

# Kalking av surt vann

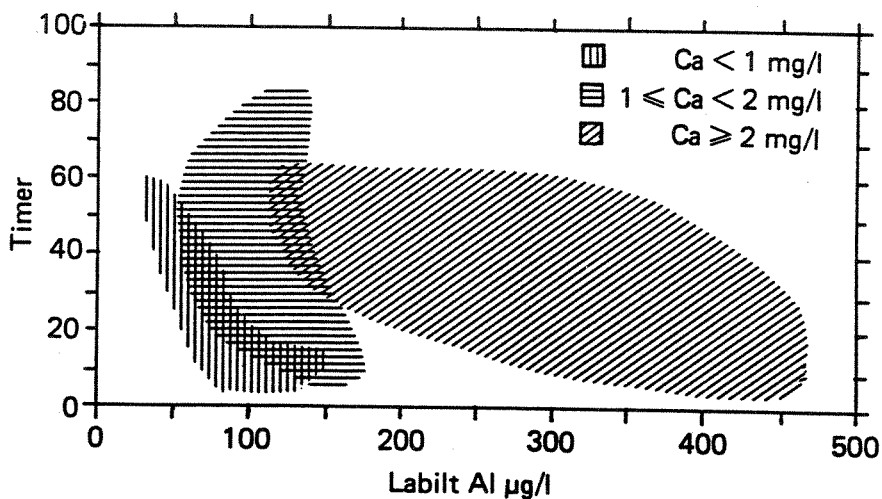
## 5/89

Oppdragsgiver NIVA

Deltakende institusjon NIVA

## Kalking av rennende vann

Vurdering av toleransegrenser  
for laks og sjørret ved driftstans av  
doseringsanlegg



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor  
Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen  
Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:
Q-209
Undernummer:
Løpenummer:
2225
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:	Dato:
Kalking av rennende vann. Vurdering av toleransegrenser for laks og sjørret ved driftstans av doseringsanlegg.	27.2.89
	Prosjektnummer:
	Q-209
Forfatter (e):	Faggruppe:
Rosseland, Bjørn Olav	Sur-nedbør
	Geografisk område:
	Norge
	Antall sider (inkl. bilag):
	14

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
Norsk institutt for vannforskning (NIVA)	

Ekstrakt:
<i>Vurderingen av biologiske konsekvenser ved en driftstans i kalkingsanlegg i lakseførende vassdrag er gjort på bakgrunn av litteraturdata. De mest følsomme stadiene i livssyklus hos laks og sjørret er plommesekk- til startføret yngel, smolt og gytefisk. Perioden under laksens oppvandring og fra gyting til smoltutvandring er mest kritisk. pH, kalsium og labilt Al bestemmer tidsutviklingen for dødelighet, der kalsiumkonsentrasjonen er en nøkkelfaktor. Ved Ca &lt; 1 mg/l vil dødelighet kunne oppstå etter 6 timer ved LAI &gt; 70 µg/l og pH &lt; 5,5. I Audna vil en driftstans ved Tryland ha størst effekt. avhengig av tilførslene fra kraftverket oppstrøms.</i>

4 emneord, norske:

1. Kalking av elv
2. Laksefisk
3. Følsomme stadier
4. Toleransegrenser

4 emneord, engelske:

1. Liming of river
2. Salmonids
3. Sensitive life history stages
4. Levels of tolerance

Prosjektleder:

Bjørn Olav Rosseland

For administrasjonen:

Bjørn Braaten

ISBN - 82-577-1520-4

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

ROS/ROS

KALKING AV RENNENDE VANN

VURDERING AV TOLERANSEGRENSER FOR LAKS OG SJØØRRET  
VED DRIFTSTANS AV DOSERINGSANLEGG.

Oslo, februar 1989

Bjørn Olav Rosseland

## FORORD

Kalking av rennende vann er er det mest kompliserte av alle de kalkingstiltak som er igangsatt i Norge idag. De to laksevassdragene som idag kalkes har enten en naturlig laksestamme som beskyttes mot utryddelse (Vikedalselva), eller har en ny laksestamme under etablering (Audna). I begge tilfeller vil sikkerheten av de kalkdoseringsanleggene som benyttes ha en avgjørende betydning for om tiltakene skal forbli vellykket.

Denne rapporten er laget for bedre å kunne sette kriterier for vannkvalitet og gi et bilde av de tidsperspektiver man står overfor dersom man ønsker å forhindre fiskedød ved driftstans i kalkdoseringsanlegg.

Arne Henriksen (NIVA) takkes for verdifulle kommentarer til rapporten.

Oslo, februar 1989

Bjørn Olav Rosseland

INNHALDSFORTEGNELSE

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
I. INNLEDNING	4
II. FØLSOMME STADIER AV LAKS OG SJØØRRET	4
Følsomme stadier av laks	5
Følsomme stadier av sjøørret	6
III. KRITISKE PERIODER UNDER ÅRET FOR LAKS OG SJØØRRET	6
IV. GRENSEVERDIER FOR VANNKVALITET OG EKSPONERINGSTID VED KRITISKE EPISODER	7
V. TIDSASPEKT FOR DØDELIGHET VED DRIFTSTANS I AUDNA	9
VI. KONKLUSJON	10
VII. REFERANSER	11

## I. INNLEDNING

To lakseførende elver blir idag kalket for å opprettholde en laksebestand; Vikedalselva i Rogaland og Audna i Vest Agder. Disse blir nøytralisert ved at kalk doseres kontinuerlig til ellevannet gjennom hele året (Audna) eller deler av året (Vikedal). I tillegg til disse to er Storelva i Aust Agder kalket ved at innsjøen Vegår, oppstrøms vassdraget, er kalket (Hindar et al. 1987).

Kalking av rennende vann er komplisert. I tillegg til de styrings- og doseringstekniske problemer bundet til en kalkdoserer, vil elva nedstrøms doseringspunktet få tilført nytt surt vann fra sidevassdrag. Teknisk kan dette løses ved enten å kalke sidevassdragene før disse renner ut i hovedvassdraget, og/eller ha flere doserere i hovedvassdraget. I Vikedal ligger det vesentligste av nedbørfeltet ovenfor den ene kalkdosereren øverst i den lakseførende strekning. I Audna, som har en lengre lakseførende strekning enn Vikedalselva, er det plassert to kalkdoserere i hovedvassdraget (Hindar et al. 1987, Rosseland og Hindar 1988).

Ethvert system som er basert på kontinuerlig dosering av base til surt rennende vann vil kunne oppleve dramatiske endringer i vannkvalitet ved driftstans i dosereren. De biologiske effektene av en slik driftstans vil avhenge av en rekke forhold som både er relatert til årstid, vannkjemi og biologiens (fiskens) følsomhet.

Kalking av vassdrag har som hovedmål å gi grunnlag for eller gi bedre levevilkår for fisk. Ethvert forhold som setter grenser for fiskens evne til å overleve har derfor betydning i vurderingen av kalkingstiltakets omfang (strategi). En naturlig konsekvens av dette er derfor å vurdere hvilke skader en driftstans i et kalkdoseringsystem vil få.

Denne rapporten gir en vurdering av hvilke tider på året og hvilke stadier i livssyklus hos atlantisk laks (Salmo salar L.) og og sjørørret (Salmo trutta L.) som er mest utsatt ved en rask endring i vannkvalitet. Basert på litteraturdata, er det gitt en vurdering av tidsfaktorer for dødelighet som er sansynlige innenfor ulike vannkvalitetsklasser. I deler av rapporten er Audna brukt som et eksempel for bruk av dataene.

## II. FØLSOMME STADIER AV LAKS OG SJØRØRRET

Denne rapporten behandler forsøk med laks og sjørørret som er

gjennomført i en lang rekke lokaliteter med tildels sterkt varierende vannkjemii. Noen forsøk er gjort i vassdrag under "naturlige" sure episoder, mens andre er utført under laboratorieforhold der vannkvaliteten var mer kontrollerbar. Få undersøkelser har sammenliknet ulike stadier i livssyklus hos de to arter samtidig. Likeledes har bare et fåtall av forsøkene brukt de samme stammene av laks eller sjøørret, et forhold vi vet har betydning bl.a. for ørret. Det må derfor utvises en viss varsomhet når en bruker de grenseverdiene som gis i denne rapporten.

### Følsomme stadier av laks

Smoltstadiet er det livsstadium av laks som ved sammenliknende forsøk er funnet å være mest følsomt (Rosseland og Skogheim 1982, 1984, 1986, Rosseland et al. 1986a, Henriksen et al. 1984, Leivestad et al. 1987). Grunnen til dette er de prosesser som skjer i fisken i forbindelse med smoltifisering. Karakteristisk for smoltifisering er en økende aktivitet av gjellenzymene Na-K-ATPase og karbonsyre anhydrase, bl.a. når smolten forbereder seg til å håndtere en meget stor saltgradient i det marine miljø. Disse enzymsystemer hemmes ved en eksponering til surt vann (Staurnes et al. 1984, Kjartansson 1984, Leivestad et al. 1987, Reite og Staurnes 1987).

Eksponering til surt, men ikke direkte giftig vann (subletalt), vil kunne redusere laksens sjøvannstoleranse, og derved redusere muligheten for overlevelse ved utvandring til eller utsetting i sjøvann (Saunders et al. 1984, Reite og Staurnes 1987). En har også vist i forsøk på Sørlandet (bl. a. i Audna) at smolt utsatt i surt ellevann har en dårligere tilbakevandring (målt som gjenfangst av merket smolt) enn laks satt ut i ikke-sure vassdrag (Hansen 1982, Hindar et al. 1987). Erfaringer fra fiskeoppdrett viser også at laks som går i suboptimale vannkvaliteter langt hyppigere får infeksjoner og gjellebetennelse, noe som lett fører til økt dødelighet. Frekvensen av slike symptomer i naturen er ikke kjent. Forsøk med tilsetting av ulike mengder aluminium i surt vann har entydig vist utvikling av gjellebetennelse og ødeleggelse av gjellevev (Karlsson-Norrgren et al. 1986). En generell oversikt over aluminiums virkning på fisk i surt vann er gitt i Rosseland et al. (1989).

Etter at laksen har tilbakelagt gytevandringen i havet og skal til å vandre opp i elvene, har den pånytt en svært følsom periode. Flommer med surt ellevann kan medføre stor dødelighet av gytelaks i denne perioden (Skogheim et al. 1984, Rosseland et al. 1986b). Forsøk har også vist at laksen er meget følsom overfor ferskvann med lav pH når

den går fra sjøvann til ferskvann (Potts et al. 1985).

Både smoltstadiet og stadiet ved oppvandring i vassdrag har derfor blitt betegnet som "supersensitive stadier" hos laks (Rosseland 1986)

#### Følsomme stadier av sjørret

Man regner ikke sjørret og vanlig brunørret for å være to forskjellige arter. I prinsippet kan derfor toleransegrenser funnet for brunørret benyttes for sjørret. Imidlertid har den "formen" av ørret som kalles sjørret et smoltstadium som laksen. Det er derfor ikke urimelig å anta at sjørreten har enkelte stadier i sin livssyklus som er noe mer følsomme enn tilsvarende hos brunørret.

Svært få forsøk har skilt disse to formene. Rosseland og Skogheim (1984) fant imidlertid liten forskjell i følsomhet overfor surt vann mellom ettårig og toårig brun- og sjørret, til tross for at den toårige sjørreten var under smoltifisering. Med ett unntak er kun resultatene fra sjørretundersøkelsene tatt med. Det gjelder ett forsøk med gytefisk av brunørret, utført senvinteren etter gyting. Dette fordi resultatene indikerte en sensitivitet nesten lik den en har funnet hos laksesmolt (Rosseland og Skogheim 1987). Resultatene fra omfattende bestandsundersøkelser av innlandsfisk viser også klart at brunørret etter gyting har en utsatt periode frem til neste sommer (Rosseland et al. 1980, Rosseland 1986). Det er derfor rimelig å anta at også sjørreten har en svært sensitiv periode på senvinteren og våren etter gyting.

Utfra de forsøk som til nå er utført, synes derfor sjørret å være mest utsatt for sure episoder i tiden fra gyting til ut vårflommene, d.v.s. fra oktober/november til april/mai. Da gyteperioden varierer mellom ulike stammer av sjørret vil den eksakte perioden kunne variere noe mellom ulike vassdrag.

### III. KRITISKE PERIODER UNDER ÅRET FOR LAKS OG SJØRRET

Tidene på året som er mest kritisk for laks og sjørret er bestemt av to forhold;

- 1) de periodene av året når vannkvaliteten er dårligst.
- 2) de periodene av året når artene har de mest følsomme stadier i



livssyklus.

De tidspunkt på året hvor disse to forhold sammenfaller, vil være den mest kritiske perioden for laks og sjørret. Det betyr også at det med årlige variasjoner i vannkvalitet, vil være ulike stadier i livssyklus som kan være mest utsatt i et gitt vassdrag i ulike år.

To perioder av året skiller seg ut med hensyn på marginale vannkvaliteter og surt vann; vår og høst. Dette har sammenheng med vårens snøsmelting og høstens mange nedbørperioder. Samtidig med at vannet i disse perioder ofte blir svært surt, skjer det også en hydrologisk fortykning som reduserer konsentrasjonen av viktige forbindelser som naturlig virker beskyttende for fisk, særlig kalsium.

Flomperiodene vår og høst vil derfor være mest kritisk med tanke på kalking av rennende vann, idet den sure avrenningen sammenfaller i tid med de mest følsomme stadier av laks og sjørret. For disse artene vil derfor perioden etter gyting og ut smoltifiseringsperioden, d.v.s. fra oktober/november og ut april/mai, være mest kritiske m.h.p. sure episoder. I tillegg kommer den perioden på høsten da laksen vandrer opp fra havet, idet oppvandringen primært skjer i forbindelse med flommer. Denne perioden vil variere fra vassdrag til vassdrag, avhengig av laksestammens vandringsmønster.

#### IV. GRENSEVERDIER FOR VANNKVALITET OG EKSPONERINGSTID VED KRITISKE EPISODER

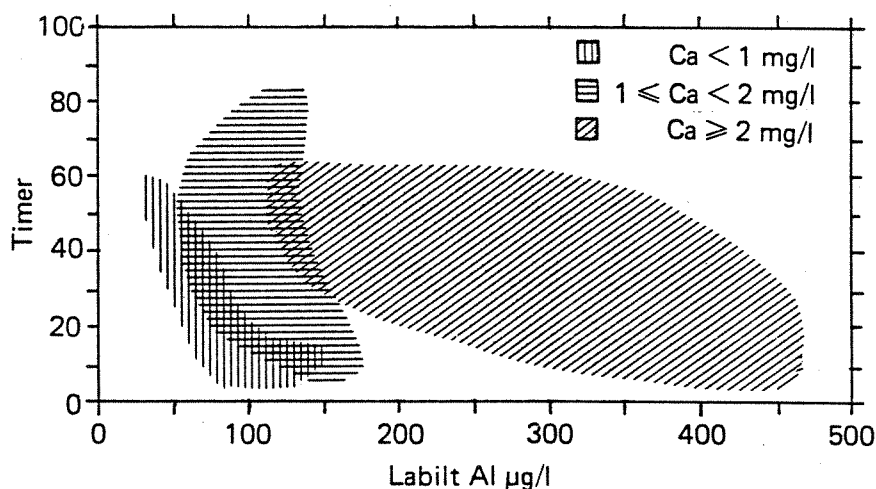
For å tallfeste grenseverdier for når surt vann vil medføre dødelighet av laks og sjørret, er bare resultater fra undersøkelser og forsøk utført i Norge tatt med. Dette skyldes først og fremst at den generelle vannkvaliteten i Norge skiller seg fra forsuringsområdene i andre land (svært lav ionestyrke). Dessuten har de aller fleste arbeider som omhandler følsomheten til disse artene overfor surt vann vært utført i Norge.

De viktigste kjemiske parametrene som er brukt for å sette vannkvalitetskravene er: pH, kalsium (Ca) og inorganisk monomert aluminium (labilt aluminium, LA1). Bare undersøkelser der alle disse parametre er målt er tatt med i denne oversikten. Både pH - områdene og kalsiuminnholdet har stor betydning for at en gitt konsentrasjon av LA1 skal medføre stress eller dødelighet. Det har derfor vært formålstjenlig å inndele oversikten i tre kalsiumnivåer (Ca = 0.50 - 0.99, 1.00 - 1.99 og > 2 mg/l). pH - området som dekkes spenner fra pH 4.5 - 5.5. Grunnen til at dette området ikke er inndelt videre,

skyldes at det i den eksisterende datamengde ikke er grunnlag for å peke ut ett bestemt pH-område som mest kritisk. Det er kun benyttet data fra forsøk der en har hatt tilnærmet kjemisk likevekt m.h.t. Al-spesiering. I slike systemer har det ikke vært rapportert om dødeligheter ved  $\text{pH} > 5.5$ . Har surt vann blitt nøytralisert utilstrekkelig, enten ved bruk av et ikke-kalsiumholdig produkt, eller ved kalking der den toltale kalsiummengden ble mindre enn 2 mg/l etter tilsetning, har det blitt registrert dødelighet av laksesmolt ved  $\text{pH} > 6.0$  (Skogheim et al. 1986). Disse data er ikke tatt inn i denne rapporten.

Resultatene som er vist i figur 1 gir en oversikt over de nivåer av labilt Al som i gitte Ca - områder har gitt dødelighet på ulike stadier i livssyklus hos laks og sjøørret i pH området 4.5 - 5.5.

Tidsaksen som er brukt i figuren er timer inntil første fisk er funnet død. Fisken har selvsagt i perioden før død vært stresset, slik at tidsaspektet for en "ustresset" fiskebestand vil være kortere enn det denne oversikten viser. At enkelt-fisk dør etter et gitt tidspunkt i en gitt vannkvalitet betyr nødvendigvis ikke at all fisk ville ha død ved lenger tids eksponering i samme vannkvalitet. Imidlertid vil det



Figur 1. Konsentrasjoner av labilt aluminium (LAl) som funksjon av tid frem til første registrerte dødelighet av laks og ørret i vann med ulik konsentrasjon av kalsium (Ca). Data er sammensatt fra undersøkelser referert i teksten.

gi en god indikasjon på uakseptable vannkjemiske forhold som eventuelt kan gi sekundære bivirkninger (gjellebetennelse o.l.).

Figuren er basert på følgende arbeider: Fivelstad og Leivestad 1984, Henriksen et al. 1984, Rosseland og Skogheim 1982, 1984, 1986, 1987, Rosseland et al. 1986a, 1986b, 1986c, Skogheim og Rosseland 1984, 1986, Skogheim et al. 1984, 1986, 1987a, 1987b, 1989.

Som det fremgår av figuren vil tiden fra start av en episode til første dødelighet inntreffer være svært avhengig av kalsiumnivået og konsentrasjon av labilt aluminium. De nedre grenseverdiene innen et gitt Ca - område representerer de mest følsomme stadier av de to artene. Dessuten vil følsomheten øke mot de nedre konsentrasjoner av kalsium innen hvert område.

I følge figur 1 vil dødelighet av laksesmolt kunne skje innen 6 - 10 timer når konsentrasjonen av kalsium er under 1 mg/l og labilt Al på 70 - 110 µg/l. Øker kalsium til henholdsvis mellom 1 - 2 og over 2 mg/l, må konsentrasjonen av labilt Al økes tilsvarende til henholdsvis 150 - 180 µg/l og 300 - 470 µg/l for å oppnå samme raske dødelighetsutvikling.

#### V. TIDSASPEKT FOR DØDELIGHET VED DRIFTSTANS I AUDNA.

Audnavassdraget i Vest Agder har siden oktober 1985 blitt kalket på den opprinnelige lakseførende strekningen. Etter den innledene kalkingen av Ytre Øydnavatn, har vassdraget beholdt en god vannkvalitet ved hjelp av to doseringsanlegg for kalksteinsmel. Disse er plassert ved Stedjan, overfor Ytre Øydnavatn, og ved Tryland (Hindar et al. 1987, Rosseland og Hindar 1988). Bakgrunnen for å bibeholde en god vannkvalitet i Ytre Øydnavatn er at innsjøen skal virke som et reservoar og sikre en stabil og god vannkvalitet nedstrøms innsjøen. Det nedre doseringsanlegget kompenserer for tilførselene av surt vann fra sidevassdrag i mellomliggende område.

Etter at laks er satt ut i Audna, er det av avgjørende betydning at vannkvaliteten til enhver tid gir levelige forhold for fisken. En vesentlig endring av vannkvaliteten, f. eks. ved en driftstans i kalkingsanleggene, kan tenkes å medføre kritiske forhold for deler av bestanden. Konsekvensene ved en eventuell driftstans er imidlertid vanskelig å forutsi, og vil avhenge av alle de faktorer som er diskutert tidligere. Den nedenforstående diskusjon er basert på figur 1.

I øvre del av Audna, Våråna, er kalsiumkonsentrasjonen svært lav og under 1 mg/l (Rosseland et al. 1986c). Dette vil være et meget følsomt system. Har en derfor de mest følsomme stadier av laks og sjørret tilstede, vil dødelighet kunne oppstå etter 6 - 60 timer ved konsentrasjoner av labilt Al på mellom 40 - 150 µg/l.

Da den lakse- og sjørretførende strekning vil være nedstrøms Ytre Audnavatn, vil driftstans av kalkdoserer ved Stedjan få liten betydning på kort sikt på grunn av stort volum og lang oppholdstid i Ytre Audnavatn. Nedstrøms innsjøen vil derimot sidevassdrag tilføre surt vann, som p.g.a. kjemiske og hydrologiske forhold både vil redusere pH, øke mengden med labilt aluminium og redusere kalsiumkonsentrasjonen i hovedvassdraget.

Ved Tryland hadde man en kalsiumkonsentrasjon før kalkingen startet på mellom 1-2 mg/l (Hindar et al. 1987, Rosseland og Hindar 1988). Her vil det med kalsiumnivåer nær 1 mg/l kunne gå fra 6 - 90 timer før første dødelighet av de mest følsomme stadier inntreffer, avhengig av en pH < 5.5 og konsentrasjoner av LA1 på mellom 50 - 180 µg/l. Er kalsiuminnholdet over 2 mg/l vil tiden for første registrerte dødelighet øke betydelig ved en gitt Al-konsentrasjon.

Konsekvensene av en driftstans ved Tryland vil avhenge av vannføringen og vannkvaliteten i hovedvassdraget oppstrøms anlegget, og tilført mengde surt vann via kraftverket. Dersom tilførslene fra kraftverket kan resultere i en vannkvalitet etter innblanding med pH < 5.5 og kalsium < 2 mg Ca/l, bør man ha forhandlet seg til en avtale med kraftverket om redusert drift eller stans i kraftproduksjonen ved en stans i kalkingsanlegget.

Nedgraving av rognesker, faste takseringsstrekninger for ungfisk og observasjon av død fisk, vil kunne gi et sikrere grunnlag for vurdering av eventuelle biologiske skader ved et uhell.

## VI. KONKLUSJON

Ved en eventuell driftstans i kalkingssystemene i en lakseførende elv vil konsekvensene for laksen og sjørreten i vassdraget være avhengig av når på året driftsstansen skjer, og hvilke verdier av pH, kalsium og labilt aluminium som oppstår på strekningen nedstrøms kalkingsanlegget.

De mest følsomme stadier i livssyklus hos laks og sjørret vil være plommeseekyngel, smolt og gytefisk. Med dagens kunnskap regnes

laksesmolt for å være mest følsom.

Tider på året som krever særlig god vannkvalitet er under laksens høstoppvandring fra havet (varierer mellom vassdrag), og tiden etter gyting og ut smoltutvandringen, fortrinnsvis november - mai.

I Audna vil kalkingsanlegget ved Tryland kunne medføre de største negative virkninger ved en driftstans. Her vil det sure sidevassdraget som munner ut ovenfor anlegget ha en avgjørende betydning for vannkvaliteten nedstrøms. Vannførings- og vannkvalitetstall fra dette sidevassdraget og fra Audna ovenfor samløp, vil kunne gi en pekepinn på mulige konsekvenser for nedenforliggende strekning.

## VII. REFERANSER

Fivelstad, S. & 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.

Hansen, L.P. 1982. Gjenfangster av merket laksesmolt, Salmo salar L., utsatt i to sure elver på Sørlandet. Fauna 35: 145 - 149.

Henriksen, A., Skogheim, O.K. & Rosseland, B.O. 1984. Episodic changes in pH and aluminiums-speciation kill fish in a Norwegian salmon river. Vatten 40: 225 - 260.

Hindar, K., Kleiven, E., Haraldstad, Ø. Raddum, G.G., Wright, R.F., Fjellheim, A. & Johannessen, M. 1987. Kalkingsvirksomheten i perioden 1984 - 1986. DN-Rapport 2 - 1987, 99 pp.

Karlsson-Norrgren, L., Dickson, W., Ljungberg, O. & Runn, P. 1986. Acid water and aluminium exposure: gill lesion and aluminium accumulation in farmed brown trout, Salmo trutta L. J. Fish Disease 9, 1 - 9.

Kjartansson, H. 1984. Na-K-ATPase and residual Mg-ATPase activity of gill, pseudobranch and kidney tissue from salmonids before and after exposure to aqueous aluminium at low pH. Cand. scient oppgave, Universitetet i Bergen.

Leivestad, H., Jensen, E., Kjartansson, H. & Xingfu, L. 1987. Aqueous speciation of aluminium and toxic effects on Atlantic salmon. Annls. Soc. r. zool. Belg. Vol. 117 - supplement 1: 387 - 398.

- Potts, W.T.B., Talbot, C. & Eddy, F.B. 1985. Sodium balance in fresh - run Atlantic salmon. *J. Exp. Biol.* 118: 455 - 460.
- Roite, O.D. & Staurnes, M. 1987. Acidified water: effects on physiological mechanisms in the gills of salmonids. Surface water Acidification Program, Midterm Conference, Bergen 22 - 26. June 1987, pp. 298 - 304.
- Rosseland, B.O. 1986. Ecological effects of acidification on tertiary consumers. Fish population responses. *Water, Air, and Soil Pollut.* 30: 451 - 460.
- Rosseland, B.O. & Hindar, A. 1988. Liming of lakes, rivers and catchments in Norway. *Water, Air, and Soil Pollut.* 41: 165 - 188.
- Rosseland, B.O. & Skogheim, O.K. 1982. Physiological stress and mortality of Atlantic salmon, Salmo salar L., in acid water with high levels of aluminium. *Inter. Council for Exploration of the Sea. C.M.* 1982/M:29, 15 p.
- Rosseland, B.O. & Skogheim, O.K. 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. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 61: 186 - 194.
- Rosseland, B.O. & Skogheim, O.K. 1986. Neutralization of acidic brook-water using shell-sand filter or sea water: effects on eggs, alevins and smolts of salmonids. *Aquaculture* 58: 99 - 110.
- Rosseland, B.O. & Skogheim, O.K. 1987. Differences in sensitivity to acidic water among strains of brown trout (Salmo trutta L.). *Annls. Soc. r. zool. Belg.* Vol 117 - supplement 1: 255 - 264.
- Rosseland, B.O., Sevaldrud, I.H., Svalastog, D. & Muniz, I.P. 1980. Studies of freshwater fish populations - effects of acidification on reproduction, population structure and food selection. In: Drabløs, D. & Tollan, A. (eds.): *Ecological impacts of acid precipitation*, p. 336 - 337, SNSF - Project.
- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K., Kroglund, F. & Hoell, E. 1986a. Mortality and physiological stress of year-classes of landlocked and migratory Atlantic salmon, brown trout and brook trout in acid aluminium-rich softwater. *Water, Air, and Soil Pollut.* 30: 751 -756.

- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K. & Sevaldrud, I.H. 1986b. Acid deposition and effects in nordic Europe. Damage to fish populations continue to apace. *Water, Air, and Soil Pollut.* 30: 65 - 74.
- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K., Abrahamsen, H. & Matzow, D. 1986c. Limestone slurry reduces physiological stress and increases survival of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in an acidic Norwegian River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1888 - 1893.
- Rosseland, B.O., Eldhuset, T. & Staurnes, M. 1989. Environmental effect of aluminium. *Environmental Geochemistry and Health* (In press).
- Saunders, R.L., Henderson, E.B., Harman, P.R., Johnston, C.E. & Eales, J.G. 1983. Effects of low environmental pH on smolting of Atlantic salmon (Salmo salar). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1203 - 1211.
- Skogheim, O.K. & Rosseland, B.O. 1984. A comparative study of salmonid fish species in acid aluminium-rich water. I. Mortality of eggs and alevins. *Rep. Inst Freshw. Res. Drottningholm* 61: 177 - 185.
- Skogheim, O.K. & Rosseland, B.O. 1986. Mortality of smolts of Atlantic salmon, Salmo salar L., at low levels of aluminium in acidic softwater. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 37: 258 - 265.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O. & Sevaldrud, I.H. 1984. Deaths of spawners of Atlantic salmon in River Ognå, SW Norway, caused by acidified aluminium-rich water. *Rep. Inst. Fresh. Res. Drottningholm* 61: 195 - 202.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O., Hoell, E. & Kroglund, F. 1986. Base addition to flowing acidic water: Effects on smolts of Atlantic salmon (Salmo salar L.). *Water, Air, and Soil Pollut.* 30: 587 -592.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O., Addition of NaOH, limestone slurry and finegrained limestone to acidified lake water and the effects on smolts of Atlantic salmon (Salmo salar L.). *Water Research* 21. 435 -443.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O. & Henriksen, A. 1989. Monitoring of acidic episodes and its effect on smolts of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in a Norwegian river. *Hydrobiologia* (In press).

Staurnes, M., Sigholt, T. & Reite, O.B. 1984. Reduced carbonic anhydrase and Na-K-ATPase activity in gills of salmonids exposed to aluminium containing acid water. *Experientia* 40: 226 - 227.