

Kalking av surt vann

1/88

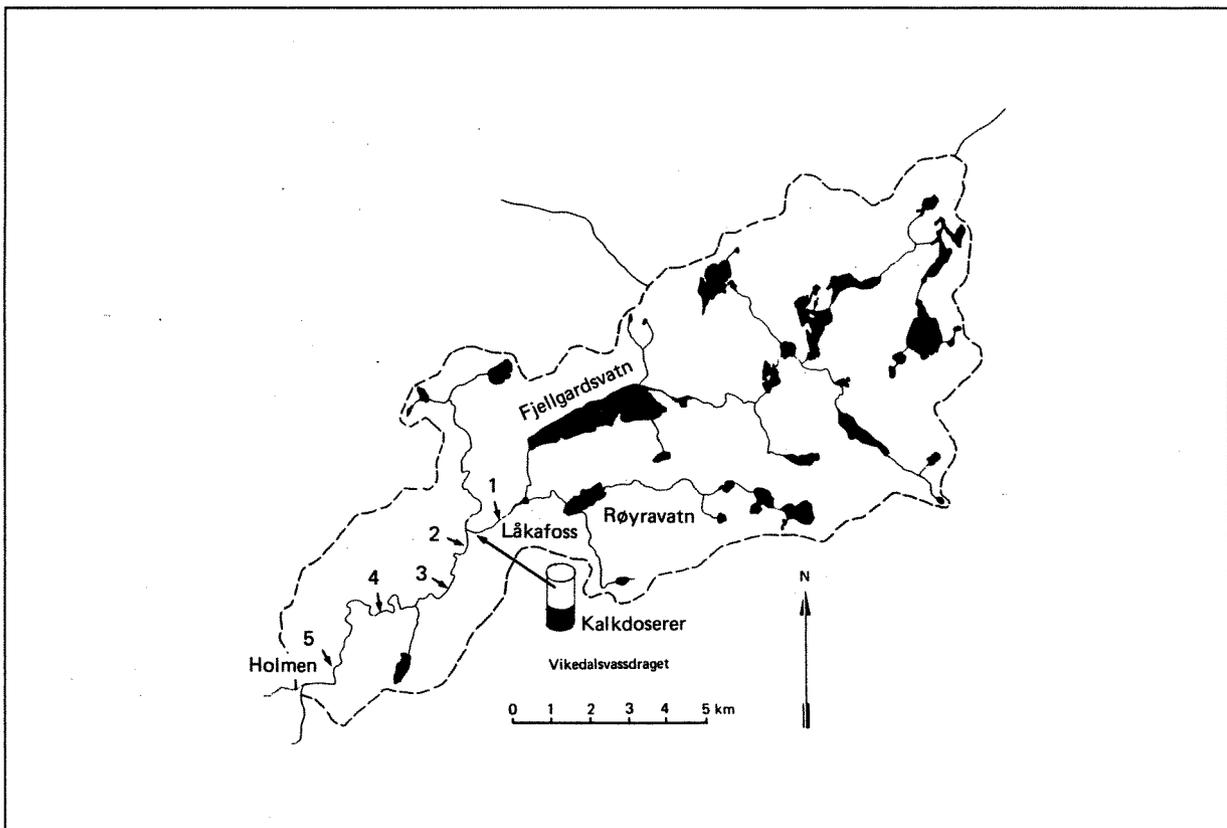
Oppdragsgiver

Direktoratet for naturforvaltning

NIVA

Deltakende institusjon NIVA

Overvåking av **Vikedalselva** i forbindelse med kalking 1987



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 33

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:

2096

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Overvåking av Vikedalselva i forbindelse med kalking i 1987. (Kalkingsrapport 1/88)	Dato: 26.02.88
	Prosjektnummer: O-87087
Forfatter (e): Atle Hindar Leif Lien	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Rogaland
	Antall sider (inkl. bilag): 33

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

Ekstrakt: Vikedalselva ble kalket våren 1987. Kalkingseffektene er fulgt med manuell prøvetaking og kontinuerlig registrering og overføring av pH-data fram til oktober samme år. Kalk ble overdosert i hele kalkingsperioden p.g.a. ufullstendig vannføringskurve og manglende rutiner for bruk av vannkjemidata. Betydelig langtidsoppløsning av kalk kan gi grunnlag for endret kalkingsstrategi. Det er gjennomført forsøk med forskjellige fiskearter i kalket og ukalket vann. Enkelte avbrudd i kalkingen og uheldig plassert vanninntak til forsøkskarene resulterte i betydelig dødelighet av laks.

4 emneord, norske:

1. Kalkdosering
2. Overvåking
3. Forsuring
4. Fiskeforsøk

4 emneord, engelske:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:

Atle Hindar

For administrasjonen:

Arne Hindar

ISBN - 82-577-1369-4

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD

Overvåking av Vikedalselva
i forbindelse med kalking i 1987.

Grimstad, mars 1988

Saksbehandler: Atle Hindar

Medarbeidere: Leif Lien
Arne Henriksen
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 og 1987. Kommunen står selv som prosjektleder, mens NORCEM A/S er kalkleverandør.

Vikedalselva ble i 1987 bare kalket under vårmeltingen. Kalkingen startet den 2. mars 1987. I brev av 29. april 1987 fikk NIVA i oppdrag av Direktoratet for naturforvaltning å overvåke vannkvaliteten i forbindelse med kalkingen.

Automatisk registrering av pH gjennomføres av NIVA i forbindelse med programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør som administreres av Statens forurensningstilsyn (SFT). Fra mars 1987 ble også pH nedstrøms kalkdosering registrert automatisk etter initiativ fra NIVA. Vannføringsmålinger ved Holmen bro er innhentet fra NVE. Vannkjemiske analyser er utført av NIVA.

NIVA har i kalkingsperioden gjennomført fiskeforsøk i kalket og ukalket vann. Disse forsøkene rapporteres her. Harald Leifsen i Vikedal har hatt daglig stell og oppsyn med fisken. Han har også samlet inn vannprøver fra elva.

Undersøkelsene er delvis finansiert av Direktoratet for naturforvaltning. NIVA har brukt egne forskningsmidler til oppfølging etter at kalkingen var avsluttet og til fiskeforsøkene.

Grimstad, mars 1988

Atle Hindar

INNHOLDSFORTEGNELSE

SIDE

1. Sammendrag og anbefalinger	4
2. Innledning	6
3. Materiale og metoder	7
4. Resultater	10
5. Diskusjon	20
6. Referanser	28
7. Primærdata	29

1. SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER

Vikedalselva i Rogaland er forsuret pga langtransportert forurenset luft og nedbør. Elva har en bestand av laks og sjøaure. Laksefisket er gått ned de siste årene, mens sjøauren ser ut til å ta seg opp.

Flere år er det registrert overdødelighet av presmolt og smolt av laks i elva under vårsmeltingen. Dette henger sammen med sur avrenning og økning i konsentrasjonen av giftige aluminiumsforbindelser.

Fra våren 1987 er Vikedalselva kalket. Kalkingen gjennomføres foreløpig bare under vårsmeltingen for å hindre akutt overdødelighet av smolt. Kalkingen ble satt igang den 2. mars 1987 og ble avsluttet den 17. mai samme år. Kalkingens effekter på vannkvaliteten er blitt fulgt opp.

Driften av kalkdoseringsanlegget har skjedd uten alvorlige avbrudd i hele perioden. Det er imidlertid registrert en kraftig overdosering av kalk. Dette har gitt unødig høy pH i elva og har påført kommunen betydelige ekstrakostnader. Disse er beregnet til ca. 65.000 kroner fra begynnelsen av april og fram til midten av mai 1987.

Årsaken til overdoseringen er delvis manglende vannføringskurve for nøyaktig dosering og delvis den seie avklaringen om den vannkjemiske overvåkingen. Vannkvalitetsdata ble ikke brukt i kalkingsperioden til å korrigere kalkdosereringen.

Målinger av vannkvaliteten etter kalkingsslutt viser at det kan regnes med en betydelig langtidsoppløsning av kalk i elva. I perioden fra kalkingsslutt midt i mai og fram til midt i oktober 1987 er det beregnet en oppløsning på ca. 45 tonn kalk. Det tilsvarer ca. 20 % av kalktransporten i elva i kalkingsperioden og har en verdi på omlag 20.000 kroner. Dette kan gi grunnlag for endret kalkingsstrategi.

Det er lagt til rette for å optimalisere kalkdoseringen i Vikedalselva. Kalkingen kan styres etter pH ca. 700 meter nedstrøms doseringen. Det anbefales at det gjøres forsøk med slik styring (feed-back-styring) for å redusere kalkkostnadene og for å oppnå et jevnere pH-nivå i elva.

De svært høye pH-verdiene som tidvis er registrert i elva (pH 8.5 over lange strekninger) ser ut til å kunne gi en utløsning av aluminium fra elvebunnen. Dette bør undersøkes nærmere, bl. a. for å se på om aluminat-fraksjonen av aluminium har giftvirkning på linje med andre aluminiumhydroksider.

Fiskeforsøkene viste at kanadarøye tolererer surt vann godt. Bare bekkerøye er mer tolerant av de artene som var med i forsøkene. Så godt som all regnbueørret og laks døde i det sure vannet, regnbueørreten døde raskest. pH lå mellom 5.0 og 5.5 i perioden med størst dødelighet.

Selvom 80 % av laksen døde etter to måneder i delvis kalket vann fra elva, overlevde de andre artene. Også regnbueørreten overlevde og det var uventet. Dødeligheten hadde sammenheng med stans og uregelmessigheter i kalkingsanlegget. Inntaket av kalket vann til fiskekarene var dessuten plassert slik at bidraget fra en sur sidebekk påvirket vannkvaliteten i karet betydelig. Laksedød oppstod ved en pH-senkning ned til 5.1 - 5.3.

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 svakt bufret fra naturens side. Forsuringssituasjonen i vassdraget overvåkes gjennom statlig program for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør.

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.

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. En generell beskrivelse av kalking som tiltak mot surt vann er gitt av Hindar (1985) og i Håndbok i kalking av surt vann (Kalkingsprosjektet 1985). Kalking er anbefalt som et midlertidig, men nødvendig tiltak for å gjenskape levelige forhold for fisk i sure vann og vassdrag (Baalsrud 1985).

Kalkingen av elva gjennomføres foreløpig bare under vårsmeltingen for å hindre akutt overdødelighet av smolt. Kalkingen ble satt igang den 2. mars 1987 og ble avsluttet den 17. mai samme år. Kalkingens effekter på vannkvaliteten er fulgt. Resultater fra kalkingsperioden og fra kalkingsslutt og fram til midten av oktober 1987 presenteres i denne rapporten. Det er gjennomført overlevelsesforsøk med ulike fiskearter, bl. a. kanadarøye, i surt og kalket vann fra elva.

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.

Kalkingen ble satt igang den 02.03.87. NIVA har registrert pH oppstrøms (st. 1) og nedstrøms (st. 2) kalkingspunktet siden 09.03.87. Kalsium er målt oppstrøms og nedstrøms kalkingspunktet siden 08.04.87.

pH er registrert kontinuerlig på stasjon 1 og 2. Timesverdier lagres på stedet i 6 døgn. Dataene kan tappes til enhver tid via telenettet. Dette gjøres nå automatisk 2 ganger pr. døgn. Et generelt system for automatisk miljødata-innsamling (EDAS) er benyttet. Denne registreringen inngår i programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør i regi av SFT.

pH og kalsium er også analysert på vannprøver tatt manuelt oppstrøms og nedstrøms kalking. Prøvene sendes til NIVA etter lagring i kjøler.

Vannføring registreres kontinuerlig ved Holmen bro (vannmerke 2479 - 0 Holmen). For å beregne kalktransport er disse målingene multiplisert med en nedbørfeltfaktor for forholdet mellom nedbørfeltet ned til stasjon 2 og det totale nedbørfeltet. Kalktransport for perioden mellom to kalsiummålinger er beregnet ved å bruke midlere vannføring og midlere kalsiumkonsentrasjon for perioden. Målingenes hyppighet framgår av primærtabellene bak i rapporten.

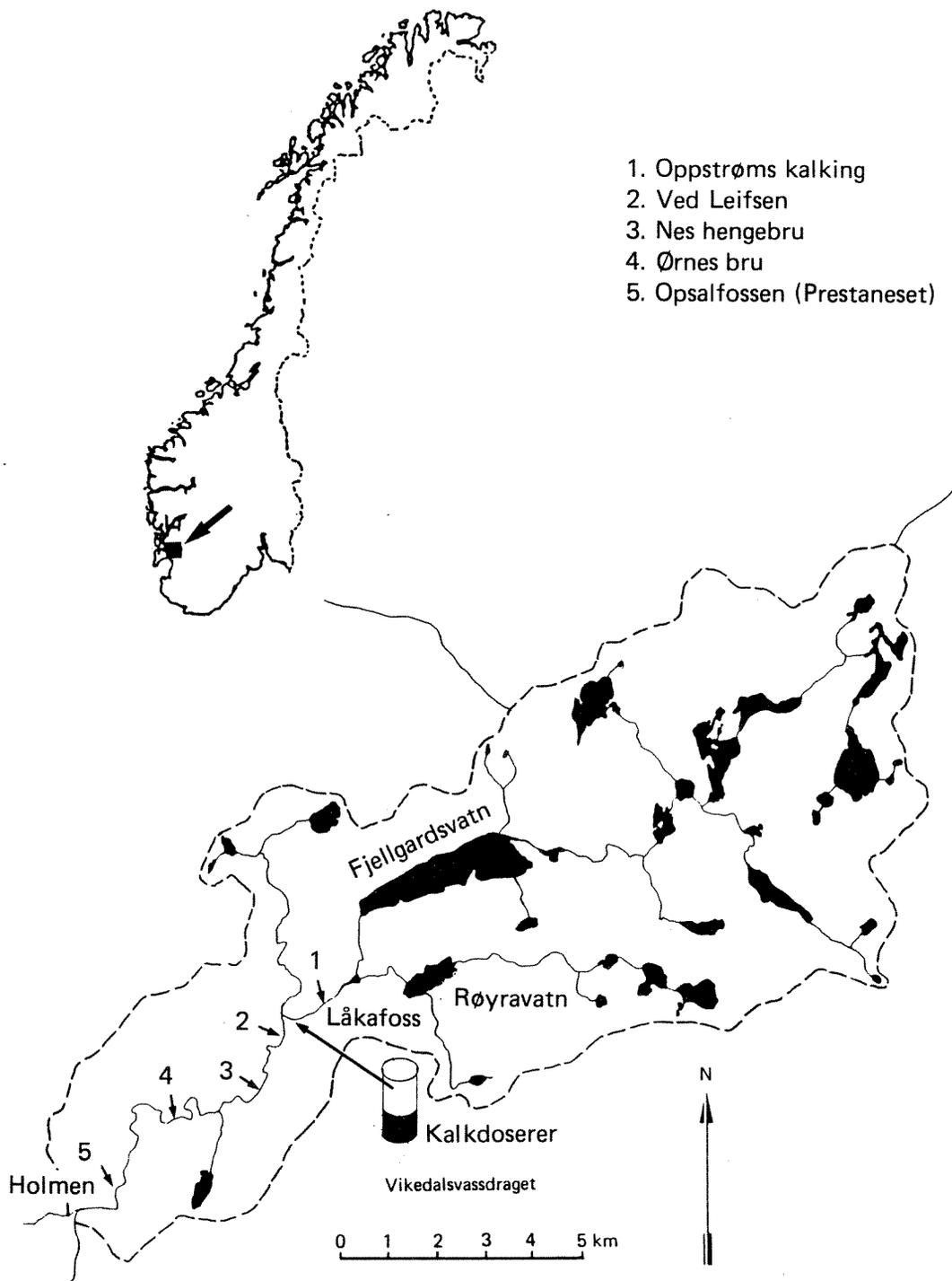
Kalkmengde er beregnet ved å anta 80 % CaCO₃ i kalken. Kalken er en fillertype med 90 % av kornene finere enn ca. 60 µm og 50 % finere enn ca. 10 µm. Denne kalktypen er brukt i en rekke forskjellige kalkingstiltak (Hindar et al. 1988).

Til fiskeforsøkene ble elvevann fra et inntak ovenfor kalkingspunktet og fra et inntak ca. 700 meter nedstrøms pumpet opp til hvert sitt fiskekar. Karene var plassert i NIVAs automatiske overvåkingsstasjon. I karene ble det satt ut regnbueørret (Salmo gairdneri), kanadarøye (Salvelinius namaycush), ørret (Salmo trutta), bekkerøye (Salvelinus fontinalis), og laks (Salmo salar).

Alle fiskeartene ble overført til Vikedal etter at de hadde gått i fiskekar ved NIVA i vann fra Maridalsvatn en tid. Unntatt her var 20 laksesmolt og -parr som i ett år hadde gått i kalket vann i Vikedal. Disse ble fett-finneklippet ca. 2 uker før forsøket startet.

Den første uken fikk begge fiskekarene kalket vann. Uken etter ble fisken i kar II gradvis tilført økende mengder ukalket vann, og fra 31.03.87 ble kar II bare forsynt med ukalket vann. Fiskene i begge karene fikk rikelig med vann og fôr (pellets) gjennom forsøksperioden, som varte fra 31.03.87 til 18.07.87. Det forekom kortere avbrudd i vanntilførslene. Fiskekarene ble da oksygenert. pH ble kontinuerlig registrert med Lids og Northrup referanseelektrode og E.I.L. glasselektrode.

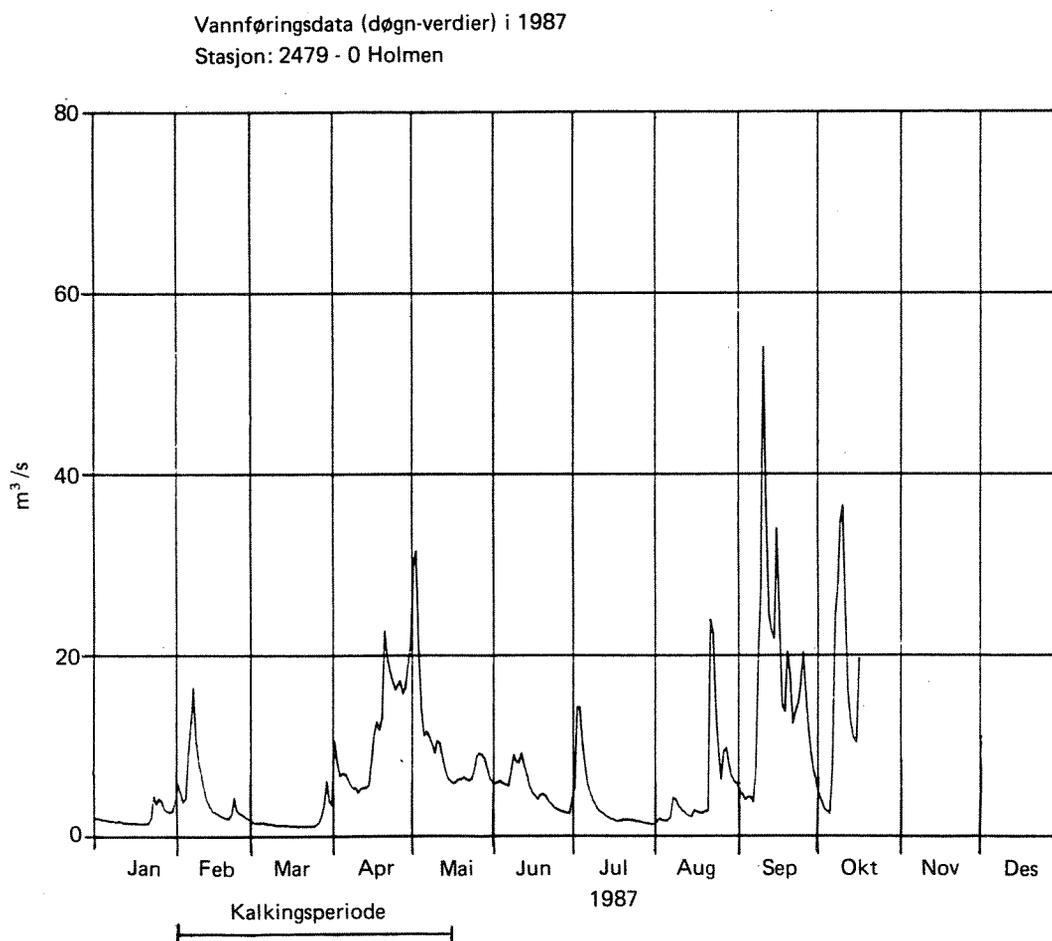
Inntaket av kalket vann var uheldig plassert og har ført til at en sur sidebekk har påvirket vannkvaliteten i perioder med lav vannføring i hovedelva.



Figur 1. Nedbørfeltet til Vikedalselva med plassering av kalkdoserer og prøvetakingsstasjoner.

4. RESULTATER

Vannføringen i Vikedalselva for 1987 er vist i figur 2. Tabell over døgnmidler finnes bak i rapporten. Hovedavrenningen våren 1987 skjedde i perioden 15.04.87 til 15.05.87. Maksimal døgnmid-
delvannføring var $31 \text{ m}^3/\text{s}$. Fram til slutten av august var det bare en mindre flomepisode med flomtopp på $14 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 2. Vannføring i Vikedalselva i 1987 (NVE).

Som figur 2 viser er vannføringen sterkt varierende i Vikedalselva. Det skyldes store nedbørmengder, lite løsavsetninger og lite magasineringsvolum i nedbørfeltet.

Figur 3 viser data fra den kontinuerlige registreringen av pH oppstrøms og nedstrøms kalkingsanlegget. Med et unntak midt i mars og to døgn i mai har pH hele tiden fram til 14.05.87 ligget under 5.5 oppstrøms kalking. Denne pH-verdien ble i anbudsinnbydelsen til kalkleverandørene satt som øvre grense for når kalking skulle skje. Det har altså vært nødvendig med kalking under hele vårsmeltingen.

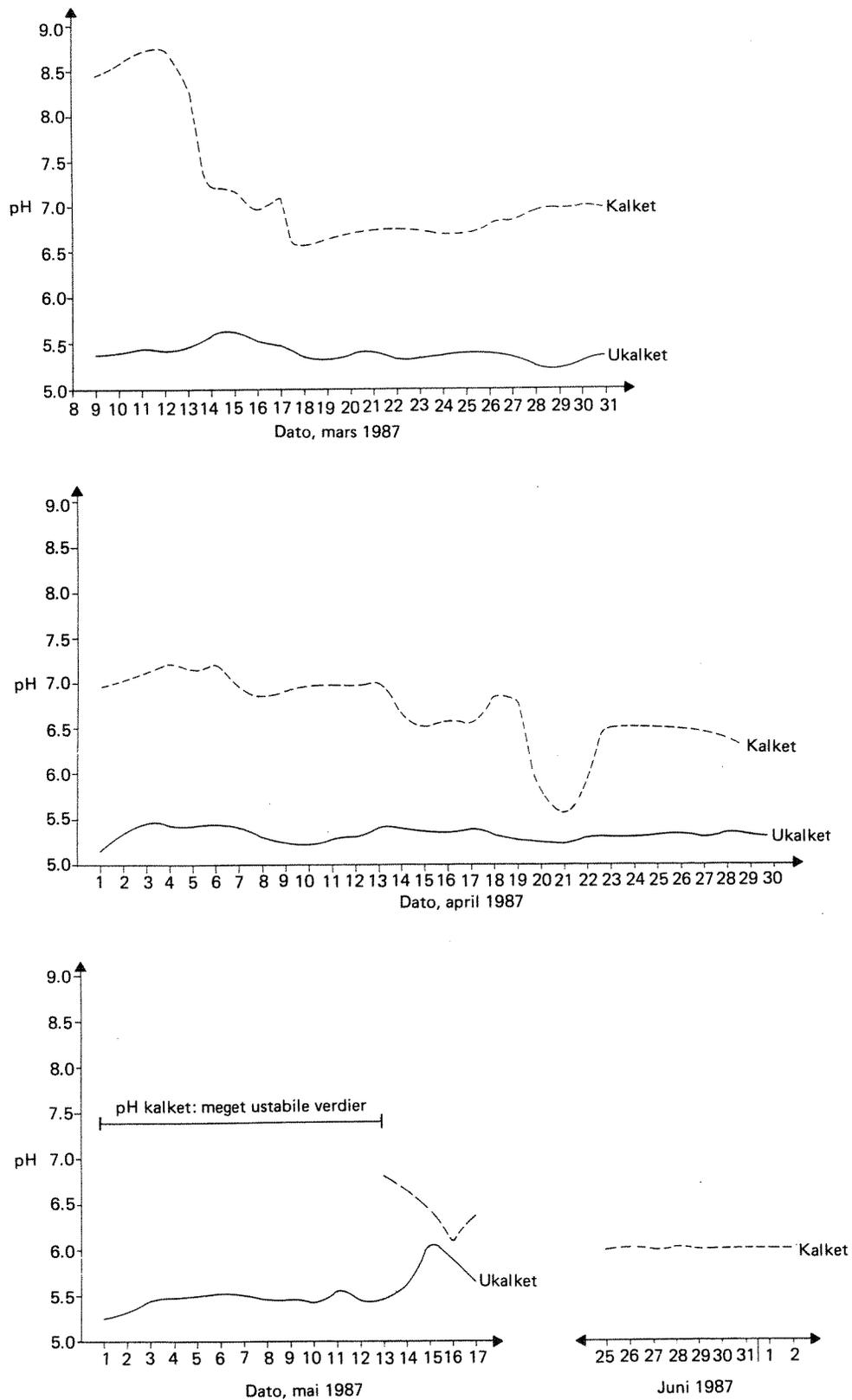
Figur 3 viser at pH etter kalking har ligget mellom 6.5 og 7.5 fram til 20.04.87. Den 21.04.87 var pH etter kalking nede i ca. 5.6 som døgnmiddel, mens laveste verdi ble registrert klokka 23.00 med pH 5.33.

pH-registreringene i kalket vann i perioden fra 28.04.87 til 17.05.87 var svært variable og døgnmidlene er ikke tatt med i figur 3. pH-registreringene i fiskekarene (figur 8) viser at kalkdoseringen har vært meget ustabil, med pH ned mot 5.0.

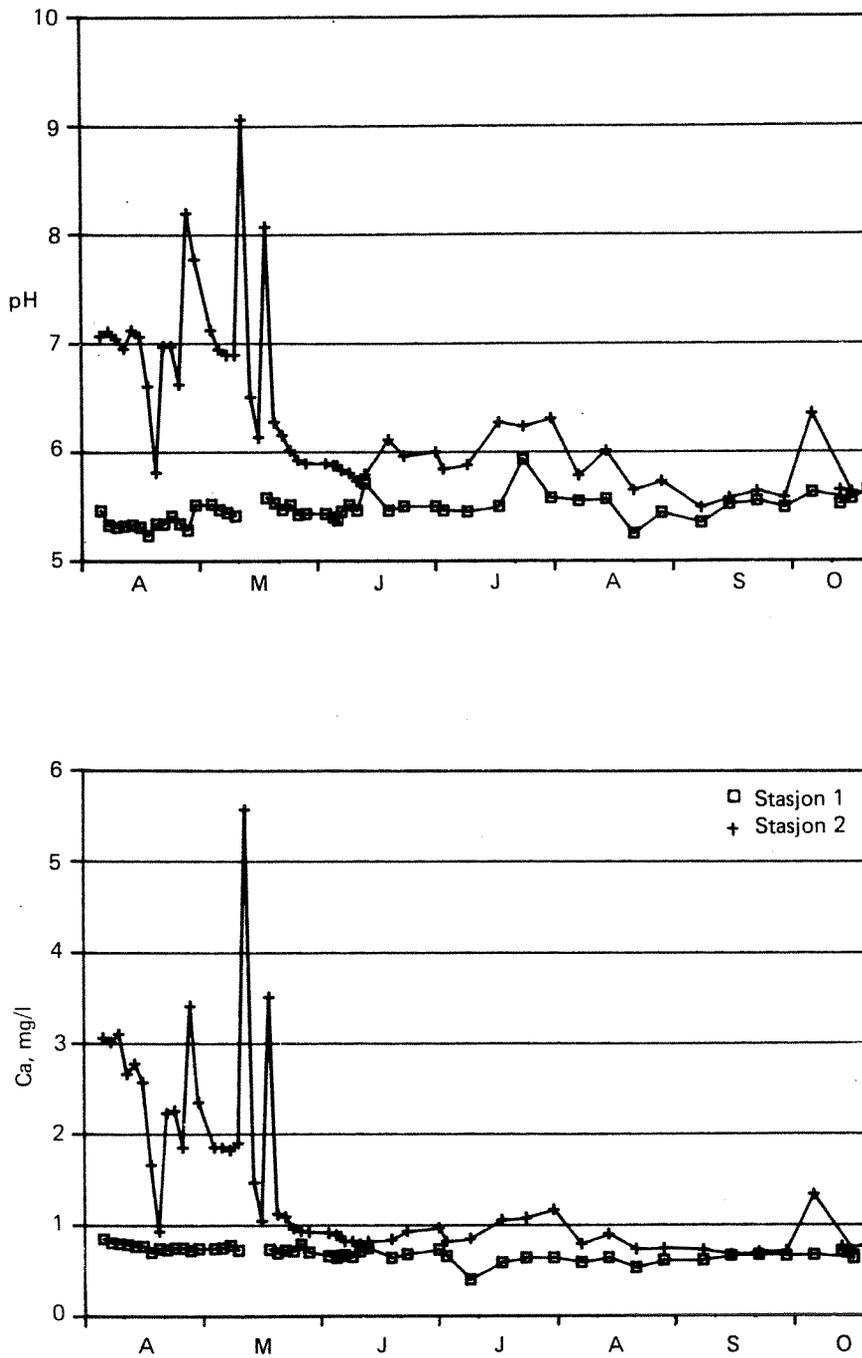
Data fra manuell prøvetaking oppstrøms og nedstrøms kalking er vist i figur 4. Vannet i elva hadde lav pH i forhold til kalsiumkonsentrasjonen i begynnelsen av april. Kalkingen har gitt store svingninger i pH, med de fleste verdier omkring 7.0.

Etter kalkingsslutt midt i mai har pH hele tiden ligget høyere nedstrøms kalkingsanlegget enn oppstrøms. Det samme gjelder kalsiumkonsentrasjonen (figur 4). Helt fram til september 1987 var denne effekten betydelig, med omkring 0.5 pH-enhet i forskjell før og etter kalking.

I september var avrenningen betydelig, over 50 m³/s den 10.09.87. I den perioden var pH-forskjellen oppstrøms og nedstrøms kalking under 0.2 pH-enheter. Det var nesten ingen forskjell i kalsiumkonsentrasjonen.



Figur 3. Automatiske registrering av pH i kalket og ukalket vann i Vikedalselva.



Figur 4. pH og kalsiumkonsentrasjoner i Vikedalselva i perioden april-oktober 1987. Resultater fra manuell prøvetaking. Stasjon 1 er oppstrøms kalking og stasjon 2 er ca. 700 meter nedstrøms kalking.

I begynnelsen av oktober var vannføringen helt nede i 2-3 m³/s som døgnmiddel (figur 2). I denne perioden ble en resterende mengde på 15 tonn kalk dosert. Det førte til en markert økning i pH og kalsium nedenfor kalkingsanlegget.

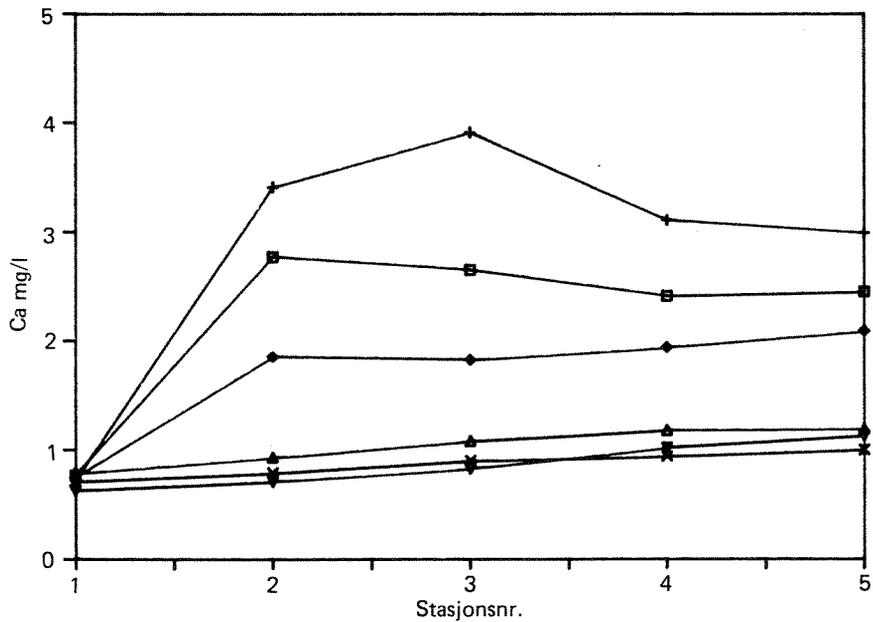
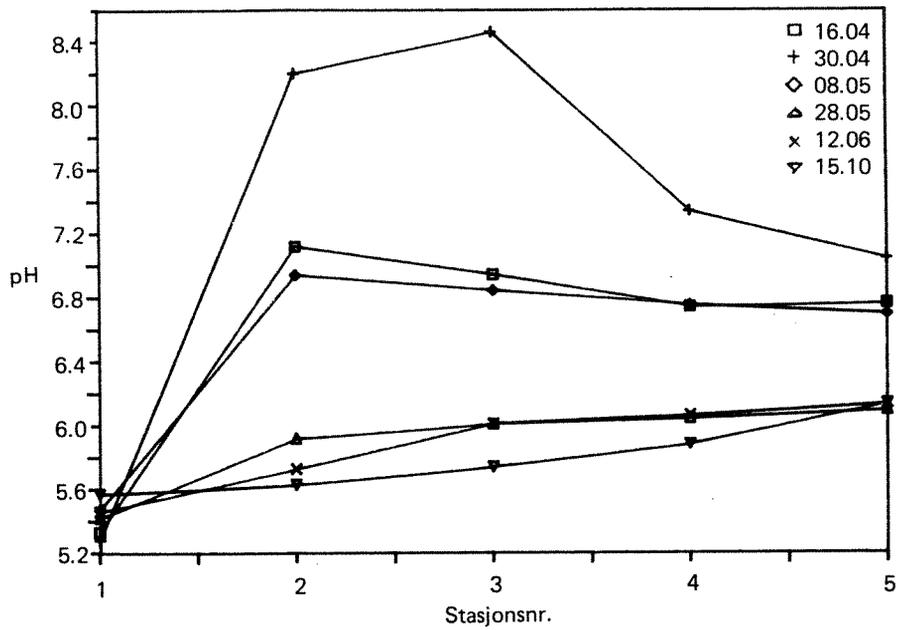
Ved beregning av kalkdosering ble det antatt at avrenningsvannet i nederste del av nedbørfeltet ikke måtte avsyres. Denne antakelsen ble kontrollert ved å måle vannkvalitet på flere stasjoner nedstrøms kalkingsanlegget.

Figur 5 viser resultater av seks slike måleserier. pH og kalsium avtar eller er relativt konstant etter kalking (de tre øverste kurvene) helt ned til utløpet. De tre nederste kurvene viser at pH og kalsium øker svakt ned mot utløpet når det ikke kalkes.

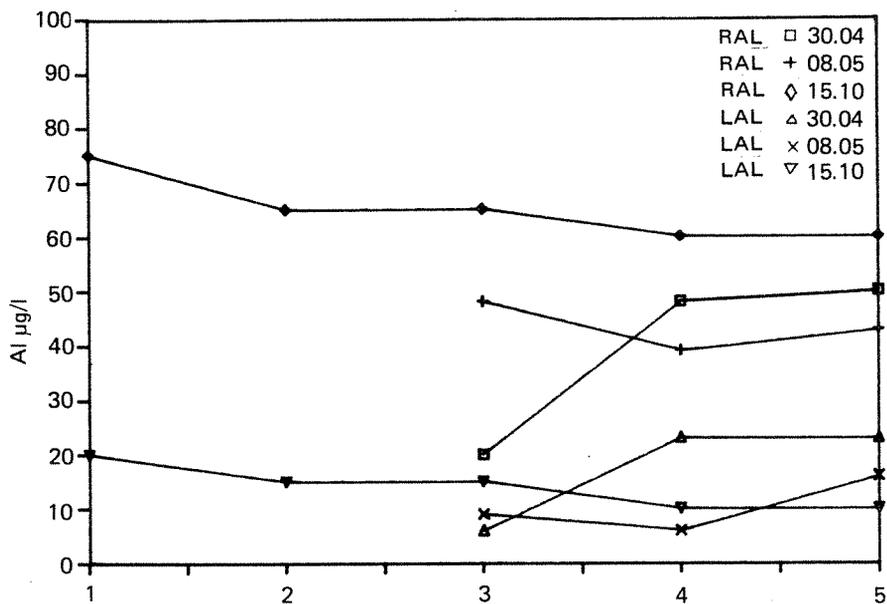
Aluminiumkonsentrasjonen i elva er målt ved enkelte anledninger i 1987. Resultater fra målingene er vist i figur 6. De tre øverste kurvene viser konsentrasjonen av reaktivt aluminium. Alle verdiene ligger under 80 µg Al/l. Den antatt giftige fraksjonen for fisk, labilt aluminium, er hele tiden under 30 µg Al/l. Den 15.10.87 er det en svak nedgang i konsentrasjonene av begge fraksjoner fra oppstrøms kalking og ned til utløpet.

Filtrering av kalket vann ga som resultat at oppløst kalsium utgjorde omkring 95 % av total kalsium. Det vil si at det har vært svært små mengder kalkpartikler i vannet ved stasjon 2. En måling viste at bare 75 % var løst. Da var imidlertid kalsiumkonsentrasjonen 5.5 mg Ca/l, altså svært høy. Disse målingene viser at ved en kalsiumkonsentrasjon på 2-3 mg Ca/l vil omkring 95 % av den transporterte kalken være oppløst ved stasjon 2.

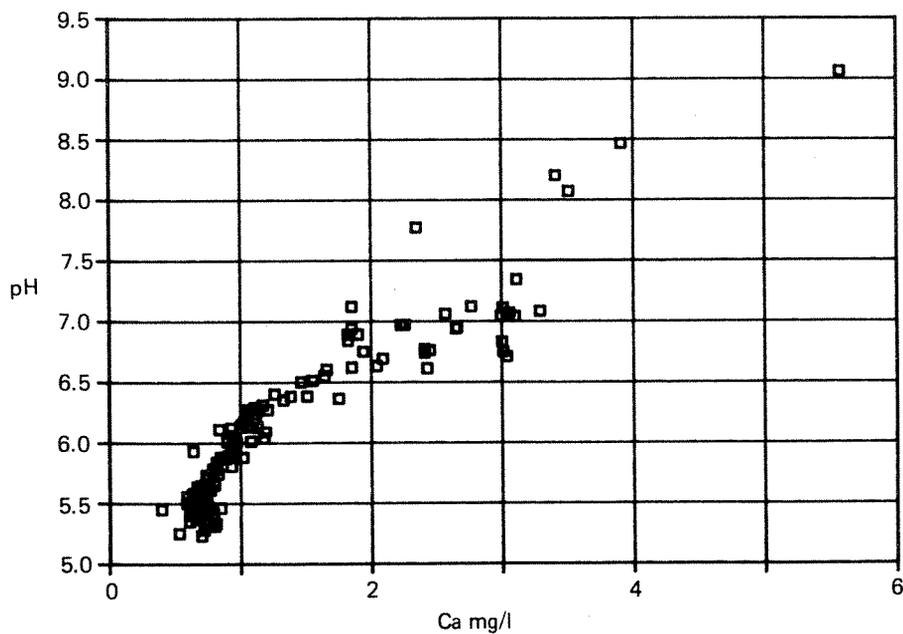
I figur 7 er pH avsatt mot kalsiumkonsentrasjon for alle vannprøver fra Vikedalselva. Samlingen av punkter nede i venstre hjørne er verdier fra ukalket vann. Som figur 4 viser er ukalket vann stabil omkring pH 5.5 og 0.7-0.8 mg Ca/l.



Figur 5. pH og kalsiumkonsentrasjoner på fem stasjoner i Vikedalselva (figur 1) i 1987. De tre øverste linjene representerer dager med kalking, mens de tre nederste er dager etter kalkingslutt.



Figur 6. Aluminiumsfraksjoner på fem stasjoner i Vikedalselva i 1987. De tre øverste linjene representerer reaktivt aluminium, mens de tre nederste er labilt aluminium.



Figur 7. Forholdet mellom pH og kalsiumkonsentrasjoner i Vikedalselva i 1987.

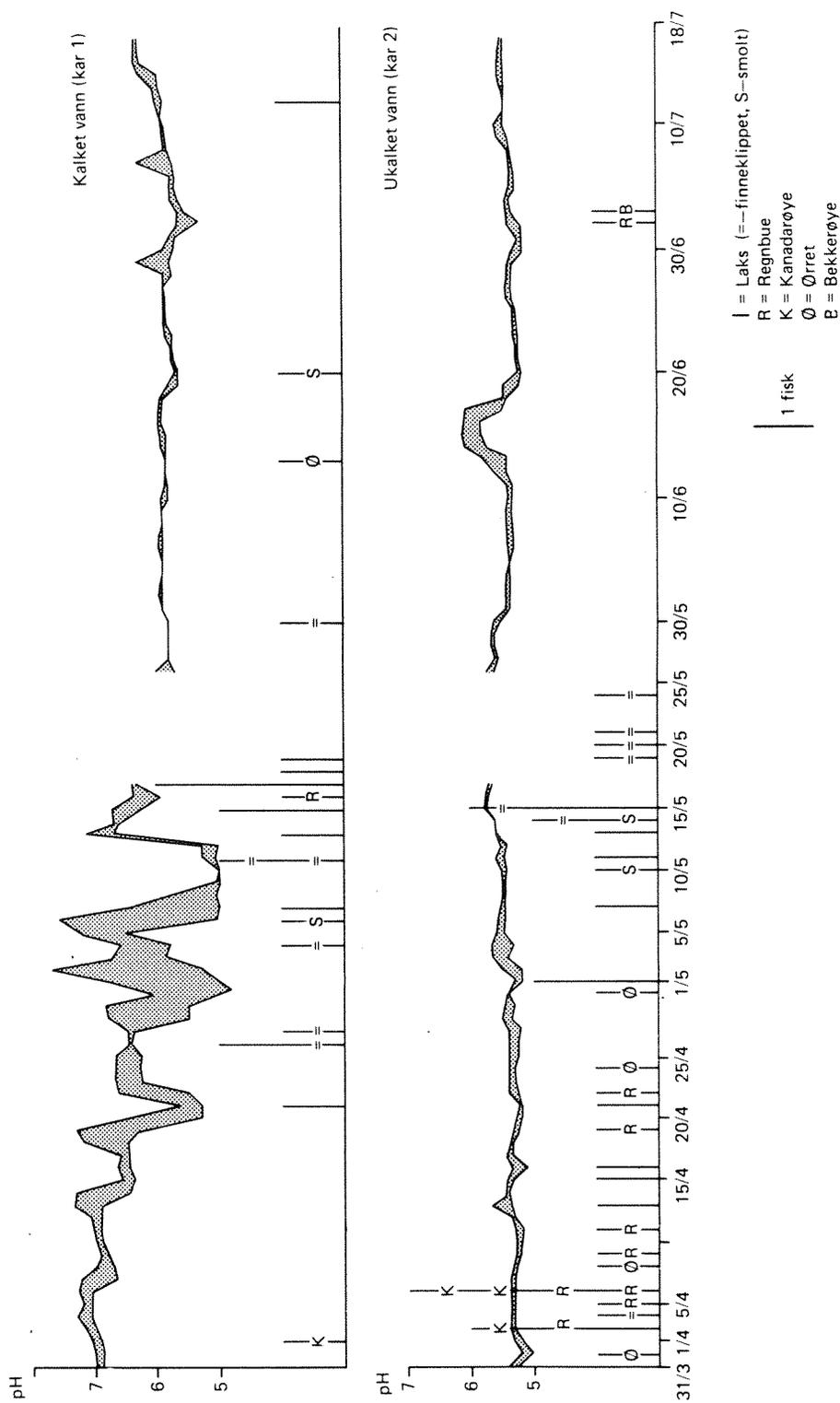
Når kalsiumkonsentrasjonen i Vikedalselva etter kalking er 1.2 mg Ca/l, vil pH ligge mellom 6.0 og 6.4. Denne kalsiumverdien blir brukt her for å beregne den kalkmengden som ville være tilstrekkelig til å gi en akseptabel vannkvalitet for laks og sjøaure i Vikedalselva.

Resultatene av fiskeforsøkene er vist i tabell 1 og i figur 8 og 9. Antall og fordeling av fisk i kalket og ukalket vann er vist i tabell 1.

Tabell 1. Antall fisk av ulike arter eksponert for kalket og ukalket vann fra Vikedalselva i perioden 31.01.87 til 08.07.87. Fiskedød under forsøket er også vist. (f - finneklippet laks fra Vikedal, o - overført laks fra NIVA).

	Start 31.03.		Død i forsøk	
	I kalket	II ukalket	I kalket	II ukalket
Regnbueørret	8	9	1	9
Kanadarøye	10	9	1	3
Ørret	10	8	1	4
Bekkerøye	10	10	0	1
Laks: smolt (f)	2	2	2	2
Laks: parr (f)	8	8	8	8
Laks: parr (o)	12	13	11	11
SUM	60	59	24	38

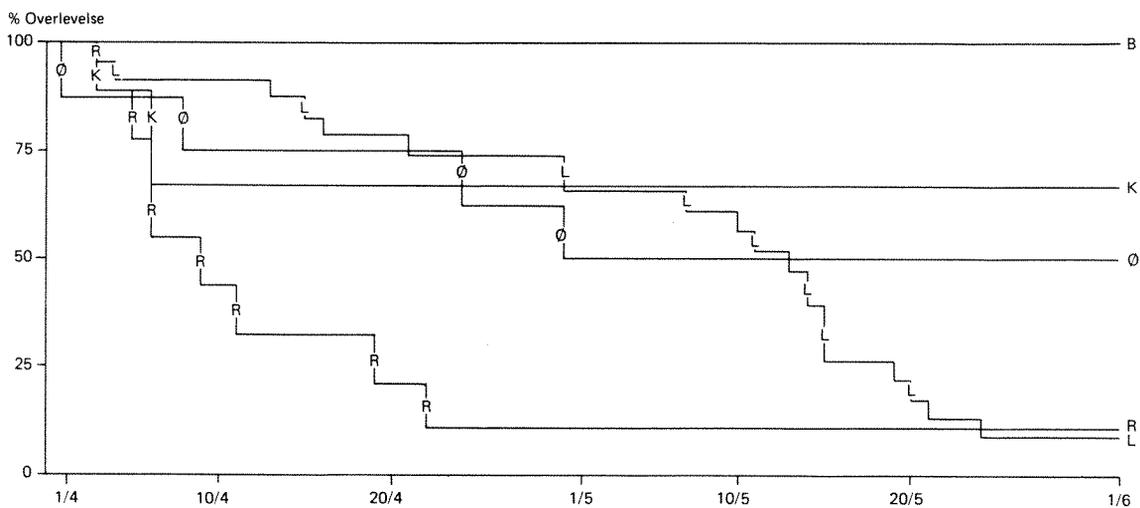
Figur 8 viser dødelighet fra dag til dag av de forskjellige fiskeartene i kalket og ukalket vann. I karet med ukalket vann var det en jevnt stor dødelighet fra starten av forsøket (31.03.) og fram til slutten av mai. pH var i april oftest mellom 5.2 og



Figur 8. Dødelighet av fisk i kalket og ukalket vann fra Vikedalselva i 1987. Daglige maksimums- og minimumsverdier for pH i karene er vist for begge vanntyper.

5.4, men med enkeltmålinger ned mot 5.0. I mai økte pH noe og verdiene varierte omkring 5.5.

Prosent overlevelse i løpet av forsøksperioden for de forskjellige fiskeartene i kar med ukalket vann er vist i figur 9. Regnbueørreten var den av fiskene som døde først. Etter to måneder hadde også laksen kommet ned på samme lave nivå. Halvparten av ørretene var fortsatt i live og ingen av bekkeryene hadde dødd. Kanadarøye viste også en høy overlevelsesgrad.



Figur 9. Prosent overlevelse av fisk i ukalket vann fra Vikedalselva i april og mai 1987. B = bekkerye, K = kanadarøye, Ø = ørret, R = regnbueørret, L = laks.

5. DISKUSJON

Vikedalselva kalkes under vårsmeltingen for å hindre akutt dødelighet av presmolt og smolt av laks. Slik dødelighet er observert i elva, første gang i 1981 (SFT 1983).

Erfaringsmessig er første delen av vårflommen surest og derved mest skadelig for fisk som oppholder seg i elva. Også resultater fra denne undersøkelsen viser at pH er lavest tidlig i vårflommen. Smolt av laks viser seg å være svært sensitiv for surt vann (Rosseland og Skogheim 1984). Det kan derfor være viktigere å kalke avrenningen om våren enn avrenningen om høsten selvom pH ikke er vesentlig forskjellig.

Takket være den kontinuerlige registreringen av pH oppstrøms og nedstrøms kalkingen kan driften av kalkdoseringsanlegget følges fra time til time om ønskelig. Dataene overføres over telenettet to ganger i døgnet til NIVA i Oslo, der de leses av og lagres.

Kalkingen kom igang allerede den 2. mars 1987, selvom vannføringen helt fram til slutten av mars var svært lav (figur 2). Med unntak av to dager i april har kalkingen fra begynnelsen av mars og helt fram til kalkingsslutt i mai ført til akseptabel vannkvalitet for laks i Vikedalselva. Den kortvarige pH-senkningen i april skyldtes at kalksiloen var tom. Det ble ikke registrert dødelighet av presmolt eller smolt disse dagene.

Kalk doseres etter vannføringen ved kalkingsanlegget. Ved beregningen av kalkdosering ble det antatt at avrenningen videre ned mot utløpet var relativt godt bufret. Lengre oppholdstid for avrenningsvannet i løsavsetningene som fyller dalbunnen gir lengre kontakttid med jorda. Derfor tilføres avrenningsvannet nedenfor kalkingspunktet en viss bufferkapasitet. Resultatene i denne undersøkelsen tyder på at det ikke er nødvendig å ta hensyn til avrenningen nedstrøms kalkingsanlegget ved beregning av kalkdose for den lakseførende delen av Vikedalselva. En senkning av kalsiumkonsentrasjonen nedover i elva ser bare ut til å skje

når kalkingen gir relativt høye konsentrasjoner av kalsium.

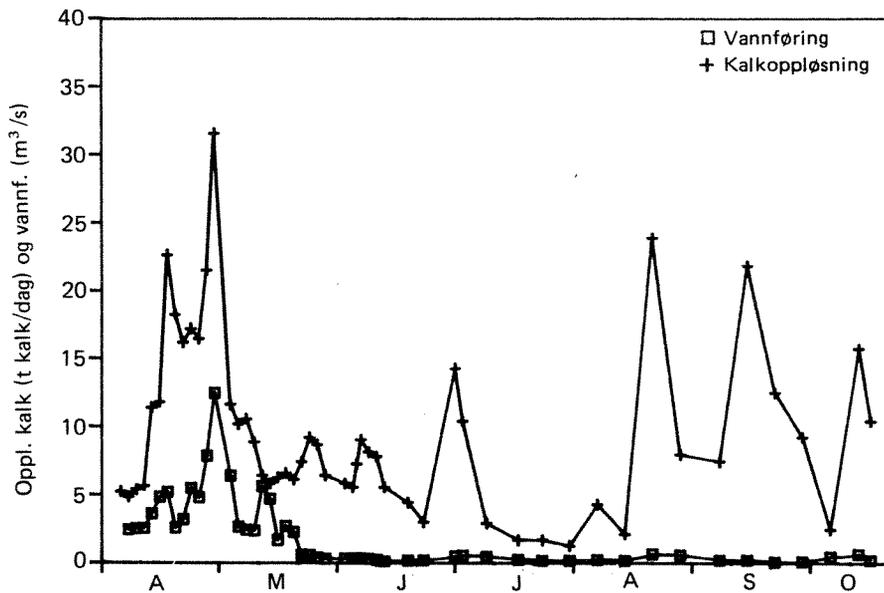
Helt fra starten har kalkingen ført til svært høye pH-verdier i Vikedalselva på grunn av overdosering. Typiske pH-verdier, også i flomperioder, har vært omkring 7.0. Siden kalsiumkarbonat er en buffer, brukes det relativt store mengder kalk for å heve pH fra ønskede verdier omkring 6.2 og opp til 7.0. For å se nærmere på disse forholdene er både kalkdosering og den totale transporten av kalk i elva beregnet for perioden 08.04.87 til 21.10.87.

Figur 10 viser kalkoppløsning pr. dag sammen med vannføringen i elva. Som ventet er kalkoppløsningen størst i den perioden det ble kalket. Det var imidlertid fortsatt kalkoppløsning etter kalkingslutt midt i mai, selvom den da var langt mer beskjedent. Det er ingen god sammenheng mellom oppløst kalk og vannføring. Sammen med de høye pH-verdiene viser det at kalkdoseringen har vært stor og unøyaktig.

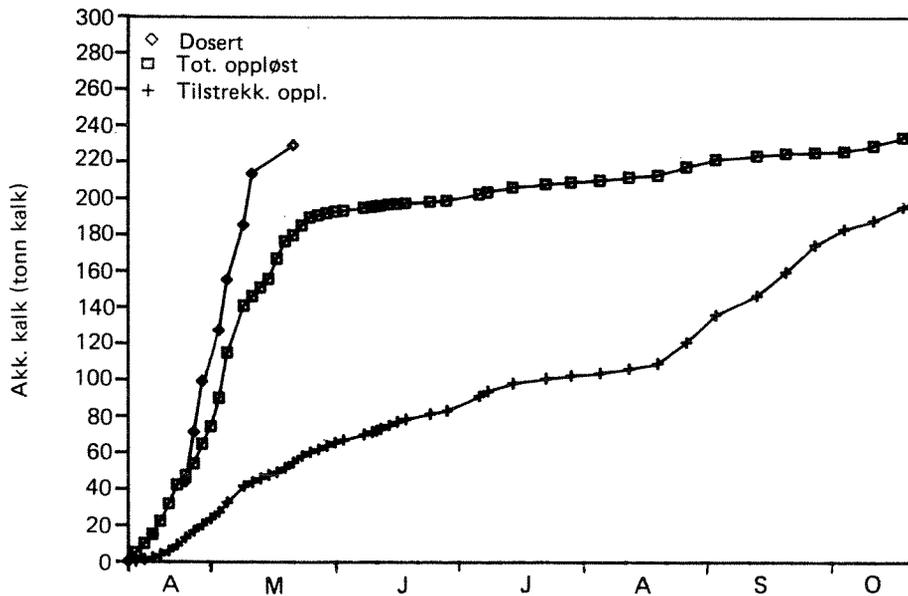
Som tidligere nevnt, ville kalking opp til 1.2 mg Ca/l gitt tilstrekkelig god pH i elva. Dette gir grunnlag for å beregne hvor mye kalk som til enhver tid ville være tilstrekkelig for avsyring.

Figur 11 viser akkumulert mengde dosert kalk i perioden 08.04.87-17.05.87 (øverste kurve). I denne perioden ble det dosert 229 tonn kalk ifølge opplysninger fra NORCEM A/S. I perioden fra kalkingsstart og fram til 08.04.87 ble det dosert 122 tonn kalk. Dette er ikke angitt i figuren. Den mellomste kurven i figur 11 viser hvor mye kalk som er blitt transportert forbi stasjon 2 etter kalking. Den nederste kurven viser hva som ville vært tilstrekkelig kalkforbruk beregnet utfra en jevn konsentrasjon på 1.2 mg Ca/l.

Figur 11 viser akkumulert kalktransport ved stasjon 2. Det vil si at en på ethvert tidspunkt kan lese av hvor mye kalk som totalt er transportert. Fra kalsiummålingene ble satt igang i begynnelsen av april og fram til kalkingslutt ble det transportert 190 tonn kalk. 62 tonn, dvs. en tredel, ville vært tilstrekkelig.



Figur 10. Oppløst kalk og vannføring i Vikedalselva i 1987.



Figur 11. Kalkdosering og kalkoppløsning (akkumulerte tall) i Vikedalselva i 1987.

En viss effekt av at kalk som ble dosert før den 08.04.87 er løst opp etter den 08.04.87 må en regne med. Dette er i tilfelle med i den beregnede kalkoppløsningen og har ført til at denne er overestimert.

Vannføringen fra kalkingsstart og fram til slutten av mars var svært lav, slik at kalktransporten trolig har vært relativt liten i denne perioden. pH på 8.5 i begynnelsen av mars viser imidlertid at elva har vært en mettet kalkløsning. Observasjoner gjort av lokalbefolkningen i dalen viser da også at elva i starten var turbid helt ned til utløpet.

Den midlere dose kalk fra kalkingsstart og fram til den 08.04.87 var 17 g kalk/m³. Den midlere dosering i perioden 08.04.87-17.05.87 var 6.5 g kalk/m³. Disse tallene understreker behovet for en mer nøyaktig kalkdosering. Kalkmengden i anbudsinnbydelsen til kalkleverandørene var satt til en fast dosering på 2.0 g CaCO₃/l, dvs. 2.5 g kalk/m³. Det skulle gi en kalsiumøkning på 0.65 mg/l ved en kalkoppløsning på 80 %.

Settes kalkprisen til 500 kroner pr. tonn, utgjør differensen mellom totalt oppløst kalk og tilstrekkelig mengde oppløst kalk (figur 11) ca. 65.000 kroner for perioden fra 08.04.87 og fram til kalkingslutt midt i mai. Med en optimal kalkdosering ville denne summen vært spart. Med den svært gode oppløsningen som skjer i elva vil det være relativt enkelt å beregne den optimale kalkmengden som bør doseres til enhver tid.

Årsaken til overdoseringen av kalk skyldes to forhold:

1) I hele perioden ble kalkdoseringen styrt etter en ufullstendig vannføringskurve. Etter forutsetningene i anbudsinnbydelsen til kalkleverandørene skulle kalken doseres automatisk med en fast mengde for hver liter vann når pH var under 5.5.

2) Det var ikke etablert et overvåkingsprogram for innsamling av vannkvalitetsdata eller et opplegg for hvordan disse skulle brukes til å korrigere kalkdoseringen i elva.

Betydelig langtidsoppløsning av kalk ved bekke- og elvekalking er dokumentert (Hindar 1987, Hindar et al. 1988). Figur 3 viser at denne effekten har hatt betydning også i Vikedalselva. Hindar (1987) har vist at effekten av slik oppløsning til enhver tid avhenger av tilgjengelig kalkmengde på elvebunnen og vannføringen. Effekten vil være større i begynnelsen av en flom enn i slutten av en flom ved samme vannføring.

Totalt ble ca. 45 tonn kalk løst opp fra elvebunnen fra kalkingen ble avsluttet i mai 1987 og fram til 21. oktober. Dette har ført til pH omkring 6.0 i elva fram til september. Resultatene tyder på at 30 tonn kalk fra elvebunnen er kommet direkte til nytte i perioden med pH omkring 6.0.

Den 15.10.87 ble hele elvestrekningen fra kalkingsanlegget og ned til stasjon 2 inspisert. Det ble ikke funnet kalkpartikler av betydning på overflater av stein og vegetasjon langs kanten av elvas hovedstrøm. Erfaringsmessig legges partikler igjen på sidene og i bakevjer. Bare i svært isolerte deler av elvestrengen ble det registrert kalk, men i helt ubetydelige mengder. Forholdet mellom den mengden kalk som er transportert forbi stasjon 2 (700 meter nedstrøms kalking) og faktisk kalkdosering i perioden 08.04.87-17.05.87 gir en kalkutnyttelse på 83 prosent.

Observasjonene og beregningene viser at det har vært en meget god utnyttelse av kalken. Laboratorieforsøk med grus fra bekkebunnen tyder på at det er et betydelig reservoar av kalsium på overflatene (upubl. data). Dette mobiliseres ved tilsetning av syre (pH 4.0). En nærmere kvantifisering av denne kalsiumkilden vil bli forsøkt gjort.

Det er flere særpreg som gir gode forhold for langtidsoppløsning av sedimentert kalk i Vikedalselva. Elva er jevnt hellende, har bredt tverrprofil med relativt lav vannstand og småsteinet bunn nedenfor kalkdoseringsanlegget. Steinbunnen gir stor overflate for avsetning av kalkpartikler. Begroing med mose øker dessuten muligheten for adsorpsjon av oppløst kalk og fanger opp kalkpartikler. Den lave vannstanden gir god kontakt mellom surt vann

og bunnssubstratet slik at oppløsningen av kalk blir god. Eventuelle ionebytteprosesser mellom hydrogenioner og kalsium i et seinere stadium av en gjenforsuring vil også kunne ha betydning.

Siden langtidsoppløsningen av kalk er betydelig, bør en se på mulighetene for å endre kalkingsstrategi i elva. Ved en optimalisert kalkdosering med lavere kalkdoser enn typiske doser for våren 1987, vil imidlertid partikkeltransporten bli minimalisert i elva. Det kan tenkes at en optimalisering av kalkingen vil gi svakere effekter av langtidsoppløsning etter kalkingsslutt enn det som rapporteres her. Her kan adsorbent oppløst kalk på grus og vegetasjon i elva få økt betydning.

Det er samlet inn få aluminiumsdata nedstrøms kalking i 1987. De dataene som foreligger (figur 6) viser at den antatt giftige fraksjonen for fisk, labilt aluminium, opptrer i lave konsentrasjoner. Årsaken til økning i de målte fraksjonene den 30.04.87 på de nederste stasjonene skyldes trolig den høye pH-verdien, nesten 8.5 ved stasjon 3. I dette pH-området dannes det aluminationer ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$). Det antas at elvebunnen er kilden for en slik økning i aluminium. Foreløpige data fra laboratorieforsøk med elvegrus tyder på at det finnes et betydelig reservoar av utbyttbart aluminium på grusoverflatene i elva (Hindar, unpubl. data 1987). Slike effekter bør studeres nærmere. Det bør gjøres studier med fisk for å se om denne Al-fraksjonen har giftvirkning på linje med aluminiumhydroksider med en eller to hydroksylgrupper.

Det er tidligere gjennomført omfattende studier av toleransen for surt vann mellom forskjellige fiskearter (Muniz og Grande 1974, Grande, Muniz og Andersen 1978, Rosseland og Skogheim 1984). Resultatene fra Vikedal er sammenfallende med disse undersøkelsene. Denne undersøkelsen viser også at kanadarøye, som tidligere ikke er testet under norske forhold, hadde en høy grad av overlevelse (figur 8 og 9). Etter en viss dødelighet ved begynnelsen av forsøket, var det bare bekkerøya som syntes å tolerere den sure vannkvaliteten bedre enn kanadarøye.

Som det framgår av figur 8, synker pH i kalket vann i perioder til nivåer som er lavere enn for ukalket vann. Dette har sammenheng med betydelig tilførsel av vann fra en sur sidebekk mellom kalkingsanlegget og vanninntaket til fiskekaret. Når vannføringen i hovedelva er meget lav er vannkilden her periodevis surere enn oppstrøms kalkdoseringsanlegget. Det var derfor stor dødelighet også i karet med kalket vann, og spesielt av laks (figur 8). Etter to måneder var over 80% av laksen død i det delvis kalkede vannet, mens det var liten eller ingen dødelighet av de andre artene. Dette var uventet, særlig for regnbueørret.

Dødeligheten av laks i karet med kalket vann har også sammenheng med driftsstans i kalkingsanlegget. Omkring 19-22. april oppsto den første driftsstansen, med stor og rask senkning av pH, fra 6.5-7.3 til 5.3-5.6 (figur 8). Fiskedød inntraff noen dager seinere.

Fra 27. april til 3. mai var det nye problemer med kalkingsanlegget og pH ble redusert til ned mot 5.50 i elva, med påfølgende fiskedød i karet. Neste uregelmessige drift av kalkingsanlegget oppsto 5.- 6. mai og varte til 13. mai. pH var i lange perioder nede mot 5.0. Mesteparten av forsøkslaksen og én regnbueørret døde i denne perioden.

Resultatene fra fiskekarene kan ikke direkte overføres til fiskens levevilkår i Vikedalselva. Som beskrevet ovenfor er inntaket av kalket vann plassert nedstrøms samløpet med en sur sidebekk og har dermed vært ugunstig. Innvirkningene av den sure sidebekken er imidlertid helt avhengig av vannføringen i hovedelva og den gjør seg spesielt gjeldende ved lave vannføringer. Vannkvaliteten i andre deler av Vikedalselva er trolig vesentlig bedre enn ved vanninntaket. Det er også observert kalksedimenter på stilleflytende deler av elva og dette medvirker til en heving av pH i elvevannet lenge etter at kalkingsanlegget har stoppet.

Som det framgår av figur 8, ligger pH i vannet etter kalkingspunktet den siste måneden av forsøket hovedsakelig mellom 5.55 og 6.0. Det ukalkede vannet varierer mellom 5.15 og 5.55. Kalk-

ingsanlegget hadde da vært stanset omkring en måned. Til tross for dette, og til tross for mulig innvirkning fra sur sidebekk, ligger pH ca. 0.5 enheter høyere enn ellevannet oppstrøms kalkingsanlegget. Dette kan ha avgjørende betydning for lakseungene i Vikedalselva.

6. REFERANSER

Grande, M., Muniz, I.P. and S. Andersen 1978. Relative tolerance of some salmonids to acid waters. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20:2076-2084.

Henriksen, A., Skogheim, O.K. og B.O. Rosseland, 1984. Episodic changes in pH and aluminium speciation kill fish in a Norwegian salmon river. Vatten 40: 255-260.

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 (1): 54-58.

Hindar, A., Haraldstad, Ø., Kleiven, E. og G.G. Raddum 1988. Audna. I: Hindar, A. (red.): Kalkingsaktiviteten i Norge, med hovedvekt på perioden 1984-1986. Rapport 2-87. Direktoratet for naturforvaltning.

Muniz, I.P. og M. Grande, 1974. Overlevning av ulike arter laksefisk i vann fra et surt vassdrag. I: Brække, F.H. (red.), Hydrokjemiske og hydrobiologiske rapporter fra NIVA: 29-39. SNSF-prosjektet IR 3/74, 39 s.

Rosseland, B.O. and O.K. Skogheim 1984. A comparative study on salmonid fish species in acid aluminium-rich water. II. Physiological stress and mortality of one- and two-year-old fish. Inst. Freshw. Res. Drottningholm. 61: 186-194.

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

7. PRIMÆRDATA

Vannkjemiske data fra Vikedalselva
i 1987.

Stasjon nr.	Dato	pH	Alkalitet mikekv/l	Ca-UF mg/l	Ca-F mg/l	RA1 mikgr/l	ILA1 mikgr/l	LA1 mikgr/l
1	04/08/87	5.46	0	0.85	0.00	0	0	0
2	04/08/87	7.07	127	3.06	0.00	0	0	0
3	04/09/87	6.83	124	3.00	2.94	0	0	0
4	04/09/87	6.71	119	3.04	2.96	0	0	0
5	04/09/87	6.75	116	3.01	2.98	0	0	0
1	04/10/87	5.33	0	0.81	0.00	0	0	0
2	04/10/87	7.11	136	3.01	0.00	0	0	0
1	04/12/87	5.31	0	0.80	0.00	0	0	0
2	04/12/87	7.04	137	3.10	3.02	0	0	0
1	04/14/87	5.32	0	0.79	0.00	0	0	0
2	04/14/87	6.95	114	2.66	0.00	0	0	0
1	04/16/87	5.33	0	0.77	0.00	0	0	0
2	04/16/87	7.12	121	2.77	0.00	0	0	0
3	04/16/87	6.94	106	2.65	2.57	0	0	0
4	04/16/87	6.74	94	2.41	2.34	0	0	0
5	04/16/87	6.76	93	2.45	2.36	0	0	0
1	04/18/87	5.31	0	0.77	0.00	0	0	0
2	04/18/87	7.06	114	2.57	2.51	0	0	0
1	04/20/87	5.23	0	0.70	0.00	0	0	0
2	04/20/87	6.60	67	1.66	0.00	0	0	0
1	04/22/87	5.34	0	0.74	0.00	0	0	0
2	04/22/87	5.81	36	0.93	0.00	0	0	0
3	04/23/87	6.61	102	2.43	2.33	0	0	0
4	04/23/87	6.77	93	2.41	2.25	0	0	0
5	04/23/87	6.63	79	2.04	2.00	0	0	0
1	04/24/87	5.34	0	0.73	0.00	0	0	0
2	04/24/87	6.97	98	2.23	2.18	0	0	0
1	04/26/87	5.41	0	0.75	0.00	0	0	0
2	04/26/87	6.97	97	2.26	0.00	0	0	0
1	04/28/87	5.34	0	0.75	0.00	0	0	0
2	04/28/87	6.62	78	1.85	1.86	0	0	0
1	04/30/87	5.28	0	0.72	0.00	0	0	0
2	04/30/87	8.20	158	3.41	0.00	0	0	0
3	04/30/87	8.46	189	3.91	3.78	20	14	6
4	04/30/87	7.34	145	3.11	3.12	48	25	23
5	04/30/87	7.04	138	2.99	2.68	50	27	23
1	05/02/87	5.51	0	0.74	0.00	0	0	0
2	05/02/87	7.77	109	2.35	0.00	0	0	0
1	05/06/87	5.52	0	0.74	0.00	0	0	0
2	05/06/87	7.12	82	1.85	1.86	0	0	0
1	05/08/87	5.47	0	0.75	0.00	0	0	0
2	05/08/87	6.94	79	1.85	0.00	0	0	0
3	05/08/87	6.84	77	1.82	1.84	48	39	9
4	05/08/87	6.75	83	1.94	1.91	39	33	6
5	05/08/87	6.69	85	2.09	1.98	43	27	16
1	05/10/87	5.44	0	0.78	0.00	0	0	0
2	05/10/87	6.89	77	1.82	0.00	0	0	0
1	05/12/87	5.41	0	0.72	0.00	0	0	0
2	05/12/87	6.89	77	1.90	1.81	0	0	0

Vannkjemiske data fra Vikedalselva
i 1987.

Stasjon nr.	Dato	pH	Alkalitet mikekv/l	Ca-UF mg/l	Ca-F mg/l	RA1 mikgr/l	ILA1 mikgr/l	LA1 mikgr/l
2	05/14/87	9.06	246	5.57	4.20	0	0	0
2	05/16/87	6.50	71	1.46	1.41	0	0	0
2	05/18/87	6.13	56	1.05	1.05	0	0	0
3	05/18/87	7.08	157	3.29	3.07	43	18	25
4	05/18/87	6.38	60	1.38	1.36	37	21	16
5	05/18/87	6.38	62	1.51	1.44	32	15	17
1	05/20/87	5.58	0	0.73	0.75	0	0	0
2	05/20/87	8.07	175	3.51	3.35	0	0	0
3	05/21/87	6.51	68	1.55	1.44	32	18	14
4	05/21/87	6.55	76	1.64	1.60	37	21	16
5	05/21/87	6.36	79	1.75	1.71	27	15	12
1	05/22/87	5.53	0	0.69	0.70	0	0	0
2	05/22/87	6.27	54	1.12	1.10	0	0	0
1	05/24/87	5.47	0	0.72	0.73	0	0	0
2	05/24/87	6.15	48	1.09	1.08	0	0	0
1	05/26/87	5.51	28	0.71	0.68	0	0	0
2	05/26/87	6.01	39	0.96	0.95	0	0	0
1	05/28/87	5.42	23	0.79	0.67	0	0	0
2	05/28/87	5.92	95	0.93	0.92	0	0	0
3	05/28/87	6.01	49	1.08	1.09	0	0	0
4	05/28/87	6.04	59	1.18	1.15	0	0	0
5	05/28/87	6.09	57	1.19	1.18	0	0	0
1	05/30/87	5.43	23	0.70	0.70	0	0	0
2	05/30/87	5.89	42	0.92	0.92	0	0	0
1	06/04/87	5.43	24	0.66	0.66	0	0	0
2	06/04/87	5.89	39	0.91	0.91	0	0	0
3	06/05/87	6.15	47	1.01	1.00	0	0	0
4	06/05/87	6.28	57	1.10	1.09	0	0	0
5	06/05/87	6.29	50	1.11	1.09	0	0	0
1	06/06/87	5.40	23	0.64	0.63	0	0	0
2	06/06/87	5.87	41	0.89	0.90	0	0	0
1	06/07/87	5.37	25	0.66	0.65	0	0	0
2	06/07/87	5.87	40	0.87	0.87	0	0	0
1	06/08/87	5.45	25	0.67	0.65	0	0	0
2	06/08/87	5.83	39	0.82	0.82	0	0	0
1	06/10/87	5.51	26	0.65	0.62	0	0	0
2	06/10/87	5.80	39	0.82	0.77	0	0	0
1	06/12/87	5.46	25	0.71	0.69	0	0	0
2	06/12/87	5.73	37	0.79	0.78	0	0	0
3	06/12/87	6.01	41	0.90	0.87	0	0	0
4	06/12/87	6.06	44	0.94	0.91	0	0	0
5	06/12/87	6.13	47	1.00	0.97	0	0	0
1	06/14/87	5.71	31	0.75	0.74	0	0	0
2	06/14/87	5.79	38	0.82	0.80	0	0	0
3	06/19/87	6.12	0	0.93	0.00	0	0	0
4	06/19/87	6.17	0	1.03	0.00	0	0	0
5	06/19/87	6.24	0	1.12	0.00	0	0	0
1	06/20/87	5.46	0	0.64	0.00	0	0	0
2	06/20/87	6.11	0	0.84	0.00	0	0	0

Vannkjemiske data fra Vikedalselva
i 1987.

Stasjon nr.	Dato	pH	Alkalitet mikekv/l	Ca-UF mg/l	Ca-F mg/l	RA1 mikgr/l	ILA1 mikgr/l	LA1 mikgr/l	
1	06/24/87	5.50	0	0.68	0.00	0	0	0	
2	06/24/87	5.96	0	0.93	0.00	0	0	0	
3	06/25/87	6.17	0	1.08	0.00	0	0	0	
4	06/25/87	6.27	0	1.21	0.00	0	0	0	
5	06/25/87	6.40	0	1.26	0.00	0	0	0	
1	07/02/87	5.50	0	0.73	0.00	0	0	0	
2	07/02/87	6.00	0	0.97	0.00	0	0	0	
1	07/04/87	5.46	0	0.66	0.00	0	0	0	
2	07/04/87	5.84	0	0.82	0.00	0	0	0	
1	07/10/87	5.45	0	0.40	0.00	0	0	0	
2	07/10/87	5.88	34	0.85	0.00	0	0	0	
1	07/18/87	5.50	0	0.59	0.00	0	0	0	
2	07/18/87	6.27	46	1.06	0.00	0	0	0	
1	07/24/87	5.93	0	0.64	0.00	0	0	0	
2	07/24/87	6.23	53	1.08	0.00	0	0	0	
1	07/31/87	5.58	0	0.64	0.00	0	0	0	
2	07/31/87	6.31	55	1.17	0.00	0	0	0	
1	08/07/87	5.55	0	0.59	0.00	0	0	0	
2	08/07/87	5.78	39	0.79	0.00	0	0	0	
1	08/14/87	5.57	0	0.64	0.00	0	0	0	
2	08/14/87	6.01	43	0.90	0.00	0	0	0	
1	08/21/87	5.25	0	0.53	0.00	0	0	0	
2	08/21/87	5.65	35	0.73	0.00	0	0	0	
1	08/28/87	5.44	0	0.61	0.00	0	0	0	
2	08/28/87	5.73	35	0.74	0.00	0	0	0	
1	09/07/87	5.35	0	0.61	0.00	0	0	0	
2	09/07/87	5.49	29	0.72	0.00	0	0	0	
1	09/14/87	5.52	0	0.66	0.00	0	0	0	
2	09/14/87	5.58	29	0.67	0.00	0	0	0	
1	09/21/87	5.55	0	0.67	0.00	0	0	0	
2	09/21/87	5.64	28	0.70	0.00	0	0	0	
1	09/28/87	5.49	0	0.66	0.00	0	0	0	
2	09/28/87	5.58	30	0.71	0.00	0	0	0	
1	10/05/87	5.63	0	0.67	0.00	0	0	0	
2	10/05/87	6.35	58	1.33	0.00	0	0	0	
1	10/15/87	5.57	4	0.63	0.00	75	55	20	
2	10/15/87	5.63	6	0.71	0.00	65	50	15	
3	10/15/87	5.74	10	0.83	0.00	65	50	15	
4	10/15/87	5.88	21	1.02	0.00	60	50	10	
5	10/15/87	6.13	31	1.13	0.00	60	50	10	
1	10/12/87	5.52	0	0.71	0.00	0	0	0	
2	10/12/87	5.65	34	0.76	0.75	0	0	0	
1	10/19/87	5.65	0	0.80	0.00	0	0	0	
2	10/19/87	5.61	33	0.77	0.77	0	0	0	
***	Total	***							
	312		864	6308	183.3	102	781	528	253