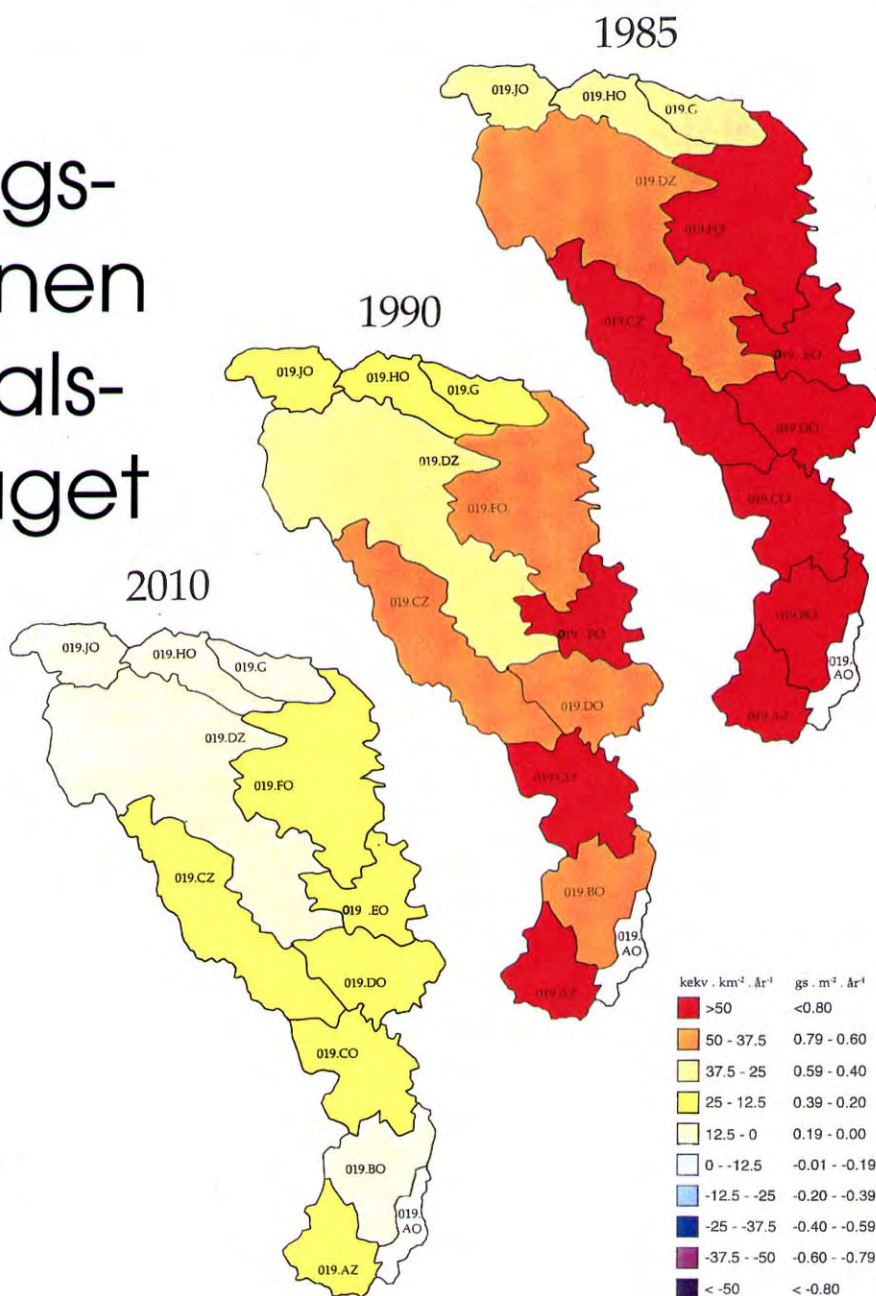



O-93184

Forsurings- situasjonen i Arendals- vassdraget 1993/ 1994

Forslag til
kalkings-
strategi
basert på
tålegrense-
overskridelser
fram mot
år 2010



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-93184	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3213	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Forsuringssituasjonen i Arendalsvassdraget 1993-1994. Forslag til kalkingsstrategi basert på tålegrenseoverskridelser fram mot år 2010.	Dato:	Trykket:
	27/2-95	NIVA 1995
Forfatter(e): Øyvind Kaste, Arne Henriksen, Atle Hindar	Faggruppe:	
	Sur nedbør	
Geografisk område:	Antall sider:	Opplag:
	Telemark / Aust-Agder	54

Oppdragsgiver: Styringsgruppa for Arendalsvassdraget, kommunene langs vassdraget og Arendal Vasdrags Brugseierforening.	Oppdragsg. ref.:
--	------------------

<p>Ekstrakt:</p> <p>Arendalsvassdraget er sterkt belastet med sur nedbør, og tålegrensene er i dagens situasjon overskredet i hele vassdraget. Bare i den helt øverste delen (Vråvatn-området) representerer vannkvaliteten sannsynligvis ingen fare for fiskebestandene. Aluminiumskonsentrasjonen i Nisser og Fyresvatn har økt med mellom 50 og 100% siden 1982. Dette medfører at fiskebestandene i de to innsjøene har vanskeligere livsbetingelser i dag enn for 10 år siden.</p> <p>Ved gjennomføring av internasjonale avtaler om utslippsreduksjoner av svovel innen 2010, vil forholdene bedre seg, under forutsetning av at nitrogenutslippene ikke øker: I den øvre delen (oppstrøms Vråvatn og Fyresvatn) vil det sannsynligvis ikke være overskridelser av tålegrensene <u>når likevekt oppstår</u>. Tidsperspektivet for opprettelse av denne likevekten er avhengig av responstiden i jordsmonnet. I de midtre og nedre delene av vassdraget vil det fortsatt være overskridelser ved 2010-scenariet, om enn betydelig lavere enn i dag. Situasjonen i dag og utsiktene framover indikerer at kalking er et aktuelt tiltak for å sikre biologisk mangfold, inkludert fisk, både på kort og lengre sikt. Kalkbehovet vil imidlertid avta etterhvert.</p>

4 emneord, norske

1. Sur nedbør
2. Tålegenser
3. Fisk
4. Kalking

4 emneord, engelske

1. Acid deposition
2. Critical loads
3. Fish
4. Liming

Prosjektleder



Øyvind Kaste

For administrasjonen



Bjørn Olav Rosseland

ISBN82-577-2717-2

Norsk institutt for vannforskning
Sørlandsavdelingen

O-93184

**FORSURINGSSITUASJONEN I AREDALSVASSDRAGET
1993-1994.**

**FORSLAG TIL KALKINGSSTRATEGI BASERT PÅ
TÅLEGRENSEOVERSKRIDELSER FRAM MOT ÅR 2010.**

Grimstad

februar 1995

Saksbehandler:

Øyvind Kaste

Medarbeidere:

Arne Henriksen

Atle Hindar

Rolf Høgberget

Anja Skiple

Forord

Etter initiativ fra Miljøverndepartementet ble det i 1993 satt i gang et program for undersøkelse av forsureingssituasjonen i Arendalsvassdraget. En styringsgruppe bestående av representanter fra Direktoratet for naturforvaltning, fylkesmannen og fylkeskommunen i Telemark og Aust-Agder, samt Nissedal kommune har stått for framdriften.

Styringsgruppa ba i mai 1993 NIVA om å utarbeide et forslag til undersøkelsesprogram for Arendalsvassdraget. NIVA fikk i juni oppdraget med å gjennomføre prosjektet etter den fastsatte planen. I tillegg til det ordinære undersøkelsesprogrammet er NIVA på et senere tidspunkt bedt om å vurdere tålegrenser for forsurening, tålegrenseoverskridelser og aktuelle kalkingstiltak for å heve den generelle vannkvaliteten i hovedvassdraget.

Audun Bjørknes, Arendals Vasdrags Brugseierforening, har skaffet til veie hydrologiske data og værobservasjoner fra ulike deler av vassdraget. Øvrige hydrologiske data, samt kart over vassdraget basert på REGINE-systemet er utarbeidet av Astrid Voksø ved Norges vassdrags- og energiverk. Beregninger av tålegrenser og tålegrenseoverskridelser er utført av Anne-Sofie Indrøy og Arne Henriksen, NIVA-Oslo.

Undersøkelsene er finansiert av institusjonene i styringsgruppa, samt alle kommunene langs vassdraget og Arendals Vasdrags Brugseierforening.

Grimstad, februar 1995

Øyvind Kaste

INNHOOLD

1. SAMMENDRAG	4
2. INNLEDNING	7
2.1. Bakgrunn.....	7
2.2. Formål.....	7
2.3. Program for den vannkjemiske undersøkelsen	7
3. VASSDRAGSBESKRIVELSE	9
4. RESULTATER OG DISKUSJON	15
4.1. Svovel- og nitrogenforbindelser fra forurenset luft og nedbør	15
4.2. Naturlig organisk materiale	20
4.3. pH, aluminium og bufferkapasitet	20
4.4. Resultater fra tidligere undersøkelser	30
4.5. Forventede effekter av vassdragsreguleringer	32
5. TÅLEGRENSER FOR FORSURING	33
6. KALKINGSSTRATEGI BASERT PÅ NATURENS TÅLEGRENSER	38
6.1. Dagens kalkingsinnsats i Arendalsvassdraget	38
6.2. Kalkbehov basert på naturens tålegrenser	38
6.3. Forventet effekt av dagens kalkingsinnsats	39
6.4. Forslag til kalkingsstrategi for Arendalsvassdraget.....	42
6.5. Framtidig kalking i Arendalsvassdraget.	43
REFERANSER	45
VEDLEGG	47

1. SAMMENDRAG

Vannkvaliteten i de tre store innsjøene Nisser, Fyresvatn og Nesvatn er undersøkt med hensyn til forsuring i 1993 og 1994. Vannkvaliteten er også vurdert ved 8 elvestasjoner, samt i innsjøen Rore. I tillegg til den vannkjemiske overvåkingen er det utarbeidet en prognose over forventet effekt på vassdraget av reduserte svoveltilførsler. Undersøkelsene skal bl.a. danne grunnlag for å vurdere behov for, og effekten av eventuelle framtidige kalkingstiltak i vassdraget.

Vannkvalitetstilstand 1993-1994.

I utløpet av Vråvatn, som ligger i den øvre delen av vassdraget, var vannkvaliteten generelt bedre enn ved de øvrige undersøkte lokalitetene. pH-verdien ved denne stasjonen lå stabilt mellom 5,6 og 5,7. Vannkvaliteten i Vråvatn representerer sannsynligvis ingen fare for fiskebestanden, selv om den syrenøytraliserende kapasiteten (ANC) lå noe i underkant av antatte tålegrenser for fisk.

Nisser og Fyresvatn hadde forholdsvis lik vannkvalitet i perioden 1993-1994. pH-verdiene (hhv. 5,36-5,38 i middel) og konsentrasjonen av labilt aluminium i de to innsjøene (70 - 90 µg/l i middel) anses som skadelig for mange vannlevende organismer, deriblant sårbare livsstadier av ferskvannsfisk. Konsentrasjonen av reaktivt aluminium i Nisser og Fyresvatn ser ut til å ha steget med i størrelsesorden. 50 - 100% siden 1982. Denne utviklingen medfører at fiskebestandene i de to innsjøene i dag har vanskeligere livsbetingelser enn for 10 år siden. På grunn av den sene vannutskiftingen i de store innsjøbassengene er det ikke fare for at vannkvaliteten kan forverres dramatisk i løpet av kort tid, men en bør følge utviklingen framover.

Nesvatn var betydelig surere enn både Nisser og Fyresvatn. I utløpet av innsjøen var det i undersøkelsesperioden en middel-pH på 5,01 og ingen alkalitet (bufferkapasitet). Middelkonsentrasjonen av labilt, giftig aluminium lå omkring 110-115 µg/l både i utløpet av Nesvatn og i Gjøv. Det sure vannet og den høye aluminiumskonsentrasjonen medførte at vannet i perioder av året kunne være svært giftig for fisk. På grunn av kalking i sommerhalvåret 1994 er vannkvaliteten i Nesvatn og Gjøv nå betydelig bedre enn resultatene i denne rapporten tilsier.

I den nedre halvdelen av vassdraget (Sigridsnes og Bøylestad) lå pH-verdiene rundt 5.15-5.20 i gjennomsnitt og vannet hadde i praksis ingen bufferevne mot forsuring. Middelkonsentrasjonene av labilt, giftig aluminium lå i området 100-110 µg/l. Vannkvaliteten i innsjøen Rore er positivt påvirket av kalkingsvirksomheten i nedslagsfeltet. Våren 1994 lå pH-verdien i hovedvannmassene på omkring 5,5. Dette er en klar vannkvalitetsforbedring i forhold til situasjonen før kalking, da pH verdiene lå stabilt rundt 4,7. Konsentrasjonen av giftig, labilt aluminium i 1993/94 var 85 µg/l i gjennomsnitt. Dette er fortsatt høyere enn det som kan sies å være akseptabelt for fisk.

pH-verdien i Nidelva ved Rykene er overvåket siden 1965, og det er i hele perioden registrert store svingninger i løpet av året og fra år til år. Dette illustrerer at bufferkapasiteten i vassdraget er forholdsvis lav og at surt vann fra sidevassdragene kan påvirke vannkvaliteten i hovedelva betydelig under flomperioder. De laveste verdiene ble

målt rundt 1980-tallet, mens det har vært tegn til bedring de siste 2-3 årene. Kalkingen i Rorevassdraget kan være medvirkende til noe av pH-økningen ved Rykene, men det er registrert vannkvalitetsforbedringer også i andre sørnorske vassdrag i samme tidsrom.

Tålegrenser for forsuring

Tålegrensene for forsuring er lave i hele Arendalsvassdraget. I de øvre og midtre delene er tålegrensen mellom 0 og 25 kekv/km²/år, dvs. 0-0,4 g svovel/m²/år. Vassdragsavsnittene nærmest kysten har tålegrenser som ligger noe høyere, mellom 25 og 50 kekv/km²/år (0,4-0,8 g svovel/m²/år).

Dersom en tar utgangspunkt i nedfallet av sur nedbør omkring 1985 er tålegrensene overskredet i hele Arendalsvassdraget. De største overskridelsene finner en i de midtre og nedre delene av vassdraget. Ved gjennomføring av avtalte utslippsreduksjoner for svovel innen 2010 vil overskridelsene være ned mot null både i nedslagsfeltet til Vråvatn og i områdene oppstrøms Fyresvatn. I de midtre og nedre delene av vassdraget vil overskridelsene ligge mellom 15 og 25 kekv/km²/år (0,2 - 0,4 g S/m²/år). Dette forutsetter at nitrogenavsetningen ikke endres i forhold til dagens nivå.

Den vannkjemiske tålegrensen er basert på en metode som beregner situasjonen ved en gitt framtidig deposisjon av svovel, samt dagens nitrogendeposisjon. Dette er en såkalt statisk beregningsmetode som ikke sier noe om når den forventede vannkvalitetsforbedringen vil kunne finne sted. Tidspunktet for dette er avhengig av hvor lang tid det terrestre systemet trenger for å øke basemetningen og opprette ny likevekt etter endringer i belastningen av sur nedbør. Vi antar at beregningene utfra 1985-nivået er mest representativ for dagens situasjon i vassdraget.

Kalkingsstrategi basert på naturens tålegrenser

I 1994 ble det i alt spredt kalk tilsvarende 2800 tonn CaCO₃ i Arendalsvassdraget. Dersom en regner et CaCO₃-innhold i kalken på 85% blir dette omlag 3300 tonn kalk. Rorevassdraget er best dekket med kalking ved at en regner at omlag 65% av nedbørfeltet er kalket. I de øvre delene av Arendalsvassdraget er kalkingsinnsatsen i senere tid intensivert i områdene oppstrøms Nesvatn (750 tonn CaCO₃ i 1994). Tilsiget til Nisser og Fyresvatn er bare i liten grad kalket, og tiltakene vil ikke ha nevneverdig effekt på vannkvaliteten i de to innsjøene.

Basert på tålegrenseoverskridelsen i 1985 er det totale kalkbehovet i Arendalsvassdraget beregnet til drøyt 15.000 tonn CaCO₃. Det totale kalkbehovet vil etter beregningene reduseres til omlag 12.500 tonn CaCO₃ i 1990 og 7.000 tonn i 2010. Basert på dagens kalkingsinnsats oppstrøms Nesvatn kan en forvente tilfredsstillende vannkvalitet for fisk i innsjøen. Ved utløpet av Gjøv vil effektene av kalkingen oppstrøms Nesvatn være mindre: Den gjennomsnittlige pH-verdien vil kunne øke fra et nivå på omkring 5,0 til omkring 5,5.

Dagens kalkingsinnsats omkring Nisser har ingen nevneverdig innvirkning på vannkvaliteten i innsjøen. Dersom en velger å kalke Napevatn, kan effekten bli noe større. En vil med dette kunne forvente en pH-økning i Nisser fra en antatt utgangs-pH på 5,3 til omlag 5,5. Tar vi også med dagens kalkingsaktivitet øst for Nisser vil kalkingstiltakene samlet kunne bety en pH-økning i Nisser fra pH 5,3 til omlag 5,6. På grunn av den langsomme vannutskiftingen i Nisser vil det ta lang tid å oppnå vannkvalitetsforbedringer

ved å kalke innløpsbekkene. Simuleringer antyder at det vil ta omlag 5 år før kalsiumøkningen i innsjøen utgjør halvparten av en gitt økning i innløpsbekkene. Etter nye 5 år vil økningen i innsjøkonsentrasjonen tilsvare omlag 2/3 av innløpskonsentrasjonen. Først etter 30 år vil innsjøen være helt i likevekt med innløpsbakkens vannkvalitet, forutsatt at denne er konstant i hele perioden.

Summen av alle de igangværende kalkingsprosjektene i Nidelva (~2800 tonn CaCO_3 /år) tilsvarer en kalkdose på 0,45 g CaCO_3/m^3 i den nederste delen av vassdraget. Ved full effekt av disse tiltakene vil pH i elva kunne økes fra et antatt nivå uten kalking på pH 5,2, til omkring 5,4, et nivå som ikke gir tilfredsstillende vannkvalitet for fisk.

Framtidig kalking i Arendalsvassdraget

En ytterligere utvidelse av kalkingsvirksomheten i Arendalsvassdraget er bl.a. avhengig av klare målsetninger for arbeidet. Rapporten inneholder en diskusjon av 4 alternative målsetninger med ulike ambisjonsnivåer:

1. Kalking av hele vassdraget til utløpet i sjøen
2. Kalking av Nisser / Fyresvatn / Gjøv
3. Kalking av mindre sidevassdrag med truede fiskebestander og lokale brukerinteresser
4. Kalking av viktige gytebekker rundt de store innsjøene

Kalking av hele vassdraget innbefatter innsjøkalking i Nisser, Fyresvatn og Nesvatn, samt dosererkalking på to steder lengre nede i vassdraget (Hindar 1989). Skal det oppnås tilfredsstillende vannkvalitet i Nisser og Fyresvatn må innsjøene kalkes direkte. På grunn av det store antallet små tilløpsbekker og den langsomme vannutskiftingen i innsjøene, er det urealistisk å kalke innsjøene til et akseptabelt nivå via tilløpsbekkene.

Basert på vannkvalitetsforholdene i Arendalsvassdraget er det faglig grunnlag for å øke omfanget av kalkingsvirksomheten. Kostnadene i forbindelse med tiltak vil imidlertid være store dersom en skal oppnå akseptabel vannkvalitet f.eks. i Nisser eller i den lakseførende strekningen. NIVA kan ikke trekke konklusjoner om hvor høyt Arendalsvassdraget bør prioriteres i forhold til andre vassdrag mht. kalking. Beslutninger omkring framtidig omfang av kalkingsvirksomheten i vassdraget vil i stor grad måtte baseres på kost/nyttevurderinger, og det er opp til lokalsamfunnene, forvaltningen og politiske myndigheter å vurdere nyttevirkningene av å ha et levende vassdrag.

Eventuelt nye kalkingstiltak i vassdraget bør baseres på en bevisst holdning til mål og forventede effekter av kalkingen. Begrunnelsen for å kalke i mindre sidevassdrag må være å ta vare på lokale fiskestammer eller å heve vannkvaliteten i viktige gytebekker. Effekter på hovedvassdrag av lokale kalkingstiltak må ikke overvurderes. Dersom det skal kalkes i Nisser eller i hovedvassdraget forøvrig, må innsatsen dimensjoneres i forhold til aksepterte vannkvalitetsmål. Delvis oppnåelse av målene vil gi liten nytte for hver investert krone.

2. INNLEDNING

2.1. Bakgrunn

Arendalsvassdraget (figur 1) er et av de større sørnorske vassdragene som er hardt rammet av forsurening. Mange fiskebestander er gått tapt, bl.a. den opprinnelige laksebestanden, og det er registrert skader på fiskebestanden i de store innsjøene i vassdraget. De biologiske forholdene påvirkes i tillegg av flere reguleringer som endrer det naturlige vannføringsmønsteret.

Med bakgrunn i forurensingssituasjonen er det fra lokalt hold tatt initiativ til kalking av Nisser, og det er laget en kalkingsplan for innsjøen samt resten av vassdraget (Hindar 1989). Som et ledd i arbeidet med å forberede eventuell kalking ble det igangsatt et program for undersøkelse av forurensingssituasjonen i vassdraget. Vannkvaliteten i de tre store innsjøene Nisser, Fyresvatn og Nesvatn er kartlagt med hensyn til forurensing. I tillegg til innsjøene er vannkvaliteten ved 8 elvestasjoner, samt innsjøen Rore vurdert.

2.2. Formål

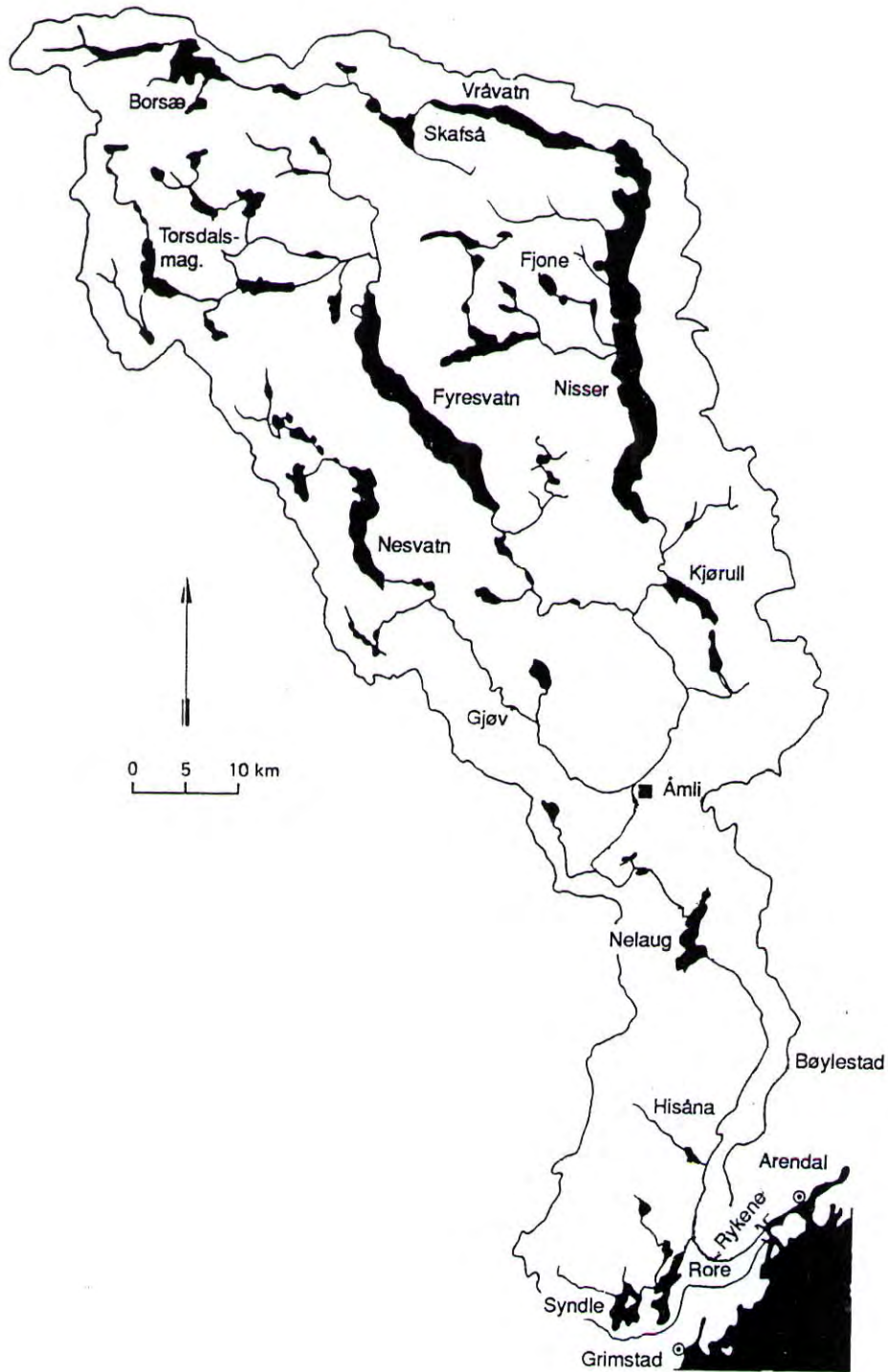
Målet med prosjektet har vært å kartlegge forurensingssituasjonen i vassdraget, samt å utarbeide en prognose over forventet effekt på vannkvaliteten av reduserte svoveltilførsler fram år 2010. På dette grunnlaget er det vurdert behov for, og effekter av eventuelle framtidige kalkingstiltak i vassdraget

2.3. Program for den vannkjemiske undersøkelsen

Vannkvaliteten i de store innsjøene; Nisser, Fyresvatn og Nesvatn ble undersøkt én gang i 1993. På grunn av den langsomme vannutskiftingen i disse innsjøene kan dette regnes som tilstrekkelig for å få et representativt bilde av vannkvaliteten i hovedvannmassene. På grunn av temperatursjiktninger kan imidlertid vannkvaliteten i utløpet av innsjøene variere noe i løpet av året. I innsjøen Rore ble det foretatt 3 prøveinnsamlinger i perioden 1993-1994.

Det er samlet inn prøver fra følgende elvestasjoner (figur 1): Utløp Vråvatn, utløpsbekk ved Fjone, utløp Nisser, utløp Fyresvatn, utløp Nesvatn, Gjøv, Sigridsnes (nedenfor Åmli) og Bøylestad (Froland). I tillegg til de nevnte stasjonene finansierer SFT en overvåkningsstasjon nederst i Nidelva ved Rykene. Resultater til og med 1993 fra sistnevnte stasjon blir kort omtalt i rapporten. De øvrige elvestasjonene ble prøvetatt 6 ganger i løpet av høsten 1993 og våren 1994. Generelt er 6 prøver i løpet av et år for lite til å få noe presist inntrykk av tilstanden i vassdraget. Tidspunktet for prøveinnsamling er imidlertid valgt med henblikk på å fange inn perioder på året når vannkvaliteten kan være dårlig på grunn av høstnedbør og vårflo. Dessuten er valg av parametre (f.eks. syrenøytraliserende kapasitet - ANC) "integrerende", slik at sannsynligheten for episodiske endringer i stor grad framkommer ved det eksisterende programmet.

Prøvene ble analysert med hensyn på pH, konduktivitet, alkalitet, kalsium, magnesium, kalium, natrium, reaktivt aluminium, ikke-løslig aluminium, klorid, sulfat, nitrat, total nitrogen, total fosfor, totalt organiske karbon og ANC (beregnet). Analysene ble valgt for å kunne karakterisere vannet i forhold til forurensing og leveforhold for fisk.



Figur 1. Nedbørfeltet til Arendalsvassdraget. Nisser og andre store innsjøer er vist. (Fra Hindar 1989).

3. VASSDRAGSBESKRIVELSE

Arendalsvassdraget er det største vassdraget på Sørlandet målt i utstrekning (4025 km²), men elva ved utløpet har noe mindre vannføring enn Otra. Den øvre delen av vassdraget består av tre hovedgrener som utgjøres av Nisser, Fyresvatn og Nesvatn / Gjøv (figur 1).

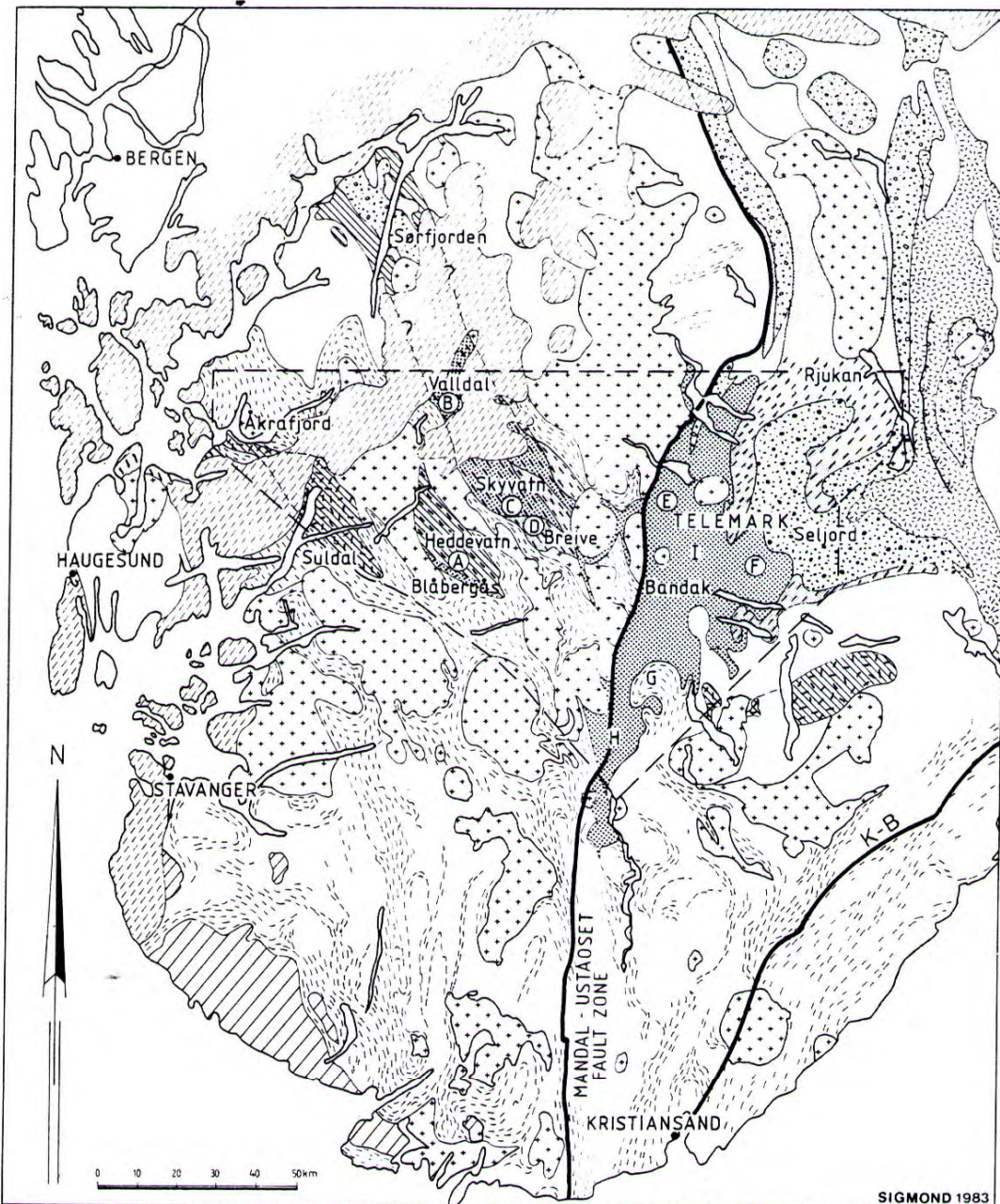
Nisser er den største innsjøen i vassdraget (77 km²). Den er 240 meter dyp og har et middeldyp på 93 meter. Den teoretiske oppholdstiden for vannet i innsjøen er 8,8 år (Østrem *et al.* 1984). Det vil si at det i et tenkt tilfelle ville ta nesten 9 år å fylle innsjøbassenget med naturlig tilrenning dersom det på forhånd var tømt fullstendig. Fyresvatn er den dypeste av innsjøene i Arendalsvassdraget (370 meter). Teoretisk oppholdstid i innsjøen er anslått til 7 år (Hindar 1989). Nesvatn ligger øverst i Gjøvdal, en sideelv til Nidelva. Gjøv er surere enn Nidelva (Hindar og Lindstrøm 1989). Volum og oppholdstid for Nesvatn kan ikke beregnes nøyaktig fordi det ikke er utarbeidet dybdekart for innsjøen.

Vassdraget ligger i et område av landet hvor tålegrensene for forsuring er svært lave. Den viktigste årsaken til dette er berggrunnen i området og det tynne jordsmonnet mange steder. Store deler av nedbørfeltet består av harde, kalkfattige bergarter som har liten kapasitet til å nøytralisere sur nedbør (figur 2). Bare i de øvre delene, nord for Nisser og Fyresvatn, samt i enkelte lokale soner omkring Nisser er det innslag av lettere forvitrerlige bergarter som kan gi vannet en viss bufferkapasitet. Enkelte småbekker i disse områdene kan ha stor betydning som tilholdssted for organismer som har lav toleranse for forsuring.

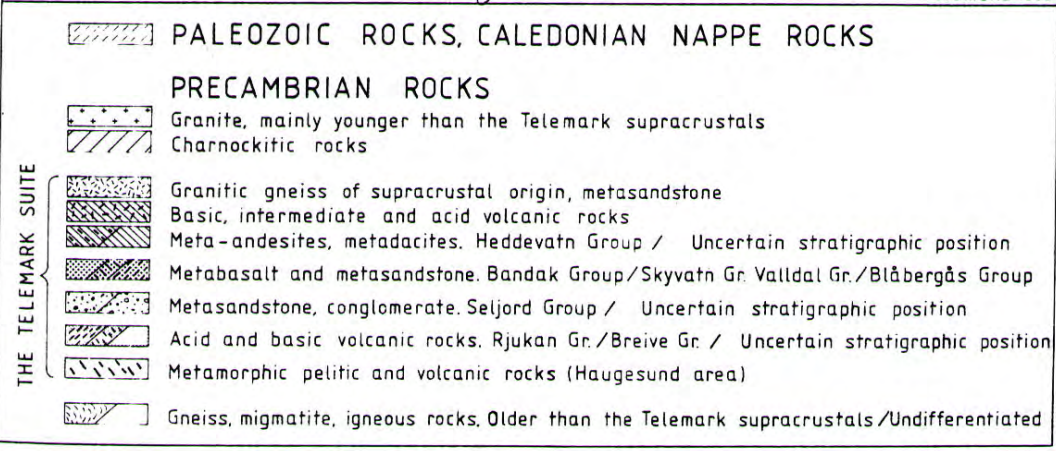
De øvre delene av vassdraget har noe mindre nedfall av forsurende komponenter enn vassdraget forøvrig. Dette medfører mindre overskridelser av tålegrensene i disse områdene og generelt bedre vannkvalitet sammenlignet med de midtre og nedre delene av vassdraget, som er sterkt belastet med forsuring (SFT 1993). De stedegne stammene av bleke i Nelaug og laks i de nedre vassdragsavsnittene er betraktet som utdødd.

Arendalsvassdraget er betydelig påvirket av vassdragsreguleringer. 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. Figur 3 viser en oppdatert oversikt over de ulike kraftstasjonene i vassdraget. Nisser har en reguleringshøyde på 3 meter, noe som har sterk innvirkning på vannføringen ut av Nisser. Reguleringen fører til høy vintervannføring, mens en ellers kraftig vårflom uteblir nesten i sin helhet (figur 4).

Figurene 5 og 6 viser vannføringen i ulike vassdragsavsnitt, samt vannstandsvariasjoner i Nisser, Fyresvatn og Nelaug. Nedbørdata for 1993 og 1994 ved ulike stasjoner er gitt i tabell 1.

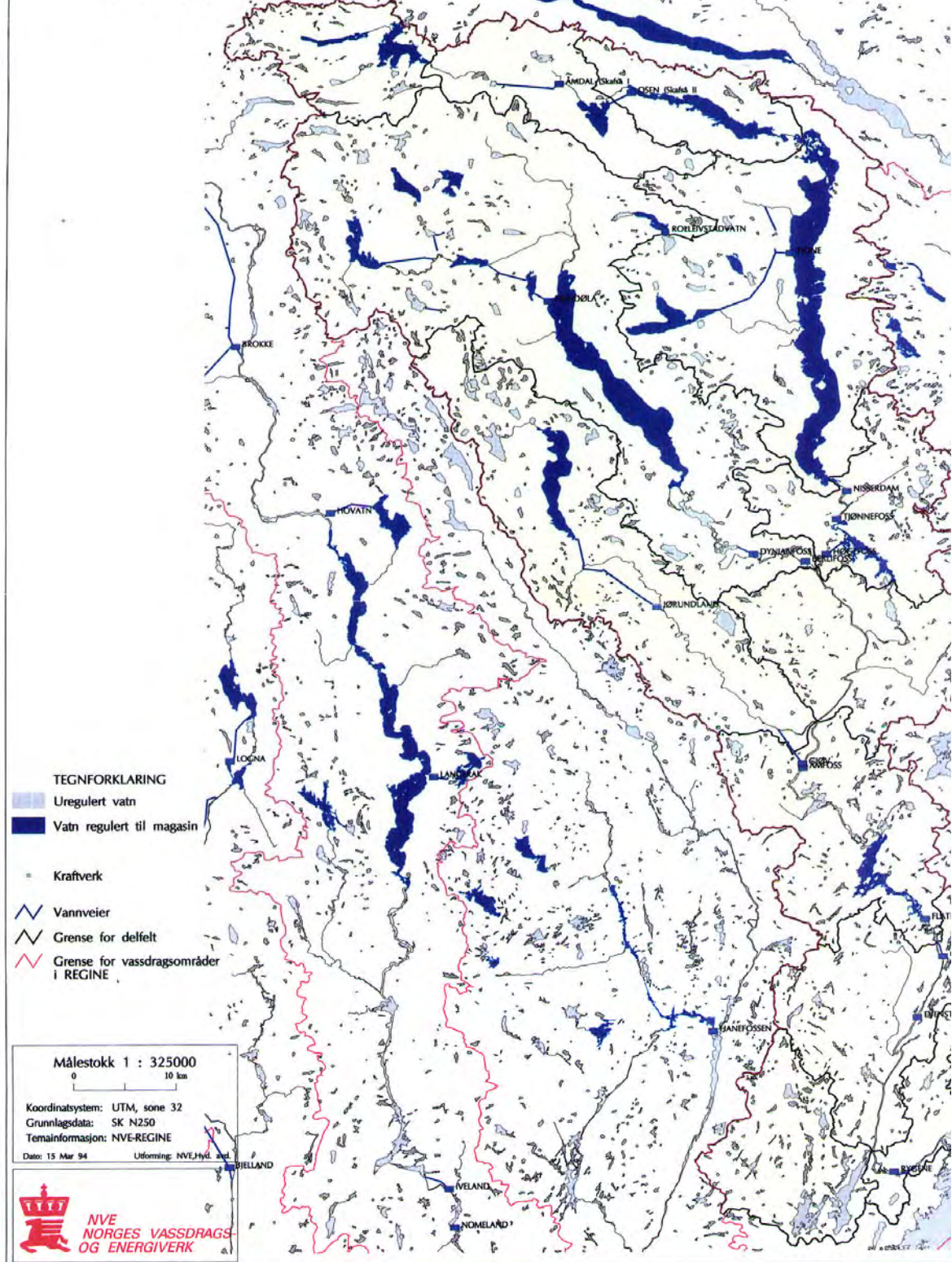


SIGMOND 1983

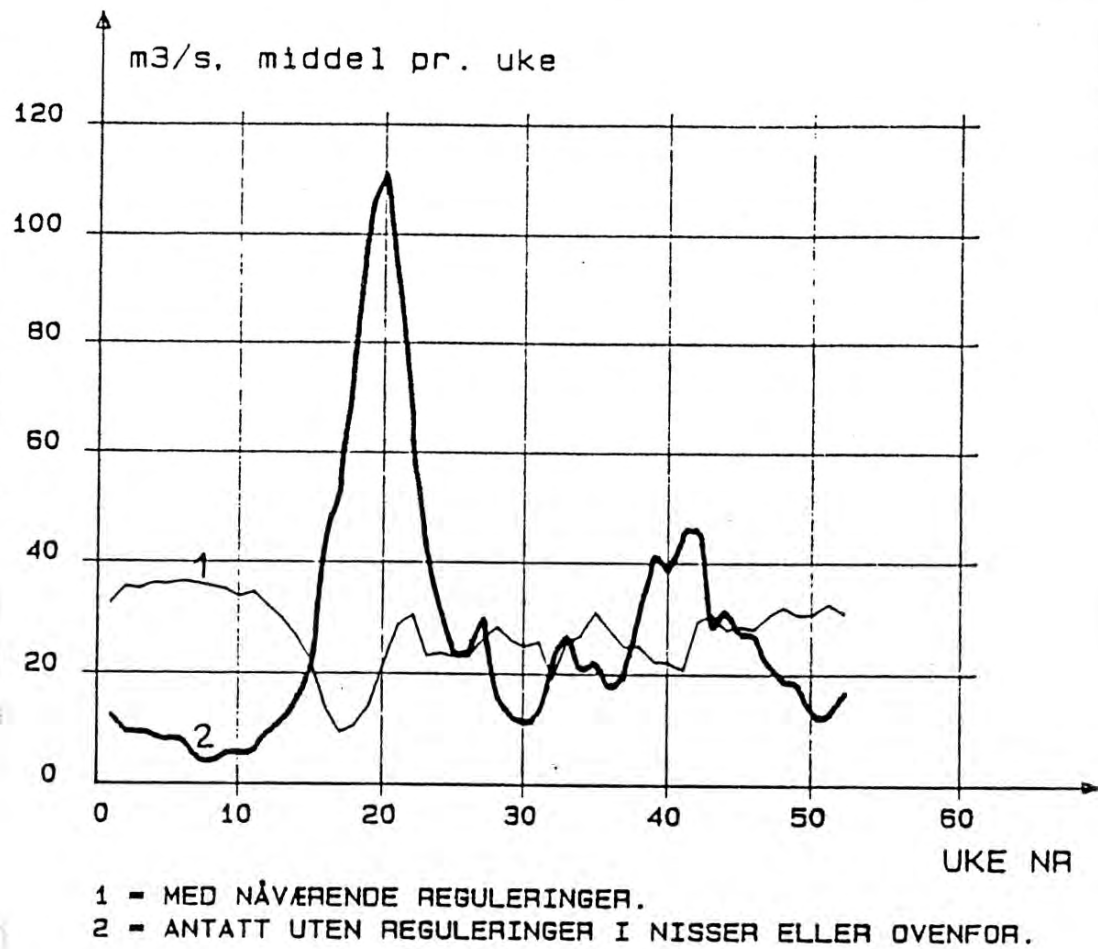


Figur 2. Geologisk kart over den sørlige delen av Norge (Fra Maijer og Padget 1987).

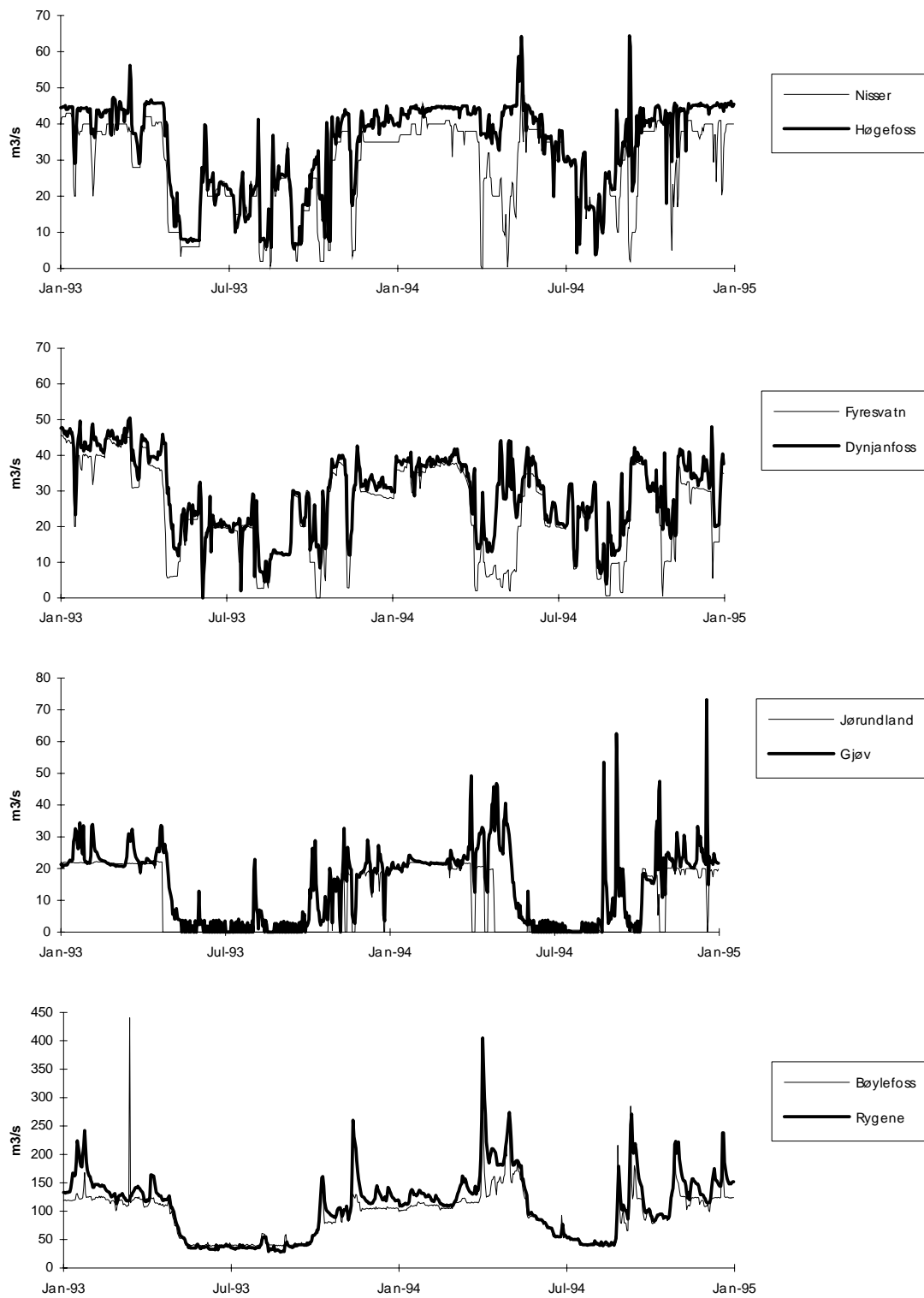
Kraftutbygninger 019.Z Arendalsvassdraget



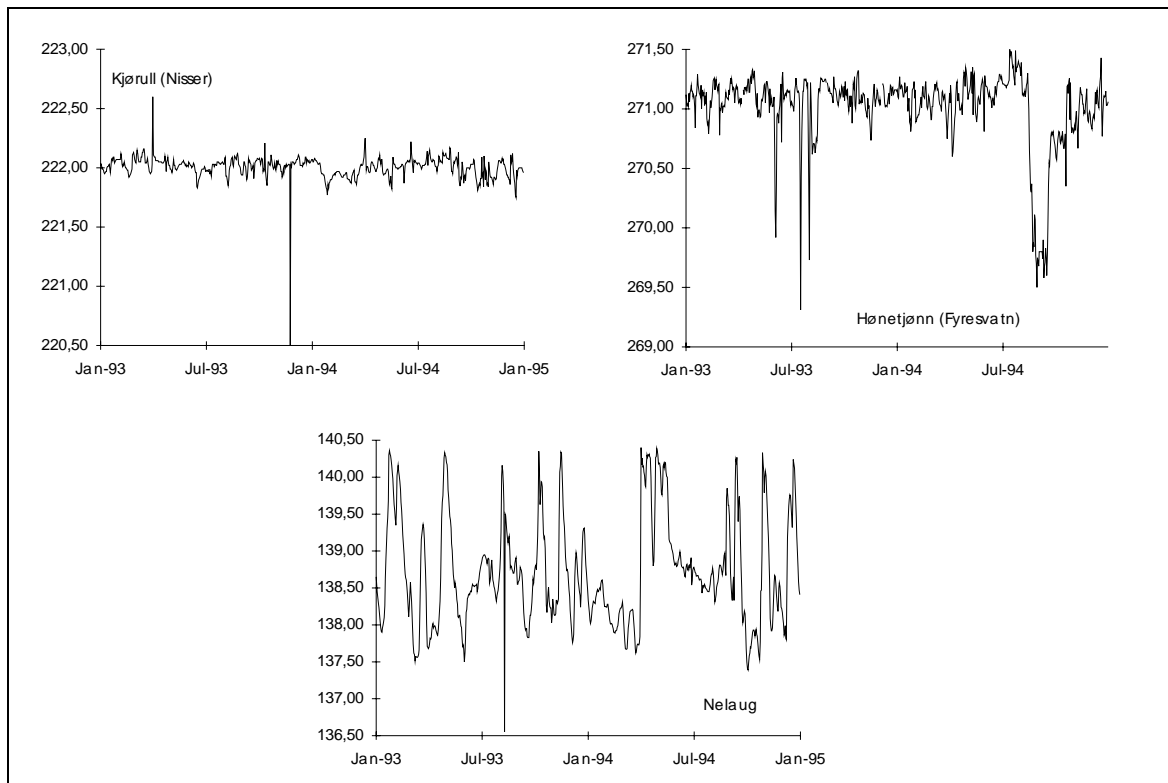
Figur 3. Kraftutbygging i Arendalsvassdraget (NVE).



Figur 4. Midlere vannføring ut av Nisser ved reguleringer pr. 1989 (kurve 1). Antatt vannføring uten regulering i Nisser eller ovenfor (kurve 2). (Fra Arendals Vasdrags Brugseierforening 1989).



Figur 5. Vannføring ved ulike stasjoner i Arendalsvassdraget i 1993 og 1994. (Fra Arendals Vasdrags Brugseierforening).



Figur 6. Vannstandsvariasjoner (moh) i Fyresvatn, Nisser og Nelaug i 1993 og 1994. (Fra Arendals Vasdrags Brugseierforening).

Tabell 1. Nedbørdata fra ulike stasjoner i Arendalsvassdraget i 1993 og 1994.

	1993		1994	
	Årsum (mm)	% av norm	Årsum (mm)	% av norm
ARENDAL	915,2	88,0	1114,0	107,1
REIERSØL	1084,0	83,8	1370,7	105,9
BØYLEFOSS	1137,3	86,8	1343,5	102,6
NELAUG	951,9	77,4	1299,0	105,6
SMELAND	1083,4	82,7	1361,3	103,9
KATTERÅS	869,6	82,8	1207,5	115,0
HØGEFOSS	795,1	80,4	1036,2	104,8
TVEITSUND	818,3	82,3	1003,5	101,0
KILEGREND	829,8	79,7	1083,0	104,0

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. Svovel- og nitrogenforbindelser fra forurenset luft og nedbør

Nedfall av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge kommer i hovedsak fra utenlandske kilder. De norske svovelutslippene bidrar med ca. 5%, og nitrogenutslippene med ca 7% av belastningen (Kroglund *et al.* 1994). Lufttransportert svovel og nitrogen avsettes på landoverflaten gjennom våtavsetninger (nedbør) og tørravsetninger (partikkelnedfall). Figur 7 viser våtavsetningen av svovel og nitrogen ved norske bakgrunnsstasjoner i 1992. Tabell 2 viser avsetningen ved bakgrunnsstasjonene Vatnedalen, Treungen og Birkenes som kan være representative for henholdsvis de øvre, midtre og nedre delene av Arendalsvassdraget.

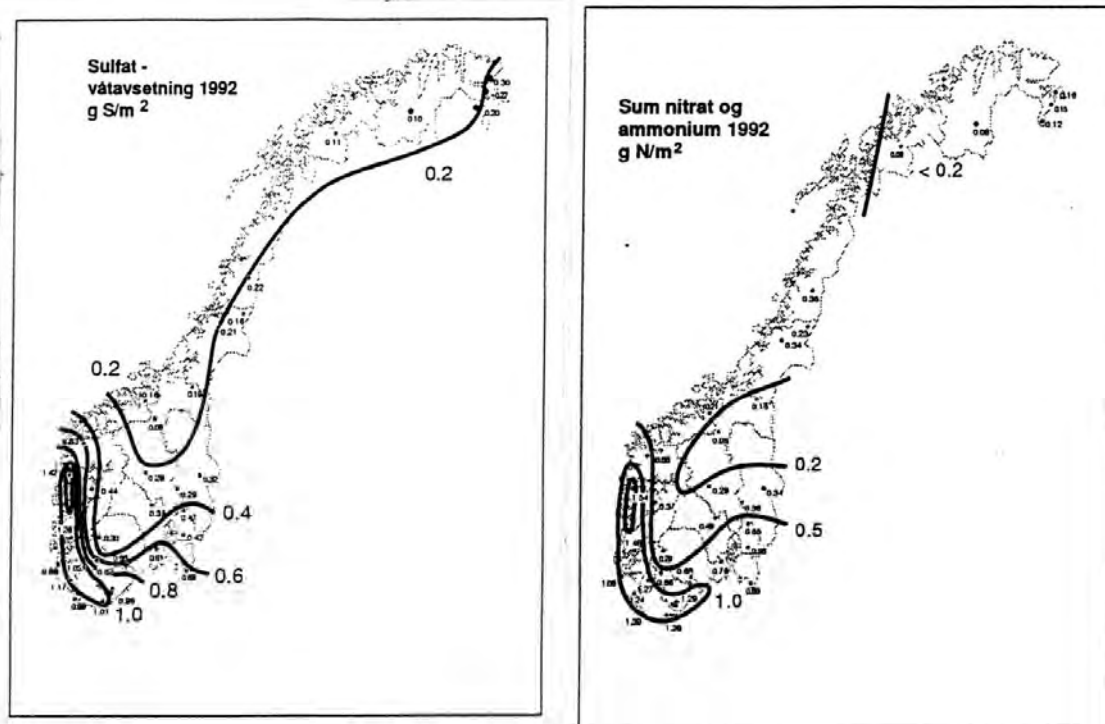
Nedbørens forsurende virkning på avrenningsvannet er bestemt av nedbørens surhet og nedbørfeltets syrenøytraliserende evne (geologisk betinget). Etter at nedbøren har nådd bakken vil den vannkjemiske sammensetningen bli endret på grunn av en rekke prosesser som finner sted i nedbørfeltet. Sulfat som tilføres med nedbøren vil i liten grad holdes tilbake i jordsmonnet (mobilt anion) og vil dermed lekke relativt raskt ut i vassdragene sammen med en tilsvarende mengde positivt ladde ioner (kationer). Er det underskudd på basekationer i nedbørfeltet vil sulfaten bidra til å forsure vannet. Nitrat og ammonium tas oftest opp i nedbørfeltet gjennom biologiske prosesser. Under spesielle forhold kan nitrationsnet lekke ut av jordsmonnet og virke forsurende på samme måte som sulfat (SFT 1987, 1993).

Figur 8 viser sulfatkonsentrasjonen på elve- og innsjøstasjonene i Arendalsvassdraget. Det er korrigert for sulfat som stammer fra sjøsalter. De høyeste konsentrasjonene av ikke-marin sulfat (SO_4^*) ble registrert ved Fjone og i innsjøen Rore (hhv. 3,5 og 4,6 mg SO_4^*/l i middel). Årsaken til den høye sulfatkonsentrasjonen ved Fjone er trolig at en stor andel av nedbørfeltet ligger høyt til fjells og har stor årsnedbør. Ellers viser sulfatkonsentrasjonen en generell økning fra de indre områdene (Vråvatn 2,0 mg SO_4^*/l), via de midtre (utløp Nisser: 2,7 mg SO_4^*/l) til de ytre områdene (Rore 4,6 mg SO_4^*/l).

Middelkonsentrasjonene av total nitrogen lå i størrelsesområdet 250-300 $\mu\text{g}/\text{l}$ ved alle stasjoner, unntatt i Rore, hvor det ble målt konsentrasjoner på rundt 500 $\mu\text{g}/\text{l}$ på ulike dyp i innsjøen (figur 9). Nitrat utgjorde i gjennomsnitt 50-75% av total nitrogen ved de undersøkte elvestasjonene. Det ble registrert forholdsvis store variasjoner i nitratkonsentrasjonene ved flere av elvestasjonene over året. Dette gjaldt i stor grad ved Fjone (65-275 $\mu\text{g}/\text{l}$) og i vassdragsgrenen Nesvatn-Gjøv (45-235 $\mu\text{g}/\text{l}$). De store variasjonene kan ha sammenheng med biologisk opptak av N i produksjonsperioder og/eller skyldes at en del av nitrogenet i deler av året er bundet i naturlig organisk materiale. Nesvatn hadde de laveste konsentrasjonene av total nitrogen blant innsjøene (200-250 $\mu\text{g}/\text{l}$). De høyeste nitrogenkonsentrasjonene ble målt i Rore (435-530 $\mu\text{g}/\text{l}$). Nitrat utgjorde i gjennomsnitt 65-75 % av total nitrogen på ulike dyp i Rore.

Nitrogen/fosfor-forholdet var høyt ved alle stasjoner i vassdraget. Ytterpunktene lå ved forholdstall på 50 og 250 (hhv. Nesvatn og Rore), men ved de fleste stasjoner lå forholdet rundt 100-140 i middel. N/P-forholdet i Arendalsvassdraget og andre sørlandselver er betydelig høyere enn vassdrag f.eks. på Østlandet som mottar mindre langtransporterte

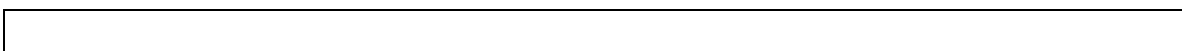
forurensninger. Eventuelle biologiske virkninger av et endret N/P-forhold i vassdragene er foreløpig ikke klarlagt. Konsentrasjonen av total fosfor var lav ved alle elve- og innsjøstasjonene i Arendalsvassdraget; 2-3 $\mu\text{g/l}$ i gjennomsnitt og 2-4 $\mu\text{g/l}$ i total variasjon (figur 10).

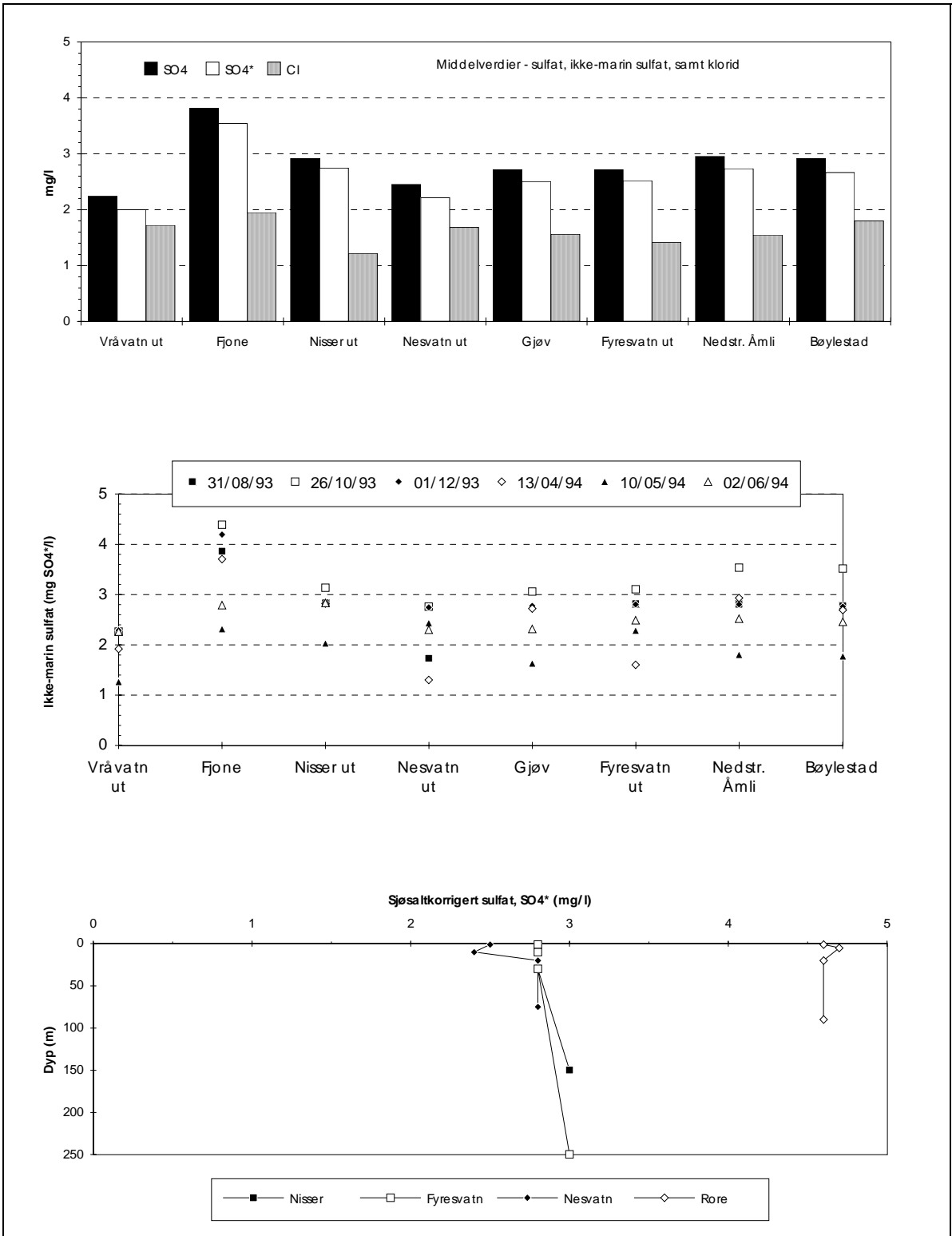


Figur 7. Våtavsetning av svovel og nitrogen ved norske bakgrunnsstasjoner i 1992 (SFT 1993).

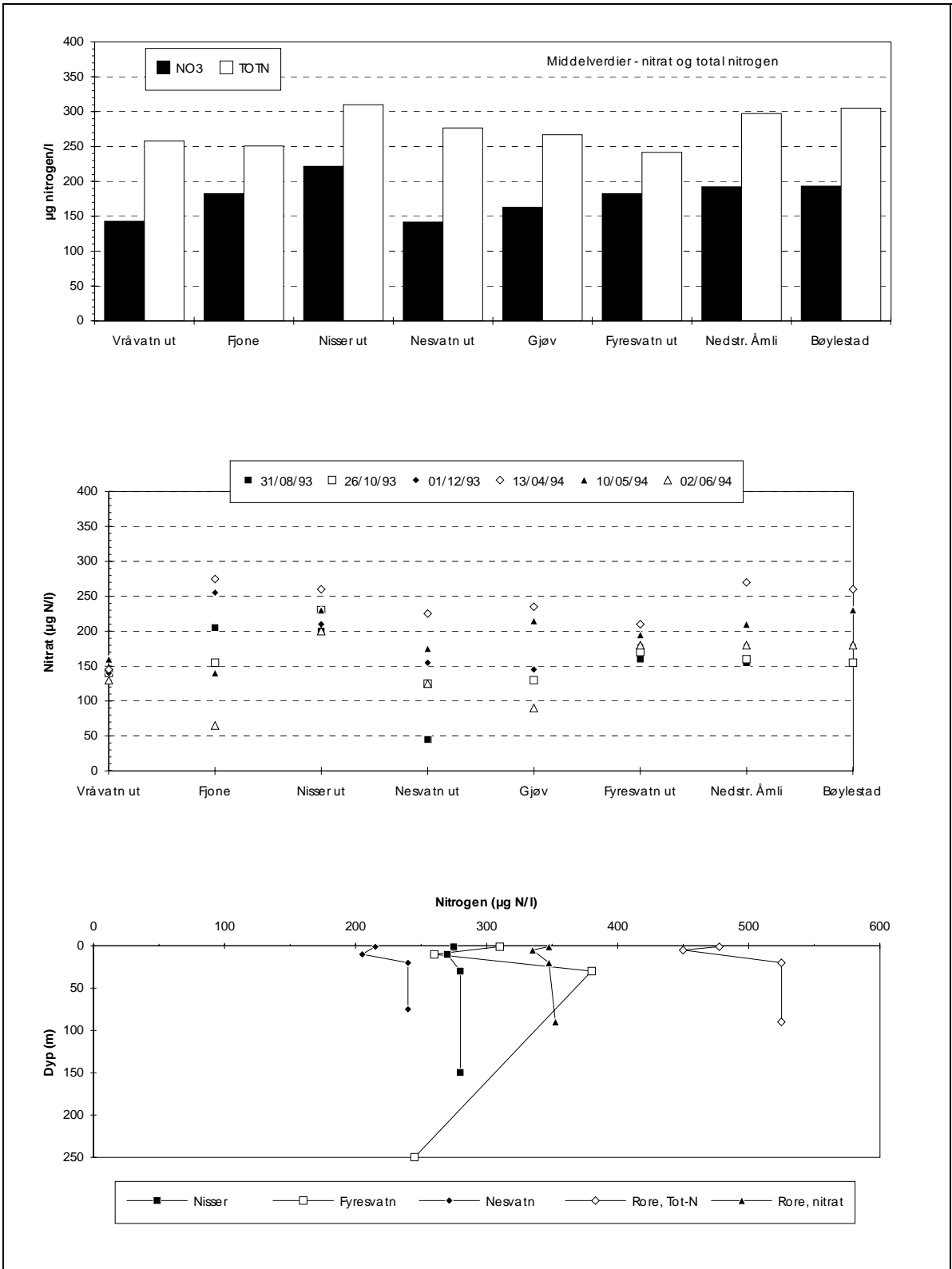
Tabell 2. Våtavsetning av sulfat (sjøsaltkorrigert), nitrat og ammonium ved 3 bakgrunnstasjoner i 1992 (Fra SFT 1993).

Stasjon:	SO_4^* (g S/m ² /år)	NO_3+NH_4 (g N/m ² /år)
Vatnedalen	0,30	0,29
Treungen	0,56	0,68
Birkenes	0,99	1,29

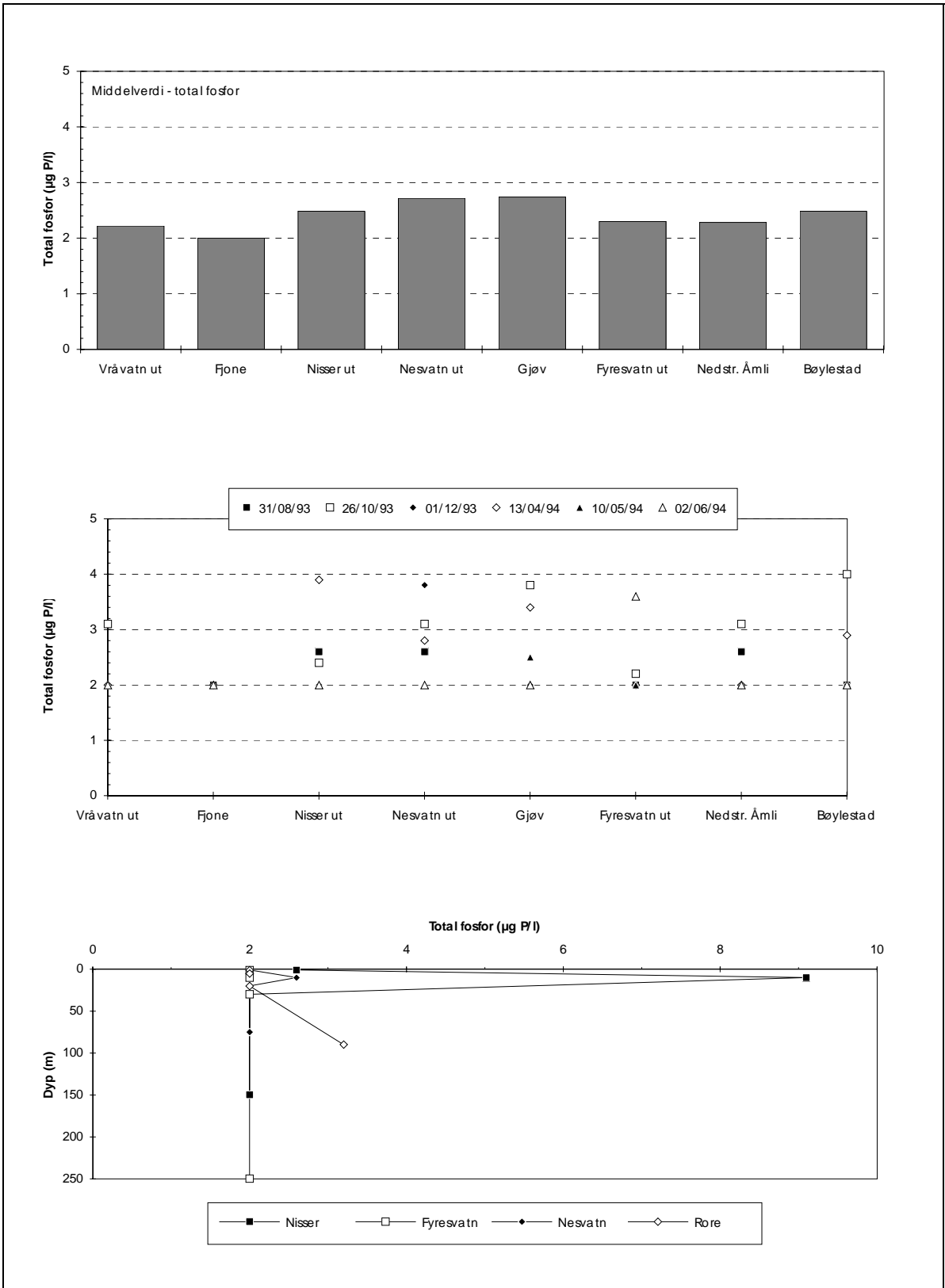




Figur 8. Konsentrasjoner av sjøsaltkorrigert sulfat (SO₄^{*}) i Arendalsvassdraget 1993-1994.



Figur 9. Nitrogenkonsentrasjoner i Arendalsvassdraget målt 1993-1994. For Røre er det vist både total nitrogen og nitrat. På de øvrige lokalitetene, kun total nitrogen.



Figur 10. Fosforkonsentrasjoner i Arendalsvassdraget målt 1993-1994.

4.2. Naturlig organisk materiale

I vassdragsavsnitt som er lite påvirket av menneskelig aktivitet stammer det meste av det organiske materialet fra fragmenterte plante- og dyrerester, samt humus (Berglind *et al.* 1984). Humus er en samlebetegnelse på en del relativt tungt nedbrytbare organiske forbindelser i vann. Disse forbindelsene gir vannet den brunlige fargen som er typisk for lokaliteter med stor påvirkning fra myravrenning. Naturlig organisk materiale inngår i en rekke biologiske og kjemiske prosesser og har stor betydning i forbindelse med næringsstoffomsetning, frigivelse av organiske syrer, samt utløsning og transport av metaller og organiske forurensninger. I befolkede områder vil vassdragene ofte være påvirket av antropogene tilførsler av organisk materiale fra industri, husholdningskloakk og jordbruk.

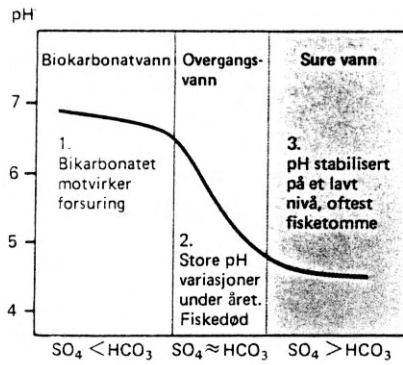
Konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC) i vassdraget ligger i området 1-3,5 mg/l, dvs. at vannet er klart og lite brunfarget av humusstoffer (Berglind *et al.* 1984). Nidelva ved Bøylestad hadde den høyeste TOC-konsentrasjonen blant elvestasjonene (2,7-3,4 mg/l). Ellers var variasjonen mellom stasjonene stort sett mindre enn variasjonen innenfor hver enkelt stasjon. TOC-komponenten ved Bøylestad var trolig en kombinasjon av humus og antropogent organisk materiale fra landbruk og husholdningskloakk. Blant innsjøene hadde Rore de høyeste TOC-konsentrasjonene (2,5-3,0 mg/l).

4.3. pH, aluminium og bufferkapasitet

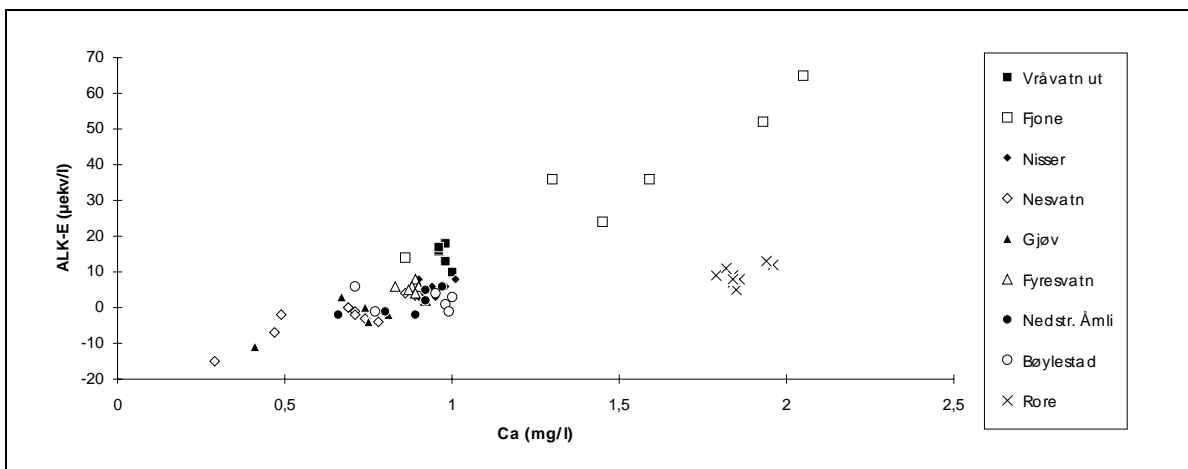
Figur 11 viser pH-forløpet ved syretilsetning til vann som i utgangspunktet inneholder bikarbonat (HCO_3^-). I vann som inneholder lite humus er bikarbonatkonsentrasjonen tilnærmet lik alkaliteten. Ved syretilsetning endrer pH seg lite så lenge det er bikarbonat (alkalitet) tilstede. Etterhvert vil imidlertid alkaliteten forbrukes og pH synker raskt til et lavere nivå. Dette illustrerer at bufferkapasiteten til vannet er overskredet.

Blant stasjonene som inngikk i overvåkningsprogrammet for Arendalsvassdraget var det en relativt god sammenheng mellom alkalitet og kalsium, med unntak av innsjøen Rore, som i utgangspunktet har en noe annen vannkvalitet enn det øvrige vassdraget (figur 12). Rorevassdraget har fra naturens side naturlige kalkforekomster i deler av nedbørfeltet (Uråna-grenen) som gir en relativt høy kalsiumkonsentrasjon. Vassdraget er samtidig sterkt belastet av sur nedbør, som medfører lave pH- og alkalitetsverdier. Kalkingen i vassdraget har medført en ytterligere økning i kalsiumkonsentrasjonen de senere år. Stasjonen ved Fjone hadde kalsiumkonsentrasjoner på nivå med Rore, men både pH-verdier og alkalitet var høyere. Figur 13 viser forholdet mellom pH og alkalitet ved de undersøkte stasjonene i 1993 og 1994.

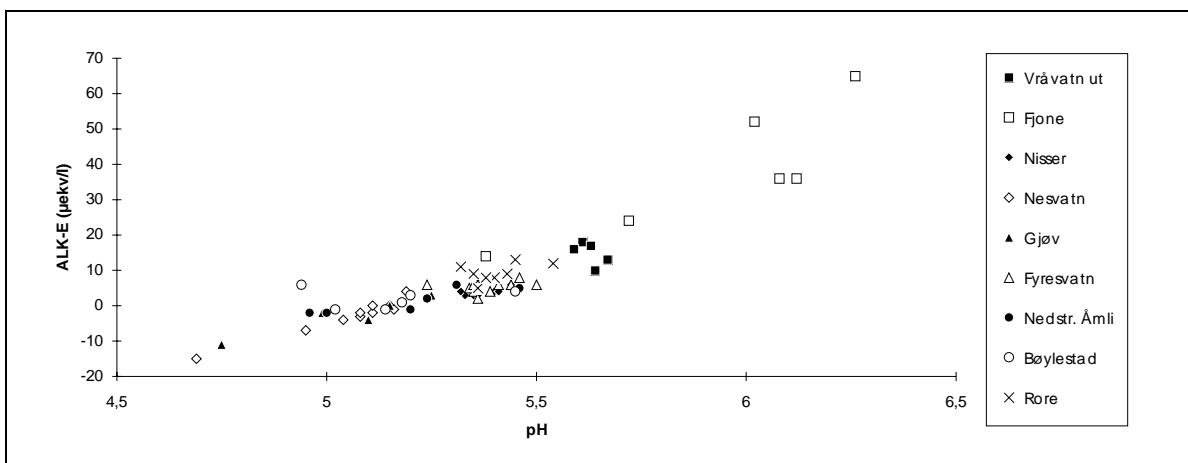
ANC er en annen parameter som gir tilnærmet alkaliteten i vann. ANC står for *acid neutralizing capacity* (syrenøytraliserende kapasitet) og er differansen mellom summen av basekationer og summen av sterke syrers anioner. Det er en klar sammenheng mellom vannets ANC-konsentrasjon og skader på fiskebestander, og parameteren brukes derfor i forbindelse med tålegrenser for forsuring i overflatevann (Henriksen *et al.* 1990). For innlandsfisk (ikke anadrome) anses en $\text{ANC} \geq 20 \mu\text{ekv/l}$ å sikre en naturlig reproduksjon (figur 14).



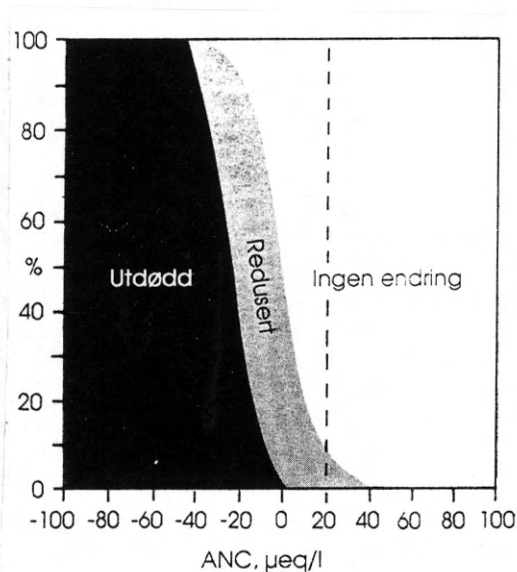
Figur 11. Eksempel på forsuringsprosess i en innsjø (Fra SFT 1987)



Figur 12. Sammenheng mellom alkalitet og kalsiumkonsentrasjoner ved stasjoner i Arendalsvassdraget i 1993 og 1994.



Figur 13. Sammenheng mellom pH og alkalitet ved stasjoner i Arendalsvassdraget i 1993 og 1994.

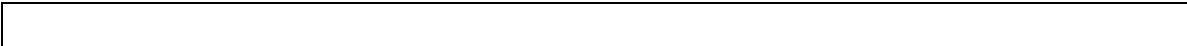


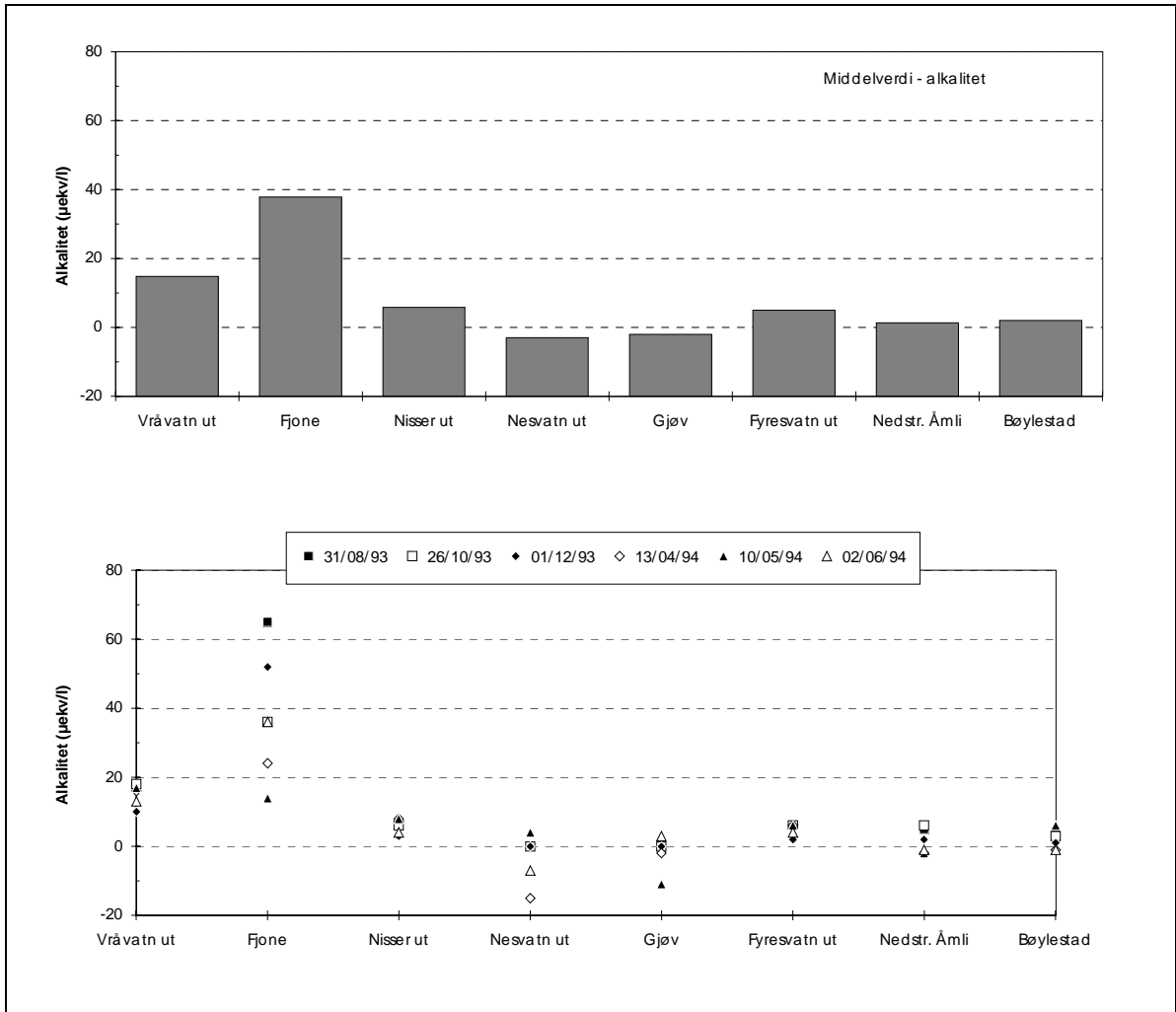
Figur 14. Sammenheng mellom ANC-konsentrasjon i vann og skader på fiskebestandene (NIVA 1991).

Øvre vassdragsavsnitt

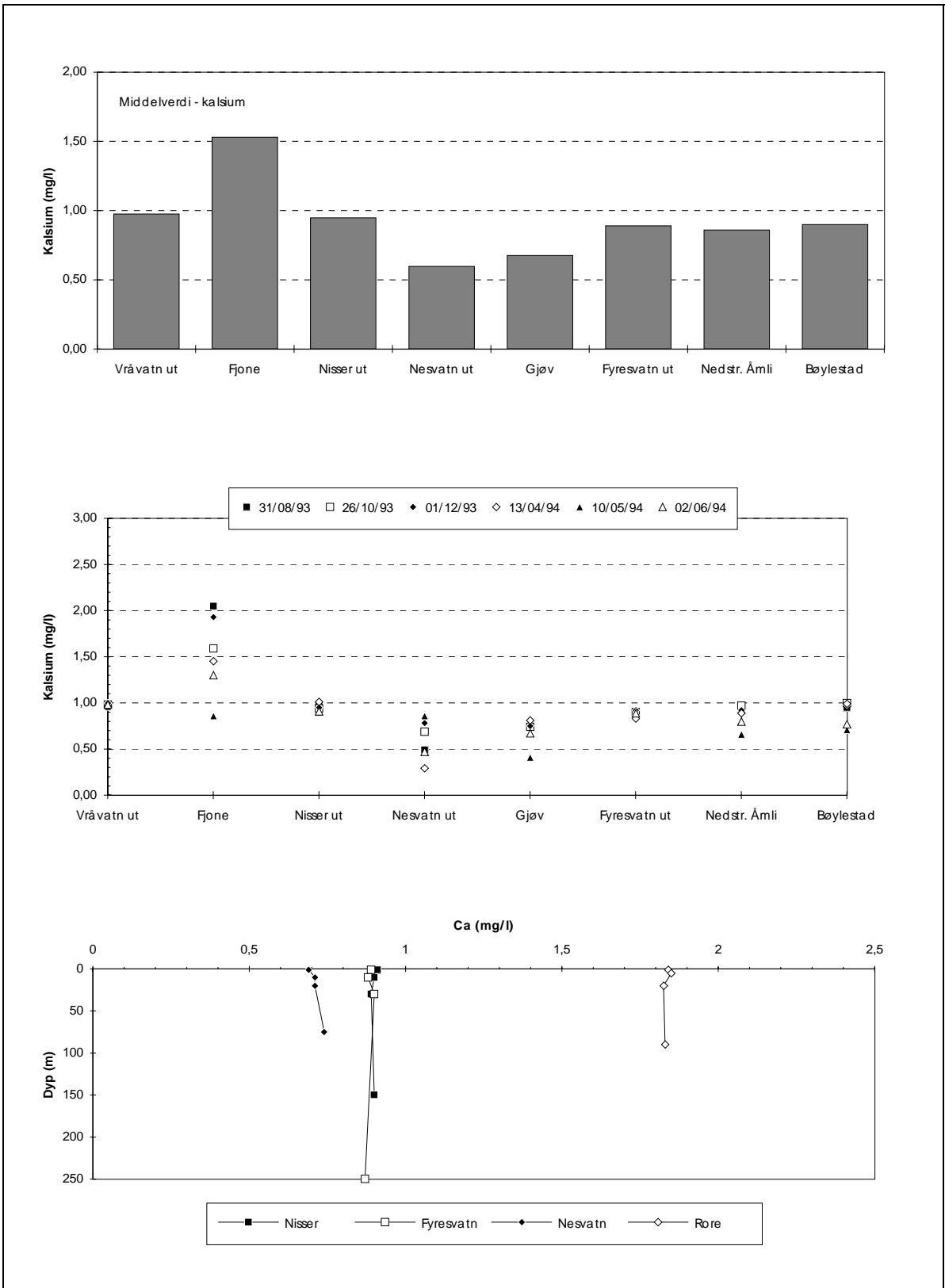
Prøvetakingsstasjonen i utløpet av Vråvatn er antatt å være representativ for de øvre delene av vassdraget, som mottar noe mindre sur nedbør enn de midtre og nedre delene. Resultatene viser at Vråvatn har noe bedre vannkvalitet enn de øvrige stasjonene i hovedvassdraget, selv om både alkalitets-, pH-, og aluminiumsverdiene indikerer en forsureffekt (figur 15, 17 og 19). Vråvatn var den stasjonen som hadde den mest stabile vannkvaliteten gjennom undersøkelsen. Alkaliteten lå mellom 10 og 20 $\mu\text{ekv/l}$ og kalsiumkonsentrasjonen lå like i underkant av 1 mg/l (figur 16). pH-verdiene lå stabilt mellom 5,6 og 5,7, mens ANC-verdien var 13 $\mu\text{ekv/l}$ i gjennomsnitt (figur 18).

Vannkvaliteten i Vråvatn representerer sannsynligvis ingen fare for fiskebestanden, selv om ANC-konsentrasjonen lå noe i underkant av tålegrenseverdiene for fisk (figur 14). Andre vannlevende organismer kan imidlertid få problemer ved pH-verdier under 6,0 (Økland 1983). Vråvatn hadde gjennomgående lavere aluminiumskonsentrasjoner enn de øvrige stasjonene i vassdraget. Det ble registrert middelkonsentrasjoner av reaktivt og labilt aluminium på henholdsvis 110 og 40 $\mu\text{g/l}$ ved stasjonen. I april 1994 var konsentrasjonen av labilt aluminium 70 $\mu\text{g/l}$ i utløpet av innsjøen, noe som ligger overkant av konsentrasjoner som er ansett som giftig for innlandsfisk. I områder som er påvirket av forsurening er det vanlig med sure episoder i utløpet av innsjøer om vinteren og særlig om våren. Dette har sammenheng med at sur avrenning fra nedbørfeltet legger seg like under isen i et kaldtvannslag som ikke blandes med de øvrige vannmassene i innsjøen. Utløpsvannet fra innsjøen blir derved surere enn hovedvannmassene. Om våren vil dessuten avsmelting av forurenset snø medføre et ytterligere syretilskudd til vassdragene. Målingene i utløpet av Vråvatn i mai og juni 1994 viser at konsentrasjonen av labilt aluminium er tilbake på samme nivå som høsten 1994 (35-40 $\mu\text{g/l}$).

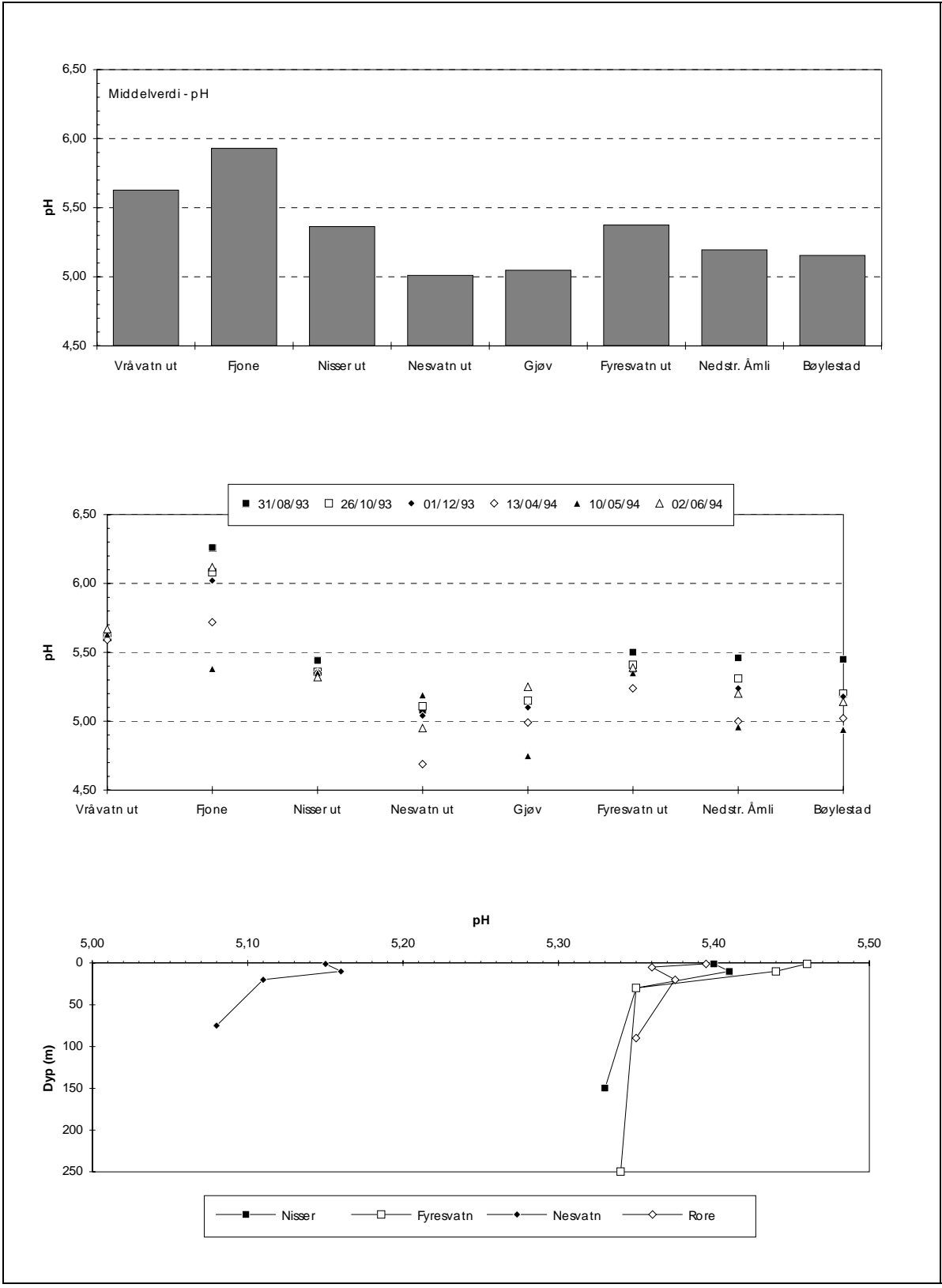




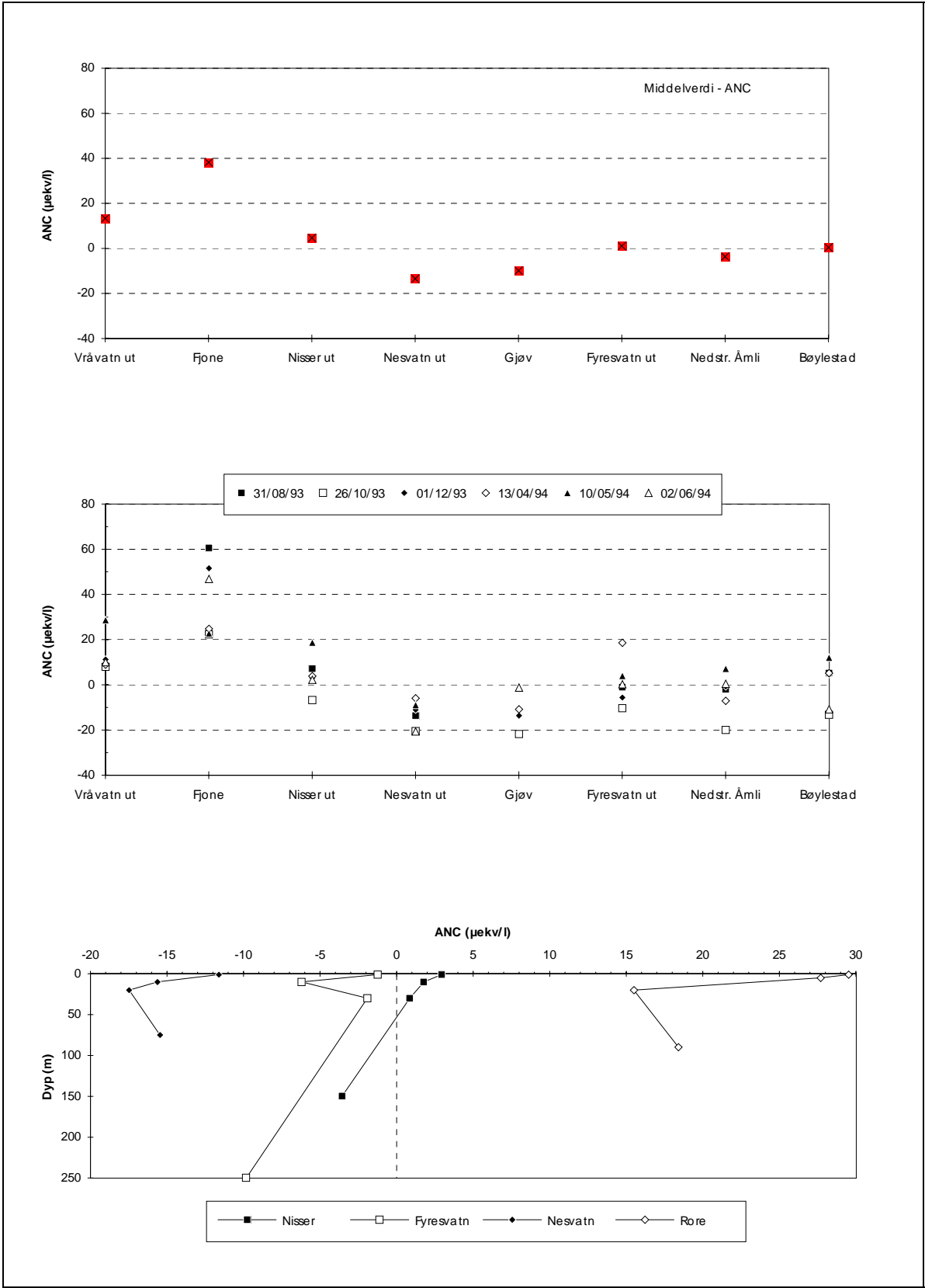
Figur 15. Alkalitet i Arendalsvassdraget 1993-1994.



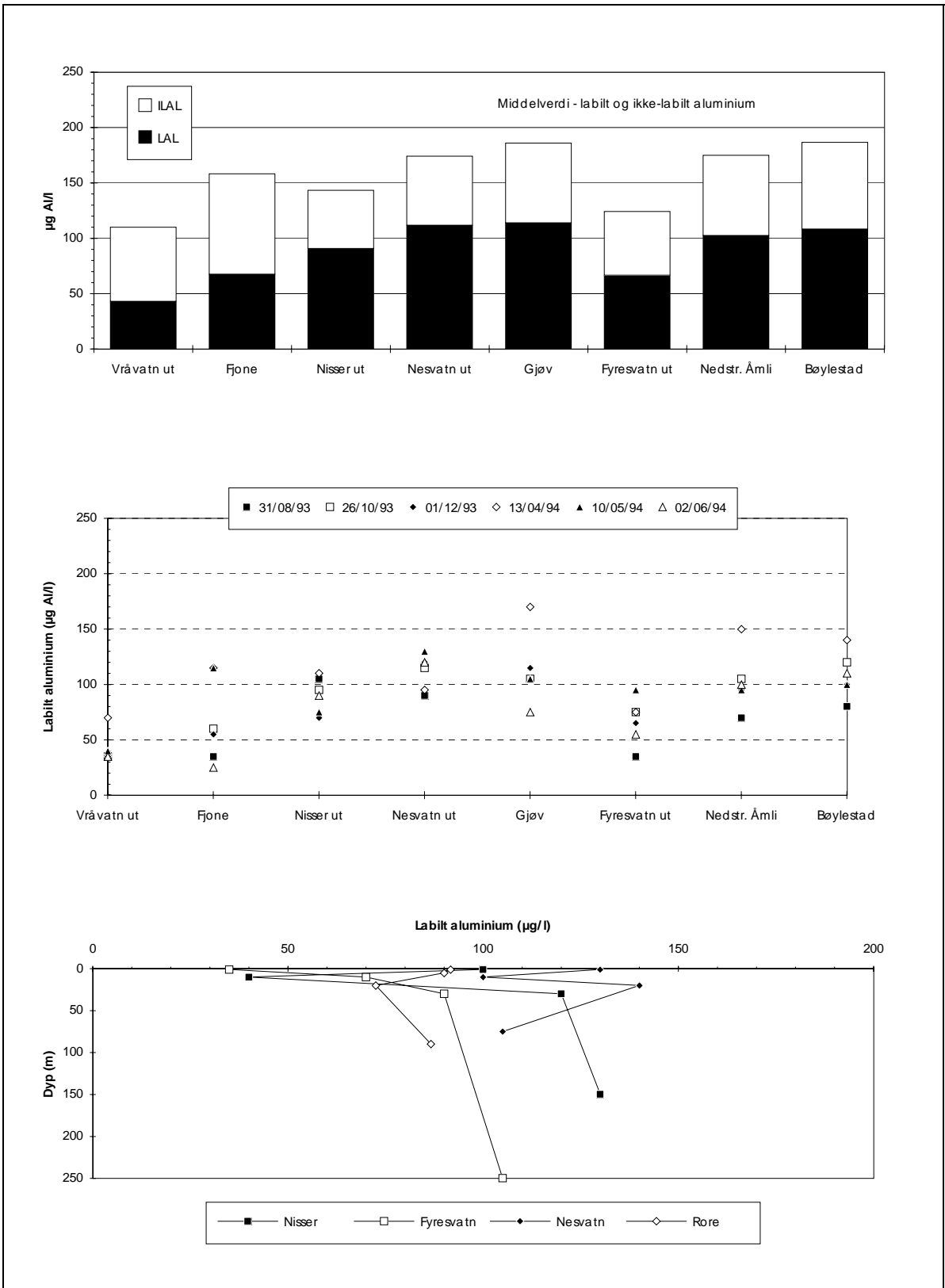
Figur 16. Kalsiumkonsentrasjoner i Arendalsvassdraget 1993-1994.



Figur 17. pH i Arendalsvassdraget 1993-1994.



Figur 18. ANC (syrenøytraliserende kapasitet) i Arendalsvassdraget 1993-1994.



Figur 19. Aluminiumkonsentrasjoner i Arendalsvassdraget 1993-1994.

Midtre vassdragsavsnitt

Blant de midtre vassdragsavsnitt regnes her innsjøene Nisser, Fyresvatn og Nesvatn med utløpselver. Nisser og Fyresvatn hadde omlag samme vannkvalitet i utløpet når det gjaldt pH (hhv. 5,36-5,38 i middel), alkalitet (6 og 5 $\mu\text{ekv/l}$) og kalsiumkonsentrasjon (0,95 og 0,89 mg/l). De lave alkalitets- og kalsiumverdiene viser at innsjøene har svært liten bufferevne mot forsurening. pH-verdiene ligger i underkant av nivåer som anses som skadelig for mange vannlevende organismer, deriblant sårbare livsstadier av ferskvannsfisk. På grunn av den lange teoretiske oppholdstiden for vannet i de to innsjøene (hhv. 8,8 og 7 år) er det ikke fare for at vannkvaliteten kan forverres dramatisk i løpet av kort tid, men en bør følge utviklingen framover.

Nisser hadde noe høyere middelkonsentrasjon av labilt aluminium, omlag 90 mot 70 $\mu\text{g/l}$ i Fyresvatn. Konsentrasjonen av giftig aluminium ligger med dette i overkant av nivåer som anses som giftig for fisk. Dette understrekes også av at den gjennomsnittlige ANC-verdien ligger såpass lavt som 1-5 $\mu\text{ekv/l}$. Når ANC-verdiene beveger seg under null, kan en i økende grad forvente reduserte og utdødde innlandsfiskebestander. Ved ANC-verdier over 20, er det liten sannsynlighet for skade på fiskebestandene (Henriksen *et al.* 1990).

Vannkvaliteten i Nisser og Fyresvatn varierte forholdsvis lite i løpet av undersøkelsen (figur 17). Kalsiumkonsentrasjonen og pH var mest stabil, mens ANC og aluminium varierte noe mer. Innsjøprøvene som ble tatt høsten 1993 viser relativt store vertikale variasjoner i aluminiumskonsentrasjon i innsjøene. Dette har sammenheng med at innsjøene er temperatur-sjiktet på denne tiden av året, og at varmere vann ligger som et lokk over kaldere vann med større tetthet. Biologisk produksjon i overflatelaget i vekstsesongen kan bidra til å forskyve bikarbonat-likevekten, slik at pH øker og den pH-avhengige aluminiumskonsentrasjonen avtar.

En sideelv som renner inn i Nisser ved Fjone hadde til tider betydelig bedre vannkvalitet enn hovedvassdraget. Gjennomsnittlig pH for undersøkelsesperioden var 5,93, mens alkalitets- og kalsiumverdiene var henholdsvis 38 $\mu\text{ekv/l}$ og 1,53 mg/l. Det ble registrert store variasjoner i vannkvalitet i løpet av året, og spesielt om våren (april-mai) ble det målt forholdsvis lav pH og alkalitet i dette sidevassdraget. Dette viser at kalkingen som foregår i deler av dette vassdraget ikke var tilstrekkelig til å avsyre alt det sure smeltevannet som rant i bekken om våren. På tross av forholdsvis høy gjennomsnittspH og alkalitet i bekken ved Fjone var konsentrasjonene av labilt aluminium i store deler av året høyere enn det som er akseptabelt for fisk. Kun ved målingene i august -93 og juni -94 ble det målt konsentrasjoner av labilt aluminium under 50 $\mu\text{g/l}$. De beregnede ANC-verdiene for vassdraget ved Fjone lå over 20 $\mu\text{ekv/l}$ ved alle målingene.

Nesvatn og Gjöv utgjør den tredje hovedgrenen i vassdraget (figur 1). Mens både Nisser og Fyresvatn har utspring i nordlige og mindre forsurede kildeområder, har Nesvatn et nedslagsfelt som i større grad er belastet av sur nedbør. Dette gjenspeiler seg i vannkvaliteten i innsjøen, som er betydelig surere enn både Nisser og Fyresvatn. I utløpet av innsjøen var det i undersøkelsesperioden en middel-pH på 5,01, mens alkalitets- og kalsium-verdiene lå på hhv. - 3 $\mu\text{ekv/l}$ og 0,6 mg/l. I utløpet av Gjöv var vannkvaliteten omlag den samme som i Nesvatn når det gjaldt alkalitet, kalsium og pH-verdier. I april- og juni-prøvene ble det målt pH-verdier under 5,0 og negative alkalitetsverdier i utløpet av

Nesvatn. Grunnen til at mai-prøven hadde en bedre vannkvalitet, skyldtes trolig at Nesvatn hadde vårfullsirkulasjon på denne tiden. Det ble kun målt negative ANC-verdier i Nesvatn, både i utløpet og på ulike dyp i innsjøen. Resultatene, spesielt fra vårparten, viser at Nesvatn og Gjøv er kraftig forsuret og at bufferkapasiteten i store deler av året er lik null.

Forsuringen av området omkring Nesvatn og Gjøv fører til relativt høye aluminiumskonsentrasjoner i avrenningsvannet. Middelkonsentrasjonen av labilt, giftig aluminium lå omkring 110-115 µg/l både i utløpet av Nesvatn og i Gjøv. De høyeste konsentrasjonene i Gjøv ble målt under vårflommen (170 µg/l labilt aluminium). Det sure vannet og den høye aluminiumskonsentrasjonen i Nesvatn/Gjøv medfører at vannet i perioder av året er svært giftig for fisk. De dypere vannlag i Nesvatn vil ha en mer stabil vannkvalitet over året, men også her var vannet så surt at sannsynligheten for skader på fisk var stor.

En rekke innsjøer i nedbørfeltet til Nesvatn ble kalket etter at denne overvåkningsundersøkelsen ble avsluttet. Vannkvaliteten i Nesvatn og Gjøv er følgelig betydelig bedre i dag enn resultatene som er presentert i denne rapporten tilsier (se avsn. 6.3).

Nedre vassdragsavsnitt

De nedre vassdragsavsnitt er i denne rapporten representert ved stasjonene Sigridsnes (nedstrøms Åmli), Bøylestad og innsjøen Rore. Resultater fra SFTs overvåkningsstasjon i Nidelva ved Rykene blir kort omtalt i avsnitt 4.4.

Forsuringssituasjonen ved de to stasjonene Sigridsnes og Bøylestad var forholdsvis lik i undersøkelsesperioden. I gjennomsnitt lå pH-verdiene på 5.15-5.20, alkaliteten og kalsiumkonsentrasjonene på hhv. 1-2 µekv/l og 0,85-0,9 mg/l ved de to stasjonene. Elva var med dette ytterligere forsuret i forhold til situasjonen i utløpet av Nisser og Fyresvatn. Surt vann fra Gjøv, samt andre sure sidevassdrag i de midtre delene er årsaken til dette. Det sureste vannet ble, som ventet, registrert i forbindelse med snøsmelting og vårflom i april og mai. De laveste målte pH-verdiene ved Sigridsnes og Bøylestad i denne perioden var omkring 4,95. På begge stasjoner ble det målt svært liten bufferkapasitet i høstprøvene, og nær sagt ingen bufferkapasitet i vårprøvene. Dette gir seg utslag i at pH i hovedvassdraget vil kunne endres raskt i perioder med mye surt vann fra sidevassdragene. Middelkonsentrasjonene av labilt, giftig aluminium lå i området 100-110 µg/l både ved Sigridsnes og Bøylestad. Variasjonsbredden var mellom 70 og 150 µg/l ved de to stasjonene. Alle målingene ligger over de nivåer som kan være skadelige for fisk. ANC-verdiene lå rundt null i gjennomsnitt ved begge stasjoner.

Vannkvaliteten i innsjøen Rore er positivt påvirket av kalkingsvirksomheten i nedslagsfeltet (Kaste og Kroglund 1995). pH-verdiene i Rore har vært på vei opp hele tiden siden kalkingen ble igangsatt for alvor i 1991. Våren 1994 lå pH-verdien i hovedvannmassene på omkring 5,5. Før kalking lå pH-verdiene i Rore stabilt på verdier omkring 4,7 (Sevaldrud og Skogheim 1985, Hindar og Lindstrøm 1989). Alkaliteten i Rore var lav (~10 µekv/l) i forhold til kalsiumkonsentrasjonen i innsjøen (1,7-1,9 mg/l) (figur 12). Dette skyldes at omlag 35% av innsjøens nedbørfelt fortsatt er ukalket, og at surt vann herfra tærer på bufferkapasiteten i innsjøen.

Konsentrasjonen av reaktivt aluminium i Rore har avtatt fra omkring 400 µg/l før kalking (Sevaldrud og Skogheim 1985, Hindar og Lindstrøm 1989) til gjennomsnittlig 160-180 µ

g/l i 1993/94. Årsaken er at aluminium felles ut ved kalking høyere oppe i vassdraget og i mindre grad enn før når fram til Rore. Ytterligere utfelling skjer trolig i Rore. Konsentrasjonen av labilt aluminium i 1993/94 varierte mellom 50-140 µg/l og var 85 µg/l i gjennomsnitt. Innholdet av giftig aluminium var dermed fortsatt noe høyere i 1994 enn det som kan sies å være akseptabelt for fisk. Vannkvaliteten i innsjøen er nå trolig i likevekt med vannkvaliteten i avrenningsvannet fra de kalkede områdene. En kan derfor ikke forvente ytterligere reduksjoner av aluminiumskonsentrasjonene ved dagens kalkingsinnsats. I Kiland/Bjørkos-vassdraget, som er ett av de to kalkede hovedtilløpene, har vannkvaliteten hittil vært svært variabel (Kaste og Kroglund 1995). For å rette på dette, er det nå planlagt økning av kalkingsinnsatsen, som kan ha en ytterligere positiv effekt på innsjøen Rore.

Rorevassdraget har siden kalkingsaktiviteten kom i gang for alvor i 1991, endret status fra å være et av de sureste tilløpene til Nidelva, til å bli et positivt vannkvalitetstilskudd for hovedvassdraget. Dette medfører at faren for giftige blandsoner i forbindelse med innblanding av surt, aluminiumsrikt Rorevann i Nidelva er redusert (Rosseland og Hindar 1991, Rosseland et al. 1992).

4.4. Resultater fra tidligere undersøkelser

Forsuringssituasjonen i Nisser og Fyresvatn 1982-1994.

Innsjøene Nisser og Fyresvatn er store, dype innsjøer med lang teoretisk oppholdstid (hhv. 8,8 og 7 år). Dette medfører at vannkvaliteten endres langsomt over tid, og responshastigheten vil være tilsvarende forsinket i forhold til vannkvalitetsendringer i innløpselvene. Vannkvaliteten i Nisser og Fyresvatn ble undersøkt med hensyn til forsuringsvirkninger i 1982 (Johannessen 1984). I tabell 3 er middelverdier fra denne undersøkelsen sammenlignet med utvalgte parametre fra de nye målingene i 1993/94.

Siden 1982 har pH endret seg forholdsvis lite i innsjøenes hovedvannmasser. Det er en tendens til lavere kalsiumkonsentrasjon, men det dreier seg om små forskjeller. Den viktigste endringen siden 1982 er at aluminiumskonsentrasjonen har økt i begge innsjøer. I prøvene som ble tatt høsten 1993 var reaktivt aluminium i Nisser og Fyresvatn hhv. ca. 50 og 100% høyere enn i 1982. Prøvene fra utløpene i 1993/94 understreker også at det har funnet sted en økning i aluminiumskonsentrasjonene. Denne utviklingen medfører at fiskebestandene i de to innsjøene har vanskeligere livsbetingelser i dag enn for 10 år siden.

Vannkvalitetsutvikling i midtre del av vassdraget 1985-1994.

I sidevassdraget Gjøv, samt ved Sigridsnes og Bøylestad i hovedvassdraget, ble det målt omlag samme middel-pH i 1993/94 som i 1985/86 (Hindar og Lindstrøm 1989) (tabell 4). Det kan riktignok registreres en liten økning på omkring 0,1 pH-enheter, men dette ligger innenfor variasjonsintervaller som forekommer naturlig fra år til år. Konsentrasjonene av total nitrogen var omlag på samme nivå i 1993/94 som i 1985/86. Avviket i middelverdiene mellom de to undersøkelsene ligger innenfor de variasjoner en kan forvente fra år til år.

Tabell 3. Nisser og Fyresvatn. Sammenligning av vannkvalitetsdata fra 1982 (Johannessen 1984) og 1993/94. Data er framstilt som middelverdier for de ulike dyp i de respektive undersøkelsesperiodene.

Parameter	Nisser		Fyresvatn	
	1982	1993/94	1982	1993/94
pH	5,35	5,37	5,46	5,40
Ca	1,04	0,90	0,96	0,89
NO₃	210	211	150	191
Al*	105	151	60	125

* 1982-undersøkelsen: total aluminium, 1993/94-undersøkelsen: reaktivt aluminium.

Tabell 4. Midtre vassdragsasnitt. Sammenligning av vannkvalitetsdata fra 1985/86 (Hindar og Lindstrøm 1989) og 1993/94. Data er framstilt som middelverdier i de respektive undersøkelsesperiodene.

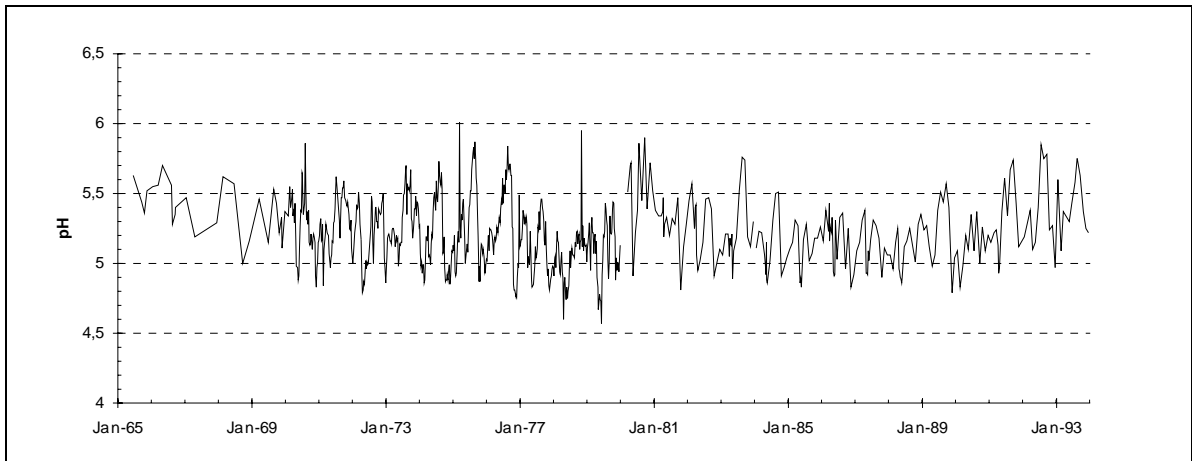
Parameter	Gjøv		Sigridsnes		Bøylestad	
	1985/86	1993/94	1985/86	1993/94	1985/86	1993/94
pH	4,96	5,05	5,04	5,20	5,06	5,16
Tot-N	251	267	272	298	293	305
NO₃	100	163	140	193	150	193

SFTs overvåkingsstasjon i Nidelva ved Rykene.

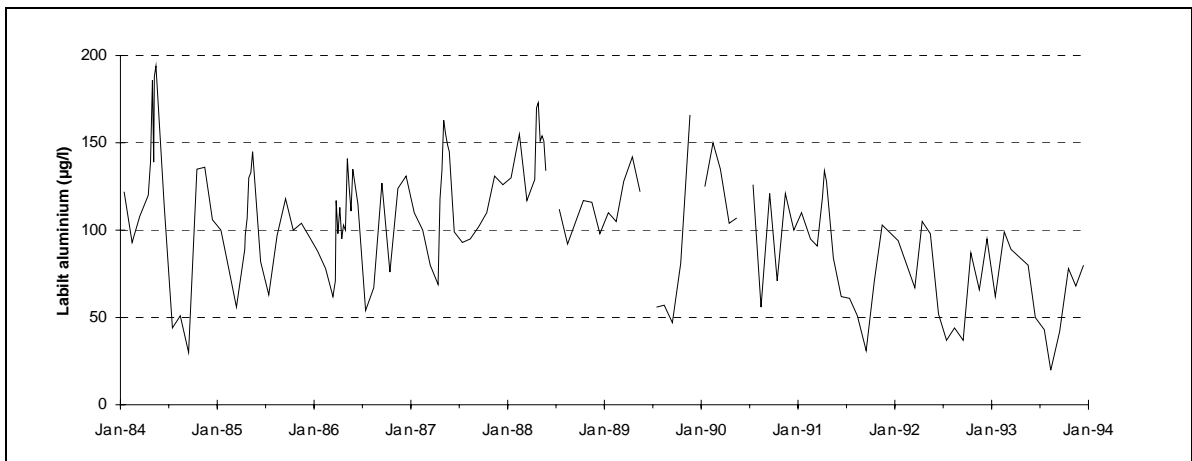
pH-verdien i Nidelva ved Rykene er overvåket siden 1965, og det ble etablert et bredt analyseprogram ved starten av Statlig program for forurensningsovervåking i 1980.

Figur 20 viser at det er store svingninger i pH-verdien i løpet av året og fra år til år. Dette illustrerer at bufferkapasiteten i vassdraget er forholdsvis lav og at surt vann fra sidevassdragene kan påvirke vannkvaliteten i hovedelva betydelig i flomperioder. De laveste verdiene ble målt rundt 1980-tallet, mens det har vært tegn til bedring de siste 2-3 årene. Kalkingen i Rorevassdraget kan være medvirkende til noe av pH-økningen ved Rykene, men det er registrert vannkvalitetsforbedringer også i andre sørnorske vassdrag i samme tidsrom (SFT 1993). Også konsentrasjonen av labilt aluminium har vist tegn på avtak den siste tiden (figur 21).

Vannkvalitetsundersøkelsen i Nidelva i 1985/86 (Hindar og Lindstrøm 1989) viste at pH-verdiene ved Rykene systematisk var 0,1-0,4 pH-enheter høyere enn ved Bøylestad. Dataene fra overvåkningen i 1993/94 kan ikke sammenlignes på samme måte, i og med at prøvene ved Bøylestad og Rykene er tatt på ulike datoer. Etter at store deler av Rorevassdraget er blitt kalket, kan imidlertid forskjellene i dag være enda større enn i 1985/86.



Figur 20. pH i Arendalsvassdraget ved Rykene 1965-1993.



Figur 21. Konsentrasjon av labilt aluminium i Arendalsvassdraget ved Rykene 1984-1993.

4.5. Forventede effekter av vassdragsreguleringer

Oppmagasineringsen av vann, spesielt i den øvre delen av vassdraget, medvirker til at vannføringsmønsteret i Nidelva er vesentlig endret over året. Reguleringene fører til høy vintervannføring og lav sommervannføring (figur 4). Vårflommen ut av Nisser, Fyresvatn og Gjöv uteblir nesten i sin helhet (figur 5).

På grunn av at vannkvaliteten i den øvre delen av vassdraget er noe bedre enn i den nedre, er det gunstig med størst mulig vannføring ut av Nisser og Fyresvatn. I perioder med liten vannføring ut av disse innsjøene vil surt vann fra sidevassdragene kunne dominere vannkvaliteten og gi giftig vann for fisk i de midtre og nedre delene av Nidelva. Dette gir størst utslag under snøsmelting og flom om våren, samt i perioder på høsten med store nedbørmengder. I Nisser vil tidspunktet for tapping fra Napevatn-magasinet (surt) og Vråvatn-grenen (noe mindre surt) kunne ha betydning for vannkvaliteten i overflatelaget

av innsjøen. Det er imidlertid ikke samlet inn grunnlagsdata i denne undersøkelsen som dokumenterer slike effekter.

I tillegg til regulerings indirekte påvirkninger på vannkvaliteten vil strekningene med redusert vannføring (eller ingen vannføring) kunne være et vandringshinder for fisk.

5. TÅLEGRENSENER FOR FORSURING

Naturens tålegrenser brukes som uttrykk for hva naturen kan tåle av forurensninger uten å bli vesentlig skadet eller endret. Tålegrenser for forsurening av overflatevann er basert på vannkvalitetskrav hos ferskvannsfisk og ANC som parameter på kritisk kjemisk verdi. Metodene for beregning av tålegrenser og tålegrenseoverskridelser for overflatevann er beskrevet i Henriksen *et al.* (1990). Metoden for tilknytning til vassdragsregisteret REGINE og beregning av kalkbehov er beskrevet i Hindar og Henriksen (1995).

I Arendalsvassdraget er det beregnet tålegrenser for i alt 9 vassdragsavsnitt i varierende størrelse fra 200 til 1100 km². Beregningene er basert på vannkvalitetsdata fra 56 innsjøer som ble undersøkt i forbindelse med en stor landsomfattende undersøkelse i 1986 (SFT 1987). Innsjøene fordelte seg med et antall på mellom 3 og 16 i hvert vassdragsavsnitt (vedlegg B). Tålegrensen for hvert vassdragsavsnitt er beregnet som middelverdien av innsjøene som ligger innenfor det aktuelle området. I vassdragsavsnitt som hadde stor variasjon i vannkvalitet, ble tålegrensene vektet i forhold til areal. Dette ble gjort i nedslagsfeltet til Fyresvatn (019.DZ), som har bedre vannkvalitet i de øvre delene, og i Rorevassdraget, som har en sidegren med bedre vannkvalitet (Urånassvassdraget).

Den vannkjemiske tålegrensen er basert på en metode som beregner situasjonen ved en gitt deponisjon av svovel og nitrogen. Dette er en såkalt statisk beregningsmetode som ikke sier noe om når den forventede vannkvalitetsforbedringen vil kunne finne sted. Tidspunktet for dette er avhengig av hvor lang tid det terrestre systemet trenger for å øke basemetningen og opprette ny likevekt etter endringer i belastningen av sur nedbør. Det finnes egne dynamiske modeller som kan gi prognoser for hvor raskt de terrestre systemene vil respondere på den gitte reduksjonen i syrebelastning. En av disse modellene er MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments), som kombinerer prosesser i jord for å simulere kjemien i jordvann og overflatevann (Reuss 1987, Wright *et al.* 1993).

Tabell 5 og figurene 22 og 23 viser de beregnede tålegrensene for de ulike vassdragsavsnitt, samt forventede tålegrenseoverskridelser i 1985, 1990 og 2010. Beregningene av tålegrenseoverskridelser er basert på internasjonale utslippsreduksjoner av forsurende elementer som er avtalefestet fram mot 2010.

Tålegrensene for forsurening er lave i hele Arendalsvassdraget. I de øvre og midtre delene er tålegrensen fra 0 til 25 kekv/km²/år (opp mot 0,4 g svovel/m²/år). I 1992 ble det målt svoveldeposisjoner på 0,3 og 0,56 g S/m²/år på stasjoner som kan være representative for områdene, hhv. i den øvre og midtre delen av Arendalsvassdraget (tabell 2). Med disse svoveldeposisjons-nivåene er det klart at tålegrensene overskrides i disse områdene.

Tabell 5. Tålegrenser og overskridelser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget. Beregningene inkluderer nitrogen som forsurende element. Se tekst for beregningsmetode.

Regime-enhet	Tålegrense <i>mekv/m²/år</i>	Overskridelse	Overskridelse	Overskridelse
		1985 <i>mekv/m²/år</i>	1990 <i>mekv/m²/år</i>	2010 <i>mekv/m²/år</i>
AZ*	30	80	55	15
BO	40	61	40	0
CO	16	75	60	23
CZ	16	51	42	15
DO	16	66	48	17
DZ*	20	43	31	6
EO	13	68	50	18
FO	10	54	43	18
HO/JO	18	32	24	2

* arealveid middel (i de øvrige feltene er det benyttet vanlig middelveid).

Vassdragsavsnitt nærmest kysten (019.AZ og 019.BO) har tålegrenser som ligger noe høyere, mellom 25 og 50 kekv/km²/år (0,4 - 0,8 g S/m²/år). Til sammenligning var svoveldeposisjonen i 1992 ved det nærliggende Birkenes-feltet 0,99 g S/m²/år. Årsaken til den relativt høye tålegrensen i Rorevassdraget (019.AZ) er trolig effekter av kalkforekomster i en av sidegrenene (Urånassdraget). Den andre hovedgrenen i vassdraget ligger i et område med harde, kalkfattige bergarter og har betydelig lavere tålegrense for forsuring.

Tålegrensen for delfelt 019.BO er forholdsvis usikker pga. sparsomme bakgrunnsdata. De tre innsjøene som er med i beregningsgrunnlaget kan dessuten være påvirket av menneskelig aktivitet (landbruk, bebyggelse) som vil gi et positivt bidrag til alkaliteten. Tålegrensen i delfelt 019.BO forventes derfor å være overestimert. Det foreligger ingen bakgrunnsdata fra delfelt 019.AO, som ligger nærmest kysten. Feltet ligger delvis under marin grense, og det er derfor å forvente at tålegrensen her er høyere enn ellers i vassdraget.

Dersom en tar utgangspunkt i nedfallet av sur nedbør omkring 1985 var tålegrensene overskredet i hele Arendalsvassdraget. De største overskridelsene finner en i de midtre og nedre delene av vassdraget. I Rorevassdraget tilsvarer den beregnede overskridelsen 80 kekv/km²/år, dvs. nær 1,3 g S/m²/år. De laveste overskridelsene finner en i nedbørfeltet til Vråvatn (019.G m.fl.) med 32 kekv/km²/år (0,5 g S/m²/år).

Med 1990 som utgangspunkt er tålegrenseoverskridelsene store i de midtre og nedre delene av vassdraget. De største overskridelsene finner en fortsatt i Rorevassdraget (019.AZ) og i de midtre delene av vassdraget (019.EO, 019.CO). I nedbørfeltene til Vråvatn og Fyresvatn er overskridelsene nede i under 0,4 g S/m²/år. I det store Fyresvatn-feltet (019.DZ) vil overskridelsene i den øvre delen være lavere enn middelveidene for hele delfeltet. Dette skyldes at nedbørfeltet oppstrøms Fyresvatn har noe gunstigere geologi og mindre sur nedbør enn områdene på høyde med innsjøen og nedstrøms.

Ved gjennomføring av avtalte utslippsreduksjoner innen 2010 vil bildet se noe anderledes ut: Dersom en tar med forsuringsbidraget fra nitrogen og antar at nitrogenavsetningen ikke endres i forhold til dagens nivå, vil overskridelsene være ned mot null både i nedslagsfeltet til Vråvatn og i områdene oppstrøms Fyresvatn. I de midtre og nedre delene av vassdraget vil overskridelsene ligge mellom 15 og 25 kekv/km²/år, dvs. mellom 0,2 og 0,4 g S/m²/år.

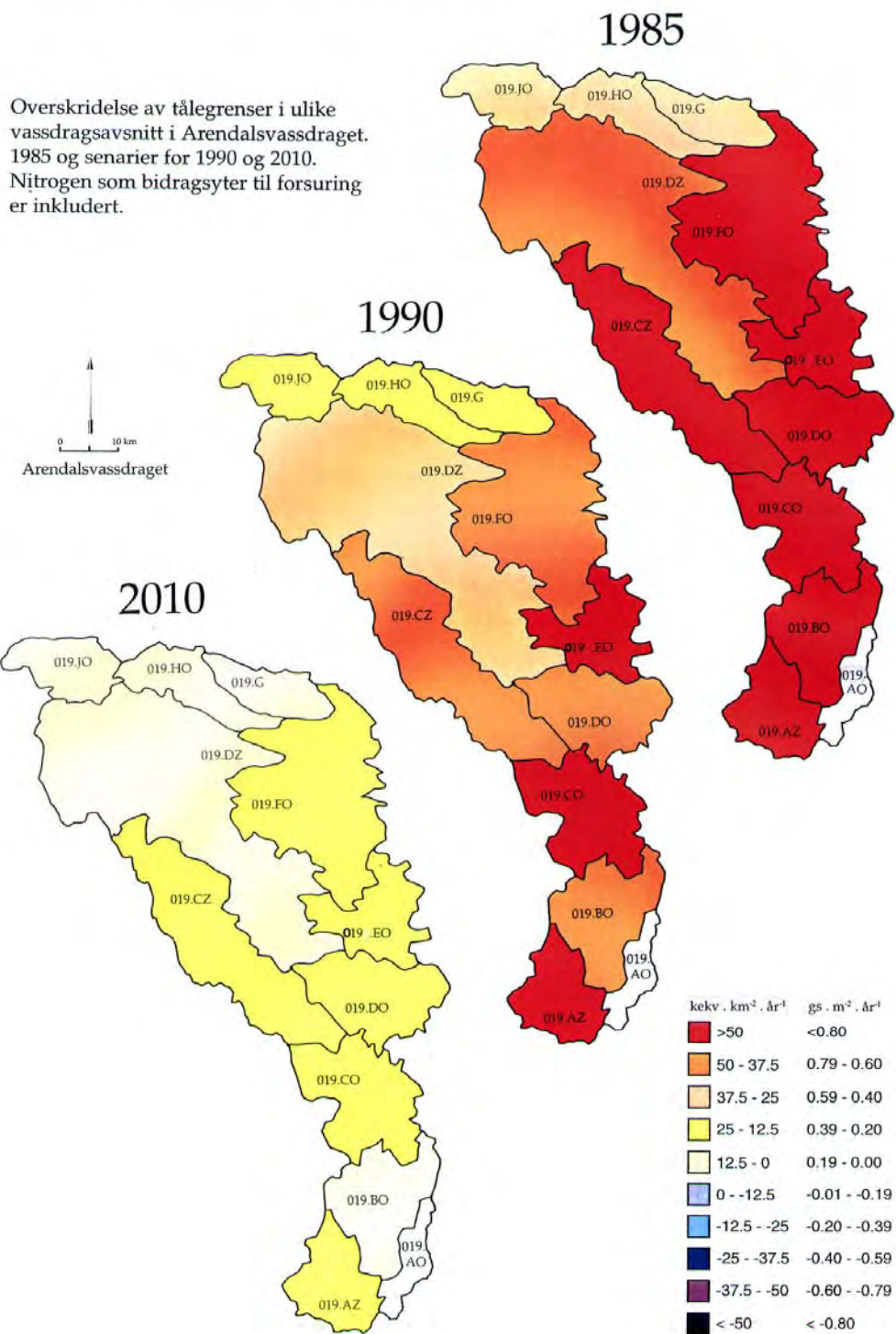
Scenariene ovenfor er som tidligere nevnt beregnet ut fra en gitt svoveldeposisjon i framtiden, samt dagens nitrogendeposisjon. Utviklingen mhp. nitrogenutslippene framover er foreløpig usikker, og i naturen vil det ta en viss tid før de forventede vannkvalitetsforbedringene på grunn av reduserte svovelutslipp kan registreres. Tidsaspektet er avhengig av hvor raskt det oppnås ny likevekt i de terrestre miljøene. På grunn av at jordsmonnet må bygge opp bufferkapasiteten er forvittringshastigheten av avgjørende betydning. Denne kan variere fra område til område, avhengig av løsmasser og geologiske forhold.

Fargeplansjer på de to følgende sidene:

Figur 22 Tålegrenser og overskridelser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget.

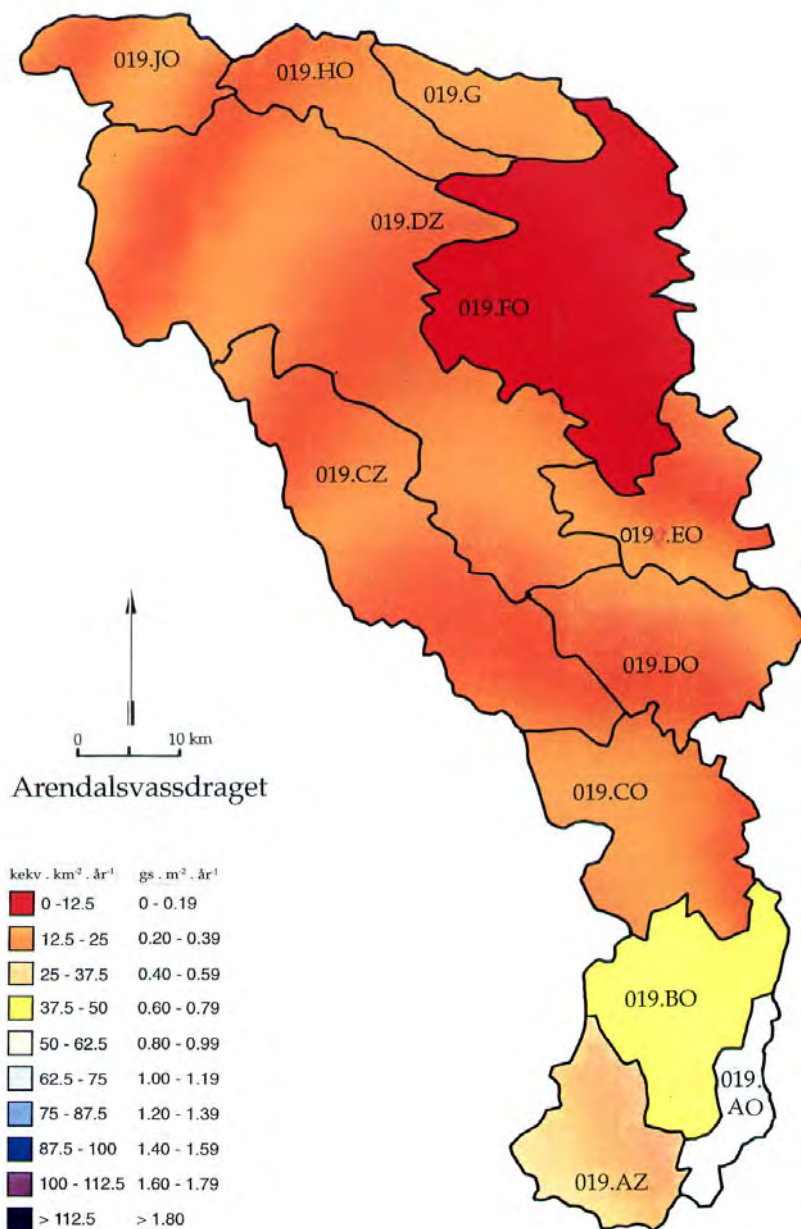
Figur 23 Tålegrensoverskridelser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget. 1985 og scenarier for 1990 og 2010. Nitrogen som bidragsyter til forsurening er inkludert.

Overskridelse av tålegrenser



Figur 22 Tålegrenser og overskridelser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget.

Tålegrenser



Tålegrenser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget.

Figur 23 Tålegrensoverskridelser i ulike vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget. 1985 og scenarier for 1990 og 2010. Nitrogen som bidragsyter til forsuring er inkludert.

6. KALKINGSSTRATEGI BASERT PÅ NATURENS TÅLEGRENSE

6.1. Dagens kalkingsinnsats i Arendalsvassdraget

I 1994 ble det i alt spredt kalk tilsvarende 2800 tonn CaCO_3 i Arendalsvassdraget. Dersom en regner et CaCO_3 -innhold i kalken på 85% blir dette omlag 3300 tonn kalk. I tabell 6 er kalkforbruket i Arendalsvassdraget fordelt på de ulike vassdragsavsnitt det er utarbeidet tålegrenser for. De enkelte kalkingslokalitetene er gitt i vedlegg C, med opplysninger om gjennomsnittlig årlig kalkforbruk pr. 1994.

Rorevassdraget (019.AZ) er best dekket med kalking, ved at omlag 65% av nedbørfeltet er kalket (Kaste og Kroglund 1995). I de øvre delene av Arendalsvassdraget er kalkingsinnsatsen i senere tid intensivert i områdene oppstrøms Nesvatn (019.CZ). Det ble i 1994 i alt spredt nesten 900 tonn kalk i dette området (750 tonn CaCO_3). Tilsiget til Nisser og Fyresvatn er bare i liten grad kalket. I 1994 ble det spredt kalk tilsvarende rundt 300-350 tonn CaCO_3 i begge nedslagsfeltene. Disse kalkmengdene vil ikke ha nevneverdig effekt på vannkvaliteten i de to innsjøene. Det er forholdsvis stor kalkingsaktivitet i delfeltet 019.EO, som ligger like sør for Nisser og omfatter bl.a. deler av Gautefallområdet. I 1994 ble det spredt kalk tilsvarende 425 tonn CaCO_3 i dette delfeltet.

6.2. Kalkbehov basert på naturens tålegrenser

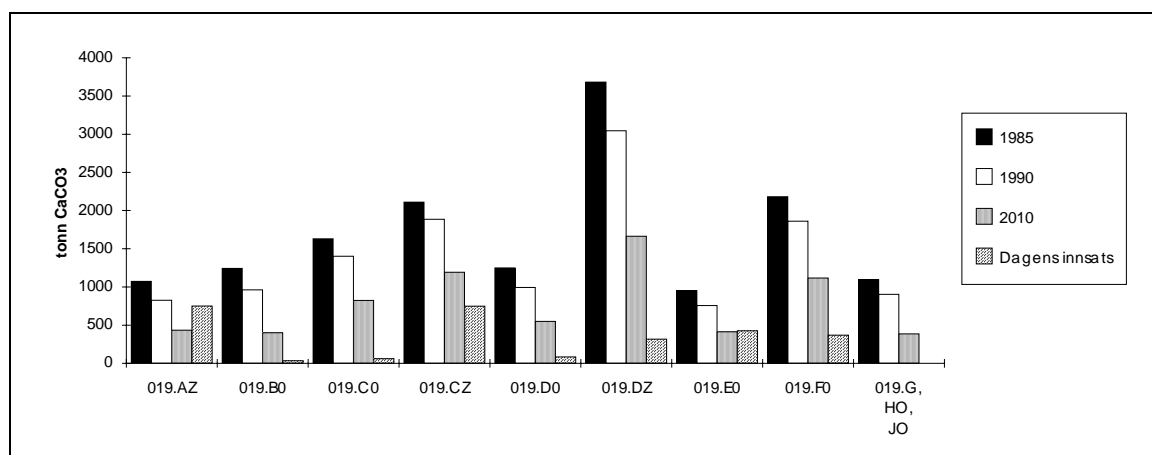
På bakgrunn av de tålegrenseoverskridelser som er beregnet i kapittel 5, kan det beregnes kalkbehov for de enkelte delfeltene i vassdraget. I tillegg til å avsyre tålegrenseoverskridelsen er det beregnet et ytterligere kalkbehov for å gi vannet en viss alkalitet (30 $\mu\text{ekv/l}$). I tabell 6 er forventet kalkbehov i hvert delfelt sammenlignet med den kalkingsinnsatsen som finner sted i dag. Det er antatt at tålegrenseoverskridelsen for 1985 gir det mest realistiske kalkbehovet i dagens situasjon.

Basert på tålegrenseoverskridelsen i 1985 er det totale kalkbehovet i Arendalsvassdraget beregnet til drøyt 15.000 tonn CaCO_3 . Dette er noe i overkant av kalkmengdene som ble foreslått av Hindar (1989), men et alkalitetsmål på 30 $\mu\text{ekv/l}$ er sannsynligvis noe over det som ble brukt som beregningsgrunnlag i kalkingsplanen fra 1989. Dessuten er beregningsgrunnlaget for naturens tålegrenser i Arendalsvassdraget noe begrenset pga. at det er relativt få referanseinnsjøer i enkelte av delnedbørfeltene. Det totale kalkbehovet vil etter beregningene reduseres til omlag 12.500 tonn CaCO_3 i 1990 og 7.000 tonn i 2010. Dagens kalkingsinnsats i vassdraget er til sammenligning totalt på 2800 tonn CaCO_3 .

Figur 24 viser kalkbehovet i de enkelte delfeltene basert på tålegrenseoverskridelsene i 1985, 1990 og 2010. Dagens kalkingsinnsats er også inntegnet i figuren. Det er kun i Rorevassdraget (019.AZ) hvor kalkingsinnsatsen ligger nær kalkbehovet for vassdraget. Kalkforbruket i Rorevassdraget lå i 1994 på nivå med det beregnede behovet i 1990-scenariet. I Gjøv (019.CZ) tilsvarer dagens kalkingsinnsats omlag 36% av behovet i 1985-situasjonen. I Nesvatn vil denne prosenten være høyere, i og med at en større del av nedbørfeltet er dekket av kalking. I områdene rundt Nisser (019.FO m.fl.) og Fyresvatn (019.DZ) er dagens kalkingsinnsats liten i forhold til det stipulerte behovet i 1985, 1990 og 2010.

Tabell 6. Prognose for framtidig CaCO_3 -behov i Arendalsvassdraget basert på naturens tålegrenser sammelignet med dagens kalkinnsats. Alle tall oppgitt i tonn pr. år.

	CaCO ₃ - behov basert på naturens tålegrense			CaCO ₃ - forbruk
	1985	1990	2010	1994
019.AZ	1073	826	434	750
019.B0	1243	961	401	34
019.C0	1632	1402	824	60
019.CZ	2110	1886	1192	750
019.D0	1249	994	549	84
019.DZ	3683	3045	1665	316
019.E0	953	756	413	425
019.F0	2183	1861	1117	369
019.G, HO, JO	1096	904	386	
SUM	15222	12635	6981	2788



Figur 24. Prognose for framtidig CaCO_3 -behov i ulike delfelter av Arendalsvassdraget basert på naturens tålegrenser. Dagens CaCO_3 -forbruk i vassdraget er inntegnet.

6.3. Forventet effekt av dagens kalkingsinnsats

I dette avsnittet er det foretatt noen enkle regneeksempler som kan gi en pekepinn på effekten av dagens kalkingsinnsats i vassdraget. Beregningene er basert på en forenkling av de faktiske forhold, og de antakelser som er foretatt medfører at resultatene må brukes med varsomhet.

På bakgrunn av opplysninger om kalkforbruk og avrenningsforhold kan en finne gjennomsnittlig CaCO_3 -dose i ulike deler av vassdraget (tabell 7). I alle beregninger som følger er det antatt at 70% av benyttet mengde CaCO_3 løses i vann. Når en kjenner kalkdosen i ulike deler av vassdraget kan en beregne forventet pH-økning i vannet ved hjelp av titreringskurver. Disse kan en trekke opp etter å ha titrert en vannprøve fra vassdraget med en karbonatholdig løsning og samtidig avlest pH. I beregningene nedenfor er det benyttet en titreringskurve fra den nedre delen av Tovdalsvassdraget (Boenfossen), ved at en antar

at vannkvaliteten her kan sammenlignes med Arendalsvassdraget. Titreringskurven er parallellforskjøvet i forhold til forventet pH-verdi uten kalking i de ulike vassdragsavsnittene (figur 25).

Basert på dagens kalkingsinnsats oppstrøms Nesvatn kan en forvente en pH-økning i innsjøen fra omlag 5,0 til omlag 6,0 (tabell 7). Kalkingen oppstrøms Nesvatn kom igang etter at denne undersøkelsen ble avsluttet. Resultatene av kalkingen synliggjøres derfor ikke i denne rapporten. Dersom en oppnår et nivå på omkring pH 6,0, er dette fullt tilfredsstillende vannkvalitet for innlandsfisk. Ved utløpet av Gjøv vil effektene av kalkingen oppstrøms Nesvatn være mindre: Den gjennomsnittlige pH-verdien i denne situasjonen vil kunne øke fra et nivå på omkring 5,0 til omkring 5,5 (tabell 7). Årsaken til dette er at surt avrenningsvann fra et betydelig restfelt nedstrøms Nesvatn (~ 280 km²) bidrar til å presse pH nedover i forhold til vannkvaliteten i utløpet av Nesvatn.

Dagens kalkingsinnsats omkring Nisser har ingen nevneverdig innvirkning på vannkvaliteten i innsjøen. Den gjennomsnittlige pH-verdien i innsjøen vil maksimalt kunne stige med omlag 0,1 pH-enhet, fra 5,3 til omlag 5,4 (tabell 7). Dersom en velger å kalke Napevatn, kan effekten bli noe større. Napevatn bidrar ved dagens regulering med opptil 20% av tilsiget til Nisser (tabell 7). Ved å anta at kalkbehovet i Napevatn-magasinet er omlag som titreringskurven i figur 25 viser, vil det trenges omlag 470 tonn CaCO₃ for å avsyre den årlige tilrenningen. En gjør i denne forbindelse oppmerksom på at utbyggingen er et "takrenne-prosjekt", dvs. at deler av tilsiget i perioder av året går rett inn på tilløpstunnelen til Fjone kraftverk, uten å gå innom Napevatn (A. Bjørknes, Arendals Vasdrags Brugseierforening, pers. oppl.).

Kalking av Napevatn med de kalkmengdene som er nevnt vil ved likevekt kunne medføre en kalkøkning i Nisser på omlag 0,4 g CaCO₃/l. Dersom en antar samme titreringskurve som i figur 25, vil dette kunne bety en pH-økning i Nisser fra en antatt utgangs-pH på 5,3 til omlag 5,5. Tar vi også med dagens kalkingsaktivitet øst for Nisser (370 tonn CaCO₃/år), vil kalkingstiltakene samlet kunne bety en pH-økning i Nisser fra pH 5,3 til omlag 5,6.

En vannkvalitetsforbedring i Nisser vil imidlertid ta lang tid på grunn av den lange oppholdstiden i innsjøen. Kalking av Napevatn vil teoretisk kunne medføre en økning av kalsiumkonsentrasjonen på 0,7 mg/l ut fra Fjone kraftstasjon. Totalt vil dette kunne bidra til at den gjennomsnittlige kalsiumkonsentrasjonen i tilsiget til Nisser øker med omlag 0,15 mg/l. Figur 26 viser en simulering av hvor lang tid det vil ta å oppnå samme konsentrasjon i innsjøen som i tilløpsbekkene. Simuleringen, som er basert på en fortynningsligning av Dillon og Scheider (1979), antyder at det vil ta omlag 5 år før kalsiumøkningen i innsjøen utgjør halvparten av en gitt økning i innløpsbekkene. Etter nye 5 år vil økningen i innsjøkonsentrasjonen tilsvare en andel på omlag 2/3. Først etter 30 år vil innsjøen være helt i likevekt med innløpsbakkens vannkvalitet, forutsatt at denne er konstant i hele perioden. Eksemplet illustrerer at det vil være en svært langsom prosess å kalke opp Nisser via tilløpsbekkene. En vil måtte kalke i lang tid før vannkvaliteten er oppe på ønsket målnivå, og i mellomtiden vil kalkingsinnsatsen ha begrenset nytteverdi.

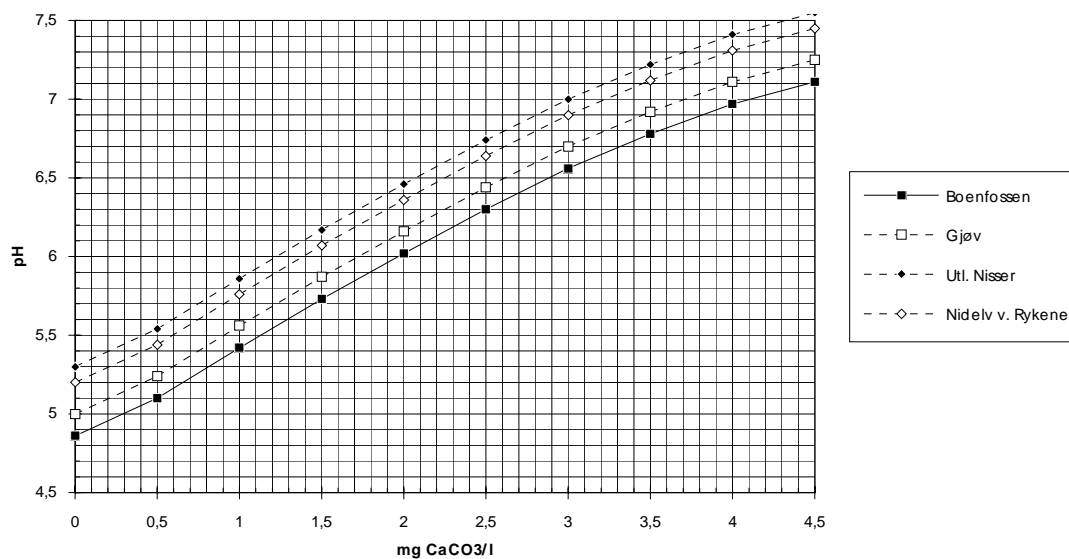
Summen av alle de igangværende kalkingsprosjektene i Nidelva (~2800 tonn CaCO₃/år) tilsvarer en kalkdose på 0,45 g CaCO₃/m³ i den nederste delen av vassdraget (tabell 7). Ved full effekt av disse tiltakene vil pH i elva ifølge figur 25 kunne økes fra et antatt nivå uten kalking på pH 5,2, til omkring 5,4.

Tabell 7. Gjennomsnittlig årlig kalkforbruk (pr. 1994) og hydrologiske data for utvalgte vassdragsavsnitt i Arendalsvassdraget. Forventet pH-økning ved gitt kalkingsinnsats er basert på titreringskurve fra Tovdalsvassdraget (figur 25).

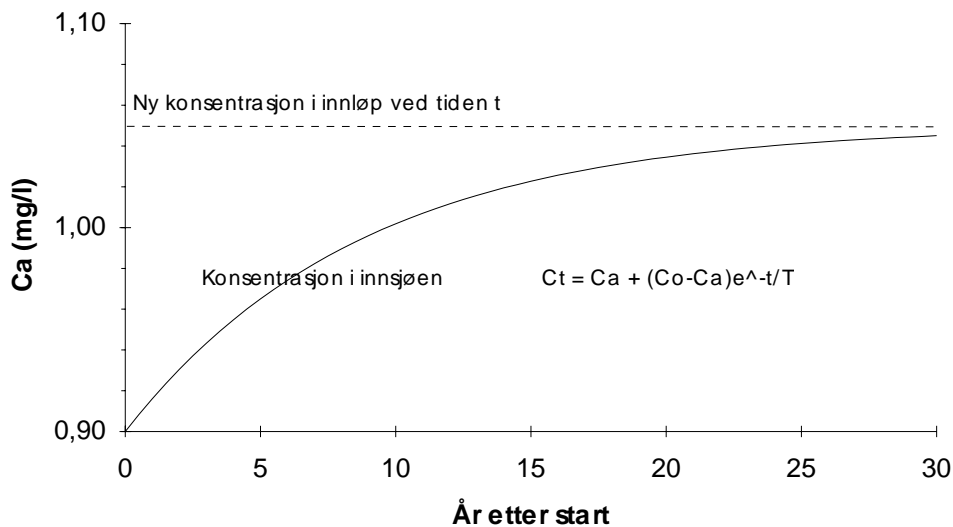
Lokalitet	Årl. CaCO ₃ -forbruk pr. 1994	Areal nedbørfelt km ²	Tilsig mill.m ³ /år	Ant. kalkdose CaCO ₃ g/m ³	Ant. pH-økning fra - til
Nesvatn	750	229	245*	2,1	5,0 - 6,0
Gjøv		508	542	0,95	5,0 - 5,5
Napevatn		222**	193		
Nisser	370	1074	926	0,25	5,3 - 5,4
Nidelva v. utløp	2800	4025	3822	0,45	5,2 - 5,4

* gjennomsnittlig avrenning for hele Gjøv-feltet

** regulert (areal og avrenning opplyst av Arendal Vasdrags Brugseierforening).



Figur 25. Titreringskurve for Tovdalselva ved Boenfossen (Hindar 1991). Stipulert mulige titreringskurver for stasjoner i Arendalsvassdraget ved en antakelse om samme CaCO₃-behov.



Figur 26. Simulert kalsium-utvikling i Nisser ved kalking i innløpsbekker til gjennomsnittlig konsentrasjon på 1,05 mg Ca/l. Opprinnelig kalsiumkonsentrasjon i innsjøen er satt til 0,9 mg/l. Teoretisk oppholdstid 8,8 år. Fortynningsligningen er hentet fra Dillon og Scheider (1979).

6.4. Forslag til kalkingsstrategi for Arendalsvassdraget

Dagens kalkingsstrategi i Arendalsvassdraget har hittil vært å kalke mindre sidevassdrag av hensyn til lokale fiskebestander og lokale brukerinteresser. I Rorevassdraget og i Nesvatn er innsatsen konsentrert slik at en kan oppnå vannkvalitetsforbedring i et større vassdragsavsnitt. Effektene på hovedvassdraget ved å kalke disse sidegrenene er imidlertid begrenset, i og med at de utgjør en liten del av vassdragets totale nedbørfelt (<10%).

En ytterligere utvidelse av kalkingsvirksomheten er bl.a. avhengig av klare målsetninger for arbeidet. Nedenfor er det foreslått noen alternative målsetninger med ulike ambisjonsnivåer:

Oppnå akseptabel vannkvalitet i :

1. Hele vassdraget til utløpet i sjøen
2. Nisser / Fyresvatn / Gjøv
3. Mindre sidevassdrag med truede fiskebestander og lokale brukerinteresser
4. Viktige gytebekker rundt de store innsjøene

Målsetning 1 er tidligere utredet av Hindar (1989), som har utarbeidet en kalkingsplan for Nisser og resten av Arendalsvassdraget. Denne planen omfatter innsjøkalking i Nisser, Fyresvatn og Nesvatn, samt dosererkalking ved Åmli og Bøylestad. Kalkbehovet i Nisser er beregnet til 22.000-40.000 tonn kalk med en varighet på 7 år. Totalkostnadene for kalking av hele vassdraget ble anslått til 6-8 mill. kr. (400 kr/tonn kalk). For å jevne ut de årlige kostnadene i forbindelse med kalking av Nisser, kan innsjøen kalkes opp over en

periode på 2-3 år (Atle Hindar, pers. oppl.). Målsetning 1 innebærer store kostnader, og disse må vurderes i forhold til nytten ved en forbedret vannkvalitet.

Målsetning 2

Oppkalking av en eller flere av innsjøene Nisser, Fyresvatn eller Nesvatn kan betraktes som et mål i seg selv. I Nesvatn er nå store deler av hovedtilløpet fra nord kalket. De forventede effektene av dette er beskrevet i avsnitt 6.3.

Kalking av Nisser eller Fyresvatn vil kreve mye større ressurser, i og med at både innsjøvolumene og nedslagsfeltene er betydelig større enn i Nesvatn. Nedslagsfeltet omkring både Nisser og Fyresvatn består av noen store tilløpsbekker og en mengde små. Fordi tilløpet er fordelt på mange bekker er det urealistisk å kalke Nisser eller Fyresvatn til et akseptabelt nivå via tilløpsbekkene. I tillegg vil den langsomme vannutskiftingen i innsjøene medføre at det tar lang tid før en får den forventede vannkvalitetsforbedringen (se avsnitt 6.3).

Skal det oppnås tilfredsstillende vannkvalitet i Nisser og Fyresvatn må innsjøene kalkes direkte. Kalking i sidevassdrag kan kun være et supplement til innsjøkalking ved at det gir noe lavere kalkbehov i innsjøene på lengre sikt. En viktig positiv effekt ved kalking i sidevassdrag er at gyteforholdene kan forbedres. Mulighetene er dessuten tilstede for at giftig aluminium i større grad kan holdes tilbake i nedbørfeltene.

I følge kalkingsplanen til Hindar (1989) vil selv kalking av både Nisser, Fyresvatn og Nesvatn ikke være tilstrekkelig til å gi Nidelva akseptabel vannkvalitet helt ned til sjøen. Oppfylling av hele målsetning 2 innebærer derfor ikke samtidig en oppfyllelse av målsetning 1.

Målsetning 3 og 4

Arendalsvassdraget er rik på innsjøer (over 1300 større enn 0,5 km²) og i mange av disse vil fiskebestandene i dag være utdødd eller truet av forsuring. Sikring av biologisk mangfold, inkludert truede fiskebestander i slike mindre lokaliteter, er derfor et viktig mål i seg selv. Kalkbidraget fra slike lokaliteter er hver for seg små, men kan samlet sett føre til noe mindre kalkforbruk ved eventuelle framtidige doseringsanlegg i vassdraget eller ved framtidige større innsjøkalkinger.

6.5. Framtidig kalking i Arendalsvassdraget.

Basert på vannkvalitetsforholdene i Arendalsvassdraget er det faglig grunnlag for å øke omfanget av kalkingsvirksomheten. Kostnadene i forbindelse med tiltak vil imidlertid være store dersom en skal oppnå akseptabel vannkvalitet f.eks. i Nisser eller i den lakseførende strekningen. NIVA kan ikke trekke konklusjoner om hvor høyt Arendalsvassdraget bør prioriteres i forhold til andre vassdrag mht. kalking. Beslutninger omkring framtidig omfang av kalkingsvirksomheten i vassdraget vil i stor grad måtte baseres på kost/nyttevurderinger, og det er opp til lokalsamfunnene, forvaltningen og politiske myndigheter å vurdere nyttevirkningene av å ha et levende vassdrag.

Eventuelt nye kalkingstiltak i vassdraget bør baseres på en bevisst holdning til mål og forventede effekter av kalkingen. Begrunnelsen for å kalke i mindre sidevassdrag må være

å ta vare på lokale fiskestammer eller å å heve vannkvaliteten i viktige gytebekker. Effekter på hovedvassdrag av lokale kalkingstiltak må ikke overvurderes. Dersom det skal kalkes i Nisser eller i hovedvassdraget forøvrig, må innsatsen dimensjoneres i forhold til aksepterte vannkvalitetsmål. Delvis oppnåelse av målene vil gi liten nytte for hver investert krone.

REFERANSER

- Berglind, L., Dahl, I., Gjessing, E.T., Klaveness, D. og Læg Reid, M. (1984). Organisk materiale. I: Vennerød, K. (red.): Vassdragsundersøkelser. Norsk limnologforening. Universitetsforlaget. 110-126.
- Dillon, P.J. og Scheider, W.A. (1979). Modelling the reacidification rates of neutralized lakes near Sudbury, Ontario. In: J.J. Schnoor (ed.) Modelling of total acid precipitation impacts. Ann Arbor Science, s 121-154.
- Henriksen, A., Lien, L. og Traaen, T. (1990). Tålegrenser for overflatevann - Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. NIVA-rapport nr. 2431, 49 s.
- Hindar, A. (1989). Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser og Arendalsvassdraget. Kalking av surt vann 8/89. NIVA-rapport, løpenr. 2340, 28 s.
- Hindar, A. og Henriksen, A. (1995). Kalkingsstrategier for Tovdalsvassdraget basert på nåværende og framtidige overskridelser av naturens tålegrense for sterk syre. NIVA-rapport, under trykking.
- Hindar, A. og Lindstrøm, E. A. (1989). Vannkvalitet og næringstilførsler i Nidelva, Aust-Agder. Konsekvenser av manøvreringen av Rykene dam for drikkevannskvaliteten i innsjøen Rore. NIVA-rapport, løpenr. 2248, 80 s.
- Johannessen, M. (1984). Forsuringssituasjonen i Fyresvatn og Nisser 1982-1983. SFT-Overvåkingsrapport 139/84. NIVA-løpenr. 1649, 35 s.
- Kaste, Ø. og Kroglund, F. (1995). Rorevassdraget. I: Kalking i vann og vassdrag 1993. Overvåking av større prosjekter 1993. DN-notat, under trykking.
- Kroglund, F., Hesthagen, T., Hindar, A., Raddum, G.G., Staurnes, M., Gausen, D. og Sandøy, S. (1994). Sur nedbør i Norge. Status, utviklingstendenser og tiltak. Utredning for DN nr. 10/1994, 97 s.
- Reuss, J.O., Cosby, B.J. og Wright, R.F. (1987). Chemical processes governing soil and water acidification. Nature 329; 27-32.
- Rosseland, B.O. and Hindar, A. (1991). Mixing zones - a fishery management problem? Pages 161-172. In: International lake and watershed liming practices (Olem, H., Schreiber, R.K., Brocksen, R.W. and Porcella, D.B., eds.). Terrene Inst., Washington, DC.
- Rosseland, B.O., Blakar, I.A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D., Salbu, B., Staurnes, M. and Vogt, R. (1992). The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. Environ. Pollut. 78: 3-8.

- Sevaldrud, I. og Skogheim, O. (1985). Fiskestatus og vannkvalitet i Agder - 1983. Rapport fra Fiskeforskningen, Ås, Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, internt notat.
- SFT (1987). 1000-sjøers undersøkelsen 1986. Rapport 282/87. Statens forurensningstilsyn, Oslo, 31 s.
- SFT (1993). Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1992. Rapport 533/93. Statens forurensningstilsyn, Oslo, 296 s.
- Wright, R.F., Lotse, E. og Semb, A. (1993). RAIN-project: Results after 8 years og experimentally reduced acid deposition to a whole catchment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50; 27-32.
- Økland, J. (1983). Regional økologi og miljøproblemer. I: Ferskvannets verden del 3. Universitetsforlaget. 189 s.
- Østrem, G., Flakstad, N. og Santha, J.M. (1984). Dybdekart over norske innsjøer. Meddelelse nr. 48 fra Hydrologisk avdeling, Norges- vassdrags- og energiverk, 128 s.

Vedlegg A

VANNKJEMISKE ANALYSERESULTATER

Forkortelser		Benevning
Kond	Konduktivitet	<i>mS/m</i>
Ca	Kalsium	<i>mg/l</i>
Mg	Magnesium	<i>mg/l</i>
TOTP	Total fosfor	<i>µg/l</i>
TOTN	Total nitrogen	<i>µg/l</i>
Alk-E	Alkalitet	<i>µekv/l</i>
Na	Natrium	<i>mg/l</i>
K	Kalium	<i>mg/l</i>
NO3	Nitrat	<i>µg/l</i>
SO4	Sulfat	<i>mg/l</i>
Cl	Klorid	<i>mg/l</i>
RAL	Reaktivt aluminium	<i>µg/l</i>
ILAL	Ikke-labil aluminium	<i>µg/l</i>
LAL	Labil aluminium	<i>µg/l</i>
TOC	Totalt organisk karbon	<i>mg/l</i>
ANC	Syrenøytraliserende kapasitet	<i>µekv/l</i>

Vedlegg A

Arendalsvassdraget - innsjøer																			
Dato	Sted	Dyp m	pH	Kond mS/m	Ca mg/l	Mg mg/l	TOIP µg/l	TOIN µg/l	Alk µekv/l	Na mg/l	K mg/l	NO3 µg/l	SO4 mg/l	CI mg/l	RAL µg/l	ILAL µg/l	LAL µg/l	TOC mg/l	ANC µekv/l
31/08/93	Fyresvatn	10	5,44	1,77	0,88	0,19	2	260	6	0,84	0,22	180	3	1,5	125	55	70	1,83	-6,2
31/08/93	Fyresvatn	30	5,35	1,63	0,9	0,19	2	380	4	0,8	0,21	205	3	1,3	135	45	90	1,71	-1,9
31/08/93	Fyresvatn	250	5,34	1,53	0,87	0,19	2	245	5	0,76	0,19	205	3,2	1,3	145	40	105	1,44	-9,8
31/08/93	Nesvatn	1	5,15	1,69	0,69	0,16	2	215	0	0,96	0,12	150	2,7	1,6	175	45	130	1,68	-11,6
31/08/93	Nesvatn	10	5,16	1,75	0,71	0,16	2,6	205	-1	0,97	0,12	135	2,7	1,8	155	55	100	1,68	-15,6
31/08/93	Nesvatn	20	5,11	1,78	0,71	0,16	2	240	-2	0,93	0,15	155	3	1,6	185	45	140	1,56	-17,5
31/08/93	Nesvatn	75	5,08	1,88	0,74	0,16	2	240	-3	0,89	0,13	160	3	1,5	160	55	105	1,37	-15,5
31/08/93	Nisser	1	5,4	1,7	0,91	0,19	2,6	275	4	0,76	0,22	195	3	1,1	155	55	100	1,73	2,9
31/08/93	Nisser	10	5,41	1,58	0,9	0,19	9,1	270	4	0,75	0,22	210	3	1,1	120	80	40	1,47	1,8
31/08/93	Nisser	30	5,35	1,75	0,89	0,19	2	280	3	0,75	0,21	220	3	1,1	165	45	120	1,32	0,9
31/08/93	Nisser	150	5,33	1,7	0,9	0,19	2	280	3	0,75	0,18	220	3,2	1,1	165	35	130	1,28	-3,6
01/09/93	Rore	1	5,36	3,74	1,84	0,49	2	435	7	4,2	0,34	350	5,5	5,6	145	45	100	2,41	44,4
01/12/93	Rore	1	5,43	4,37	1,84	0,52	2	520	9	3,37	0,33	345	5,3	5,6	155	60	95	2,77	14,7
19/05/94	Rore	1	5,62		1,45				14						215	135	80	2,9	
01/09/93	Rore	5	5,36	3,83	1,85	0,49	2	450	5	3,8	0,34	335	5,5	5,6	150	45	105	2,41	27,7
19/05/94	Rore	5	5,54		1,96				12						205	130	75	2,65	
01/09/93	Rore	20	5,35	3,91	1,79	0,5	2	530	9		0,36	350	5,5	5,9	170	75	95	2,92	
01/12/93	Rore	20	5,4	4,22	1,86	0,52	2	520	8	3,36	0,34	345	5,3	5,6	145	95	50	2,94	15,5
01/09/93	Rore	90	5,32	3,87	1,82	0,51	4,3	530	11	3,8	0,37	350	5,5	5,8	200	60	140	2,8	22,7
01/12/93	Rore	90	5,38	4,04	1,84	0,52	2	520	8	3,36	0,33	355	5,3	5,6	155	60	95	2,74	14,1
19/05/94	Rore	90	5,45		1,94				13						170	145	25	2,51	
Middel	Rore	1	5,47	4,06	1,71	0,51	2	478	10	3,79	0,34	348	5,40	5,60	172	80	92	2,69	29,5
Middel	Rore	5	5,45	3,83	1,91	0,49	2	450	9	3,80	0,34	335	5,50	5,60	178	88	90	2,53	27,7
Middel	Rore	20	5,38	4,07	1,83	0,51	2	525	9	3,36	0,35	348	5,40	5,75	158	85	73	2,93	15,5
Middel	Rore	90	5,38	3,96	1,87	0,52	3	525	11	3,58	0,35	353	5,40	5,70	175	88	87	2,68	18,4

Vedlegg A

Vedlegg A

Arendalsvassdraget - elvestasjoner																		
Dato	Sted	pH	Kond	Ca	Mg	TOTP	TOTN	Alk	Na	K	NO3	SO4	Cl	RAL	ILAL	LAL	TOC	ANC
			mS/m	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µekv/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µekv/l
26/10/93	Vråvatn ut	5,61	1,8	0,98	0,2	3,1	205	18	0,94	0,17	140	2,5	1,7	95	60	35	1,99	8,0
01/12/93	Vråvatn ut	5,64	1,48	1	0,2	2	230	10	0,87	0,15	140	2,5	1,5	85	50	35	2,51	11,2
13/04/94	Vråvatn ut	5,59	1,55	0,96	0,2	2	280	16	0,99	0,25	145	2,2	2	135	65	70		8,9
10/05/94	Vråvatn ut	5,63	1,75	0,96	0,2	2	260	17	0,95	0,2	160	1,5	1,7	115	75	40		28,7
02/06/94	Vråvatn ut	5,67	1,76	0,98	0,2	2	315	13	0,96	0,21	130	2,5	1,7	120	85	35		10,1
Middel		5,63	1,67	0,98	0,20	2	258	15	0,94	0,20	143	2,2	1,7	110	67	43	2,25	13,4
31/08/93	Fjone	6,26	2,8	2,05	0,35	2	240	65	1,85	0,31	205	4,2	2,4	80	45	35	1,09	60,6
26/10/93	Fjone	6,08	2,79	1,59	0,33		180	36	1,66	0,25	155	4,7	2,2	155	95	60	2,34	22,3
01/12/93	Fjone	6,02	2,61	1,93	0,36	2	315	52	1,81	0,28	255	4,5	2,2	105	50	55	1,87	51,6
13/04/94	Fjone	5,72	2,14	1,45	0,31	2	350	24	1,5	0,35	275	4	2,1	235	120	115		24,8
10/05/94	Fjone	5,38	1,91	0,86	0,23	2	230	14	1,07	0,22	140	2,5	1,3	245	130	115		22,8
02/06/94	Fjone	6,12	2,06	1,3	0,28	2	190	36	1,33	0,28	65	3	1,5	130	105	25		46,9
Middel		5,93	2,39	1,53	0,31	2	251	38	1,54	0,28	183	3,8	2,0	158	91	68	1,77	38,2
31/08/93	Nisser ut	5,44	1,75	0,98	0,2	2,6	310	6	0,8	0,26	200	3	1,2	160	55	105	1,77	7,1
26/10/93	Nisser ut	5,36	2,12	0,94	0,2	2,4	240	6	0,73	0,18	230	3,3	1,2	135	40	95	1,08	-6,7
01/12/93	Nisser ut	5,36	1,68	0,95	0,21	2	305	3	0,78	0,17	210	3	1,2	120	50	70	1,99	3,1
13/04/94	Nisser ut	5,35	2,08	1,01	0,21	3,9	350	8	0,77	0,24	260	3	1,3	165	55	110		3,8
10/05/94	Nisser ut	5,35	1,76	0,9	0,22	2	290	8	0,79	0,19	230	2,2	1,2	135	60	75		18,7
02/06/94	Nisser ut	5,32	1,84	0,91	0,2	2	365	4	0,78	0,24	200	3	1,2	145	55	90		2,2
Middel		5,36	1,87	0,95	0,21	2	310	6	0,78	0,21	222	2,9	1,2	143	53	91	1,61	4,7

Vedlegg A

Vedlegg A

Arendalsvassdraget - elvestasjoner																		
Dato	Sted	pH	Kond mS/m	Ca mg/l	Mg mg/l	TOTP µg/l	TOTN µg/l	Alk µekv/l	Na mg/l	K mg/l	NO3 µg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	RAL µg/l	ILAL µg/l	LAL µg/l	TOC mg/l	ANC µekv/l
31/08/93	Nesvatn utf	5,08	1,57	0,49	0,15	2,6	155	0	0,99	0,11	45	2	1,9	155	65	90	3,03	-13,7
26/10/93	Nesvatn utf	5,11	1,71	0,69	0,16	3,1	155	0	0,96	0,11	125	3	1,7	155	40	115	1,45	-20,5
01/12/93	Nesvatn utf	5,04	1,84	0,78	0,18	3,8	350	0	1,09	0,15	155	3	1,8	155	35	120	2,8	-11,1
10/05/94	Nesvatn utf	4,69	2,03	0,29	0,14	2,8	400	-15	0,91	0,12	225	1,5	1,4	205	110	95		-5,9
13/04/94	Nesvatn utf	5,19	1,71	0,86	0,18	2	290	4	0,99	0,13	175	2,7	1,9	185	55	130		-8,8
02/06/94	Nesvatn utf	4,95	1,66	0,47	0,14	2	310	-7	0,82	0,1	125	2,5	1,4	190	70	120		-20,6
Middel		5,01	1,75	0,60	0,16	3	277	-3	0,96	0,12	142	2,5	1,7	174	63	112	2,43	-13,4
26/10/93	Gjøv	5,15	1,81	0,74	0,17	3,8	185	0	1	0,11	130	3,3	1,7	155	50	105	1,75	-21,8
01/12/93	Gjøv	5,1	1,82	0,75	0,17	2	270	0	0,98	0,1	145	3	1,6	145	30	115	2,19	-13,6
13/04/94	Gjøv	4,99	1,97	0,81	0,2	3,4	340	-2	1,16	0,19	235	3	2	250	80	170		-10,8
10/05/94	Gjøv	4,75	1,89	0,41	0,14	2,5	320	-11	0,87	0,14	215	1,8	1,2	220	115	105		-1,6
02/06/94	Gjøv	5,25	1,58	0,67	0,15	2	220	3	0,92	0,13	90	2,5	1,3	160	85	75		-1,3
Middel		5,05	1,81	0,68	0,17	3	267	-2	0,99	0,13	163	2,7	1,6	186	72	114	1,97	-9,8
31/08/93	Fyresvatn utf	5,5	1,6	0,9	0,2	2	225	6	0,81	0,17	160	3	1,3	105	70	35	1,87	-1,0
26/10/93	Fyresvatn utf	5,41	1,82	0,9	0,2	2,2	205	6	0,82	0,15	170	3,3	1,4	115	40	75	1,26	-10,3
01/12/93	Fyresvatn utf	5,36	1,55	0,92	0,2	2	240	2	0,77	0,14	180	3	1,4	100	35	65	1,83	-5,6
10/05/94	Fyresvatn utf	5,24	1,83	0,83	0,19	2	260	6	0,88	0,15	210	1,8	1,4	150	75	75		18,6
13/04/94	Fyresvatn utf	5,35	1,53	0,9	0,2	2	220	6	0,83	0,17	195	2,5	1,5	150	55	95		4,1
02/06/94	Fyresvatn utf	5,39	1,74	0,89	0,21	3,6	300	4	0,82	0,18	180	2,7	1,5	125	70	55		0,3
Middel		5,38	1,68	0,89	0,20	2	242	5	0,82	0,16	183	2,7	1,4	124	58	67	1,65	1,0

Vedlegg A

Vedlegg A

Arendalsvassdraget - elvestasjoner																		
Dato	Sted	pH	Kond mS/m	Ca mg/l	Mg mg/l	TOTP µg/l	TOTN µg/l	Alk µekv/l	Na mg/l	K mg/l	NO3 µg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	RAL µg/l	ILAL µg/l	LAL µg/l	TOC mg/l	ANC µekv/l
31/08/93	Nedstr. Åmli	5,46	1,75	0,92	0,2	2,6	230	5	0,82	0,18	155	3	1,4	140	70	70	2,07	-2,0
26/10/93	Nedstr. Åmli	5,31	1,88	0,97	0,21	3,1	180	6	1,06	0,15	160	3,8	1,9	170	65	105	2,38	-20,0
01/12/93	Nedstr. Åmli	5,24	1,77	0,92	0,19	2	320	2	0,89	0,16	180	3	1,4	130	35	95	2,43	-0,7
13/04/94	Nedstr. Åmli	5	1,84	0,89	0,23	2	430	-2	1,11	0,24	270	3,2	1,9	240	90	150		-7,1
10/05/94	Nedstr. Åmli	4,96	1,88	0,66	0,18	2	335	-2	0,91	0,18	210	2	1,4	200	105	95		7,2
02/06/94	Nedstr. Åmli	5,2	1,75	0,8	0,19	2	290	-1	0,84	0,17	180	2,7	1,3	170	70	100		0,5
Middel		5,20	1,81	0,86	0,20	2	298	1	0,94	0,18	193	3,0	1,6	175	73	103	2,29	-3,7
31/08/93	Bøylestad	5,45	1,84	0,95	0,21	2	245	4	1,04	0,22	155	3	1,6	145	65	80	2,7	5,2
26/10/93	Bøylestad	5,2	1,99	1	0,23	4	200	3	1,18	0,19	155	3,8	2	190	70	120	2,99	-13,3
01/12/93	Bøylestad	5,18	1,84	0,98	0,22	2	315	1	1,08	0,17	180	3	1,7	155	55	100	3,42	4,7
13/04/94	Bøylestad	5,02	2,18	0,99	0,27	2,9	390	-1	1,27	0,29	260	3	2,2	240	100	140		5,2
10/05/94	Bøylestad	4,94	2,02	0,71	0,2	2	380	6	1,06	0,19	230	2	1,6	210	110	100		12,1
02/06/94	Bøylestad	5,14	1,76	0,77	0,19	2	300	-1	0,87	0,18	180	2,7	1,7	180	70	110		-10,9
Middel		5,16	1,94	0,90	0,22	2	305	2	1,08	0,21	193	2,9	1,8	187	78	108	3,04	0,5

Vedlegg A

Vedlegg B

INNSJØLOKALITETER SOM DANNER GRUNNLAG FOR TÅLEGRENSEBEREGNINGENE I RAPPORTEN (SFT 1987)					
Ref.nr.	Innsjønavn	REGINE - enhet			
1	HALVORSURDVT	JO			
2	FITBEKKVATN	DZ			
4	KALDVATN	FO			
5	STOKKSVATN	DO			
6	LJOSVATN	DO			
7	ORMVATN	EO			
8	ERSBUVATN	DO			
9	STAVVATN	CO			
10	MALEVATN	DO			
11	HEIM.BREIVTN	EO			
12	MJÅVATN	EO			
13	N. RAPVATN	FO			
14	DJUPVATN	FO			
18	FJELLSTØLVTN	EO			
19	ERVEDALSVATN	EO			
20	GRUNNTJERN	DZ			
21	LYTINGSVATN	FO			
22	DYRVATN	FO			
23	HOMVATN	DZ			
24	SANDVATN	CZ			
25	HOLMEVATN	DZ			
26	ULVSVATN	DZ			
27	BONDALSVATN	DZ			
28	GAUSVATN	DZ			
29	KLEIVVATN	DZ			
30	BIRTEVATN	CZ			
31	GJEVARVATN	CZ			
32	RUDSVATN	DZ			
33	GRODVATN	CZ			
34	RØYNEVATN	AZ			
35	TØNNESØLVATN	AZ			
36	VIGEL.VATN	AZ			
37	HEMMINGST.VT	AZ			
38	HUNSDALSVATN	AZ			
39	SNØLØSVATN	AZ			
40	TRÆVATN	BO			
41	MESELVATNET	BO			
42	ROSEVATN	AZ			
43	STEINSVATN	DZ			
44	ØYVATN	CZ			
45	KALLINGSVATN	CO			
46	MÅVATN	CZ			
47	UFSVATN	CO			
48	HUNDEVATN	BO			
49	HEIDALSVATN	CO			
50	RØYSELANDSV:	CO			
51	VALEVATN	FO			
52	SKREDVATN	HO			
53	RØYNINGVATN	HO			
54	MJÅVATN	DZ			
55	BRÅRVATN	DZ			
56	GRUNNEVATN	DZ			
57	ØYUVSVATN	DZ			
57	ØYUVSVATN	DZ			
58	KJØPVATN	DZ			

Vedlegg C

OVERSIKT OVER KALKINGSLOKALITETER I ARENDALSVASSDRAGET 1994			
Ref.nr.	Lokalitet	REGINE	Gjennomsnittlig årlig kalkforbruk pr. 1994 (tonn CaCO ₃)
32	Holvann	AZ	21
33	Tønnesølvann	AZ	117
34	Kollandsvann	AZ	8
35	Rosævatn	AZ	17
36	Kiland doserer	AZ	423
37	Gangvann	AZ	14
38	Hunsdalsvann	AZ	15
39	Uråna doserer	AZ	135
SUM			750
30	Hovatn	BO	24
31	Mørøsvatn	BO	10
SUM			34
27	Ufsvatn	CO	19
28	Vålevatn	CO	32
29	Mjonevatn	CO	9
SUM			60
14	Grodvatn	CZ	115
14	Sandvatn	CZ	94
14	Berghyl	CZ	26
14	Øyarvatn	CZ	213
14	Langevatn	CZ	44
14	Birtevatn	CZ	179
14	Øytjønn	CZ	14
14	Sunnbekk	CZ	15
14	Furetjønn	CZ	5
14	Grunnetjønn	CZ	7
14	Stavskardt (v)	CZ	3
15	Hengeltj	CZ	14
26	Elgheitj. (ø+n)	CZ	22
SUM			750
9	Rektj.	DO	2
9	Blektj.	DO	2
9	Nutetj.	DO	5
9	Øytj.	DO	3
9	Skålitj.	DO	9
9	Skarptj.	DO	2
9	Fiskeløys	DO	34
9	Øytj.	DO	6
9	Trælevann	DO	14
9	Ljosvatn	DO	9
SUM			84
3	Sandvatn	DZ	44
3	Fisketj.	DZ	17
5	Øyuvsvatn	DZ	128
6	Hønetj.	DZ	7
6	Nuttj. (st.+la)	DZ	14
6	Bjørnetj.	DZ	4
6	Grastj.	DZ	4
6	Litj. ø	DZ	10
6	Kanetj.	DZ	12
10	Midtstultj	DZ	1
10	Hardtotj.	DZ	1
10	Bjøllåstj.	DZ	1
10	Lientj.	DZ	3

Vedlegg C

Ref.nr.	Lokalitet	REGINE	Kalkforbruk 1994 tonn CaCO ₃
10	Kvåmotj. (+ø)	DZ	7
10	Mørketj.	DZ	2
10	Ljostj.	DZ	2
12	Gjevstøltj (ø+n)	DZ	20
22	Kallømsvatn	DZ	5
22	Fritj.	DZ	8
22	Kvitj.	DZ	27
SUM			316
1	Øverlandsvatn (ø+n)	EO	23
4	Reinsvatn	EO	13
4	Mjåvatn	EO	14
4	Føletj. (ø+n)	EO	3
4	Rosstj.	EO	2
4	Tjønnane I+II	EO	2
4	Daltj. I+II	EO	2
4	Sveiva I-IV	EO	3
13	Sikletj.	EO	3
13	Hattetj.	EO	3
13	Krosstj.	EO	3
13	Fjellstøylvatn	EO	18
16	Torsvasstj.	EO	1
16	Torsvatn (a+h)	EO	25
16	Heitj.	EO	3
16	Hakjordsv. (a)	EO	15
16	Sigridstj. (v)	EO	6
16	Blitj.	EO	2
16	Grovstj.	EO	2
17	Svartetj.	EO	7
17	Steintj.	EO	11
17	Øyvatn (n+m+h)	EO	68
17	Øyvasstjern	EO	6
17	Hakjordsvatn	EO	65
18	Holmevatn	EO	8
20	Ervedalsvatn	EO	105
20	Nordvatn	EO	5
20	Gloppevatn	EO	10
SUM			425
2	Osvatn	FO	28
7	Øysandvatn	FO	18
7	Tjøvetj.	FO	9
7	Stemtj.	FO	17
7	Djupvatn	FO	27
7	Rapvatn (a+h)	FO	76
11	Ørnekvævtj.	FO	7
11	Øytjønn I-V	FO	45
19	Glettj.	FO	3
19	Skreppetj.	FO	8
19	Stemtj.	FO	9
21	Grunnevatn	FO	9
21	Hellerstjern	FO	3
23	Strondtj.	FO	26
24	Hågstølvatn	FO	53
25	Vindåstj.	FO	4
25	Teigtj.	FO	3
25	Aslomtj (n)	FO	26
SUM			369