

Kalking av surt vann

7/89

Oppdragsgiver

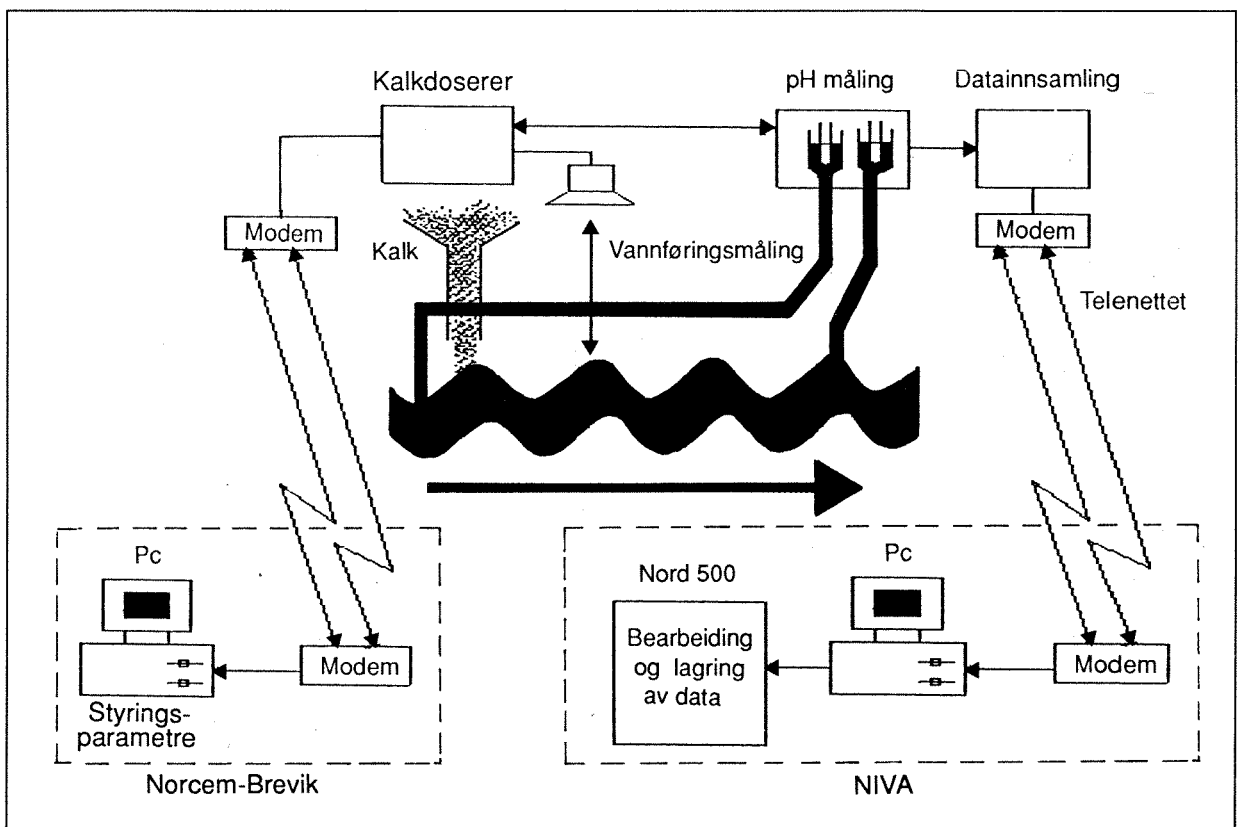
Direktoratet for naturforvaltning
NIVA

Deltakende institusjon

NIVA

Kalking av Vikedalselva

Forsøk med styring av
kalkdosering etter pH målt
nedstrøms kalkdoserer



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor

Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 03 3

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 75 2

Vestlandsavdelingen

Brevikven 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:

O-87087

Undernummer:

Løpenummer:

2 2 9 2

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Kalking av Vikedalselva - Forsøk med styring av kalkdosering etter pH målt <u>nedstrøms</u> kalkdoserer.	Dato: Oktober 1989
	Prosjektnummer: O-87087
Forfatter (e): Atle Hindar Espen Hoell (Norcem) Arne Veidel Arne Nic. Nilsen (Norcem)	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Rogaland
	Antall sider (inkl. bilag): 39

Oppdragsgiver: Direktoratet for naturforvaltning (DN)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: <p>Det er gjennomført korttidsforsøk og ordinær drift med styring av et kalkdoseringsanlegg etter pH målt 700 meter <u>nedstrøms</u> doserer. Et generelt system for innsamling og lagring av data (EDAS) er benyttet. Resultatene viser at det kan oppnås en stabil pH-verdi på et på forhånd fastsatt nivå, f.eks. pH 6.2 ± 0.1, stabil dosering og dermed kostnadseffektiv kalking ved å styre kalkdosering utelukkende etter pH <u>nedstrøms</u> kalking. Denne formen for feed-back styring er ikke prøvd for kalking av vassdrag tidligere.</p>

4 emneord, norske:

1. Vassdragskalking
2. pH-styrt dosering
3. Kostnadseffektivitet
4. Fjernovervåking

4 emneord, engelske:

1. Stream liming
2. pH-governed dosing
3. Cost efficiency
4. Remote monitoring

Prosjektleder:

Atle Hindar

For administrasjonen:

Tor Bokn

ISBN 82-577-1594-8

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD

O - 87087

Kalking av Vikedalselva - forsøk med styring av
kalkdosering etter pH nedstrøms kalkdoserer.

Grimstad, oktober 1989

Saksbehandler: Atle Hindar
Medarbeider: Arne Veidel

FORORD

Fra 1983 er det gitt statlige tilskudd til kalking av vann og vassdrag. Vindafjord kommune fikk slike tilskudd til kalking av Vikedalselva i 1986-1989. NORCEM A/S er leverandør av kalkingsanlegg, kalkingsmidler og tjenester i forbindelse med drift av kalkingsanlegget. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har ansvaret for den vannkjemiske overvåkingen av elva.

Vikedalselva kalkes rutinemessig under vårsmeltingen. I oktober 1988 ble det i tillegg, etter initiativ fra NIVA, gjennomført forsøk med å styre kalkdoseringen etter pH nedstrøms kalkdosereren. Våren 1989 ble det gjennomført ordinær kalking etter dette styringsprinsippet. Forsøkene er utført som et samarbeid mellom NIVA og NORCEM A/S, med NIVA som prosjektleder.

Automatisk registrering av pH før og etter kalking har vært gjennomført i forbindelse med forsøkene. Vannføringsmålinger ved Holmen bro er innhentet fra NVE. Vannkjemiske analyser er utført av NIVA.

Undersøkelsene er i hovedsak finansiert av Direktoratet for naturforvaltning. Deler av utgiftene til automatisk vannkvalitetsregistrering dekkes gjennom Statlig program for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. NORCEM A/S har bidratt med betydelig egeninnsats i gjennomføring av forsøk og rapportering.

Vi vil takke Harald Leifsen i Vikedal for husrom, prøvetaking og annen bistand under forsøkene.

Grimstad, oktober 1989

Atle Hindar

INNHOLDSFORTEGNELSE	SIDE
1. SAMMENDRAG	4
2. INNLEDNING	6
3. MATERIALE OG METODER	7
4. RESULTATER	12
4.1. Korttidsforsøk	12
4.2. Ordinær drift	28
5. DISKUSJON	33
5.1. Korttidsforsøk	33
5.2. Ordinær drift	36
6. REFERANSER	39

1. SAMMENDRAG

Fra våren 1987 er Vikedalselva kalket. Kalkingen gjennomføres rutinemessig under vårmeltingen for å hindre akutt overdødelighet av smolt. Vindafjord kommune har ansvaret for driften av anlegget.

Driften av kalkdoseringsanlegget har skjedd uten alvorlige avbrudd. Det ble imidlertid registrert kraftig overdosering av kalk i 1987. Dette har påført kommunen betydelige ekstrakostnader.

Målinger av vannkvaliteten etter kalkingsslutt viser at det kan regnes med en betydelig langtidsoppløsning av kalk i elva. Det er imidlertid vanskelig å ta hensyn til dette ved beregning av kalkdosering.

Høsten 1988 ble det gjort forsøk med å styre kalkingen ved hjelp av en pH-sensor ca. 700 meter nedstrøms doseringen. I et slikt opplegg ble det antatt at langtidsoppløsningen kunne inngå i beregning av kalkdose. Kalkdoseringsanlegget ble bygget for å kunne styres etter pH-signal fra denne sensoren alene eller etter pH og vannføring på samme tid. Vektleggingen på de to styringsprinsippene kan varieres ved hjelp av en datamaskin i anlegget. Datamaskinen kan reguleres på stedet eller fra NORCEMS kontor i Brevik i Telemark.

I denne undersøkelsen er det lagt vekt på å styre doseringen utelukkende etter pH. Resultatene etter korttidsforsøk viser at dette styringsprinsippet kan gi stabil pH på et fastsatt nivå og stabil dosering. Feed-back-styring kan redusere kalkkostnadene og det kan oppnås et jevnere pH-nivå i elva.

Ordinær drift av kalkingsanlegget med dette styringsprinsippet ga stabil pH i elva i april, mai og juni i 1989. pH etter kalking ble holdt konstant på en ønsket verdi i hele denne perioden til tross for raske variasjoner i vannføring og vannkvalitet. En beregning viser at innsparingen ved dette styringsprinsippet kan

ha vært kr. 30.000.- for perioden april og mai 1989. På årsbasis vil dette kunne utgjøre kr. 150.000.-.

2. INNLEDNING

Vikedalselva i Rogaland er forsuret pga langtransportert forurenset luft og nedbør (SFT 1983). Forsuringen er liten i forhold til vassdrag på Sørlandet, men virkningen er betydelig fordi vassdraget er meget svakt bufret fra naturens side.

En generell beskrivelse av vassdraget, både naturforhold og vannkvalitet, og en omtale av tidligere undersøkelser er gitt av SFT (1983). Vassdraget har et nedbørfelt på 115 km². Elva har en bestand av laks og sjøaure. Laksefisket er gått ned de siste årene, mens sjøauren ser ut til å ta seg opp. Den lakseførende strekningen er 10 km. Vassdraget ble varig vernet mot kraftutbygging i 1973.

I flere år (fra 1981) er det registrert overdødelighet av presmolt og smolt av laks i elva under snøsmeltingen (SFT 1983). Dette henger sammen med sur avrenning og økning i konsentrasjonen av giftige aluminiumsforbindelser (Henriksen et al. 1984).

Fra våren 1987 er Vikedalselva kalket. Vindafjord kommune er ansvarlig for driften av anlegget. NORCEM A/S har levert kalkingsanlegget, kalk og står som driftsoperatør. Kalkingen av elva gjennomføres foreløpig bare under vårmsmeltingen for å hindre akutt overdødelighet av smolt. Kalkingen så langt har vært vellykket, men i 1987 var det tildels betydelig overdosering av kalk (Hindar 1988). Kostnaden er derved blitt større enn nødvendig.

Høsten 1988 ble det gjennomført forsøk med styring av kalkingen ved hjelp av en pH-sensor 700 meter nedstrøms kalkdosereren. Hensikten med forsøkene var å komme fram til en styring som ga et minimalt kalkforbruk kombinert med optimal vannkvalitet i vassdraget. Vannføringsproporsjonal styring vil kunne føre til overdosering i perioder med lav vannføring og relativt høy pH i vassdraget. Det ble derfor lagt vekt på å utføre forsøk med pH-styring alene. Resultatene fra korttidsforsøk og ordinær drift rapporteres her.

3. MATERIALE OG METODER

Nedbørfeltet til Vikedalselva er totalt 115 km² (figur 1). I figur 1 er også plasseringen av kalkingsanlegget og prøvetakingsstasjoner vist. Nedbørfeltet ned til stasjon 2 (etter samløp med sidevassdraget fra nord) er 93 km². Spesifikk avrenning er 80-100 l/s km² i øvre del av vassdraget. Middelerdien for vassdraget er 85 l/s km², som gir en middelvannføring på 10 m³/s ved utløpet.

pH registreres kontinuerlig i elva oppstrøms kalking og 700 meter nedenfor kalking. Et generelt system for automatisk miljødata-innsamling (EDAS) er benyttet. Instrumentsystemet kan deles i tre enheter som vist i figur 2:

a) Datainnsamlingssystem med hovedstasjon

Datainnsamlingen og dataoverføringen består av EDAS System 3000. FSC 3100 er grunnenheten i systemet. Den henter inn, bearbeider og betjener datasambandet mellom stasjonen og NIVA i Oslo og Grimstad.

Hovedstasjonen, MS 3400, i innsamlingsutstyret består av en IBM-kompatibel PC med innebygget modem og rummesender samt skriver.

Stasjonen blir oppringt 2 ganger/døgn og data for 2 døgn overføres og lagres i NIVAs Nord-anlegg.

Hvor mange dataserier og hvor ofte stasjonen skal ringes opp kan velges. Fra 1 til 256 dataserier á 8 sensorer kan ringes opp fra hvert femte minutt til en gang i døgnet.

b) Sensorer

Vikedalstasjonen har nå muligheter for tilkopling av 8 sensorer. Permanent er pH i kalket og ukalket vann, samt vannføring i bruk.

Vannføring registreres med en Endress og Hauser ultralyd nivåmåler. pH-elektrodene er av fabrikat Kent glasselektrode og Leeds & Northrup referanselektrode.

Automatisk temperaturkompensasjon utføres ved hjelp av et PT-100 element. pH-instrumentene er av type Hartmann & Braun plug in pH card CFP2.

b) Vanntilførsel

Kalket ellevann pumpes opp en 25 meter høy skråning av en Grundfos dykpumpe T-Sp 2-15 3 fas. I elven er det montert 2 pumper for at en kan tjene som reserve.

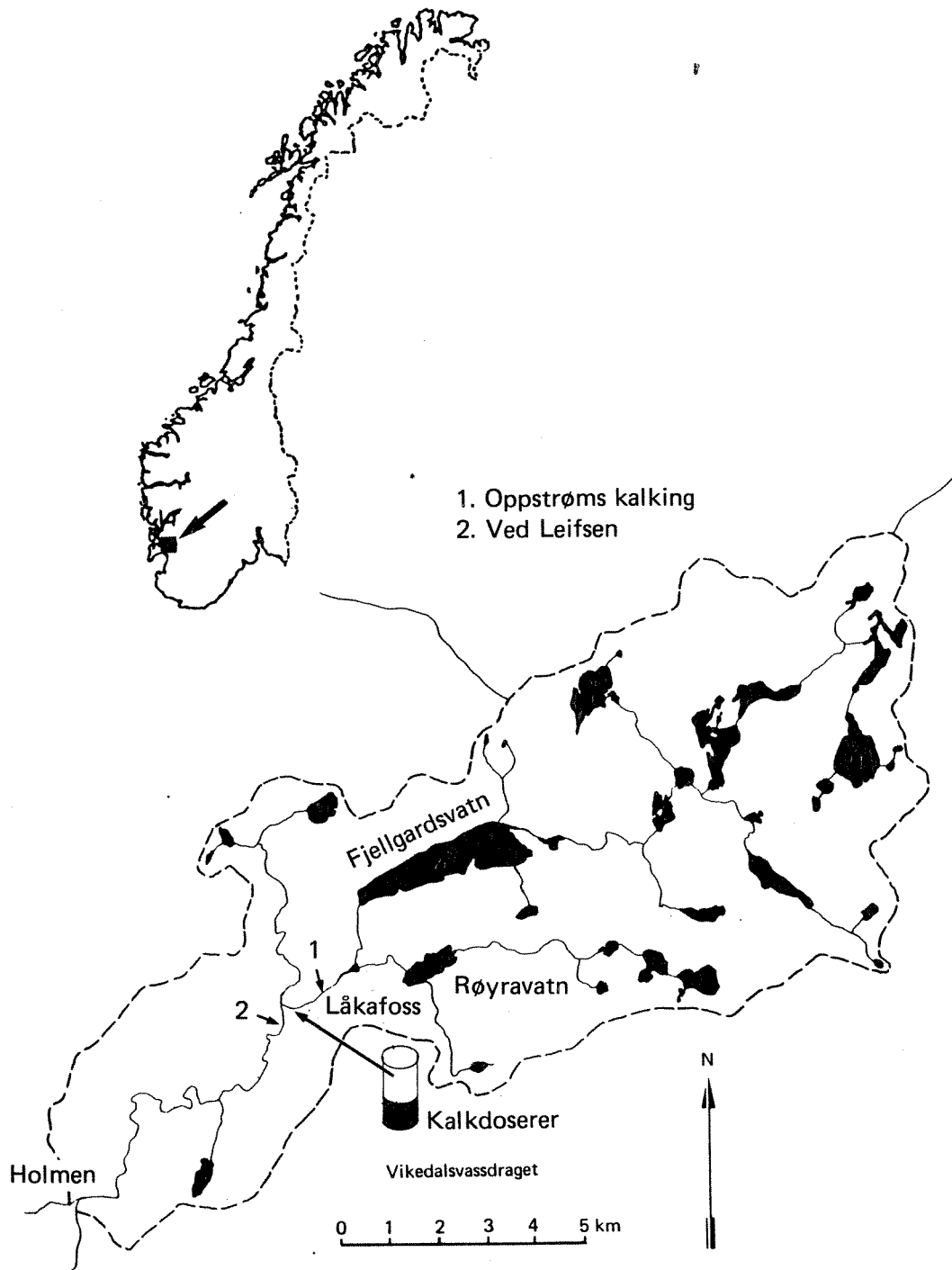
Ukalket ellevann pumpes via en 600 meter lang vannledning og ned til stasjonen hvor pH-metrene står.

Vannføringssignalet overføres fra NORCEMs anlegg og ned til NIVAs anlegg. 0-20 mA tilsvarer 0-40 m³/s.

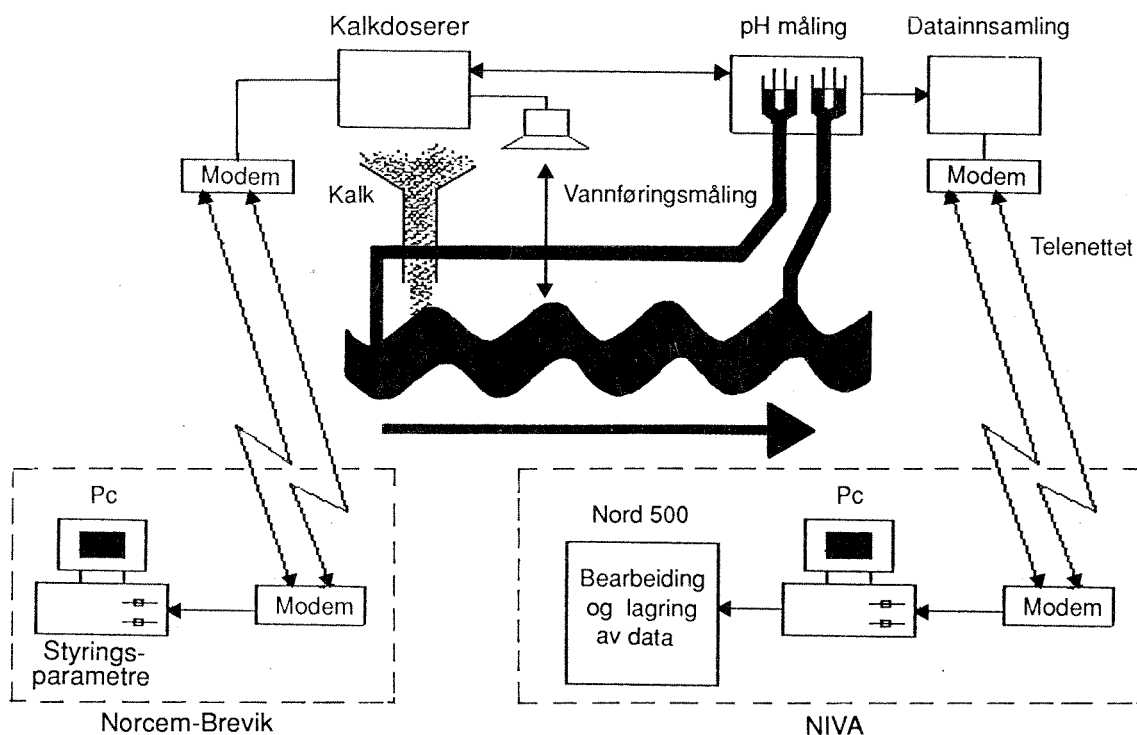
pH-verdien på kalket ellevann overføres til NORCEMs anlegg for styring av kalkdoseringen.

I kalkingsanlegget er det kontinuerlig registrering av kalkdosering og vannstand og det er utarbeidet vannføringskurve. Vannføringskurven er konstruert på grunnlag av målinger av Norges vassdrags- og energiverk. Under forsøkene i oktober ble vannføringsregistreringen i selve anlegget koplet ut.

Vannføring i Vikedalselva registreres kontinuerlig ved Holmen bro (vannmerke 2479 - 0 Holmen). I tillegg er vannstand ved Låkafossen registrert manuelt i forsøksperioden.



Figur 1. Nedbørfeltet til Vikedalselva med plassering av kalkdoserer og prøvetakingsstasjoner. Vannføring registreres kontinuerlig ved Holmen bro.



Figur 2. Oppbygging av kalkstyring, pH-registrering og EDAS i Vikedalselva. Se tekst for nærmere beskrivelse.

Kalkdoseringsanlegget i Vikedalselva kan styres etter flere alternative styringsmetoder. Det er i prinsippet 4 styringsmetoder og tilhørende likninger for doseberegning:

1. Styring etter pH alene

$$\text{dosering (t/d)} = k_1 * \text{dpH} \quad (\text{dpH} = \text{resultatpH} - \text{målpH})$$
2. Styring etter vannføring alene

$$\text{dosering (t/d)} = k_2 * Q$$
3. Styring etter vannføring med overstyring av pH.
 I dette tilfellet brukes både 1 og 2.

$$\text{dosering (t/d)} = k_1 * \text{dpH} + k_2 * Q$$

4. Styring etter vannføring og pH

$$\text{dosering (t/d)} = \text{dpH} \cdot k_3 \cdot Q$$

dpH er en differanse mellom den pH som registreres i elva 700 meter nedstrøms kalkdoseringsanlegget (resultatpH) og den pH-verdi som søkes oppnådd i elva (målpH).

Størrelsen på konstantene k_1 , k_2 og k_3 bestemmer hvilken innvirkning pH eller vannføring skal ha på den aktuelle styring.

Anlegget er utstyrt med en integreringsfunksjon som gjør en beregning over målte pH-verdier 700 meter nedstrøms dosering i et visst tidsrom. Den beregnede pH-verdi brukes i styringsfunksjonen. Integreringstiden (I-tiden) kan varieres fra 0 til 30 minutter. Ved I-tid = 0 brukes den pH verdi som måles umiddelbart i styringsfunksjonene for pH-styring.

Kalkdoseringen beregnes i tonn pr. døgn (t/d) etter likningene over. Dette er ikke den faktiske doseringen pr. døgn, men et uttrykk for doseringsmengden pr. tidsenhet. I den videre framstillingen er doseringen omregnet til gram pr. sekund (g/s) eller gram pr. kubikkmeter (g/m^3). Doseringen beregnes og justeres hvert 10. sekund.

Det er lagt vekt på å gjennomføre forsøkene under forhold en har i elva under ordinær kalking. Før forsøkene ble igangsatt ble det derfor gitt en forsiktig bakgrunnsdosering for å stabilisere vannkvaliteten med en pH i underkant av pH 6. Vannkvaliteten (pH) ble da også bestemt av oppløsning av sedimentert kalk. Bakgrunnsdoseringen ble satt til ca 2 g kalk/ m^3 .

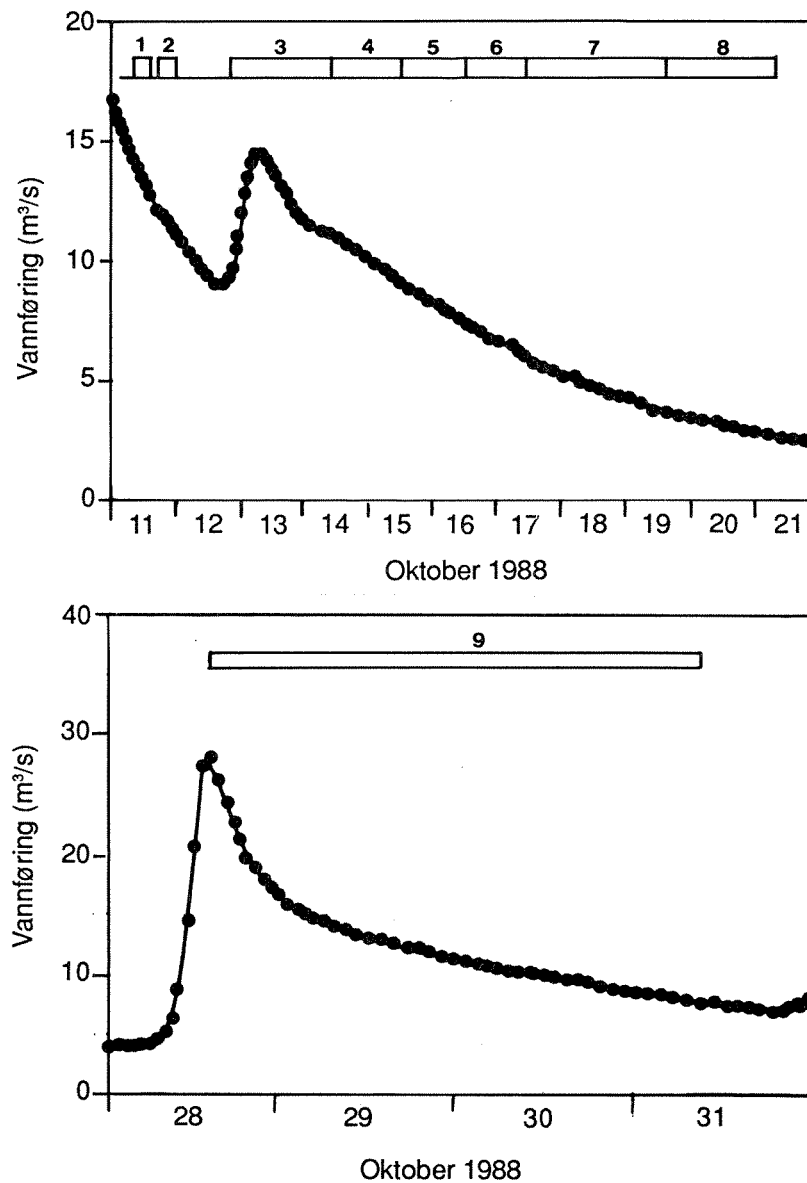
I forsøkene 1 og 2 ble doseringen justert manuelt, pga. feil i en skilleforsterker. Doseringen ble imidlertid beregnet av anleggets datamaskin og justert manuelt i henhold til dette. Dette hadde ingen betydning for resultatene. I øvrige forsøk ble doseringen justert automatisk.

4. RESULTATER

I det følgende redegjøres for ialt 9 korttidsforsøk som er gjennomført i oktober 1988 og resultater fra ordinær drift i april, mai og juni i 1989.

4.1. Korttidsforsøk

Vannføringen ved Holmen bro under korttidsforsøkene er vist i figur 3.



Figur 3. Vannføring ved Holmen bro under korttidsforsøkene i oktober 1988. Forsøksnummer og varighet er indikert.

Forsøk 1

Tidsperiode: 11.10.88 kl 13.30 til 11.10.88 kl 16.20.

Styring:

Dosering = $5 \cdot dpH$

I-tid = 15 min

målpH = 6.2

I forsøket var målpH satt til pH 6.2 og resultatpH ble beregnet med en integrerings-tid på 15 min.

Vannføringen var ca $11 \text{ m}^3/\text{s}$ i forsøket. Doseringen ble justert manuelt. Resultatene for de tre første timene er vist i figur 4. Doseringen varierte mellom 46 og 31 g/s, det vil si mellom 4.2 og 2.8 g/m^3 . Etter en halv time startet pH-økningen i elva ved stasjon 2. Det tok deretter 20 minutter å nå pH 6.1. pH svingte deretter mellom 6.1 og 6.2.

Forsøk 2

Tidsperiode: 11.10.88 kl 18.30 til 12.10. kl 00.50.

Styring:

Dosering = $20 \cdot dpH$

I-tid = 15 min

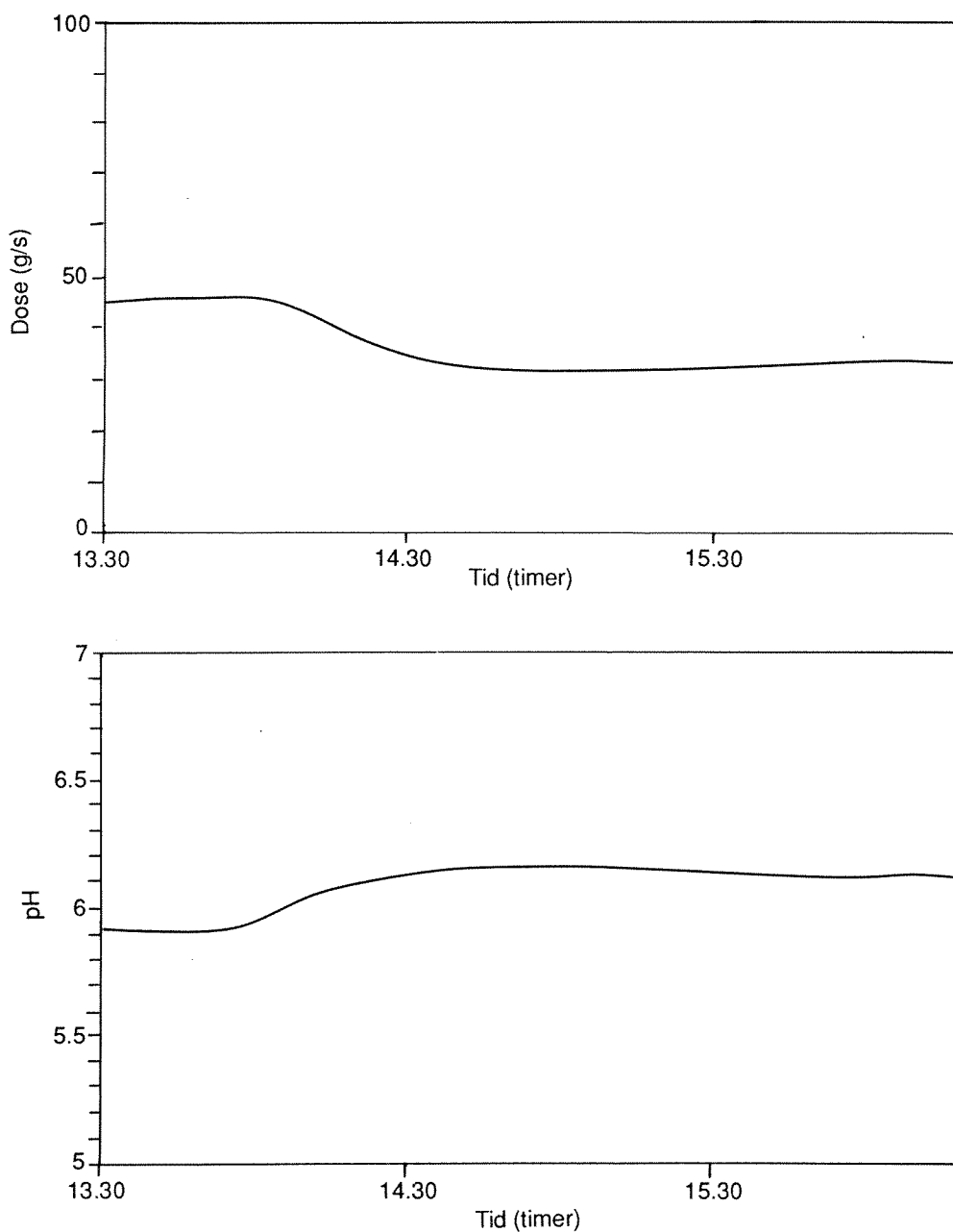
målpH = 6.2

Bakgrunnsdosering ble reetablert før forsøket. Forsøket ble utført med pH-styring alene etter dosering = $20 \cdot dpH$ med målpH 6.2 og resultatpH beregnet med I-tid på 15 min. Eneste endring i forhold til forsøk 1 var derfor en firedobling i k_1 . Ved denne konstanten gir anlegget maksimaldosering dersom dpH blir lik 1 pH- enhet. Doseringen ble justert manuelt.

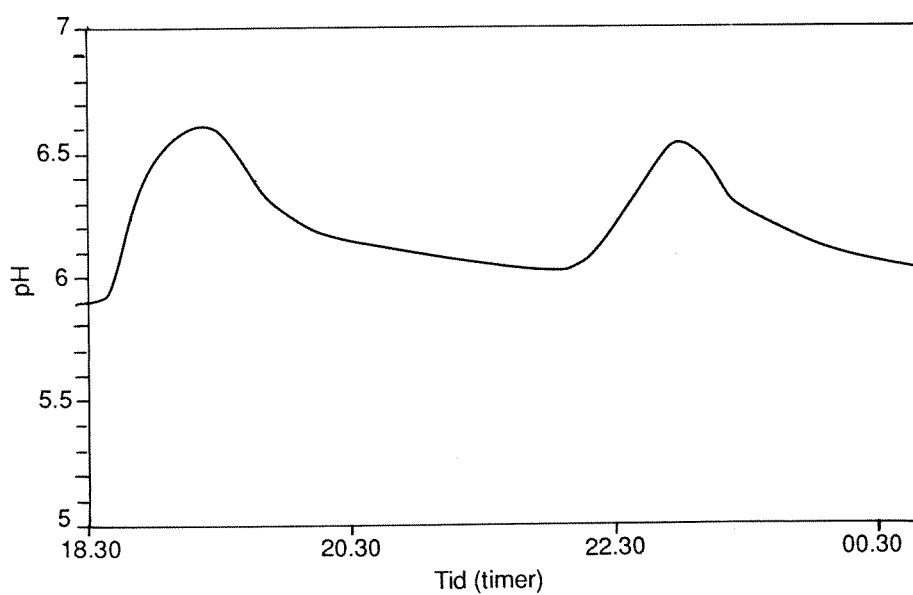
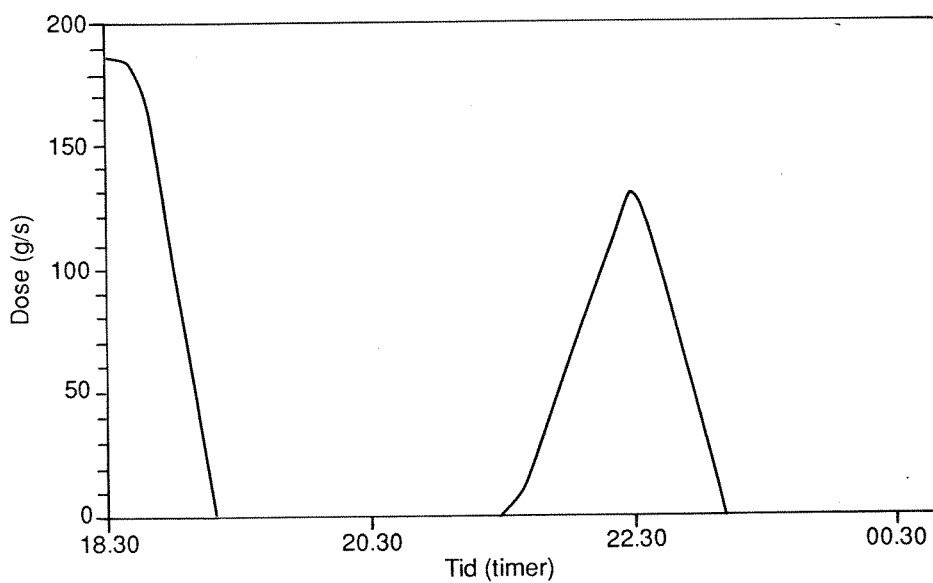
I figur 5 er resultater for dosering og pH framstilt. Det ble dosert mellom 0 og 186 g/s. Med en vannføring på $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ble da maksimal dosering ca. 23 g/m^3 .

pH økte til mellom 6.6 og 6.7 i løpet av en time. Etter to timer var pH nede i omkring 6.0, for deretter å svinge tilbake til 6.5-6.6. Forsøket ble så avsluttet.

Den 12.10 ble den automatiske styringsfunksjon startet og resten av forsøkene ble utført med automatisk styring.



Figur 4. Resultater fra forsøk 1.



Figur 5. Resultater fra forsøk 2.

Forsøk 3

Tidsperiode: 12.10 kl. 17:40 til 14.10 kl. 8:40

Styring:

Dosering = 5 * dpH

I-tid = 15 min

målpH = 6.3

Forsøket er en parallell til forsøk 1, men med automatisk justering av doseringen, samtidig som målpH ble hevet til 6.3.

Vannføringen ved start var ca 7 m³/s, økende til ca 10 m³/s gjennom første del av forsøket.

Etter dette avtok vannføringen til ca. 8 m³/s i siste del av forsøket.

Resultatene er framstilt i figur 6. Det ble dosert 10-40 g/s, svarende til 1-5 g/m³, i startfasen. Etter en tid stabiliserte doseringen seg på ca. 35 g/s, avtagende til ca 25 g/s i slutten av forsøket. Det tilsvarende kalkkonsentrasjoner på hhv. 3.5 og 3.0 g/m³.

pH økte først til noe over 6.4. Deretter svingte verdiene mellom 6.2 og 6.4 i et halvt døgn. pH stabiliserte seg på omkring 6.3 mot slutten av forsøket.

Forsøk 4

Tidsperiode: 14.10 kl. 8:50 til 15.10 kl. 9:20

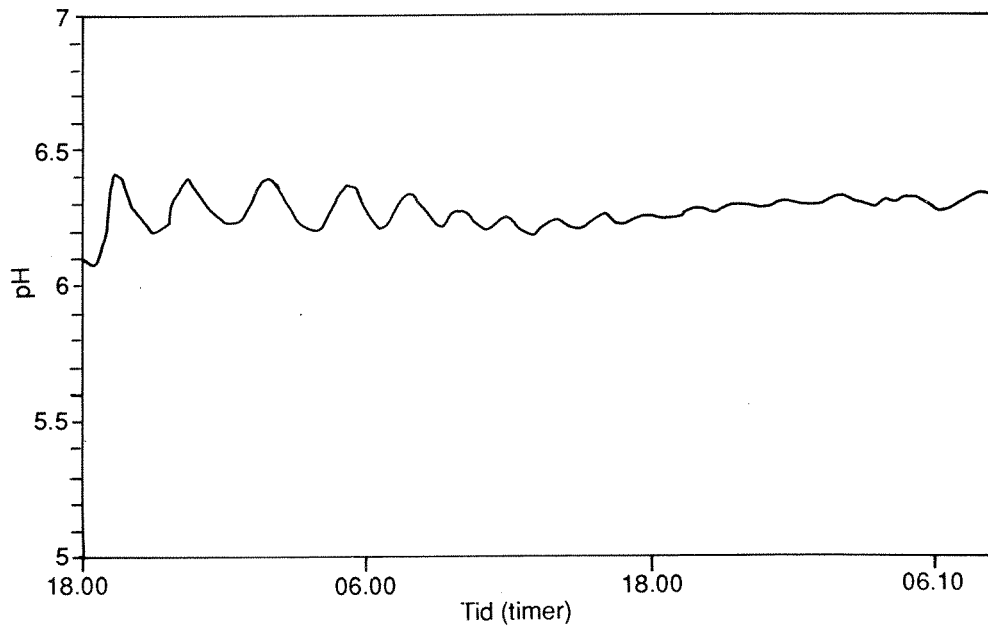
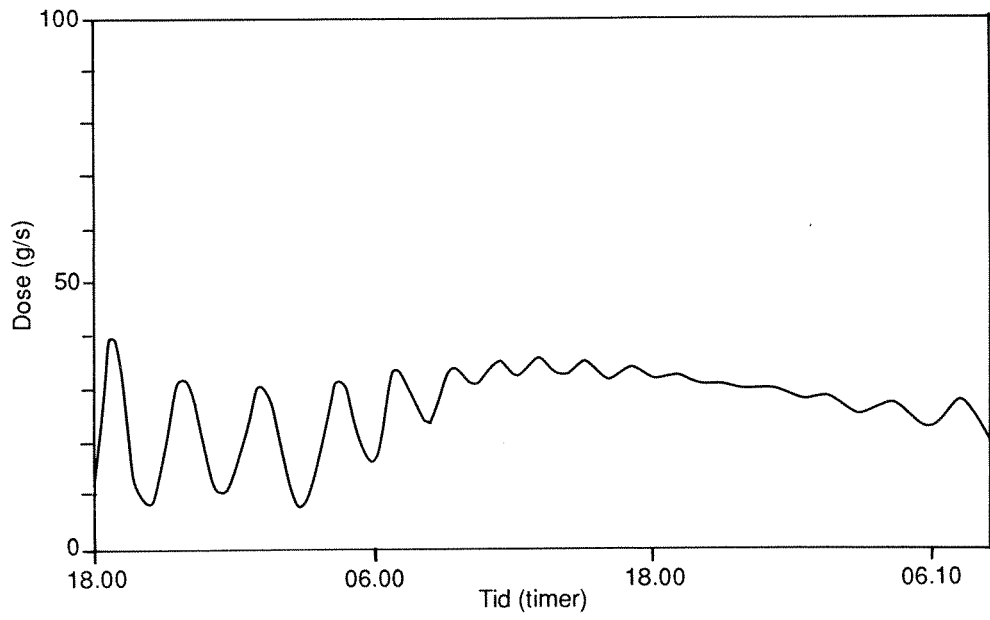
Styring:

Dosering = 5*dpH

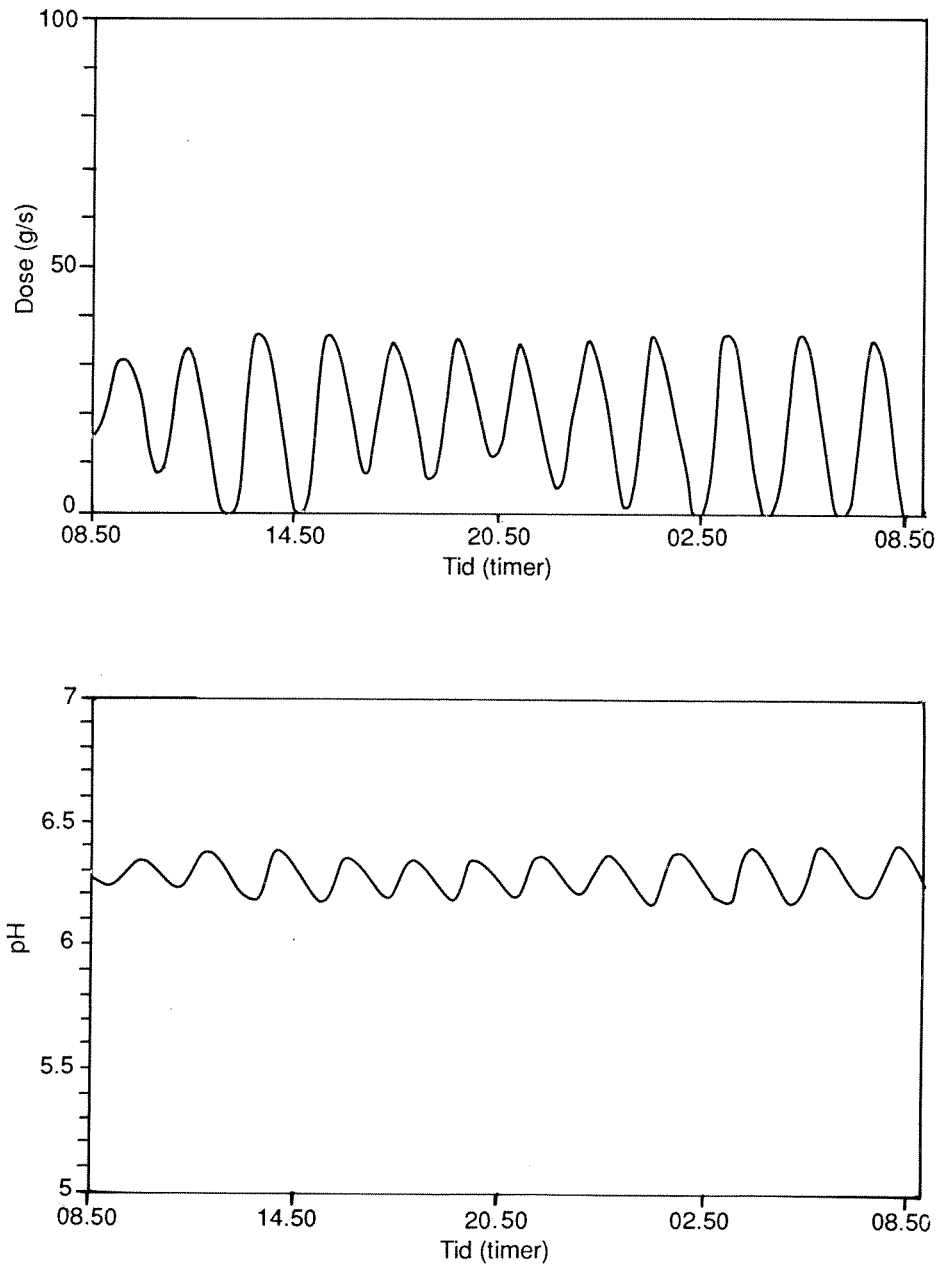
I-tid = 5 min

målpH = 6.3

Endring i forhold til forsøk 3 var reduksjon i integreringstiden. Vannføringen varierte mellom 7 og 8 m³/s.



Figur 6. Resultater fra forsøk 3.



Figur 7. Resultater fra forsøk 4.

Resultatene er framstilt i figur 7. Doseringen svingte mellom 0 og 35 g/s, svarende til 0 og 4.7 g/m³, i hele forsøket. pH varierte mellom 6.2 og 6.4.

Forsøk 5

Tidsperiode: 15.10 kl. 9:30 til 16.10 kl. 9:40

Styring:

Dosering = 5*dpH

I-tid = 0 min

målpH = 6.2

I forsøket ble integreringsfunksjonen tatt bort og målpH ble redusert i forhold til forsøk 4. Vannføringen avtok slik i løpet av forsøket:

15/10 kl 09	Q= 7.2 m ³ /s
" 12	Q= 7.0 "
" 15	Q= 6.8 "
" 18	Q= 6.7 "
16/10 kl 09	Q= 5.7 "

Resultatene fra forsøk 5 er framstilt i figur 8. Doseringen var lav i starten som følge av reduksjon i målpH etter forrige forsøk. Doseringen stabiliserte seg på et nivå rundt 1 g/m³. pH var i underkant av 6.1 gjennom den stabile delen av forsøket.

Forsøk 6

Tidsperiode: 16.10 kl. 9:50 til 17.10 kl. 9:30

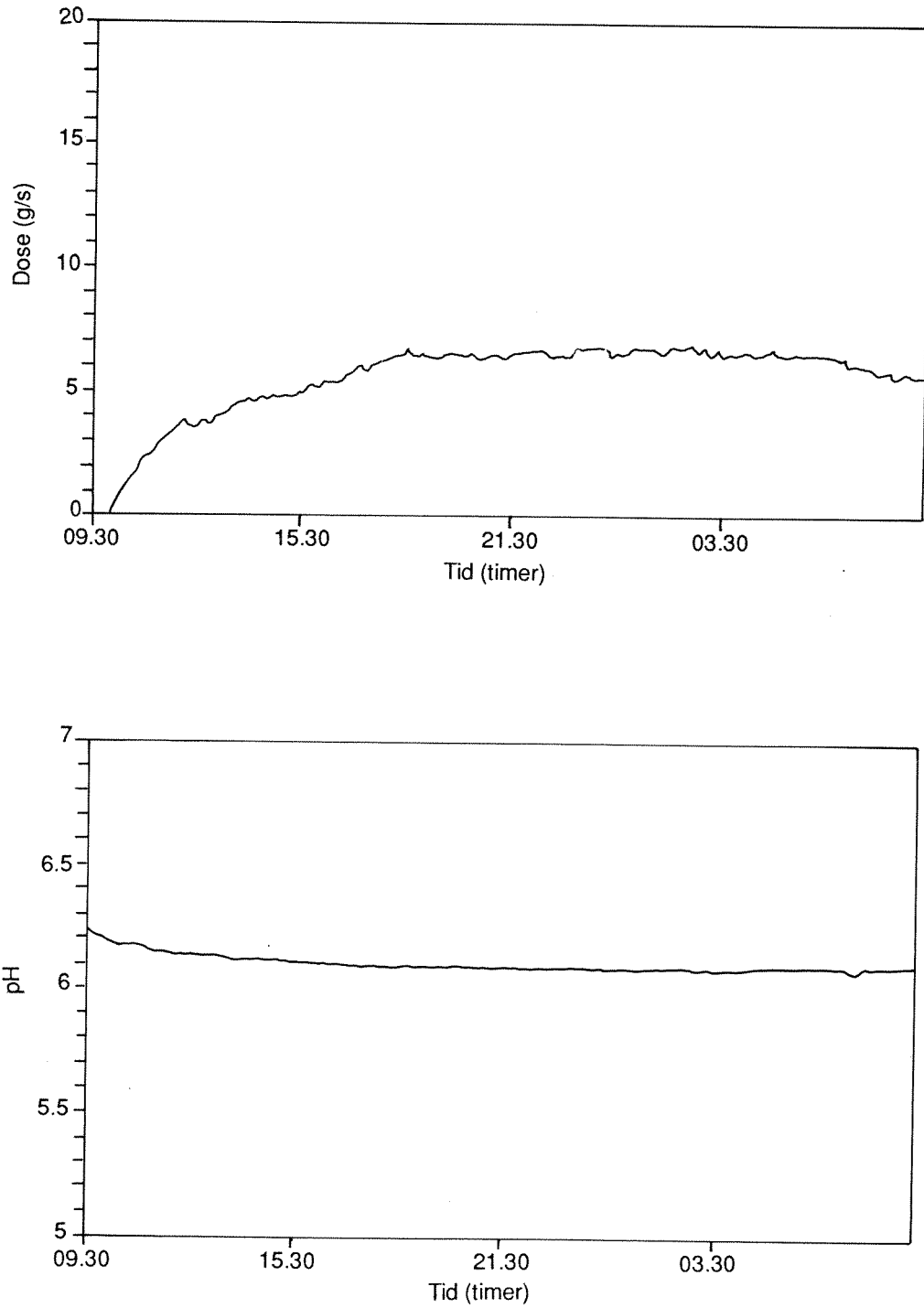
Styring:

Dosering = 10*dpH

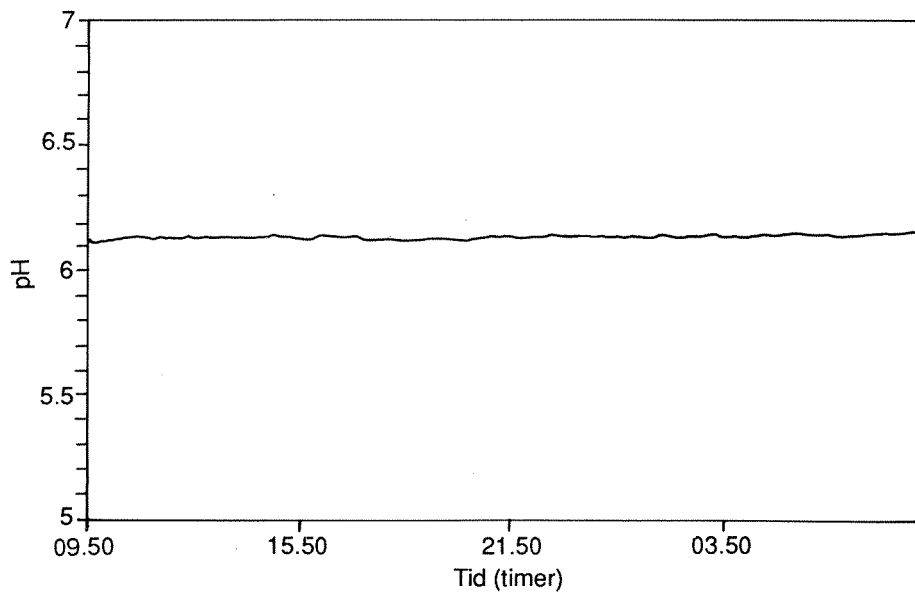
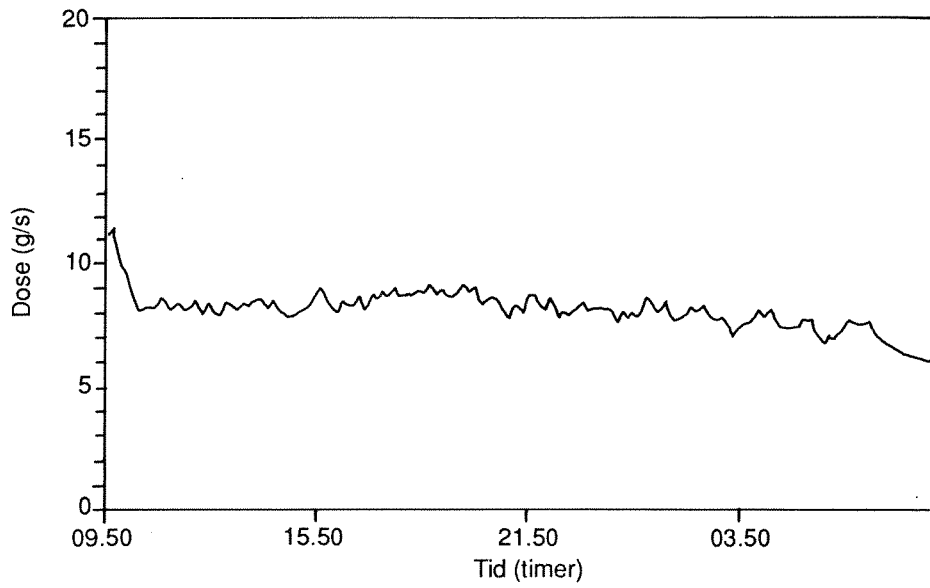
I-tid = 0 min

målpH = 6.2

I forhold til forsøk 5 ble konstanten k_1 doblet. Vannføringen var avtakende og omkring 5.5 m³/s under forsøket.



Figur 8. Resultater fra forsøk 5.



Figur 9. Resultater fra forsøk 6.

Resultatene er framstilt i figur 9. Anlegget doserte i underkant av 7-8 g/s, svarende til 2 g/m^3 , i startfasen, og stabiliserte seg på et nivå rundt 1.5 g/m^3 . Doseringen avtok i takt med vannføringen utover i forsøket. pH var stabil og i overkant av 6.1.

Forsøk 7

Tidsperiode: 17.10 kl. 9:40 til 19.10 kl. 14:00

Styring:

Dosering = $10 \cdot \text{dpH}$

I-tid = 0 min

målpH = 6.3

En del av dataene for forsøket er ikke registrert. Figur 10 viser derfor bare perioden 18.10 kl. 22:00 til 19.10 kl. 07:40. Eneste endring i forhold til forsøk 7 var en økning i målpH til 6.3.

Det var lav (under $5 \text{ m}^3/\text{s}$) og avtakende vannføring under forsøket. Anlegget doserte i overkant av 5 g/s, svarende til 1 g/m^3 , i det meste av forsøket. pH lå mellom 6.2 og 6.3 i den 9-timers perioden som er vist i figur 10.

Forsøk 8

Tidsrom: 19.10 kl. 14:20 til 21.10 kl. 11:30

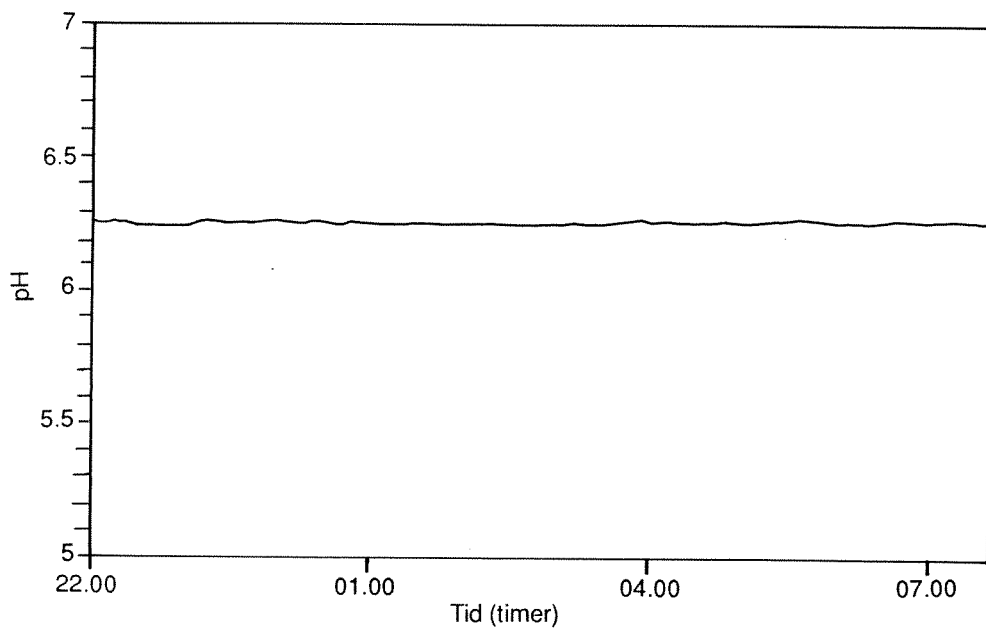
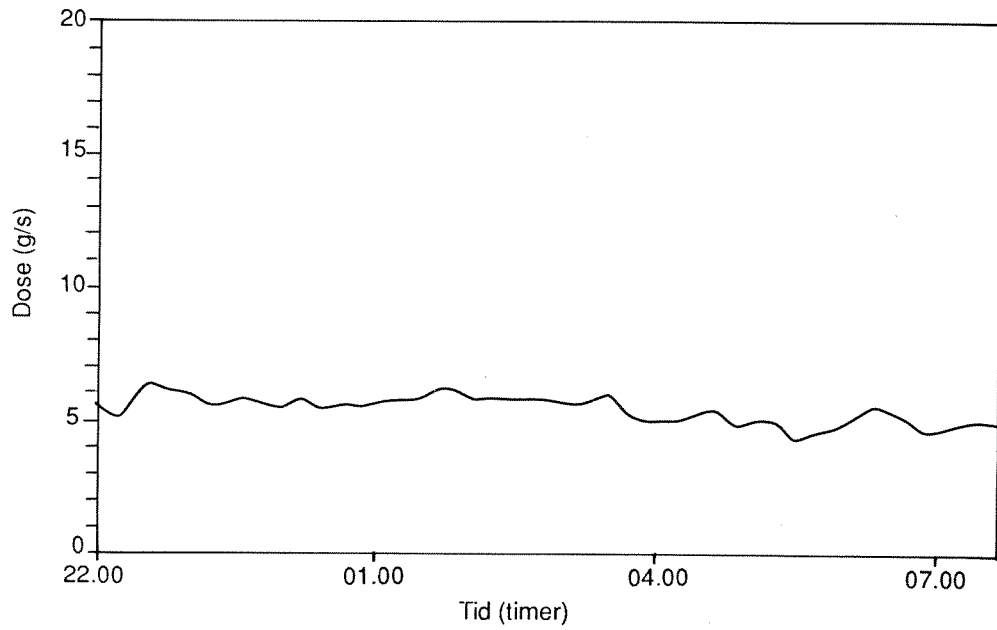
Styring:

Dosering = $20 \cdot \text{dpH}$

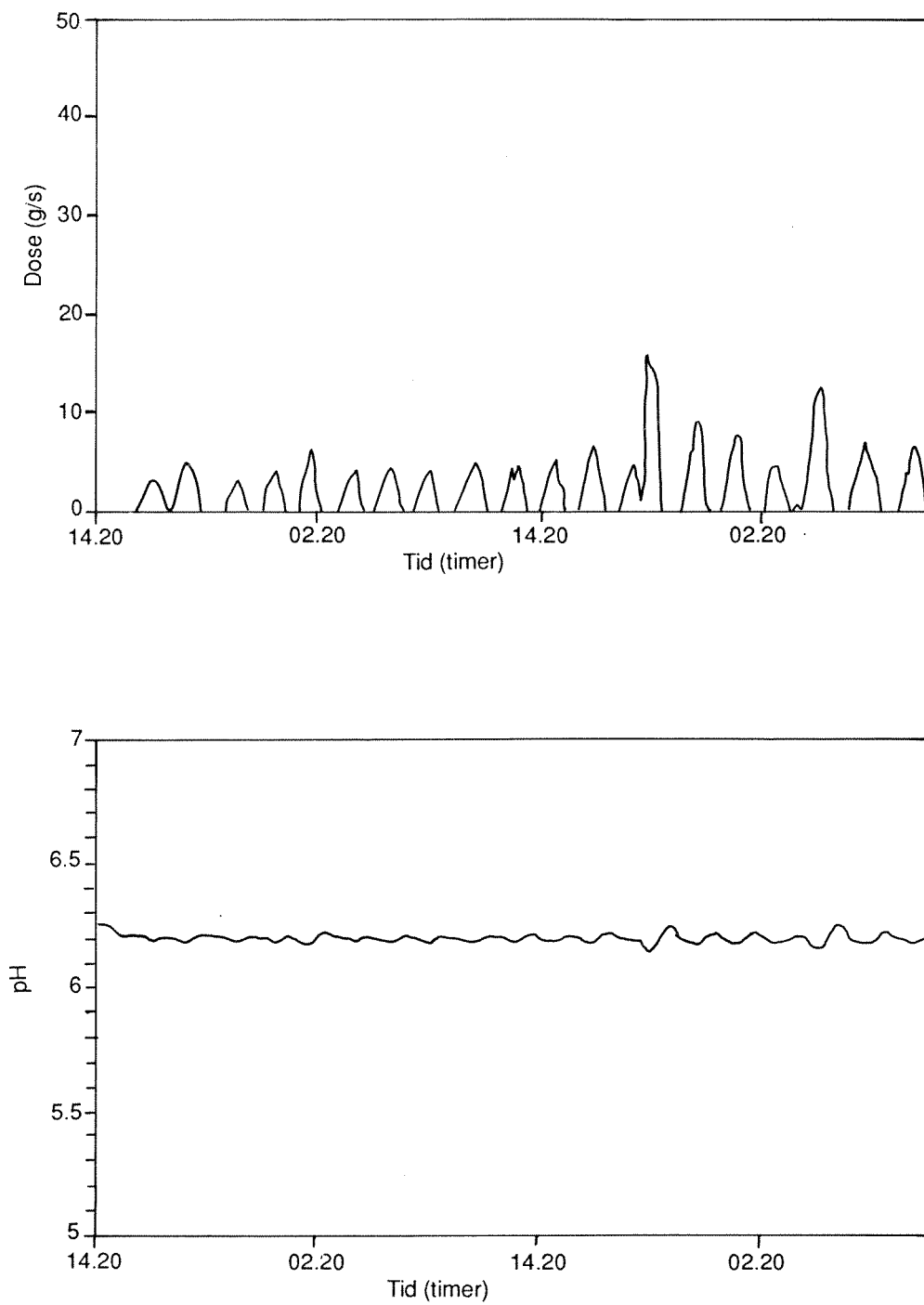
I-tid = 0 min

målpH = 6.2

Konstanten k_1 ble doblet i forhold til forsøk 7, og målpH ble satt ned igjen til 6.2. Vannføringen avtok utover i forsøket.



Figur 10. Resultater fra forsøk 7.



Figur 11. Resultater fra forsøk 8.

Resultatene er vist i figur 11. Ved denne lave vannføringen førte den pålagte styringen til en regelmessig svingning i dosering. Doseringen stoppet regelmessig helt opp. Doseringen svingte mellom 0 og 7 g/s med unntak av en episode om kvelden den 20.10 og en natten til den 21.10.

Doseringen var tilstrekkelig til at resultatpH gikk over målpH. pH varierte innenfor $\text{pH } 6.2 \pm 0.05$ i forsøket.

Forsøk 9

Tidsrom: 28.10 kl. 13:20 til 31.10 kl. 10:00

Styring:

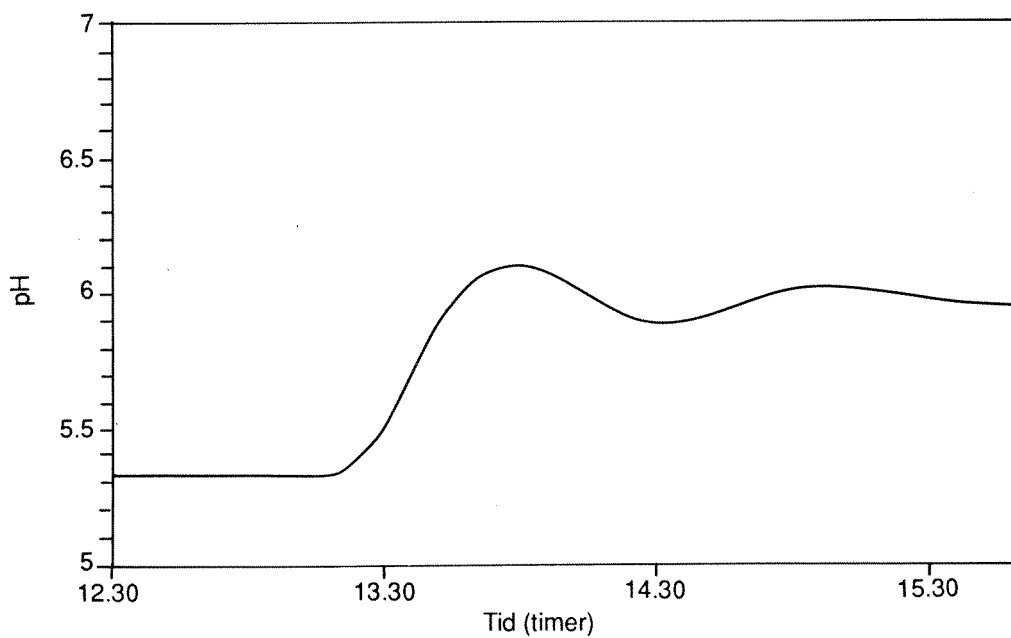
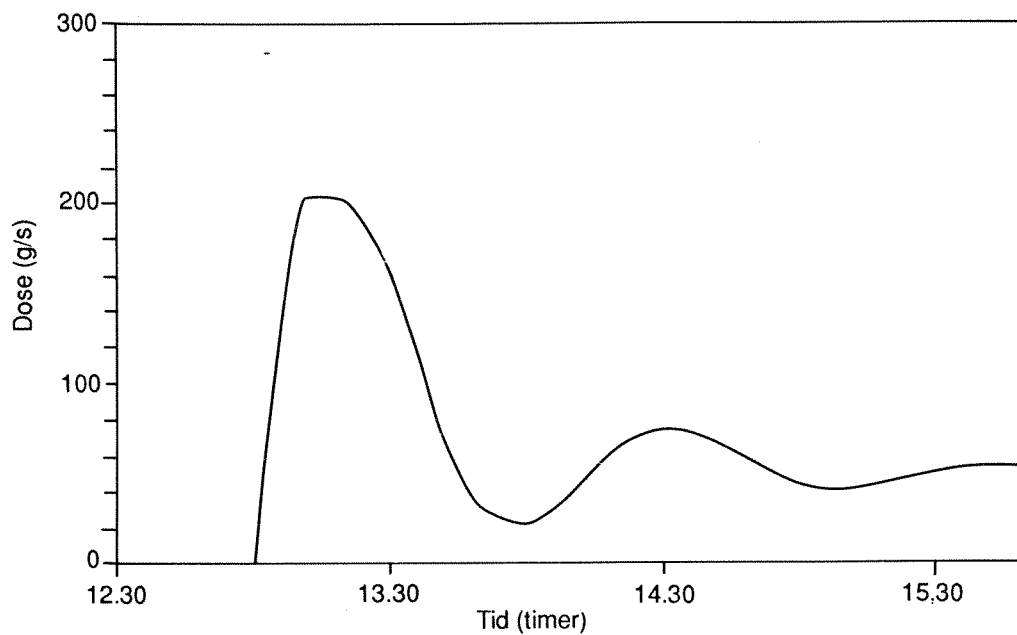
Dosering = $20 \cdot \text{dpH}$

I-tid = 0 min

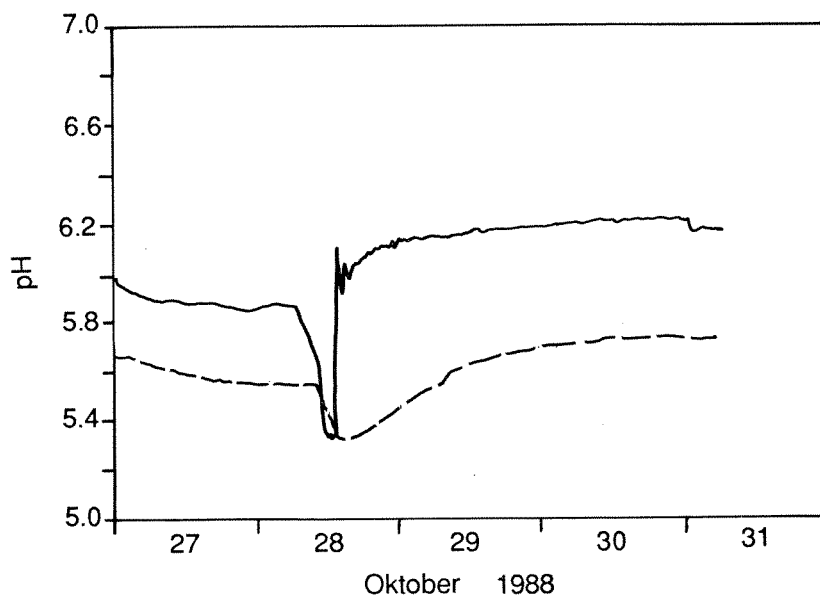
målpH = 6.2

Dette forsøket ble iverksatt fordi det var en middels flom i vassdraget, som ifølge værmeldingen ville øke. Forsøket ville da gi et mål på anleggets evne til å holde en akseptabel vannkvalitet også i en flomsituasjon i vassdraget med pH-styring alene. Ved start av forsøket var vannføringen $12 \text{ m}^3/\text{s}$ og pH nedstrøms kalkingsanlegget var 5.3 (figur 12).

Regnværet stanset imidlertid raskt og vannføringen avtok til et mer normalt nivå (se figur 3).



Figur 12. Resultater fra forsøk 9.



Figur 13. pH oppstrøms og nedstrøms kalking under en nedbørepisode i oktober 1988. Vannføring er vist i figur 3.

Bare doseringsdata fra de første timene er registrert og vist i figur 12 sammen med pH-data. I figur 13 er pH oppstrøms og nedstrøms kalkdosering vist for denne episoden.

Ved oppstartning ga anlegget en kraftig overdosering, opp til 200 g/s. Det svarer til en kalkkonsentrasjon på 17 g/m^3 .

Svingningene i dosering ble imidlertid raskt redusert når pH i vassdraget økte. 2 - 2 1/2 time etter start stabiliserte pH seg på et nivå rundt pH 6.0. Etterhvert som vannføringen avtok utover i forsøket var det en jevn og avtagende dosering. I siste del av forsøket (29.10-31.10) var doseringen stabil på omkring 1.5 g/m^3 , og pH ble hevet opp til nivå med mål pH.

Forsøksbetingelsene for de 9 forsøkene kan sammenfattes som i tabell 1. De enkelte forsøk kan deles inn i to hovedgrupper, nemlig forsøk med og uten innlagt integreringstid for pH-beregning.

Tabell 1. Forsøksbetingelser under korttidsforsøkene.

Forsøk nr.	Doseringsfunksjon	Integreringstid	Mål-pH
1.	5 * dpH	15 min	6.2
2.	20 * dpH	15 min	6.2
3.	5 * dpH	15 min	6.3
4.	5 * dpH	5 min	6.3
5.	5 * dpH	0 min	6.2
6.	10 * dpH	0 min	6.2
7.	10 * dpH	0 min	6.3
8.	20 * dpH	0 min	6.2
9.	20 * dpH	0 min	6.2

4.2. Ordinær drift

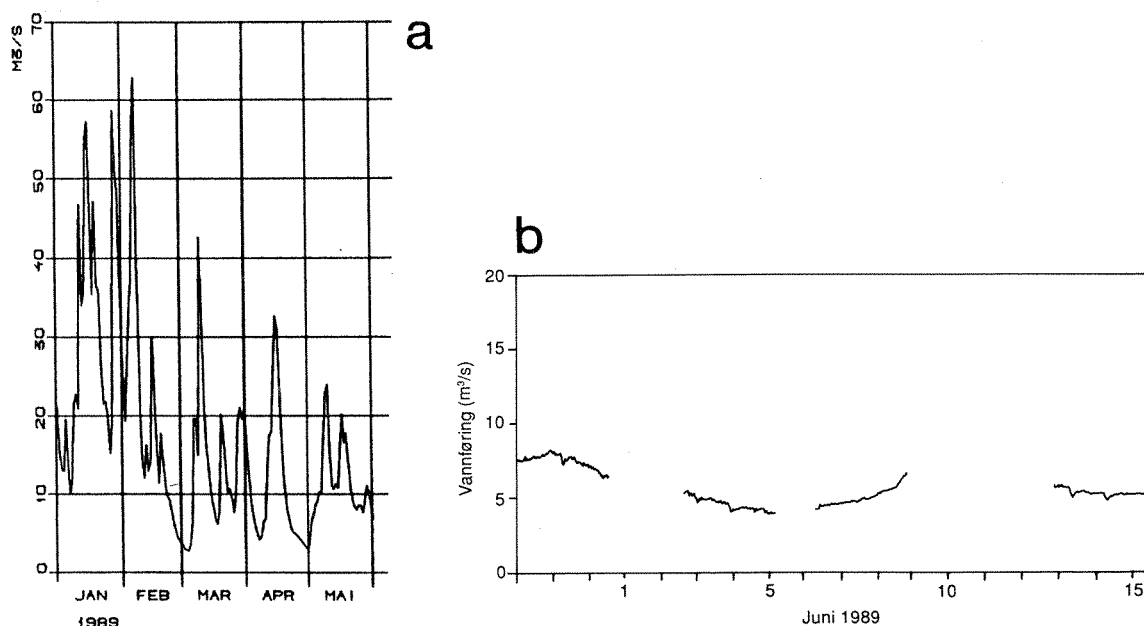
Fra 1. april 1989 ble kalkdoseringsanlegget stilt inn for styring etter pH nedstrøms anlegget. Planen var å se om dette styringsprinsippet kunne erstatte styring etter vannføring i den ordinære driftsperioden for anlegget.

I hele den perioden som omtales her, dvs. april - juni 1989, ble anlegget styrt utelukkende på grunnlag av pH nedstrøms kalkingsanlegget. Styringsparametrene var som i korttidsforsøk 8 og 9, men målpH ble satt til 6.3.:

Dosering = 20 dpH
 I-tid = 0
målpH = 6.3

MålpH ble satt til 6.3 for at pH i elva skulle legge seg på omkring 6.2. Erfaringene fra korttidsforsøkene viste at pH la seg noe under den innstilte målpH. Det ble antatt at $\text{pH } 6.2 \pm 0.1$ gir smolt og presmolt akseptabel vannkvalitet i Vikedalselva.

Vannføring våren 1989 er vist i figur 14. Mens det var betydelig avrenning hele vinteren 1989, var det bare moderat vannføring i april, mai og første halvdel av juni. Årsaken er at vinteren 1989 var svært mild, slik at nedbøren kom som regn. Det var svært liten snøakkumulasjon og dermed helt ubetydelig snøsmelting i april og mai.



Figur 14. Vannføring målt ved a) Holmen bro i Vikedalselva våren 1989 (data fra NVE, vannmerke 2479 - Holmen) og ved b) kalkingsanlegget i deler av juni 1989.

Resultatene fra kalkingen er vist i figur 15-17. Figurene viser pH oppstrøms og 700 meter nedstrøms kalkingsanlegget. Enkelte vertikale utslag i figurene skyldes instrumentfeil som i de fleste tilfeller ikke har hatt betydning for kalkingen.

I perioden 01.04.89-11.04.89 lå pH oppstrøms kalking nærmest konstant på 5.4. Det var raskt avtakende vannføring i første del av denne perioden. pH etter kalking var nærmest konstant omkring 6.2. Ved vannføring på 4-6 m³/s var det svingninger i pH nedstrøms kalking med amplitude på maksimalt 0.15 pH-enheter.

Den 11.04.89 satte det inn med kraftig regnvær og påfølgende flom i elva. Vannføringen stabiliserte seg på 17-18 m³/s før den økte ytterligere fram til kulminasjon. Flommen kulminerte den 15.04.89, med midlere døgnvannføring på 32 m³/s. pH oppstrøms kalking avtok umiddelbart til 5.05 da flommen startet. pH økte deretter i perioden med stabil vannføring, men avtok raskt igjen til 5.05 ved ny vannføringsøkning.

I denne perioden, med to markerte vannføringsøkninger og raskt avtakende pH i vassdraget, førte kalkingen til en jevn og akseptabel vannkvalitet. pH nedstrøms kalking avtok fra 6.2 til 6.1 fram mot kulminasjonen av flommen.

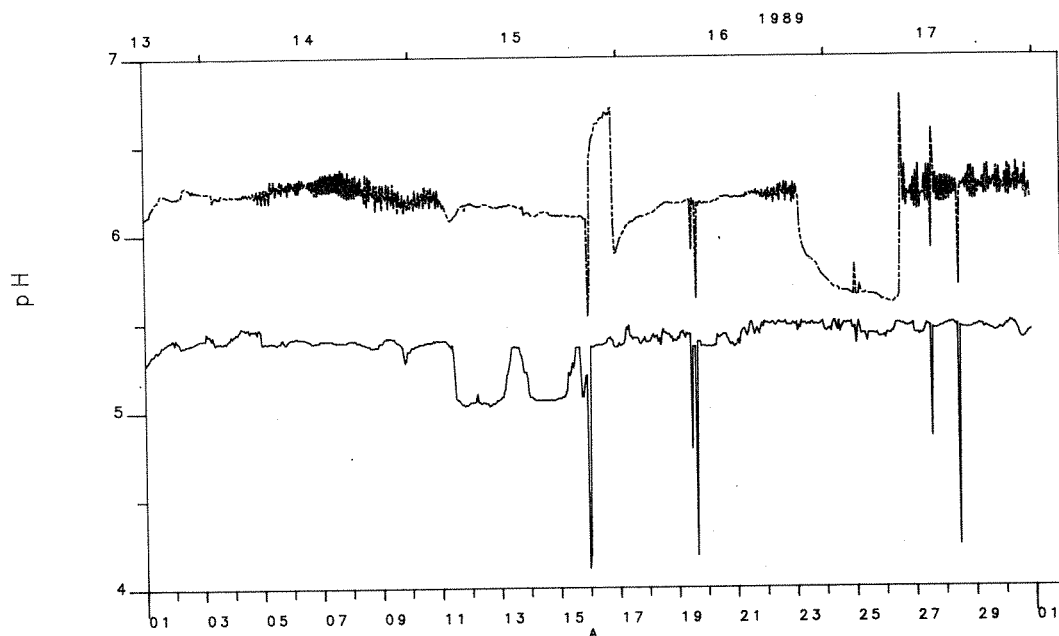
Den 16.04.89 var det et strøbrudd som førte til at pH-signalet etterpå viste 6.8 (vises i figur 15) og doseringen stoppet. Figur 15 viser at det forårsaket et fall i pH til omkring 5.8. pH kom raskt tilbake til ønsket nivå når doseringen startet igjen.

Fram til 02.05.89 var pH oppstrøms kalking stabil mellom 5.4 og 5.5. I perioden 23.04.89-26.04.89 var det driftsavbrudd. pH nedstrøms kalking avtok raskt fra 6.2 til 5.8, men saktere videre ned mot 5.6. Avbruddet viser betydningen av at det ligger sedimentert kalk i elva. Kalken løses opp og gir en betydelig langtidsvirkning.

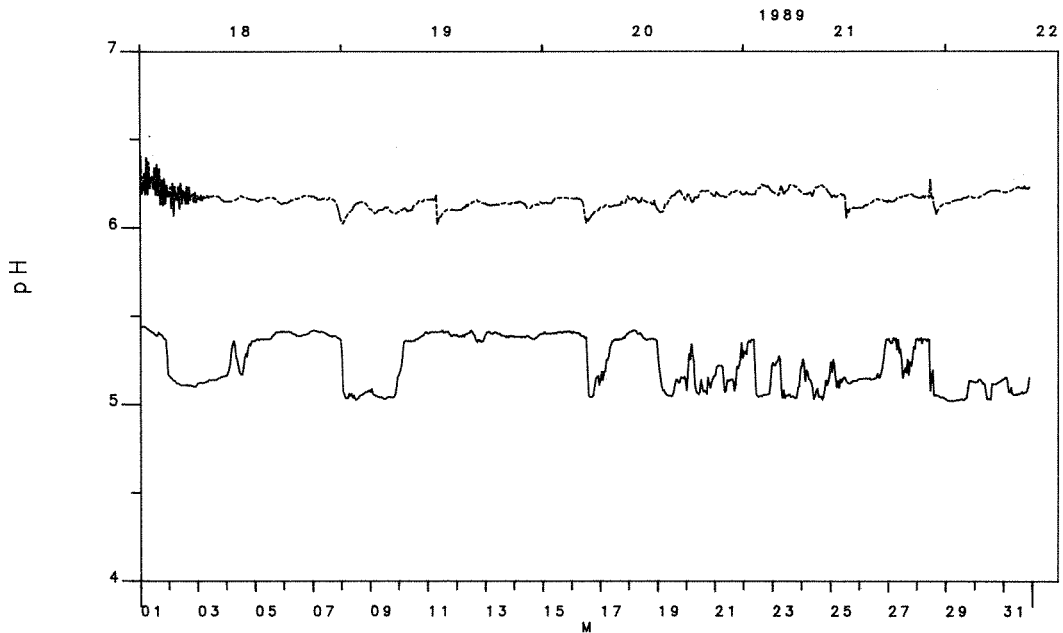
Med unntak av den ovenfornevnte periode med avbrudd i kalkingen og påfølgende avtak i pH nedstrøms kalking, har pH nedstrøms kalking vært nærmest konstant omkring 6.2 i resten av

måleperioden. I siste halvdel av mai var det store variasjoner i pH oppstrøms kalking selvom vannføringen målt som døgnmiddel var relativt konstant omkring 8-10 m³/s.

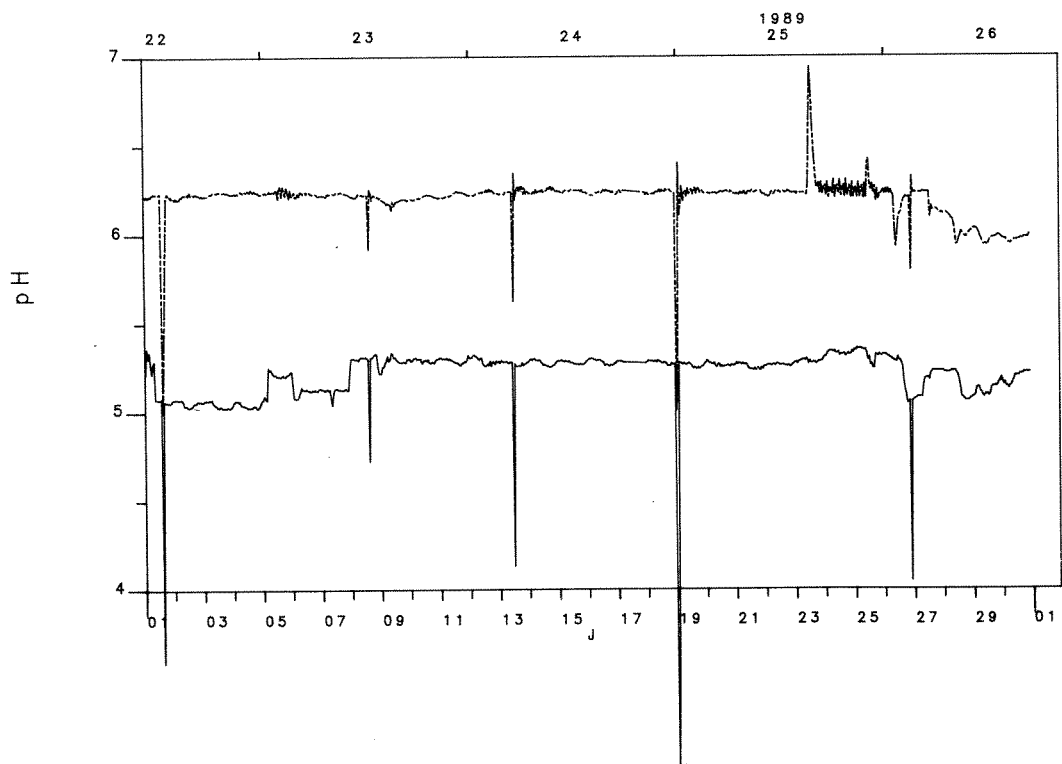
Episoder med raskt avtakende pH i elva førte til at pH nedstrøms kalking i en kort periode ble redusert med 0.1 pH-enhet. Det skjedde f.eks den 08.05.89 og den 16.05.89. Begge ganger ble midlere døgnvannføring doblet på kort tid, fra omkring 10 m³/s til 20 m³/s.



Figur 15. pH oppstrøms og 700 nedstrøms kalking i Vikedalselva i april 1989.



Figur 16. pH oppstrøms og 700 nedenfor kalking i Vikedalselva i mai 1989.



Figur 17. pH oppstrøms og 700 nedenfor kalking i Vikedalselva i juni 1989.

5. DISKUSJON

pH-nivået 500-1000 meter nedstrøms et kalkdoseringsanlegg er bestemt både av korttids- og langtidsoppløsning av kalk (Hindar 1986). Med langtidsoppløsning menes oppløsning av den kalk som ikke løses umiddelbart og legges igjen på elvebunnen.

Mens korttidsoppløsningen kan være 30-70 % for våtdosert vassdragskalk (Sverdrup et al. 1985), kan årlig oppløsning trolig være nærmere 100 %. Den økonomiske gevinsten ved å dosere kalk etter resultatet av kalkoppløsningen de første 500-700 metrene etter dosering kan derfor være betydelig ved at kalkforbruket blir mindre (Hindar 1986).

Forsøkene med å styre kalkdosering etter pH nedstrøms kalkingsanlegget i Vikedalselva hadde to hovedsiktemål. Det skulle undersøkes om det var mulig å oppnå en på forhånd ønsket stabil pH-verdi nedenfor kalkdosering med dette styringsprinsippet. En ville dessuten skaffe seg driftserfaring med slik styring.

5.1. Korttidsforsøk

De 9 korttidsforsøkene som er utført har vist at det er mulig å oppnå den skisserte målsettingen innenfor rammen av korttidsforsøk. Variasjon av forsøksbetingelsene ga imidlertid store utslag i doseringsintensitet og stabilitet i vannkvaliteten i elva.

I det følgende vil resultatene bli vurdert etter:

1. Om en stabil vannkvalitet er nådd innenfor det ønskede pH-nivå, her satt til målpH \pm 0.1 pH-enhet
2. Om doseringen har vært jevn

Det siste punktet har betydning for i hvilken grad en kan regne med stabil drift av kalkingsanlegget.

I forsøk 1 ga kombinasjonen av lang integreringstid og relativt liten vekt på differansen mellom resultatpH og målpH ($k_1 = 5$) et akseptabelt resultat i forsøksperioden (figur 3). pH ble liggende noe under målpH og doseringen var meget stabil. Dette første forsøket ble imidlertid gjennomført på bare tre timer, slik at vi vil være forsiktige med konklusjonene her.

I forsøk 2 var integreringstiden fra forsøk 1 beholdt, men vektleggingen på pH-differansen var svært stor ($k_1 = 20$). Dette ga meget store svingninger i dosering, fra 23 g/m³ og til full stopp i dosering på noe under en time. pH svingte til noe under akseptabel nedre grense, men ble svært høy før verdien begynte å synke igjen. En slik dosering vil gi et unødigt stort kalkforbruk og uønskede svingninger i dosering.

Forsøk 3 ble gjennomført som forsøk 1, men med høyere målpH. Til tross for relativt store svingninger i både dosering og pH, må forsøket betraktes som akseptabelt. Vannføringen varierte en del under forsøket uten at det innvirket på pH nedstrøms dosering.

Integreringstiden ble satt ned i forsøk 4. Det førte til uakseptable variasjoner i dosering, men pH varierte innenfor det akseptable området. I perioder under dette forsøket stoppet doseringen helt opp til tross for relativt høy vannføring. Høyere vannføring enn i forsøk 3 førte til raskere svingninger i dosering og pH nedstrøms kalking.

I forsøk 5 var integreringstiden satt til 0. Den relativt lave vektleggingen på pH-forskjellen ($k_1 = 5$) ga svært jevn dosering i takt med fallende vannføring og meget stabil pH etter kalking. pH-verdien lå imidlertid 0.1 pH-enhet under målpH i den stabile fasen av forsøket. Disse styringsbetingelsene vil likevel kunne gi den ønskede pH-verdi i elva ved at målpH legges noe over ønsket vannkvalitet i elvevannet.

Også forsøk 6 ble gjennomført uten integreringstid, men nå var vektleggingen på differansen mellom resultatpH og målpH økt ($k_1 = 10$). Dette ga fortsatt stabil dosering og dessuten en pH-verdi i elva som var nærmere målpH.

Forsøk 7 ble gjennomført med høyere målpH (6.3) men ellers samme betingelser som forsøket foran. Resultatet var som for forsøk 6, stabil dosering og pH noe under målpH.

I forsøk 8 ble vektleggingen på pH-differansen ($k_1 = 20$) økt mens integreringstiden fortsatt var satt til 0. Disse betingelsene ga stor variasjon i dosering. Doseringen ble redusert ned til full stopp i hver syklus under den lave vannføringen i forsøksperioden. Dette er ikke ønskelig hvis stans i dosering fører til problemer med automatisk drift av kalkingsanlegget. pH var imidlertid svært stabil i forsøksperioden og svingte hele tiden omkring mål-pH. Det var lav vannføring under dette forsøket. Det er trolig grunnen til de store svingningene i dosering.

Forsøk 9 ble gjennomført en uke etter forsøket foran. Det ble startet opp fra NORCEMs kontor i Brevik. Kalkingen ble igangsatt i begynnelsen av en nedbørepisode med raskt fallende pH i Vikedalselva. Forsøksbetingelsene var som i forsøk 8. Etter kort tid var den relativt betydelige vannmassen i elva (vannføring = $12 \text{ m}^3/\text{s}$) avsyret. pH var svært stabil etter en kort fase med noe svingninger i pH under målpH. pH stabiliserte seg nær målpH mens vannføringen i elva raskt avtok.

Forsøkene viser at styring etter pH omkring 700 meter nedstrøms kalkdosering alene kan gi meget gode resultater innenfor rammen av korttidsforsøk (timer-dager).

For kalking av Vikedalselva vil mulighetene for en rask endring i dosering ved en endring i vannføring og/eller pH være viktig. Dette kan oppnås ved en jevn endring i dosert kalkmengde. pH nedstrøms kan holdes på et på forhånd fastsatt stabilt nivå.

Resultatet både på doseringssiden og vannkvalitetssiden er sterkt avhengig av hvordan styringsparametrene er satt opp i dette anlegget.

Det finnes flere kombinasjoner som gir akseptable resultater. Forsøksbetingelsene i forsøk 6 og 7 er i prinsippet helt like. De

ble gjennomført uten integreringstid og med $k_1 = 10$. Forsøk 8 ga et meget stabilt pH-nivå, men store svingninger i dosering ved den svært lave vannføringen. Med samme betingelser ble imidlertid doseringen jevnere ved høy vannføring. Integreringstiden var fortsatt 0, men k_1 var økt til 20 i disse to forsøkene. Ved lav k_1 , ble det oppnådd et pH-nivå som lå noe i underkant av det som betraktes som akseptabelt. Her vil det imidlertid trolig bare være å sette målpH noe høyere for å oppnå den ønskede vannkvaliteten i elva.

Når det innføres en integreringstid for beregning av resultatpH, ser det ut til at både dosering og pH kan svinge mer enn det som bør aksepteres. Årsaken til at integreringstiden fører til slike svingninger er den relativt store tidsforsinkelsen som allerede ligger mellom sensor og styringsenhet i Vikedalselva. Ytterligere tidsdemping er derfor uheldig.

5.2. Ordinær drift

På bakgrunn av resultatene fra korttidsforsøkene i oktober 1988 ble det avgjort at prinsippet med å dosere kalk etter pH nedstrøms kalkingsanlegget, dvs. etter resultatet av kalkingen, skulle brukes under ordinær drift av anlegget våren 1989. Det ble anbefalt å forsøke kombinasjonen fra forsøk 8 og 9 med å sette k_1 til 20 og integreringstiden til 0.

Grunnen til at k_1 ble satt til 20 og ikke 10 var at en større vektlegging på differansen mellom resultatpH og målpH ville gi raskere respons på endringer i vannkvalitet i vassdraget. Denne kombinasjonen skulle beholdes inntil den eventuelt ga et uakseptabelt resultat. Det var av stor interesse å undersøke om ett sett styringsparametre ville være tilstrekkelig for alle variasjoner i vannføring og pH.

Resultatene fra den ordinære driftsperioden viser at styring av kalkdosering etter pH nedstrøms kalking kan gi svært stabil vannkvalitet og stabil kalkdosering selv ved raske variasjoner i vannføring og pH. Det er mulig å oppnå en på forhånd fastsatt pH-

verdi i elva nedstrøms kalking. Variasjonen omkring denne pH-verdien ser ut til å være svært liten, maksimalt 0.1 pH-enhet, selv ved raske vannstandsøkninger og pH-avtak.

Det antas at styring etter pH nedstrøms kalking er mest aktuelt i større vassdrag, der det er mulig med vesentlige innsparinger på kalkutgiftene. Utgifter til kabel, pH-sensor, EDB-utstyr osv. vil være lave i forhold til de innsparinger en kan regne med på kalkingssiden.

Ved en tradisjonell kalkingsstrategi, der kalkdoseringen legges i overkant av tilstrekkelig mengde for å være på den sikre siden, kan en anta at pH i gjennomsnitt ville ligge på 6.5 i vassdraget. Ved den optimale kalkingen som ble gjennomført i april, mai og juni i 1989 lå pH på 6.2. Denne differansen i resultatpH har økonomisk betydning for kalkingstiltaket og kan beregnes.

Hindar og Lien (1988) viser forholdet mellom pH og kalsium i Vikedalselva på grunnlag av 150 datapar for 1987. Hvis pH i elva etter kalking økes fra 6.2 til 6.5, så øker kalsiumkonsentrasjonen fra 1.1 mg Ca/l til 1.5 mg Ca/l, dvs. med 0.4 mg Ca/l. Den totale vannmengden i april og mai var 59 mill. m³. Dette er et lavt tall fordi vårmeltingen uteble nesten fullstendig.

Hvis kalkprisen settes til kr. 500.-/tonn kan en gjøre følgende beregning av innsparing ved å optimalisere kalkingen:

$$\text{Innsparing} = \text{Ca-diff.} * K * \text{Vannmengde} * \text{Kalkpris},$$

der K er en konstant for omgjøring fra
mg Ca/l til tonn kalk.

Innsparingen for denne perioden er beregnet til kr. 30.000.-. For ett år med middelavrenning på 85 l/s*km² vil kostnadsbesparelsen beregnet på denne måten bli hele kr. 150.000.-. Slike muligheter for kostnadseffektiv kalking kan gjøre det mere aktuelt å sette igang større vassdragskalkinger i framtida.

MålpH behøver ikke holdes på samme nivå gjennom hele året. Det vil alltid være mulig å endre denne verdien mens kalkingen pågår. Det kan f.eks. være at en ønsker å redusere pH i elva ned mot 5.5 når den kritiske smoltifiseringsperioden er over og fram til høsten. Jo bedre kjennskap en har til elva og fiskens vannkvalitetskrav, jo større er mulighetene for å gjennomføre en kostnadseffektiv kalking.

Forsøkene som er rapportert her antas å gi et representativt bilde av det styringsprinsippet som er brukt. I andre vassdrag kan det være at endringer i styringsparametrene gir bedre resultat. Det bør undersøkes før en setter nye anlegg i ordinær drift.

Hvis det er nødvendig med hyppig tilsyn med et kalkingsanlegg bør en vurdere om manuell prøvetaking og manuell regulering av kalkdoseringen kan erstatte dette relativt avanserte driftsopplegget. I vassdrag med store innsjøbassenger, mindre nedbør og et større løsmassedekke enn i Vikedal, vil vannføringen endre seg saktere. Da bør dette momentet tillegges særlig vekt.

6. REFERANSER

Henriksen, A., Skogheim, O.K. og Rosseland, B.O. 1984. Episodic changes in pH and aluminium-speciation kill fish in a norwegian salmon river. *Vatten*, 40: 225-260.

Hindar, A. 1987. Long-term dissolution of sedimented limestone powder in running water. Consequences for liming strategy and interpretation of liming efficiency data. *Vatten*, 43: 54-58.

Hindar, A. og Lien, L. 1988. Overvåking av Vikedalselva i forbindelse med kalking i 1987. O-87087, NIVA, Grimstad. 33 s.

Statens forurensningstilsyn (SFT) 1983. Vannkjemiske og fiskebiologiske undersøkelser i Vikedalsvassdraget 1981-1982. Vannkvalitet og fiskedød våren 1982. Overvåkingsrapport 97/83. SFT/NIVA. 64 s.

Sverdrup, H.U., Warfvinge, P.G. and Frazer, J. 1985. The dissolution efficiency for different stream liming methods and technologies. *Vatten*, 41: 155-163.