{\text{red}}/Q_s$$

kunne resultere i en tilsvarende rangombytning.

Aktuelle beregninger har vist, at sådanne rangombytninger kan finde sted, og at de kan få indflydelse på beregningsresultatet. Den fejl, der her ved begås, bliver imidlertid i nogen grad neutraliseret af det rent faktiske forhold, at hændelsen med forholdsvis store t_a -værdier også får et tidsmæssigt mere udjævnet iltsvind. Der opstår således ikke i praksis så lave kritiske iltkoncentrationer som beregningsmæssigt forudsagt.

Overvandskoncentrationen af COD, L_{ov} , der må fastlægges på basis af en større serie målinger, kan ikke forventes kendt for den aktuelle beregnings-situation. For danske forhold anbefales derfor benyttet værdien $L_{ov} = 120 \text{ g COD/m}^3$, Skrift nr. 21 samt Johansen (1981).

6.3.5 Vandløbskarakteristika

Anvendelse af iltsvindsmodellen, ligning VI, stiller krav til fastsættelse af følgende karakteristika for det aktuelle vandløb:

Temperatur, Θ

Temperaturen i vandløbet er underkastet såvel døgn- som årstidsvariationer. Førstnævnte kan ikke håndteres rimeligt simpelt på niveau 1 og 2 og er sammenlignet med årstidsvariationen af underordnet betydning. Årstidsvariationen er imidlertid for beregning af iltmætningskoncentration, nedbrydningskonstant og geniltningsskonstant af afgørende betydning og må derfor medtages. Temperaturen fastlægges ud fra kendt variation i det aktuelle vandløb eller bestemmes på basis af sammenligning med anden relevant recipient. En sådan fastlæggelse kan eksempelvis ske i form af en tabel over månedsmiddelværdier.

Årstidsvariationen i iltmætningskoncentration kan bestemmes ud fra den tilsvarende temperaturvariation. En tabel, jf. eksempelvis tabel 7.2.1, eller nedenstående udtryk gældende ved 1 atm. kan benyttes:

$$C_s = 14,652 - 0,41022 \cdot \Theta + 0,007991 \cdot \Theta^2 - 0,00007777 \cdot \Theta^3,$$

Sanitary Engineering Division (1960).

Basisvandføring, Q_b

Basisvandføringen er årstidsafhængig og på grund af indsivning nedstrøms overløbet også afhængig af afstanden fra overløbet. Sidstnævnte variation kan ikke medtages i den forenklede beregning. På grund af den relativt korte afstand mellem overløbspunktet og det kritiske punkt vil det i praksis være rimeligt at bestemme Q_b som en middelværdi over en strækning nedstrøms overløbspunktet svarende til en opholdstid på $t_h = 5-10$ timer. Da beregningerne gennemføres

for enkelthændelser kan der umiddelbart tages højde for vandføringens eventuelle årstidsvariation.

Middeliltkoncentration, C_{mid}

Middeliltkoncentrationen over døgnet kan fastlægges med baggrund i målinger i vandløbet. Der kan umiddelbart tages hensyn til en årstidsvariation. Også C_{mid} bør være repræsentativ for en strækning nedstrøms overløbsbygværket.

Iltudsving, ΔC

Iltudsvinget over døgnet må fastlægges på basis af aktuelle målinger. På grund af grødeproduktionens årstidsvariation er dette udsving årstidsafhængigt og ΔC kan således evt. fastlægges ved en tabel omfattende månedsmiddelværdier. Der kan ved fastlæggelsen af ΔC tages højde for aktuel procedure for vedligeholdelse af vandløbet (grødeslagning). ΔC bør være repræsentativ for en strækning nedstrøms overløbsbygværket.

Vanddybde, h

Afhængig af tilgængelige data kan h angives som en konstant eller en årstidsafhængig størrelse. Vanddybden bør være repræsentativ for en strækning nedstrøms overløbsbygværket. Vanddybden indgår i forbindelse med beregning af fjernelseskonstanten $K' = k/h$, der beskriver stoffjernelsen under det forurenede vandvolumens passage af vandløbet. Det er således en tilnærmelse af bestemme h ud fra data i tørvejrstilstanden.

6.3.6 Fastlæggelse af hastighedskonstanter

Geniltningskonstant, K_2

Der findes mange metoder til bestemmelse af vandløbets geniltningskonstant, K_2 . Vedrørende disse henvises til speciallitteraturen, jf. eksempelvis Miljøprojekter nr. 40.

En geniltningskonstant, der er repræsentativ for en strækning nedstrøms overløbsbygværket under tørvejrforhold benyttes. Geniltningskonstantens temperaturafhængighed bestemmes ved hjælp af et van't Hoff-udtryk:

$$K_2(\Theta) = K_2(20) \cdot 1,025^{\Theta - 20}$$

Fjernelseshastighed, k , og nedbrydningskonstant, K_4

Disse to konstanter kan ikke forventes bestemt for det aktuelle vandløb, hvorfor resultaterne fra de vandløbsundersøgelser, som har ligget til grund for dette skrift, må benyttes ved fastsættelsen, jf. Miljøprojekter nr. 36. På baggrund af disse undersøgelser, som fandt sted i to mindre vandløb med basisvandføring varierende mellem ca. 100 l/s og 350 l/s, skal følgende konstanter anbefales anvendt:

$$k = 1,5 \text{ m/d}$$

$$K_4(20) = 2,5 \text{ d}^{-1}$$

k er temperaturuafhængig. Temperaturafhængigheden for K_4 kan beskrives ved:

$$K_4(\Theta) = 2,5 \cdot 1,047^{\Theta - 20}$$

De to konstanter er fastsat på basis af fjernelse henholdsvis nedbrydning af organisk stof målt som COD, jf. afsnit 6.3.3.

7 Bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning af vandløb ved brug af diagrammetode, niveau 1

7.1 Indledning

Som indledningsvis beskrevet i afsnit 5.2 er bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning af vandløb på niveau 1 karakteriseret ved brug af en diagrammetode. De pågældende diagrammer, der findes i bilaget, er baseret på en beregningsgang, som vil blive beskrevet mere detaljeret på niveau 2, jf. afsnit 8. Beregningerne er gennemført med på forhånd valgte standardværdier for variable og parametre samt et valgt vandkvalitetskriterium svarende til laksefiskevand. Brugen af disse diagrammer er derfor underkastet de begrænsninger, som er bestemt af de til beregningerne knyttede forudsætninger. På grund af det forholdsvis store antal parametre og variable, som indgår i de beregninger, som fører frem til bestemmelse af den tilladelige overløbsbelastning, har det af praktiske årsager været nødvendigt at begrænse variationerne i disse på niveau 1. Brugen af dette niveau vil således ofte blot vise sig at være af orienterende art og er derfor også mere tænkt som en hjælp til brugeren ved identificering af et aktuelt problem end som grundlag for en egentlig beslutningstagning om mulige indgreb for forbedret recipientkvalitet.

7.2 Valg af parametre og variable

I forbindelse med beregningerne til niveau 1 er følgende parametre og variable fastlagt som konstanter:

Spildevandskoncentration	L_{sp}	=	450 g COD/m ³
Overvandskoncentration	L_{ov}	=	120 g COD/m ³
Geniltningskonstant	$K_2(20)$	=	3 d ⁻¹

Nedbrydningskonstant for vandløbsbunden	$K_4(20) = 2,5 \text{ d}^{-1}$
Fjernelseshastighed til vandløbsbunden	$k = 1,5 \text{ m/d}$

Temperaturen i vandløbet er underkastet variationer angivet i tabel 7.2.1. I samme tabel er tilhørende iltmætningskoncentrationer, C_s , samt senere omtalte iltudsving, ΔC , anført.

Tabel 7.2.1 Temperatur, iltmætningskoncentration og iltudsving i vandløbet angivet som månedsmiddelværdier.

Måned	Temperatur Θ ($^{\circ}\text{C}$)	Iltmætningskonc. C_s (mg/l)	Iltudsving ΔC (mg/l)
Januar	2	14	0
Februar	2	14	0
Marts	3	13	1
April	6	12	2
Maj	11	11	3
Juni	15	10	4
Juli	17	10	3,5
August	16	10	3
September	14	10	1,5
Oktober	9	12	1
November	5	13	1
December	2	14	0

Den anførte årsvariation i temperatur og iltmætningskoncentration styrer aktuelle værdier af følgende parametre og variable:

$$\text{Geniltningskonstant} \quad K_2(\Theta) = K_2(20) \cdot 1,025^{\Theta-20}$$

$$\text{Nedbrydningskonstant for vandløbsbunden} \quad K_4(\Theta) = 2,5 \cdot 1,047^{\Theta-20}$$

$$\text{Middeliltkoncentration i vandløbet over døgnet} \quad C_{\text{mid}} = 0,9 \cdot C_s$$

På diagrammerne i bilaget er kriteriet for tilladelig overløbsbelastning, C_{Δ} , givet som funktion af afløbstallet, a :

$$C_{\Delta} = f(a)$$

Ved C_{Δ} forstås mindsteværdien af samtlige de i en regnserie beregnede differenser mellem den kritiske iltkoncentration i vandløbet og aktuell kravværdi bestemt af kriteriet:

$$C_{\Delta} = \min(C_{\min} - C_{\text{krav}})$$

Kriteriet for den tilladelige overløbsbelastning er overskredet, såfremt $C_{\Delta} < 0$.

De i bilaget viste kurver er angivet for følgende værdier af afløbstallet:

$$0,1 \mu\text{m/s} \leq a \leq 2,5 \mu\text{m/s}$$

og beregning af C_{Δ} er foretaget for eksponeringstid lig med såvel 1 time som 12 timer. Ved denne beregning af C_{Δ} er kombinationer af følgende fire størrelser tillagt de anførte værdier:

Fuldtløbende afløbstid	$t_f = 5; 10 \text{ og } 30 \text{ min.}$
Intensitet af spildevandsstrøm	$q_s = 0,04 \text{ og } 0,2 \mu\text{m/s}$
Reduceret oplandsareal	$F_{\text{red}} = 1; 5 \text{ og } 25 \text{ ha}$
Iltudsving	$\Delta C = 0 \text{ og } 4 \text{ mg/l}$

Værdiangivelsen $\Delta C = 4 \text{ mg/l}$ skal opfattes som det maksimale udsving på årsbasis, jf. tabel 7.2.1.

For hver gennemregnet situation svarende til ovennævnte kombination af t_f , q_s , F_{red} og ΔC er følgende kombination af variable taget i regning:

Bassinvolumen	$V_b = 0; 3 \text{ og } 10 \text{ mm}$
Basisvandføring i vandløb	$Q_b = 0,05; 0,1 \text{ og } 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Variation i middelvanddybden, h , er direkte knyttet til basisvandføringen, Q_b , gennem følgende relation, tabel 7.2.2:

Tabel 7.2.2 Sammenknytning mellem basisvandføring og vanddybde.

Basisvandføring Q_b (m ³ /s)	Vanddybde h (m)
0,05	0,1
0,1	0,2
0,3	0,5

7.3 EDB-beregninger og resultater

Med udgangspunkt i parametre og variable omtalt i afsnit 7.2 er der foretaget bestemmelse af ekstremlastningen på basis af Odense-serien med anvendelse af en retlinet tid-arealkurve, jf. Skrift nr. 21. En reduceret regnserie med en rangfølge $M_v = 1$ til 200 er det aktuelle grundlag for beregning af de enkelte hænders stofbelastning, P , jf. afsnit 6.3.4.

Primærdata for regn, afløbssystem og opland, herunder beregnet stofbelastning, er herefter for den enkelte hændelse udgangspunkt for beregning af aktuel iltkoncentration i vandløbet, C , jf. ligning VI i afsnit 6.2. Da iltkoncentrationens døgnsvingning indgår i beregningerne, må tidspunktet på døgnet, t_{kl} , fastsættes som funktion af de til regnhændelsen knyttede tidsvariable:

$$t_{kl} = t_o + \frac{t_a}{2} + t_h + t \quad (\text{IX})$$

hvor t_o = tidspunkt på døgnet (timenummer) for start af regnhændelse angivet som heltal i intervallet $0 \leq t_o \leq 23$.

t_a = varighed af overløbshændelse, (h).

t_h = opholdstid i vandløbet fra overløbspunktet, (h).

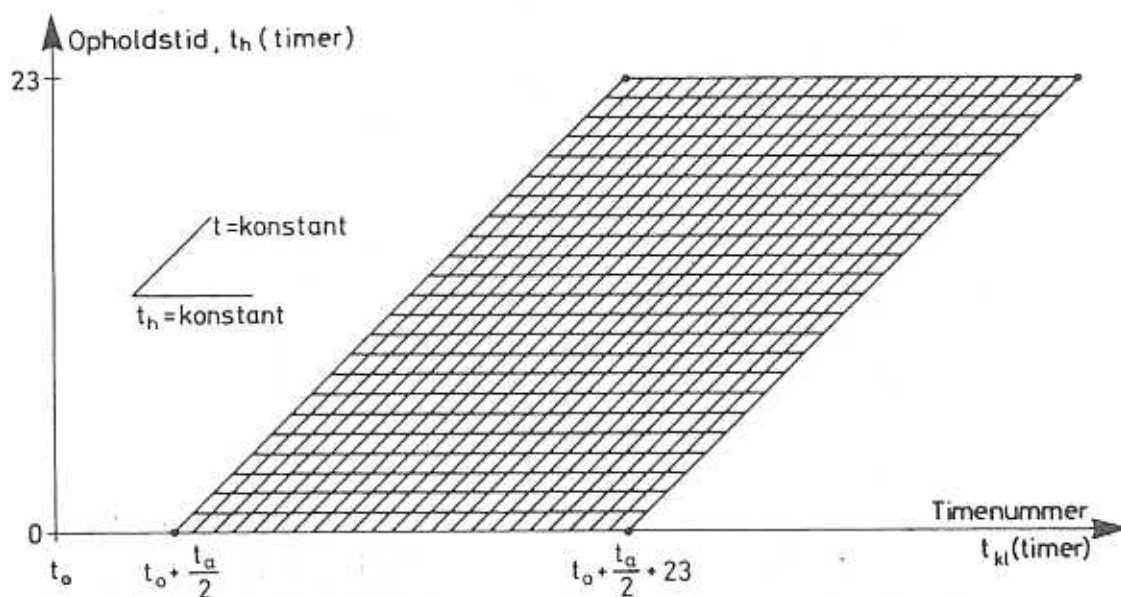
t = tid efter passage af forurenede vandvolumen ved en given position i vandløbet, (h).

t_{kl} angives som heltalsværdi i intervallet $0 \leq t_{kl} \leq 23$. Ved beregning af t_{kl} ifølge ligning IX fratrækkes således eventuelt et multiplum af 24. Lig-

ning IX er et tilnærmet udtryk for t_{kl} , idet selve overløbshændelsen antages momentan til tidspunktet $t_o + t_a/2$.

For at sikre tilstrækkeligt datamateriale til beregning af de kritiske iltkoncentrationer i vandløbet, C_{min} (1hr) og C_{min} (12hr), er der for hver regnhændelse foretaget beregning af iltkoncentrationen C ved gennemregning af en cyklus på 24 timer efter overløbshændelsens indtræden i det enkelte punkt af vandløbet, samtidig med at der regnes 24 timers opholdstid ned ad vandløbet. Disse beregninger er foretaget med et tidsskridt på 1 time. Der er således for hver valgt kombination af de i afsnit 7.2 omtalte parametre og variable samt for hver af de 200 gennemregnede regnhændelser pr. regnserie beregnet ialt $24 \times 24 = 576$ værdier af iltkoncentrationen C .

Dette er illustreret på fig. 7.3.1.



Figur 7.3.1 Illustration af tidspunktet, t_{kl} , for beregning af iltkoncentrationen, C , i et vandløb i forbindelse med en overløbsbegivenhed. Det skraverede areal svarer til ialt 576 værdier af C afhængig af opholdstid, t_h , tid efter passage af forurennet vandvolumen, t , samt starttidspunkt for overløbshændelsen, $t_o + t_a/2$.

På fig. 8.3.1 og 8.3.2 er der givet to eksempler på, hvorledes iltkoncentrationen i et vandløb kan variere som funktion af tid og sted i forbindelse med en regnhændelse.

For en given værdi af opholdstid, t_h , beregnes med en glidende gennemsnitsmetode den laveste middeliltkoncentration over henholdsvis 1 og 12 timer. På basis heraf bestemmes den minimale værdi som henholdsvis $C_{\min}$ (1hr) og $C_{\min}$ (12hr) på hele den gennemregnede vandløbsstrækning. Tilsvarende beregninger gennemføres for hver af de 200 regnhændelser i regnserien for en given kombination af parametre og variable. De således beregnede værdier af $C_{\min}$ (1hr) og $C_{\min}$ (12hr) rangordnes og respektive værdier af $C_{\min}$ (1hr) - C_{krav} og $C_{\min}$ (12hr) - C_{krav} beregnes for aktuel gentagelsesperiode, T, idet kvalitetskriteriet på niveau 1 er eksemplificeret ved målsætning B₂, laksefiskevand. Blandt disse værdier findes herefter C_{Δ} =

Tabel 7.3.1 Oversigt over diagrammer i bilaget til bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning, niveau 1. Diagrammerne giver $C_{\Delta} = f(a)$ for eksponeringstid 1 time og 12 timer. For hver given kombination af t_f , q_s , F_{red} og ΔC er V_b og Q_b underkastet variation, jf. afsnit 7.2.

Fuldtløbende afløbstid t_f (min)	Intensitet af spildevandsstrøm q_s ($\mu\text{m/s}$)	Reduceret oplandsareal F_{red} (ha)	Iltudsving ΔC (mg/l)
5	0,04	1	0
5	0,04	1	4
5	0,04	5	0
5	0,04	5	4
5	0,2	1	0
5	0,2	1	4
5	0,2	5	0
5	0,2	5	4
10	0,04	5	0
10	0,04	5	4
10	0,2	5	0
10	0,2	5	4
30	0,04	25	0
30	0,04	25	4
30	0,2	25	0
30	0,2	25	4

$\min(C_{\min} - C_{\text{krav}})$ svarende til både 1 og 12 timers eksponeringstid. Som endeligt resultat er der ved variation af parametre og variable som angivet i afsnit 7.2 fremkommet diagrammer over $C_{\Delta} = f(a)$. En oversigt over disse diagrammer fremgår af tabel 7.3.1.

Der er således for hvert niveau af eksponeringstid angivet $16 \times 9 = 144$ kurver over $C_{\Delta} = f(a)$ til bestemmelse af den tilladelige overløbsbelastning som funktion af de omtalte parametre og variable for afløbssystem, opland og recipient. Brugen af disse diagrammer vil blive eksemplificeret i afsnit 7.4.

7.4 Eksempel

Det antages indledningsvis, at forudsætningerne for brugen af niveau 1 er til stede, jf. især afsnit 7.2 og 7.3, samt at aktuelle parametre og variable netop falder sammen med udvalgte standardværdier.

Følgende karakteristika benyttes i eksemplet:

Afløbssystem:

Fuldtløbende afløbstid, $t_f = 5$ min.

Bassinvolumen, $V_b = 0$

Maksimal flow i videreførende ledning, $Q_a = 17$ l/s

Opland:

Reduceret areal, $F_{\text{red}} = 5$ ha

Tørvejrsspildevandsstrøm, $Q_s = 2$ l/s

Vandløb:

Basisvandføring, $Q_b = 100$ l/s

Iltudsving, $\Delta C = 4$ mg/l som det maksimale udsving på årsbasis

På basis af de givne karakteristika beregnes følgende:

Afløbstallet:

$$a = \frac{Q_a - Q_s}{F_{\text{red}}} = \frac{0,017 - 0,002}{50000} \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{m/s} = 0,3 \text{ } \mu\text{m/s}$$

Intensitet af spildevandsstrøm:

$$q_s = \frac{Q_s}{F_{\text{red}}} = \frac{0,002}{50000} \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{m/s} = 0,04 \text{ } \mu\text{m/s}$$

Med $(t_f, q_s, F_{\text{red}}, \Delta C) = (5 \text{ min}, 0,04 \text{ } \mu\text{m/s}, 5 \text{ ha}, 4 \text{ mg/l}), (V_b, Q_b) = (0, 100 \text{ l/s})$ og $a = 0,3 \text{ } \mu\text{m/s}$ fås af diagrammerne side 96 og 97 i bilaget:

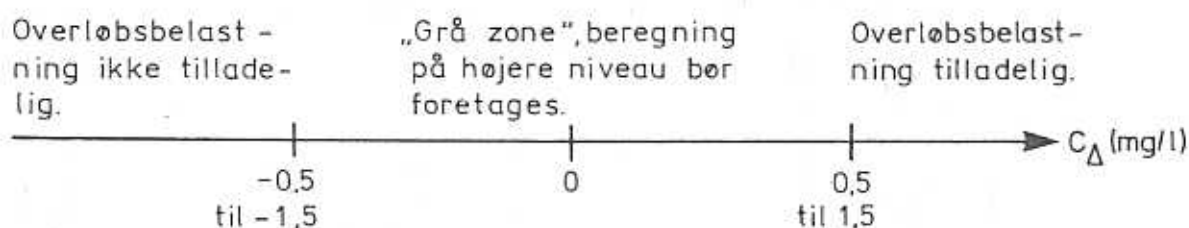
$$C_{\Delta} (1\text{hr}) = -2,5 \text{ mg/l}$$

$$C_{\Delta} (12\text{hr}) = -0,7 \text{ mg/l}$$

Da $C_{\Delta} (1\text{hr}) = -2,5 \text{ mg/l} < C_{\Delta} (12\text{hr}) = -0,7 \text{ mg/l}$, er kvalitetskriteriet for 1 times eksponering i det aktuelle tilfælde det bestemmende for tilladelig overløbsbelastning. Eftersom $C_{\Delta} = -2,5 \text{ mg/l} < 0$, er den tilladelige belastning altså overskredet.

Såfremt et bassin med $V_b = 10 \text{ mm}$ etableres, ses ligeledes af diagrammet side 96, at kvalitetskriteriet netop synes opfyldt, idet $C_{\Delta} (1\text{hr}) = -0,1 \text{ mg/l} \cong 0$.

Der melder sig i tilknytning til dette eksempel umiddelbart et spørgsmål om nøjagtigheden i brugen af diagrammerne på niveau 1. På grund af det forholdsvis store antal indgangsparametre og -variable er det ikke muligt at beskrive, hvorledes kombinationer af større eller mindre afvigelser fra standardværdierne samt foretagne tilnærmelser i beregningerne influerer på slutresultatet. Umiddelbart synes en fejl i bestemmelse af C_{Δ} på 0,5-1,5 mg/l at være »typisk«. I det gennemregnede eksempel er det således klart, at kvalitetskriteriet ikke er opfyldt uden et bassin, hvorimod der kan rejses tvivl om et bassin med $V_b = 10 \text{ mm}$ vil være tilstrækkeligt for opfyldelse af kriteriet. Der må således anbefales gennemført beregninger for yderligere dokumentation, typisk startende på niveau 2, jf. fig. 7.4.1.



Figur 7.4.1 Retningslinje for vurdering af resultatet opnået ved brug af diagrammer på niveau 1.

Det valgte eksempel var simpelt derved, at aktuelle parametre og variable var sammenfaldende med standardværdier. For variationer i V_b og Q_b vil interpolation — men naturligvis ikke egentlig ekstrapolation — på det en-

kelte diagram være mulig. Det må forudsættes, at mindst tre ud af de fire størrelser t_f , q_s , F_{red} og ΔC kan fastholdes på standardværdier, og at interpolation således maksimalt sker mellem to diagrammer. Interpolation må generelt frarådes, såfremt kun to af de fire størrelser kan fastholdes; niveau 2 må da anbefales benyttet.

Det vil for mange tilfælde være karakteristisk, at $C_{\Delta} (1 \text{ hr}) < C_{\Delta} (12 \text{ hr})$. Det kan imidlertid ikke anbefales at udelade beregning for en eksponeringstid på 12 timer. Især for større værdier af V_b eller relativt store afløbstal, vil der kunne optræde tilfælde, hvor $C_{\Delta} (12 \text{ hr})$ bliver bestemmende for den tilladelige overløbsbelastning.

8 Individuel, forenklet beregning af tilladelig overløbsbelastning, niveau 2

8.1 Indledning

Beregningerne på niveau 2 er karakteriseret ved følgende, jf. fig. 5.2.1:

- Beregning af ekstrembelastning med en tid-areal model ifølge Skrift nr. 21.
- Benyttelse af en simpel vandløbsmodel med individuelle parametre.

Der er således med hensyn til modelvalg og beregningsforudsætninger ikke nødvendigvis forskel på niveau 1 og 2. Forskellen manifesterer sig i princippet derved, at niveau 2 giver mulighed for et individuelt valg af indgangsparametre og -variable. På niveau 2 er der altså mulighed for beregninger, der går ud over det mere orienterende, og som giver en mere sikker beregningsmæssig baggrund for bestemmelse af den tilladelige overløbsbelastning i et aktuelt tilfælde.

8.2 Fastsættelse af parametre og variable

Nødvendige parametre og variable for beregningernes gennemførelse samt generelle principper for disses fastsættelse fremgår af fig. 5.1.1 og afsnit 6.3. I den udstrækning standardværdier ønskes benyttet i den aktuelle beregning henvises til afsnit 7.2.

8.3 Beregningsgang

Der er i princippet to typer af beregningsmetoder på niveau 2, en manuel og en EDB-orienteret. Det må indledningsvis fastslås, at ved »manuel« forstår, at en programmerbar lommeregner som et minimum af teknisk hjælpemiddel er nødvendig, såfremt beregningerne skal gennemføres uden et urimeligt tidsforbrug. Forskellen mellem de to beregningsmetoder er:

Manuel metode:

Beregningerne gennemføres på basis af maksimalt 55 regnhændelser rangordnet efter aflastet vandvolumen, V_a ; jf. Skrift nr. 21, bilag 2.

EDB-metode:

Beregningerne gennemføres med hele regnserien eller en større delmængde heraf ved hjælp af en EDB-baseret metode.

Den fejl i form af informationstab, der kan opstå ved beregning på basis af den manuelle metode sammenlignet med den EDB-orienterede, er tidligere omtalt, jf. afsnit 6.3.4. Hertil kan komme yderligere fejl. Flere af disse er opsummeret i Skrift nr. 21, tabel 3-2.

8.3.1 Beregningsgang ved manuel metode med eksemplificering

Af hensyn til overskueligheden er den manuelle beregningsgang delt op i 6 trin. På det enkelte trin beskrives metoden kort, og der gives eksempler på gennemførte beregninger.

Trin 1. Identifikation af dimensionsgivende regnhændelser.

Indgangsparametre:

Afløbstal, a .

Fuldtløbende afløbstid, t_f .

Ud fra Skrift nr. 21, bilag 2, identificeres 55 regnhændelser som basis for beregning af ekstrembelastning. Herved bestemmes for hver regnhændelse:

Tidspunkt for start af regn, t_o . Bemærk, at tidspunktet følger GMT (Greenwich mean time).

Aflastet vandvolumen, V_a .

Varighed af aflastning, t_a .

Metoden svarer til niveau 1 for beregning af ekstremoverløb, jf. Skrift nr. 21. Såfremt koblede bygværker forekommer, eksempelvis i form af et overløbsbygværk med bassin, anbefales den EDB-orienterede metode benyttet, jf. afsnit 8.3.2.

Trin 2. Beregning af ekstrembelastning, P .

Indgangsparametre:

Reduceret oplandsareal, F_{red} .

Spildevandsstrøm, Q_s .

Spildevandskoncentration, L_{sp} .

Overvandskoncentration, L_{ov} .

Beregning af P for $M_v = 1$ til 55 sker ved benyttelse af ligning VIII.

Trin 3. Beregning af dimensionsløs døgnsvingning, β .

Indgangsparametre:

Temperatur, Θ .

Geniltningkonstant, $K_2(\Theta) = K_2(20) \cdot 1,025^{\Theta - 20}$.

Relativ dagslængde, α . Jf. tabel 6.2.1.

For hver af de måneder, hvor regnhændelser forekommer, beregnes døgnvariationen af $\beta(\tau)$ ifølge ligning VII. Denne beregning gennemføres for $-1/2 \leq \tau \leq 1/2$ med tidsskridt på $\Delta\tau = 1/24$.

For hver serie af β -værdier beregnes $\Delta\beta = \beta_{\text{max}} - \beta_{\text{min}}$.

Trin 4. Beregning af iltkoncentrationer C i vandløbet i forbindelse med hver regnhændelse.

Indgangsparametre:

Vandføring i overløb, $Q_{\text{ov}} = V_a \cdot F_{\text{red}}/t_a$.

Basisvandføring, Q_b .

Vanddybde, h .

Iltmætningskoncentration, C_s .

Middeliltkoncentration, C_m .

Iltudsving, ΔC .

Nedbrydningskonstant, $K_4(\Theta) = K_4(20) \cdot 1,047^{\Theta - 20}$.

Fjernelseshastighed, k .

Vedrørende fastsættelse af værdier for K_4 og k henvises til afsnit 6.3.6.

For hver regnhændelse gennemføres beregning af iltkoncentrationer i vandløbet som funktion af opholdstiden, t_h , og tid efter overløbsvandets passage i et givet punkt, t . Denne beregning af $C = f(t, t_h)$ gennemføres i henhold til ligning VI.

Starttidspunktet for beregningen er givet ved

$$t_{kl,o} = t_o + \frac{t_a}{2}$$

med værdi afrundet til nærmeste heltal. Dette tidspunkt svarer til følgende begyndelsesværdi af β

$$\beta(\tau) = \beta\left(\frac{t_{kl,o} - 12}{24}\right)$$

Beregning af C fortsætter herefter med

$$t_{kl} = t_o + \frac{t_a}{2} + t + t_h$$

for heltalskombinationen af

$$0 \leq t \leq \max 23 \quad \text{og}$$

$$0 \leq t_h \leq \max 23$$

jf. fig. 7.3.1.

Eksempler på tredimensionale plot af $C = f(t, t_h)$ til illustration af disse beregninger fremgår af figurerne 8.3.1 a, b og c samt 8.3.2 a, b og c. Kurverne »a« viser iltkoncentrationen i et vandløb, $C = f(t, t_h)$, påvirket af overløbet og kurverne »b« døgnsvingningen i tørvejrstilstanden. Kurverne »c« illustrerer det samlede, overlejlrede forløb. Fig. 8.3.1 fremstiller en situation, hvor overløbspåvirkning og døgnsvingning er i medfase svarende til et overløb om natten, kl. 1.00; modsætningsvis illustrerer fig. 8.3.2 en situation, hvor påvirkning og døgnsvingning er i modfase svarende til aflastning i dagtimerne, kl. 12.00. De to figursystemer viser altså henholdsvis døgnsvingningens forstærkende og nedsettende virkning af den egentlige overløbsbelastnings effekt.

Et forhold af væsentlig praktisk betydning — især for den manuelle beregningsmetode — er antallet af nødvendige beregninger af $C = f(t, t_h)$. For relativt små iltudsving, ΔC , sammenlignet med effekten af den egentlige stofafkastning, vil de kritiske iltkoncentrationer forekomme ved relativt små t -værdier forholdsvis nær udløbspunktet. Under sådanne omstændigheder vil brugeren med nogen forsigtighed kunne begrænse variationen af t og t_h til

$$0 \leq t \leq 15$$

$$0 \leq t_h \leq 12$$

En umiddelbar vurdering af variationen i de beregnede C -værdier vil kunne vise brugeren, om yderligere begrænsninger er mulige eller om udvidelse af intervallerne er nødvendige.

Trin 5. Bestemmelse af $C_{\min}(1\text{hr})$ og $C_{\min}(12\text{hr})$ for hver regnhændelse.

Med baggrund i iltkoncentrationsværdier beregnet under trin 4 bestemmes følgende mindste middelværdier for fastholdt værdi af t_h

$$C(1\text{hr}) = \frac{C_j + C_{j+1}}{2} \quad \text{og}$$

$$C(12\text{hr}) = \frac{1}{12} \sum_{i=j}^{j+11} C_i$$

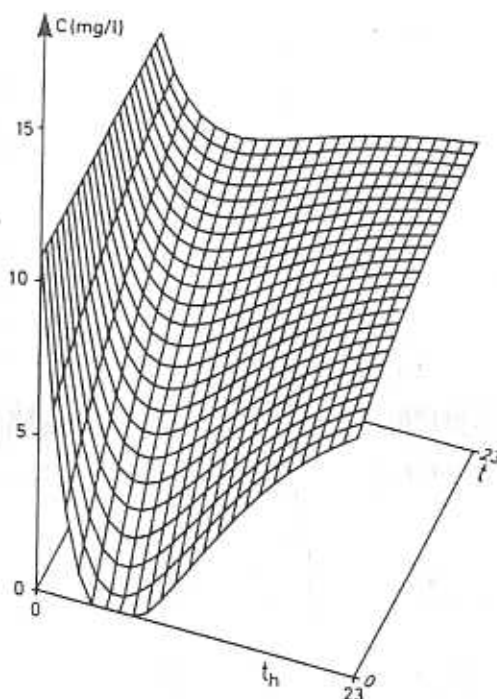
Beregningerne starter med $j = 0$ svarende til $t = 0$ for herefter at fortsætte med $j = 1, 2, 3, \dots$ indtil den mindste middelværdi af både $C(1\text{hr})$ og $C(12\text{hr})$ er beregnet ved den pågældende t_h -værdi.

Blandt de således beregnede middelværdier for given variation af t_h udsøges herefter $C_{\min}(1\text{hr})$ og $C_{\min}(12\text{hr})$ for den pågældende regnhændelse.

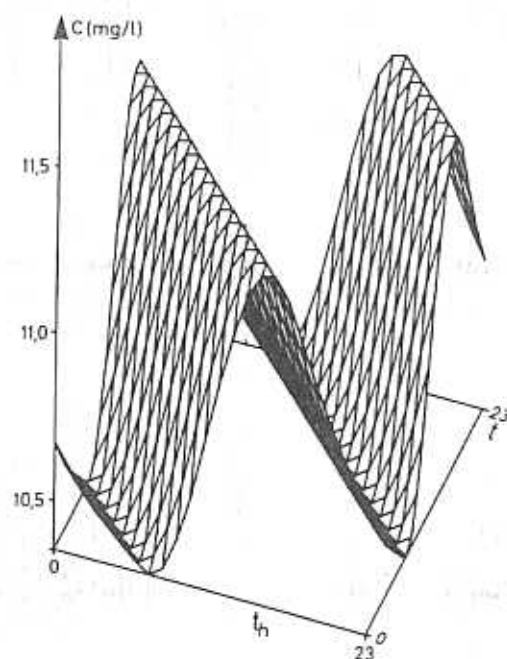
Figurer for hændelse nr. 701031 - 2050 (fig. 8.3.1 a, b og c), jf. tekst.

Parametre og variable:

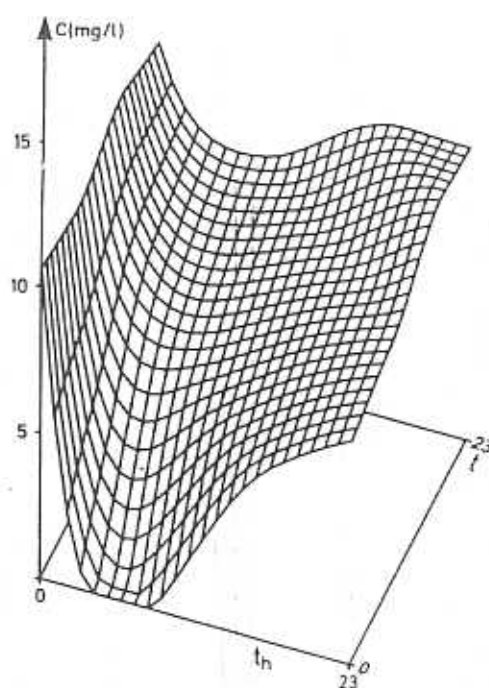
a	$= 0,1 \mu\text{m/s}$	t_a	$= 395 \text{ min.}$	P	$= 145 \text{ kg COD}$
t_f	$= 5 \text{ min.}$	q_s	$= 0,2 \mu\text{m/s}$	F_{red}	$= 5 \text{ ha}$
V_b	$= 0$	Q_b	$= 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	ΔC	$= 1 \text{ mg/l (aktuel værdi)}$



Figur 8.3.1a Iltkoncentrationen i et vandløb, $C = f(t, t_h)$, påvirket af et overløb. Jf. tekst.



Figur 8.3.1 b Døgnsvingning i et vandløb under tørvejrforhold. Jf. tekst.

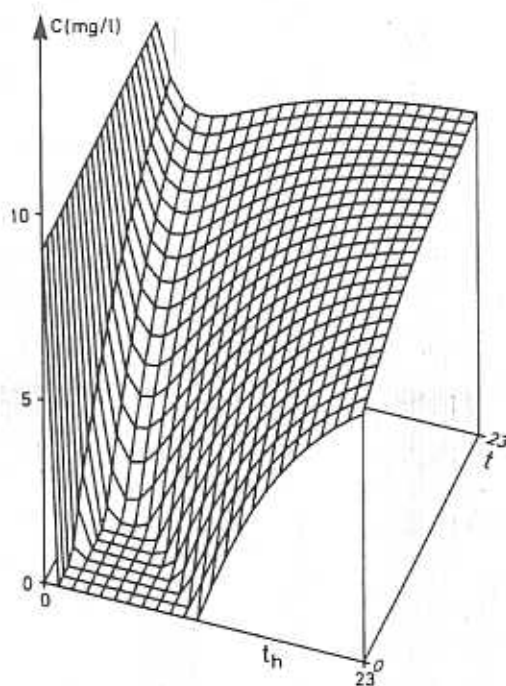


Figur 8.3.1 c Iltkoncentrationen $C = f(t, t_h)$ i et vandløb med døgnsvingningens og overløbsbelastningens effekt i medfase ved overløbspunktet. Jf. tekst.

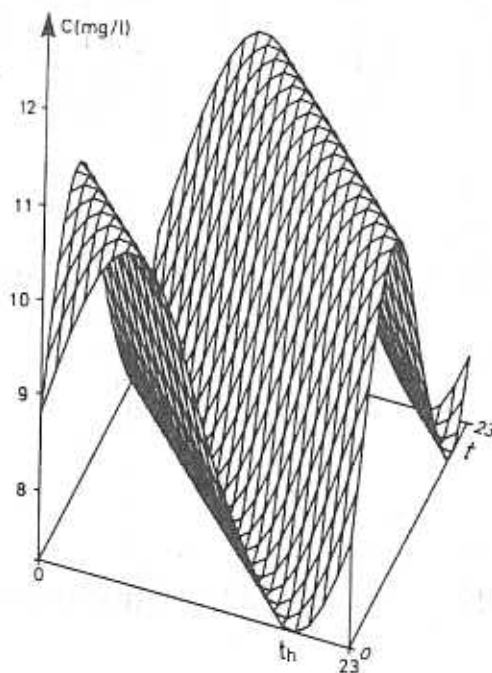
Figurer for hændelse nr. 410723 - 0904 (fig. 8.3.2 a, b og c), jf. tekst.

Parametre og variable:

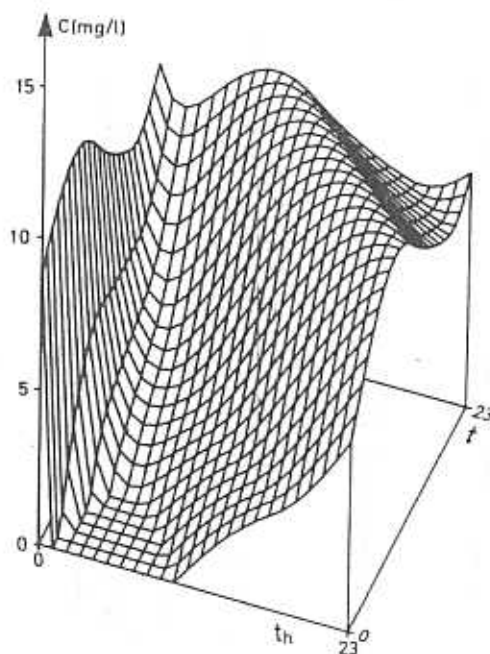
a	$= 0,1 \mu\text{m/s}$	t_a	$= 230 \text{ min.}$	P	$= 127 \text{ kg COD}$
t_f	$= 5 \text{ min.}$	q_s	$= 0,04 \mu\text{m/s}$	F_{red}	$= 5 \text{ ha}$
V_b	$= 0$	Q_b	$= 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$	ΔC	$= 3,5 \text{ mg/l (aktuel værdi)}$



Figur 8.3.2a Iltkoncentrationen i et vandløb, $C = f(t, t_h)$, påvirket af et overløb. Jf. tekst.



Figur 8.3.2b Døgnsvingning i et vandløb under tørvejrforhold. Jf. tekst.



Figur 8.3.2c Iltkoncentrationen $C = f(t, t_h)$ i et vandløb med døgnsvingningens og overløbsbelastningens effekt i modfase ved overløbspunktet. Jf. tekst.

Trin 6. Vurdering af overløbsbelastningens recipienteffekt.

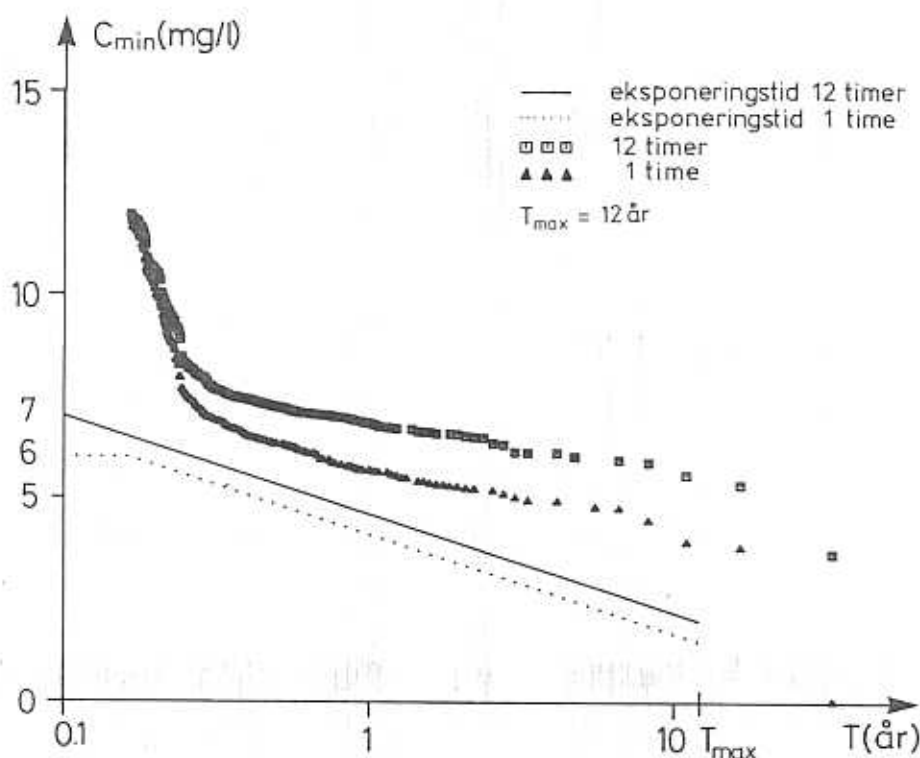
Samtlige beregnede værdier af $C_{\min}(1\text{ hr})$ og $C_{\min}(12\text{ hr})$ svarende til et sæt fra hver regnhændelse i den medtagne del af regnserien rangordnes. Herefter afbildes $C_{\min}(1\text{ hr}) = f_1(T)$ og $C_{\min}(12\text{ hr}) = f_2(T)$ sammen med relevant kvalitetskriterium svarende til målsætningen B_1 , B_2 eller B_3 .

Hvis $C_{\min} \geq C_{\text{krav}}$ for alle gentagelsesperioder $T \leq T_{\max}$ er kvalitetskriteriet overholdt.

Hvis $C_{\min} < C_{\text{krav}}$ for blot en enkelt gentagelsesperiode $T \leq T_{\max}$ er kvalitetskriteriet ikke overholdt.

Fig. 8.3.3 og 8.3.4 illustrerer ovennævnte to tilfælde.

Målsætning B_2 , laksefiskevand



$$a = 0,1 \mu\text{m/s}$$

$$t_f = 5 \text{ min.}$$

$$V_b = 0$$

$$q_s = 0,04 \mu\text{m/s}$$

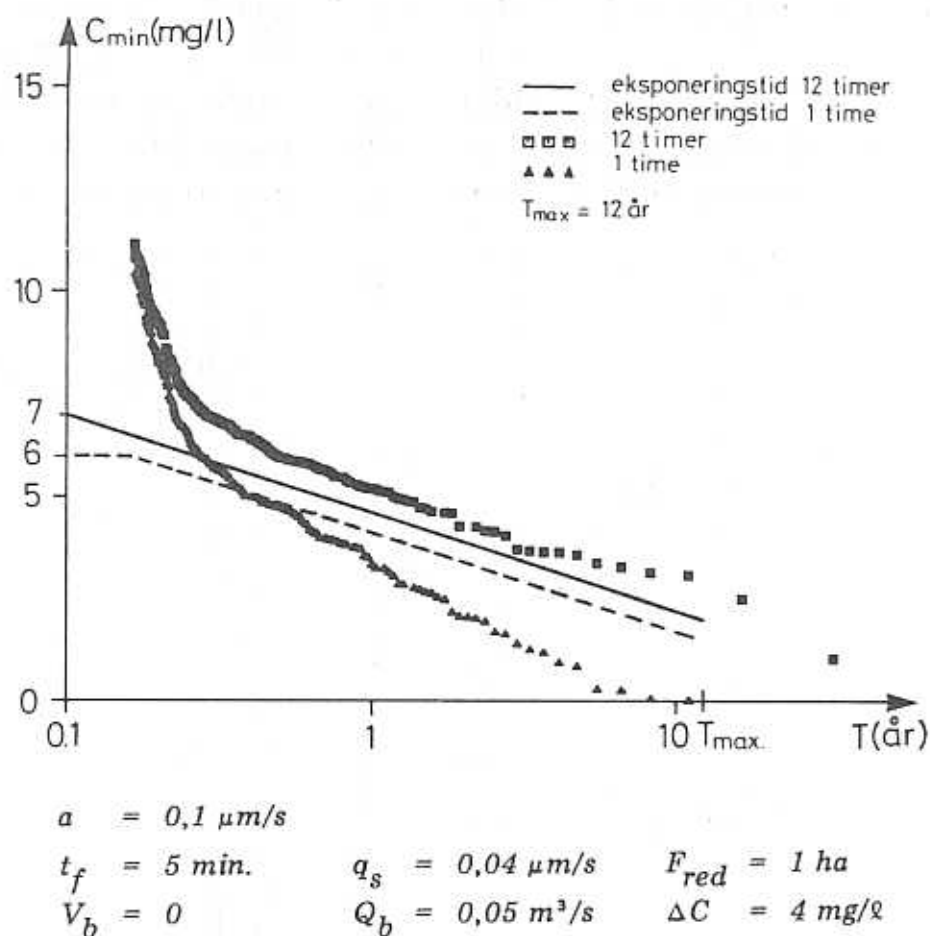
$$Q_b = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F_{\text{red}} = 1 \text{ ha}$$

$$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$$

Figur 8.3.3 $C_{\min}(1\text{ hr})$ og $C_{\min}(12\text{ hr})$ som funktion af gentagelsesperioden T sammenlignet med kvalitetskriteriet. Kriteriet er overholdt.

Målsætning B_2 , laksefiskevand



Figur 8.3.4 $C_{min}(1 \text{ hr})$ og $C_{min}(12 \text{ hr})$ som funktion af gentagelsesperioden T sammenlignet med kvalitetskriteriet. Kriteriet er ikke overholdt.

8.3.2 Beregningsgang ved EDB-metode

Såfremt hele regnserien eller en større delmængde heraf ønskes benyttet ved beregning af tilladelig overløbsbelastning, må en EDB-metode tages i brug ved bestemmelse af ekstrembelastningen svarende til trin 1, afsnit 8.3.1. Nogle grunde til valg af EDB-metoden frem for den manuelle er omtalt i afsnit 8.3.

Anvendelse af metoden bygger på konstruktion af den aktuelle tid-areal kurve med en model svarende til niveau 3 omtalt i Skrift nr. 21. Det er herefter muligt at benytte principperne i beregningsgangen for trin 2 - 6, afsnit 8.3.1.

9 Individuel beregning af tilladelig overløbsbelastning, niveau 3

Beregninger på niveau 3 er karakteriseret ved følgende, jf. fig. 5.2.1:

- Beregning af ekstremlastning med en avanceret afstrømningsmodel, der benytter hele regnserien. Dette beregningsniveau svarer til niveau 3 omtalt i Skrift nr. 21.
- Benyttelse af en simpel — men i forhold til niveau 2 eventuelt udbygget — vandløbsmodel med individuel parametervalg.

Der er således en glidende overgang fra niveau 2's EDB-beregningsmetode til beregning på niveau 3. Det skal påpeges, at betingelsen for, at beregningerne på niveau 3 kan blive meningsfyldte, er eksistensen af et relativt omfattende datamateriale til karakterisering af afløbssystem, opland og recipient. Endvidere må det generelle kendskab til det samlede system være på et sådant niveau, at væsentlige fænomener af betydning for resultatet af beregningerne kan tages i regning. På grund af disse individuelle forhold kan der ikke peges på en specifik beregningsgang, men proceduren beskrevet for niveau 2, når EDB-metoden benyttes, vil være retningsgivende.

Det principielle bliver derfor at gøre opmærksom på nogle fænomener, som kan tages i regning. Listen skal på ingen måde gøre krav på at være udtømmende, men er blot et udgangspunkt for brugeren. I afsnit 6 vedrørende grundlaget for de forenkledte beregninger er der allerede omtalt visse fænomener, som på niveau 1 og 2 er blevet udeladt.

Mulige fænomener og forhold der kan tages hensyn til og som går ud over, hvad niveau 2 omfatter, er:

- Flere udledningspunkter for overløbsvand, svarende til overløb i serie, jf. Skrift nr. 21.
- Flere bassiner, jf. Skrift nr. 21.
- Overbelastede ledninger, ringforbindelser mv., jf. Skrift nr. 18 og 21.

- Variation i vandføring ved overløbet under hændelsen.
- Kontinuerlig udledning, transport og fjernelse af stof under hændelsen.
- Årstidsvariation af vandløbets basisvandføring.
- Indsivning og sidetilløb til vandløbet.
- Variation i vanddybden under hændelsen.
- Temperaturvariation over døgnet og dermed indflydelse på døgnvariation for C_s , K_2 og K_4 .
- Reel årstidsvariation i ΔC og C_{mid} eller en mere fænomenorienteret beskrivelse af fotosyntese og respiration i vandløbet under tørvejrforhold.
- Processer som fx umiddelbart iltforbrug og nitrifikation.
- Værdier for parametre og variable fastlagt gennem et lokalt måleprogram. Sådanne størrelser kan være spildevandsstrøm, spildevandskoncentration og -sammensætning, overvandskoncentration og -sammensætning samt diverse konstanter, eksempelvis K_2 , k og K_4 .

10 Avanceret beregning af tilladelig overløbsbelastning, niveau 4 — ∞

Niveau 4 bygger på anvendelse af en individuel afstrømningsmodel efterfulgt af en individuel vandløbsmodel med individuel valg af parametre og variable. Resultatet er kritisk iltkoncentration i vandløbet som funktion af gentagelsesperioden sammenlignet med relevant kvalitetskriterium. Der skal ikke henvises til bestemte EDB-programmer, men brugeren må med hensyn til både afstrømnings- og vandløbsmodel tage udgangspunkt i de fænomener, der ønskes medtaget som væsentlige beregningslementer.

Med hensyn til en afstrømningsmodel henvises til Skrift nr. 21. Udgangspunktet for en vandløbsmodel på niveau 4 vil typisk være en numerisk transport-dispersionsmodel koblet sammen med de nødvendige vandkvalitetsprocesser for beskrivelse af ønskede fænomener. I afsnit 9 er eksempler på sådanne omtalt. Det er indlysende, at betingelsen for anvendelse af niveau 4 er et særdeles grundigt kendskab til det aktuelle system; uden dette er modelapparatet uden mening.

Der er en glidende overgang fra niveau 4 til ∞ , der er repræsenteret ved det ideale systemkendskab og modelvalg.

11 Konklusion

Det foreliggende skrift beskriver en metode til fastsættelse af dimensionsgivende parametre for overløbsbygværker med udløb til vandløb baseret på et princip om beskyttelse af recipienten som fiskevand. Det indførte princip bryder herved afgørende med den nuværende praksis for afledning af overløbsvand, som er indskrænket til et valg af enten hyppighed eller opspædningsgrad ved start af en aflastning.

Den indførte beregningsmetode omfatter følgende delelementer:

- Anvendelse af en afstrømningsmodel til beregning af overløbsbelastning for individuelle regnhændelser i en historisk regnserie. Jf. Spildevandskomiteens Skrift nr. 21, »Recipientbelastning fra overløbsbygværker«.
- Anvendelse af en vandløbsmodel til beregning af kritisk iltkoncentration som funktion af hændelsens gentagelsesperiode.
- Bestemmelse af tilladelig overløbsbelastning på basis af et statistisk bestemt kriterium for vandkvalitet.

Der er i skriftet anvist simple såvel som mere avancerede beregningsniveauer for dimensionering af overløbsbygværker. Det er således muligt at bevæge sig fra et niveau, karakteriseret ved dimensionering på basis af allerede etablerede diagrammer, over brug af forenklede modeller med individuel parametervalg til mere avancerede modeller, baseret på brug af EDB.

12 Litteratur

- Adelman, I.R.; Smith, L.L. (1970): Effect of oxygen on growth and food conversion efficiency of northern pike. *Prog. Fish-Cult.* 32:93-96.
- Alabaster, J.S.; Herbert, D.W.M.; Hemens, J. (1957): The survival of rainbow trout (*Salmo Gairdnerii* Richardson) and perch (*Perca fluviatilis* L.) at various concentrations of dissolved oxygen and carbon dioxide. *Ann. Appl. Biol.*, Vol. 45, no. 1, pp. 177-188.
- Alabaster, J.S.; Welcomme, R.L. (1962): Effect of concentration of dissolved oxygen on survival of trout and roach in lethal temperatures. *Nature* 194:107.
- Alabaster, J.S. (1967): The survival of salmon (*Salmo salar* L.) and Sea trout (*S. trutta* L.) in fresh and saline water at high temperatures. *Water Research*, Vol. 1, pp. 717-730.
- Alabaster, J.S.; Shurben, D.G.; Mallett, M.J. (1979): The survival of smolts of Salmon *Salar salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. *J. Fish Biol.*, Vol. 15, pp. 1-8.
- Alabaster, J.S.; Lloyd, R. (1980): Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London. 297 p.
- Alderdice, D.F.; Wickett, W.P.; Brett, J.R. (1958): Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 15: 229-250.
- Andrews, J.W.; Murai, T.; Gibbons, G. (1973): The influence of dissolved oxygen on the growth of channel catfish, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 102:835.
- Bishai, H.M. (1962): Reactions of larval and young salmonids to water of low oxygen concentration. *Conseil International pour l'exploration de la mer*, Charlottenlund, Denmark. *Journal du Conseil*, Vol. 27, pp. 167-180.
- Bouck, G.R.; Ball, R.C. (1965): Influence of a diurnal oxygen pulse on fish serum proteins. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 94:363-370.
- Brake, L.A. (1972): Influence of dissolved oxygen and temperature on the growth of a juvenile largemouth bass held in artificial ponds. Masters Thesis. Oregon State University, Corvallis, 45 p.
- Brett, J.R.; Blackburn, J.M. (1981): Oxygen requirements for growth of young coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and sockeye (*O. nerka*) salmon at 15°C. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:399-404.

- Brooke, L.T.; Colby, P.J. (1980): Development and survival of embryos of lake herring at different constant oxygen concentrations and temperatures. *Prog. Fish-Cult.* 42: 3 - 9.
- Brungs, W.A. (1971): Chronic effects of low dissolved oxygen concentrations on fathead minnow (*Pimephales promelas*). *J. Fish. Res. Board Can.* 28:1119 - 1123.
- Cairns, J.; Scheier, A. (1957): The effects of periodic low oxygen upon the toxicity of various chemicals to aquatic organisms. *Proc. 12th Industrial Waste Conf., Purdue Univ. Eng., Bull. no. 94*, pp. 165 - 176.
- Cameron, J.N. (1971): Oxygen dissociation characteristics of the blood of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Comp. Biochem. Physiol.* 38:699 - 704.
- Carlson, A.R.; Siefert, R.E. (1974): Effects of reduced oxygen on the embryos and larvae of lake trout (*Salvelinus namaycush*) and largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *J. Fish. Res. Board Can.* 31:1393 - 1396.
- Carlson, A.R.; Siefert, R.E.; Herman, L.J. (1974): Effects of lowered dissolved oxygen concentrations on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) embryos and larvae. *Trans. Am. Fish. Soc.* 103:623 - 626.
- Carlson, A.R.; Blocker, J.; Herman, L.J. (1980): Growth and survival of channel catfish and yellow perch exposed to lowered constant and diurnally fluctuating dissolved oxygen concentrations. *Prog. Fish-Cult.* 42:73 - 78.
- Carlson, A.R.; Herman, L.J. (1978): Effect on long-term reduction and diel fluctuation in dissolved oxygen on spawning of black crappie, *Pomoxis nigromaculatus*. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107:742 - 746.
- Chapman, G.A. (1983): An analysis of data describing effects of dissolved oxygen on the growth of juvenile salmonids. A report from USEPA, Corvallis Environmental Research Laboratory. Corvallis, Oregon. 48 pp.
- Cherry, D.S.; Cairns, J. (1982): Biological monitoring, Part V — Preference and Avoidance Studies. *Water Research*, Vol. 16, no. 3, pp. 263 - 301.
- Coble, D.W. (1961): Influence of water exchange and dissolved oxygen in the redds on survival of steelhead trout embryos. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 90:469 - 474.
- Coble, D.W. (1982): Fish populations in relation to dissolved oxygen in the Wisconsin River. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111:612 - 623.
- Davis, G.E.; Foster, J.; Warren, C.E.; Doudoroff, P. (1963): The influence of oxygen concentration on the swimming performance of juvenile Pacific salmon at various temperatures. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 92:111 - 124.
- Davis, J.C. (1975a): Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32:2295 - 2232.
- Davis, J.C. (1975b): Waterborne dissolved oxygen requirements and criteria with particular emphasis on the Canadian environment. National Research Council of Canada, Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Criteria, Report no. 13, NRCC 14100:111 p.

- Doudoroff, P.; Shumway, D.L. (1967): Dissolved oxygen criteria for the protection of fish. pp. 13-19. In: American Fisheries Society Special Publication No. 4.
- Doudoroff, P.; Shumway, D.L. (1970): Dissolved oxygen requirements of freshwater fishes. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Technical Paper No. 86. Rome, Italy. 291 p.
- Downing, A.L.; Edwards, R.W. (1968): Effluent standards and the assessment of the effects of pollution on rivers. Symposium on Effluent Standards and the Assessment of the Effects of Pollution on Rivers, Scarborough, Oct. 22-25, 1968.
- Downing, K.M.; Merkens, J.C. (1955): The influence of dissolved-oxygen concentration on the toxicity of un-ionized ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdnerii* Richardson). Ann. Appl. Biol. 43, No. 2: 243 - 246.
- Downing, K.M.; Merkens, J.C. (1957): The influence of temperature on the survival of several species of fish in low tensions of dissolved oxygen. Ann. Appl. Biol., 45: 261 - 267.
- Eddy, R.M. (1972): The influence of dissolved oxygen concentration and temperature on the survival and growth of chinook salmon embryos and fry. M.S. Thesis, Oregon State University, Corvallis, 45 p.
- EF fiskevandsdirektivet (1978): Rådets direktiv af 18. juli 1978 om kvaliteten af ferskvand. 76/659/EØF.
- EIFAC, European Inland Fisheries Advisory Commission (1973): Water quality criteria for European freshwater fish. Report on dissolved oxygen and inland fisheries, FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Technical Paper No. 19. Rome.
- Fisher, R.J. (1963): Influence of oxygen concentration and its diurnal fluctuation on the growth of juvenile coho salmon. M.S. Thesis, Oregon State University, Corvallis. 48 p.
- Harremoës, P. (1982): Immediate and delayed oxygen depletion in rivers. Water Research, Vol. 16.
- Henze, M. (1982): Husspildevands sammensætning. Stads- og Havneingeniøren, Vol. 73, No. 12, pp. 386 - 388.
- Hutchins, F.E. (1974): Influence of dissolved oxygen concentration and swimming velocity on food consumption and growth of juvenile coho salmon. M.S. Thesis, Oregon State University, Corvallis. 66 p.
- Hvitved-Jacobsen, T. (1980): The impact of combined sewer overflows on the dissolved oxygen concentration of a small stream. In Y.A. Yousef; M.P. Wanielista; W.M. McLellon; J.S. Taylor, eds.: Urban Stormwater and Combined Sewer Overflow Impact on Receiving Water Bodies. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA, USEPA - 600/9 - 80 - 056, pp. 245 - 259.

- Hvitved-Jacobsen, T. (1982): The impact of combined sewer overflows on the dissolved oxygen concentration of a river. *Water Research*, Vol. 16.
- Hvitved-Jacobsen, T.; Harremoës, P. (1982): Impact of combined sewer overflows on dissolved oxygen in receiving streams. In B.C. Yen: Urban stormwater quality, management and planning. Proceedings of the Second International Conference on Urban Storm Drainage held at Urbana, Illinois, USA, June 14-19, 1981. Water Resources Publications.
- Hvitved-Jacobsen, T.; Harremoës, P.; Johansen, N.B. (1985): Dimensionering af overløb til vandløb, *Vand og Miljø*, nr. 1, 1985.
- Höglund, L.B.; Härdig, J. (1969): Reactions of young salmonids to sudden changes of pH, carbon-dioxide tension and oxygen content. Institute of Freshwater Research. Drottningholm, Sweden. Report no. 49.
- International Joint Commission (1976): Dissolved oxygen. In: Great Lakes Water Quality, Annual Report of the Water Quality Objectives Subcommittee and the Task Force on the Scientific Basis for Water Quality Criteria. 83 p.
- Itazawa, Y. (1971): An estimation of the minimum level of dissolved oxygen in water required for normal life of fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, Vol. 37, No. 4.
- Johansen, N.B. (1981): Method for computation of overflow volumes and load of pollutants. Nordisk seminar om forurensninger i overvann. Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, august 24-25.
- Johansen, N.B.; Harremoës, P.; Dahi, E. (1983): Regnafstrømning i Mølleåsystemet: Samlerapport. Hovedstadsrådet.
- Johansen, N.B.; Hvitved-Jacobsen, T.; Harremoës, P. (1984): Simulation of the impact of combined sewer overflows on rivers. Den 8. Nordiske Hydrologiske Konference, Nyborg, 6. - 8. august 1984. Nordisk hydrologisk Program, rapport nr. 5; Hydrologi og Vandkvalitet, bind 2, pp. 365 - 376.
- Jones, J.R. Erichsen (1952): The reactions of fish to water of low oxygen concentration. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 29, p. 403 - 415.
- Katz, M.; Pritchard, A.; Warren, C.E. (1959): Ability of some salmonids and a centrarchid to swim in water of reduced oxygen content. *Trans. Am. Fish. Soc.* 88:88 - 95.
- Koski, K.V. (1965): The survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) from egg deposition to emergency in three Oregon coastal streams. M.S. Thesis, Oregon State University, Corvallis. 81 p.
- Lloyd, R. (1961): Effect of dissolved oxygen concentration on the toxicity of several poisons to rainbow trout (*Salmo gairdnerii* Richardson). *J. Exp. Biol.* 38:447 - 455.

- Magnuson, J.J.; Fromm, P.O.; Brett, J.R.; Fry, F.E.J. (1979): Report of the review committee for the dissolved oxygen objective for the Great Lakes. A report submitted to the Great Lakes Science Advisory Board, International Joint Commission, Windsor, Ontario, Canada.
- Meyer, F.P. (1970): Seasonal fluctuations in the incidence of disease on fish farms. In: A Symposium on Diseases of Fish and Shellfishes. Spec. Publ. No. 5, Amer. Fish. Soc. Washington D.C., p. 21 - 29.
- Miljøprojekter nr. 36 (1981): Regnvandsundersøgelser, vandløbs reaktion på regnvandsafledning fra fælleskloakerede byområder. Juli 1981.
- Miljøprojekter nr. 40 (1981): Genluftning og fotosyntese i vandløb. Dec. 1981.
- Miljøstyrelsen (1983): Vejledning i recipientplanlægning, del 1, Vandløb og søer, Vejledning nr. 1.
- Moss, D.D.; Scott, D.C. (1961): Dissolved oxygen requirements of three species of fish. Trans. Am. Fish. Soc., 90:377 - 393.
- National Academy of Sciences/National Academy of Engineering (1973): Water quality criteria. 1972. p. 131 - 135. EPA-R/73-033. 594 p.
- Peterka, J.J.; Kent, J.S. (1976): Dissolved oxygen, temperature, survival of young fish spawning sites. Environmental Protection Agency Report No. EPA-600/3-76-113, Ecological Research Series. 36 p.
- Pickering, Q.H. (1968): Some effects of dissolved oxygen concentrations upon the toxicity of zinc to the bluegill, *Lepomis macrochirus* Raf. Water Res. 2:187 - 194.
- Raible, R.W. (1975): Survival and growth rate of channel catfish as a function of dissolved oxygen concentration. Water Resources Research Center. Arkansas University, PB 244 708, NTIS, Springfield, Virginia.
- Sanitary Engineering Division, Committee on Sanitary Engineering Research (1960): Solubility of atmospheric oxygen in water. ASCE, Journal of the Sanitary Engineering Division, Vol. 86, No. SA4, pp. 41 - 53, July 1960.
- Shepard, M.P. (1955): Resistance and tolerance of young speckled trout (*Salvelinus fontinalis*) to oxygen lack, with special reference to low oxygen acclimation. J. Fish. Res. Bd. Canada, 12:387 - 446.
- Shumway, D.L.; Warren, C.E.; Doudoroff, P. (1964): Influence of oxygen concentration and water movement on the growth of steelhead trout and coho salmon embryos. Trans. Amer. Fish. Soc., 93:342 - 356.
- Siefert, R.E.; Spoor, W.A. (1974): Effects of reduced oxygen on embryos and larvae of the white sucker, coho salmon, brook trout, and walleye. pp. 487 - 495. In: J.H.S. Blaxter, ed.: The early life history of fish. The proceedings of an international symposium, Oban, Scotland, May 17 - 23, 1973. Springer Verlag, Berlin.

- Siefert, R.E.; Carlson, A.R.; Herman, L.J. (1974): Effects of reduced oxygen concentrations on the early life stages of mountain whitefish, smallmouth bass, and white bass. *Prog. Fish-Cult.* 36:186 - 190.
- Siefert, R.E.; Spoor, W.A.; Syrett, R.F. (1973): Effects of reduced oxygen concentrations on northern pike (*Esox lucius*) embryos and larvae. *J. Fish. Res. Board Can.* 30:849 - 852.
- Siefert, R.E.; Herman, L.J. (1977): Spawning success of the black crappie, *Pomoxis nidromaculatus*, at reduced dissolved oxygen concentrations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106:376 - 379.
- Silver, S.J.; Warren, C.E.; Doudoroff, P. (1963): Dissolved oxygen requirements of developing steelhead trout and chinook salmon embryos at different water velocities. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92:327 - 343.
- Simonsen, J.F.; Harremoës, P. (1978): Oxygen and pH fluctuations in rivers. *Water Research*, Vol. 12, pp. 477 - 489.
- Spildevandskomiteen, DIF (1984): Recipientbelastning fra overløbsbygværker. Skrift nr. 21.
- Spoor, W.A. (1977): Oxygen Requirements of embryo and larvae of the largemouth bass, *Micropterus salmonides* (Lacepede). *J. Fish. Biol.* 11:77 - 86.
- Spoor, W.A. (1981): Growth of trout at different oxygen concentrations. Preliminary report from USEPA, Environmental Research Laboratory, Duluth, Minnesota. 9 p.
- Stewart, N.E.; Shumway, D.L.; Doudoroff, P. (1967): Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile largemouth bass. *J. Fish. Res. Board Can.* 24:475 - 494.
- Streeter, H.W.; Phelps, E.B. (1925): A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin No. 146, Treasure Department of the US Public Health Service.
- Thatcher, T.O. (1974): Some effects of dissolved oxygen concentration on feeding, growth, and bioenergetics of juvenile coho salmon. Ph.D. Thesis. Oregon State University, Corvallis. 70 p.
- Thurston, R.V.; Phillips, G.R.; Russo, R.C.; Hinkins, S.M. (1981): Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) resulting from reduced concentrations of dissolved oxygen. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:983 - 988.
- U.S. Environmental Protection Agency (1976): Quality Criteria for Water. Washington D.C., 256 p.
- U.S. Environmental Protection Agency (1982): Water Quality Standards Regulation. Federal Register 47:49239. October 29.

- Warren, C.E.; Doudoroff, P.; Shumway, D.L. (1973): Development of dissolved oxygen criteria for freshwater fish. U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Research Series Report EPA-R3-73-019. Washington D.C., 121 p.
- Whitmore, C.M.; Warren, C.E.; Doudoroff, P. (1960): Avoidance reactions of salmonid and centrarchid fishes to low oxygen concentrations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 89:17 - 26.
- Whitworth, W.R. (1968): Effects of diurnal fluctuations of dissolved oxygen on the growth of brook trout. *J. Fish. Res. Board. Can.* 25:579 - 584.

Bilag

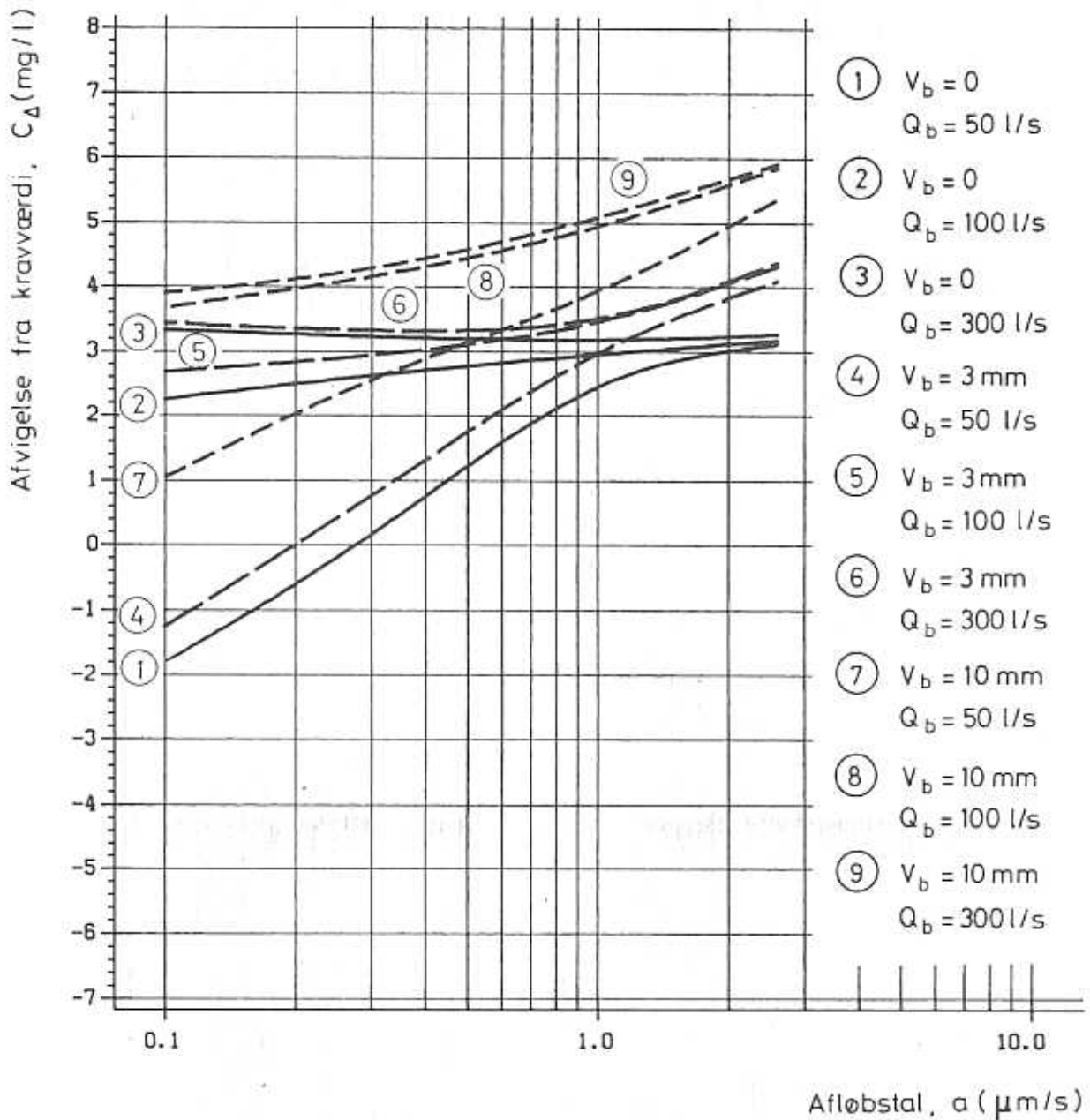
Diagrammer til dimensionering af overløbsbygværker på niveau 1

I diagrammerne er mindsteværdien af samtlige de i en regnserie beregnede differenser mellem den kritiske iltkoncentration og aktuel kravværdi, C_{Δ} (mg/l), angivet som funktion af afløbstallet, a ($\mu\text{m/s}$).

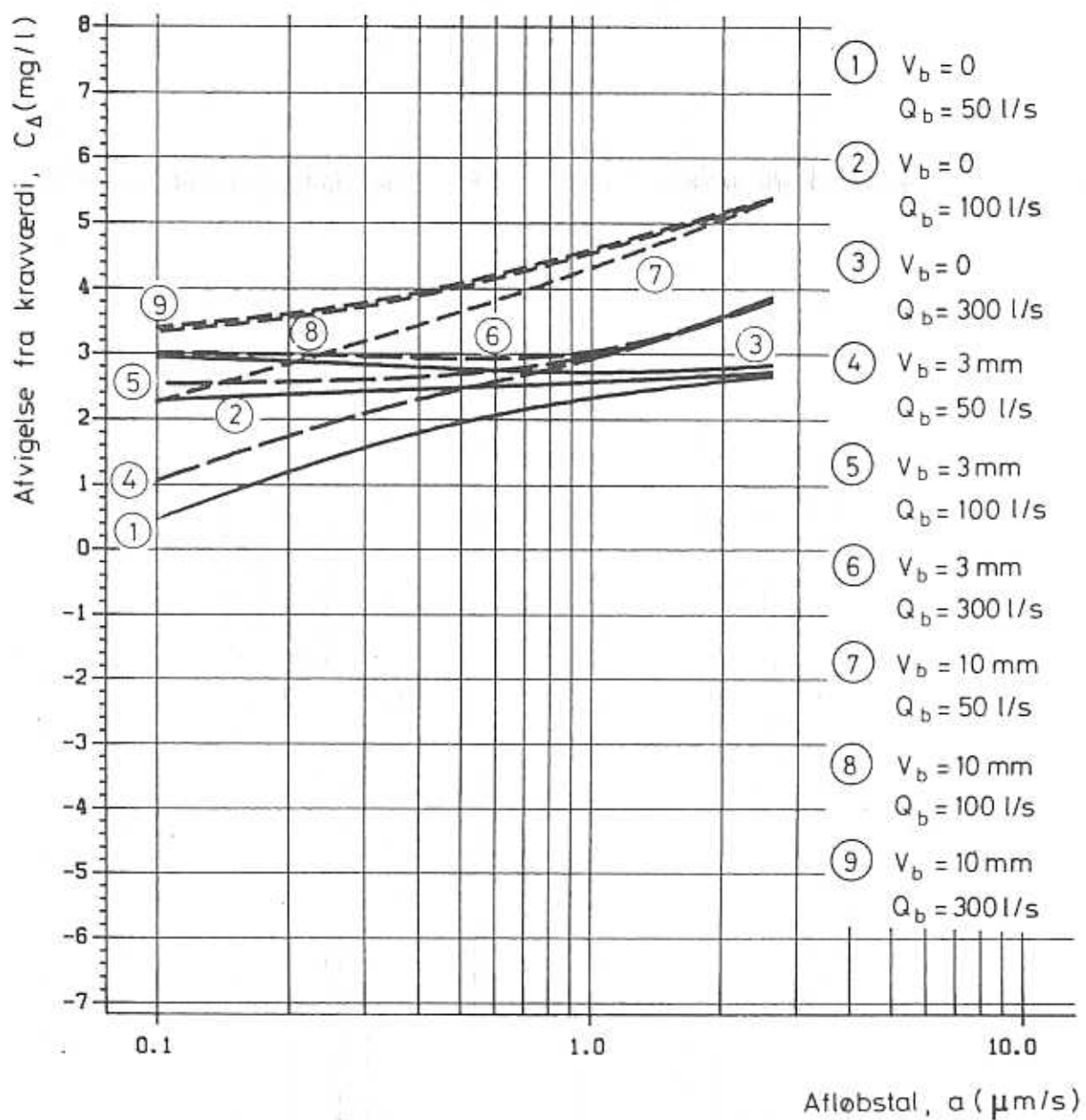
Kurverne er baseret på kvalitetskriteriet for laksefiskevand for ekspone-
ringstid 1 time og 12 timer.

Fuldtløbende afløbstid	Intensitet af spildevandsstrøm	Reduceret oplandsareal	Iltudsving	Side nr.
t_f (min)	q_s ($\mu\text{m/s}$)	F_{red} (ha)	ΔC (mg/l)	
5	0,04	1	0	90
5	0,04	1	4	92
5	0,04	5	0	94
5	0,04	5	4	96
5	0,2	1	0	98
5	0,2	1	4	100
5	0,2	5	0	102
5	0,2	5	4	104
10	0,04	5	0	106
10	0,04	5	4	108
10	0,2	5	0	110
10	0,2	5	4	112
30	0,04	25	0	114
30	0,04	25	4	116
30	0,2	25	0	118
30	0,2	25	4	120

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

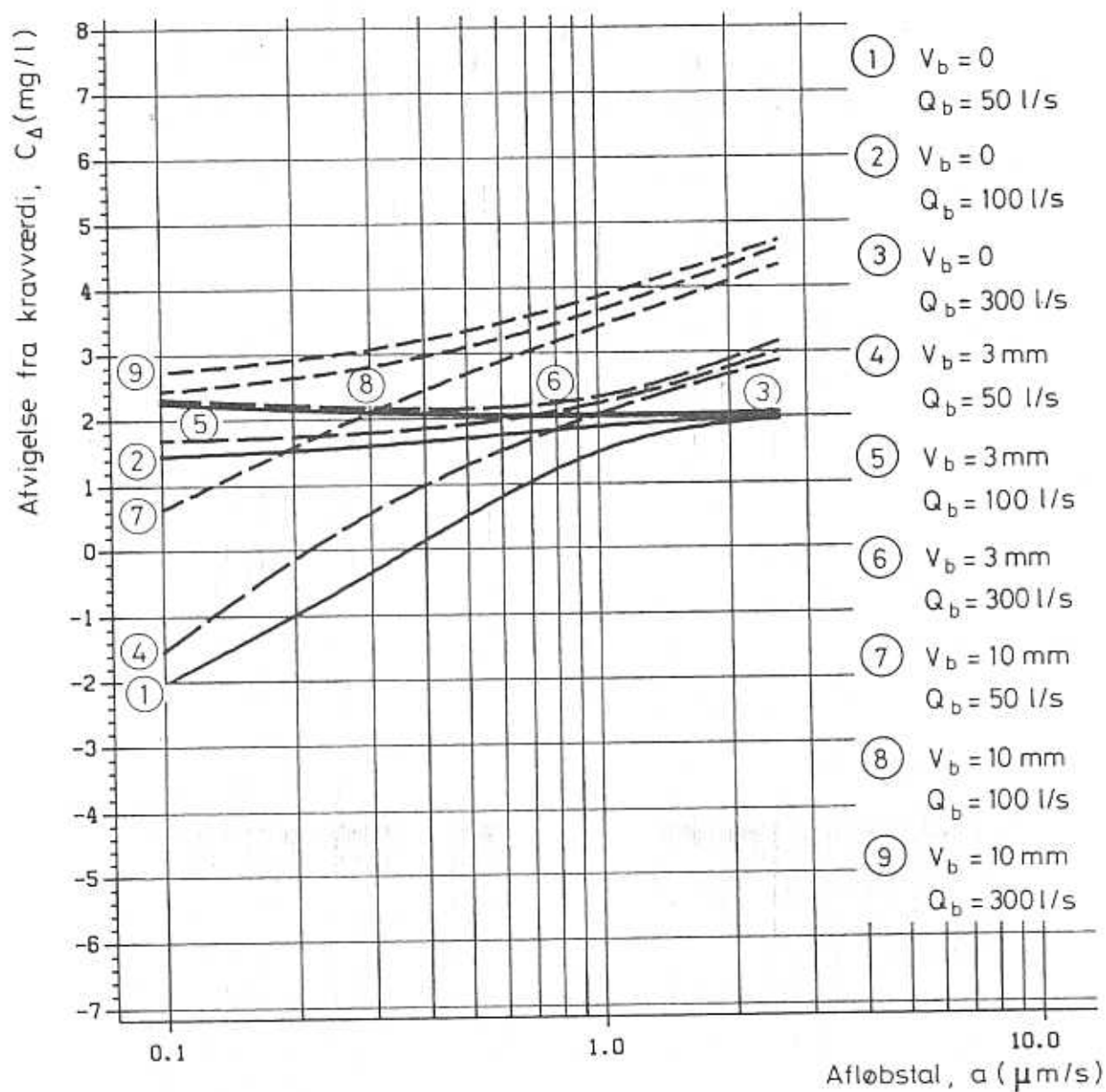
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,04 \text{ } \mu\text{m/s}$

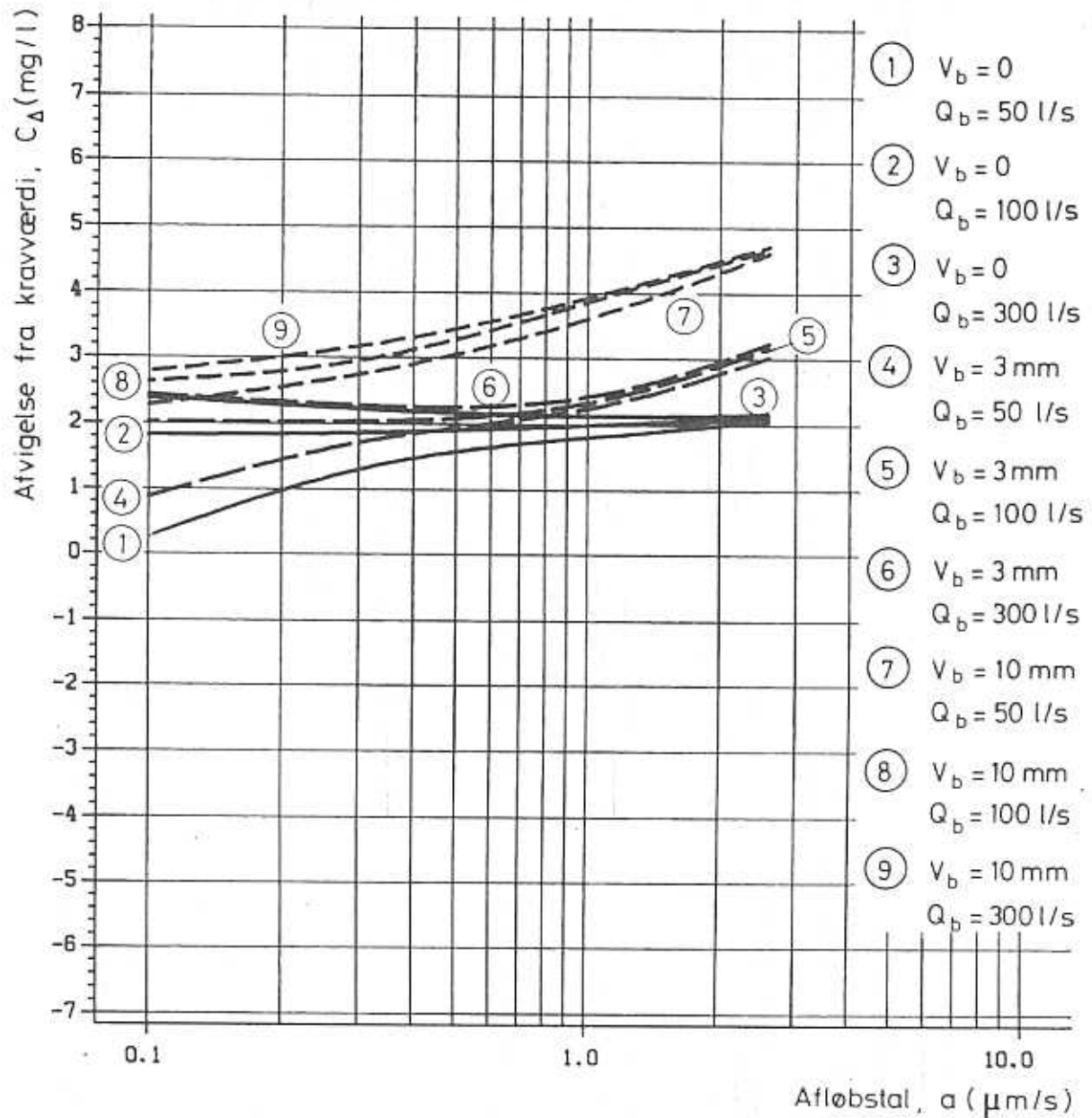
$F_{red} = 1 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

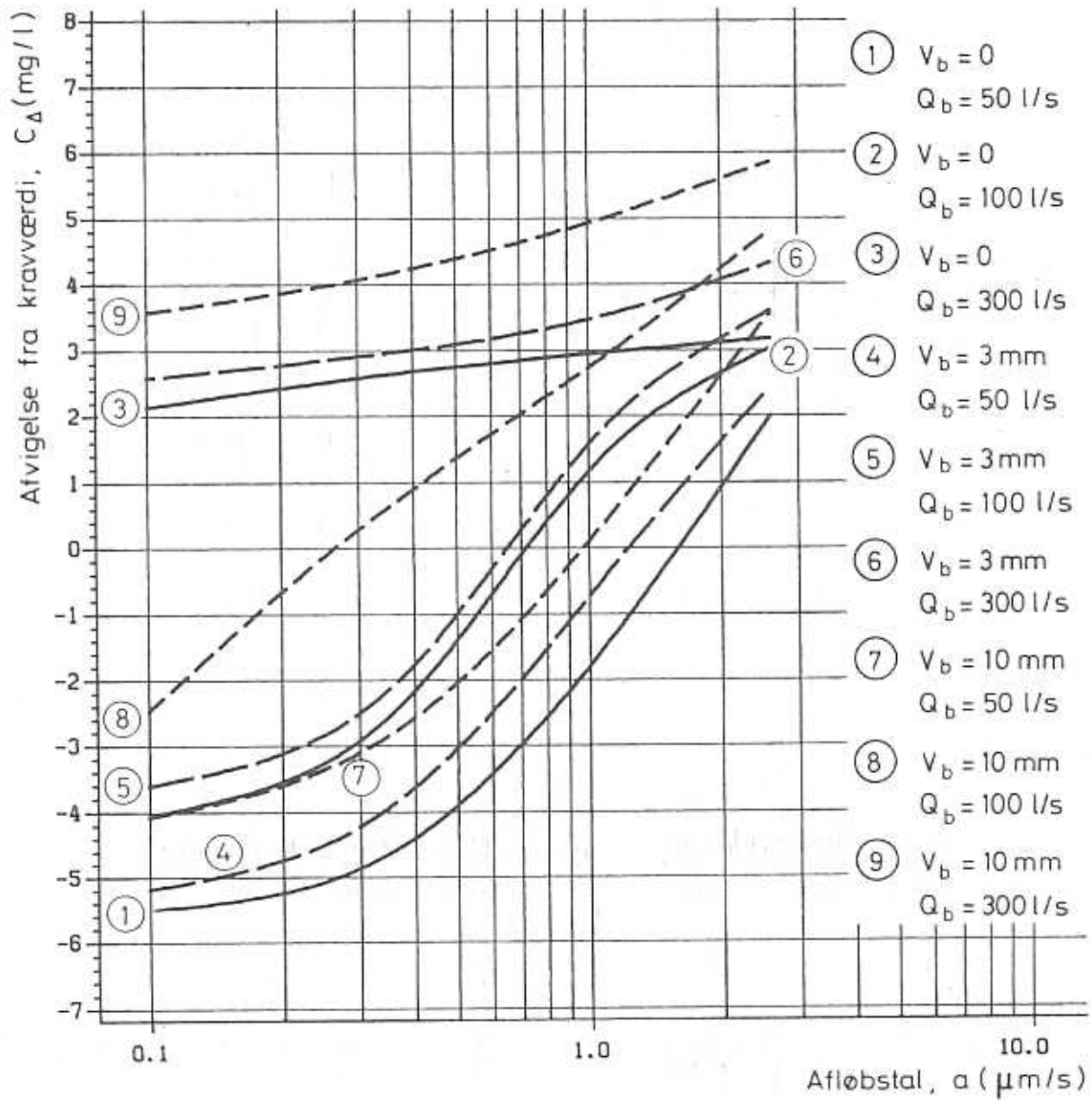
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0.04 \mu\text{m/s}$

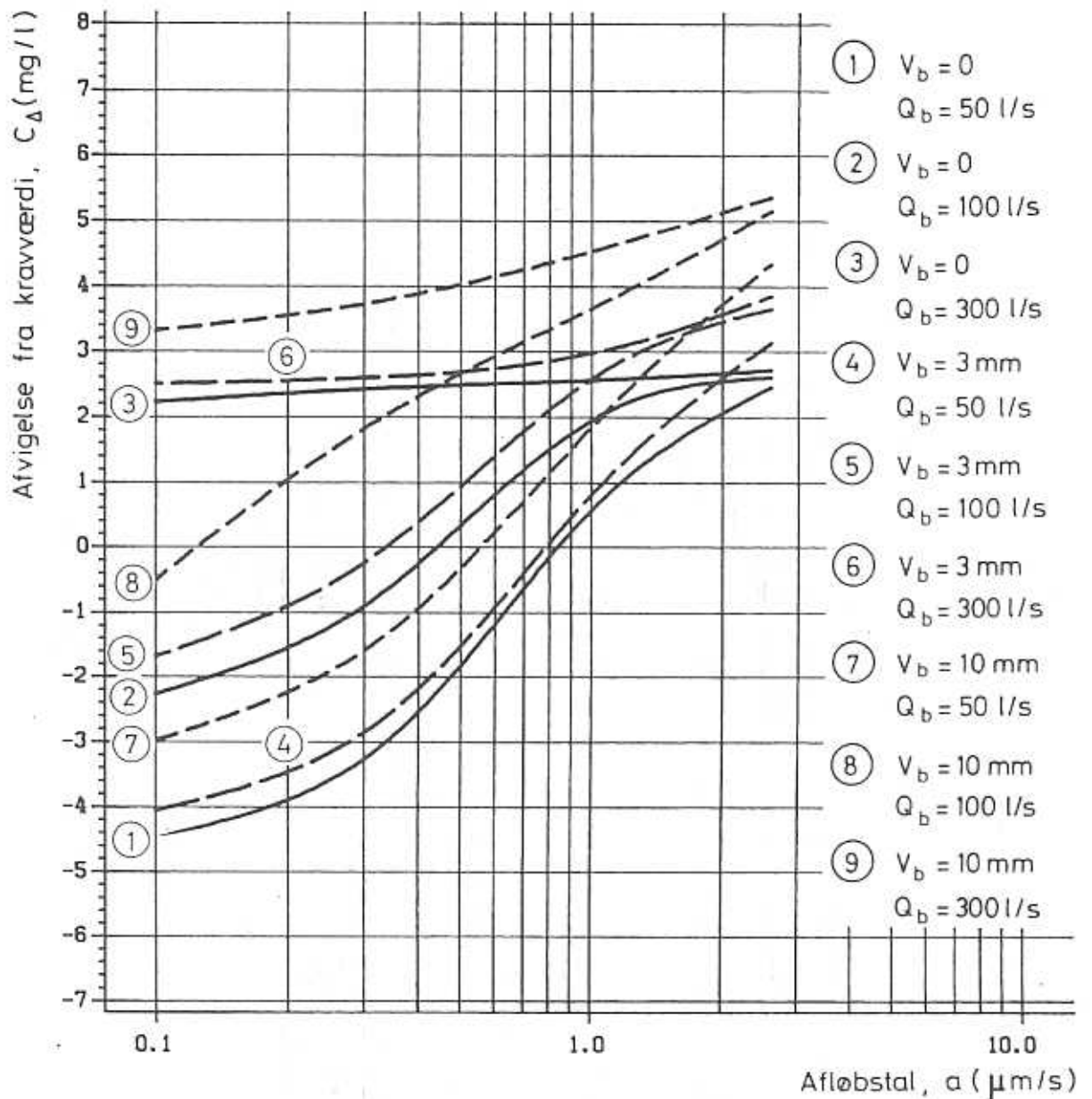
$F_{red} = 1 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

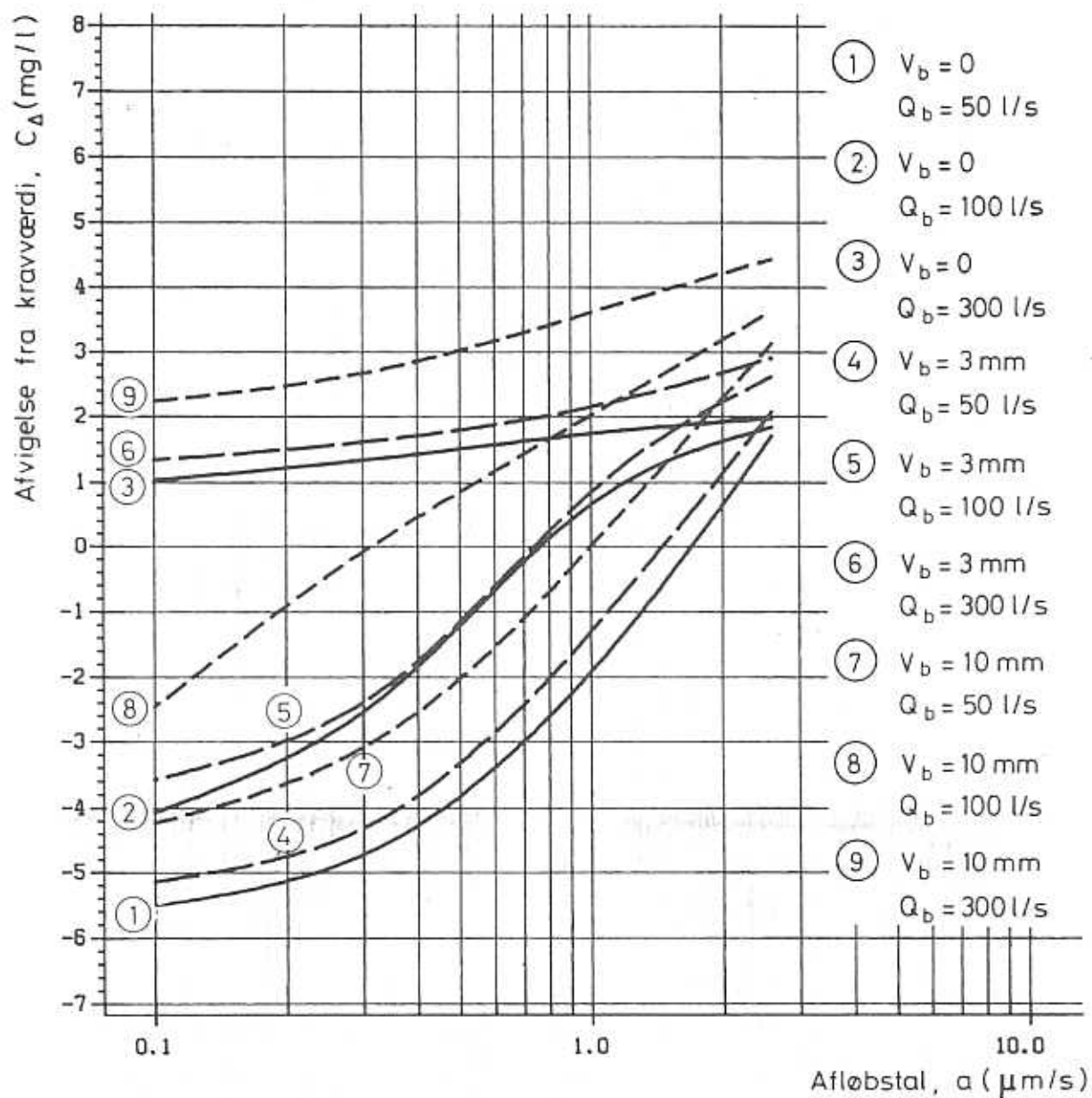
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,04 \mu\text{m/s}$

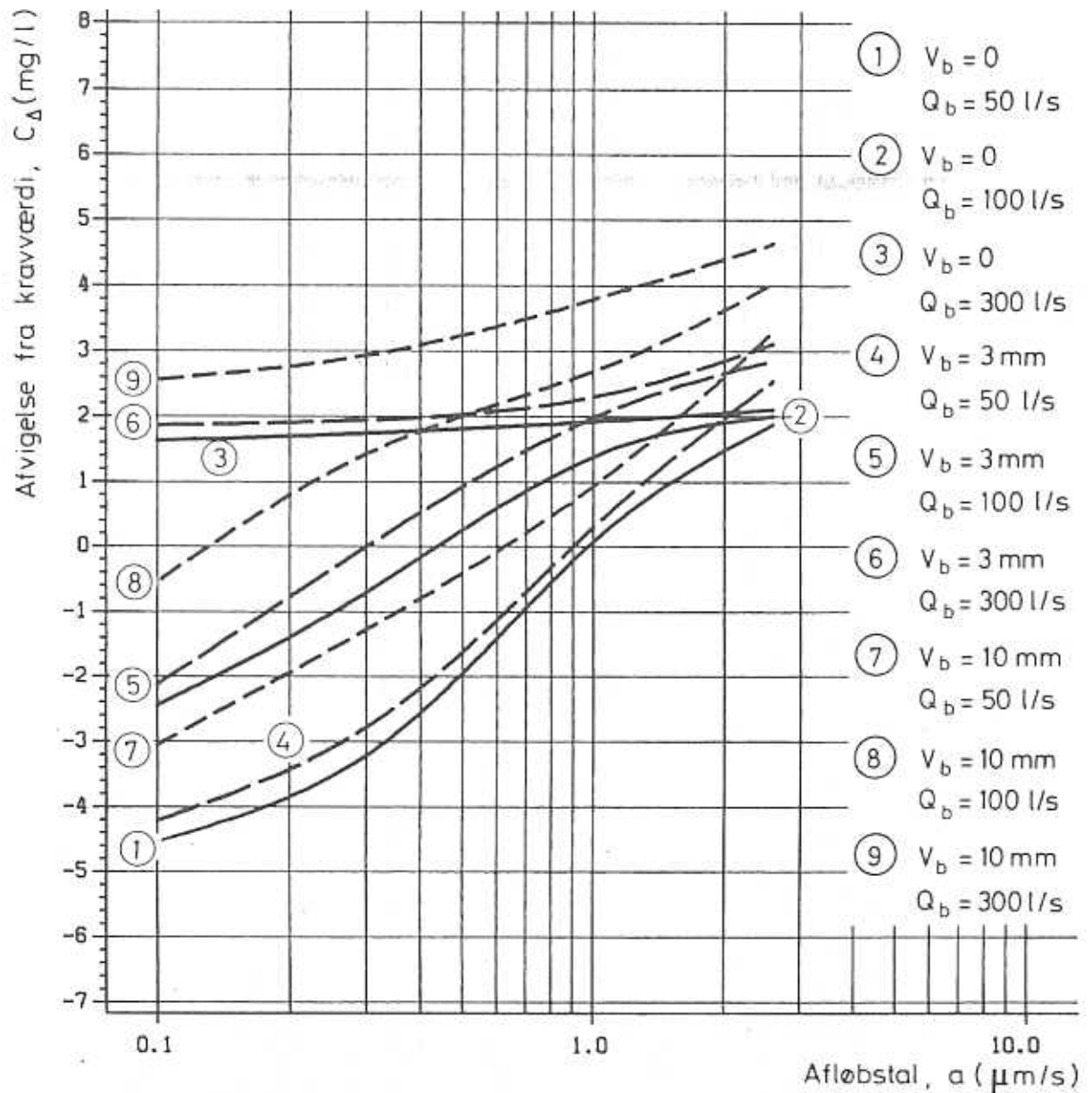
$F_{\text{red}} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

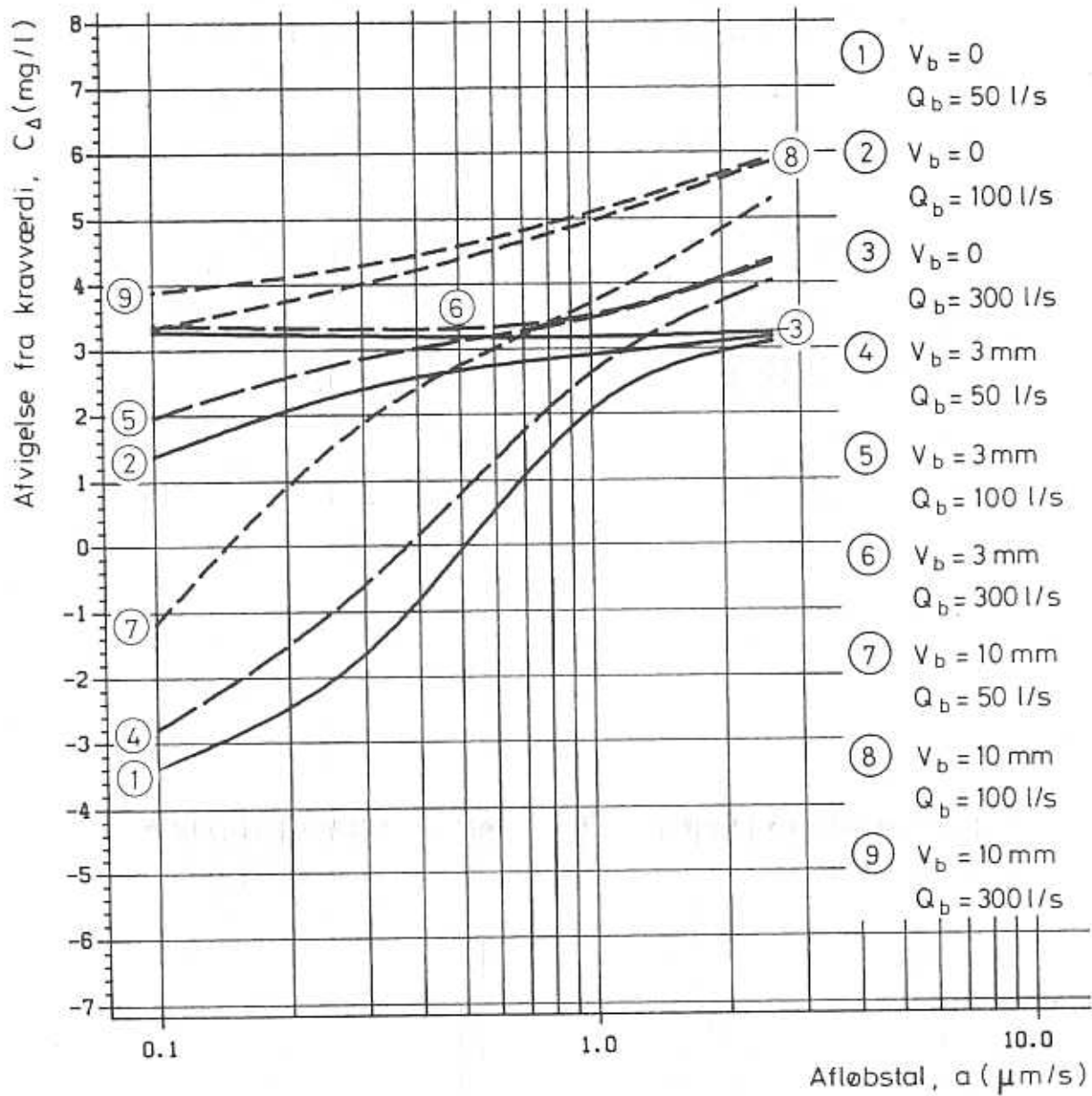
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0.04 \mu\text{m/s}$

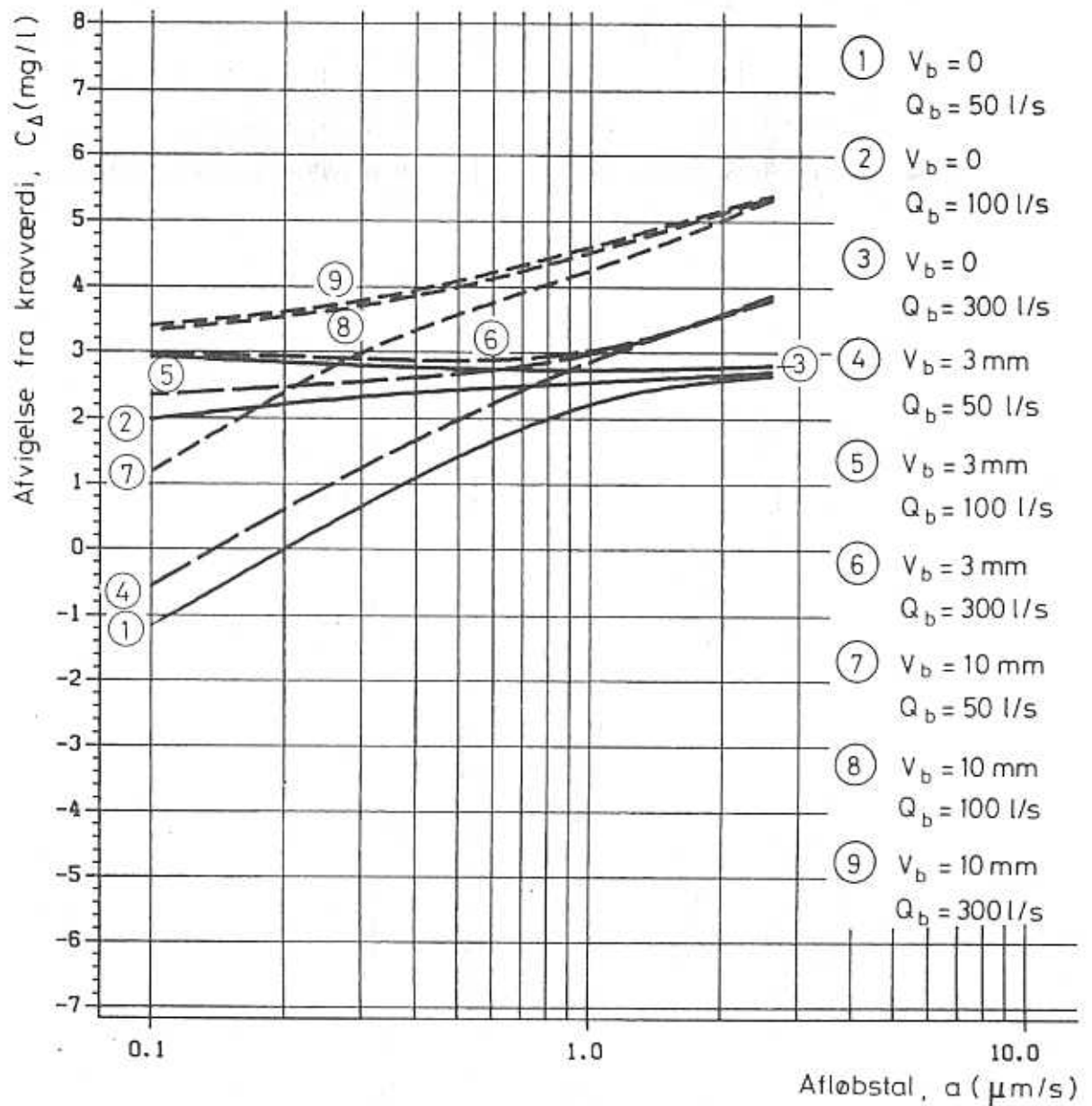
$F_{\text{red}} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

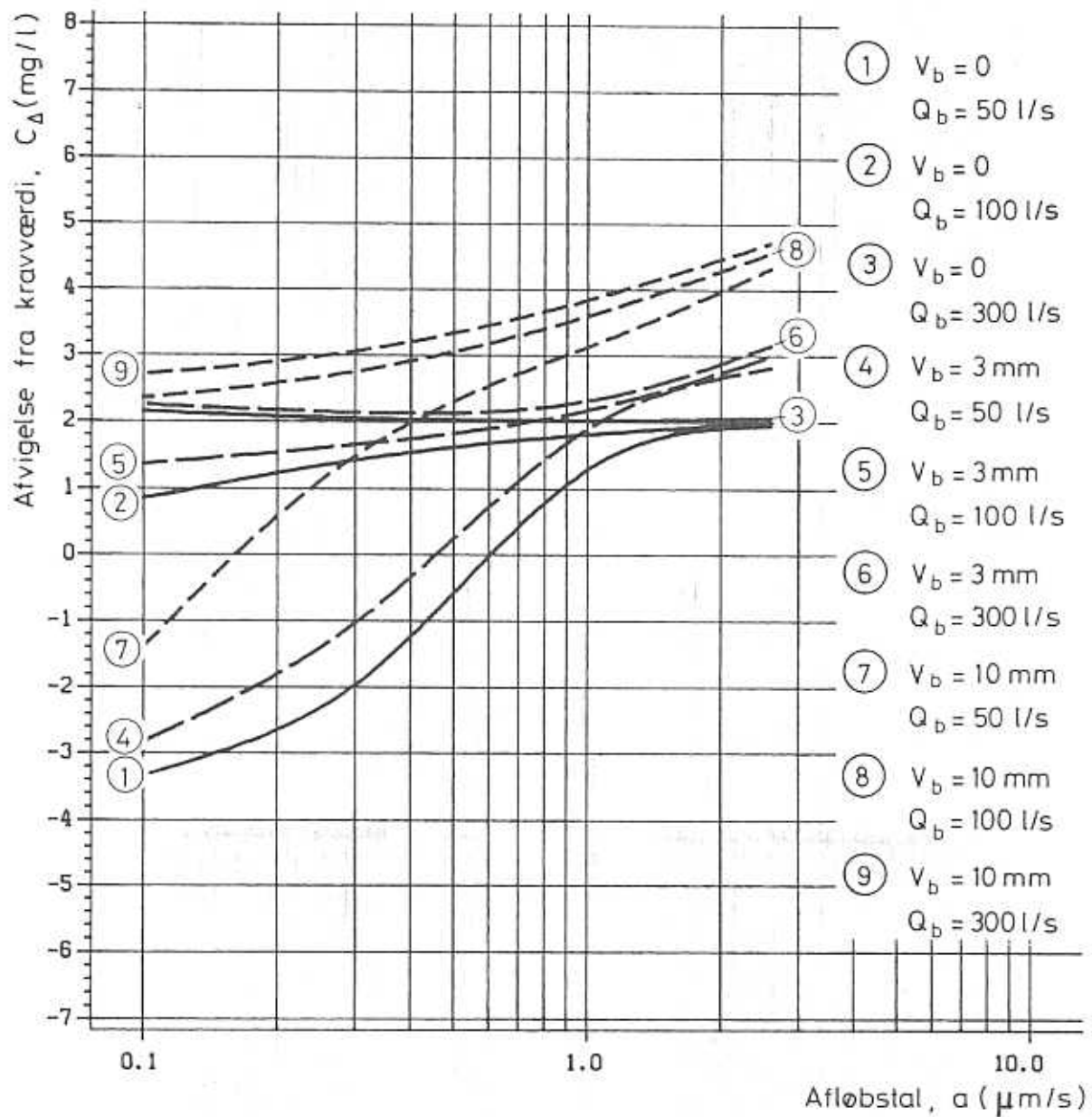
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \text{ } \mu\text{m/s}$

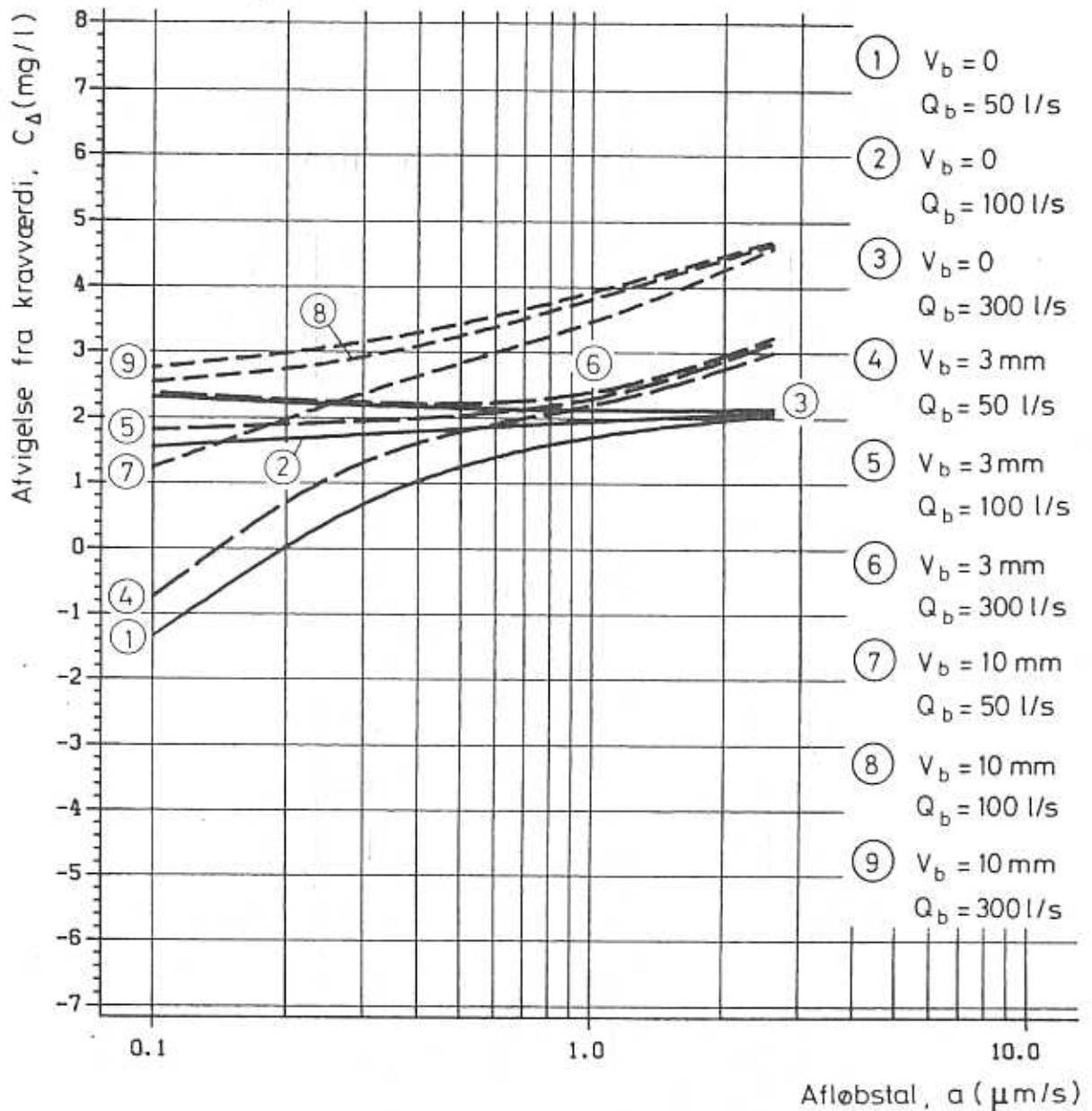
$F_{\text{red}} = 1 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

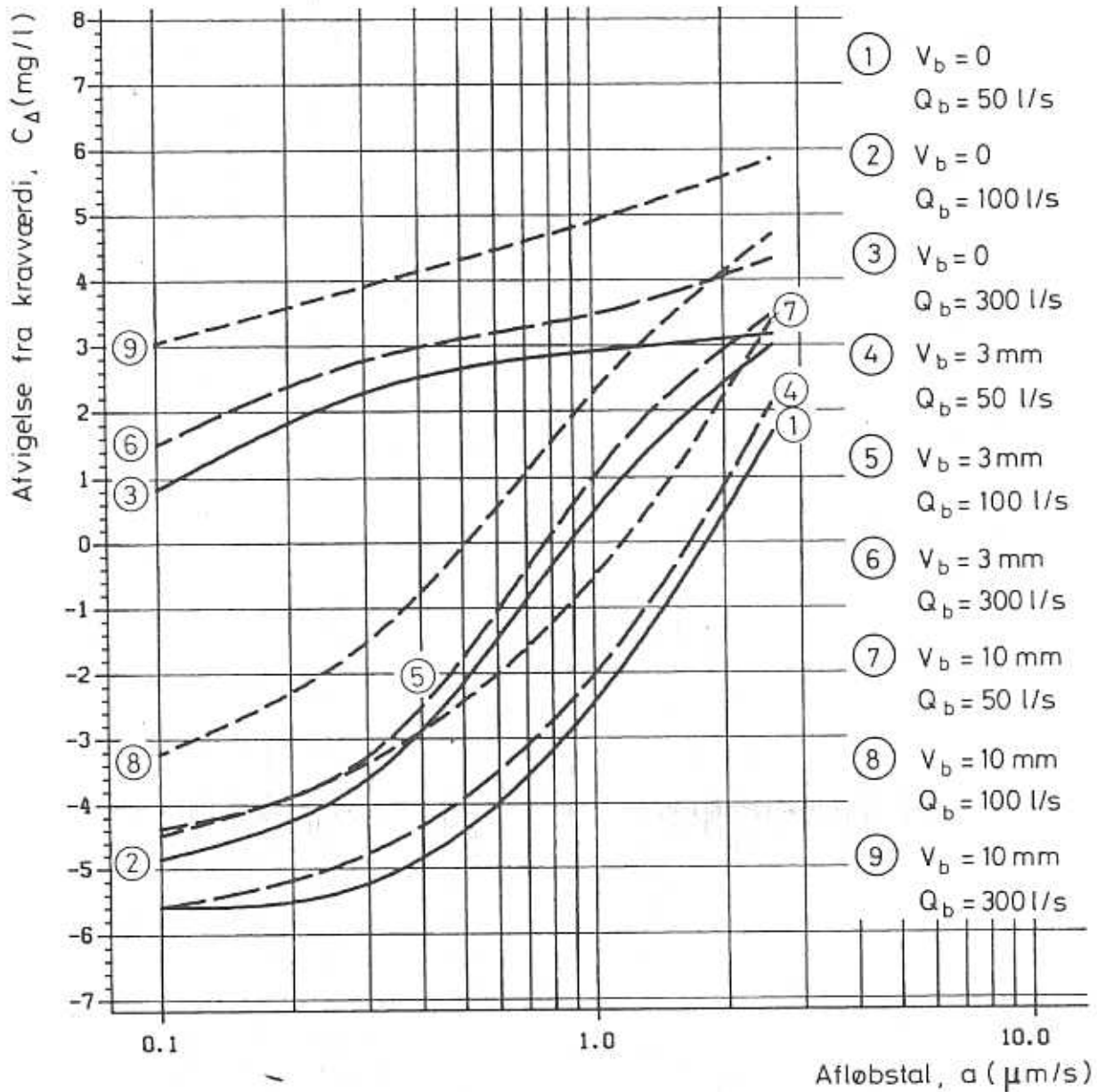
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \text{ } \mu\text{m/s}$

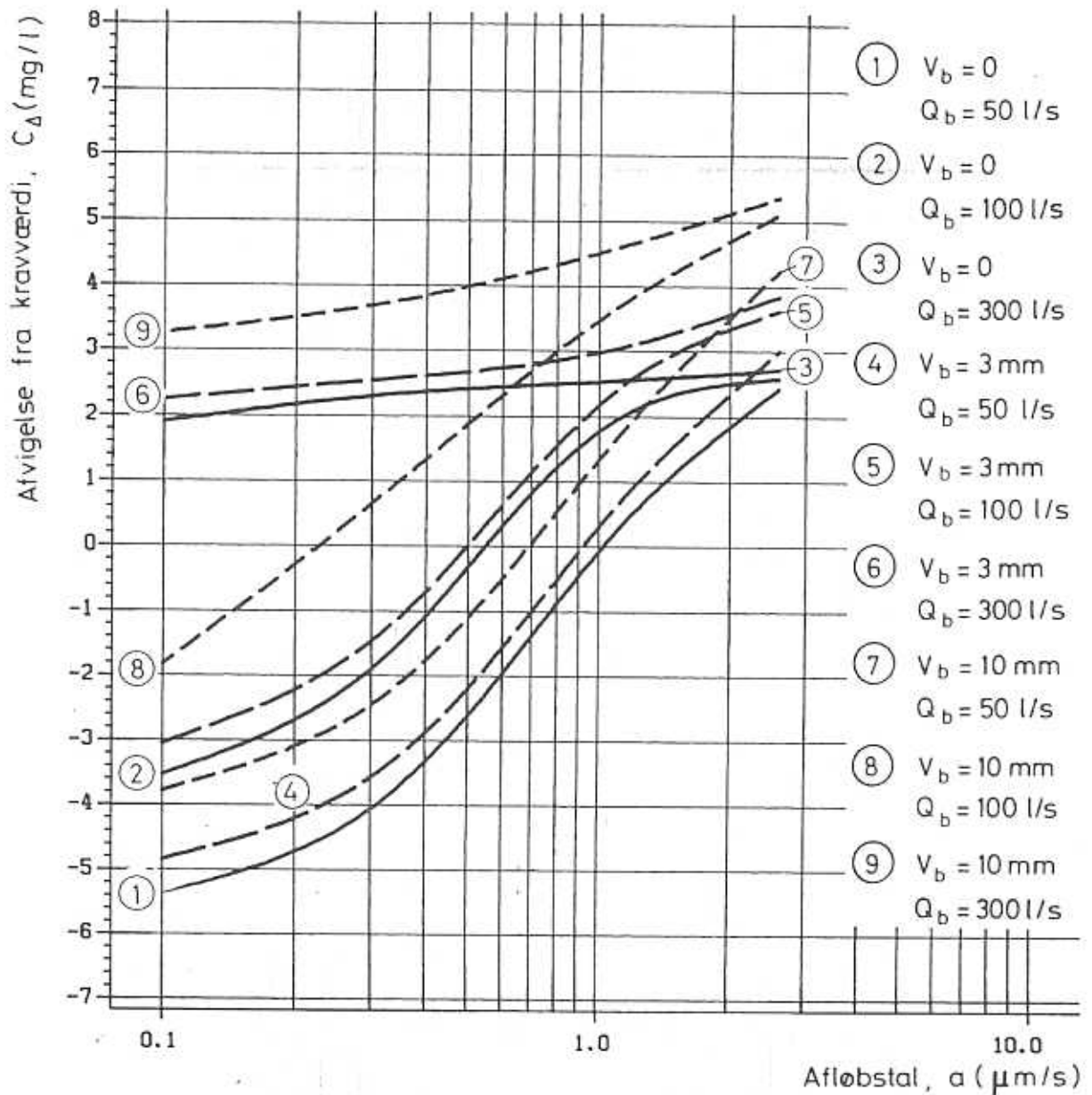
$F_{red} = 1 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

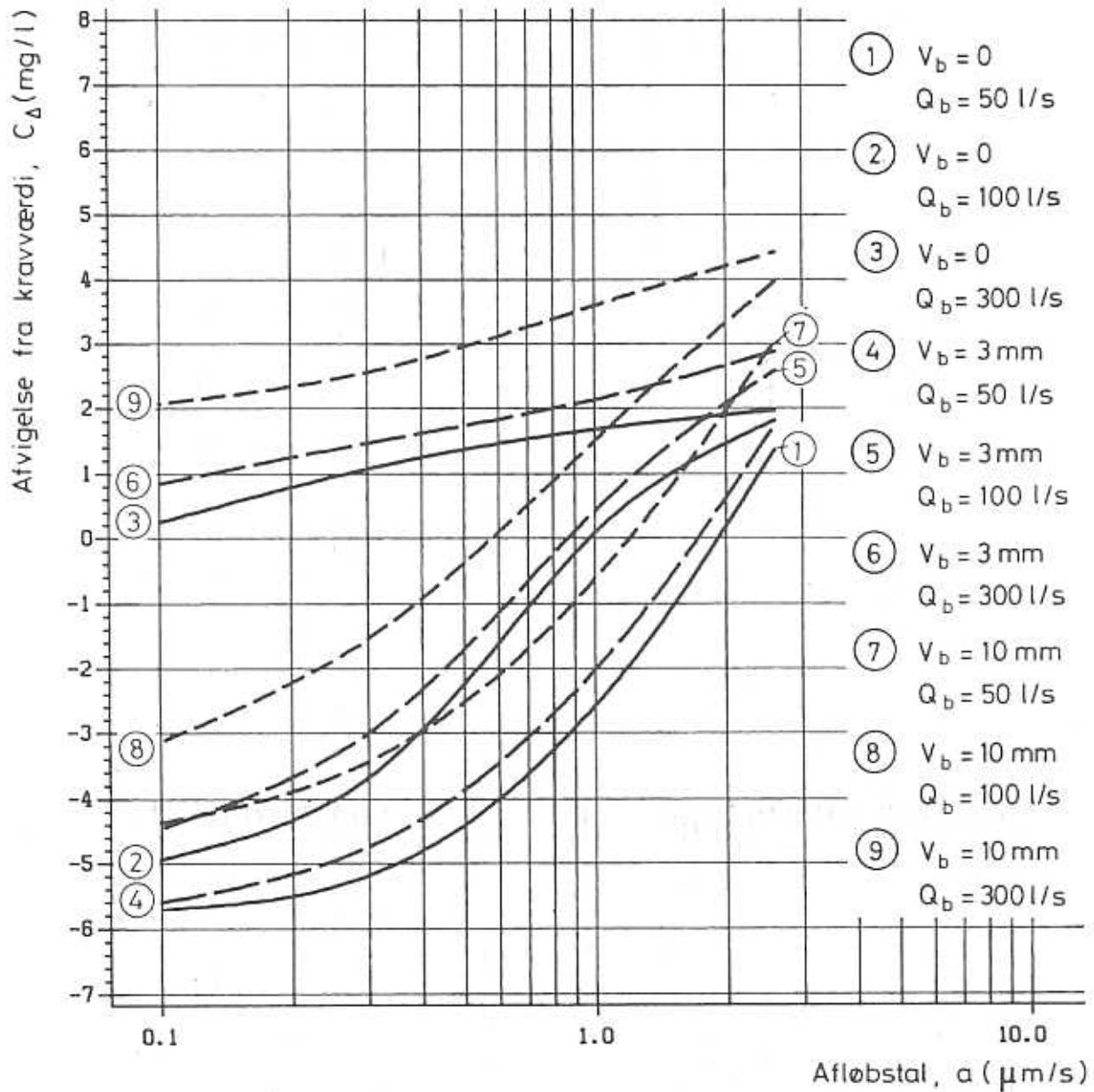
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \mu\text{m/s}$

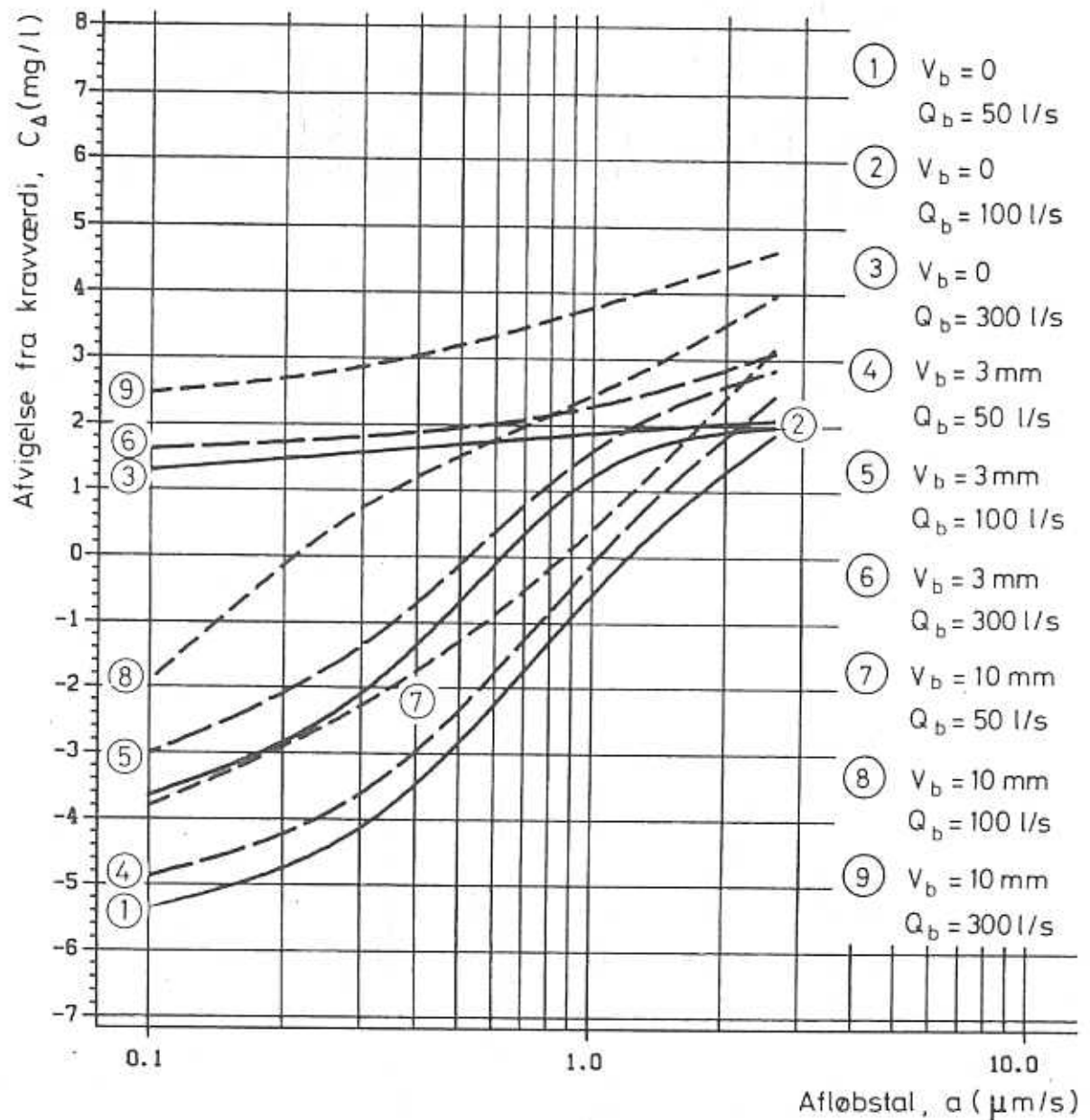
$F_{\text{red}} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

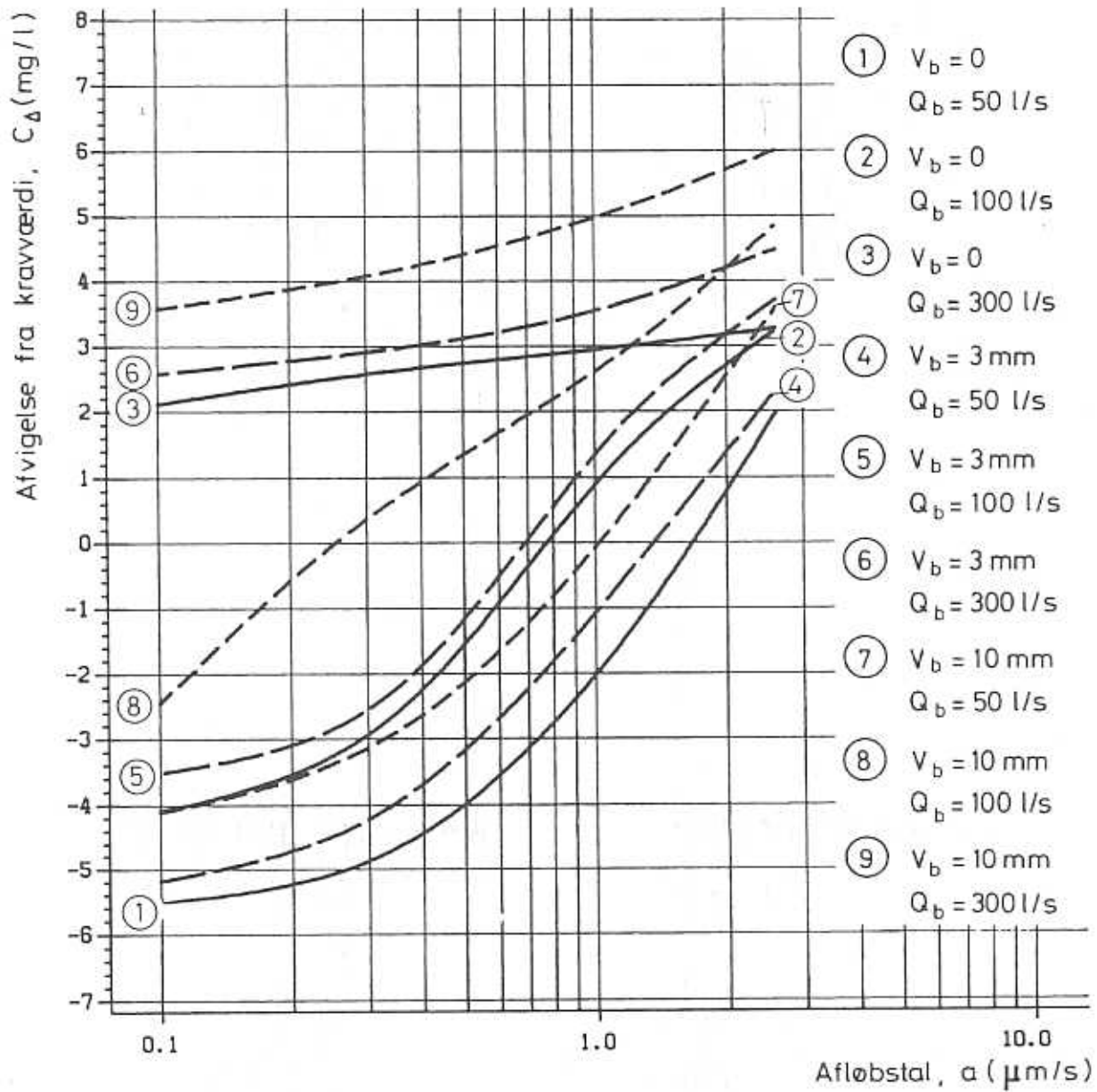
$t_f = 5 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \text{ } \mu\text{m/s}$

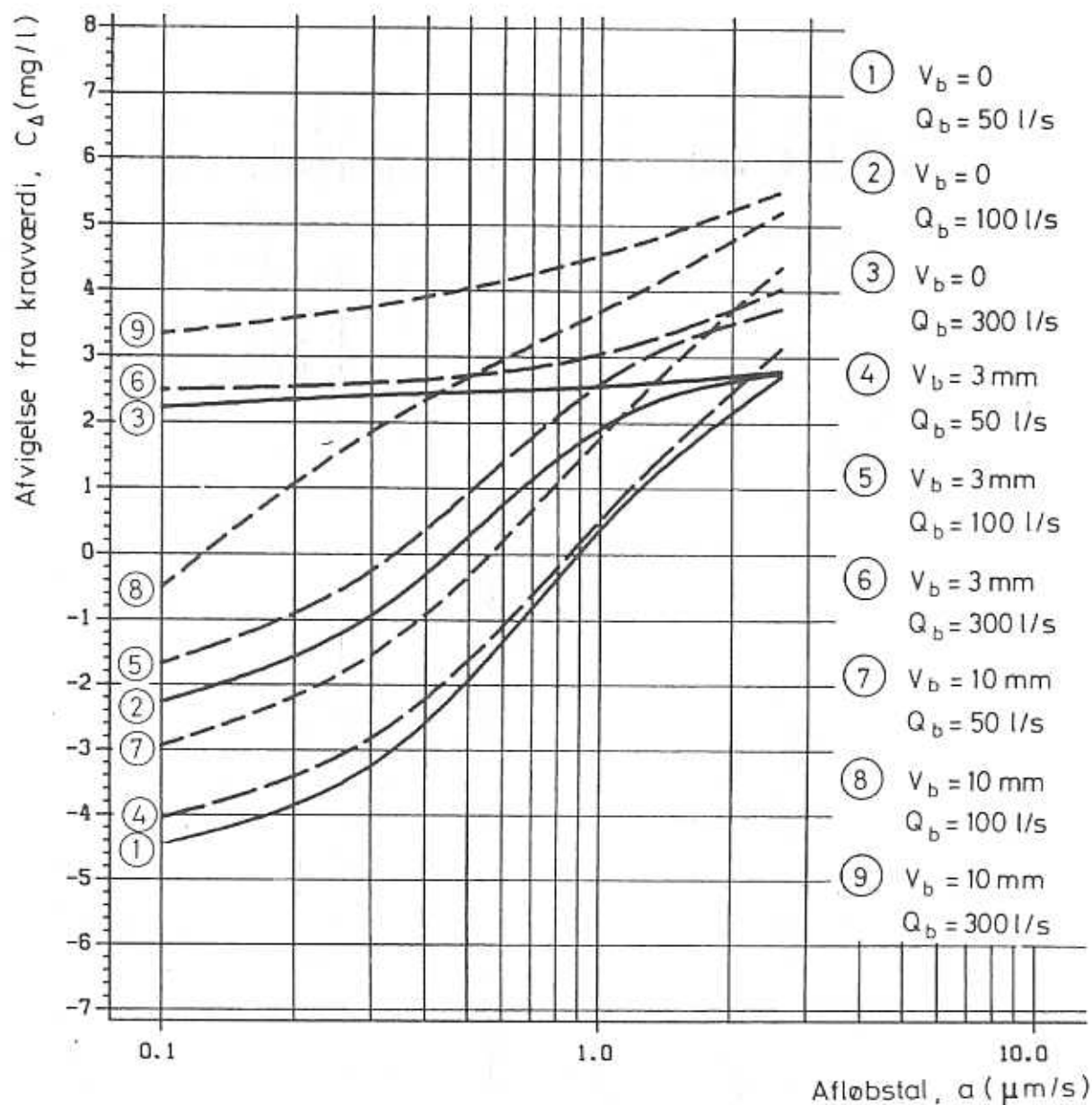
$F_{red} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

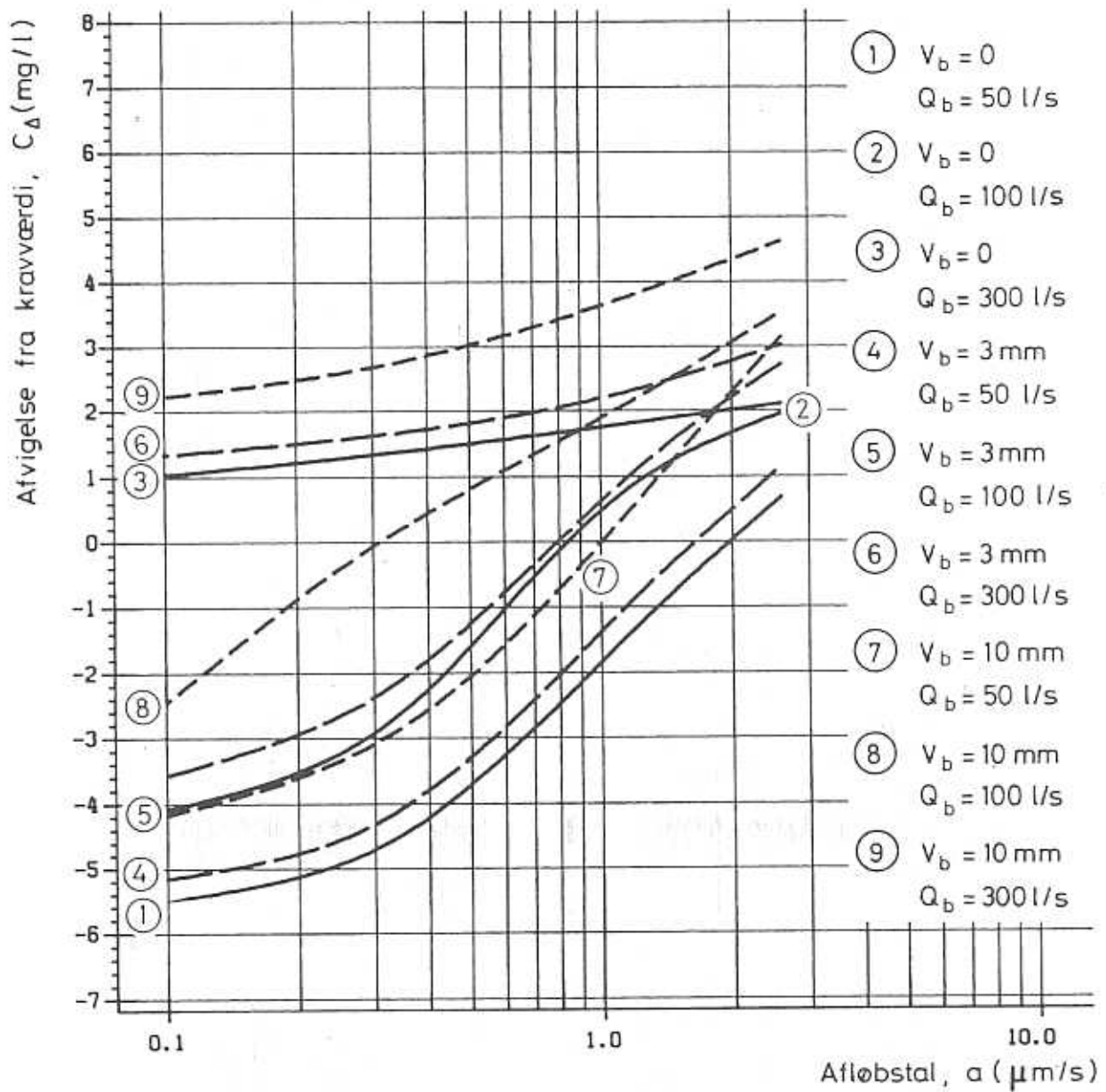
$t_f = 10 \text{ min.}$

$q_s = 0.04 \mu\text{m/s}$

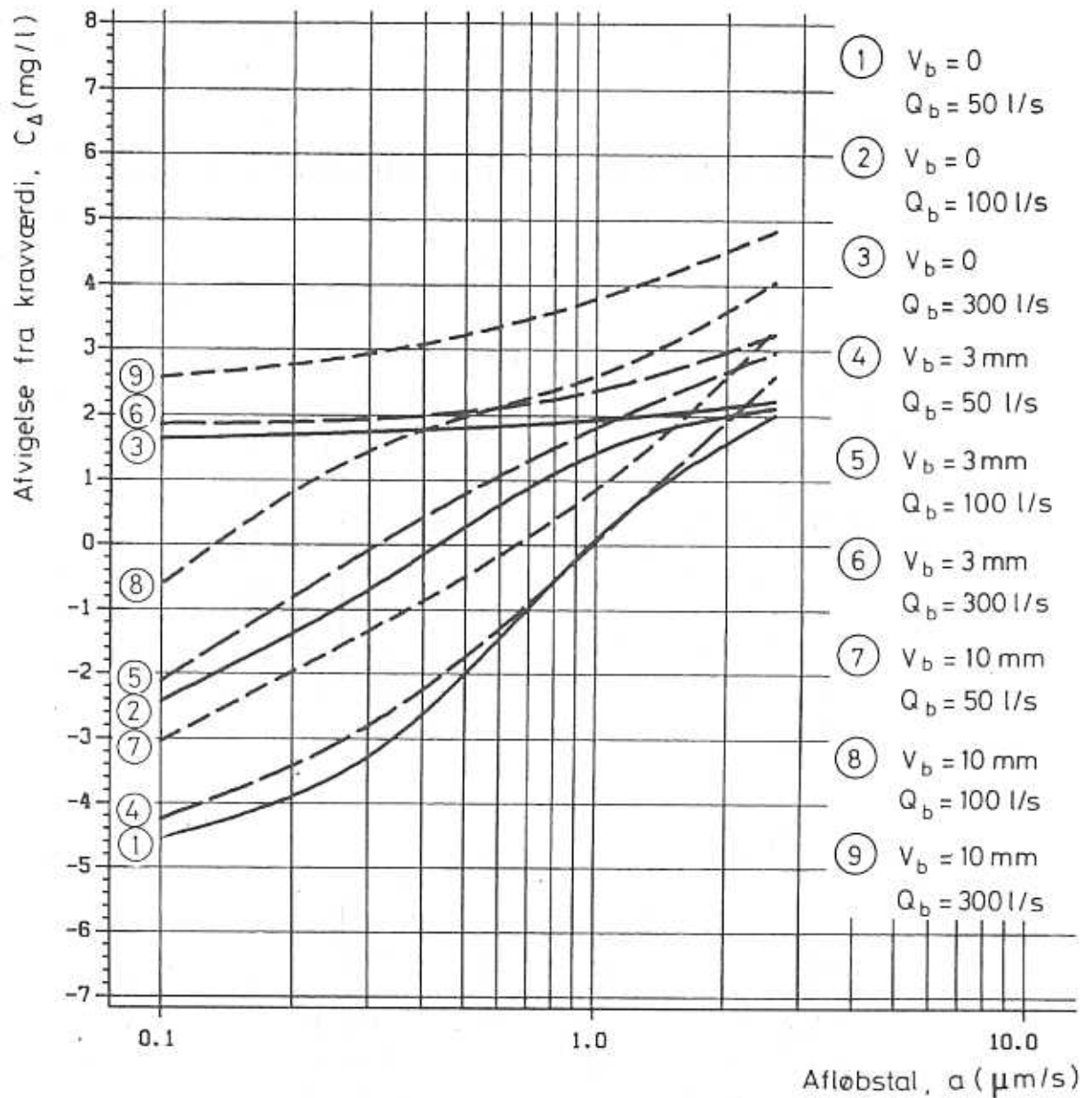
$F_{\text{red}} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

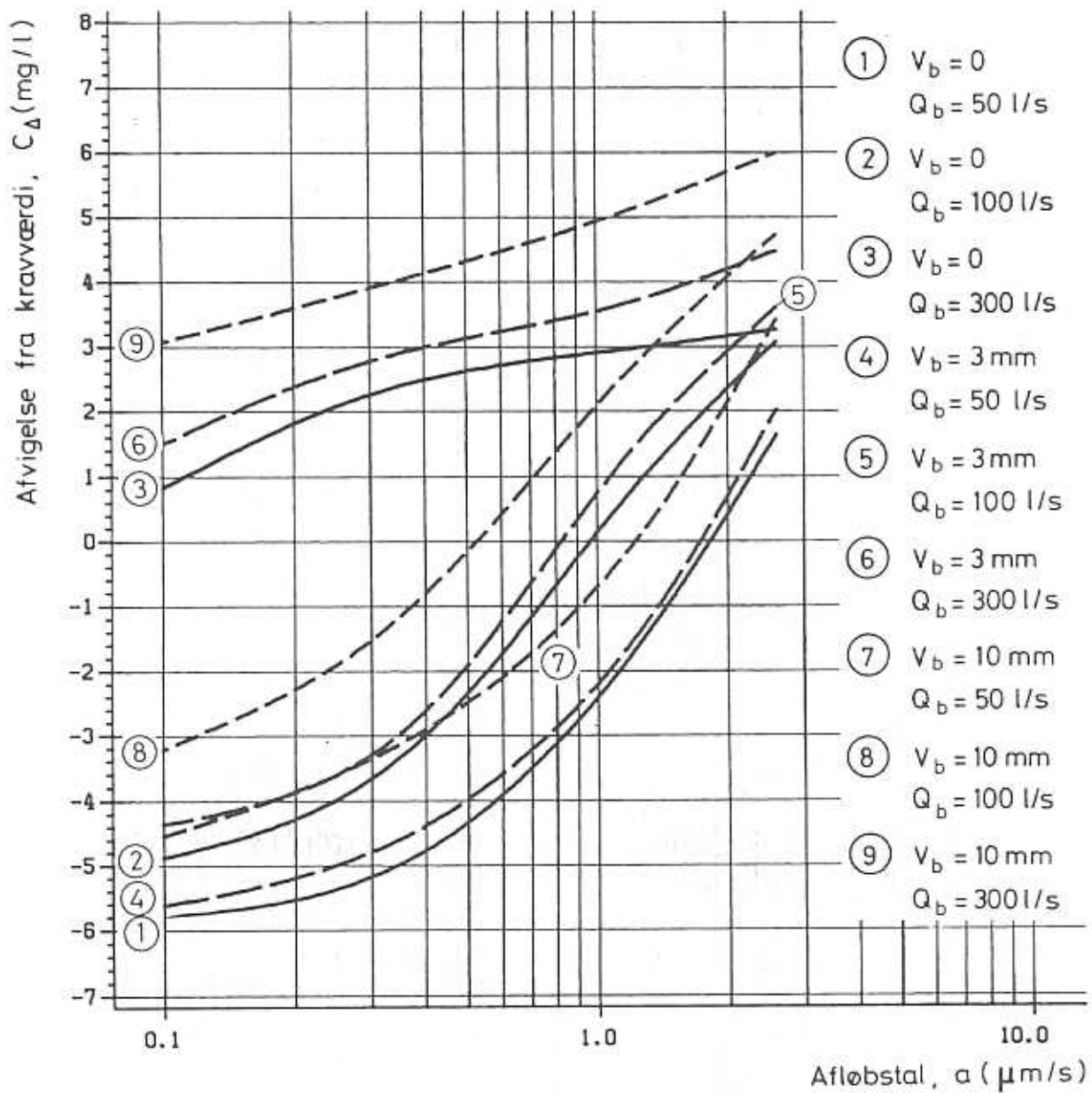
$t_f = 10 \text{ min.}$

$q_s = 0.04 \mu\text{m/s}$

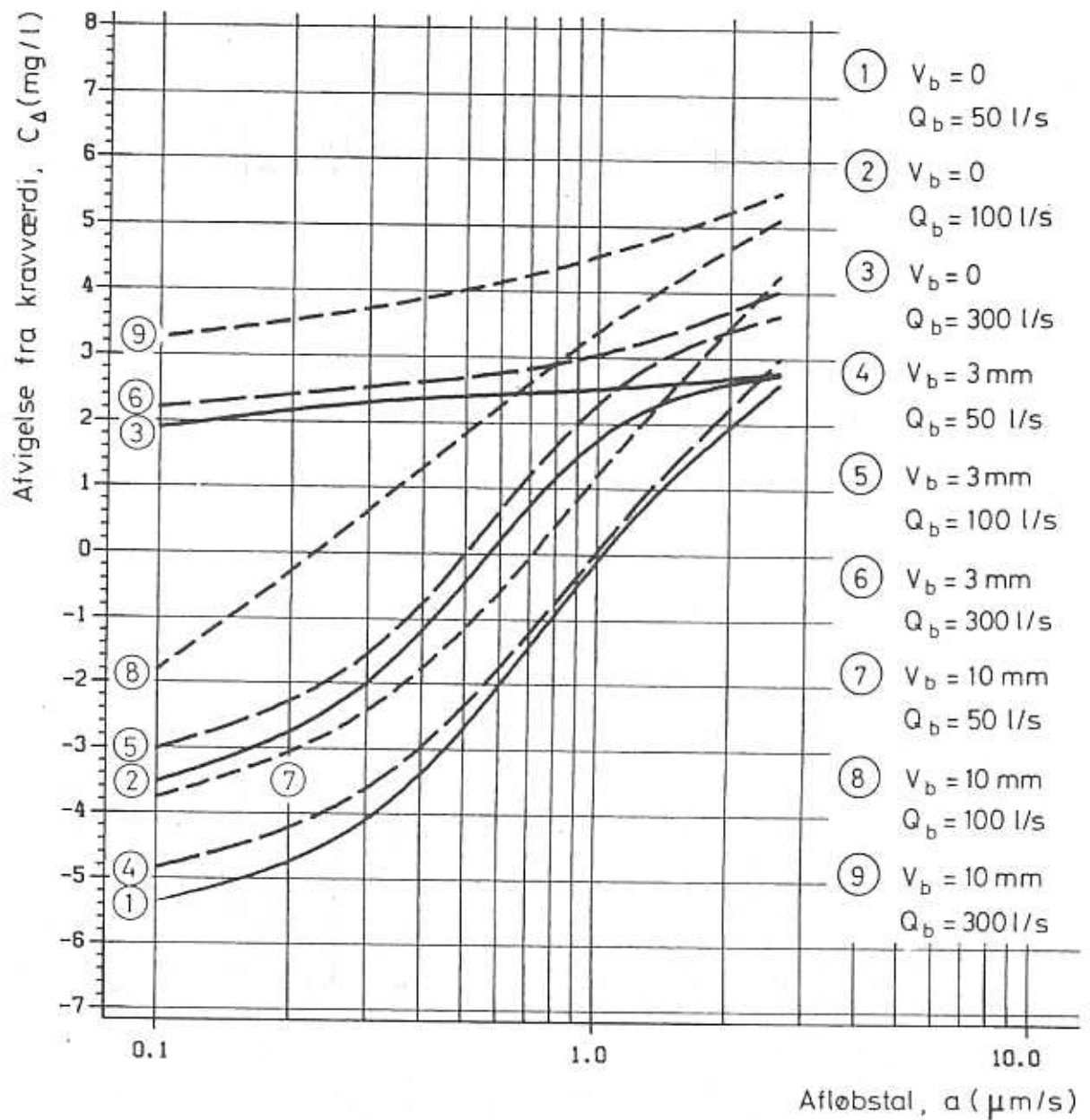
$F_{\text{red}} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME .



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

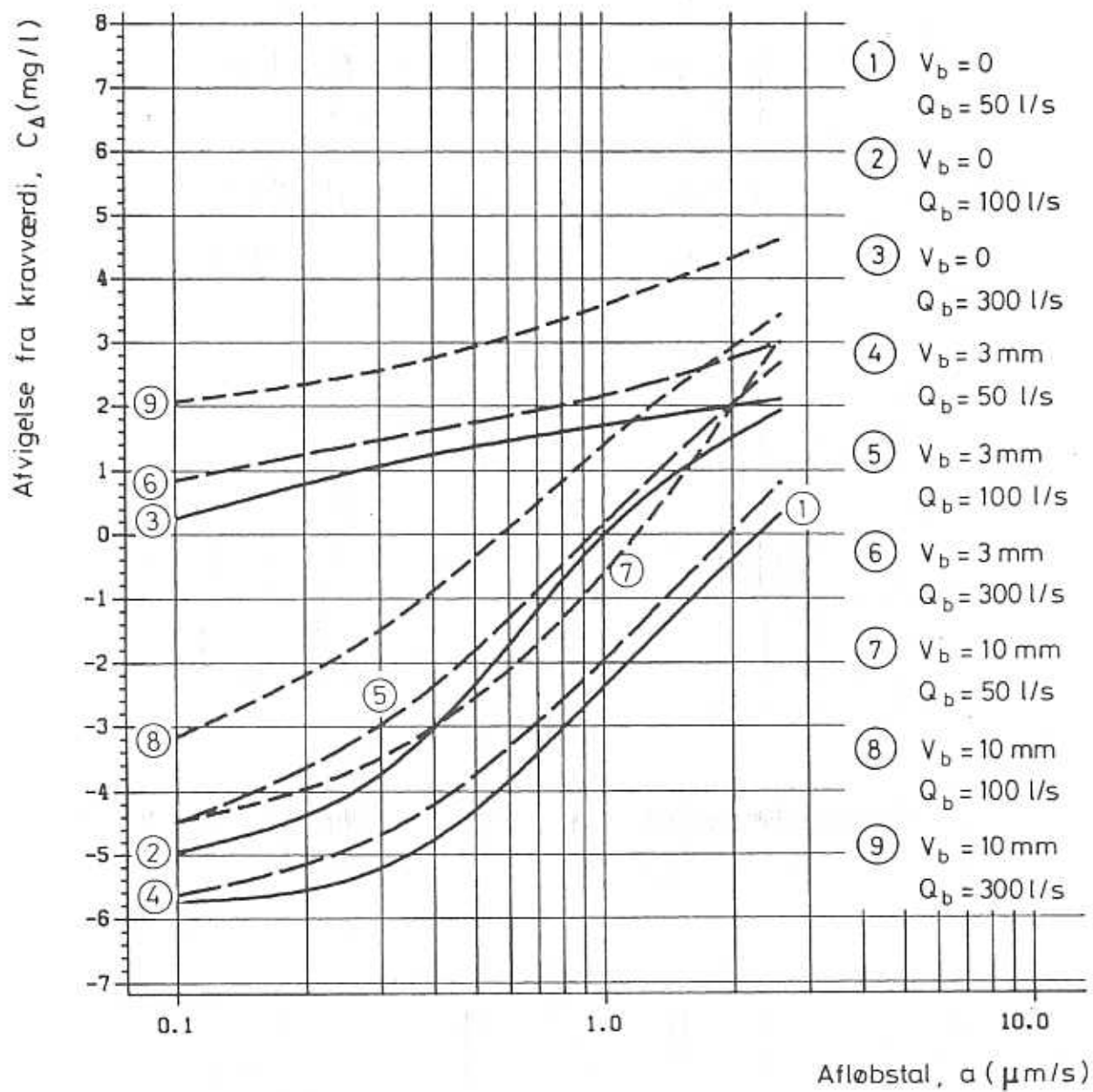
$t_f = 10 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \mu\text{m/s}$

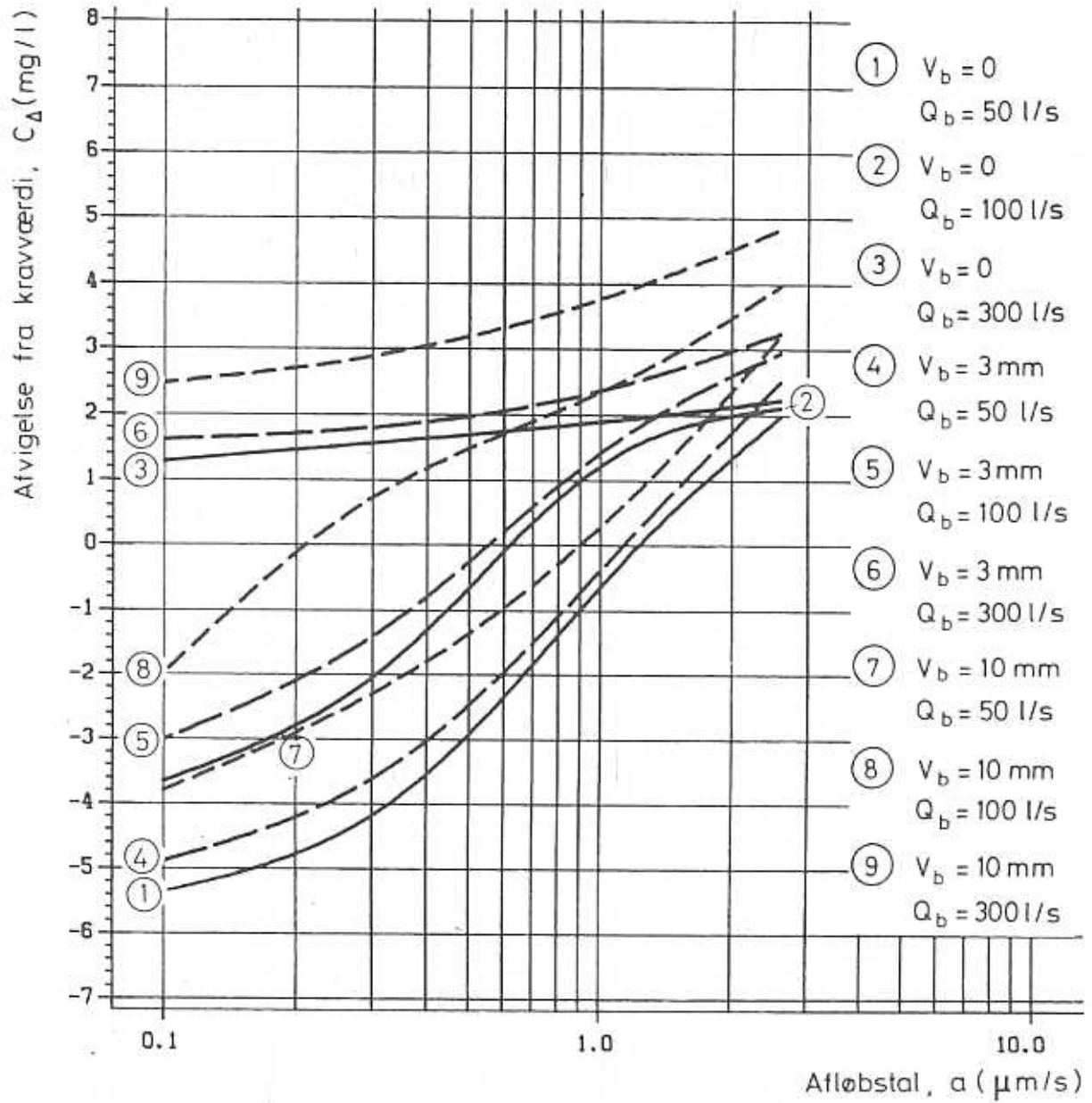
$F_{red} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

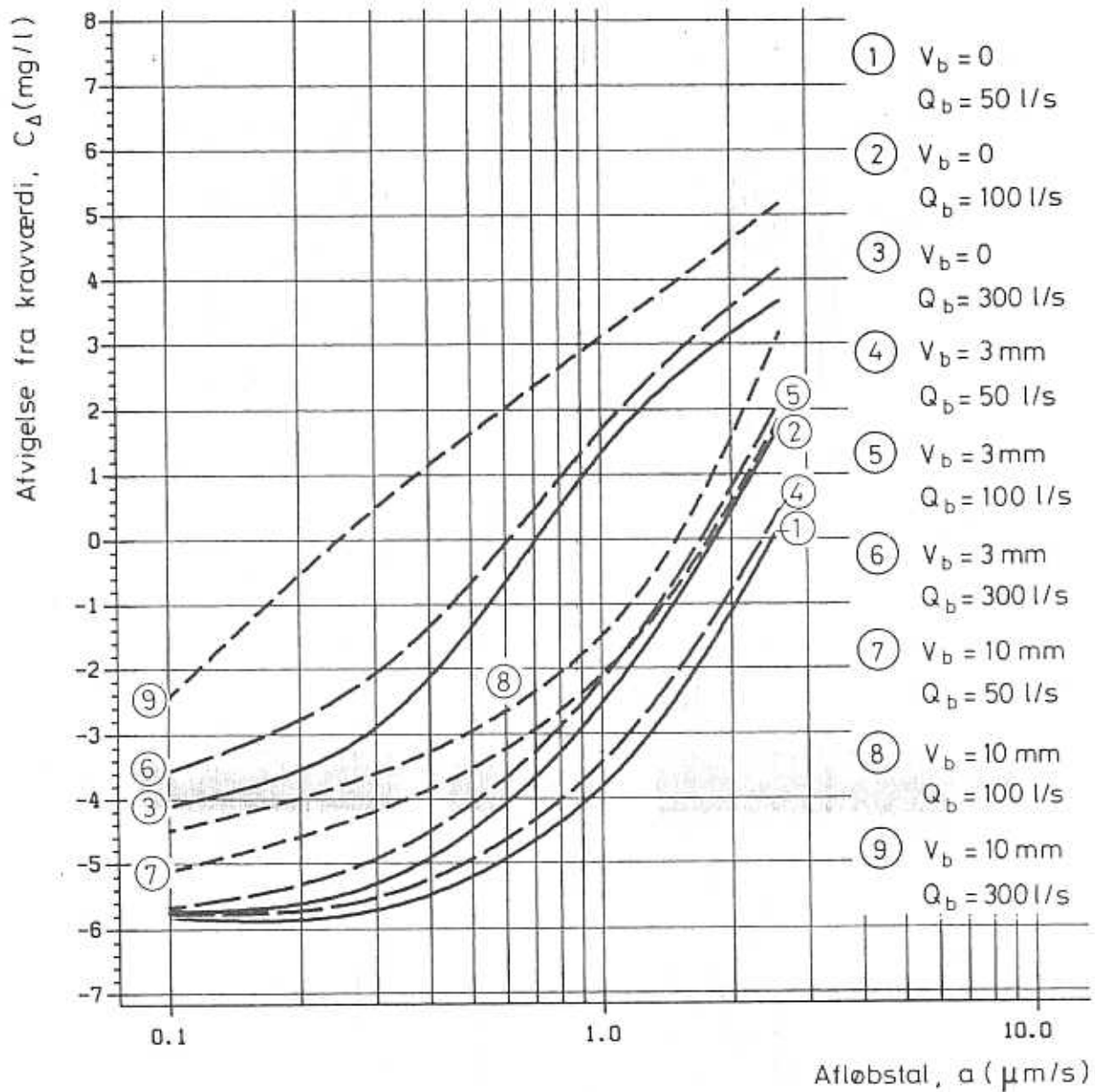
$t_f = 10 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \mu\text{m/s}$

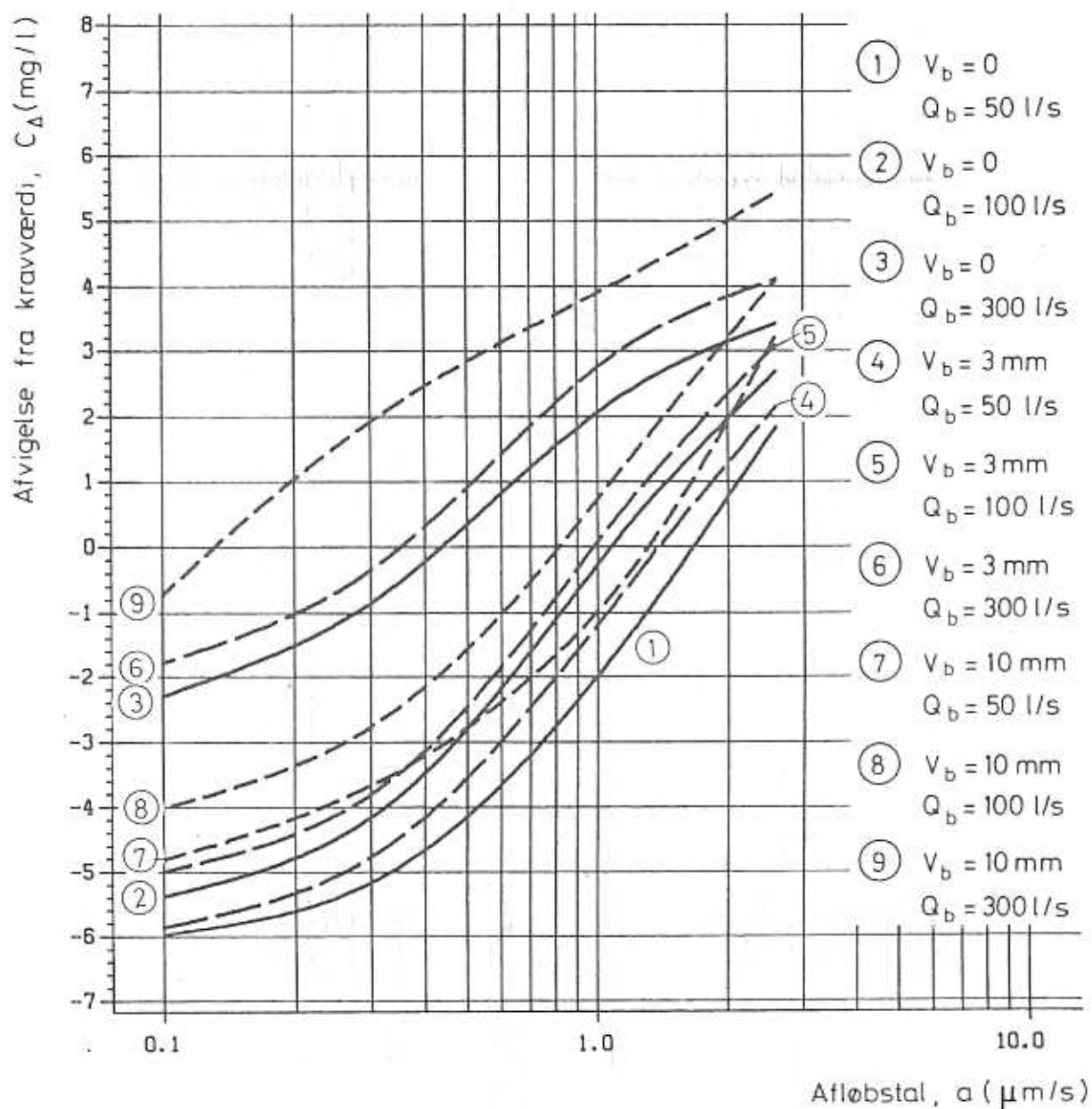
$F_{red} = 5 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

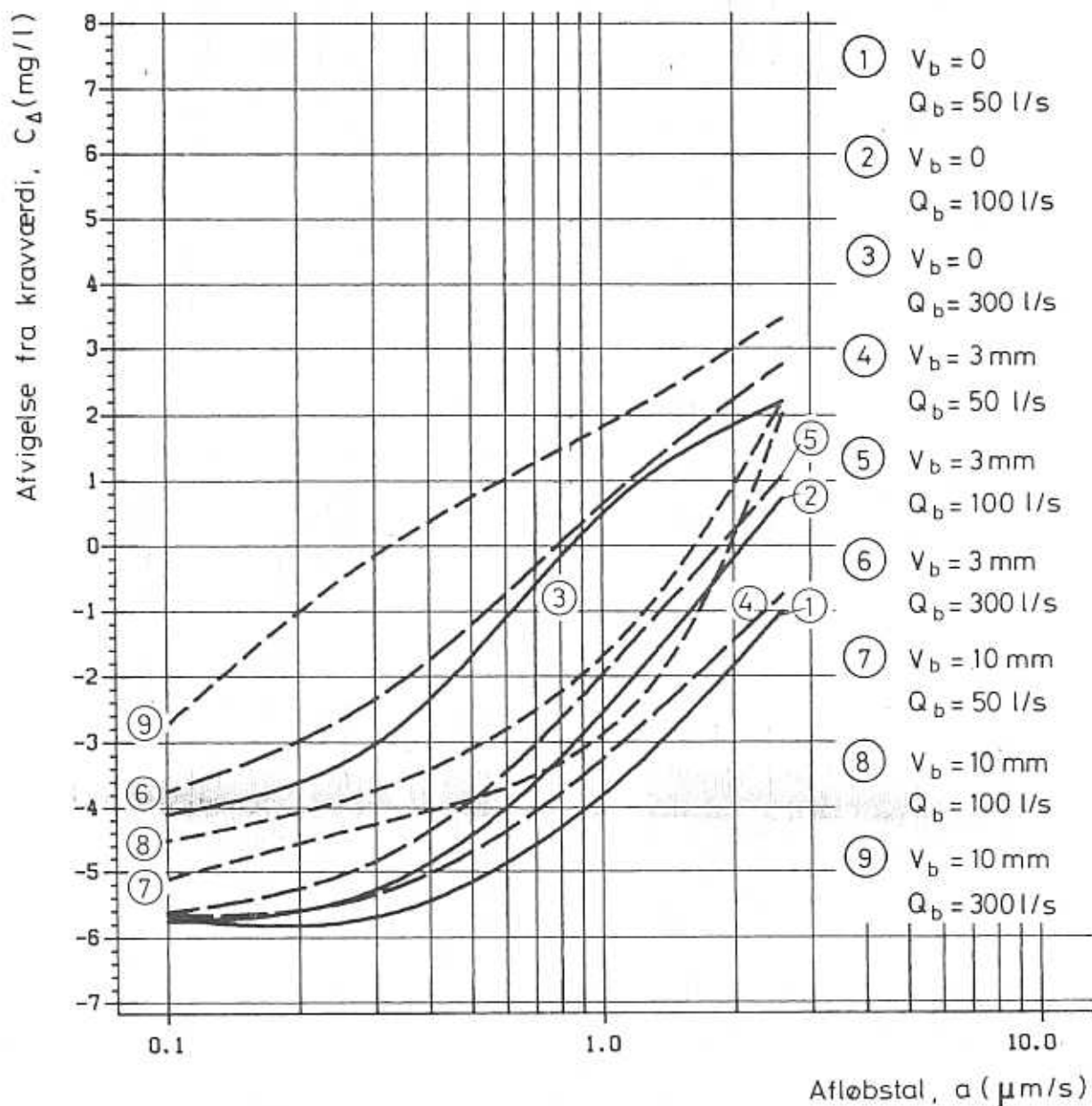
$t_f = 30 \text{ min}$

$q_s = 0,04$

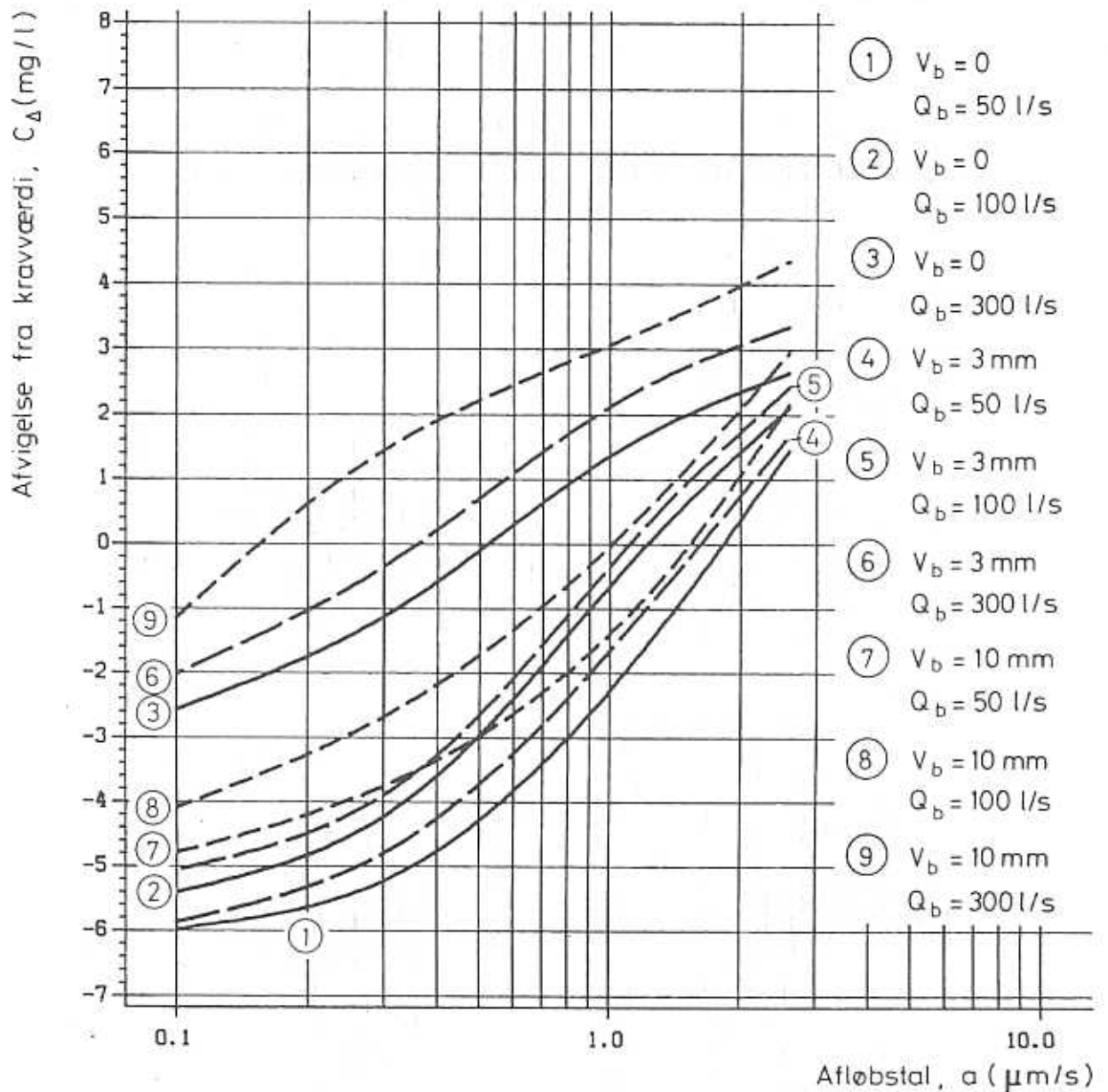
$F_{red} = 25 \text{ ha}$

$\Delta C = 0 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

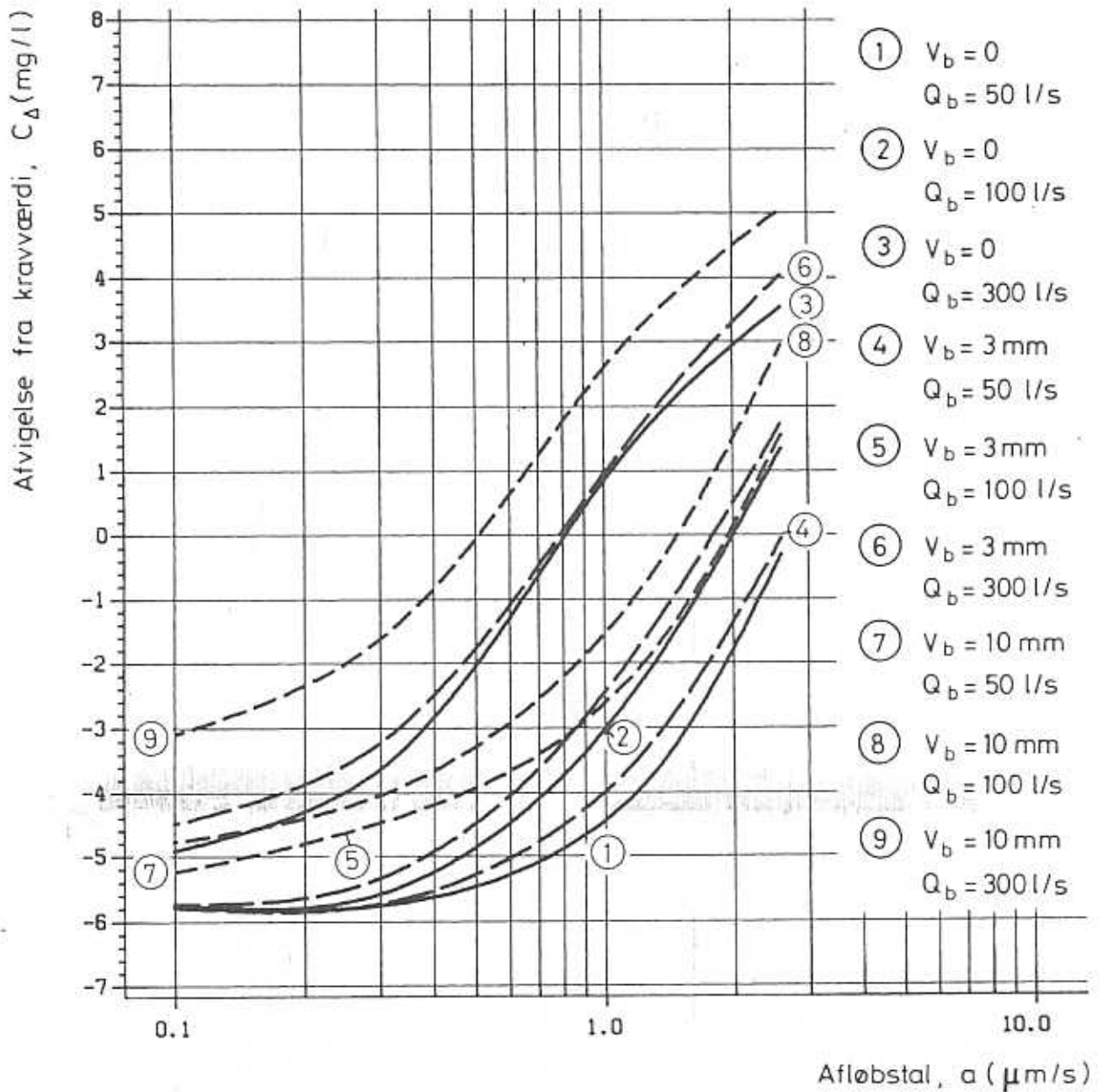
$t_f = 30 \text{ min.}$

$q_s = 0,04 \mu\text{m/s}$

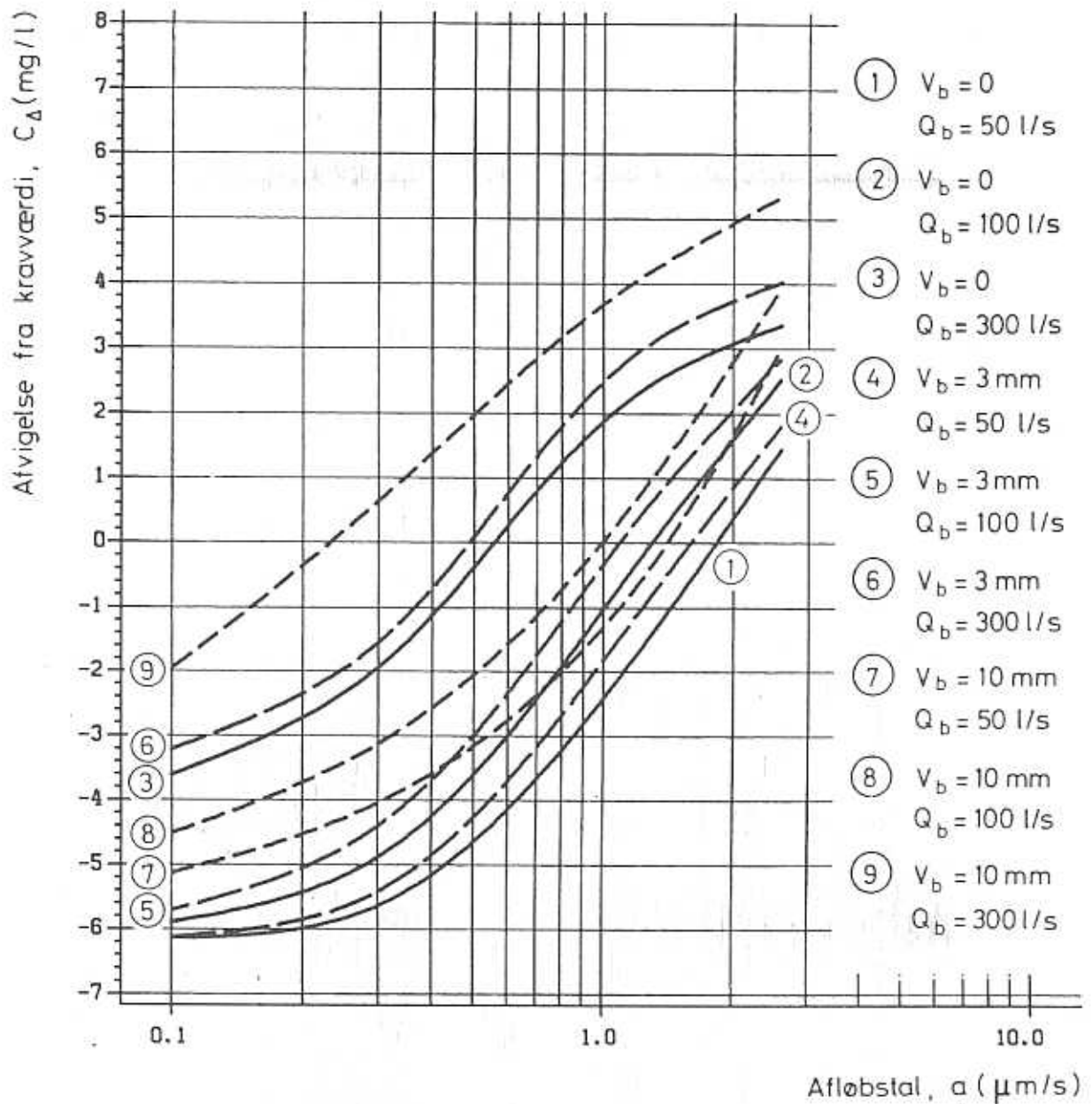
$F_{\text{red}} = 25 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

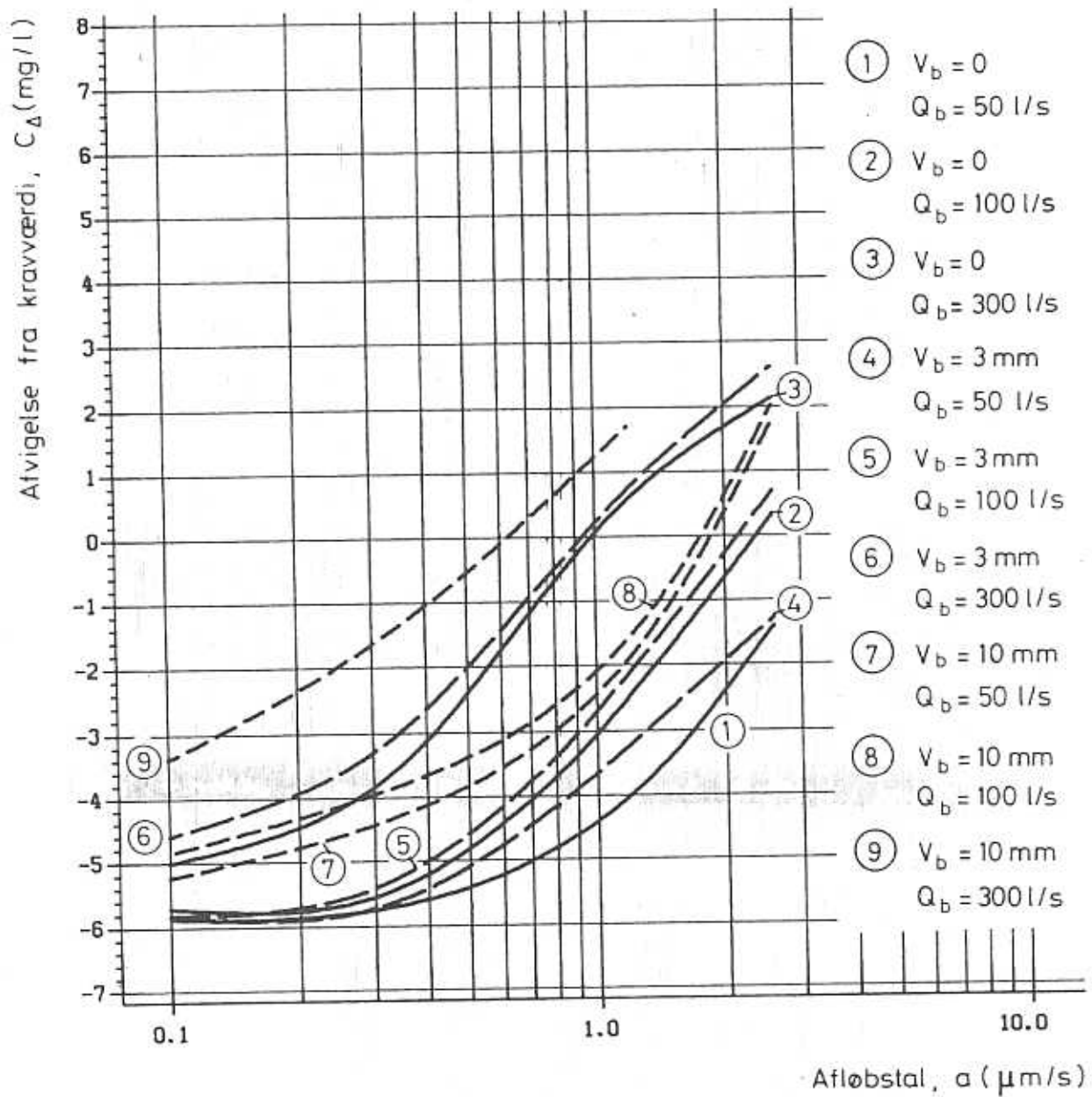
$t_f = 30$ min.

$q_s = 0,2$ $\mu\text{m/s}$

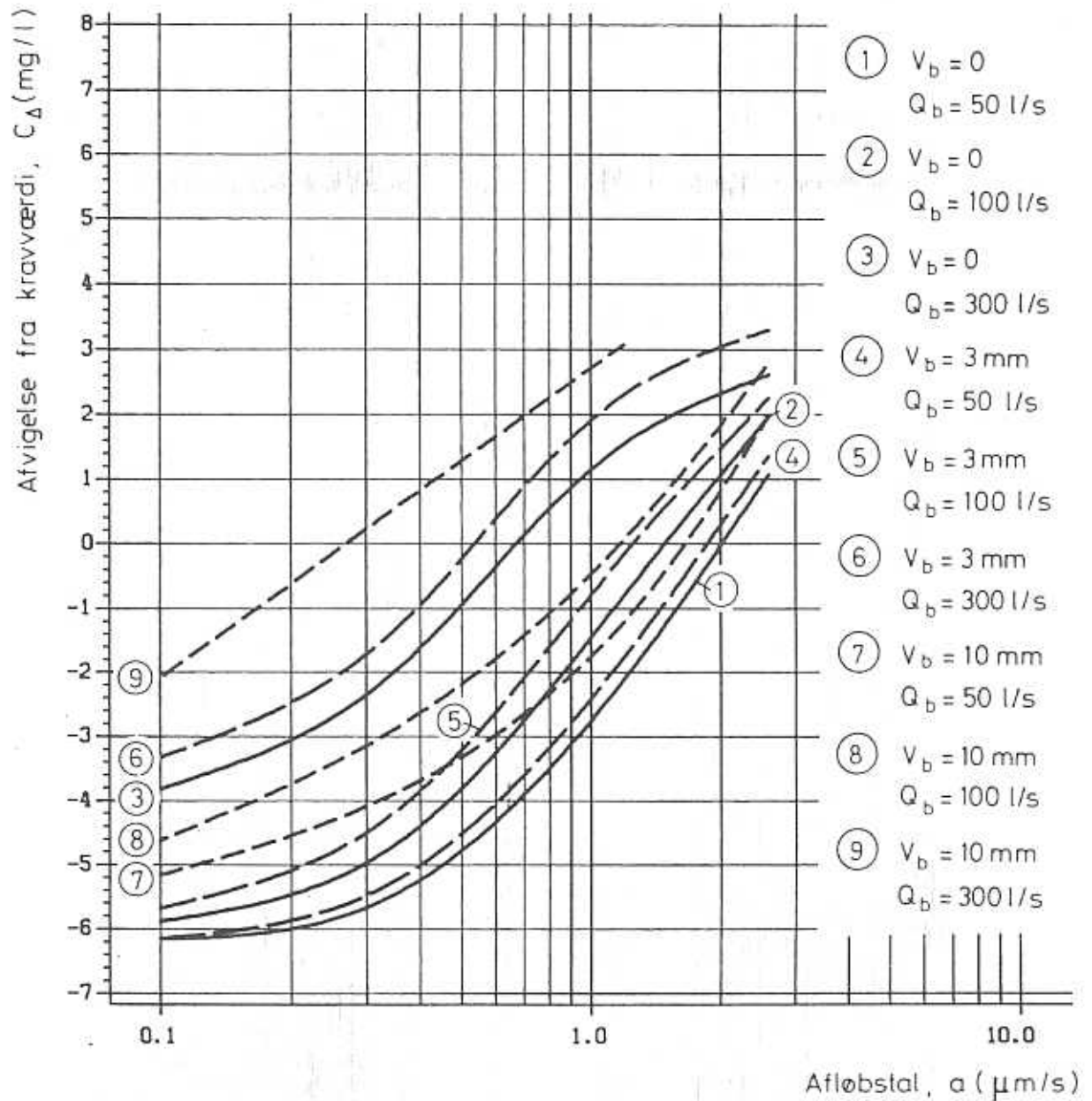
$F_{red} = 25$ ha

$\Delta C = 0$ mg/l

EKSPONERINGSTID 1 TIME



EKSPONERINGSTID 12 TIMER



Konstante parametre:

$t_f = 30 \text{ min.}$

$q_s = 0,2 \text{ } \mu\text{m/s}$

$F_{red} = 25 \text{ ha}$

$\Delta C = 4 \text{ mg/l}$