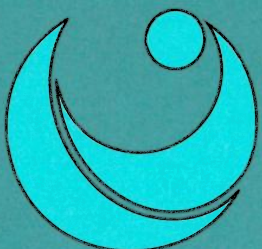


oppdragsmelding

Arnfinn Langeland
Trygve Hesthagen
Ann Kristin Schartau
Randi Saksgård



NINA

NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING

Problemnotat om kalking av Hagavatn i Rogaland

Arnfinn Langeland
Trygve Hesthagen
Ann Kristin Schartau
Randi Saksgård

NINAs publikasjoner

NINA utgir fem ulike faste publikasjoner:

NINA Forskningsrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningsarbeid, i den hensikt å spre forskningsresultater fra institusjonen til et større publikum. Forskningsrapporter utgis som et alternativ til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

NINA Utredning

Serien omfatter problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, litteraturstudier, sammenstilling av andres materiale og annet som ikke primært er et resultat av NINAs egen forskningsaktivitet.

NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. Opplaget er begrenset.

NINA Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern- og turist- og friluftslivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

NINA Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINAs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

I tillegg publiserer NINA-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Langeland, A., Hesthagen T., Saksgård, R. og Schartau, A.K.L. 1993. Problemnotat om kalking av Hagavatnet i Rogaland.
NINA Oppdragsmelding 248:1-10.

Trondheim desember 1993

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0423-1

Rettighetshaver ©:
NINA Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

NINA, Trondheim

Sats: NINA

Kopiering: Norservice
Opplag: 125

Kontaktadresse:
NINA
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel: 73 58 05 00

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 3525

Ansvarlig signatur:



Oppdragsgiver:

I.V.A.R.
(Interkommunalt vann-, avløps- og renovasjonsverk)
4033 Forus

Referat

Hagavatnet i Rogaland som benyttes til drikkevatt, er forsuret på grunn av langtransporterte forurensninger. Som tiltak for å bedre vannkvaliteten og den økologiske likevekten er det foreslått å kalke vatnet. Dette problemnotatet vurderer konsekvensene av kalking på vannkvalitet, fytoplankton, primærproduksjon, zooplankton og fisk. Konklusjonen er at fordelene er større enn ulempene ved kalking og det anbefales derfor at Hagavatnet kalkes. Kalkingsstrategi og metode er ikke vurdert. Gjentatt kalking må forventes. Dette er avhengig av nedbør og gjennomstrøming. Kalkingen bør følges opp med undersøkelser for å klarlegge effektene på vannkvalitet og biologiske forhold.

Innhold

1 Innledning	s. 3
2 Innsjøbeskrivelse	s. 4
3 Effekter på vannkvaliteten	s. 4
4 Effekter på primærproduksjon og planteplankton	s. 5
5 Effekter på zooplankton	s. 6
6 Effekter på fisk	s. 6
7 Konklusjon	s. 7
8 Litteratur	s. 8

1. Innledning

I brev av 28. september 1993 fra I.V.A.R. (Interkommunalt vann-, avløps- og renovasjonsverk), 4033 Forus, ble Norsk Institutt for Naturforskning bedt om å utarbeide et problemnotat vedrørende kalking av Hagavatn. Konsekvensvurderingen bygger på tilsendt materiale og tidligere undersøkelser av Hagavatnet. De viktigste undersøkelser som vår vurdering bygger på er følgende:

Rogalandsforskning: Hagavatnet 1991. En limnologisk undersøkelse av I.V.A.R.s vannkilde.

Byveterinæren i Stavanger: Registrering av dyreplankton i Hagavatn råvannkilde (I.V.A.R.) og på fordelingsnett.

Samfunnsteknikk A.S: I.V.A.R. Tiltak for å bedre vannkvaliteten fra Hagavannet.

Fylkesmannen i Rogaland Miljøvernavdelingen: Miljønotat nr. 3-1991. Prøvefiske i Hagvatn 26.06.91.

Kalking av en innsjø eller et vassdrag kan være begrunnet utifra ulike biologiske mål. Ideelt sett vil hvert av de biologiske målene ha tilhørende vannkvalitetskrav. Både de biologiske målene samt lokalitetens spesielle egenskaper, inkludert vannkjemi, vil være avgjørende i vurderingen av vannkvalitetsmålene. I Sverige er det definert en vid målsetting mht. kalking (Naturvårdsverket 1988). Det biologiske mål med kalkingen er å avgifte vannet slik at den naturlige flora og fauna kan bestå eller rekolonisere det kalkede vannet. Den kjemiske målsettingen er å øke pH til over 6,0 og alkaliteten til over 100 $\mu\text{ekv/l}$. Vannet bør ikke ha en pH under 6,0 og alkalitet mindre enn 50 $\mu\text{ekv/l}$ i løpet av året. I tillegg skal overdosering unngås og naturlig kalkfattige miljøer beholdes. Alkaliteten bør videre ikke overstige 200 - 300 $\mu\text{ekv/l}$.

2 Innsjøbeskrivelse

Hagavatnets nedbørfelt ligger på grensen mellom Hå og Bjerkreim kommuner i Rogaland. Hagavatnet er en lang smal innsjø sammensatt av flere innsjøbassenger adskilt av smale sund og med flere dybdegroper. Hagavatnet er regulert til drikkevannsførmål. Laveste regulerte vannstand er 203 m.o.h. og nåværende høyeste regulerte vannstand er 209.5 m.o.h. Arealet til Hagavatn ved høyeste vannstand 209 m.o.h. og nedbørfelt er henholdsvis 1.55 og 14.5 km². Største dyp i inntaksbassenget ved høyeste regulerte vannstand 209 m.o.h. er 35 m og drikkevannsinntak på 24 m.

Hagavatnet karakteriseres som næringsfattig med lave fosforkonsentrasjoner og lavt innhold av organisk materiale, lav pH og alkalinitet og relativt høyt innhold av aluminium. Vatnet antas å være forsuret på grunn av langtransporterte luftforurensninger.

I vatnet finnes aure som eneste fiskeart.

3 Effekter på vannkvaliteten

Vannkvaliteten i Hagavatnet er karakterisert ved lav pH, lave kalsium- og magnesium- konsentrasjoner og lav alkalitet, noe som er typisk for næringsfattige innsjøer i denne delen av landet. Lave næringssaltkonsentrasjoner (nitrogen og fosfor), lavt innhold av organisk materiale samt lave algebiomasser gir Hagavatn karakteristikken som oligotrof. Avviket fra naturtilstanden må betraktes som ubetydelig med hensyn på næringssalter og organiske forurensninger. På bakgrunn av pH (4,8 - 5,3), totalt syreraktivt aluminium (100 - 175 µg/l) og labilt aluminium (60 - 100 µg/l) må imidlertid Hagavatn vurderes som betydelig forsuret. Analyser av tungmetaller viser også at blykonsentrasjonene ligger i overkant av hva som må betraktes som naturlige bakgrunnsverdier.

Det er de uorganiske, monomere aluminiumsforbindelsene (labilt aluminium) som er antatt å være mest giftig for fisk og andre ferskvannsorganismer (Driscoll et al. 1980, Baker og Schofield 1981, Fivelstad og Leivestad 1984). Gjennom polymerisering (dannelse av mer komplekse forbindelser) på bl.a. fiskens gjeller skades gjelleoverflaten og oksygenopptaket reduseres (Poléo et al. 1991, Rosseland et al. 1992). Giftigheten er bestemt av bl.a. temperatur, pH og Ca-konsentrasjonen.

Høye aluminiumskonsentrasjoner kan være et problem for dialysepasienter. Effekter av høye konsentrasjoner i drikkevannet er også diskutert, men resultatene er svært usikre.

pH og aluminium: Kalking av Hagavatnet vil øke Ca-konsentrasjonen med følgende økt alkalitet og pH. Innholdet av aluminium vil reduseres gjennom utfelling. Særlig gjelder dette den labile fraksjonen. Tilstandsform og løselighet av aluminium er avhengig av en rekke faktorer. Konsentrasjonen av organisk bundet aluminium er først og fremst avhengig av innsjøens innhold av organisk karbon (humus, plankton) mens den uorganiske fraksjonen (labilt Al) henger nøye sammen med pH. Ved pH 6,5 er løseligheten av de uorganiske Al-hydroksydene lavest.

I Liervatn var det en liten men ikke signifikant reduksjon av totalt reaktivt Al etter kalking. Derimot sank labilt Al fra 45 µg/l til 0-20 µg/l da pH økte fra 5 til 6,6 (Baalsrud 1985). Rosævatn i Aust-Agder ble kalket opp fra pH 4,4 til 6,5-6,7. Tilsvarende var det en reduksjon i reaktivt Al fra 250-350 µg/l til 150 µg/l etter kalking. Konsentrasjonen av labilt Al var 60-200 µg/l før kalking og kun ubetydelige mengder var tilstede når pH > 5,8 (Hindar 1987). Kalking av Store Hovvatn fra pH 5,2 til vel 7 i 1991 førte til en reduksjon av totalt reaktivt Al fra 100 til 50 µg/l og labilt Al fra 50 til 20 µg/l (Hindar 1993).

For å tilfredsstille Folkehelsas norm for drikkevannskvalitet, særlig mhp. pH, alkalitet og kalsiuminnhold, må vannet i dag alkaliseres før det sendes ut på ledningsnettet. Ved å kalke vannet vil man også unngå korrosjonsproblemer og utløsning av helseskadelige metaller fra ledningsnett og installasjoner i forbindelse med drikkevannsforsyningen.

Andre metaller: Laboratorietester viser at kalking av vann kan endre mobiliteten og løsligheten av metaller og at metallenes tilstandsform endrer seg med de kjemiske forholdene forøvrig. Studier i Ontario, Canada viste at en rekke metaller (Cu, Ni, Mn, Zn og Fe), i tillegg til Al, ble redusert ved kalking (Yan og Dillon 1984). Denne reduksjonen kunne enten skyldes redusert løselighet av metaller ved høy pH eller utfelling gjennom økt binding til ulike partikler. Andre feltforsøk tyder på at kalking ikke nødvendigvis behøver å ha noen positiv effekt på metallkonsentrasjonene i sure vann (Schindler, pers.medd.). Man har så langt ikke vært i stand til å demonstrere store konsentrasjons-endringer ved kalking av norske innsjøer. Imidlertid er konsentrasjonene av metaller i norske kalkingslokaliteter svært lave og endringer p.g.a. kalking er derfor vanskelig å måle.

Utfelling av næringsalter: Kalking har, bl.a. i Canada, vært brukt som et middel for å redusere fosforkonsentrasjonene i næringsrike innsjøer. Utfelling og sedimentering av fosfor i innsjøer der vannmassene fullsirkulerer kan imidlertid ikke betrakes som noe varig tap av næringsalter. Under stagnasjonsperioden vil Hagavatnets dyplag kunne fungere som en fosforfelle men i løpet av høstsirkulasjonen vil fosfor føres tilbake til de mere produktive delene av innsjøen.

Mulige negative effekter av kalking har vært diskutert (se: Erstad 1992, Lydersen 1993).

Økt sedimentering: Store mengder fint kalkmel kan periodevis gi tilslamming av bunnen. Ved bruk av grovere kalktyper (skjellsand, grovkalk, grovdolomitt, korall- og krittgrus) vil det derimot være en tilstrekkelig utskifting av vann mellom partiklene.

Økt farge og turbiditet: I humusrike skogsvann kan man få en forbigående brunfarging av vannet som skyldes at kalsium og magnesium kompleksbindes med humusforbindelsene. Vanligvis vil vannet klarne 1 - 2 uker etter kalking. For Hagavatn vil vi anta at dette er et mindre problem.

I noen vann har en fått økt turbiditet etter kalking første gang og denne turbiditeten har ofte holdt seg på et høyt nivå i flere måneder. Flere årsaker har vært diskutert men det synes som om spesielle geologiske og vannkjemiske forhold er avgjørende.

Blandsoner med giftig aluminium: I blandsoner mellom surt vann og vann med høy pH, f.eks. kalket vann, vil en få et ustabil kjemisk miljø der aluminium finnes i flere tilstandsformer. Polymerisering av uorganiske, monomere Al-forbindelser antas å være årsaken til at disse blandsonene har vist seg å være svært giftig for fisk og andre organismer. Forsøk i Audna viser at endringsprosessen i aluminiumskjemien er rask og at den akutte, giftige vannkvaliteten er over i løpet av sekunder etter sammenblanding (Kroglund et al. 1992). Imidlertid vil dette være avhengig av temperaturen og blandingsforholdene. Også i innsjøer er det registrert slike blandsoner der surt vann fra tilløpsbekker blander seg med vann med høyere pH i selve innsjøen. Økologiske effekter av blandsoner i innsjøer studeres for tiden av NIVA (Kroglund, pers.medd.).

"Aluminiumsbombe" i innsjøer: Utfelt og sedimentert aluminium har blitt diskutert som en potensiell "aluminiumsbombe" i kalkede innsjøer. Ved reforsuring, når kalking opphører, vil aluminiumen løses ut på nytt og eventuelt gi opphav til høye aluminiumskonsentrasjoner i vannet.

Imidlertid antas dette ikke å bli noe problem i norske innsjøer (Lydersen 1993).

4 Effekter på primærproduksjon og planteplankton

Mengden av planteplankton i Hagavatnet er lavt, både målt i form av klorofyll a og biomasse. Artssammensetningen er hva man ville forvente for sure, næringsfattige lokaliteter.

Aluminium kan være giftig for planteplankton (Hörnström og Ekström 1983) men lavt næringssaltinnhold synes å være den viktigste grunnen for lav primærproduksjon i sure sjøer (Grahn et al. 1974, Hörnström og Ekström 1983).

Primærproduksjon og planteplanktonbiomasse: SNSF-programmet viste ingen vesentlige endringer i primærproduksjon eller planteplanktonbiomasse etter kalking (Baalsrud 1985). En umiddelbar men kortvarig reduksjon var også i samsvar med tilsvarende studier i Ontario, Canada (Yan og Dillon 1984) og kan skyldes i) direkte effekt av kalken ved tilslamming og redusert siktedyp, ii) utarming pga. fosforutfelling, iii) giftige effekter av aluminium (blandsoner). Ved gradvis kalking, der pH endres over tid, har man ikke funnet slike negative effekter (Hörnström 1979, Yan og Dillon 1984).

Artssammensetning: Hörnström (1979) fant at antall planteplanktonarter økte som en følge av kalking. Hverken i Canada (Yan og Dillon 1994) eller i det norske kalkingsprosjektet (Baalsrud 1985) ble det funnet noen tilsvarende endring i artsantallet. Yan og Dillon (1984) viste imidlertid en endring i artssammensetningen. Den prosentvise andelen av cryptomonader og dinophyceer (dinoflagellater) ble redusert mens andelen av diatoméer (kiselalger) og/eller chrysophyceer økte etter kalking. *Peridinium inconspicuum* er en typisk representant blandt dinoflagellatene i sure innsjøer. Både i Sverige og Norge har tettheten av denne algen gått tilbake etter kalking (Hörnström og Ekström 1983, Baalsrud 1985).

Sekundære effekter: Et viktig mål med kalkingen i Hagavatn er å endre zooplanktonsammensetningen. Dersom vannloppen *Bosmina* erstattes av *Daphnia* kan dette føre til økt beitepress på de minste planteplanktonartene (chrysophyceer og cryptophyceer) siden daphniene mer effektivt filtrerer planteplanktonet. Siden algebiomassen naturlig er lav i Hagavatn vil vi imidlertid forvente at effekten av

endret beitetrykk først og fremst vil modifisere andre effekter av kalking, med hensyn på planteplanktonet.

5 Effekter på zooplankton

Zooplanktonsamfunnet i en innsjø påvirkes av forsurening ved at diversiteten går ned. Antall arter og mengden av dem vil også påvirkes av predasjonstrykket fra fisk og algesammensetningen i innsjøen. De forskjellige artene har ulike toleransenivåer når det gjelder pH. Sure sjøer i Skandinavia er karakterisert med en dominans av slekten *Bosmina* og få *Daphnier*. Det er tidligere funnet forhøyet innhold av *Bosmina* i råvannet ved Matningsdal, og dette har ført til episoder av sterkt forhøyet turbiditet og tiltetting av filter ute på ledningsnett.

I Hovvatn ved Evje var *Bosmina longispina* den dominerende arten før kalking (Brettum og Hindar 1985). Det første året etter kalking økte imidlertid mengden av denne arten, delvis fordi forekomsten av andre arter var for små til å kunne produsere noen større mengder bare ett år etter kalking. To år etter kalking så man derimot en forandring i zooplanktonsamfunnet ved at andre og større arter (*Diaphanasoma brachyurum* og *Holopedium gibberum*- gelekreps) ble mer dominerende.

Undersøkelser i kalkbehandlede sjøer i Gjerstadregionen viste at hoppekreps økte i antall (Brettum og Hindar 1985). Hoppekreps kan som *Bosmina* oppholde seg i dypere vannlag, og vil ved en eventuell oppblomstring kanskje ikke gjøre problemene i Hagavatn bedre.

Ved kalking av sure vann kan man også etterhvert få en dominans av *Daphnia* sp.. Disse vannloppene oppholder seg helst i de øvre lag av vannmassene, og undersøkelser tyder på at de er noe mer konkurransedyktige i forhold til *Bosmina*. *Bosmina* vil derfor kunne bli "tvunget" til å leve lenger ned i vannmassene. Da vanninntaket ligger på 24 m dyp, er det tvilsomt om kalking vil føre til reduserte problemer med *Bosmina*.

Å forutsi hva som kan skje i zooplanktonsamfunnet ved en eventuell kalking av Hagavatn og andre sure vann er svært vanskelig. Svenske undersøkelser viser at zooplanktonsamfunnets utvikling etter kalking er avhengig av hvilke arter som finnes i vannet i kalkingsøyeblikket (Appelberg og Aldén 1992). Vandringshinder og koloniseringskilder for nye arter, som ikke-forsurede sjøer, er også av stor betydning. I tillegg vil som sagt tidligere, algesammen-

setningen og predasjon fra f.eks fisk påvirke dette samfunnet. Den totale mengden av zooplankton kan også øke etter kalking pga. at det blir levelige vilkår for andre og kanskje større arter.

Det er likevel grunn til å anta at den totale mengde zooplankton ikke vil forandre seg vesentlig etter kalking. Næringssaltmengden vil bestemme den øvre grense for mengden zooplankton som kan produseres. Hagavatn er næringsfattig og kan neppe produsere zooplanktonbiomasser over 500 mg tørrvekt m⁻². Dette er normale mengder i naturlige norske innsjøer og er ikke rapportert å ha ført til praktiske problemer for bruken ved drikkevann, fiske etc.

6 Effekter på fisk

I samband med forslaget om kalking av Hagavatn, kan det være av interesse med et tilbakeblikk på forsuringssituasjonen i Rogaland. Helgávassdraget var ett av de første vassdragene i Rogaland hvor det ble registrert forsuringsskader på fisk (Hesthagen et al. 1982). Allerede før 1940 ble det rapportert om tapte aurebestander, og spesielt fra 1950 og utover har det vært omfattende skader på fiskebestander i vassdraget. Berggrunnen i Helgávassdraget består av tungt forvitrede bergarter, og det meste av løsmassene er vasket vekk fra høyereliggende områder (Abrahamsen et al. 1972). Følgelig hadde innsjøene i vassdraget liten evne til å motstå forsuring, dvs bufferkapasiteten er lav. Tålegrensen for overflatevann er også sterkt overskredet i dette området (cf. Henriksen og Hesthagen 1993). Videre inneholder berggrunnen i vassdraget mye aluminium (anorthosit), og dette er nok noe av forklaringen på de høye Al-verdiene som er målt (Skogheim og Sivertsen 1981, Skogheim et al. 1984).

Ved en intervju-undersøkelse i Ognå og Helgávassdraget i 1981/82 ble det registrert betydelige forsuringsskader på fiskebestander i innsjøer (Hesthagen et al. 1982). Ved denne undersøkelsen ble det registrert fiskestatus for 45 aurebestander, av disse hadde 22 bestander gått helt tapt mens ytterligere 10 bestander var redusert. En av disse lokalitetene var Hagavatn hvor aurebestanden avtok i løpet av 1970 tallet. Hagavatn hadde opprinnelig en god aurebestand. Prøvefiske i Hagavatn i 1982 og 1983 viste at bestanden nå nærmest hadde gått tapt (Berg 1987, SFT 1984). For å opprettholde et fiske i

innsjøen, ble det i 1985 satt ut 5000 aureunger. Prøvefiske ett år seinere indikerte bra tilslag idet fangsten var 45 individer på 6 garn (24-40 mm). I 1986 ble det satt ut 3000 aureunger i Hagavatn, og nytt prøvefiske ble foretatt i juni 1991 med to "Jensen-bunnngarnserier" og to flytegarnerier i ett av bassengene i Hagavatn (Persson 1991). Likevel ble det ikke fanget mer enn to individer. Derimot satte lokale fiskere garn i de to andre bassengene, og fangstene til disse ble oppgitt som rikelig.

Det er foretatt en rekke kalkingsprosjekt for å restaurere fiskebestander i tidligere sure innsjøer i Norge såvel som i utlandet. I Norge har det foregått langsiktige prosjekt i Hovvatn og Vegår på Sørlandet (Åtland et al. 1989, Kleiven 1989). Begge disse undersøkelsene har vist positive effekter på vekst og overlevelse hos aure. Imidlertid har undersøkelsen i Hovvatn vist drastisk nedgang i fangstutbytte etter en viss periode i reforsuringsprosessen.

I både Finland og Sverige viser også flere undersøkelser at kalking har hatt en positiv effekt på fiskebestander etter kalking (Raitaniemi og Rask 1990, Appelberg og Degerman 1991).

Det vil likevel være visse begrensninger og usikkerheter av effekten av kalking på fiskeproduksjonen i Hagavatn. Reguleringen av innsjøen har trolig resultert i en reduksjon i mengden invertebrater i strandsonen. Kort tid etter kalking i ikke-regulerte innsjøer kan invertebrater utgjøre en stor andel av dietten til fisken, men disse gruppene kan seinere bli erstattet av zooplankton (Gloss et al. 1989). Imidlertid er det usikkert om utsatt aure i Hagavatn (ikke stedegen stamme) vil gå ut i den pelagiske sone og beite på zooplankton.

Videre må behovet for kalk beregnes nøye for å oppnå en tilfredsstillende vannkvalitet. Effekten av kalking avtar over tid, avhengig av dosering og avrenning. Dersom det inntreffer perioder med mye nedbør eller høy avsmelting, kan det oppstå perioder med ugunstig vannkvalitet (Booth et al. 1986). Slike forhold kan være mere avgjørende for fiskeproduksjonen enn tilgangen på næring (Schofield et al. 1989).

Kalking av et innsjøsystem med aure bør også omfatte innløpselva og eventuelt tilløpsbekker for å sikre den naturlige rekrutteringen.

7 Konklusjon

Kalkingen bør legges opp på en slik måte at stabile men moderate endringer i Ca-konsentrasjonen (2,0-2,5 mg/l), pH (6,2-7,0) og alkalitet (<150 µg/l) sikres. Målsettingen bør være at Al-konsentrasjonen halveres og at innholdet av labilt Al reduseres til 0-50 µg/l. Det forventes ikke vesentlige endringer i innholdet av næringssalter eller andre ioner. Problemer med blandsoner bør kunne unngås ved riktig kalkingsstrategi.

Totalt sett vil kalking i Hagavatn høyst sannsynlig få ubetydelige langtidseffekter med hensyn på planteplanktonet. Ved gradvis og moderat kalking vil en også kunne unngå negative korttidseffekter. I en næringsfattig innsjø som Hagavatn vil en ikke forvente noen vesentlig endring i primærproduksjon eller biomasse som et resultat av kalking. Mindre endringer i artssammensetningen, der dioflagellaten *P. inconspicuum* går tilbake mens andelen av kiselalger øker, kan imidlertid forventes. Endret beitetrykk fra zooplankton kan modifisere endringer i planteplanktonsammensetningen.

Ved moderat kalking forventes heller ikke vesentlige endringer i produksjon og biomasse av zooplankton. Artssammensetningen kan forventes å forskyve seg mot større arter som *Daphnia* og *Holopedium* som er følsomme mot forsurening. Det er tvilsomt om kalkingen vil redusere problemet med tiltetting av filter på vanninntak på grunn av krepsdyr (*Bosmina*). En endring mot større og flere arter av zooplankton er positivt for innsjøens produksjonssystem sammenlignet med tilstand i dag med dominans av *Bosmina* og eventuelt små rotatorier (hjuldyr).

Kalking av vatnet forventes å få positive effekter for overlevelse og vekst hos aure. Bedring av rekrutteringsmulighetene avhenger av kalking og vannkvalitet i tilløpsbekker anvendelig for gyting og oppvekst.

En totalvurdering tilsier at fordelene er større enn ulempene ved kalking. Vi anbefaler derfor at Hagavatn kalkes for å bedre vannkvalitet og biologiske forhold i innsjøen. Kalkingsstrategi og metoder er ikke vurdert. Det må forventes at kalkingen må gjentas. Dette er avhengig av nedbør og vanngjennomstrømning. Kalkingen bør følges opp med undersøkelser av vannkvalitet og biologiske effekter.

8 Litteratur

- Abrahamsen, J., Pallesen, P.F. og Solbakken, T. 1972. Fylkeskompendium for Rogaland. Om naturvitenskapelige interesser knyttet til uregulerte og "ubetydelig" regulerte vassdrag. Bind II. Kontaktutvalget for vassdragsregulering, Univ. i Oslo. 372 s.
- Appelberg, M. og Aldén, V. 1992. Integrerad oppfølging av kalkingens effekter på sjøar och vattendrag - en treårsrapport. - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm Nr. 4. 1992.
- Appelberg, M. og Degerman, E. 1991. Development and stability of fish assemblages after lime treatment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:546-554.
- Baker, J.P. og Schofield, C.L. 1981. Aluminium toxicity to fish in acidic waters. *Water, Air and Soil Pollut.* 18:289-309.
- Baalsrud, K. 1985. Liming of acid water. Final technical report on the liming project. - Direktoratet for naturforvaltning, Rapport nr. FRS, 147 s.
- Berg, E. 1987. Melding om fiskeribiologiske granskningar i 1986. Hagavatn. Rogaland Skogselskap. Stensilert rapport. 4 s.
- Booth, G.M., Hamilton, J.G. og Molot, L.A. 1986. Liming in Ontario: Short-term biological and chemical changes. *Water, Air, and Soil Pollut.* 31:709-720.
- Brettum, P. og Hindar, A. 1985. I Liming project final report. Liming of acid water. Kjell Baalsrud (Editor).
- Driscoll, C.T., Baker, J., Bisogni, J., og C. Schofield. 1980. Effects of aluminium speciation on fish in dilute, acidified waters. - *Nature* 284:161-164.
- Erstad, K.-J. 1992. Moglege negative effekter av vassdragskalking. I: Vassdragskalking- strategi og effekter. Direktoratet for Naturforvaltning, DN-notat 1992-5: 72-75.
- Fivelstad, S. og Leivestad, H. 1984. Aluminium toxicity to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Brown trout (*Salmo trutta* L.): Mortality and physiological respons. - *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 61: 69-77.
- Gloss, S.P., Schofield, C.L., Spateholts, L. og Plonski, B.A. 1989. Survival, growth, reproduction, and diet of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) stocked into lakes after liming to mitigate acidity. *Can.J.Fish. Aquat. Sci.* 46:277-286.
- Grahn, O., Hultberg, H. og Landner, L. 1974. Oligotrophication - a self-accelerating process in lakes subject to excessive supply of acid substances. - *Ambio* 3: 93-94 Kap 2 og 4.
- Henriksen, A. og Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. *Naturens Tålegrenser*, Fagrapport nr. 43. 12s.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I. og Skogheim, O.K. 1982. Ogna - og Helgåvassdraget i Rogaland. Fiskestatus og vannkvalitet. DVF-Fiskeforskningen. Rapp. Nr. 4. 34 s.
- Hindar, A. 1993. Store Hovvatn. Vannkjemi, s. 139-143. I: Romundstad, A.J., red., Kalking i vann og vassdrag 1991. FoU-årsrapporter. - DN-notat 1993-1, 281 s.

- Hindar, A. 1987. Rosævatn, Aust-Agder, s. 74-80. I: Hindar, A., red., Kalkingsvirksomheten i perioden 1984-1986. - Direktoratet for naturforvaltning, Rapport nr. 2-1987, 99 s.
- Hörnström, E. 1979. Kalkings- og forsureningseffekter på växt-plankton i tre västkustsjöar. - Statens naturvårdsverk rapport, SNV PM, 1220, 45 s.
- Hörnström, E. og Ekström, 1983. pH-, närings- och aluminiumseffekter på plankton i västkustsjöar. - Statens naturvårdsverk rapport, SNV PM 1704, 124 s.
- Kleiven, E. 1989. prøvefiske i Vegår og Tjønnestrand i forbindelse med kalking. DN-Notat nr.4-1989, s.33-36.
- Kroglund, F., Lydersen, E., Rosseland, B.O., Salbu, B., Kvellestad, A., Polèo, A.B.S. og Vogt, R. 1992. Tilsig fra sure sidebekker i kalkede vassdrag: Kompleks aluminiumskjemi og akutt giftighet for laksefisk. I: Kalking i vann og vassdrag. FoU-årsrapporter 1990. DN-notat nr. 4-1992, Trondheim.
- Lydersen, E. 1993. Sedimentert og utfelt aluminium som potensielt miljøproblem. Foredrag ved Seminar om kalking i vann og vassdrag, 27. - 28. oktober 1993 i Haugesund. - DN-notat, under utarbeidelse.
- Naturvårdsverket. 1988. Kalking av sjöer og vattendrag. - Almäna råd 88:3. 74 s
- Persson, U. 1991. Prøvefiske i Hagavatn. Fylkesmannen i Rogaland, Miljøvernadv., Miljønotat nr. 3-1991. 10s.
- Polèo, A.B.S., Lydersen, E. og Muniz, I.P. 1991. The influence of temperature on aqueous aluminium chemistry and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fingerlings. Aquat. Toxicol. 21: 267-278.
- Raitaniemi, J. og Rask, M. 1990. Preliminary observations on the effects of liming to the fish populations of small acidic lakes in southern Finland. Aqua Fennica 20:115-123.
- Rosseland, B.O., Blakar, I.A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M. og Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonides. Environ. Pollut. 78: 3-8.
- Schofield, C.L., Gloss, S.P., Plonski, B. og Spateholts. 1989. Production and growth efficiency of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in ten Adirondack mountain lakes (New York) lakes following liming. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:333-341.
- SFT. 1984. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1983. Statens forurensningstilsyn, Statlig Statens forurensningstilsyn, Rapport 162/84. 198 s.
- Skogheim, O.K. og Sivertsen, A. 1981. Kjemisk overvåking av vannkvalitet 1980. DVF-Fiskeforskningen, Rapport Nr. 6. 74 s.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O. og Sevaldrud, I.H. 1984. Deaths of spawners of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in River Ognå, SW Norway, caused by acidified aluminium-rich water. Rep.Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61:195-202.
- Yan, N.D. og Dillon, P.J. 1984. Experimental neutralization of lakes near Sudbury, Ontario. I: Nriagu, J., red., Environmental impacts of smelters. John Wiley og Sons, Inc. Canada. s. 417-456.

Åtland, Å., Barlaup, B. og Raddum, G. 1989. Overvåking av fisk i Hovvatn etter kalking i 1981. DN-Notat nr. 4-1989, s.27-31.

nina
oppdrags-
melding

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-423-1

Norsk institutt for
naturforskning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel. 73 58 05 00