

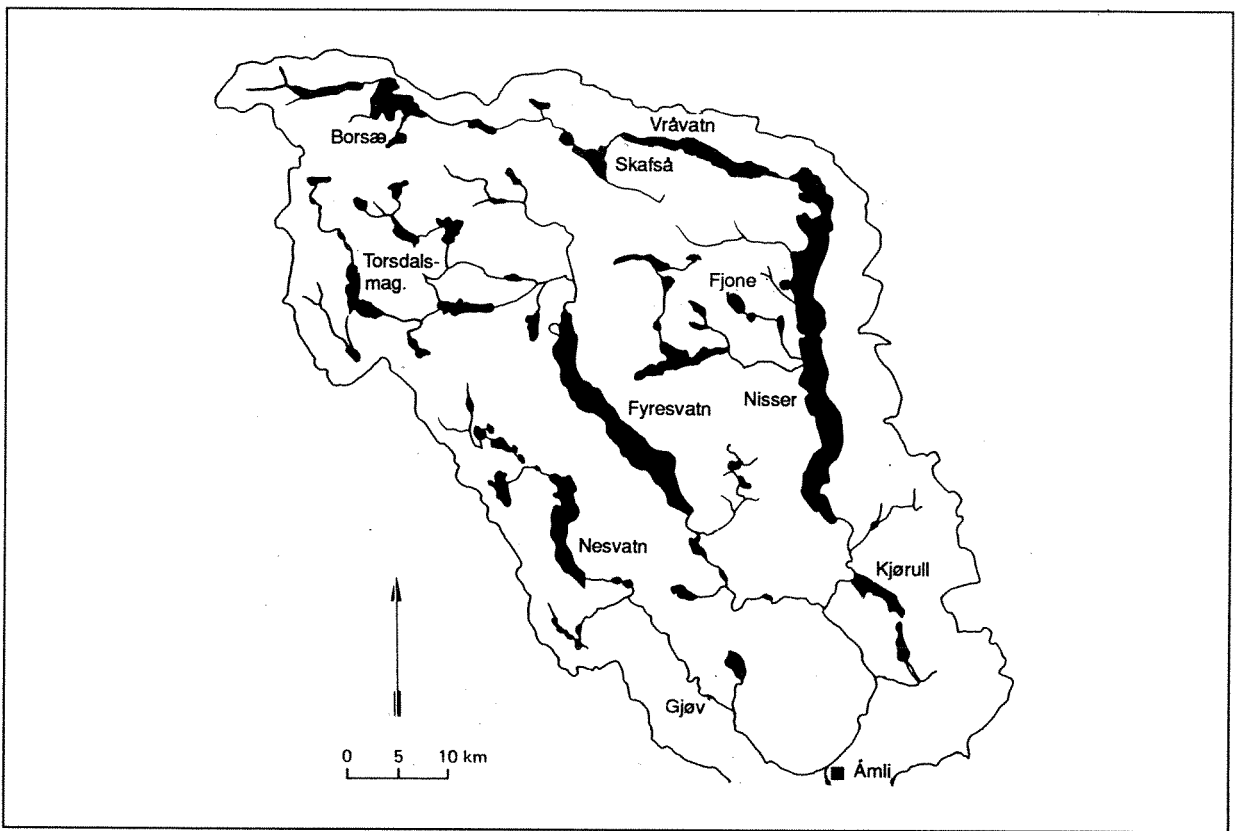
# Kalking av surt vann

## 8/89

Oppdragsgiver **Nissedal, Kviteseid og Åmli kommuner  
Direktoratet for naturforvaltning  
NIVA**

Deltakende institusjon **NIVA**

## Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser og Arendals- vassdraget



# 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.: O-89164
Undernummer:
Løpenummer: 2340
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:  Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser og Arendalsvassdraget.	Dato: Desember 1989
Forfatter (e):  Atle Hindar	Prosjektnummer: O-89164
	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Telemark/ Aust-Agder
	Antall sider (inkl. bilag): 28

Oppdragsgiver: Nissedal, Kviteseid og Åmli kommuner, Fylkesmannen i Telemark, Dir. for naturforv.	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Det er utarbeidet en kalkingsplan for Nisser og resten av Arendalsvassdraget. Kalking av Nisser vil kreve 22.000-40.000 tonn kalk, avhengig av kalktype og vil ha en varighet på omkring 7 år. Dette er verdens største kalkingstiltak om det blir realisert. Kostnaden kan være 1.5-2.0 mill. kroner pr. år i gjennomsnitt i første kalkingsperiode, siden vesentlig mindre. Arendalsvassdraget kan kalkes ved også å kalke Fyresvatn og Nesvatn, samt å etablere to kalkdoserere i Nidelva ved Åmli og Bøylefoss. Total kostnad for hele vassdraget kan anslås til 6-8 mill. kroner pr. år i gjennomsnitt.
---

4 emneord, norske:

1. Innsjøkalking
2. Kalkingsstrategi
3. Simulering
4. Kostnadseffektivitet

4 emneord, engelske:

1. Lake liming
2. Liming strategy
3. Simulation
4. Cost Efficiency

Prosjektleder:



Atle Hindar

For administrasjonen:



Tor Bokn

ISBN 82-577-1622-7

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
SØRLANDSAVDELINGEN  
GRIMSTAD

O - 89164

Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser  
og Arendalsvassdraget

Saksbehandler: Atle Hindar

## FORORD

Nissedal kommune ved Næringskonsulenten tok i mai 1989 kontakt med Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i forbindelse med planer om et kalkingstiltak i innsjøen Nisser i Telemark.

NIVA utarbeidet prosjektforslag av juni 1989 for et forprosjekt, der en ville se på mulige kalkingsstrategier og kostnader. NIVA foreslo, på bakgrunn av kalkingstiltaketets størrelse, å også ta med Arendalsvassdraget fra Nisser og til utløpet ved Arendal i prosjekteringen. Andre kalkingstiltak er derfor også med i denne rapporten.

Det er brukt matematiske beregningsmodeller for kalkoppløsning og gjenforsuring. Modellene er stilt til disposisjon av Dr. Harald U. Sverdrup, Lund Tekniska Högskola.

Prosjektet er finansiert av Nissedal, Fyresdal og Åmli kommuner, Fylkesmannen i Telemark og Direktoratet for naturforvaltning.

Grimstad, desember 1989

Atle Hindar

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. MATERIALE OG METODER	6
2.1. Hydrologi og morfometri	6
2.2. Kalkbehov	11
3. RESULTATER	13
3.1. Kalking av Nisser 1. gang	13
3.1.1. Kalkoppløsning	13
3.1.2. Varighet og kalkmengder	13
3.1.3. Kostnader	16
3.2. Kalking av Nisser 2. gang	18
3.2.1. Kalkoppløsning	18
3.2.2. Varighet og kalkmengder	18
3.2.3. Kostnader	19
3.3. Kalking av Fyresvatn	19
3.4. Kalking av Nesvatn	19
3.5. Kalkdosering i Nidelva	20
3.6. Andre kalkingsalternativer	24
4. SAMMENDRAG OG TILRÅDINGER	25
4.1. Kalking av Nisser	25
4.2. Øvrige kalkingstiltak i Arendalsvassdraget	26
5. REFERANSER	28

## 1. INNLEDNING

Kalking i Norge fram til 1988 har ligget på et relativt lavt nivå (Hindar og Rosseland 1988). Det er derfor bare enkelte mellomstore vassdrag som er fullkalket i hele eller deler av året. Signaler om en fortsatt økning i de statlige kalkingstilskuddene har ført til planlegging av tiltak også i store vassdrag. En oppkalking av innsjøen Nisser i Telemark vil være første trinn i en tiltakspakke for Arendalsvassdraget.

Nisser og resten av Arendalsvassdraget har fortsatt bestander av opprinnelige fiskearter. Det er imidlertid tvil om individer av bleka i Nelaug fortsatt finnes og om bestanden eventuelt er levedyktig. I 1989 er det dokumentert gjennom automatisk registrering at nærmere 500 laks og sjøaure har gått opp i vassdraget (Thoralf Aas, pers. oppl.).

Med den vannkvalitet og de bestander som finnes må Nisser og øvrig del av vassdraget betraktes som et såkalt "på vippen-vassdrag". Det vil si at fiskebestandene står i fare for å bli utryddet hvis forholdene bare blir litt dårligere eller hvis tiltak ikke gjennomføres.

Oppkalking av Nisser vil ha betydning for Arendalsvassdraget helt til utløpet. I prosjekteringen har NIVA derfor valgt å se på hvilke muligheter en har for vannkvalitetsbedring også i resten av vassdraget.

Prosjektet har vært tredelt:

- 1) Sammenstilling av eksisterende hydrologiske og vannkjemiske data for Nisser og vassdraget videre nedover. Av spesiell interesse har vært manøvreringen av kraftverkene i vassdraget.

- 2) Utredning av forskjellige kalkingsstrategier og tilhørende kostnader for kalking av Nisser. I denne delen inngår beregning av kalkmengder, kalkingseffektens varighet og kostnader ved bruk av tre forskjellige kalktyper.

3) Utredning av ytterligere tiltak med tanke på effekt helt til utløpet av Nidelva ved Arendal.

På grunnlag av dette materialet gis det tilrådning om hvordan prosjektet bør gjennomføres.

## 2. MATERIALE OG METODER

-----  
Her redegjøres det for opplysninger om vassdraget og metoder og forutsetninger for beregninger.  
-----

### 2.1 Hydrologi og morfometri

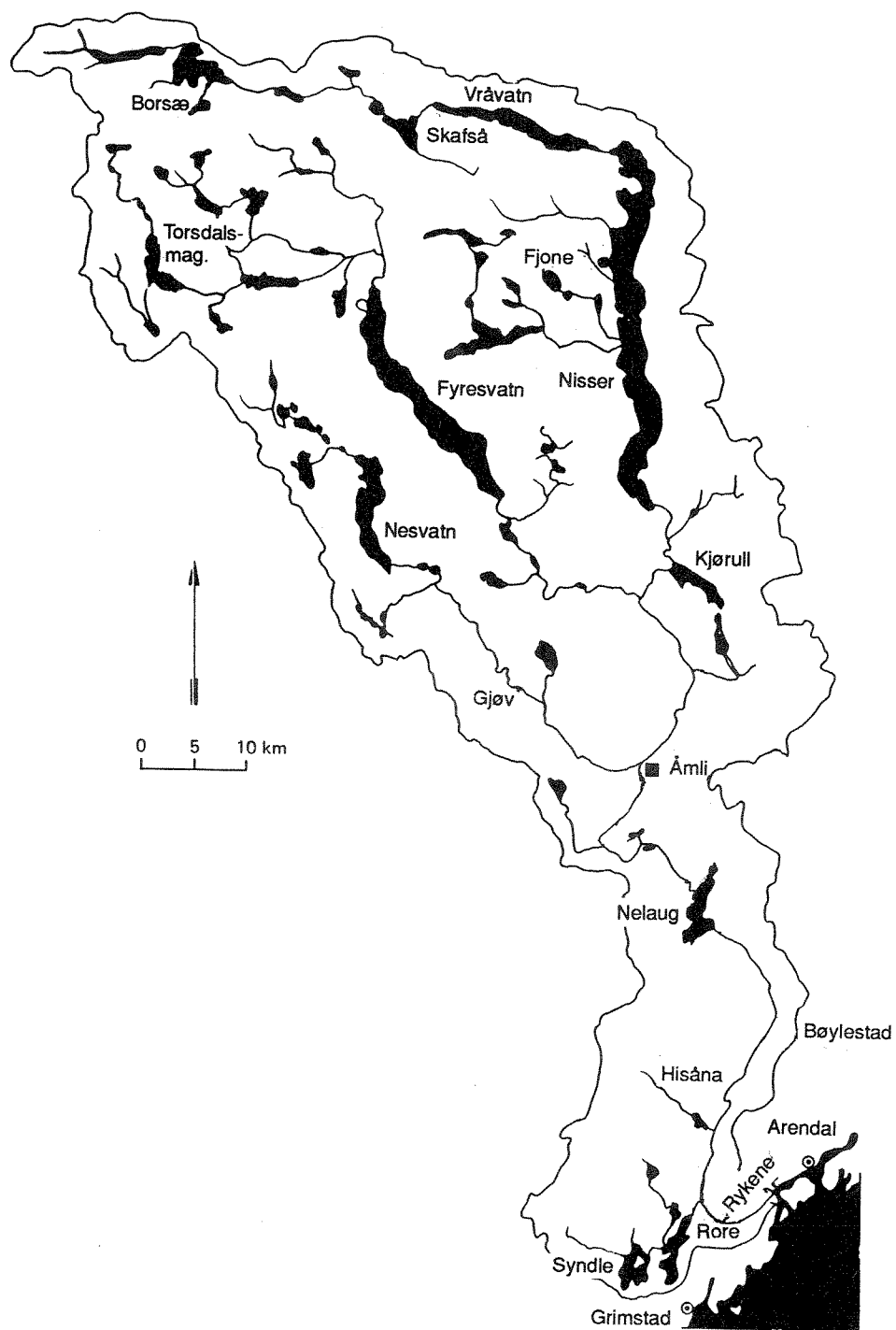
Arendalsvassdraget (figur 1) er det største vassdraget på Sørlandet (nedbørfelt 4005 km<sup>2</sup>), men Otra i Vest-Agder (nedbørfelt 3730 km<sup>2</sup>) har 40 % større vanntransport. Vassdraget er forsuret (SFT 1988), spesielt i de nedre deler. Siden en vesentlig del av nedbørfeltet ligger i et område der nedfallet av forsurende komponenter er relativt lite (SFT 1988), har vassdraget fortsatt en vannkvalitet som gjør at fisk kan leve der.

Det er gjennomført vassdragsreguleringer i hele vassdraget. Nisser og Vråvatn er regulert siden 1912-1913. Skafsåvassdraget ble regulert i begynnelsen av 1950-årene og Fjone kraftverk ble satt i drift i 1970. Det er søkt om ytterligere utbygging av Skafsåvassdraget (Arendals Vasdrags Brugseierforening 1989). De eksisterende og planlagte reguleringene har stor betydning for vannføringsvariasjonene i Arendalsvassdraget over året.

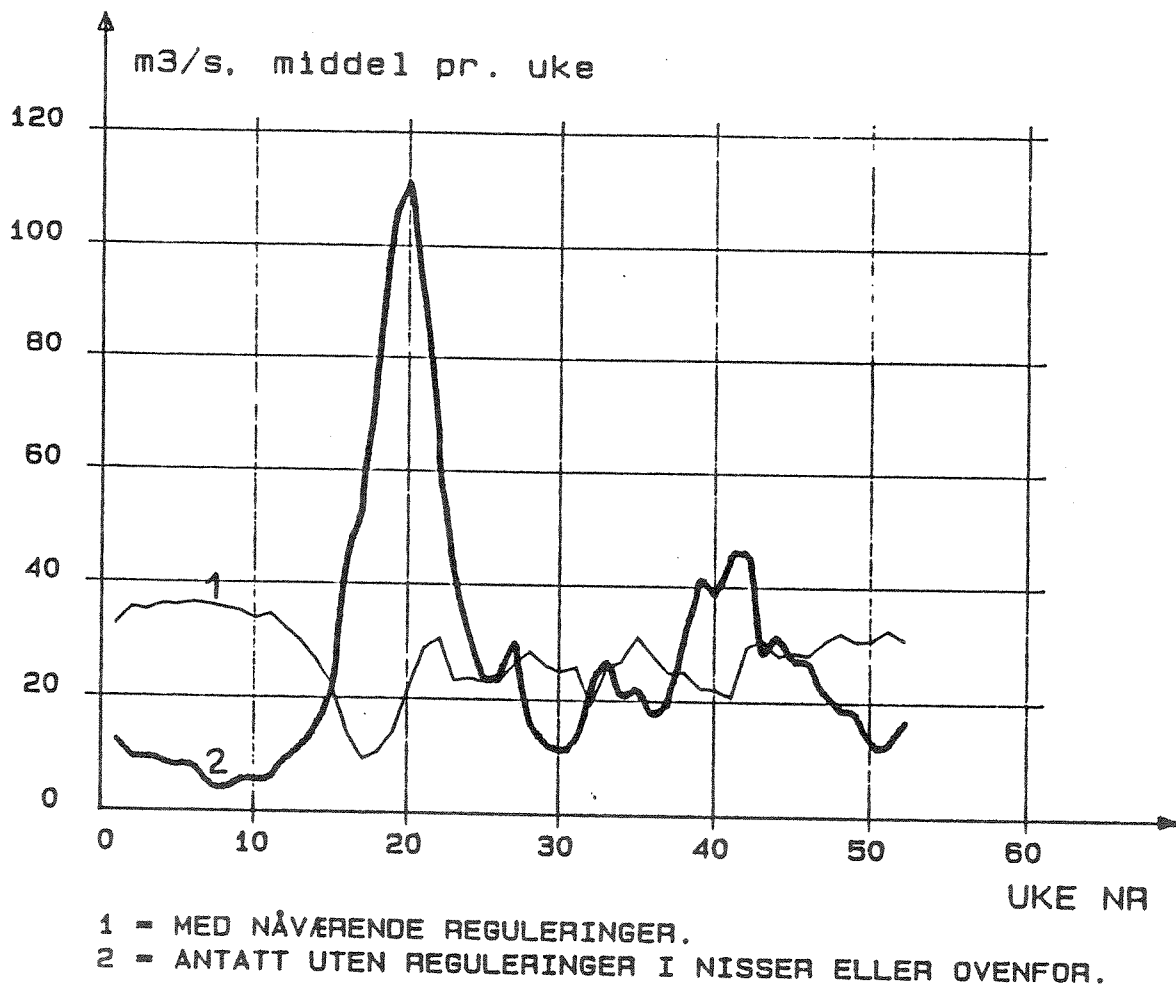
Nisser har en reguleringshøyde på tre meter. Reguleringen har en sterk innvirkning på vannføringen ut av Nisser (figur 2). Regulering fører til høy vintervannføring, mens en ellers kraftig vårflom uteblir nesten i sin helhet. Figur 2 viser også et antatt vannføringsmønster uten regulering i Nisser eller ovenfor. I vinterperioden er nå vannføringen 22 m<sup>3</sup>/s høyere enn det den ellers ville ha vært uten regulering i vassdraget. I vårperioden ville vannføringen ha vært 44 m<sup>3</sup>/s høyere dersom det ikke hadde vært reguleringer i vassdraget.

Nidelva er lite preget av forurensningstilførsler fra jordbruk og husholdningskloakk ned til terskelområdet ved Rykene-Helle (Hindar og Lindstrøm 1989).





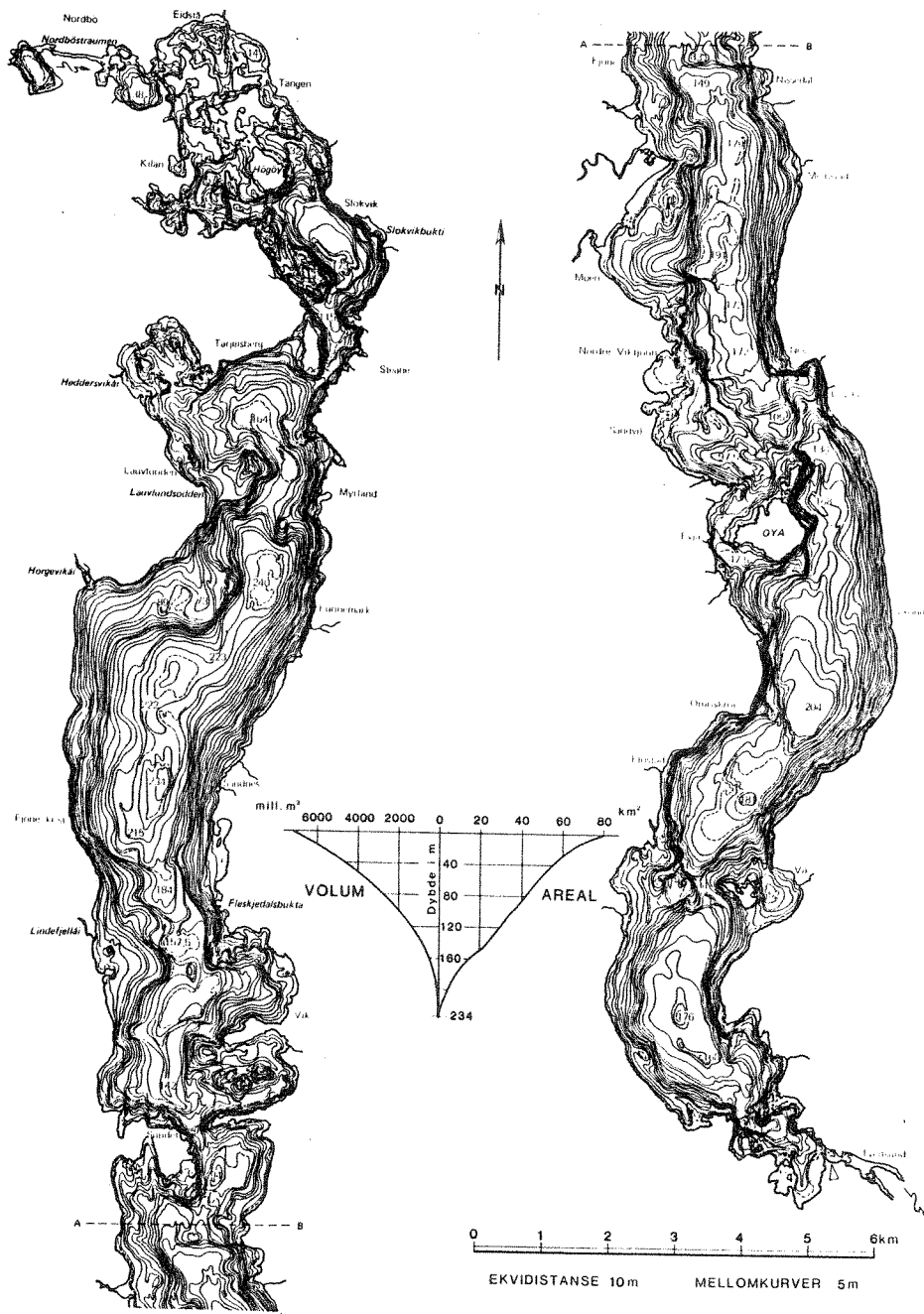
Figur 1. Nedbørfeltet til Arendalsvassdraget. Nisser og andre store innsjøer er vist.



Figur 2. Midlere vannføring ut av Nisser ved nåværende reguleringer for perioden 1971-1988. Antatt vannføring uten regulering i Nisser eller ovenfor er også vist (Arendals Vasdrags Brugseierforening 1989).

Nisser har et nedbørfelt på 1092 km<sup>2</sup> og er den største innsjøen i Arendalsvassdraget. Den er 240 meter dyp og har et middeldyp på 93 meter (figur 3). Den teoretiske oppholdstiden i vannet er 8.8 år (NVE 1984). Det vil si at det ville ta nesten 9 år å fylle vannet med naturlig tilrenning hvis det ble tømt fullstendig. Vannvolumet er 7185 mill. m<sup>3</sup>.

### NISSER 246 mo.h.



Figur 3. Dybdekart for Nisser (NVE 1984).

Vannkvaliteten i Nisser har endret seg de siste 16 årene. Tabell 1 viser vannkvalitet i Nisser på 1970-tallet.

Tabell 1. Vannkvalitet i Nisser på 1970-tallet (fra Brettum 1979 og Henriksen 1979). Se tekst for kommentarer.

Dato	pH	Alkalitet	Ca
7309..	5.75	63	1.63
781026	5.41	8	1.10
790316	5.44	7	1.12

Som tabell 1 viser, skjedde det en tilsynelatende dramatisk reduksjon i alkalitet og dermed pH fra tidlig på 1970-tallet og fram til 1978-1979. Kalsiumkonsentrasjonen ser også ut til å ha avtatt sterkt. Beregninger viser imidlertid at vannkvaliteten neppe kan endre seg så raskt i Nisser. Verdiene fra 1973 bør derfor ikke tillegges for stor vekt som representative for vannkvaliteten i Nisser på det tidspunktet.

Middel-pH av målinger i 1982 var 5.35 og midlere kalsiumverdi 1.0 mg/l (Johannessen 1984). Prøver tatt av NIVA i 1986 viser at vannkvaliteten ikke hadde forandret seg fra 1982 (Arne Henriksen, pers. oppl.).

Fyresvatn er den dypeste av innsjøene i Arendalsvassdraget. Største dyp er 370 meter (Johannessen 1984). Overflatearealet er 50 km<sup>2</sup> (Arendals Vasdrags Brugseierforening 1988). Beregnet etter et dybdekart fra 1936, er middeldypet 120 meter. Dette kartet er imidlertid unøyaktig (Santha, NVE, pers. oppl.). Volumet kan på dette grunnlag anslås til 6000 mill. m<sup>3</sup> og oppholdstiden til 7 år.

pH er ubetydelig høyere i Fyresvatn enn i Nisser og kalsiumkonsentrasjonen omlag den samme (Johannessen 1984, Henriksen, pers. oppl.).

Nesvatn ligger øverst i Gjøvdal, en sideelv til Nidelva (figur 1). Gjøv er surere enn Nidelva (Hindar og Lindstrøm 1989). pH ligger i området 4.6-5.4 og kalsiumkonsentrasjonen er 0.5-1.3 mg Ca/L.

Nedbørfeltet til Gjøv er 484 km<sup>2</sup>, hvorav nedbørfeltet til Nesvatn utgjør 226 km<sup>2</sup>. Oppholdstid og volum kan ikke beregnes nøyaktig fordi det ikke er utarbeidet dybdekart. Arealet av Nesvatn er 17 km<sup>2</sup> (Arendals Vasdrags Brugseierforening 1988). Hvis middeldypet settes til 50 meter, blir vannvolumet 850 mill. m<sup>3</sup>. Midlere tilsig er 254 mill. m<sup>3</sup>. Oppholdstiden kan på dette grunnlag anslås til 3 år.

## 2.2. Kalkbehov

Kalkbehovet for innsjøene er beregnet etter vannkvalitetsdata fra 1980-tallet, innsjødyb og totalt vannvolum. Det antas at pH ikke er endret fra 1986 og fram til idag. Små endringer i pH vil heller ikke ha særlig betydning for beregningene.

Kalken skal avsyre vannet og gi en viss bufferkapasitet fram til neste kalking. Økningen i bufferkapasitet, kalk som ligger igjen på innsjøbunnen og tilrenningens mengde og kvalitet avgjør hvor lang tid kalkingen vil vare.

Det er benyttet tre alternative kalkmel for å belyse variasjonen i kalkopløsning og kostnader. Mel 1 er Kalksteinsmel SR fra Norcem A/S. Mel 2 tilsvarer Micro kalksteinsmel fra Reidar Svendsen & Co. Mel 3 er kritt fra Danmark. Data for melene er gitt i tabell 2.

Det er brukt et beregningsprogram for kalkoppløsning (Sverdrup 1986) til å beregne kalkoppløsning og gjenforsuringstid. Grunnlaget for programmet er vesentlig gitt i Sverdrup (1985).

Tabell 2. Data for de kalkmelene som er brukt i beregningene.

Mel nr.	Renhet	Kornfordeling	
	% CaCO <sub>3</sub>	90 % mindre enn:	50 % mindre enn:
Mel 1.	80 %	0.060 mm	0.012 mm
Mel 2.	97 %	0.030 mm	0.009 mm
Mel 3.	92 %	0.007 mm	0.003 mm

### 3. RESULTATER

-----  
Her gis en relativt detaljert framstilling av kalkingstiltaket i Nisser ved første gangs kalking. For annen gangs kalking av Nisser og øvrige kalkingstiltak gis en forenklet framstilling.  
-----

#### 3.1. Kalking av Nisser 1. gang

##### 3.1.1. Kalkoppløsning

Kalkoppløsning i en innsjø er bestemt av flere faktorer, der pH, innsjødyb, kalkens finmalingsgrad og dosert mengde er de viktigste. Lav pH øker oppløsningen. Det samme gjør et stort synkedyp. Kalkens finmalingsgrad avgjør hvor fort kalken synker ned til innsjøbunnen. Kalkens samlede overflate avgjør hvor raskt kalken løses opp. De mest finmalte partiklene løses opp før de når bunnen, mens grove partikler løses relativt lite før de treffer bunnen. Høy kalkdose, over 20-30 g/m<sup>3</sup>, vil hemme oppløsningen.

Kalkoppløsningen er beregnet til 75 % for mel 1, 88 % for mel 2 og 100 % for mel 3. Den relativt gode oppløsningen til tross for en pH på 5.35 før kalking, skyldes at Nisser er svært dyp. Kalken får dermed lang kontakttid med det sure vannet før den synker ned på bunnen.

##### 3.1.2. Varighet og kalkmengder

Kalkingens varighet etter oppkalking til et visst nivå bestemmes av tilrenningens kvalitet og mengde i forhold til innsjøvolumet. Nisser har svært lang oppholdstid. Økning i bufferkonsentrasjon vil derfor kunne gi en god vannkvalitet i flere år. I beregningene er det antatt at pH kan tillates å avta til 5.8 før det er nødvendig med ny kalking.

Kalsiumkonsentrasjonen i Nisser idag er omlag 1.0 mg Ca/L. Ved bruk av simuleringsprogrammet er det beregnet at kalking til en gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjon på 2.15 mg Ca/L vil vare i 6-7 år, avhengig av kalktype og gi pH 6.2 etter kalking.

En økning av kalkmengden med omlag 15 eller 35 % for å få en gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjon på 2.35 eller 2.55 mg Ca/L etter kalking vil bare gi ett års lengere varighet og en pH på hhv. 6.30 eller 6.35 etter kalking.

Resultatet av disse beregningene er vist i tabell 3.

Tabell 3. Varighet (år) ved bruk av forskjellige kalktyper og ved kalking til forskjellig kalsiumkonsentrasjon (mg Ca/L).

	Kalsiumkonsentrasjonen økes til:		
	2.15	2.35	2.55
Mel 1	7	8	8
Mel 2	7	8	8
Mel 3	6	7	7

Hvis pH kan tillates å avta til 5.7 før omkalking, kan kalkingsperioden forlenges med hele to år. Det kan forklares med at vannkvaliteten er svært stabil mot slutten av kalkingsperioden.

Skal pH økes fra 6.2 til 6.5 etter kalking må kalkdosen dobles. Små endringer i pH etter kalking gir altså relativt store utslag i kalkmengder. Det er derfor svært avgjørende for kostnadene ved dette prosjektet å finne fram til den optimale kalkmengden.

Det skal etter dette en relativt liten kalkdose til, 3.5-5.0 gram pr. m<sup>3</sup> vann, for å øke pH fra 5.35 til 6.2 - 6.3.



Kalsiumkonsentrasjonene fra tabell 3 er her regnet om til kalkkonsentrasjoner. Selv betydelige prosentvise variasjoner i kalkdosen vil ikke ha betydning for oppløsningsforholdene.

Langtidsoppløsning, dvs. oppløsning av kalk som blir liggende på innsjøbunnen, vil ha en viss betydning for kalkingens varighet. Bunnarealet i Nisser er imidlertid lite i forhold til vannvolumet, slik at den oppløste kalken fra bunnen fortynnes kraftig. Med et forsiktig anslag for oppløsning fra hele bunnarealet (satt lik overflatearealet på 77 km<sup>2</sup>) på 0.05 tonn/ha\*år, vil oppløsningen utgjøre omkring 0.05 mg Ca/L om den fordeles på hele innsjøvolumet. I overflatelaget kan denne økningen bli noe større pga større bølgeaktivitet og dermed bedre oppløsningsforhold.

Krittmel (mel 3) løses 100 % ved kalking og vil ikke gi langtidseffekt ved at kalk løses opp fra bunnen. Oppkalking til samme kalsiumkonsentrasjon kan, ifølge beregningene, redusere kalkingens varighet med ett år i forhold til om de andre kalkmelene brukes. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til effektene av langtidsoppløsning i så store innsjøer.

De totale kalkmengder som må tilføres Nisser ved disse alternativene og med de tre forskjellige kalktypene er gitt i tabell 4.

Som det går fram av tabellen er det store mengder kalk som skal til for å avsyre Nisser og samtidig gi en buffervirkning over flere år. Det er snakk om 22.000-46.000 tonn kalk med de alternativene som er tatt med her.

Tabell 4. Kalkmengde i tonn for tre forskjellige kalktyper og ved forskjellige kalsiumkonsentrasjoner (mg Ca/L) etter kalking i Nisser.

	----- Kalsium-konsentrasjonen økes til: -----		
	2.15	2.35	2.55
Mel 1	34.000	40.400	46.400
Mel 2	24.200	28.500	32.600
Mel 3	22.300	26.100	30.100

Disse kalkmengdene gjør kalking av Nisser til verdens største kalkingsprosjekt om det blir realisert. Til nå er det Stora Le i Sverige som er det største med sine 11.000 tonn kalk.

Det vil ta lang tid å spre kalken med dagens kalkingsmetoder. Hvis det spres 100 tonn pr. dag, vil det ta minst et halvt år. Hvis det spres 500 tonn pr. dag, vil det ta minst 2 måneder.

### 3.1.3. Kostnader

Kalkkostnadene ved et slikt kalkingstiltak er forbundet med produksjonspris på kalken, transportkostnader og spredningskostnader. I tillegg kommer fortjeneste og avgifter.

I tabell 5 er total kostnad ved forskjellig tonnpris for ferdig spredd kalk satt opp. Prisene er svært usikre idet dette prosjektet vil bli det desidert største kalkingsprosjektet i Norge. Det er ingen erfaringer med hvilken priseffekt så store kalkmengder vil kunne gi. I et kalkingstiltak på grensen til Sverige var tonnprisen nede i kr. 350. Det ble spredd 10.000 tonn kalk. Som tabell 5 viser, kan den totale kostnaden ligge et sted mellom 7 og 23 millioner kroner.

Tabell 5. Kostnader for en kalkingsperiode i millioner kroner med bruk av tre ulike kalkmel og ved forskjellige prisnivåer pr. tonn kalk. De tre forskjellige kalsiumnivåene fra tabell 3 er vist.

-----			
Kalsium-konsentrasjonen økes til (mg/L):			
2.15            2.35            2.55			
-----			
Tonnpris (kr.)	Mel 1.		
	-----		
300	10	12	14
400	14	16	19
500	17	20	23
	Mel 2.		
	-----		
300	7.3	8.6	9.8
400	9.7	11	13
500	12	14	16
	Mel 3.		
	-----		
300	6.7	7.8	9.0
400	8.9	10	12
500	11	13	15
-----			

Ved bruk av et kalkmel svarende til mel 2, vil kalkmengden være tre firedeler av kalkmengden for mel 1. Det vil si at tonnprisen for mel 2 kan være kr. 400 og for mel 1 kr. 300 og likevel gi samme total kostnad. Krittmelet (mel 3) kan være kr. 200 dyrere pr. tonn enn mel 1 og likevel gi omtrent samme kostnad.

Ved endelig valg av kalk må pris på kalkingseffekten være avgjørende.

Hvis vi antar at valg av kalkmel 1 fører til en total kostnad på 15 millioner kr., vil gjennomsnittlige årlige kostnader i den første kalkingsperioden (7 år) bli omlag 2 millioner kr.

Hvis vi antar at valg av kalkmel 3 fører til en total kostnad på 11 millioner kr., vil gjennomsnittlige årlige kostnader i den første kalkingsperioden (7 år) bli omlag 1.5 millioner kr.

### 3.2. Kalking av Nisser 2. gang

Beregningene her viser de gjennomsnittlige kalkmengder og kostnader en kan regne med for årlig vedlikehold av kalkingstiltaket etter første kalkingsperiode. For oversiktens skyld gis det en forenklet framstilling.

#### 3.2.1. Kalkoppløsning

Ved annen gangs kalking vil pH være 5.7-5.8. Da vil kalkoppløsningen bli nær 5 % dårligere for mel 1 og 2 enn første gang. For mel 3 vil det fortsatt kunne regnes med 100 % oppløsning.

#### 3.2.2. Varighet og kalkmengder

Annen gangs kalking bør ta sikte på å gi samme varighet som ved første gangs kalking.

Det er mindre mengder kalk som nå skal til for å bringe bufferkonsentrasjonen tilbake til det den var etter første gangs kalking.

Det er beregnet at ved pH 5.7-5.8 er kalsiumkonsentrasjonen 1.60 mg Ca/L. For å komme tilbake til 2.15 mg Ca/L kan kalkmengden fra første gang reduseres fra 34.000 tonn kalk til 20.000 - 25.000 tonn for mel 1.

### 3.2.3. Kostnader

Med en tonnpris på kr. 400.-, vil gjennomsnittlige årlige kostnader i annen kalkingsperiode (7 år) bli 1.1-1.4 mill. kr. for mel 1. Det gjelder under de samme forutsetninger som for første gangs kalking. Alle tall er gitt som 1989-kroner.

### 3.3. Kalking av Fyresvatn

Kalking av Fyresvatn vil være et nærliggende neste trinn i fullkalkingen av Arendalsvassdraget. Denne innsjøen har i likhet med Nisser et stort vannvolum og lang oppholdstid.

Innsjøen er dypere og noe mindre sur enn Nisser. Kalkoppløsningen blir ubetydelig bedre og varigheten omtrent den samme. Det må understrekes at de dataene som ligger til grunn her er relativt dårlige. Det er imidlertid dekning for konklusjonene over.

Beregninger viser at en oppkalking av Fyresvatn til samme nivå som for Nisser vil kreve 28.000 tonn kalk av mel 1, dvs. 6.000 tonn mindre kalk enn for Nisser. For mel 1 vil kostnaden være 11-12 mill. kr. når tonnprisen er kr. 400.-. For seinere kalkinger av Fyresvatn vil kostnaden bli vesentlig lavere, omlag samme prosentvise reduksjon som for Nisser.

Ved kalking av Fyresvatn i tillegg til Nisser vil halvparten av Arendalsvassdragets nedbørfelt være avsyret.

### 3.4. Kalking av Nesvatn

Oppholdstiden til Nesvatn er anslått til 3 år. Innsjøen er derfor egnet til oppkalking og varigheten kan regnes til minst 3 år. Hvis dette vannet trekkes inn i kalkingsstrategien for Arendalsvassdraget, må kalkingen derfor gjentas med et annet intervall enn for Nisser og Fyresvatn.

Med et volum på 850 mill. m<sup>3</sup>, vil det kreves 4.500 tonn kalk av mel 1. Oppløsningen ved pH 5.0 og 50 meter dyp er satt til 75 %. Kostnaden vil kunne ligge på 2 millioner kr. hver gang Nesvatn kalkes. Med en varighet på 4 år, tilsvarende det gjennomsnittlige årlige kostnader i første kalkingsperiode på omlag 0.5 mill. kr.

Nedbørfeltet til Nesvatn utgjør omlag halvparten av nedbørfeltet til Gjøv. Vannkvaliteten (pH og bufferevne) ut av Nesvatn vil derfor endres merkbart ned til samløpet med hovedelva ved Åmli. Det regnes derfor forsøksvis med pH 5.5 ved utløpet av Gjøv.

Hvis Gjøv på denne måten delvis kan avsyres, vil det være gjennomført kalkingstiltak i 3/5 av Arendalsvassdragets nedbørfelt. I neste avsnitt skal effekten av alle disse tiltakene og supplerende tiltak i Nidelva gjennomgås.

### 3.5. Kalkdosering i Nidelva

Ved fullkalking av Nidelva må en ta utgangspunkt i den vannmengde som årlig passerer ved utløpet. Arendalsvassdragets nedbørfelt er 4005 km<sup>2</sup>. I aller nederste del (fra E 18 og ut til sjøen) regnes det ikke med tilførsel av surt vann. Spesifikk avrenning er 28.3 l/s\*km<sup>2</sup>. Det gir en årlig vannmengde på 3600 millioner kubikkmeter ved utløpet. pH er omkring 5.1 og kalsiumkonsentrasjonen er 1.0 mg/l som årsmidler (SFT 1988).

I de beregningene som følger blir flere alternative kalkingsstrategier gjennomgått. Først skal vi se på hva det teoretisk vil koste å fullkalke Nidelva.

Nidelva bør kalkes til pH omkring 6.2 hvis en skal gjøre det mulig for laks og sjøaure å leve og formere seg i elva. Med denne pH-verdien som ideelt mål tales det en viss variasjon i vannkvalitet uten fare for fisken. Hvis mål-pH settes lavere enn 6.2, kan det lettere oppstå episoder med uakseptabel vannkvalitet. Kalsiumkonsentrasjonen i elva må økes fra 1.0 mg/L til 2.1 mg/L for å oppnå pH 6.2.

Hvis kalkopløsningen settes til 80 % av dosert mengde i middel for hele vassdraget og karbonatinnholdet er 80 % i kalken, må det da brukes totalt 15.000 tonn kalk i løpet av ett år.

Når kalkmengdene blir svært store vil utgiftene til doserere bli forholdsvis små. Med en kalkpris på kr. 400 pr. tonn for ferdig dosert kalk, vil total kostnad for kalking av hele Arendalsvassdraget bli 6.0 millioner kr./år.

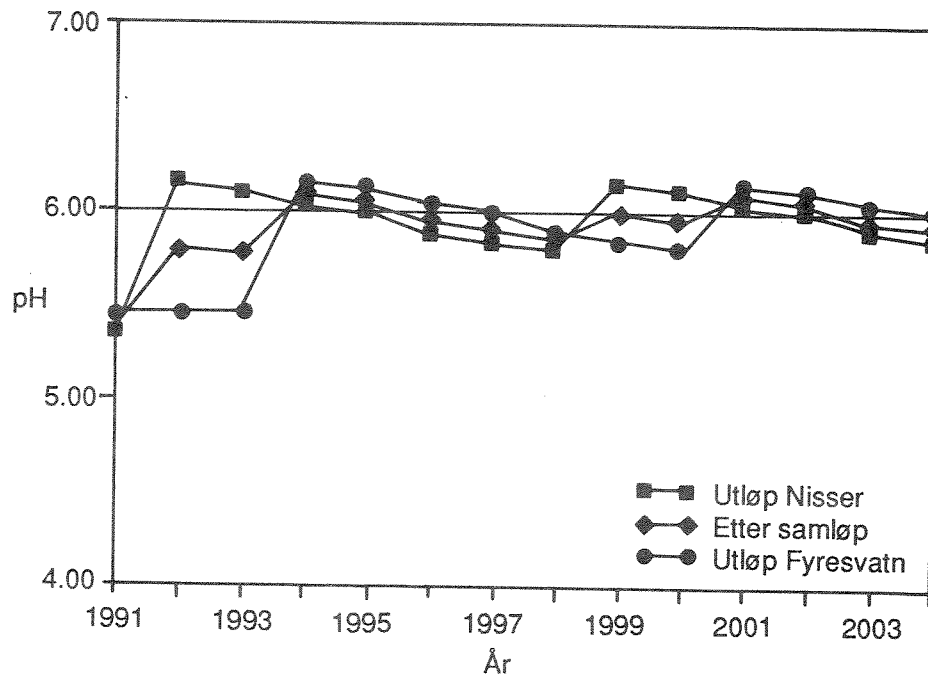
Hvis vi antar at Nisser kalkes og at pH dermed er vesentlig øket i en firedel av Nidelvas nedbørfelt, vil pH ved Nidelvas utløp bli omlag 5.5 de to første årene etter kalking. Mot slutten av kalkingsperioden for Nisser vil pH ved utløpet av Nidelva være 5.2. Dette er verdier for perioder med høy vannføring i mai, da pH ellers er omkring 5.0-5.1. I løpet av sommeren kan pH være vesentlig høyere enn 5.5 etter kalking av Nisser.

Den nødvendige kalkmengden for å bringe pH i Nidelva opp i 6.2 vil være 12.000 tonn det første året etter kalking av Nisser og økende til 14.000 tonn siste år. Med en kalkpris på kr. 400 pr. tonn vil det tilsvare en årlig kostnad på 4.8 millioner kr. det første året. Kostnaden øker til 5.7 millioner det siste året i kalkingsperioden.

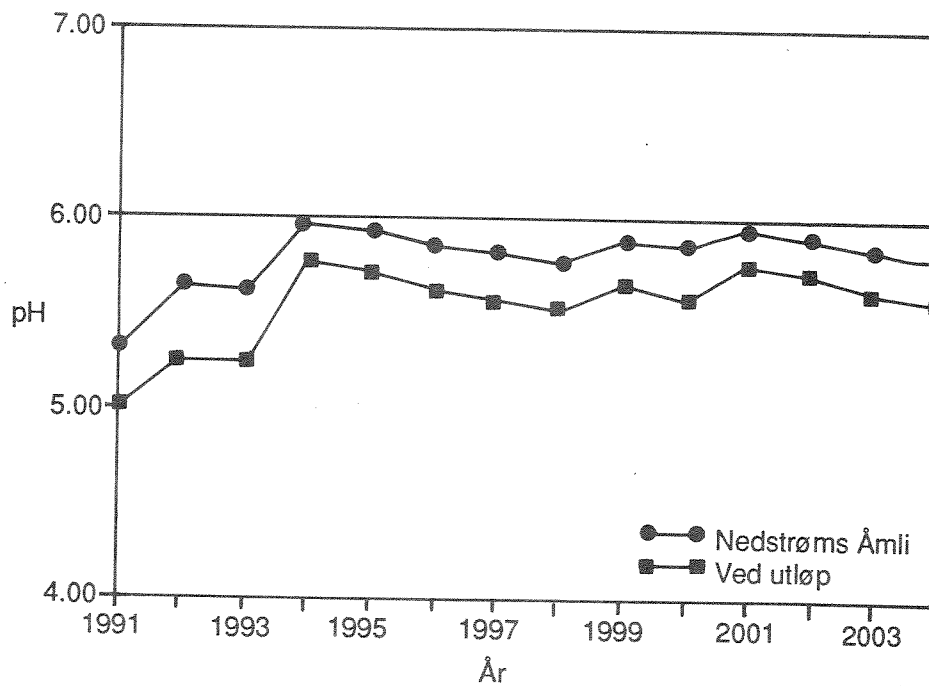
Hvis vi antar at både Nisser og Fyresvatn kalkes og at dermed halvparten av Arendalsvassdraget i prinsippet er avsyret, vil situasjonen bli annerledes. To baner kan tenkes:

- 1) Nisser og Fyresvatn kalkes samtidig.
- 2) Nisser kalkes først og Fyresvatn kalkes to år seinere.

Ved 2) vil pH oppstrøms utløpet av Gjöv og kraftverket ved Åmli bli middeltallet av bidraget fra de to store innsjøene, evt. noe under dette pga lokaltilsig (figur 4).



Figur 4. pH i utløpet av Nisser, Fyresvatn og etter samløp av de to vassdragene i perioden 1991-2004. Det antas kalking av Nisser høsten 1991 og Fyresvatn høsten 1993. (pH-verdiene er midlet).



Figur 5. pH-utvikling nedstrøms Åmli og ved utløpet av Arendalsvassdraget etter kalking av Nisser og Fyresvatn + Gjøv to år etter Nisser.



Kalking av Gjøv vil endre bildet ytterligere i retning av bedre vannkvalitet i Arendalsvassdraget, avhengig av når tiltaket gjennomføres.

I figur 5 er pH nedstrøms Åmli vist etter kalking av Nisser, Fyresvatn og Gjøv. Fyresvatn og Gjøv er forutsatt kalket to år etter Nisser. pH ved utløpet ved Arendal er også vist. Det er regnet med lokaltilsig på strekningen Åmli-Rykene med middel-pH på 4.9 og alkalitet på  $-10 \text{ mekv/m}^3$ .

Hvis Arendalsvassdraget skal bygges opp som lakseførende vassdrag, må kalking av innsjøene suppleres med kalkdosering direkte i Nidelva. Det er flere grunner til dette. Den ene er at kalkbidraget fra innsjøkalkingene ikke gir tilstrekkelig pH-økning i hele perioden fram til neste innsjøkalking (figur 4). Den andre er at manøvreringsrutinene for vassdraget kan føre relativt surt overflatevann ut av magasinene om vinteren. Den tredje er tilførselene av surt vann lengere nede i vassdraget (figur 5).

Kalking i selve Nidelva vil gi muligheter for å sikre en stabil vannkvalitet i vassdraget helt ned til utløpet ved Arendal. Plasseringen av en eller flere doserere vil avhenge av de tiltak som allerede er gjennomført. Hvis Fyresvatn og Gjøv er kalket i tillegg til Nisser, kan det være fornuftig å ha et anlegg nedstrøms eller i kraftverket på Åmli. Dette anlegget kan utjevne svingninger i vannkvaliteten.

I tillegg kan det plasseres et anlegg lengere nede i vassdraget, f.eks. ved Bøylestad kraftverk, som sikrer gyttestrekningene for laks og sjøaure.

For en optimal kalkutnyttelse anbefales et doseringsopplegg slik det er gjennomført i Vikedalselva i Rogaland. Det vil gi mest mulig stabil vannkvalitet og det vil være mulig å styre doseringen etter den vannkvalitet en regner med er tilstrekkelig

for laks. Dette styringsprinsippet er beskrevet av Hindar et al. (1989).

Det kan i første omgang regnes med 80 % utnyttelse av kalken i et slikt anlegg. Årlig kalkmengde vil være 8.500-11.500 tonn. Det tilsvarer tre ganger mere kalk enn det som årlig doseres i Audna i Vest-Agder.

Kostnaden for en fullkalking av Arendalsvassdraget vil, i tillegg til kostnaden for innsjøkalkingene nevnt over, ligge mellom 3.5-4.5 mill. kr./år med en tonnpris på kr. 400.

### 3.6. Andre kalkingsalternativer

Som alternativ til 2.gangs kalking av de store innsjøene kan disse innsjøenes tilløp kalkes. På den måten vil den samme kalkmengden komme større områder tilgode.

Den kalkingsaktiviteten som pågår og er planlagt i mindre vann og vassdrag vil gi et kalkingstilskudd som kan gjøre de store kalkingsinnsatsene rimeligere.

Ved siden av innsjøer og vassdrag oppstrøms de store innsjøene kan Rores (200 km<sup>2</sup>) og Hisånas (80 km<sup>2</sup>) nedbørfelt i nedre del kan være av interesse. Rore tjener som drikkevannskilde for 40.000 mennesker. Det i seg selv kan gjøre det attraktivt med kalking der. Disse alternativene er ikke utredet nærmere her. Det vises til kalkingsplanen for Aust-Agder.

#### 4. SAMMENDRAG OG TILRÅDINGER

Nisser og vassdraget videre nedover er forsuret. Vannkvaliteten bør bedres hvis fisken i vassdraget skal få akseptable leveforhold og reproduksjonsmuligheter. Selvom det ikke blir surere, kan fiskebestandene reduseres ytterligere i årene framover.

##### 4.1. Kalking av Nisser

Det anbefales å fullkalke Nisser til en kalsiumkonsentrasjon på 2.15 mg/L. Dette vil gi en varighet på 6-7 år avhengig av kalktype. Det forutsettes da omkalking ved pH 5.8. Hvis pH kan tillates å avta til 5.7 vil kalkingsperioden kunne forlenges med 2 år.

Beregningene er gjort med tre forskjellige kalkmel. Alle de tre kalkmelene som er vurdert kan anbefales brukt ved kalkingen. Også andre kalkmel kan være aktuelle. Kalkmel 1 og 2 kan gi en noe forlengt kalkingsperiode ved at kalk løses opp fra bunnen. Forskjellene i kalsiumkonsentrasjon etter 6-8 år er imidlertid så små og usikkerheten ved beregningen så stor at en ikke bør legge altfor stor vekt på denne differansen i varighet.

Kalkmengdene som må til for å gi den anbefalte effekten varierer med type kalk. Det må brukes hhv. 22.000, 24.200 eller 34.000 tonn kalk for melene 3, 2 og 1.

Kalkprisen vil variere med kalktype. Den groveste kalktypen med lavest innhold av kalsiumkarbonat vil trolig være rimeligst pr. tonn. Prisen for ferdig spredd kalk av mel 1 vil trolig ligge på 350-400 kr. pr. tonn i 1989-kroner. De andre kalktypene kan være dyrere pr. tonn, men likevel gi lavere kostnad fordi det er behov for mindre kalkmengder. Krittmel (mel 3) kan være kr. 200 dyrere pr. tonn, men likevel gi omtrent samme total kostnad som for mel 1.

Totalkostnaden vil trolig ligge på omlag 10-15 millioner kr. Det tilsvarer en årlig kostnad på 1.5-2.0 millioner kr. i 6-7 år.

Ved 2. gangs kalking av Nisser, dvs. etter omlag 7 år, vil det være tilstrekkelig med 25-40 % mindre kalk. De årlige gjennomsnittlige kostnadene i denne kalkingsperioden er beregnet til 1.1-1.4 mill. 1989-kroner. Det gjelder hvis mel 1 brukes og tonnprisen er kr. 400.-.

#### 4.2. Øvrige kalkingstiltak i Arendalsvassdraget

Selv ikke umiddelbart etter kalking av Nisser vil Nidelva være fullstendig avsyret.

Som et ledd nummer to i kalkingen av Arendalsvassdraget bør Fyresvatn kalkes. Det vil, sammen med kalking av Nisser, føre til en avsyring av halve Arendalsvassdraget. Kalkingen anbefales gjennomført to år etter kalking av Nisser.

Kalkingen vil trolig vare like lenge som for Nisser og vil koste omlag 11-12 mill. kroner. Beregningene kan ikke gjøres tilstrekkelig nøyaktig fordi det ikke er beregnet volum for Fyresvatn.

Det anbefales å kalke Nesvatn i Gjøvdal, slik at Gjøv blir delvis avsyret. Gjøv er surere enn Nidelva ved Åmli og kan gi et vesentlig bidrag av sure komponenter, avhengig av manøvreringen av reguleringsmagasinene. Denne kalkingen anbefales gjennomført samtidig med kalkingen av Fyresvatn. Kostnaden ved første gangs kalking vil trolig være 2 mill. kr., dvs. 0.5 mill. kr./år i en fireårs-periode.

Siste trinn i kalkingstiltakene i Arendalsvassdraget bør være etableringen av to doserere for kalksteinsmel i selve Nidelva. Det øverste anlegget bør settes opp i tilknytning til kraftverket i Åmli. Det neste bør settes opp f.eks. ved Bøylestad. På disse stedene finnes det allerede driftspersonell med nødvendig

erfaring. Anleggene bør om mulig styres etter prinsipper beskrevet av Hindar et al. (1989).

Kostnaden for kalkdoseringen vil kunne være i størrelsesorden 3.5-4.5 mill.kr./år i tillegg til kostnadene for innsjøkalkingene.

Årlig totalkostnad for å kalke hele Arendalsvassdraget vil være 6-8 mill. 1989-kroner avhengig av kalktype og pris pr. tonn kalk.

Det anbefales å overvåke kalkingseffektene etter kalking av Nisser og deretter Fyresvatn og Nesvatn før en bestemmer seg for den videre framdrift. Ett år med overvåking av den samlede effekten av innsjøkalkingene vil trolig gi et tilstrekkelig grunnlag.

## 5. REFERANSER

- Arendals Vasdrags Brugseierforening 1988. Magasinarealer. Brev til NIVA.
- Arendals Vasdrags Brugseierforening 1989. Nisser - vannføring, tilsig og vannstand. Brev til NIVA med vedlegg.
- Henriksen, A. Regional undersøkelse av store innsjøers kjemi i Sør-Norge vinteren 1979. TN 50/79, SNSF-prosjektet. 24 s.
- Hindar, A. og Lindstrøm, E.-A. 1989. Vannkvalitet og næringssalttilførsler i Nidelva, Aust-Agder. Konsekvenser av manøvreringen av Rygene dam for drikkevannskvaliteten i innsjøen Rore. O-88137, NIVA, Grimstad. 80 s.
- Hindar, A. and Rosseland, B.O. 1988. Liming acidic waters in Norway: National policy and research and development. Water, Air, and Soil Pollution, 41: 17-24.
- Hindar, A., Hoell, E., Veidel, A. og Nilsen, A. N. 1989. Kalking av Vikedalselva - Forsøk med styring av kalkdosering etter pH målt nedstrøms kalkdoserer. O-87087, NIVA, Grimstad. 39 s.
- Johannessen, M. 1984. Forsuringssituasjonen i Nisser og Fyresvatn. Overvåkingsrapport 139/84. SFT, NIVA. O-82001. 35 s.
- NVE 1984. Dybdekart for norske innsjøer. Statens Kartverk.
- SFT 1988. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1987. Statens forurensningstilsyn. 242 s.
- Sverdrup, H.U. 1986. Simuleringsprogram for oppløsning av kalksteinsmel i en sur sjø og beregning av gjenforsuring. Dataprogram. Sverdrup/EnerChem, Lund, Sverige.
- Sverdrup, H.U. 1985. Calcite dissolution kinetics and lake neutralization. Doktorgrad. LTH. 169 s.