

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Revidert kalkingsplan for Arendalsvassdraget	Løpenr. (for bestilling) 4107-99	Dato 30.11.99	
	Prosjektnr. Undernr. O-98222	Sider 54	Pris 100,-
Forfatter(e) Hindar, A., Lamberg, A. (NINA) og Thorstad, E. (NINA)	Fagområde Forsuring og kalking	Distribusjon	
	Geografisk område Aust-Agder og Telemark	Trykket NIVA	

Oppdragsgiver(e) Styringsgruppa for kalking av Arendalsvassdraget	Oppdragsreferanse Avtale av 15.2.99
--	--

<p>Sammenheng</p> <p>På forespørsel fra Styringsgruppa for kalking av Arendalsvassdraget har Norsk institutt for vannforskning og Norsk institutt for naturforskning utarbeidet denne reviderte kalkingsplanen for Arendalsvassdraget. Med bakgrunn i eksisterende kalking (blant annet Nisser og Fyresvatn), vannkjemiske og biologiske data fra de siste årene og hydrologi/regulering, er det gjennomført en vurdering av tiltaksstrategier. Det er også gjort en vurdering av produksjonspotensialet for laks i vassdraget. Anbefalinger om tiltak er gitt. Vassdraget er ikke optimalt kalket med eksisterende tiltak om målet er reetablering av laks. To kalkdoserere bør etableres, en ved Åmli og en ved Bøylefoss. Innsjøene Nisser og Fyresvatn bør trolig rekalkes, første gang i 2003-2004. De midlere totale kalkkostnader per år for vassdraget vil variere mellom 2.1 og 5.8 mill.kr. med de anbefalinger som er gitt. Produksjonspotensialet for laks er imidlertid relativt lite og det anbefales å gjennomføre også andre tiltak enn kalking. Blant disse er forbedring av oppvandringsforholdene i Helle-Rygene-området, laksetrapp ved Evenstad og habitatrestaurering.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Forsuring 2. Kalking 3. Vassdrag 4. Laks 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acidification 2. Liming 3. Watercourse 4. Atlantic salmon
---	--



Atle Hindar
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder



Nils Roar Scelthun
Forskningsjef

Revidert kalkingsplan for Arendalsvassdraget

Forord

Kalkingsplan for innsjøen Nisser og Arendalsvassdraget ble utarbeidet av NIVA i 1989. Det ble anbefalt en gradvis opptrapping av kalkingen. Ved utgangen av 1997 var Nisser, Fyresvatn og Nesvatn kalket.

I brev av 12.3.98 fra Styringsgruppa for kalking av Arendalsvassdraget ble NIVA bedt om å komme med et prosjektforslag for revidering av kalkingsplanen, inklusive forslag til nye tiltak. Forslag ble oversendt fra NIVA den 16.6.98. På et møte den 15.9.98 var det enighet om at planen også skulle inneholde en vurdering av produksjonspotensialet for laks, gitt de vandringshindere, reguleringer og produksjonsarealer en har i Nidelva. Norsk institutt for naturforskning (NINA) ble derfor invitert til å delta i utarbeidelsen av planen og et samlet prosjektforslag forelå den 3.11.98. På basis av forslaget og en presisering av arbeidets omfang fra NINA i brev av 23.12.98 forelå endelig forslag til avtale den 25.1.99. Avtalen ble underskrevet den 15.2.99.

Vurderingen av produksjonspotensialet for laks ble gjennomført i samarbeid med Fylkesmannens miljøvernavdeling i Aust-Agder ved Dag Matzow. Under befaringen deltok Bjørn Jørgensen og Bjarne Rydningen med praktisk hjelp og lokalkunnskap. Nils Arne Hvidsten (NINA) leste gjennom og kommenterte en tidligere versjon av delrapporten. Vi takker alle for et godt samarbeid. Befaring og kartlegging av gyte- og oppvekstområder ble gjennomført av Anders Lamberg.

I prosjektforslaget ble det anbefalt kontakt med Arendals Vasdrags Brugseierforening (AVB) med tanke på muligheter for gunstige manøvreringer av vassdragsreguleringer. Materiale fra AVB er trukket inn som grunnlagsmateriale for planen. Vi takker Edgar Ommundsen og Audun Bjørkenes i AVB for samarbeidet.

Grimstad, 30.11. 1999

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	9
2. Materiale og metoder	10
2.1 Vassdraget	10
2.2 Fiskebestander	11
2.3 Eksisterende data	12
2.4 Beregning av produksjonspotensialet for laks	13
2.5 Kalk- og kostnadsberegninger	13
3. Vannkjemisk status	15
3.1 Vannkjemisk	15
3.1.1 Nisser, Fyresvatn og Nesvatn	16
3.1.2 Nidelva og sidefelt	17
3.2 Generell vurdering av vannkvalitet	21
3.2.1 Endring fram til idag	21
3.2.2 Framtidig endring basert på gjennomførte kalkingstiltak	23
3.2.3 Endring basert på redusert deponisjon av svovel og nitrogen	24
4. Biologisk status	26
4.1 Ungfiskundersøkelser av laks og aure	26
4.2 Invertebrater	27
4.3 Makrovegetasjon og begroing	27
5. Muligheter for vannkvalitetstilpasset manøvrering av reguleringene i vassdraget	28
5.1 Innledning	28
5.2 Muligheter rent formelt	30
5.3 Praktiske muligheter for innblanding av magasin vann	30
5.4 Konklusjon	31
6. Produksjonspotensialet for laks	35
6.1 Generelt om smoltproduksjon	35
6.1.1 Smoltproduksjon i ulike vassdrag	35
6.1.2 Områder som egner seg for produksjon av laksesmolt	37
6.2 Kartlegging av gyte- og oppvekstområder i Nidelva	37
6.3 Diskusjon	39
7. Tiltaksstrategier	41
7.1 Kalkingsstrategier	41
7.1.1 Ytterligere kalking av innsjøene?	41
7.1.2 Alternativ 1: Kalkdosering i hovedvassdraget	42

7.1.3 Alternativ 2: Kalkdosering i sidevassdrag	47
7.1.4 Alternativ 3: Vente å se	48
7.2 Kan Nidelva få tilbake en sterk selvreproduserende laksestamme?	49
7.3 Anbefalinger om tiltak	49
8. Referanser	51
9. Vedlegg	53
9.1 Oversikt over gyte- og oppvekstområder kartlagt i Nidelva ved befaring 2. og 3. september 1999 og av Simonsen (1995). Arealet for de nummererte områdene er oppgitt i Tabell 6.	53

Sammendrag

På forespørsel fra Styringsgruppa for kalking av Arendalsvassdraget har Norsk institutt for vannforskning og Norsk intitutt for naturforskning utarbeidet denne rapporten. Med bakgrunn i eksisterende kalking, vannkjemiske og biologiske data fra de siste årene og hydrologi/regulering, er det gjennomført en vurdering av tiltaksstrategier for fullkalking av vassdraget. Det er også gjort en vurdering av produksjonspotensialet for laks i vassdraget. Anbefalinger om tiltak er gitt.

I Arendalsvassdragets nedbørfelt er det gjennomført flere mindre kalkingstiltak fra 1983 og fram til dags dato. Men det var først i 1996 at første del av kalkingsplanen fra 1989 ble realisert, med oppkalking av Nisser. Fyresvatn ble kalket allerede året etter (høsten 1997). Parallelt med dette skjedde det en gradvis oppkalking av Nesvatn ved at innsjøer i Nesvatns nedbørfelt ble kalket. Ved utgangen av 1998 hadde en et vannkjemisk og biologisk datamateriale som kunne gi grunnlag for å vurdere videre opptrapping av kalkingen.

Arendalsvassdraget var i 1999 ikke optimalt kalket om målet er reetablering av en laksebestand. En optimal kalking for laks, med grunnlag i de kriterier som er gitt av Direktoratet for naturforvaltning (DN), og med de praktiske og økonomiske begrensninger som er omtalt i denne rapporten, er som følger:

- etablere en pH-styrt kalkdoserer ved Åmli (Gjermundnesbrua for RV 41),
- etablere en pH-styrt kalkdoserer ved Bøylefoss kraftverk,
- kalke til DN's generelle vannkvalitetsmål,
- kalke for kombinasjoner av utgangs-pH, mål-pH og vannføring som krever en samlet doseringskapasitet på 60 tonn kalk/døgn,
- rekalke Nisser og Fyresvatn når pH kommer under 5.7, dvs. tidligst i 2003,
- eventuelt kalke sidevassdrag som et supplement, ikke som alternativ, til kalkdosering i hovedvassdraget,
- revurdere DN's vannkvalitetsmål når det er grunnlag for det og
- når mulighetene byr seg, gå gjennom konsesjonsvilkårene for reguleringen av de store innsjøene

Med dette som grunnlag, vil de årlige kostnadene variere fra 2.1 til 5.8 mill.kr., avhengig av den tiden som er gått etter innsjøkalking og av om rekalking av innsjøer gjennomføres det aktuelle året. Det er lagt inn i beregningene at forsurenings situasjonen i vassdragets restfelt bedres i årene framover. Kostnadene inkluderer kalkspredning og -dosering, avskrivning av doserere og drifts- og servicekostnader, og er basert på erfaringstall fra dette og andre vassdrag.

Det er gitt en vurdering av potensialet for lakseproduksjon i Arendalsvassdraget basert på en kort gjennomgang av aktuell litteratur og en befaring av lakseførende strekninger. Nidelva med sideelver har små arealer som vurderes som godt egnede gyte- og oppvekstområder for laks, og i store deler av elva er bunnen dekket av sand. Ved å multiplisere arealet av hele den lakseførende strekningen med smoltproduksjon per arealenhet fra andre norske elver (3-6 smolt per 100 m²), estimeres årlig smoltproduksjon til 96 000 - 192 000 smolt. Ut fra de små arealene med gode produksjonsområder en har registrert i Nidelva, medfører en slik beregning trolig et overestimat. Ved å multiplisere arealet av godt egnede gyte- og oppvekstområder med en smoltproduksjon på 3-15 smolt per 100 m², beregnes potensialet for årlig smoltproduksjon i disse områdene til 1 800 - 29 000 smolt. Det understrekes imidlertid at det knytter seg stor usikkerhet til slike beregninger.

Oppbygging av en sterk selvreproduserende laksebestand i Nidelva krever flere tiltak i tillegg til forbedret vannkvalitet:

- en forbedring av forholdene for oppvandring i minstevannføringsløpet mellom Helle og Rygene,
- bygging av laksetrapp ved dammen på Evenstad,

- reduksjon av innslaget av ikke-stedegen laks,
- habitatrestaurering for å øke arealet av gyte- og oppvekstområder,
- en varig forbedring av gyte- og oppvekstområder krever trolig et endret vannføringsregime slik at et grovere bunnsstrat blir av mer varig karakter.

Om kalking og andre tiltak etter disse anbefalinger blir gjennomført, vil store ressurser gå til et vassdrag der potensialet for lakseproduksjon er begrenset. På den annen side kan reetablering av en laksestamme ha stor verdi selv om produksjonen er relativt lav.

Selv om igangsatte kalkingstiltak har ført til økt vannkvalitet og forsurenings situasjonen bedres, kan vi ikke anbefale en vente- og sestrategi om målet er at laksen skal reetableres. Om en likevel skulle velge å ikke trappe opp kalkingen, bør en gjennomføre en løpende undersøkelse av de sure episodenes hyppighet og styrke ved at det etableres en pH-stasjon ved Rygene. Samtidig bør en undersøke hvordan laksesmolt reagerer på vannkvaliteten slik den utvikler seg i årene framover.

Summary

Title: Revised liming strategy for the Arendal watercourse

Year: 1999

Author: Hindar, A., Lamberg, A. (NINA) og Thorstad, E. (NINA)

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3715-1

This report has been produced by the Norwegian Institute for Water Research and the Norwegian Institute for Nature Research on request from the Board of liming of the Arendal watercourse. Evaluation of measures is based on existing liming, water chemistry and biological data from the last years, hydrology and regulation for production of hydroelectric power. Also, an evaluation of the potential for production of Atlantic salmon has been carried out. Recommendations are given.

If the aim of liming is reestablishment of a viable population of Atlantic salmon, the Arendal watercourse is not properly limed according to criteria set by the Directorate for Nature Management (DN) in Norway. Optimization may be achieved by the following measures:

- establishment of pH-governed limedoser at Åmli,
- establishment of pH-governed limedoser at Bøylefoss,
- use of liming criteria for salmon rivers set by DN,
- liming capacity of 60 tons/24 hours to meet requirements set by pH and runoff,
- reliming of Lake Nisser and Lake Fyresvatn if pH decreases to below 5.7 (by 2003),
- liming of subcatchments as supplement not alternative to limedosing in the main river,
- re-estimate water quality criteria for Atlantic salmon and
- go through the regulation licenses when possible

The potential for salmon production is estimated according to a literature review and inspection of the river. Adequate areas for spawning are few, and large bottom areas are covered by sand. If the total anadromous area and a smolt production of 3-6 smolts/100 m² is used, a potential smolt production of 96 000-190 000 is achieved. If only adequate spawning areas are used as basis together with a smolt production of 3-15 smolts/100 m², the potential production is reduced to 1 800-29 000 smolts. Large uncertainties are connected to these figures.

To achieve a strong, self reproducing salmon population a number of additional measures may be necessary:

- improvement of migration possibilities in the area of minimum water discharge in the regulated, stretch of Helle-Rygene,
- salmon ladder at Evenstad,
- reduction of the fraction of non-local Atlantic salmon,
- restauration of habitats to increase spawning areas and
- alternative management of the regulations for hydroelectric power to increase spawning sites

Additional liming will require large resources and the production of Atlantic salmon may be relatively low. However, reestablishment of salmon may be of great value even if the production is relatively low.

If no future increase of the operational liming is chosen, monitoring of water quality is recommended. Establishment of a pH meter at Rygene will reveal critical episodes for water quality and how these change in the future given the expected reductions of sulphur and nitrogen deposition. Also, monitoring of smolt quality in the expected suboptimal water quality should be carried out.

1. Innledning

Vassdragskalking i Norge ble igangsatt med statlige midler i 1983, men det var først etter betydelige økninger i tilskuddene midt på 1990-tallet at det ble aktuelt med kalking av større vassdrag. Kalkingsplanen for Nisser og Arendalsvassdraget av 1989 (Hindar 1989) forelå i så måte på et tidlig tidspunkt, og ble utarbeidet etter initiativ fra daværende næringskonsulent Arne Ettestad i Nissedal kommune. I 1995 ble det også gitt forslag til kalkingsstrategi basert på overskridelser av naturens tålegrenser framover mot 2010 (Kaste et al. 1995).

I utgangspunktet var Nisser mållokalitet i kalkingsplanen fra 1989, men på initiativ fra NIVA ble også resten av Arendalsvassdraget trukket inn i planarbeidet. Det var naturlig på grunn av Nisserkalkingens størrelse og kostnad. I planen ble det anbefalt en gradvis oppkalking av hele vassdraget, med start i Nisser og deretter oppkalking av Fyresvatn og Nesvatn. Siste fase ville være etablering av kalkdoserere i nedre del. Det ble imidlertid anbefalt å bruke vannkjemiske overvåkingsdata i en periode på minst ett år etter kalking av de tre innsjøene som grunnlag for å vurdere videre opptrapping (Hindar 1989).

I Arendalsvassdragets nedbørfelt er det gjennomført flere mindre kalkingstiltak fra 1983 og fram til dags dato. I 1998 ble hele 146 innsjøer på Telemarksiden av vassdraget kalket, men bare 10 i Aust-Agder. Men det var først i 1996 at første del av kalkingsplanen ble realisert, med oppkalking av Nisser. På grunn av den gode kalkoppløsningen og avgjørelsen om å kalke innsjøen i to omganger ble det brukt mindre kalk enn beregnet. Det var vel også noe av årsaken til at Fyresvatn ble kalket allerede året etter (høsten 1997). Parallelt med dette skjedde det en gradvis oppkalking av Nesvatn ved at innsjøer i Nesvatns nedbørfelt ble kalket.

Ved utgangen av 1998 hadde en så et vannkjemisk og biologisk datamateriale som kunne gi grunnlag for å vurdere videre opptrapping av kalkingen.

I denne rapporten har en blant annet tatt utgangspunkt i det ovennevnte materiale og hydrologiske data for å legge opp en kalkingsstrategi for lakseførende strekning. For å gi forvaltningen et bedre grunnlag til å bedømme kost-nytteeffekten ved ytterligere kalkingstiltak er det også gjort en vurdering av produksjonspotensialet for laks i vassdraget. En samlet anbefaling er så gitt.

2. Materiale og metoder

2.1 Vassdraget

Arendalsvassdraget er mer enn 200 km langt og dermed Norges 8. lengste (Simonsen 1995). Det har sine kildeområder i Vest-Telemark og renner ut ved Arendal i Aust-Agder (Figur 1, se også Figur 9). Data for vassdraget er gitt i Tabell 1 - Tabell 3.

Nedbørfeltarealet til utløpspunktene for de tre store innsjøene utgjør 2220 km² (56 %) av hele nedbørfeltet. På strekningen fra innsjøene og ned til Åmfoss kraftverk ved Åmli er det et lokalfelt på 948 km². Fra Åmfoss til Rygene er lokalfeltet 788 km². Rorefeltet i nedre del kommer inn på den lakseførende strekningen oppstrøms Rygene og utgjør 193 km².

Vassdraget er sterkt regulert, som det framgår av Tabell 1 og også av kapittel 5, som omhandler kraftregulering, hydrologiske og vannkjemiske forhold. Rygene kraftverk er sentralt plassert i forhold til oppvandring av laks og påvirker hydrologien på lakseførende del. Det nåværende kraftverket ble tatt i bruk i 1979. Kraftverket utnytter et fall på ca 38 m fra inntaket ved Rygene dam og til utløpet ved Helle, som ligger på tilnærmet havnivå. Kraftverket har én kaplanturbin med en kapasitet på 170 m³/s.

I Rygenefossen ble det bygd laksetrapp i forbindelse med kraftutbygging i 1909 og ny trapp i 1914 (Matzow 1995). Trappa ble bygd om i forbindelse med bygging av nye Rygene kraftverk i 1979. I forbindelse med bygging av ny dam ble det åpnet ny laksetrapp igjen i 1991, med fiskesluse inne i dammen (Simonsen 1993).

Minstevannføring i elvas hovedløp mellom Rygene og Helle er i gjennomsnitt 5 m³/s fra 1. mai til 30. september og 1 m³/s resten av året. Gjennomsnittlig vannføring på 5 m³/s er oppnådd ved å slippe 3 m³/s i tillegg til lokkeflommer 4 dager per uke (Matzow 1995). Registrering av radiomerket laks har vist at laksen forsinkes ved kraftverksutløpet ved Helle og i minstevannføringsløpet mellom Helle og Rygene ved en minstevannføring på 3 m³/s (Thorstad et al. 1998). Av 17 radiomerkede laks passerte til laks aldri minstevannføringsløpet ved Helle og ingen passerte dammen ved Rygene. Laksen oppholdt seg i lange perioder inne i kraftverkstunnelen (Thorstad et al. 1998).

Tabell 1. Generelle data for Arendalsvassdraget hentet fra Hindar (1999). Nedbørfeltarealet her gjelder for vassdraget helt ut til sjøen, mens nedbørfeltet til Rygene (3956 km²) er brukt som grunnlag for beregninger i rapporten.

<i>Vassdragsnr:</i>	019
<i>Fylker:</i>	Telemark og Aust-Agder
<i>Areal, nedbørfelt:</i>	4025 km ²
<i>Regulering:</i>	Sterkt regulert (Nisser, Fyresvatn, Nesvatn, flere elvekraftverk på strekningen Nisser-Rygene)
<i>Spesifikk avrenning:</i>	28,3 l/s/km ²
<i>Middelvannføring:</i>	115 m ³ /s
<i>Kalket siden:</i>	Gradvis opptrapping lokalt, men hovedplan med Nisser i 1996.
<i>Lakseførende strekning:</i>	22 km til Eivindstad kraftverk, men vandringshinder og -forsinkelse ved Helle/Rygene pga lav vannføring, feilvandring til omløpstunnel, trefiberutslipp og gassovermetning.

Tabell 2. Arealer oppstrøms sentrale punkter i vassdraget med normalavrenning.

Plassering i vassdraget	Ovenforliggende areal, km ²	Årlig middelavrenning, mill. m ³	NVE-stasjonsnummer
Haukerhøl, utløp Nisser	1083	915	525
Haugsjå, utløp Fyresvatn	1065	1060	912
Jørundland, utløp Nesvatn	345	376	938
Åmfoss, kraftverket i Åmli	3168	2960	223
Evenstad, nedstrøms Nelaug	3514	3350	334
Lundemølle ved Rygene	3956	3720	518

Tabell 3. Data for de store innsjøene.

Innsjø	Overfl. areal, km ²	Volum, mill. m ³	Middeldyp, m	Nedbørfelt-areal, km ²	Opph.tid, år
Nisser	77	7340	95	1083	8
Fyresvatn	51	7140	140	910	8
Nesvatn	17	850*	50 (anslått)	226	3*

* forutsetter at middeldypet er 50 m.

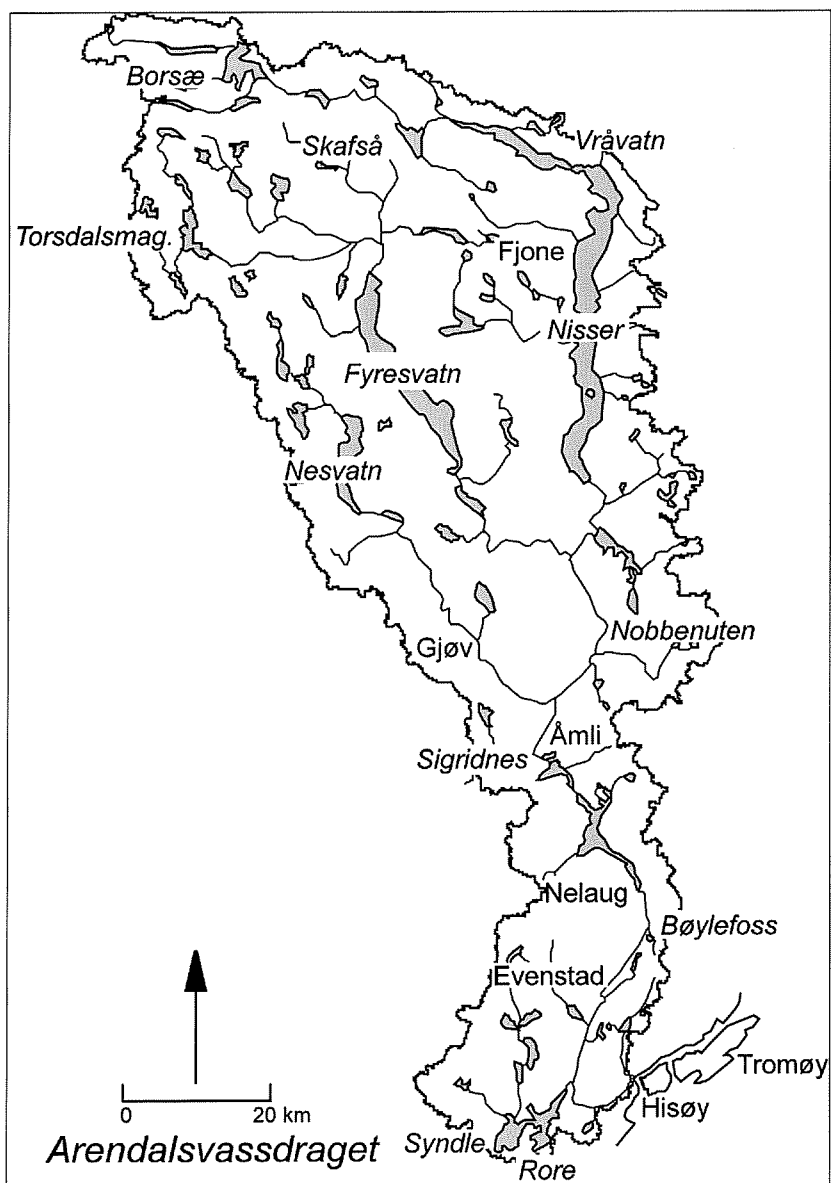
I 1998 ble 10 (hvorav 3 i Rorevassdraget) innsjøer i Aust-Agders del av Arendalsvassdraget kalket med tilsammen 752 (hvorav 630 i Rorefeltet) tonn NK3 kalk (86% CaCO₃). I Rorevassdraget ble det dessuten doserererkalket med 532 tonn kalk. 146 innsjøer i Telemark ble kalket med tilsammen 934 tonn NK3 kalk (86% CaCO₃).

2.2 Fiskebestander

Nidelva var fra gammelt av ei god lakseelv, men laksefangstene i Nidelva avtok jevnt allerede før århundreskiftet. Det var ikke unormalt med årsfangster på 8-10 tonn laks i årene etter 1886, mens etter 1930 ble det med få unntak fanget mindre enn ett tonn laks årlig. På slutten av 1960-tallet var laksen nesten helt borte. Nedgangen i laksefangstene skyldes hovedsakelig sur nedbør og kraftutbygginger (Matzow 1995). På 1980- og 1990-tallet har det vært oppvandring av laks av ukjent opprinnelse i Nidelva, men på grunn av sur vannkvalitet er det lite sannsynlig at elva har en egen selvreproduserende stamme (Sættem og Boman 1985, Matzow 1995, Simonsen 1995).

Lakseførende strekning var fra gammelt av opp til Bøylefoss, ca 40 km fra sjøen. De viktigste gyteområdene lå nedenfor Rygenefossen (Landmark 1876). Rygenefossen ble bare enkelte år forsert av laks; på meget høy og meget lav vannføring, neppe oftere enn hvert 5. år (Landmark 1876). I forbindelse med kraftutbygging ble det bygd laksetrapp i Rygenefossen (Matzow 1995). I årene 1992-1997 passerte i gjennomsnitt 133 laks (variasjonsbredde 85-178) og 34 sjørret (variasjonsbredde 14-49) fiskeslusa i Rygenefossen (Dag Matzow pers. med.).

I tillegg til laks er det bestander av sjørret (*Salmo trutta*), stasjonær ørret (*Salmo trutta*), sik (*Coregonus lavaretus*), abbor (*Perca fluviatilis*), suter (*Tinca tinca*) og gjedde (*Esox lucius*) i Nidelva. Ål (*Anguilla anguilla*) og niøye (*Petromyzonidae*) vandrer også opp i elva. Elva er tidevannspåvirket opp til Helle, og saltvannsfisk kan periodevis vandre opp dit.



Figur 1. Arendalsvassdraget med de tre store innsjøene i øvre del, Nelaug nedstrøms Åmli og Rorefeltet, som kommer inn fra vest.

2.3 Eksisterende data

Det finnes relativt mange undersøkelser fra Arendalsvassdraget, spesielt fra de siste årene. I denne rapporten har vi lagt vekt på overvåkingsundersøkelsene i regi av Direktoratet for naturforvaltning. Også enkelte andre arbeider er referert. Vi har valgt å trekke ut hovedessensen i de ulike undersøkelsene i kapittel 3 og 4. De vannkjemiske data fra både den generelle overvåkingen av effekten av langtransporterte forurensninger (Rygene-stasjonen nederst i vassdraget) og kalkingsovervåkingen er bearbejdet ytterligere i denne rapporten.

Det foreligger store mengder hydrologiske data fra vassdraget, blant annet fordi reguleringen er omfattende. Slike data er velvillig stilt til disposisjon av Arendals Vasdrags Brugseierforening (AVB). Koplingen som er gjort mellom disse data og de vannkjemiske data har stått sentralt i prosjektet.

Data om kalkingsaktiviteter innenfor vassdragsområdet er gitt av Fylkesmannens miljøvernavdeling i begge fylkene.

2.4 Beregning av produksjonspotensialet for laks

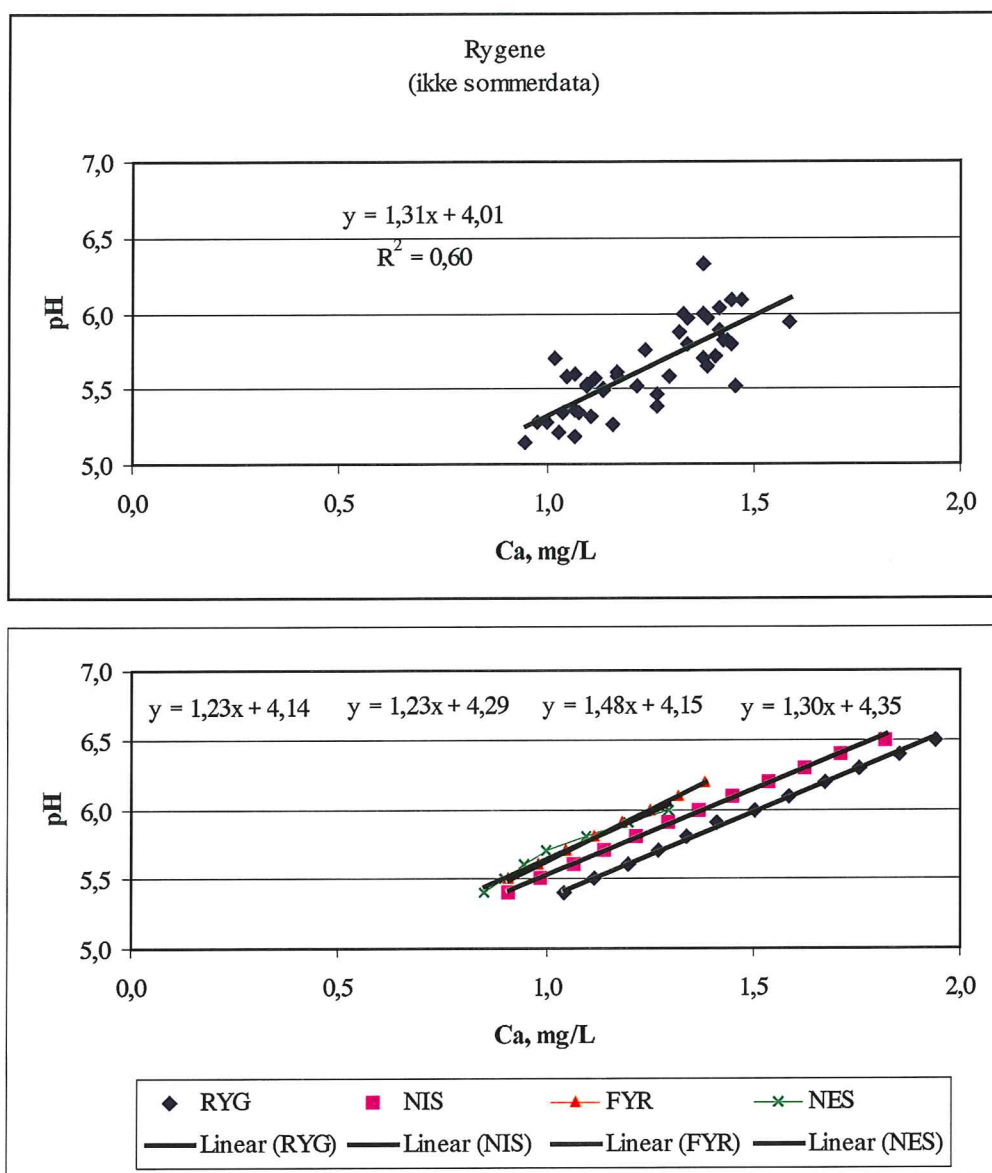
Kartlegging av gyte- og oppvekstområder i Nidelva ble utført på elvestrekningen fra Bøylefoss til Helle den 2. og 3. september 1999. En rekke små sidevassdrag ble tatt med. Fra Bøylefoss til Espeland ble elva undersøkt fra bredden. I området ved Espeland ble forholdene undersøkt fra overflaten ved hjelp av tørrdrakt og snorkel. Fra Espeland til Froland ble det benyttet båt og dykkermaske fra båt. Fra Froland til tilløpet fra Rore ble det registrert fra bredden. Fra Rore til dammen ved Rygene ble det benyttet båt, mens den siste strekningen fra Rygene til Helle ble undersøkt fra bredden. Vannføringen var ca 100 m³/s.

Vurderingen av områdene bygger på to viktige parametere; vannhastighet/dybde og bunnssubstrat. Vurderingene bygger i stor grad på erfaringer fra andre norske vassdrag. Arealene av gyte- og oppvekstområdene ble tegnet ned på økonomisk kartverk (målestokk 1:5000) og beregnet ved hjelp av millimeterpapir kopiert på transparent ark lagt oppå kartene. Resultatene er sammenlignet med arealet fra en tidligere undersøkelse, hvor vurderingen av områdene ble utført ved en befaring langs land (Simonsen 1995). Kartleggingen fra den tidligere undersøkelsen ble studert først etter egen befaring for ikke å være påvirket av disse resultatene.

2.5 Kalk- og kostnadsberegninger

Grunnlaget for kalk- og kostnadsberegninger er delvis redegjort for i teksten. Mens hydrologiske forhold er godt kjent, knytter det seg mer usikkerhet til forholdet mellom Ca og pH, som ligger til grunn for kalkberegningene. I **Figur 2** er ulike forhold mellom mg Ca/L og pH gitt. Rygene-kurven er basert på målte data for pH og Ca ved Rygene i perioden 1995-1998. I denne perioden har det vært en gradvis økning i begge variable og grunnlaget for å konstruere en kurve er relativt god. Fordelingen av punktene og en r²-verdi på 0.6 viser det. Det var i utgangspunktet en langt større variasjon i dette datasettet, men alle verdier fra sommermånedene juli, august og september ble tatt ut før beregningen ble gjennomført. Beregningen gjelder derfor for året med unntak av sommerperioden, men det gir et bedre grunnlag for å beregne kalkbehov i de kritiske periodene (vår og høst). Hvis sommerverdier for pH og Ca var blitt beholdt, ville kurven blitt brattere og beregnede kalkmengder for den viktige smoltifiseringsperioden (15. februar - 1. juni) for liten. Denne datasorteringen har derfor tjent to hensikter, nemlig å gi mindre variasjon i datasettet og et mer representativt grunnlag for beregninger.

Den nedre del av figuren er konstruerte sammenhenger basert på verdier før kalking og den Ca- og pH-økningen som er registrert i de store innsjøene og ved Rygene etter kalking. Ca-konsentrasjonen ved gitte pH-verdier er deretter brukt til å beregne CaCO₃/L og deretter kalkmengder.

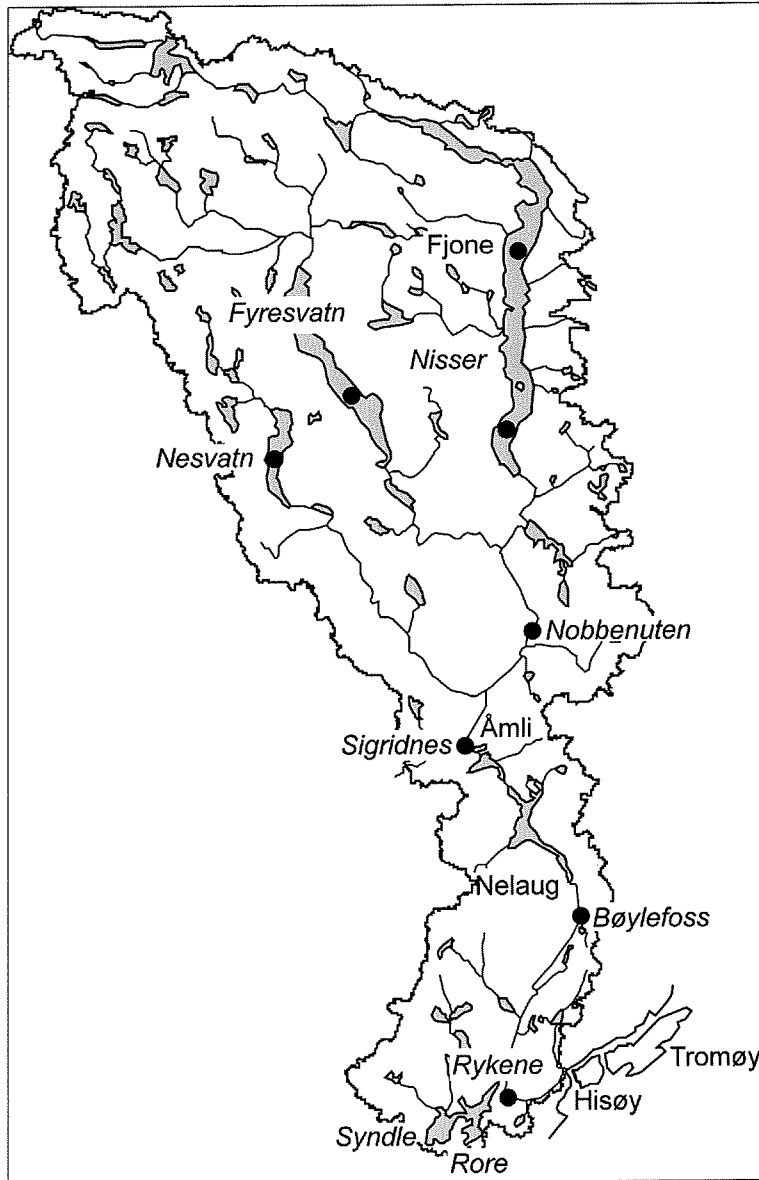


Figur 2. Forholdet mellom mg Ca/L og pH som ligger til grunn for beregning av kalkmengde ved gitte utgangsverdier og målverdier for pH. Øverste figur viser målte verdier av pH og Ca ved Rygene, mens nederste figur viser konstruerte sammenhenger mellom pH og Ca for de fire lokalitetene Rygene, Nisser, Fyresvatn og Nesvatn (likninger i samme rekkefølge fra venstre). Grunnlaget for disse kurvene er også målte verdier, men det er laget konstruerte sammenhenger som dekker et større pH- og Ca-område enn de målte for å kunne brukes til beregninger.

3. Vannkjemisk status

3.1 Vannkjemie

Dette avsnittet er delvis basert på årsrapporten for den vannkjemiske overvåkingsundersøkelsen i forbindelse med kalking (Hindar 1999) og det er også brukt data fra DN og SFT's overvåking av effekten av langtransporterte forurensninger (Rygene-stasjonen nederst i vassdraget).

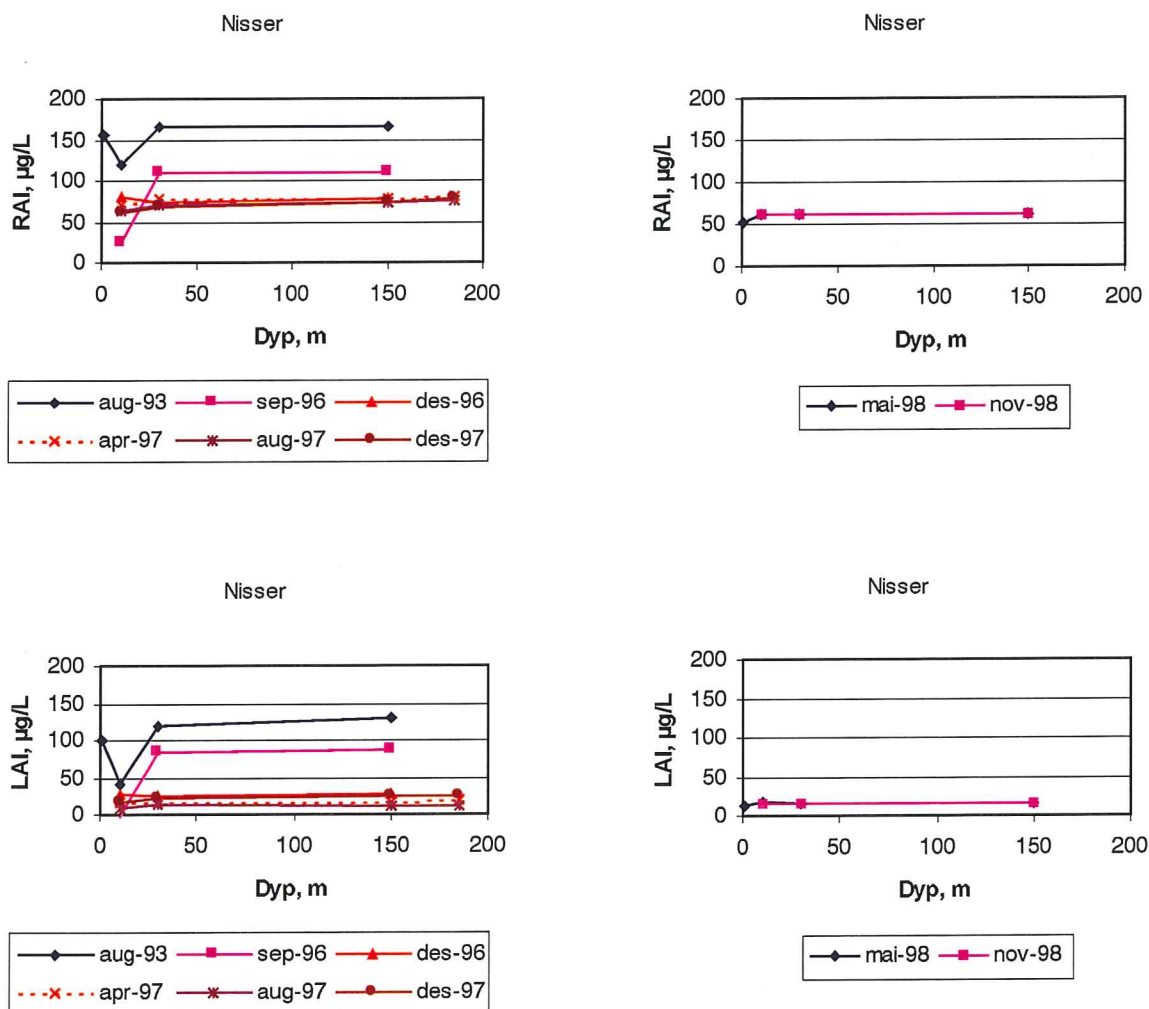


Figur 3. Nedbørfeltet til Arendalsvassdraget med prøvetakingsstasjoner for vannkjemie inntegnet.

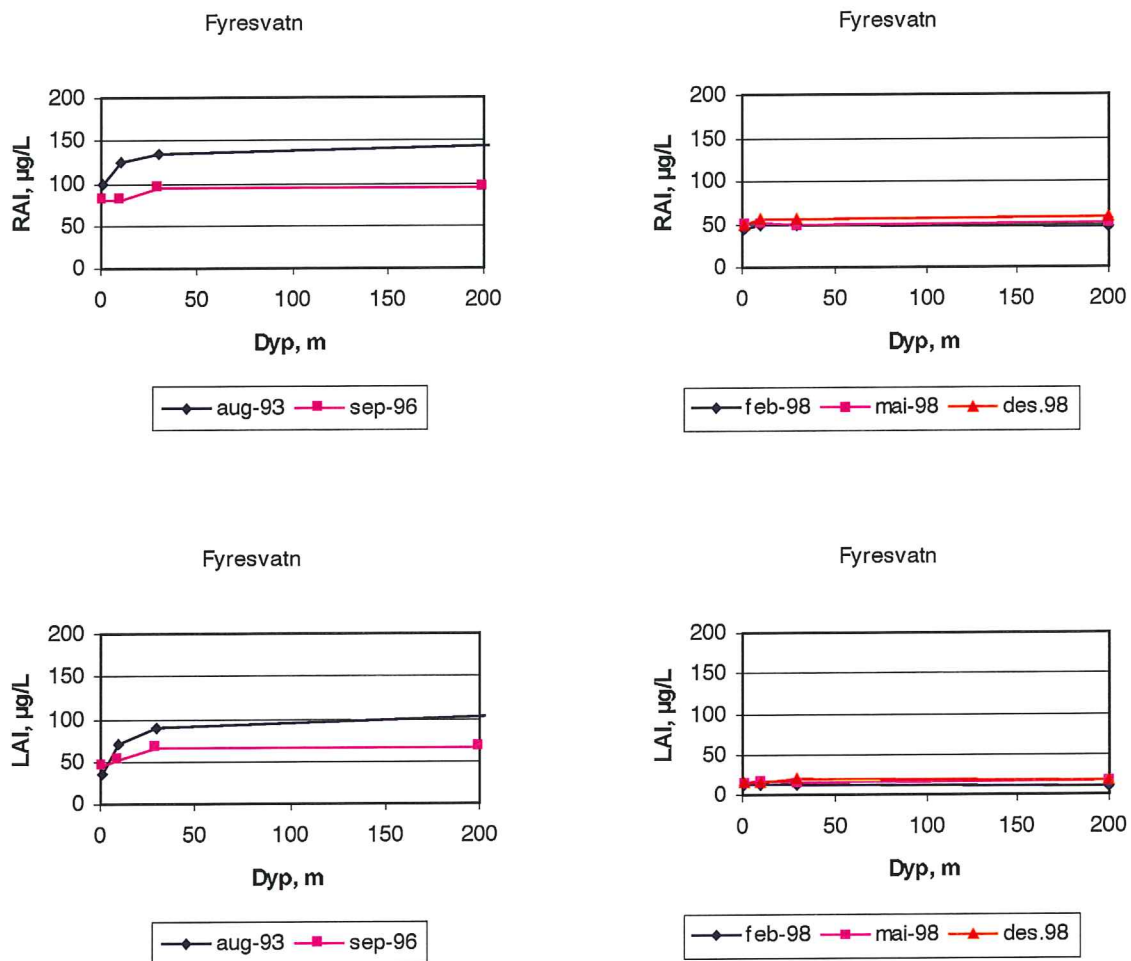
3.1.1 Nisser, Fyresvatn og Nesvatn

Vannkvaliteten i Nisser (pH og kalsium) var stabil i perioden etter kalking, noe som skyldes den lange oppholdstiden. Aluminiumskonsentrasjonen var lav, omlag 60 $\mu\text{g/L}$ RAl (reaktivt Al) og 15 $\mu\text{g/L}$ LAI (Labilt Al). Det har vært et betydelig avtak, omlag en halvering, i konsentrasjonen av RAl fra årene før kalking, gjennom kalkingsperioden og fram til høsten 1998, se **Figur 4**. Innsjøbassenget ser derfor ut til å fungere som et sedimentasjonsbasseng for aluminium, slik at Al-transporten ut av Nisser er blitt sterkt redusert. Fyresvatn hadde i 1998 samme pH som Nisser, noe høyere alkalitet, mens Ca-konsentrasjonen var 0.1 mg/L lavere. RAl-konsentrasjonene var enda lavere enn i Nisser (50-55 $\mu\text{g/L}$), men reduksjonen den samme, se **Figur 5**.

I begge disse innsjøene var det også en betydelig reduksjon i aluminium fra 1993 til 1996 (før kalking). Det skyldes både en viss økning i pH, men trolig også en betydelig endring i forurensingssituasjonen, med mindre tilførsler fra nedbørfeltet. I Fyresvatn ble sulfatkonsentrasjonen redusert fra 3 til 2,5 mg/L på tre år, og for at det skal kunne skje må tilførselen av sulfat ha avtatt sterkt i dette området. For Nisser var endringen fra 3 til 2.7-2.8 mg/L.



Figur 4. Vertikal fordeling av reaktivt (RAI) og labilt (LAI) aluminium i Nisser før (august-93 og september-96) og etter kalking.



Figur 5. Vertikal fordeling av reaktivt (RAI) og labilt (LAI) aluminium i Fyresvatn før (august-93 og september-96) og etter kalking.

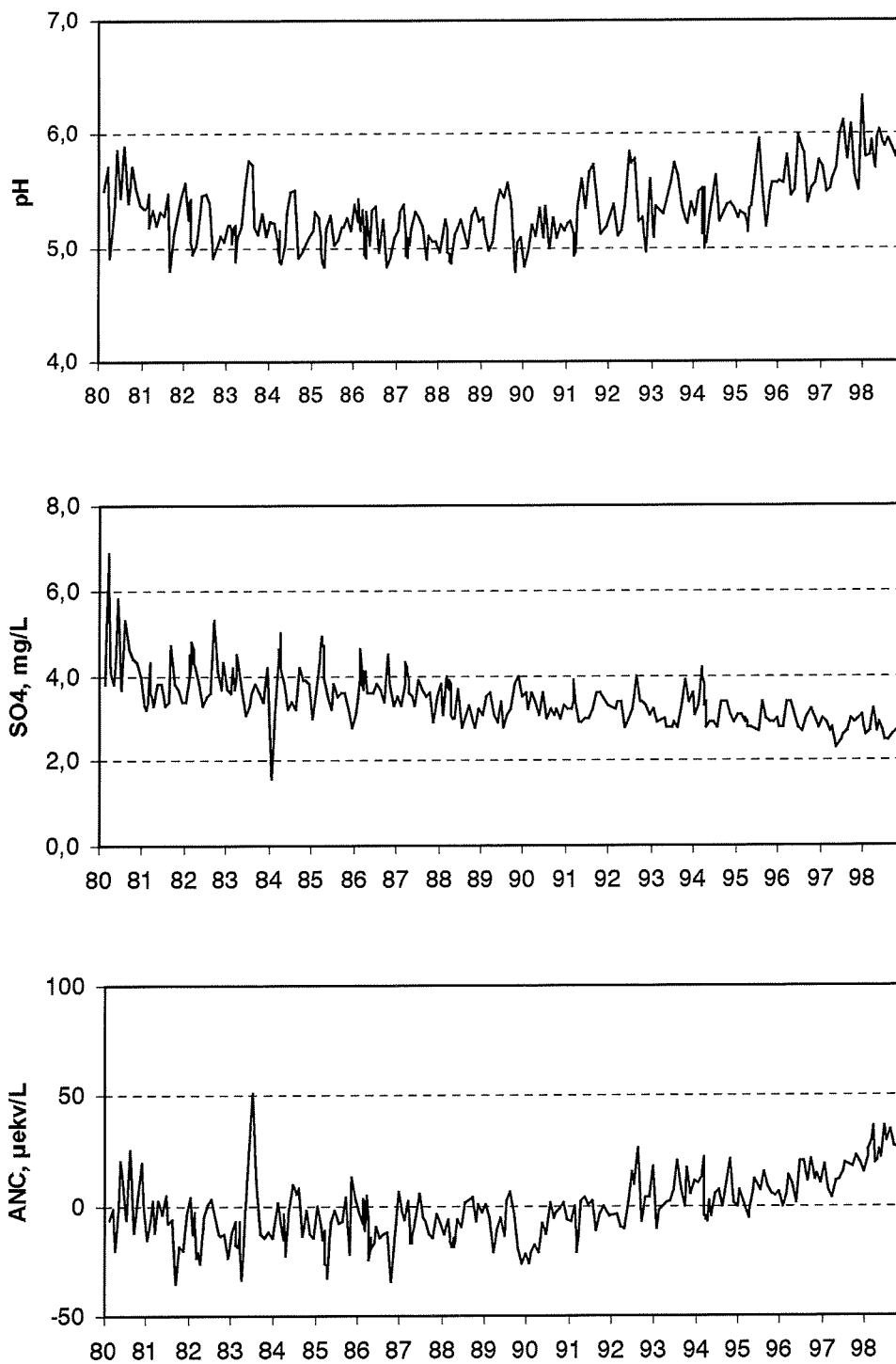
Nesvatn forbedret sin vannkvalitet fra 1996 til 1998, og pH i de øverste 10 meterne økte fra 5.75-5.85 i 1996 til 5.85-5.90 i 1998. Kalsiumkonsentrasjonen var økt merkbart, fra 0.95 mg/L i 1996 til 1.2 mg/L i 1997, men gikk noe ned igjen i 1998 (omlag 1.1 mg/L den 1. desember). Alkaliteten i Nesvatn på seinhøsten 1998 var 19 µekv/L, men den var 16 µekv/L i Nisser og 23 µekv/L i Fyresvatn. Konsentrasjonen av aluminium var omlag som for de andre innsjøene, men en klar reduksjon var allerede inntrådt i 1996 som resultat av kalking oppstrøms Nesvatn. Mens TOC-konsentrasjonen har økt i Nesvatn i hele perioden siden 1993, er det vanskelig å se noen systematisk endring for de to andre innsjøene.

3.1.2 Nidelva og sidefelt

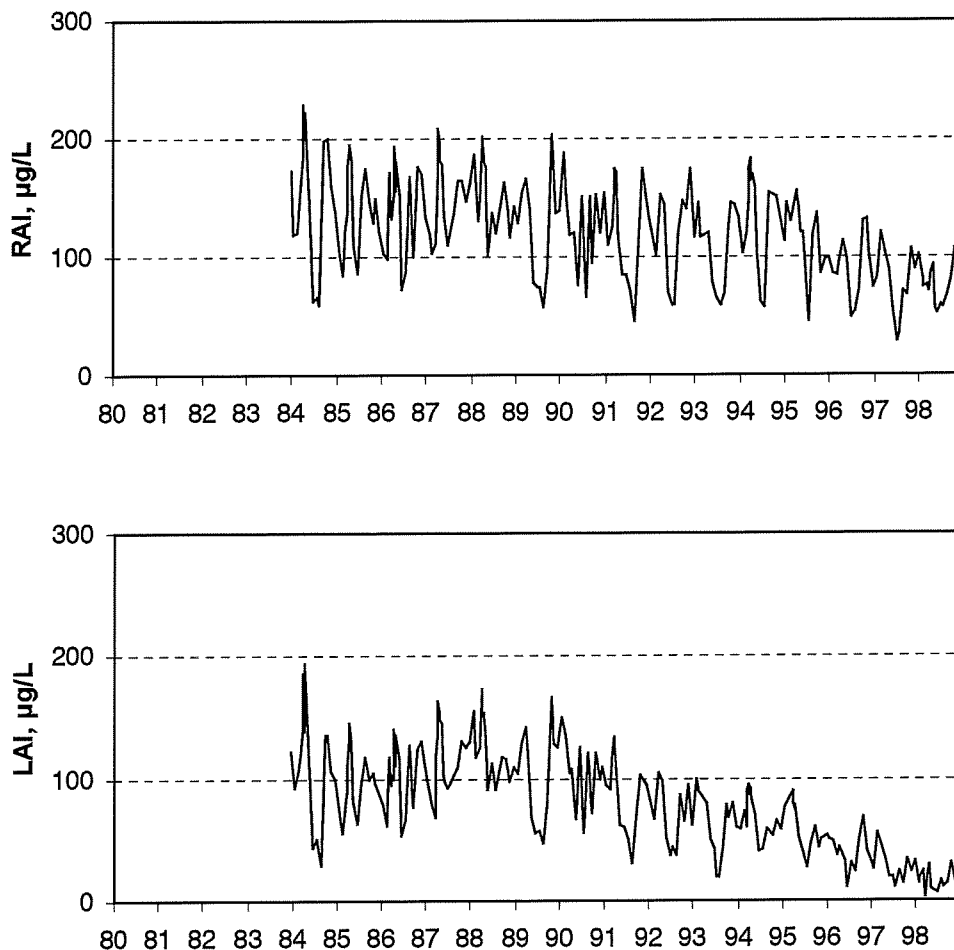
Siden 1970 er det foretatt regelmessige målinger av pH ved Rygene, men allerede i 1965 ble det innledet et vannkjemisk prøvetakingsprogram. Hyppigheten var imidlertid noe sporadisk de første fem årene. Fra 1980 har vassdraget inngått i SFT/DN's overvåkingsprogram og flere måleparametre kom da inn i programmet og ANC kan beregnes. Fra 1984 foreligger det data for aluminiumsfraksjoner.

pH, sulfatkonsentrasjon, ANC og Al-fraksjoner er vist i **Figur 6** og **Figur 7**. Perioden 1980-1998 kan grovt sett deles i tre. På 1980-tallet var vannkvaliteten relativt stabil, med pH mellom 5 og 6, men med

episoder der pH kom ned mot 4.8. Også i tiåret før var pH i dette området, med en tendens til noe høyere maksimumsverdier og lave verdier på slutten av tiåret. På slutten av 1980-tallet var pH i en lang periode under 5.5. Sulfatkonsentrasjonen var relativt høy (3.8 mg/L i middel) og 90 % av ANC-verdiene var under $-4.4 \mu\text{ekv/L}$ ($-8.3 \mu\text{ekv/L}$ i middel).



Figur 6. Utviklingen i pH, sulfat og ANC i perioden 1980-1998. Data fra DN og SFT's overvåkingsprogram.



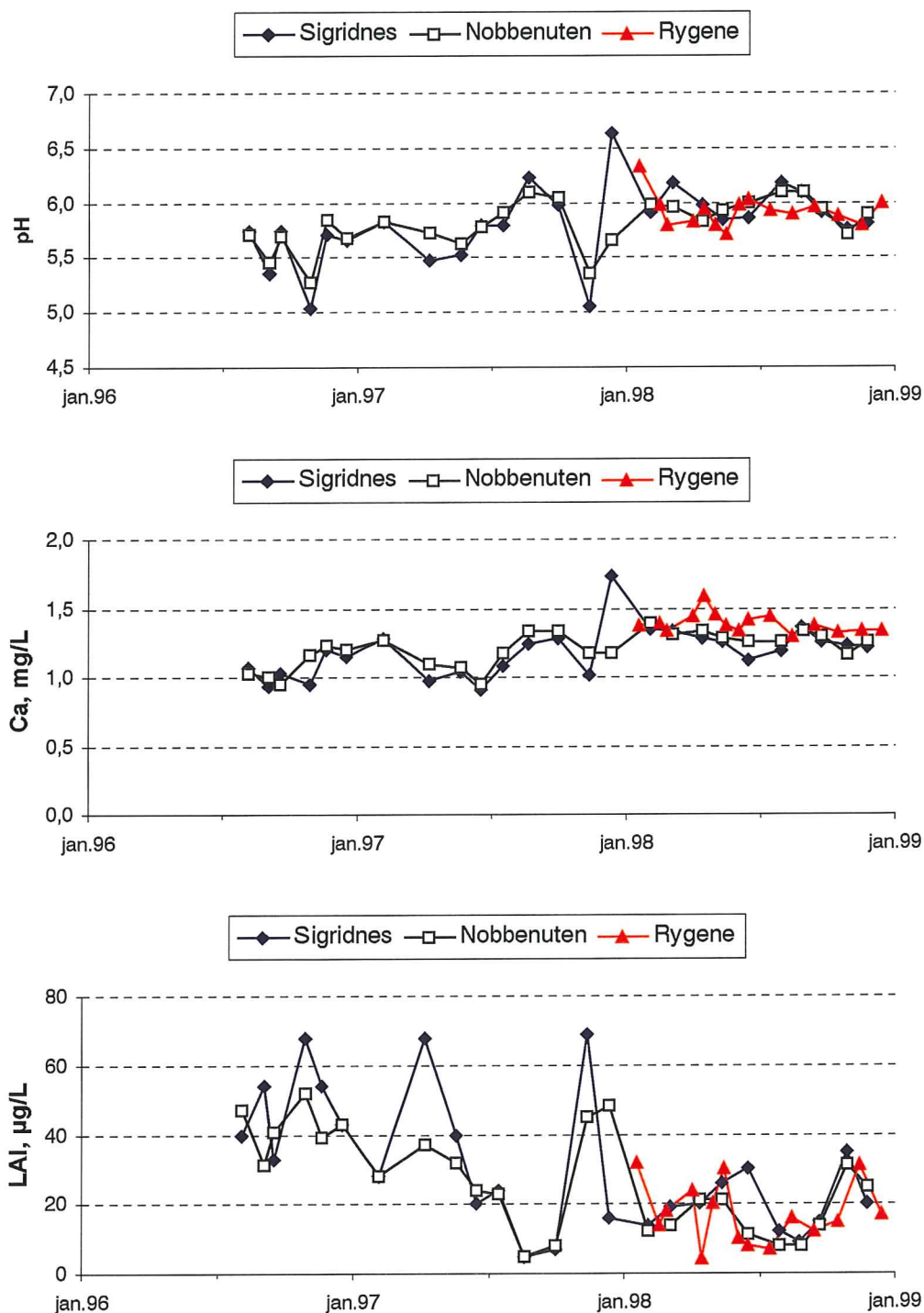
Figur 7. Utviklingen i reaktivt og labilt aluminium i perioden 1980-1998. Data fra DN og SFT's overvåkingsprogram.

Neste periode er fra ca. 1990 og fram til 1997, dvs. perioden fram til effekten av Nisserkalkingen satte inn. Sulfatkonsentrasjonen ble signifikant redusert ($p < 0.05$) i forhold til forrige periode på grunn av utslippsreduksjoner og både pH og ANC økte signifikant ($p < 0.05$). Fra 1993 har ANC stort sett vært over $0 \mu\text{ekv/L}$. I denne perioden var det også en signifikant reduksjon i reaktivt og labilt aluminium (**Figur 7**). Middelkonsentrasjonen (med standardavvik) av RAl ble endret fra $146 \pm 40 \mu\text{g/L}$ til $119 \pm 37 \mu\text{g/L}$, mens LAl ble endret fra $112 \pm 33 \mu\text{g/L}$ til $72 \pm 30 \mu\text{g/L}$.

Hele forsuringssituasjonen var derfor i ferd med å skifte karakter da kalkingen av Nisser ble gjennomført høsten 1996. Fra 1997 har endringene skjedd svært raskt og i denne siste perioden er pH økt til nær 6.0, ANC til over $20 \mu\text{ekv/L}$ og konsentrasjonen av labilt aluminium har vært mindre enn $55 \mu\text{g/L}$ de to siste årene og under $35 \mu\text{g/L}$ fra 15.5.97.

Figur 8 viser utviklingen i vannkvalitet på to elvestasjoner i vassdragets mellomparti (Nobbenuten og Sigridnes, se **Figur 3**) og ved Rygene på den anadrome strekningen. Kalkingen har bidratt til en vannkvalitetsforbedring på alle stasjoner, som var bedre i 1998 enn i 1997. Det gjenspeiles blant annet på alle de tre parametre som er vist i **Figur 8**. De to pH-droppene med tilhørende økning i labilt Al i

oktober 1996 og november 1997 skyldes ekstrem dominans av vann fra lokalfeltene i Åmliområdet, og er forklart nærmere i avsnitt 5.1.



Figur 8. Utvikling i pH, kalsium og labilt aluminium i Arendalsvassdraget. Prøvetaking er gjennomført oppstrøms Sigrindnes (bru for RV 41), ved Nobbenuten oppstrøms samløpet med Gjøv og ved Rygene nederst i vassdraget.

I 1998 var laveste målte pH-verdi ved Rygene 5.7. Bedringen skyldes at kalkingen av Fyresvatn ble avsluttet så seint som 1. desember 1997 og ikke ble registrert i vassdraget nedstrøms før ved prøvetakingen i 1998. Det er verdt å merke seg at konsentrasjonen av labilt aluminium (LAl) i 1998 ikke har vært over 40 µg/L. På anadrom strekning måles det imidlertid tidvis konsentrasjoner på 20-30 µg/L, f.eks. 15. mai 1998 da det ble målt 30 µg/L, og det antas at dette kan være kritisk for laksesmolt.

pH og TOC i sidegreiner ble målt i 1998 i forbindelse med rullerende overvåking av vannforekomstene i Aust-Agder (Kaste og Håvardstun 1999). Målte parametre, særlig nitrogen, fosfor og bakterier, skulle gi grunnlag for å bedømme forurensningssituasjonen med hensyn til påvirkning av husholdningskloakk og landbruksavrenning, og aluminium og hovedioner var ikke inkludert. Stasjonsnettet (Figur 9) omfattet både stasjoner i hovedelva (Nidelva oppstrøms Gjøv, ved Sigridnes, ved Fimland (Bøylestad), ved Furre bru og ved Rygene) og større tilførselselver (Gjøv, Songeelva, innløp Assevatn, utløp Trævatn (og utløp Uvatn høyere opp i dette vassdraget) og utløp Temse).

Sammenholdt med data for lokaltilsig og magasintapping oppstrøms Bøylefoss (data fra AVB, se kapittel 5) viser data fra denne undersøkelsen at vannkvaliteten i Nidelva til tider kan påvirkes sterkt av sidefeltene. Det skjedde f.eks. den 14.9.98, da lokaltilsiget var 105 m³/s og pH i Gjøv var 5.1. pH i Nidelva oppstrøms Gjøv og ved Sigridnes ble da redusert fra hhv. 6.27 og 5.97 (17.08.98) til hhv. 5.67 og 5.56. Magasintappingen var 52.5 m³/s og vannføringen ved Bøylefoss kraftverk ble 141 m³/s denne dagen. Lokaltilsiget hadde vært høyt de fire foregående dagene.

To interessante trekk ved de samme vannkjemiske dataene er at sidefeltene i slike situasjoner med mye nedbør bidrar med høye konsentrasjoner av organisk stoff, målt som TOC (totalt organisk karbon). Det motvirker giftvirkning av aluminiumstilførselen fordi aluminium bindes til det organiske stoffet. Det andre er at innsjøen Nelaug og sannsynligvis tilførsler fra sidefeltene lengere nedover i vassdraget demper pH-reduksjonen. Ved stasjonene nedstrøms Nelaug var pH 5.78 den 15.9.98 (ved Bøylestad), 5.87 ved Løddesøl (Furre bru) og den 17.09.98 var pH 5.9 ved Rygene. I denne perioden må det antas at avrenningen også fra de nedre sidefeltene var stor. Den 15.09.98 var pH i Songeelva og utløp Trævatn hhv. 5.55 og 5.83. TOC-konsentrasjonen i Songeelva økte til 10 mg/l, men fra et relativt høyt nivå. pH i Songeelva var forøvrig over 6.0 ved de andre fem prøvetakingene i 1998.

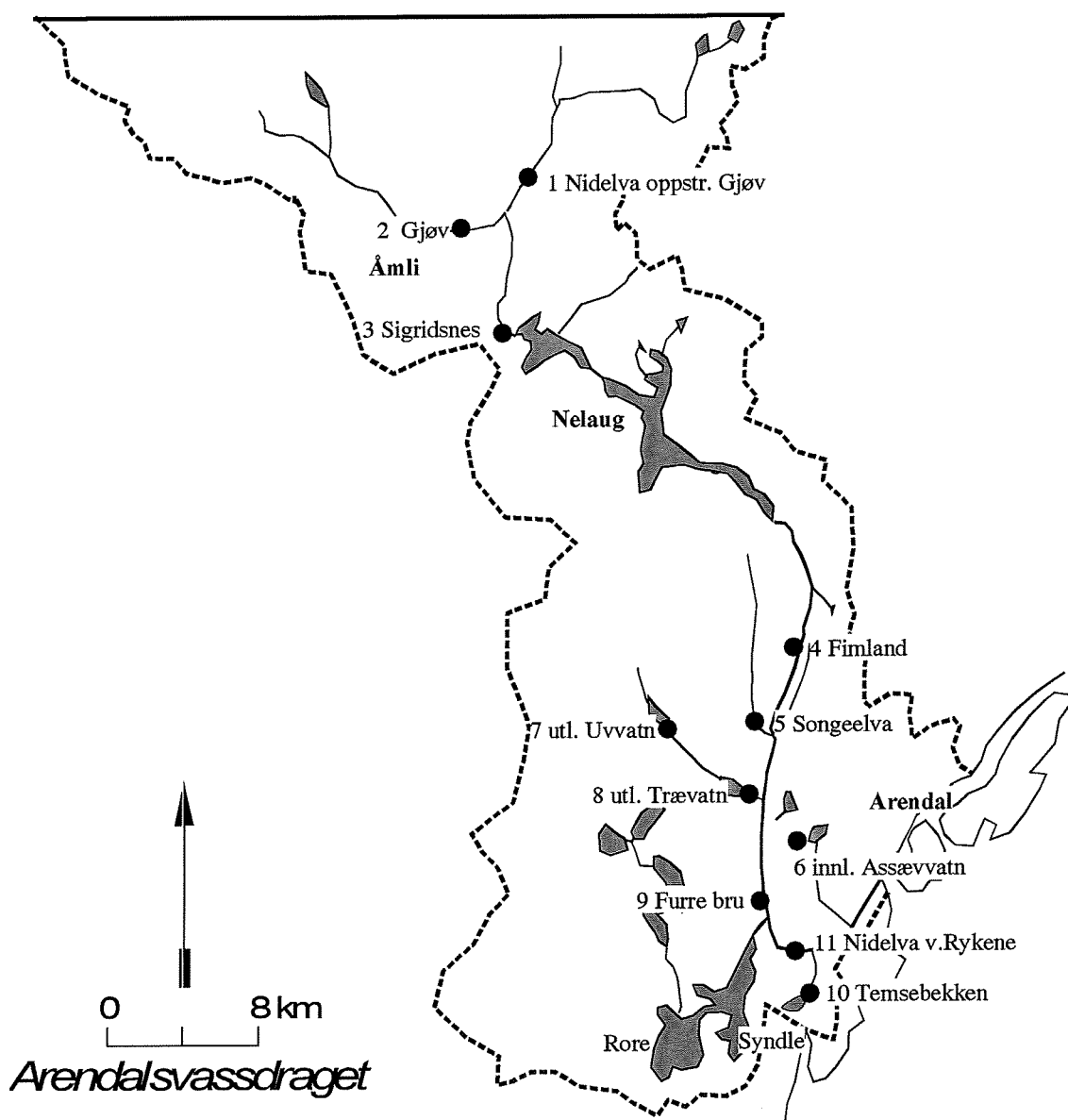
3.2 Generell vurdering av vannkvalitet

3.2.1 Endring fram til idag

Vannkvaliteten i Arendalsvassdraget er endret gjennom de 20 siste årene, dels på grunn av redusert svovelnedfall og dels på grunn av kalking. Svovelnedfallet i Norge er i perioden 1980-1997 redusert med 40-60 % og sulfatkonsentrasjonen i elver, innsjøer og avrenningsvann fra feltforskningsområder er i samme periode redusert med 30-40 % (SFT 1998).

Fra perioden 1980-1990 og fram til perioden 1997-1998 er midlere sulfatkonsentrasjon redusert fra 3.81 mg/L til 2.77 mg/L. Det tilsvarer 27 % reduksjon. I nabovassdraget Tovdalsvassdraget, som ikke har innsjøer med lang oppholdstid, er reduksjonen 32 %. Det vil si at en kan regne med at innsjøbassengene forsinker bedringen noe og at ytterligere forbedring kan forventes som resultat av den reduksjonen i svovelnedfall en allerede har dokumentert. Faseforskyvningen tilsvarer en ANC-forskjell på 4 µekv/L eller noe over ett års forsinkelse om en sammenlikner med den årlige bedringen i ANC i perioden 1990-1996. Om noe av forskjellen skyldes geografiske forhold, vil denne betraktningen bli av mindre verdi, men oppholdstiden til Nisser og Fyresvatn er ca. 8 år, og dette vil helt klart ha effekt på grad av endring i avrenningsvannet.

I Arendalsvassdraget er også aluminiumskonsentrasjonene redusert i perioden før kalking. Det skyldes både økningen i pH, men trolig også redusert transport av aluminium til vassdraget fra terrenget. Når sulfatnedfallet avtar, blir den drivende kraften som de sterke syrene representerer svekket, presset på buffersystemene avtar og mobiliseringen av H⁺ og aluminium kan reduseres. I Tovdalsvassdraget er det til sammenlikning registrert en tilsvarende reduksjon i både reaktivt og labilt aluminium før kalking.



Figur 9. Nedre del av Arendalsvassdraget med prøvetakingsstasjoner som inngikk i rullerende overvåking i Aust-Agdervassdrag (fra Kaste og Håvardstun 1999).

Kalkingen av Nisser, Fyresvatn og nedbørfeltet til Nesvatn har gitt en klar forbedring i vannkvalitet både i de store innsjøene og i vassdraget helt ned til anadrom strekning ved Rygene. At omlag to tredeler av vannmengdene passerer store innsjøer med lang oppholdstid gjør at vannkjemien er stabilisert og tilførselene av uorganisk aluminium er minimalt til Nidelva. Jokeren her er imidlertid tappingen av disse innsjøene, som jo også er reguleringsmagasiner for kraftverkene. I perioder med lite avrenning fra innsjømagasinene vil vannkvaliteten i lokalfeltene kunne dominere i elva og da kan plutselig konsentrasjonen av labilt aluminium bli høy. Det viser **Figur 8**. En nærmere vurdering av disse forholdene og muligheten for å manøvrere vassdraget etter vannkvalitet er gitt i kapittel 5.

Fordi bufferkapasiteten er liten og fordi det ikke er kalkdosering i vassdraget nedstrøms de store innsjøene, er det sannsynligvis fortsatt fare for gjennombrudd av dårlig vannkvalitet. Slike episoder ble imidlertid ikke registrert ved de månedlige (eller tidvis noe hyppigere) prøvetakingene i vassdragets mellomparti eller ved Rygene i 1998. I årene framover vil vannkvaliteten trolig forbedres ytterligere fordi full effekt av svovelreduksjonen ikke er oppnådd og fordi det trolig også kan forventes en videre reduksjon i svovelnedfallet.

I 1998 var vannkvaliteten i Rore blitt så mye forbedret at tilløpet herfra til anadrom strekning trolig er uproblematisk for laksen. pH var omlag 6.0, ANC 20 $\mu\text{ekv/L}$ og labilt Al var under 25 $\mu\text{g/L}$ (Kaste og Walseng 1999, upublisert). Vannkvaliteten i dette sidevassdraget er gradvis forbedret og 1998 var i så måte det beste året hittil etter at kalkingstiltakene kom igang på slutten av 1980-tallet.

3.2.2 Framtidig endring basert på gjennomførte kalkingstiltak

Basert på den vannkjemien som er målt fram til 1998 og framtidig endring i effekt av de kalkingstiltak som er gjennomført, er det mulig å gjøre beregninger for den utviklingen av vannkvaliteten i hele vassdraget. En slik beregning er gjennomført. Elementene består av følgende:

- vannkvaliteten i Nisser og den fortykning, og dermed reduksjon i kvalitet, en kan forvente i årene framover,
- vannkvaliteten i Fyresvatn og den reduksjonen i kvalitet en kan forvente i årene framover,
- stabil vannkvalitet i Nesvatn, basert på at oppstrøms kalkingsaktiviteter opprettholdes på 1997/1998-nivå,
- stabil vannkvalitet i Rore, basert på at oppstrøms kalkingsaktiviteter opprettholdes på 1997/1998-nivå,
- vannkvaliteten i øvrige tilløp, som er basert på en beregning av hva disse tilløpene samlet må bidra med for å gi dagens pH ved Rygene, gitt bidragene fra de kjente tilførselene nevnt over. Denne vannkvaliteten er enten holdt konstant eller variert for å se hvor sensitiv beregningen er for generell endring i vannkvalitet,
- vannmengder fra de respektive arealer og
- sammenhengen mellom Ca og pH i de ulike lokalitetene, basert på målte data

Beregningene av pH-utvikling er utført på grunnlag av beregnet endring i konsentrasjonen av kalsium over tid, og deretter er tilhørende pH beregnet for de enkelte innsjøer på bakgrunn av forholdet mellom målt pH og Ca i innsjøene (**Figur 2**). Via en transformering til H^+ -konsentrasjon og veiing av tilførselene i forhold til vannmengder, er så resultat-pH beregnet for Nidelva ved Rygene.

Figur 10 viser at vannkvaliteten i de to store innsjøene Nisser og Fyresvatn avtar gradvis, fra 1998-nivået med pH omkring 6.0, via pH 5.8 i 2002-2003 og til pH 5.5-5.6 i 2010. Dette gjelder hvis innsjøene ikke rekalkes og hvis forsuringssituasjonen ikke endres. Med en bedring i forsuringssituasjonen vil pH ikke reduseres så raskt og til så lavt nivå, men på grunn av innsjøenes svært lange oppholdstid, vil bedringene være atskillig langsommere her enn i andre innsjøer.

Forutsetningene om stabil vannkvalitet i Nesvatn og Rore er satt både fordi vi ikke vet med sikkerhet hvilke endringer en kan forvente og fordi det er sannsynlig at dagens kalkingspraksis ikke endres. Hvis den endres kan det være et resultat av mindre forsurening, men det antas at kalkingen likevel vil bringe pH opp til de nivåer som ble målt i 1998.

I neste avsnitt er den framtidige forsureningssituasjonen beskrevet i grove trekk. I den foreliggende beregning er pH i det store restfeltet (37 % av det totale nedbørfeltet) lagt inn med enten stabil vannkvalitet eller med en forbedring fram til 2010. I begge tilfeller er utgangspunktet for den videre utviklingen, nemlig situasjon i 1998, lagt til grunn. For å komme fram til den er det volumveide bidraget fra kjente tilførsler (Nisser, Fyresvatn, Nesvatn og Rore) trukket fra vannkvaliteten ved Rygene. Resten er tillagt restfeltet, som dermed har fått en midlere pH på 5.6. Beregningen av utviklingen ved Rygene er da enten gjort ved å holde fast ved pH 5.6 eller ved å endre den lineært (pH endres lineært, ikke H^+) til pH 5.9. Om pH 5.9 er realistisk i 2010 er ikke beregnet på noen måte, men gitt de relativt store forbedringer en har sett fram til 1998 og ytterligere reduksjoner i syrenedfall (se neste avsnitt), er verdien trolig i nærheten av det en kan forvente.

Basert på beregninger og forutsetninger nevnt over vil pH ved Rygene reduseres til nær 5.6 (pH i restfeltet holdt fast) eller 5.7 (pH i restfeltet endres mot 5.9 fram til 2010) i 2010. Dette danner utgangspunkt for å beregne kalkbehov for lakseførende strekning.

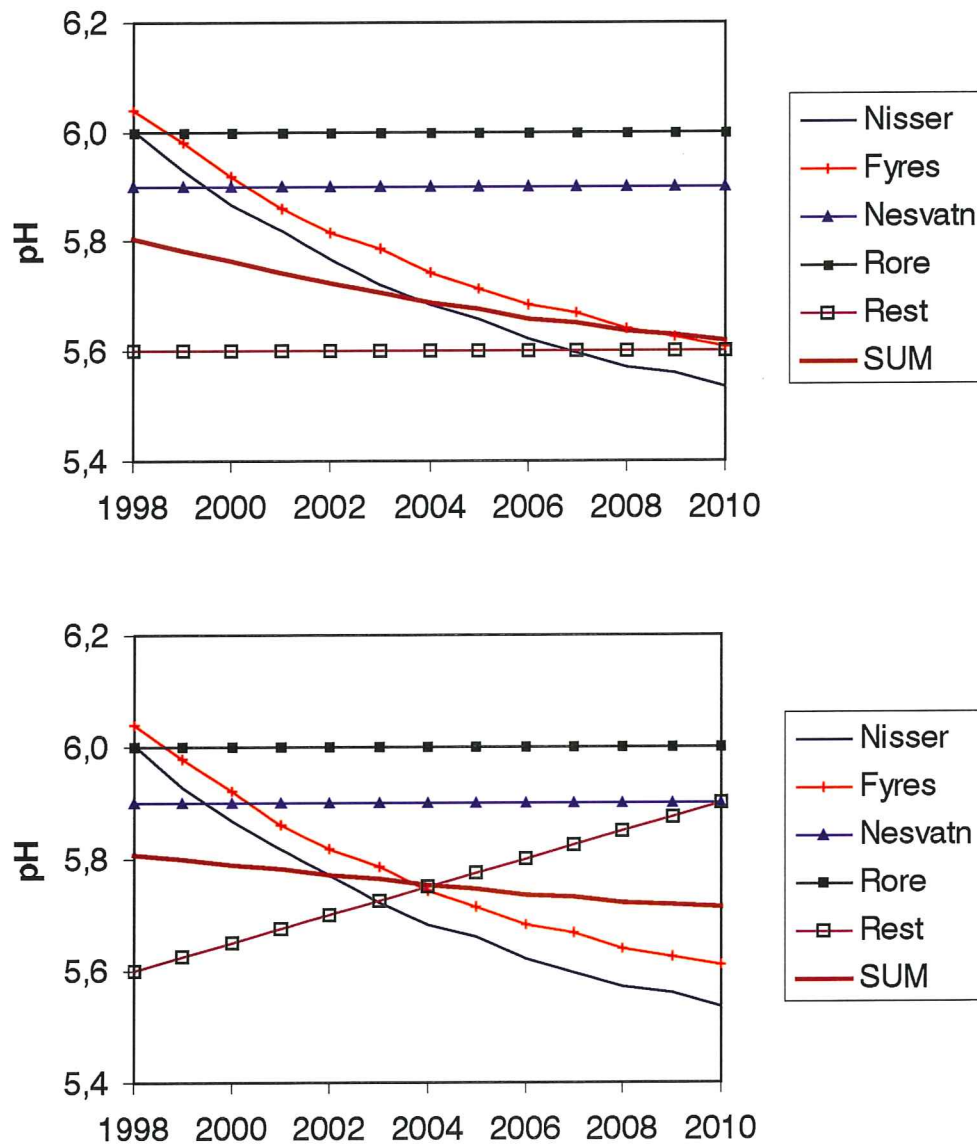
3.2.3 Endring basert på redusert deposisjon av svovel og nitrogen

De siste års endringer i svovelledfall skyldes flere forhold. Avtalen av 1994 om ytterligere reduksjon i svovelutslipp (den andre svovelprotokollen; Oslo-protokollen), men også endring i industristruktur (Øst-Europa) er viktige faktorer. Det er også knyttet stor optimisme til neste avtaleprotokoll (multiprotokollen), som trolig undertegnes i Gøteborg i desember 1999. Denne protokollen vil omhandle både svovel- og nitrogenutslipp, og vil gi en ytterligere reduksjon i begge og dermed en enda større generell forbedring i vannkvaliteten i Agder og Telemark fram mot og etter 2010. Begge protokoller vil ha 2010 som det året alle tiltak skal være gjennomført.

Ulike tidsforsinkelser vil gjøre seg gjeldende. Ved gitte nivåer av syrenedfall vil det finnes gitte vannkvaliteter, men naturen trenger tid til å komme i likevekt med nye nivåer og det vil derfor ta tid å nå disse vannkvalitetene. For Vikedalsvassdraget i Rogaland er det beregnet at det kan gå 10 år før sulfatkonsentrasjonen kommer i likevekt med nedfallet på grunn av tidligere svoveladsorpsjon i jordsmonnet, mens dette ikke i samme grad er tilfellet i Tovdalsvassdraget. I begge vassdrag vil ANC (syrenøytraliserende kapasitet) først være i likevekt 30-35 år etter 2010 (Wright og Henriksen 1999).

De to store innsjøene Nisser og Fyresvatn har oppholdstider på åtte år. Det vil si at kalkingen har en langvarig effekt, men det vil også si at den vannkvalitetsforbedringen en ser mange steder vil komme saktere i disse innsjøene. Om en f.eks. antar at Nisser og Fyresvatn var ukalket og pH idag var 5.4, ville det ta seks år å øke pH til 5.5 hvis vannkvaliteten i tilførselene umiddelbart ble endret til pH 5.6. Etter ti år ville pH fortsatt ikke ha kommet opp i 5.6. Dette ville først inntreffe etter over 20 år. Disse forholdene vil påvirke både behovet for rekalking i Nisser og den vannkvaliteten som føres ut av de to innsjøene.

Nisser og Fyresvatn er nå kalket og pH er nær 6.0 i begge to. Ved å endre pH i tilførsler til Nisser fra antatt nivå i dag på pH 5.45 og umiddelbart til 5.6, vil pH i 2010 bli redusert til 5.65, dvs. en tidels pH-enhet høyere enn uten denne endringen. Den samme relative endringen gjelder for Fyresvatn. Betydningen av disse bedringene for resultat-pH ved Rygene (Figur 10) er derfor marginal.



Figur 10. Beregninger av framtidig vannkvalitet (som pH), basert på effekten av gjennomførte kalkingstiltak og fast (øverst) eller økende (nederst) pH i restfeltet fram mot 2010. Se tekst for forutsetninger for utviklingen i de ulike lokalitetene.

4. Biologisk status

I dette kapittelet refereres det til avsnitt og konklusjoner fra overvåkingsundersøkelsene for biologi i forbindelse med kalking av Arendalsvassdraget. I DN's overvåkingsrapport (se Hindar 1999) er det gitt referanser til en rekke undersøkelser i vassdraget, og flere av opplysningene nedenfor er hentet fra disse.

4.1 Ungfiskundersøkelser av laks og aure

Det ble ikke registrert laksunger mellom Rygene og Helle ved elfiske i 1998 (Mejdell Larsen 1999). Det er bare i 1996 at laksyngel (tre individer) ble påvist på denne strekningen. Nedenfor Eivindstad derimot ble det fanget 30 laksyngel på stasjon 1 i 1998, noe som tilsvarer en tetthet på 21 individer pr. 100 m². I tillegg ble det påvist en ett-årig laksunge i det samme området. Utover dette ble det bare fanget en laksyngel på stasjon 3. I 1997 ble det til sammenligning bare fanget en årsyngel til sammen mellom Eivindstad og Rygene.

På 1980- og 90-tallet har det vært oppvandring av laks med ukjent opprinnelse i Nidelva, men på grunn av dårlig vannkvalitet i lang tid, og også på basis av andre undersøkelser, vurderer Mejdell Larsen (1999) det som lite sannsynlig at elva har en egen selvreproduserende stamme. I fiskeslusa ved Rygene dam passerte det i årene 1992-97 i gjennomsnitt 133 laks og 34 sjøaure. Årsaken til manglende reproduksjon synes å være forsurening, men også reguleringen påvirker i betydelig grad gytemulighetene, særlig på den 2,5 km lange strekningen fra Rygene til Helle hvor minstevannføringen om vinteren er lav. Laks og sjørretet forhindres/forsinkes også i oppvandringen på strekningen med minstevannføring opp til Rygene kraftverk, og i tillegg virker gassovermetning og trefiberutslipp negativt inn på oppvandringen. Også ovenfor Rygene er det stort sett begrensede gytemuligheter, i følge Mejdell Larsen (1999).

I årene 1989-92 hadde Nedenes laksestyre en midlertidig konsesjon for klekkeri i Nidelva. Det ble tatt stamfisk fra elva, men fiskens opprinnelse er uklar. I 1990-92 ble det satt ut 10 000 - 12 000 yngel i hvert av årene i sideelver i vassdraget. Det foregikk i 1999 ingen utsetting av laks eller ørret i vassdraget (Mejdell Larsen 1999).

Det ble ikke fanget eller observert ørretunger på strekningen mellom Rygene og Helle i 1998 (Mejdell Larsen 1999). På strekningen mellom Eivindstad og Rygene ble det fanget seks årsyngel på en av stasjonene, men ingen eldre ørret. Det var ingen endringer i tetthet sammenlignet med 1996 og 1997. Elva har aldri hatt mye sjørret, men noe går opp og gyter i et par sidebekker nedstrøms Rygene. Ovenfor lakseførende strekning mellom Bøylefoss og Eivindstad ble det fanget 14 ørretyngel og en eldre ørret i 1998. Dette er det samme resultatet som i 1997. Til tross for få registreringer viser det at ørret har hatt vellykket rekruttering på enkelte områder ovenfor Eivindstad i 1997 og 1998, og utbredelsen har økt noe sammenlignet med 1996.

Det ble gjennomført histologiske undersøkelser av gjeller fra ørret i 1997. Det ble påvist metallakkumulering i gjellene hos all fisk, men bare i sparsomme mengder i epitelet. En vet foreløpig ikke hvor stor en slik metallakkumulering må være for at den skal ha negative effekter på individ- og populasjonsnivå. Det er likevel antatt at all metallakkumulering i epitelet som blir påvist med histokjemiske metoder er et uttrykk for eksponering for en suboptimal vannkvalitet.

4.2 Invertebrater

Med unntak av noen nye arter som kom inn i vassdraget allerede i 1996, var det fortsatt små endringer i planktonet i Nisser og Nesvatn i perioden fra kalking til og med 1998 (Walseng 1999). Krepssdyr og bunndyrfaunaen i Nidelva var fortsatt forsuringsskadet i 1998 og det var særlig ved stasjonene nedstrøms Nisser at artssammensetningen av krepssdyrfaunaen bar preg av dette.

4.3 Makrovegetasjon og begroing

Brandrud (1999) konkluderte med at økt forekomst av enkelte forsuringfølsomme makrovegetasjonsarter kan indikere en begynnende re-etablering som følge av den markerte vannkvalitetsforbedringen i Arendalsvassdraget de seineste årene (kombinasjon av naturlig forbedring + kalking). Krypsivets vekst og vitalitet viste høy grad av likhet før og etter kalking av Nisser, noe som indikerer at kalkingen hittil har hatt en ubetydelig vekst-stimulerende effekt på krypsivet i vassdraget. Mosevegetasjonen på hurtigstrømmende partier oppviste også ubetydelige endringer i perioden 1996-98.

Det hadde ikke skjedd store endringer i begroingens arts mangfold eller mengdemessige forekomst etter kalking (Lindstrøm 1999). Vassdraget var fremdeles sterkt preget av massiv vekst av forsuringsbegunstigede alger, særlig i nedre deler. Svakt forsuringfølsomme arter hadde en viss forekomst i vassdragets øvre deler og hadde større forekomst ved Haugsjåsundet i 1998 enn i 1996. Ved Haukerhyl var det etablert en karakteristisk "algefiltmatte" og unormalt kraftige cellevegger med avleiringer av jernholdig materiale på visse trådformede grønnalger ble observert ved Haugsjåsundet.

5. Muligheter for vannkvalitetstilpasset manøvrering av reguleringene i vassdraget

5.1 Innledning

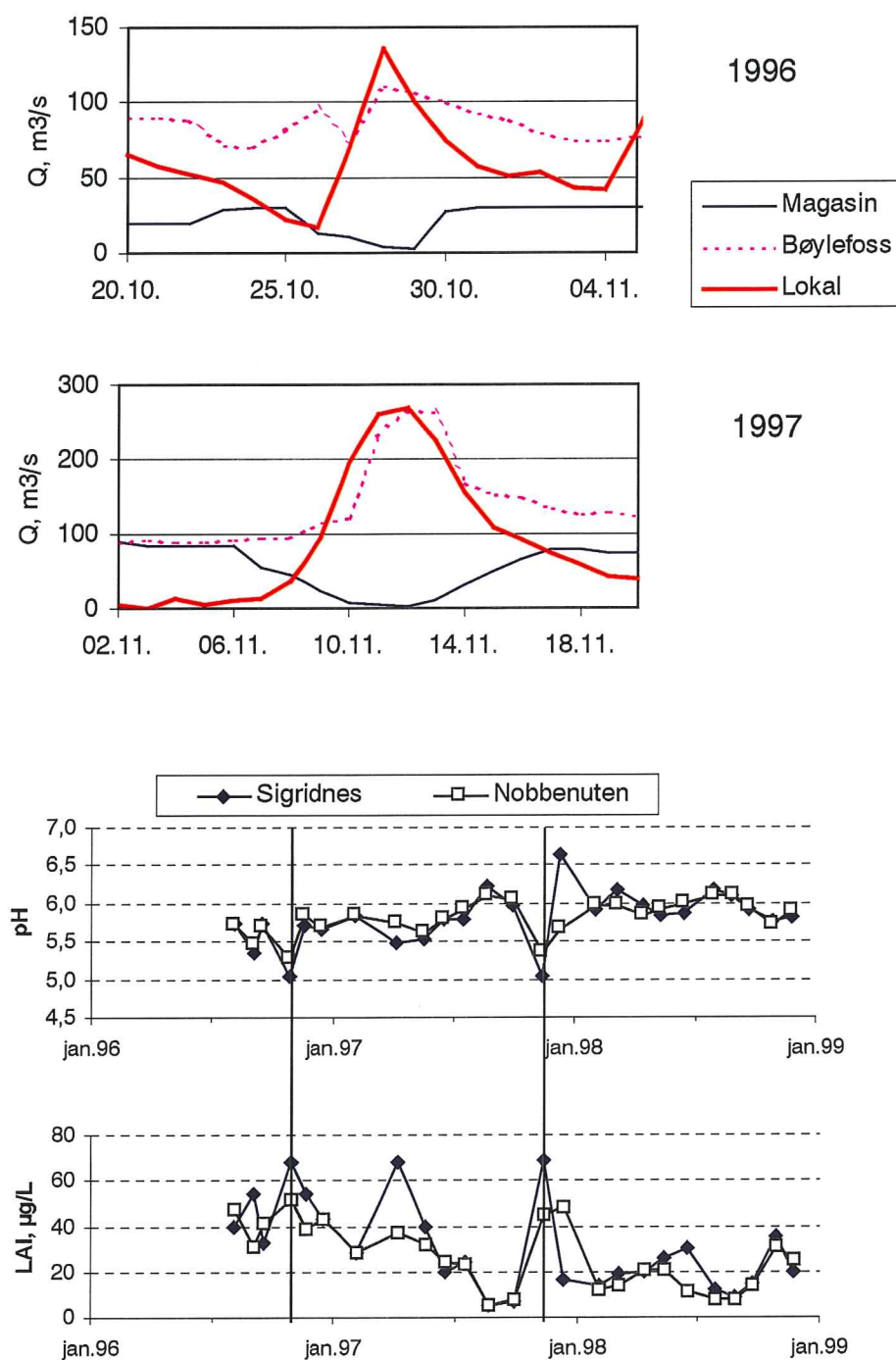
Innholdet i dette kapittelet er delvis kopiert, med noe tilpasning, fra et notat som på forespørsel ble oversendt NIVA fra Edgar Ommundsen i Arendals Vasdrags Brugseierforening (AVB). Bidraget fra AVB er uthevet. NIVA har i tillegg valgt å utfylle framstillingen med en kopling mot målt vannkvalitet. Dette er gjort i samråd med AVB.

AVB er en forening for eiere og brukere av vannfall i Arendalsvassdraget med tilhørende nedslagsfelt. Foreningen har til formål å ivareta medlemmenes felles interesser med hensyn til regulering av vassdragets vannføring, samt andre tilknyttede interesser. AVB har konsesjonene for de aller fleste reguleringsanleggene i vassdraget, og disse er bygget og bekostet i fellesskap av medlemmene i perioden fra 1912 og fram til i dag.

Magasinene er bygget med tanke på en optimal utnyttelse av vannressursene i vassdraget for kraftproduksjon, og konsesjonene er gitt på bakgrunn av dette. Vassdraget ned til de tre store magasinene Nesvatn, Fyresvatn og Nisser er godt regulert med stor magasinkapasitet i forhold til areal og tilsig.

*Problemene med lav pH i elva oppstår i de periodene hvor lokaltilsiget nedenfor de tre store magasinene dominerer vannføringen. Det er vist og kommentert (av NIVA) i **Figur 11**. Dette lokalfeltet er svært stort og utgjør ca 1/3 av det totale nedslagsfeltet. Eneste reguleringsmagasin er Nelaug med svært liten kapasitet (25 mill.m³). Derfor vil tilsiget til Nelaug og videre nedover i sin helhet bestemmes av nedbøren. Dette forholdet er vist for årene 1996-1998 i **Figur 12 -Figur 14**. Ved nedbør vil tappingen fra de tre store magasinene reduseres tilsvarende det lokaltilsiget øker. Kraftverkene nedenfor hovedmagasinene er utbygd og tilpasset det årlige gjennomsnittlige avløpet på 109 m³/s og med en maksimal kapasitet på 125 m³/s ved Boylefoss uten å få vanntap i produksjonsstrengen. Dette samspillet mellom lokaltilsiget og magasinene gjør det mulig å drive jevn kraftproduksjon i nedre del av vassdraget på en best mulig måte for å utnytte vannressursene optimalt.*

I **Tabell 4** er det vist hvordan lokaltilsig og tappepraksis høsten 1997 reduserte pH ved Rygene. Ved Rygene ble det målt pH 5.65 den 17.11. og pH 5.51 den 15.12. I novemberepisoden var lokaltilsiget kraftig helt fram til prøvetaking, mens magasintappingen gjorde seg mer og mer gjeldende fram mot prøvetakingsdatoen. Det antas imidlertid at vannet ved Rygene var dominert av sidevassdragene den 17.11. fordi det tar en viss tid før magasin vannet påvirker vannkvaliteten helt ned mot vassdragets utløp. Samme situasjon gjentok seg i desember samme år. Først den 15.12. økte magasintappingen til et nivå som kunne dempe forsuringseffekten av de store lokaltilsigene. Men ved Rygene den 15.12. var vannkvaliteten fortsatt sterkt preget av lokaltilsigene og pH var 5.51, den laveste pH målt etter kalking av Nisser.



Figur 11. To eksempler på episoder med ekstrem dominans av lokaltilsig og dermed uheldig manøvrering av reguleringsmagasinene i forhold til vannkvalitet. Det øverste eksempelet er fra slutten av oktober 1996 (før kalking av Nisser). Vannprøver ble tatt 29.10.96 og viste pH-avtak og høye konsentrasjoner av labilt aluminium i Nidelva oppstrøms og nedstrøms Åmli. Det andre eksempelet er fra november 1997, ett år etter kalking av Nisser. Tappingen fra magasinene var nær null, mens tilsiget fra lokalfeltet var nær $250 \text{ m}^3/\text{s}$ da vannprøven den 12.11.97 ble tatt. De to nederste figurene viser at pH var ekstremt lav og labilt Al svært høy som følge av at tilsiget fra de sure sidelfeltene var helt dominerende for vannkvaliteten disse dagene (markert med vertikale linjer).

Tabell 4. Magasintapping, vannføring ved Bøylefoss kraftstasjon og lokaltilsig (gitt i m³/s) i perioden omkring prøvetakingene den 17.11.97 og 15.12.97. pH ved Rygene ved de to prøvetakingene er gitt.

DATO	Mag. tapping	Bøylefoss	Lokaltilsig	pH- Rygene
11-nov-97	4	231	262	
12-nov-97	4	266	268	
13-nov-97	11	264	227	
14-nov-97	32	168	156	
15-nov-97	50	153	107	
16-nov-97	65	149	92	
17-nov-97	80	133	72	5,65
18-nov-97	78	126	58	
19-nov-97	75	130	43	
9-des-97	69	114	115	
10-des-97	27	159	151	
11-des-97	20	219	175	
12-des-97	29	171	134	
13-des-97	40	135	83	
14-des-97	40	126	52	
15-des-97	91	125	44	5,51
16-des-97	95	122	39	
17-des-97	95	125	19	

5.2 Muligheter rent formelt

I reglementsbestemmelsene og skjønnsforutsetninger for Arendalsvassdraget er AVB pålagt å overholde en rekke krav som setter begrensninger for hvordan tappingen skal foregå. I tillegg til høyeste og laveste regulerte vannstand i alle magasiner er det også begrensninger fra Fyresvatn og Nisser mhp maksimaltapping i perioden fra 15. juni til 31. august. Fra Fyresvatn kan det tappes maksimalt 7 m³/s i tillegg til tapping fra Finndøla, som er ovenforliggende kraftstasjon, når vannstanden er lavere enn 1 meter under høyeste regulerte vannstand. Fra Nisser er kravet til maksimal tapping 17 m³/s i tillegg til tapping fra Fjone som er ovenforliggende kraftstasjon når vannstanden er lavere enn 1 meter under høyeste regulerte vannstand. I tillegg er det både i Fyresvatn og Nisser krav til minste sommervannstander. Nesvatn har ingen restriksjoner på maksimaltapping og det er slukevnen i kraftstasjonen på ca 22 m³/s som er bestemmende.

Rent praktisk vil dette bety at i perioden etter snøsmelting og fram til 31. august vil normal tapping i nedre del av vassdraget ligge ned mot 40 m³/s som også er minstevannføringen fra Nelaug. Ved nedbør vil tilsiget stige og maksimal kapasitet er da 125 m³/s. I perioden mellom 31. august og 15. juni er det ingen restriksjoner i konsesjonsvilkårene på tappingen fra de tre store magasinene, og maksimal tapping bestemmes av kapasiteten til kraftstasjonene.

5.3 Praktiske muligheter for innblanding av magasin vann

Normalt er det i to perioder i året at lokaltilsiget er stort og magasintappingen er liten. Dette er under snøsmeltingen om våren og ved høstnedbør fram til snølegging. Utenom disse periodene er tappingen fra magasinene dominerende, og reguleringen bidrar til å utjevne vannføringen og bedre

vannkvaliteten. Som **Figur 12 - Figur 14** viser er det også andre perioder av året med store lokaltilsig som fører til at magasintappingen reduseres vesentlig.

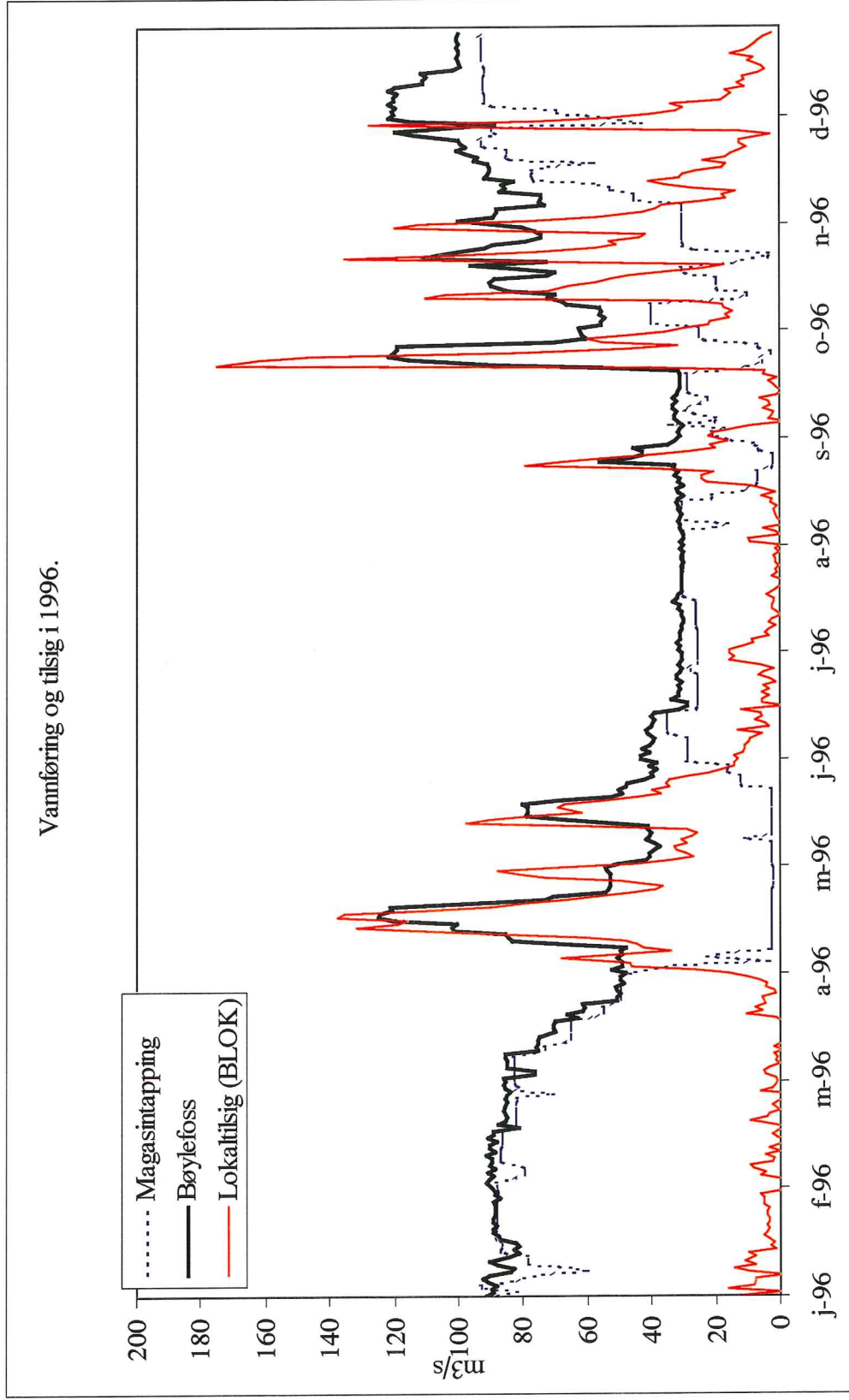
Spørsmålet er så hvorvidt det er mulig å øke innblanding av regulert vann fra magasinene når også lokaltilsiget nedenfor øker. AVB vil søke å unngå vanntap i hele produksjonsstrengen. Konsekvensen av økt tapping fra magasinene samtidig med økt lokaltilsig vil bety vanntap ved flere av kraftstasjonene og er derfor ikke forenlig med målsettingen om å utnytte vannet optimalt. Formålet med magasinene er nettopp å utjevne det variable tilsiget for å få en jevn produksjon eller å produsere når det er ønskelig. Det er mulig å beregne det økonomiske tapet en slik endring i manøvreringen vil innebære, men det forutsetter svært omfattende simuleringer.

Det bør også tillegges at det ikke bare er de mange reglementsbestemmelsene, skjønn, avtaler etc som begrenser «friheten» til å tappe. I tillegg er det en rekke revisjoner på anleggene (både reparasjoner av kraftstasjoner, dammer, luker og linjenett) som fører til ytterligere begrensninger av tappefriheten.

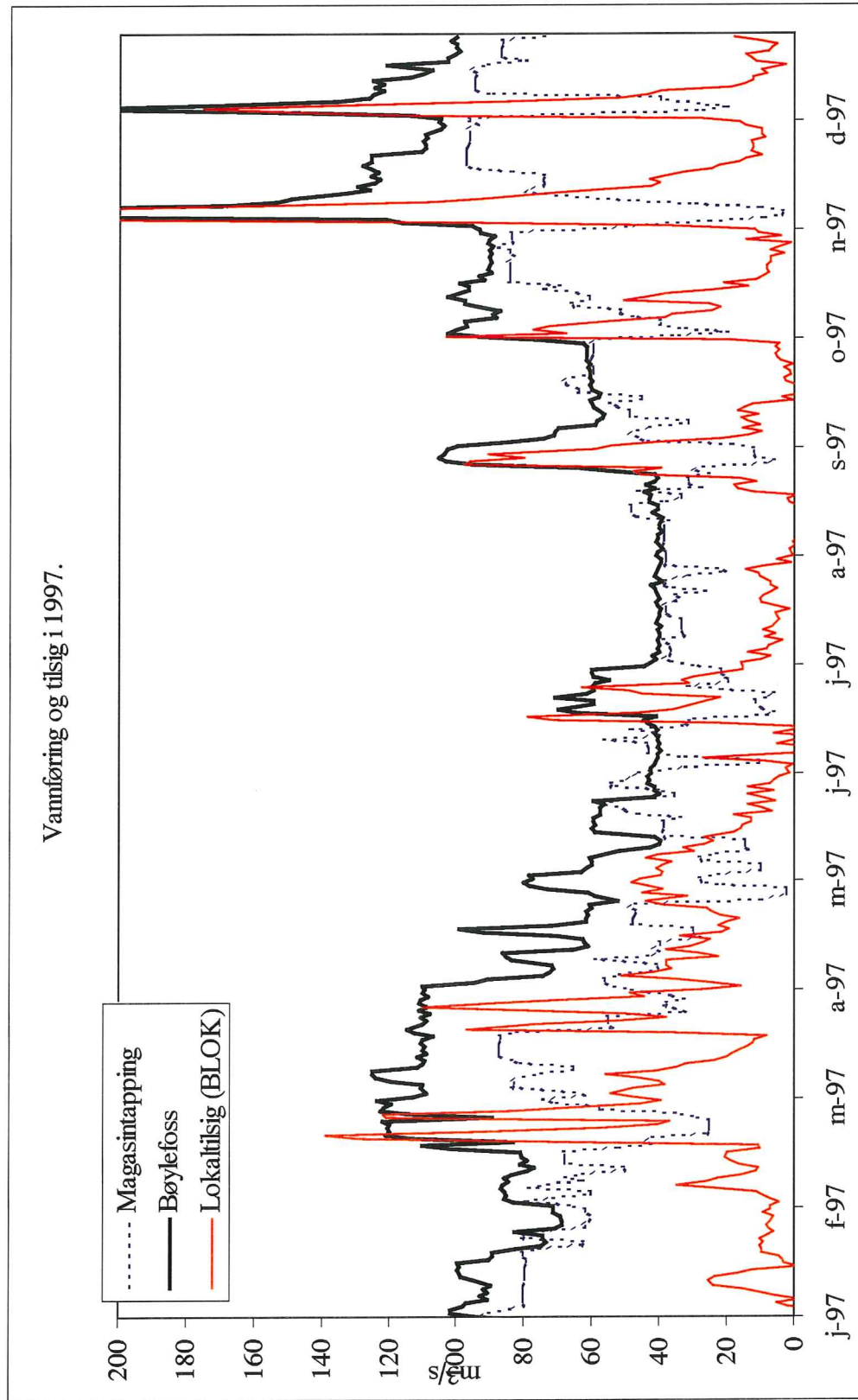
Maksimal samlet tappekapasitet i nedbørsfattige perioder (med lave tilsig) fra Nesvatn, Fyresvatn og Nisser uten å unngå vanntap i kraftstasjonene nedenfor er tilsammen ca 100 m³/s. Nedenfor Nelaug vil maksimal kapasitet være 125 m³/s (ved Bøylefoss kraftstasjon). Ved et lokaltilsig på over 25 m³/s reduseres tappingen fra magasinene. I nedbørsperioder er det dermed en målsetting å utjevne tilsigene ved å holde tilbake vann i magasinene.

5.4 Konklusjon

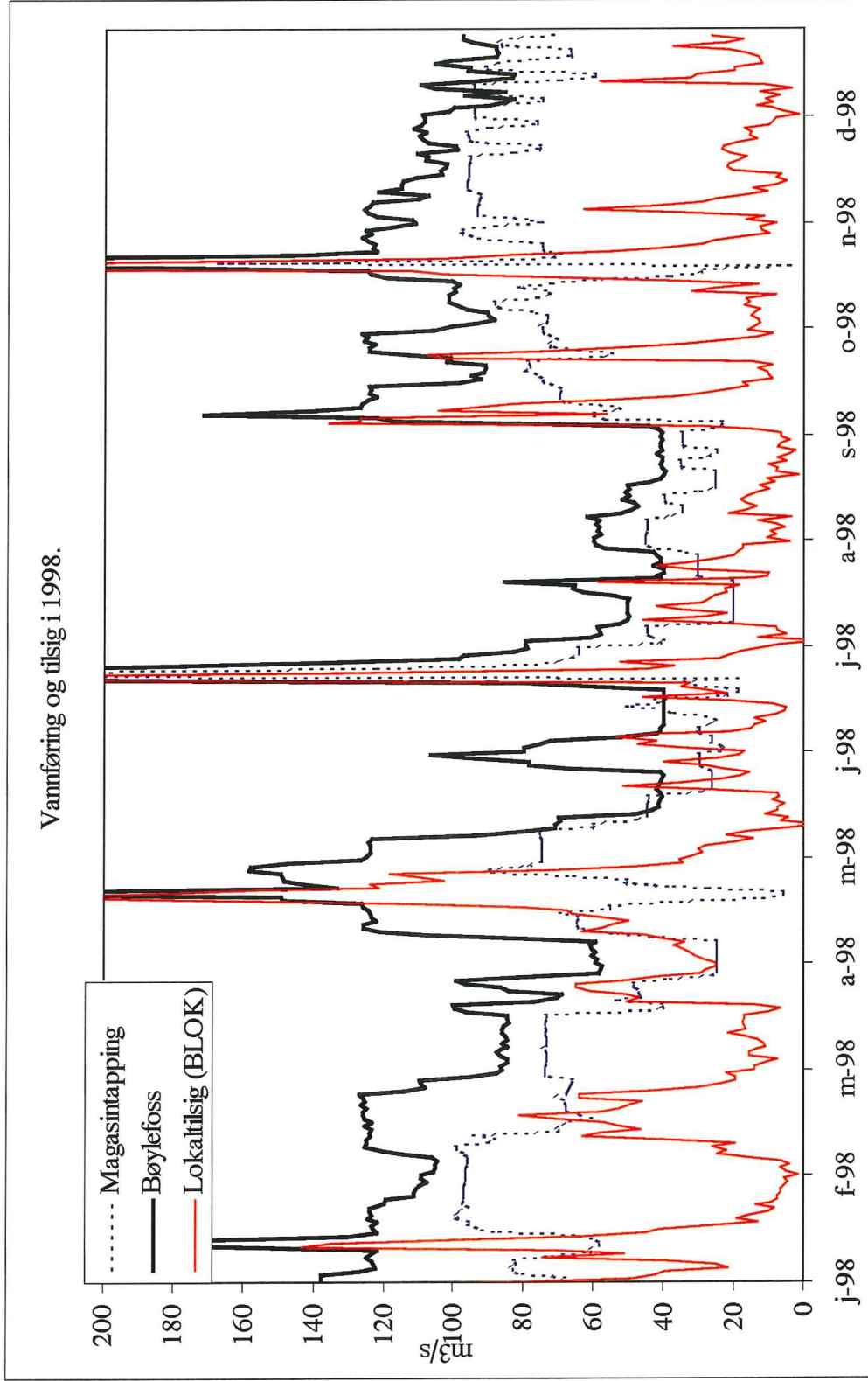
Redegjørelsen fra AVB og koplingen som er gjort mellom dokumenterte tapperutiner og vannkvalitet viser at det er et motsetningsforhold mellom utnyttelsen av vannressursene til kraftproduksjonsformål og til reetablering av forsuretskadde organismer, særlig laks. Det at en har muligheter for å regulere tappingen av de nå kalkede innsjømagasinene kunne vært utnyttet for å dempe vannkvalitetsreduksjonen som følge av lokaltilsig. Men det er det motsatte som skjer, nemlig at tilførselene fra magasinene reduseres, uten at en kan se at det er mulig å endre denne praksisen.



Figur 12. Vannføring og tilsig i 1996; magasintapping, vannføring gjennom Bøylefoss kraftstasjon og lokaltilsiget mellom magasinene og Bøylefoss er vist. Data fra AVB.



Figur 13. Vannføring og tilsig i 1997; magasintapping, vannføring gjennom Bøylefoss kraftstasjon og lokaltilsiget mellom magasinene og Bøylefoss er vist. Data fra AVB.



Figur 14. Vannføring og tilsig i 1998; magasintapping, vannføring gjennom Bøylefoss kraftstasjon og lokaltilsiget mellom magasinene og Bøylefoss er vist. Data fra AVB.

6. Produksjonspotensialet for laks

I forbindelse med revidering av kalkingsplan for Arendalsvassdraget er det reist spørsmål om potensialet for lakseproduksjon i vassdraget forutsatt en akseptabel vannkvalitet. Den opprinnelige laksebestanden i Nidelva er utdødd på grunn av sur nedbør. En sterk selvreproduserende laksebestand har trolig ikke eksistert i Nidelva siden 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet. Siden den gang er det utført store inngrep i vassdraget i forbindelse med regulering for kraftproduksjon. De viktigste gyteområdene var tidligere på strekningen mellom Helle og Rygene. Denne strekningen er nå minstevannføringsløp med vannføring 1 m³/s om vinteren og 5 m³/s om sommeren. På grunn av reguleringsinngrepene er et tilbakeblikk på lakseproduksjonen på 1800-tallet ikke tilstrekkelig til å vurdere dagens potensiale for lakseproduksjon ved en forbedret vannkvalitet.

Det er gjort en vurdering av potensialet for lakseproduksjon i Arendalsvassdraget basert på en kort gjennomgang av aktuell litteratur og en befaring av de lakseførende strekninger i vassdraget. På bakgrunn av en kartlegging av potensielle gyte- og oppvekstområder er det foretatt et grovt estimat av forventet årlig produksjon av smolt.

6.1 Generelt om smoltproduksjon

6.1.1 Smoltproduksjon i ulike vassdrag

Normalt varierer produksjonen av laksesmolt mellom 1 og 10 individer per 100 m², avhengig av produktivitet og smoltalder (Symons 1979). Dødelighet hos laksunger er ofte 90 % første sommeren, med årlig dødelighet på 40-60 % de påfølgende år (Symons 1979). Hvis årlig tilvekst er lav vil smoltalderen øke, noe som gir økt dødelighet fram til smoltstadiet og dermed lavere smoltproduksjon. Smoltproduksjonen er altså avhengig av smoltalder. Symons (1979) estimerte gjennomsnittlig smoltproduksjon per 100 m² til fem for 2+ smolt, to for 3+ smolt og én for 4+ smolt. Minimum antall egg anbefalt for å produsere disse antallene smolt er henholdsvis 220, 165-200 og 80 for hver smoltalder (Symons 1979). Klimatiske forhold vil også påvirke smoltproduksjonen, særlig forholdene om vinteren. Lav vintervannføring medfører stor dødelighet (f.eks. Hvidsten 1993, Gibson og Myers 1988).

Estimert smoltproduksjon for ulike norske og utenlandske elver er gitt i **Tabell 5**. Smoltproduksjonen i de norske elvene varierer mellom 2,9 og 15,4 smolt per 100 m² og i de utenlandske elvene mellom 0,5 og 23,0 (**Tabell 5**). Av de norske elvene det finnes slike estimater for, er Kvasseheimsåna og Imsa produktive elver på grunn av gjødselavrenning fra jordbruket (Hesthagen og Hansen 1991a, 1991b). Orkla er ei oligotrof elv og vurderes av Hesthagen og Hansen (1991b) til å være mer representativ for de forsured elvene på Sørlandet. Både i Kvasseheimsåna og Imsa har laksen lav smoltalder, vesentlig to år (Hesthagen et al. 1986, Jonsson et al. 1990). Smoltalderen øker med økende breddegrad, og i Orkla har den gjennomsnittlige smoltalderen variert mellom 3,3 og 4,1 år (Hesthagen og Garnås 1984). Vardneselva i Troms har den laveste smoltproduksjonen av de norske elvene (**Tabell 5**).

Smoltproduksjonen i ulike elver vil være avhengig av tilgjengelighet av gytehabitater og oppvekstområder. Få undersøkelser har vurdert smoltproduksjon i forhold til ulike habitattyper. Baglinière og Champigneulle (1986) fant at smolttetthet i hovedløpet av River Scorff var gjennomsnittlig 2,3 per 100 m², mens tettheten i det som ble vurdert til hovedproduksjonsområder var gjennomsnittlig 3,5 per 100 m².

Tabell 5. Beregnet smoltproduksjon av laks i fire norske og 15 utenlandske lakseelver. Tabellen er vesentlig basert på opplysninger i Hesthagen og Hansen (1991b), Baglinière og Champigneulle (1986) og Mills (1989).

Vassdrag	Antall smolt per 100 m ²	Referanse
NORGE:		
Insa	15,4	Hansen og Jonsson (upublisert)*
Kvassheimsåna	15,4	Hesthagen et al. (1986)
Orkla	6,1	Hvidsten og Ugedal (1991)
Vardneselva	2,9	Berg (1977)
FINLAND:		
Simojoki	1,1	Toivonen og Jutila (1982)**
FRANKRIKE:		
River Scorff	2,3	Baglinière og Champigneulle (1986)
IRLAND:		
Foyle	8,4	Elson og Tuomi (1975)***
NORD AMERIKA:		
Bay du Nord River	2,8-3,1	O'Connell og Ash (1989)
Bec-Scie	1,6	Pomerleu et al. (1980)**
Big Salmon	3,9	Jessop (1975)***
Come By Chance	5,4	Chadwick (1981)**
Cove Brook	3,6	Meister (1962)***
Highlands River	2,0-2,6	O'Connell og Ash (1989)
Indian	0,6	Chadwick (1981)**
Long Harbour	7,6	Ducharme (1977)**
North Bay	0,5	Chadwick (1981)**
North Harbour River	0,5-3	O'Connell og Ash (1989)
Matamek	4,7	Gibson og Côté***
Miramichi	4,7	Elson (1975)***
Patapedia	1,6-2,3	Pomerleu et al. (1980)**
Pollet	6,0	Elson (1975)***
Western Arm Brook	9,66	Chadwick (1981)**
STORBRITANNIA:		
Allen + Camel	2,0	Anon. (1972)**
Bran	3,5	Mills (1964)***
Dart	5,1	Nott (1969)**
Exe	6,9	Nott (1970)**
Girnock Burn	7,0	Buck og Hay (1984)***
Plym	5,8	Anon. (1972)**
Shelligan	10,0-22,0	Egglishaw (1970)***
Taw	3,0	Nott (1969)**
Torridge	1,7	Bielby (1965)**
Tweed	11,6	Mills et al. (1978)***
Wye	4,3	Gee et al. (1978)***
SVERIGE:		
Eman	18,0	Karlström (1977)**
Kalix älv	1,5	Karlström (1977)**
Morrumsån	23,0	Karlström (1977)**
Ricklea	1,9	Østerdahl (1969)***
Torne älv	1,3	Karlström (1977)**

*Referert i Hesthagen og Hansen (1991b)

**Referert i Baglinière og Champigneulle (1986)

***Referert i Mills (1989)

6.1.2 Områder som egner seg for produksjon av laksesmolt

Produksjonen av laks i et vassdrag er avhengig av flere egenskaper ved området. Klima, hydrologi, fiskefauna, geologi, vannkjemi, høydeforskjeller, vassdragsstørrelse, vegetasjon ved elvebredden er noen av de viktigste faktorene. Samtidig har intraspesifikke forhold (forhold innen laksepopulasjoner) vesentlig innvirkning på produksjonen av smolt (Gibson 1993). En total kartlegging av alle faktorer av betydning for lakseproduksjonen i Nidelva har ikke vært mulig innenfor rammene av den foreliggende undersøkelsen. Undersøkelsen tar utgangspunkt i observasjoner knyttet til to viktige fysiske faktorer som har stor betydning for gyting og oppvekst hos laks; bunnsubstrat og vannhastighet/dybde. Beskrivelsen av disse parametrene er subjektiv og utført via en visuell kvalitativ registrering i felt.

Atlantehavslaks gyter i strømmende vann på dyp fra ca 0,4 - 1,0 m (Fleming 1996). Lokalt (innen en høl) velger hunnlaks aktivt substrattypen hvor eggene graves ned i fra 3 til 14 reirlommer i én eller flere gytegroper (Fleming 1996). Store hunner velger trolig grovere substrat enn små hunner. Vannhastigheten like over bunnen vil imidlertid påvirke sammensetningen av substratet (f.eks. Krumbein og Pettijohn 1938). Høyere vannhastighet øker også muligheten for hunnlaksen til å flytte større steiner, noe som i sin tur gir større reirdybde.

Valg av gyteområde sett i større målestokk (på elvenivå) kan være motivert av substrattypen og vannhastigheten, men er trolig også en tilpasning for å gi avkommet gode oppvekstvilkår. Det vil si at gyteområdene ligger i nærheten av eller i de gode oppvekstområdene. Etter klekking kan laksunger foreta en begrenset nedvandring/drift, men det finnes eksempler på mer enn fire km spredning nedover i vassdrag. Det er også rapportert vesentlig oppvandring (Gibson 1993). Valg av gyteområde kan også være motivert av krav til stabile grusmasser der eggene ikke risikerer å bli flyttet til overflaten eller eventuelt mekanisk skadd av flommer. Det faktum at gyteområder i mange vassdrag er svært konsentrerte og benyttes gjennom mange generasjoner, støtter hypotesen om krav til substratets stabilitet. Ofte utgjør andelen areal av vassdraget som benyttes til gyting, en liten del av totalarealet (Nøst et al. 1998, Sættem 1995). Gyteområdene i mange elver ligger ofte høyt oppe i vassdraget (Sættem 1995). Dette kan ha sammenheng med ungfiskenes spredningsatferd (avkommet får større del av elva tilgjengelig gjennom vandring eller drift med strømmen), men kan også være et resultat av fysiske forhold (de øverste delene av et vassdrag har ofte stabilt og best egnet gytesubstrat).

Oppvekstområder for laksunger er oftest knyttet til strømmende vann der bunnen er dekket av grovt substrat og store steiner. Det finnes også laksunger som vokser opp i stilleflytende områder av et vassdrag og i innsjøer. Interspesifikke forhold (forhold mellom arter) har betydning for i hvor stor grad laksunger benytter slike områder. Tilstedeværelse av mange andre fiskearter hindrer trolig laksen i å utnytte stillestående vannmasser (O'Connell og Ash 1989). Vannoverflate brutt av strømskappede bølger er mer benyttet som oppvekstområde enn områder med transparent overflate (oppsummert i Gibson 1993). Grovt substrat, store steiner og brutt vannoverflate gir trolig skjul for laksungene.

Produksjon av laks i et vassdrag kan også begrenses av egnede overvintringsområder (Gibson 1993). Ulike størrelsesgrupper av laksunger benytter ulike substrattyper slik at eldre lakseparr ofte lever på større dyp enn yngre. Det er derfor ikke bare en type habitat som har betydning for smoltproduksjonen i et vassdrag.

6.2 Kartlegging av gyte- og oppvekstområder i Nidelva

Kartlegging av gyte- og oppvekstområder i Nidelva ble utført på elvestrekningen fra Bøylefoss til Helle den 2. og 3. september 1999. Resultatene er sammenlignet med arealet fra en tidligere undersøkelse, hvor vurderingen av områdene ble utført ved en befaring langs land (Simonsen 1995; Tabell 6).

Tabell 6. Gyte- og oppvekstområder kartlagt i Nidelva i denne undersøkelsen (NINA 99) og av Simonsen (1995). Arealet er angitt i 100 m².

Område	Egnede oppvekstområder		Gyteområder inkludert i oppvekstområdene
	NINA 99	Simonsen 95	NINA 99
1. Bøylefoss	12,7	354,2	3,2
2. Bøylestad, øvre		328,9	
3. Bøylestad, nedre	63,3	227,7	25,3
4.		69,6	
5. Espeland	360,5	202,4	75,9
6. Froland		411,1	
7. Neset	94,9	556,6	25,3
8. Blakstad			12,7
9. Helle	63,3		12,7
Totalt	594,7	1950,3	155,1

Med bakgrunn i det totale arealet for egnede gyte- og oppvekstområder (Tabell 6) og tall for estimert smoltproduksjon i norske vassdrag (Tabell 5), estimeres potensialet for årlig smoltproduksjon i disse områdene til mellom 1 785 og 29 250 smolt (Tabell 7). Områdene Bøylefoss, Bøylestad, Valle og Langeid (Tabell 6) ligger oppstrøms dammen ved Evenstad. For at laksen skal kunne nå disse områdene må det bygges laksetrapp ved dammen.

Tabell 7. Potensiell årlig smoltproduksjon estimert ut fra det totale arealet for egnede gyte- og oppvekstområder i Nidelva (Tabell 6) og estimert smoltproduksjon fra andre norske vassdrag (Tabell 5).

Produksjonsgrunnlag	Estimert smoltproduksjon i Nidelva, antall smolt	
	NINA 1999	Simonsen 1995
3 smolt per 100 m ²	1 800	5 850
6 smolt per 100 m ²	3 600	11 700
15 smolt per 100 m ²	8 900	29 250

Disse beregningene gir et vesentlig lavere produksjonspotensiale enn ved bruk av den forenklede tilnærmingen som ble gjort av Hesthagen og Hansen (1991), se neste avsnitt.

6.3 Diskusjon

Smoltproduksjon i et vassdrag er for det første betinget av at laksen finner egnede gyteområder. Disse områdene må være lokalisert i eller i nærheten av oppvekstområder. I Nidelva er områdene ved Bøylestad og Espeland trolig egnede gyteområder. De øvrige gyteområdene nevnt i **Tabell 6** er områder der det kan foregå gyting, men de er av dårligere kvalitet enn de to førstnevnte.

Flere tradisjonelle gyteområder pekt ut av lokalkjente oppstrøms Rygene, var degradert på grunn av store mengder sand i bunnssubstratet. Dette skyldes at vannhastigheten over bunnen har blitt redusert. Det samme gjelder for mange typiske oppvekstområder som i dag er dekket av et lag sand. Noen steder var det mulig å skimte det opprinnelige substratet i form av steiner som stakk opp av sanden. De gamle gyteområdene mellom Helle og Rygene er stort sett ødelagt på grunn av reguleringsinngrep i form av terskelbygging og lav vintervannføring.

Områdene ovenfor Rygene var heller ikke fra gammelt av vurdert som gode produksjonsområder for laks. Landmark (1876) skrev om gyteplasser i Nidelva at *"Beste nedenfor Rygenefoss inntil Strubrofoss og nedenfor Kalvehagsfoss, tilsammen nogen få hundre alens lengde, iøvrig tilsynelatende dårlige. Ennvidere nogen strekninger ved og ovenfor Frolands kirke. Laks går ikke op i nogen bielv."* Videre skrev han at *"Fra Rygenefoss op til gården Hurv (omtr. 1 1/4 mil) finnes aldeles ingen gyteplasser, idet bunnen overalt består av sort, blott mudder; litt ovenfor Hurv finnes en nogenlunde god gytegrunn av nogen hundre alens lengde, likeså finnes enkelte middelmådige gyteplasser straks nedenfor Frolands kirke og ved Espeland straks ovenfor. Ovenfor Espeland til Boilefoss finnes ingen (eller i allfall få og små) gyteplasser."* I følge Landmark (1886) ble Rygenefossen imidlertid bare enkelte år forsert av laks, neppe oftere enn hvert 5. år. Om fisket skrev han at benyttede fiskeredskaper i elva var drivgarn, kar og teiner, ruser, settegarn, not, støgarn og i liten grad stang. På spørsmål om elva var egnet til sportsfiskeri skrev han: *"Formentlig ikke synderlig; i alle fall fiskes der årlig kun få laks med stang (...). Dog er partiet mellom Rygenefoss og Strubro ganske godt."*

Kittelsen (1963) skrev om de gamle gyteplassene nedenfor Rygene: *"Den andre faktor som etterhvert gjorde sitt til fiskets tilbakegang var, at gytegrunnene oppe ved Helle og andre steder i vassdraget etterhvert, antakelig mest på grunn av slam og dytt og annet avfall fra industrianlegg la seg på de tidligere rene sandgrunner og etterhvert gjorde disse utjenelige for gyting. Når så dertil kom, at flomvannet som tidligere feide grunnene rene for mulig slam, nu uteblev grunnnet elvereguleringen er det innlysende og forklarlig at fisket gikk sterkt tilbake og blev ulønnsomt."*

Et område nedenfor Helle, Jektegrunnen, har bunnssubstrat som kan egne seg for gyting og oppvekst av laks. Det er også registrert gytetypen laks i området under gyteperioden (Dag Matzow, pers. med.). Saltvann går imidlertid helt opp til Helle i perioder, og det er derfor lite sannsynlig at laksunger kan overleve i dette området.

Områdene som ikke ble klassifisert som gyte- eller oppvekstområder i denne undersøkelsen, var for det meste store flater med ren sand eller bergflater. Med bakgrunn i erfaringer fra andre norske elver (Leif M. Sættem pers. med., Morten Halvorsen pers. med.) er det lite sannsynlig at disse områdene er egnet laksehabitat. Dammene ved Evenstad og Rygene og tersklene mellom Rygene og Helle virker dpendende på vannhastigheten og er dermed med på å endre bunnssubstratet til å bli dekket av sand. Geologiske forhold medfører at grunnen der Nidelva renner tilfører ubegrensede mengder sand.

Tallfestingen av potensiell smoltproduksjon i denne undersøkelsen er svært usikker. Usikkerheten er blant annet knyttet til hvor godt egnet områdene i **Tabell 6** er. Forskjellen i vurdering av egnede områder mellom denne undersøkelsen og Simonsen (1995) kan skyldes både subjektiv oppfatning av hva som er tilstrekkelig habitat for lakseproduksjon, men også at områdene har endret seg i perioden fra 1995 til 1999 med stadig mer sand tilført bunnssubstratet. I tillegg vil en befaring ved lavere

vannføring enn det som ble gjennomført i denne undersøkelsen, kunne resultere i høyere klassifisering av noen områder.

En annen usikker faktor er hvor stor smoltproduksjon som kan forventes per arealenhet. Det eksisterer begrenset kunnskap om hvor stor smoltproduksjon som kan forventes i ulike elver. Estimert smoltproduksjon oppgis vanligvis som gjennomsnitt for hele elver inkludert både produktive og uproduktive områder (**Tabell 5**). I denne undersøkelsen ble de produktive arealene kartlagt, og spørsmålet er da hvilken smolttetthet en skal regne med. Vi har valgt å benytte gjennomsnittstallene fra andre norske elver som eksempler når vi har estimert smoltproduksjonen. Vi antar at produksjonen i det som er vurdert som egnede gyte- og oppvekstområder i Nidelva ikke overstiger 15 smolt per 100 m², som er gjennomsnittlig tetthet funnet i Kvasheimsåna og Imsa (**Tabell 5**).

Hesthagen og Hansen (1991) og Erikstad et al. (1999) benyttet en forenklet tilnærming for å estimere produksjonen av laksesmolt i norske vassdrag. De multipliserte arealet av hele lakseførende strekning med forventet smoltproduksjon per arealenhet. For Nidelva med lakseførende areal 320,2 ha (Hesthagen og Hansen 1991), gir 3 smolt per 100 m² en total estimert smoltproduksjon på 96 000 smolt. Seks smolt per 100 m² gir en produksjon på 192 000 smolt. Erikstad et al. (1999) påpeker imidlertid problemet med at elver varierer i hvor stor andel av elvearealet som er produksjonsarealer. De påpeker også at faktorer som klima, vannføring, habitatkvalitet, konkurranse mellom individer av laks, konkurranse med andre arter, predasjon, vannkvalitet og menneskelige påvirkninger som for eksempel vassdragsregulering, vil påvirke smoltproduksjonen per arealenhet. Ut fra de små arealene med gode produksjonsområder i Nidelva, antar vi at en slik tilnærming medfører et overestimat av potensiell smoltproduksjon.

For å øke potensialet for smoltproduksjon i Nidelva kan det være mulig å kunstig utplassere større mengder egnet substrat. Slike habitatforbedrende tiltak krever imidlertid endring av vannføringsregime for at tiltaket skal være stabilt over tid. Bunnforholdene i Nidelva per i dag gjenspeiler den eksisterende vannføringen og mengden tilgjengelig grus og sand i grunnen der elva renner. Selv om det tilføres store mengder grov grus og stein vil trolig eksisterende vannføringsregime over tid føre til samme type substrat som finnes i Nidelva i dag. Dette er imidlertid forhold som kan utredes nærmere i et samarbeid mellom hydrologer og biologer. Det er mulig å modellere hvilke vannføringsregimer som må til for varig gjenskaping av gyte- og oppvekstområder i Nidelva.

7. Tiltaksstrategier

Det som kjennetegner dagens situasjon i Arendalsvassdraget er dels en generell forbedring i forsurenings-situasjonen, en faseforskyvning på noe over ett år i vannkvalitetsforbedring i forhold til Tovdalsvassdraget og at det kan forventes ytterligere forbedring i vannkvalitet som følge av forsinkelse i de store innsjøene og en ny avtale om utslippsreduksjoner som trolig underskrives i 1999.

Kalkingen av de to største innsjøene og lokaliteter oppstrøms Nesvatn har resultert i en klar forbedring i vannkvalitet helt ned til sjøen. Bufferkapasiteten er imidlertid liten og det mobiliseres fortsatt aluminium fra nedbørfeltet. En viktig grunn til dette er at lokaltilsigene dominerer vannkvaliteten i perioder med mye nedbør.

I en slik situasjon kan en tenke seg ulike kalkingsstrategier, inklusive framdrift, avhengig av:

- hvilket tempo en ønsker i reetablering av forsuringfølsomme arter, særlig laks,
- hvilket produksjonspotensiale det er for laks,
- hva som kan forventes i ytterligere vannkvalitetsforbedring på grunn av tidsforsinkelse,
- hva som kan forventes i ytterligere vannkvalitetsforbedring på grunn av ny avtale om reduksjon i svovel- og nitrogenutslipp,
- hvilke kostnader og ulemper som er forbundet med eventuelle nye kalkingstiltak og
- bevilgningssituasjonen

I denne rapporten er flere av disse forholdene belyst. Enkelte elementer vil kreve mer inngående studier hvis usikkerhetene skal reduseres, mens andre forhold må overlates til forvaltning og bevilgende myndigheter.

Tre hovedstrategier peker seg ut, og de vil bli døftet i de neste avsnittene. Kalkmengder og kostnader vil også framkomme nedenfor. Endelig vil det bli gitt en anbefaling om framdrift basert på behov for vannkvalitetsforbedring og produksjonspotensialet for laks.

7.1 Kalkingsstrategier

I avsnittet om kalkingsstrategier vurderes først behovet for ytterligere kalking av innsjøene, deretter følger de ulike alternativene for kalking av det øvrige vassdraget. Hovedalternativet, med totale kalkmengder for innsjøer og doserere og tilhørende kostnader, er gitt i avsnitt 7.1.2.

7.1.1 Ytterligere kalking av innsjøene?

Dosering fra ett eller flere doseringsanlegg plassert i hovedvassdraget må ta utgangspunkt i den vannkvalitetsforandring som vil skje i vassdraget fram mot eventuell rekalking av de store innsjøene. Det er forventet at pH gradvis vil bli redusert i utløpet av Nisser og Fyresvatn (se **Figur 10**), men at vannkvaliteten vil være relativt stabil i Nesvatn og Rore fordi kalkingen skjer oppstrøms innsjøene og antas å ha kommet opp på et relativt permanent nivå.

Behovet for ytterligere kalking av de store innsjøene Nisser og Fyresvatn er imidlertid usikkert, og bør følges i årene framover. Hvis konsentrasjonen av giftig aluminium fortsatt er lav til tross for at pH blir redusert til 5.7 i 2003-2005, kan en vurdere å utsette kalking samtidig med at en følger situasjonen videre framover mot 2010 (pH i innsjøene reduseres mot 5.6). En generell forbedring i forsurenings-situasjonen vil både bidra til at pH-reduksjonen går noe saktere enn det som er lagt inn i beregningene for **Figur 10** og at vannkvaliteten ved ulike pH-nivåer blir bedre (lavere konsentrasjoner av aluminium ved ulike pH-verdier).

Hvis forholdene vurderes som kritiske for vannkvalitetsforholdene i innsjøene og videre nedover i vassdraget, bør imidlertid innsjøene rekalkes i denne perioden. Neste valg en står overfor da er om det skal kalkes til pH 6.0 eller for eksempel 5.8-5.9. Erfaringstall fra en situasjon med pH under 5.8-5.9 vil være innhentet innen den tid, og dette må tas med i vurderingen. Kostnaden vil være mellom en tredel og det halve hvis dette noe lavere pH-målet velges enn ved å kalke til pH 6.0 når utgangspunktet er pH 5.6-5.7.

Et redusert vannkvalitetsmål for innsjøene (pH 5.6-5.7) bør også få konsekvenser for det kalkingsmålet en setter for hovedvassdraget. Disse målene bør med andre ord ses i sammenheng. Om en reduserer pH-målet for innsjøene, men opprettholder det for det øvrige vassdraget, vil det ikke skje noen innsparing i total kalkmengde for fullkalking av vassdraget, og en bør da opprettholde pH-målet for innsjøene. Det er fordi det vil innebære større behov for doseringskapasitet (mer enn to doserere) om vannet ned mot dosererne har relativt lav pH, se neste avsnitt.

Beregningene i neste avsnitt, som er det anbefalte alternativet for videre kalking, tar utgangspunkt i at innsjøene rekalkes regelmessig, første gang i 2003-2004, eller at vannkvaliteten i innsjøene reduseres mot pH 5.5-5.6 uten ytterligere innsjøkalking.

7.1.2 Alternativ 1: Kalkdosering i hovedvassdraget

Ved beregningene er det tatt utgangspunkt i vannkvalitetsutviklingen i vassdraget (se avsnittet over og **Figur 10**) og de vannkvalitetsmål en vanligvis setter for laksevassdrag. Det er Direktoratet for naturforvaltning (DN) som fastsetter disse målene, og for Arendalsvassdraget vil de være som følger:

I perioden:

- 15. februar - 31. mars skal pH være 6.2,
- 1. april - 31. mai skal pH være 6.4, og
- 1. juni - 14. februar skal pH være 6.0.

For beregning av årlig kalkmengde og kostnader for å oppnå disse målene er det gjort en vektning av pH-målene mot vannmengder i de aktuelle periodene. Midlere mål-pH er deretter beregnet. I Arendalsvassdraget produseres vinterkraft, og det vil si at det er høy vannføring i vassdraget gjennom vinteren. Basert på avrenningsforholdene i 1996 og 1997 er beregnet årsmiddel for mål-pH 6.07-6.08. Vektet mål-pH ble avrundet og satt til 6.1, og alle beregninger av årlig kalkmengde og kostnader er gjort med dette som utgangspunkt. Med samme vannmengdefordeling over året og med de rådende vannkvaliteter i 1998 bidrar de tre "DN-periodene" med hhv. 14-16%, 15-16% og 69% av vannmengden, mens bidraget til kalkbehovet blir 20-23%, 33-36% og 44%. I den viktigste delen av smoltifiseringsperioden (april og mai), dvs. mens lakseungene endres fysiologisk til et liv i sjøen og deretter vandrer ut av vassdraget, vil kalkforbruket utgjøre en tredel av årsforbruket.

Jo høyere pH er i vassdraget i utgangspunktet, jo større andel utgjør kalkforbruket i april og mai av årsforbruket ved et nytt doseringsanlegg. Med utgangs-pH 5.6, slik det er beregnet for ett av de to 2010-scenariene, vil 26-28% av årsforbruket ved et doseringsanlegg skje i disse to månedene.

Beregningen av nødvendige kalkmengder og kostnadene forbundet med disse er gjort for ulike utgangs-vannkvaliteter ved Rygene. For 1998 er det målt pH på omlag 5.8 og hele beregningsmodellen er kalibrert mot dette nivået. Dette representerer samtidig den mest gunstige vannkvalitetssituasjonen fordi den er fra perioden rett etter kalking av Nisser og Fyresvatn. For 2010 og 2020 er det beregnet at pH i vassdraget er avtatt til hhv. 5.6/5.7 og 5.5/5.6, avhengig av forursingssituasjonen og uten ytterligere tiltak, og dette er utgangspunktet for beregning av kalkbehovet for årene framover.

Alternativene med rekalking av Nisser og Fyresvatn er basert på at rekalking skjer med mindre kalkmengder enn tidligere. For 2003-2004 er kalkmengdene satt til 7000 tonn og 6000 tonn for hhv. Nisser og Fyresvatn. For rekalking i 2010-2011 er mengdene satt til hhv. 5000 og 4000 tonn og for rekalking i 2017-2018 til hhv. 4000 og 3000 tonn. Nisser kalkes ett år før Fyresvatn for å fordele kostnadene. Året etter hver kalking av Nisser er kalkbehovet for dosererne satt til 2900 tonn, slik som i 1998, slik at syklusen for 1998-2002 gjentar seg i de mellomliggende periodene framover.

Sammenhengen mellom målte verdier for pH og Ca ved Rygene-stasjonen, midlere avrenningstall, 90 % kalkopløsning og 90 % CaCO₃-innhold i kalken er brukt for å komme fram til årlig kalkmengde.

I tillegg til de nevnte utgangspunkt er det gjort beregninger for andre pH-nivåer også. Dette er gjort for å vise effektene av generell bedring av vannkvalitet på grunn av mindre forsurening. Endringer har foregått fra middel-pH 5.1 i perioder med dårlig vannkvalitet i perioden 1985-1989, via pH 5.4 på 1990-tallet og til pH 5.5 umiddelbart før kalking. Resultatet av alle beregninger er gitt i **Tabell 8** og **Figur 15**.

Tabell 8. Beregning av kalkmengder forbundet med å kalke Arendalsvassdraget fra ulike middel-pH og opp til DN's generelle vannkvalitetsmål for laks og dermed en volumveid årlig middel-pH på 6.1. Mengder er avrundet til nærmeste 100 tonn/år.

Utgangs-pH	Kommentar	Kalkmengde, tonn/år
5.1	For perioden 1985-1989	8400
5.4	For perioden 1990-1996	6300
5.5	Nivå umiddelbart før kalking (1995-1996)	5400
5.6	2010-scenariet u/forbedring i restfelt*	4500
5.7	2010-scenariet m/forbedring i restfelt*	3700
5.8	Vannkvaliteten i 1998	2900

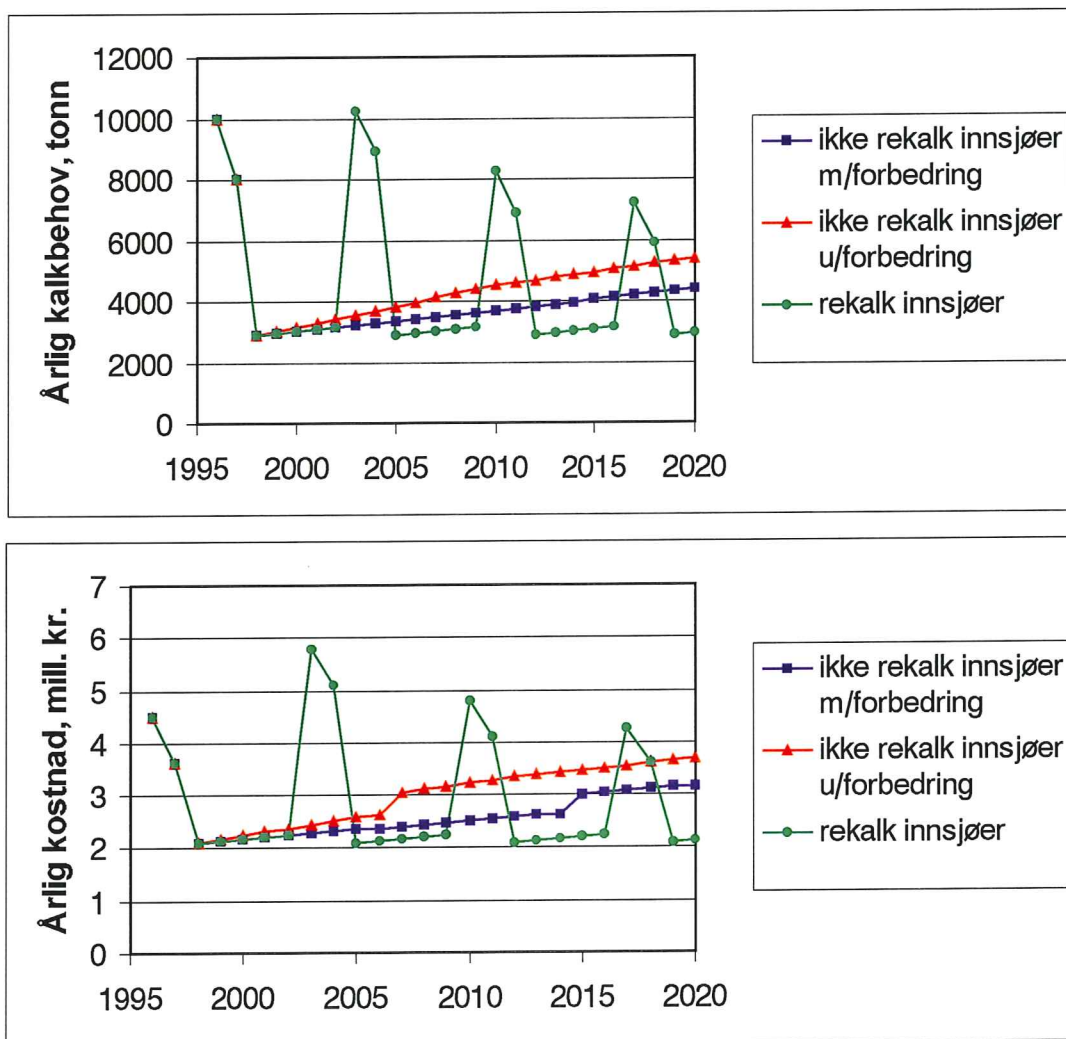
* rekalking av innsjøer er ikke tatt med i dette scenariet.

Som en ser av **Tabell 8** har den generelle bedringen i vannkvalitet fra perioden 1985-1989 og fram til før kalking bidratt med en reduksjon i totalt kalkbehov for vassdraget på 3000 tonn/år (fra 8400 til 5400) eller 36 %. Dette samsvarer bra med den prosentvise reduksjonen i sulfatkonsentrasjon for vassdraget, men noe må nok tilskrives diverse innsjøkalkinger også fordi det har vært en signifikant ($p < 0.05$) økning i kalsiumkonsentrasjon ved Rygene fra 1.01 mg Ca/L i perioden 1985-1989 til 1.09 mg Ca/L i 1990-1996. I følge sammenhengen mellom pH og kalsium ved Rygene tilsvarer dette en pH-økning på 0.1 pH-enhet og 700 tonn kalk per år.

Det totale kalkbehovet for vassdraget er altså beregnet til 6300 tonn/år basert på perioden 1990-1996. Effekten av de store innsjøkalkingene reduserte dette tallet til 2900 tonn i 1998. Gitt en generell forbedring i forsuringssituasjonen i vassdragets restfelt (fra innsjøene og nedover) blir behovet 3700 tonn i 2010 hvis det ikke skjer ytterligere kalking av innsjøene. Uten en slik forbedring vil kalkbehovet være 4500 tonn i 2010. Et årlig kalkforbruk på 3700 tonn kan doseres fra to store doseringsanlegg, mens 4500 tonn/år krever tre anlegg. Siden forbedrings-scenariet er det mest sannsynlige, kan det være fornuftig å ikke sette opp mer enn to anlegg i første omgang. Uansett vil det kunne doseres til mål-pH fram til 2006. Vannkvalitetsovervåkingen er svært god i dette vassdraget, og en kan ta stilling til ytterligere opptrapping på dette tidspunktet med basis i den vannkvalitetsutvikling som da vil være dokumentert.

Et annet forhold som trekker i samme retning (to doserere) er at vannkvalitetsmålet (det vil si DN's differensierte pH-mål) etterhvert som forsuringen avtar vil kunne bli redusert og at kalkbehovet da blir

mindre. Det henger blant annet sammen med at transporten til vassdraget av aluminium reduseres i takt med den regionale reduksjonen i forsurening. Samtidig endres tilstandsformen, slik at mindre skadelige Al-former tilføres vassdraget. Kalking høyt oppe i vassdraget, slik som det praktiseres her, vil også gi større muligheter for stabilisering av en stor andel aluminium før det når anadrom strekning. De store, og nå kalkede, innsjøene gir også muligheter for sedimentasjon og dermed fjerning av en stor andel aluminium i selve bassengene. Som nevnt i avsnittet om innsjøene i dette kapitlet bør endring i vannkvalitetsmål for både innsjøene og det øvrige vassdraget ses i sammenheng.



Figur 15. Kalkbehov og kostnader ved ulike kalkingsscenarier for Arendalvassdraget. Alternativet med rekalking av innsjøer (fylt sirkel; grønn farge) anbefales. De to andre alternativene er uten rekalking av innsjøene og med eller uten generell forbedring av forurensingssituasjonen nedstrøms de store innsjøene.

Det mest sannsynlige scenariet framover, og det alternativet som anbefales, innebærer rekalking av innsjøene Nisser og Fyresvatn og dosering fra to kalkdoserere. Årlige kostnader for dette er gitt i **Figur 15**. I kostnaden er det lagt inn avskrivning av anleggene i løpet av 10 år, dvs. at antatt innkjøpspris på 1.8 mill. per anlegg er fordelt på disse 10 årene. I tillegg er det lagt inn drifts- og

1987 kom vannføringen ved Rygene opp i omlag 1200 m³/s, og det er helt urealistisk å avsyre slike vannmengder til mål-pH. Ukkesmidler i to uker omkring denne flommen var omlag 700 m³/s (AVB-data). Høyeste ukemiddel i perioden 1980-1998 med unntak av denne flommen kom opp i omlag 500 m³/s. Denne vannføringen er 4-5 ganger større enn middelvannføringen ved Rygene og ble ikke nådd som døgnmiddel i årene 1996-1998. Dempningen i vassdraget er betydelig fordi avrenningen fra mer enn det halve nedbørfeltet i perioder kan strupes kraftig ned, og en slik vannføring inntreffer relativt sjelden, og kun i korte perioder.

På basis av ovennevnte er det lagt til grunn at kapasiteten på kalkdoseringen skal holde fullt ut for 400 m³/s, som er 3-4 ganger større enn middelvannføringen. En vannføring på 400 m³/s i kombinasjon med utgangs-pH 5.7 medfører at anleggene må kunne dosere 60 tonn kalk/døgn hvis vannkvalitetsmålet ved Rygene er pH 6.4 (perioden april og mai). Hvis vannføringen er 250 m³/s vil samme kapasitet kunne avsyre ved utgangs-pH 5.2 og mål-pH 6.4 (perioden april og mai) eller kombinasjonen vannføring 500 m³/s, utgangs-pH 5.6 og mål-pH 6.2 (perioden 15. februar-1. april). I perioden da pH skal være 6.0 (1. juni-15. februar), f.eks. om høsten, vil kapasiteten holde for 700 m³/s og utgangs-pH 5.6. Disse kombinasjonene er sannsynlige, men vil sjelden nås, slik at sikkerhetsmarginen er satt relativt høyt.

Kalken bør doseres til vassdraget på basis av vannkvalitet og vannføring for å dra full nytte av de kalkingsaktiviteter som gjennomføres oppstrøms dosereren. Ved å måle pH nedstrøms doserer og korrigere dosen etter oppnådd pH i et slikt feedback-system vil en også få med seg vannkvalitetseffekten av den kalken som sedimenteres nedstrøms anlegget og som løses over lang tid. Dette vil si at en slik doserer som i 1996 ble etablert ved utløpet av Herefossfjorden i Tovdal er mest aktuell.

Behovet for to anlegg gjør det mulig med plassering på to ulike steder. Kraftverket ved Åmli eller strykene oppstrøms Sigridnes ved Gjermundnesbrua for RV 41 er ett alternativ, mens kraftverkene nedstrøms Nelaug er et annet. Det kan være fornuftig å legge den halve kalkmengden til et anlegg ved Åmli. Dette anlegget blir da liggende nedstrøms et stort lokalfelt (950 km²) og kan dermed avsyre mesteparten av de problematiske tilsigene derfra. Selv om en kan tenke seg at dette kun er vannføringsstyrt fordi et anlegg lengere nede vil kunne styres etter pH, gjør mulighetene for relativt stor vannkvalitetsforskjell (se avsnitt 5.1) og stor vannføring i smoltifiseringsperioden at anlegget bør være pH-styrt.

Et anlegg i Åmfoss kraftverk kan ikke styres etter pH nedstrøms på grunn av den dårlige utblandingen av kalk i området nedstrøms, men pH oppstrøms kan med fordel benyttes. Et anlegg plassert oppstrøms strykene ved bro for RV 41 over Nidelva ved Gjermundnes kan imidlertid styres etter pH nedstrøms og atkomsten vil være enkel. Anlegget kan plasseres på østsiden av brua med gode oppløsningsforhold for kalk i elva.

Det andre doseringsanlegget kan plasseres ved Bøylefoss kraftstasjon. Det er godt oppstrøms nåværende lakseførende strekning (til Evenstad kraftverk), og vil også være oppstrøms lakseførende strekning ved etablering av laksetrapp ved Evenstad, se avsnitt 7.3. Ved en eventuell utvidelse av anadrom sone opp til Bøylestad vil en også være sikret tilstrekkelig vannkvalitet for laks. Dette anlegget bør styres etter pH-nedstrøms for å få optimalt forbruk av kalk. Det vil gi muligheter for å korrigere for eventuelle unøyaktigheter eller avbrudd ved dosering høyere oppe i vassdraget, og for å styre inn til mål-pH. Ved denne plasseringen må en være oppmerksom på at innblandingsforholdene for kalk er begrenset og at nedstrøms-pH bør måles et stykke etter utløpet av bassenget nedstrøms kraftverket. Det er også mulig at kalken bør utdoseres ved dette utløpspunktet for å hindre sedimentasjon i bassenget.

Den totale kostnaden vil være avhengig av hva som kan legges inn av egeninnsats på erverv eller leie av tomt, atkomst for kalkbil, fundamenteringsarbeider, oppsetting av bu/overbygg for anlegget,

framføring av strøm, telefon og annen form for tilrettelegging. Dette er forhold som må avklares og deler av det kan legges inn i anbudspapirer når hele prosjektet eventuelt skal sendes ut på anbud.

7.1.3 Alternativ 2: Kalkdosering i sidevassdrag

Et alternativ til kalkdosering i hovedvassdraget for å bringe vannkvaliteten opp til generelle mål er å tilføre kalk i sidevassdrag. Begrunnelsen for dette er at det er her, i de ukalkede og sure sidevassdragene, den problematiske aluminiumstilførselen skjer. Det kan derfor være viktig å avgifte og stabilisere aluminium før utlekking til hovedvassdraget. Særlig oppmerksomhet knyttes til anadrom strekning for å redusere muligheten for negative effekter på laksesmolt.

Uorganiske aluminiumsforbindelser og områder i vassdraget der det skjer en polymerisering av disse må unngås i størst mulig grad. Laksesmolt som utsettes for uorganisk aluminium og polymerisering av disse kan, selv om det ikke gir umiddelbar dødelighet, gi skader i ferskvann eller skader som påføres i saltvann etter utvandring. En generell svekkelse av smolt og dermed dårlig smoltkvalitet kan ødelegge muligheten for reetablering av en laksebestand.

Aluminium mobiliseres på ulike måter, hvorav mobilisering ved sjøsaltepisoder (Hindar et al. 1993) er spesielt potent og kan forårsake fiskedød (Hindar et al. 1994). I Arendalsvassdragets nedre del er faren for sjøsaltepisoder trolig relativt liten selv om en viss effekt kan forekomme i spesielle vær-situasjoner med storm og kraftig pålandsvind. I lavereliggende områder vil løsavsetninger også ha noe innhold av gamle marine, og dermed kalkholdige, avsetninger. Det vil dempe vannkvalitetsvariasjoner.

Nelaugmagasinet har begrenset kapasitet for tilbakeholdelse av vann, men kan likevel være et viktig magasin for å avgifte tilført aluminium fra lokalfeltet oppstrøms. I avsnitt 3.1.2 ble det vist hvordan iallfall pH-reduksjoner på grunn av lokaltilsig kan dempes. Aluminium fra disse feltene vil under normale omstendigheter komme ut i en bedre vannkvalitet i Nelaug og dermed starte en polymeriseringsprosess. Det at Nelaug øker vannets oppholdstid og dermed muligheter for stabilisering av kjemien er positivt.

Av sidefelt videre nedover er vannkvaliteten i Songeelva, utløpet fra Trævatn og utløpet fra Rore relativt godt kjent. Songeelva kan i spesielle situasjoner ha lav pH, som vist tidligere, men om mobilisering av aluminium skjer samtidig er ukjent. Hvis noe eller mye av pH-reduksjonen kan tilskrives økningen i TOC, kan det være at effekten på aluminium er liten. pH i utløpet fra Trævatn var over 5.7 ved alle prøvetakinger i 1998 (Kaste og Håvardstun 1999). Rorefeltet er 193 km², men var i 1998 avsyret ved at pH var nær 6.0 i Rore. Dette gjør at Al-tilførslene herfra trolig er ufarlige for laksen.

Halveringen av konsentrasjonen av reaktivt Al ved Rygene de siste årene og utsikter til ytterligere reduksjon, innebærer at vassdraget er blitt "smillere", også i de mest ekstreme episodene. Data fra Tovdalsvassdraget (Hindar 1999) viser også at når vannkvaliteten forbedres generelt vil forsurende episodene bli mindre ekstreme. Episodiske tilførsler fra sidefeltene i Arendalsvassdraget vil i årene framover blandes ut i en vannkvalitet som i utgangspunktet har mindre aluminium, og der mye aluminium allerede er avgiftet i innsjøene. Det vil si at episodene også av denne grunn blir mindre kritiske for hovedvelva.

Men eksemplene som er vist i avsnitt 5.1 viser at lokaltilsiget mellom de store innsjøene og Åmli fortsatt har betydelige konsentrasjoner av aluminium. Kombinert med pH-verdier som kan komme ned mot 5.5 (høsten 1997), og som trolig kan vedvare iallfall noen døgn, tilsier det at tiltak bør iverksettes i dagens situasjon for å gi akseptabel vannkvalitet for laks.

Tiltak i sidefeltene i Åmliområdet er imidlertid ikke enkelt. De største tilførslene er riktignok langt oppstrøms anadrom strekning, og kalkingstiltak kan dermed legges langt nede i det enkelte

sidevassdraget. Stabilisering av aluminium vil være god både på grunn av avstand til anadrom strekning og fordi Nelaugbassenget øker vannets oppholdstid og dermed den tiden som er tilgjengelig for å endre tilstandsformene til aluminium.

Den største hindringen for å realisere denne strategien ligger i at det må settes inn en rekke tiltak fordi lokaltilsaget er så spredt. Tiltakene hver for seg blir små i forhold til dosert mengde kalk, men man må likevel være sikker på at de drives uten avbrudd i kritiske perioder. Det kan kreve en del ressurser i form av tilsyn, gode påfyllingsrutiner for kalk og vannkvalitetskontroll. Store deler av lokalfeltet mellom de store innsjøene og Åmli utgjøres dessuten av hovedelvas lokalfelt. Her er tilførselene svært oppsplittet i småbekker og diffus tilrenning, og det vil derfor være vanskelig å gjennomføre enkle tiltak for disse feltene. Vannmengden fra det 350 km² store feltet mellom Åmli og Evenstad er det neppe mulig å avsyre med dosering i ett eller to sidefelt fordi de er for små og dermed ikke kan transportere nødvendig mengde kalk ut i hovedvassdraget. En rekke tiltak må settes inn også her.

Alternativt til dosering kan en tenke seg å kalke terrenget. Det vil stabilisere vannkvaliteten og sannsynligvis gi et svært akseptabelt resultat (Hindar 1997; Hindar et al. 1999). Men terrengkalking med en dose på mellom 1 og 3 tonn/ha for et lokalfelt på f.eks. 1000 km² vil koste 150-450 mill.kr. hvis tonnprisen for ferdig spredd kalk settes til kr. 1500.-. For en så stor entreprise vil en imidlertid kunne anta at tonnprisen kan komme ned mot kr. 1000.- og at totalkostnaden da blir 100-300 mill.kr. eller lavere. En slik kostnad er neppe realistisk innenfor årlige bevilgningsrammer til kalking i Norge på 80-90¹ mill.kr. På den annen side kan det være at en slipper ytterligere kalking i dette området på grunn av en forventet langvarig effekt, og kostnaden kan dermed fordeles over for eksempel 20 år. Det kommer ingen drifts- eller administrasjonskostnader i tillegg, slik som ved bruk av andre kalkingsteknikker. En beregnet total kostnad på ca. 60 mill. kr. for det anbefalte alternativet i avsnitt 7.1.2. fram til 2020 vil imidlertid være det rimeligste. Det inkluderer dessuten rekalking av innsjøene, noe terrengkalkingen av 1000 km² ikke gjør.

Konklusjonen på dette avsnittet er at det er problematisk å tenke seg en fullgod dosererkalking i sidevassdrag som alternativ til dosering i hovedvassdraget. Slik kalking kan imidlertid være et supplement. Terrengkalking kan være et alternativ, men en må da regne med at totalkostnaden blir større.

7.1.4 Alternativ 3: Vente å se

Gitt de utsikter som foreligger for bedring av vannkvalitet i kombinasjon med at tiltaket ikke kan prioriteres eller at potensialet for lakseproduksjon blir vurdert som for lite, kan en tenke seg at en ikke gjennomfører ytterligere kalkingstiltak i hovedvassdraget. Mulighetene for at en laksebestand likevel kan etablere seg kan være til stede. Det kan jo tenkes at DN's vannkvalitetsmål ligger så mye over det som er det egentlige behovet når forsuringssituasjonen bedres og at vannkvaliteten etterhvert blir så nær det som er akseptabelt for laksesmolt at dette likevel kan gi et resultat.

En slik tilnærming kan imidlertid ikke anbefales hvis målet er reetablering av laks. Begrunnelsen for dette er gitt i de foregående avsnitt. Kort oppsummert viser alle beregninger at vannkvaliteten ikke vil bli bedre enn 1998-verdiene for sentrale parametre uten ytterligere kalktilførsel. Vår oppfatning er at pH og bufferkapasitet er for lav og at faren for episoder med høye aluminiumskonsentrasjoner fortsatt er til stede i vassdraget. Manøvreringen av vassdragsreguleringene er en medvirkende årsak til dette. Den generelle vannkvalitetsforbedringen er foreløpig for dårlig til å gi akseptable forhold for laks.

¹ De statlige kalkingstilskuddene er noe over 100 mill.kr./år, men midlene brukes både på tiltak, undersøkelser, informasjon og andre tilknyttede aktiviteter, slik at det som reelt sett er til disposisjon for kalking trolig er 80-90 mill.kr.

Om en likevel bestemmer seg for å ikke gjennomføre ytterligere kalking, kan det være interessant å teste om laksesmolt i enkelte gunstige år likevel kan ha akseptable forhold. Parallelt med dette kan en montere en stasjon for kontinuerlig måling av pH ved Rygene. Da vil en få mer informasjon om hvor langvarig og alvorlig episodene er. Siden pH-fall og økning i aluminiumskonsentrasjon under episoder sannsynligvis avtar framover på grunn av den generelle bedringen i forsuringssituasjonen, vil dette i kombinasjon med "gode år" kanskje kunne legge forholdene til rette for en viss smoltproduksjon uten ytterligere tiltak.

7.2 Kan Nidelva få tilbake en sterk selvreproduserende laksestamme?

Det knytter seg stor usikkerhet til estimatene av forventet smoltproduksjon i Nidelva som er utført i denne undersøkelsen. Fordi vi ikke har kunnskap om forventet overlevelse i sjøen, vil det dessuten være enda vanskeligere å estimere antall gytefisk som vil vende tilbake til Nidelva. Det vi imidlertid kan konkludere med er at Nidelva har små arealer som er gode gyte- og oppvekstområder. Registreringer av radiomerket laks viser i tillegg at oppvandringen forsinkes kraftig eller hindres nederst i lakseførende strekning på minstevannføringsstrekningen mellom Helle og Rygene (Thorstad et al. 1998). Det er dessuten en stor mengde laks med oppdretts- og kulturbakgrunn samt feilvandrere fra andre villaksstammer som vandrer opp i vassdraget. I årene 1992-97 passerte årlig mellom 85 og 178 laks fiskeslusa i Rygenefossen (Dag Matzow pers. med.). Trolig stammer ingen av disse fra Nidelva fordi det på grunn av dårlig vannkvalitet har vært manglende reproduksjon i vassdraget (Anon. 1998). Denne fisken vil bidra med et høyt innslag av ikke-stedegen laks i Nidelva, selv om oppdrettsfisk som gjenkjennes ut fra utseende tas ut i fiskeslusa og avlives. Slik fisk vil bidra til å øke antallet gytelaks i vassdraget, men et høyt innslag av ikke-stedegen laks vil trolig i det lange løp ha negative effekter på en selvreproduserende bestand (f eks Heggberget et al. 1993). Oppbyggingen av en sterk selvreproduserende laksestamme i Nidelva krever derfor flere tiltak, se avsnitt 7.3.

7.3 Anbefalinger om tiltak

Arendalsvassdraget er ikke optimalt kalket om målet er reetablering av en laksebestand. En optimal kalking for laks, med grunnlag i de kriterier som er gitt av Direktoratet for naturforvaltning (DN), og med de praktiske og økonomiske begrensninger som er omtalt, er som følger:

- etablere en pH-styrt kalkdoserer ved Åmli (Gjermundnesbrua for RV 41),
- etablere en pH-styrt kalkdoserer ved Bøylefoss kraftverk,
- kalke til DN's generelle vannkvalitetsmål,
- kalke for kombinasjoner av utgangs-pH, mål-pH og vannføring som krever en samlet doseringskapasitet på 60 tonn kalk/døgn,
- rekalke Nisser og Fyresvatn når pH kommer under 5.7, dvs. tidligst i 2003,
- eventuelt kalke sidevassdrag som et supplement, ikke som alternativ, til kalkdosering i hovedvassdraget,
- revurdere DN's vannkvalitetsmål når det er grunnlag for det og
- når mulighetene byr seg, gå gjennom konsesjonsvilkårene for reguleringen av de store innsjøene

Oppbygging av en sterk selvreproduserende laksebestand i Nidelva krever flere tiltak i tillegg til forbedret vannkvalitet:

- en forbedring av forholdene for oppvandring i minstevannføringsløpet mellom Helle og Rygene,
- bygging av laksetrapp ved dammen på Evenstad,
- reduksjon av innslaget av ikke-stedegen laks og
- habitatrestaurering for å øke arealet av gyte- og oppvekstområder.
- en varig forbedring av gyte- og oppvekstområder krever trolig et endret vannføringsregime slik at et grovere bunnsstrat blir av mer varig karakter.

Om kalking og andre tiltak etter disse anbefalinger blir gjennomført, vil store ressurser gå til et vassdrag der potensialet for lakseproduksjon er begrenset. På den annen side var mye av begrunnelsen

for kalking av Nisser og Fyresvatn at disse innsjøkalkingene var de to første trinn i en total oppkalking av vassdraget. Nasjonen har dessuten et særlig ansvar for den atlantiske villaksen, se NOU (1999). Reetablering i et tidligere laksevassdrag i et område der presset fra oppdrettsnæring og sykdom/parasitter er lite, øker muligheten for å ivareta denne oppgaven. Reetablering av en laksestamme kan i dette perspektivet ha stor verdi selv om produksjonen er relativt lav.

Selv om igangsatte kalkingstiltak har ført til økt vannkvalitet og forsurenings situasjonen bedres, kan vi ikke anbefale en vente og se - strategi om målet er at laksen skal reetableres. Om en likevel skulle velge å ikke trappe opp kalkingen, bør en gjennomføre en løpende undersøkelse av de sure episodenes hyppighet og styrke ved at det etableres en pH-stasjon ved Rygene. Samtidig bør en undersøke hvordan laksesmolt reagerer på vannkvaliteten slik den utvikler seg i årene framover.

8. Referanser

- Anon. 1998. Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1997. DN-notat 1998-3: 1-376.
- Baglinière, J.-L. and Champigneulle, A. 1986. Population estimates of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, as indices of smolt production in the R. Scorff, Brittany. *J. Fish Biol.* 29: 467-482.
- Berg, M. 1977. Tagging of migrating salmon smolts (*Salmo salar* L.) in the Vardenes River, Troms, Northern Norway. *Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm* 56: 5-11.
- Brandrud, T.E. 1999. Arendalsvassdraget kap. 5. Makrovegetasjon, s. 37-39. I: Kalking i vann og vassdrag: Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4.
- Erikstad, L., Storeid, S.-E. og Hansen, L.P. 1999. Estimering av produksjon av laksesmolt i norske vassdrag ved hjelp av GIS. NINA Oppdragsmelding 602: 1-10.
- Fleming, I. A. 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Rev. Fish Biol. Fish.* 6: 379-416.
- Gibson, R.J. 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Rev. Fish Biol. Fish.* 3: 39-73.
- Gibson, R.J. and Myers, R.A. 1988. Influence of seasonal river discharge on survival of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 344-348.
- Heggberget, T.G., Johnsen, B.O., Hindar, K., Jonsson, B., Hansen, L.P., Hvidsten, N.A. and Jensen, A.J. 1993. Interactions between wild and cultured Atlantic salmon: a review of the Norwegian experience. *Fish. Res.* 18: 123-146.
- Hesthagen, T. and Garnås, E. 1984. Smolt age and size of Atlantic salmon *Salmo salar* L. and sea trout *Salmo trutta* L. in a Norwegian river. *Fauna norv. Ser. A* 5: 46-49.
- Hesthagen, T. and Hansen, L.P. 1991a. Estimates of the annual loss of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Norway due to acidification. *Aquacult. Fish. Man.* 22: 85-91.
- Hesthagen, T. og Hansen, L.P. 1991b. Tap av laks i forsurede lakse-elver i Norge. NINA Oppdragsmelding 094: 1-12.
- Hesthagen, T., Ousdal, J.-O. and Bergheim, A. 1986. Smolt production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) in a small Norwegian river influenced by agricultural activity. *Polish Arch. Hydrobiol.* 33: 423-432.
- Hindar, A. 1989. Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser og Arendalsvassdraget. O-89164, NIVA. Kalking av surt vann, rapport 8/89. 28 s.
- Hindar, A. 1997. Liming of acidified surface waters-strategies and effects. Thesis, University of Oslo. 42 p.+app.

- Hindar, A. (red.) 1999. Arendalsvassdraget, s. 27-53. I: Kalking i vann og vassdrag: Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. og Lien, L. 1993. Betydningen av sjøsaltanrikt nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA, O-93129. 42 s.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. and Semb, A. 1994. Acid water and fish death. *Nature* 372: 327-328.
- Hindar, A., Norgaard, E., Nilsen, P., Høgberget, R. and Wright, R.F. 1999. Whole-catchment application of dolomite to an acidified forest ecosystem in Gjerstad, Southern Norway. Report 4097-99. Norwegian Institute for Water Research. Acid Rain Research, report 50/1999. 89 pp.
- Hvidsten, N.A. 1993. High water discharge after regulation increases production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in the River Orkla, Norway. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 118: 175-177.
- Hvidsten, N.A. and Ugedal, O. 1991. Increased densities of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) in the River Orkla, Norway, after regulation for hydro-power production. *Trans. Am. Fish. Soc. Symp.* 10: 219-225.
- Jonsson, N., Jonsson, B. and Hansen, L.P. 1990. Partial segregation in timing of migration of different aged Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Anim. Behav.* 40: 313-321.
- Kaste, Ø. og Håvardstun, J. 1999. Vannkvalitetsundersøkelse i Nidelva, Aust-Agder 1998. NIVA-rapport 4029-99. 25 s.
- Kaste, Ø., Henriksen, A. og Hindar, A. 1999. Forsuringssituasjonen i Arendalsvassdraget 1993-1994. Forslag til kalkingsstrategi basert på tålegrenseoverskridelser fram mot år 2010. NIVA, O-93184. 54 s.
- Kaste, Ø. og Walseng, B. 1999. Rorevassdraget. Årsrapport for 1998 fra FoU-virksomheten. Upublisert manus. Direktoratet for naturforvaltning.
- Kittelsen, O. 1963. Laksefiske i Nidelven. Manuskript, 12 s.
- Krumbein, W.C. and Pettijohn, J.F. 1938. *Manual sedimentary petrography*, chap. 9. s. 228-267. Appleton-Century-Crofts, Inc., New York.
- Landmark, A. 1876. Beskrivelse over Nisserelvens vasdrag. Rapportskjema, fiskeriinspektøren, 3 s.
- Lindstrøm, E.-A. 1999. Arendalsvassdraget; kap. 6 Begroing, s. 40-41. I: Kalking i vann og vassdrag: Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4.
- Matzow, D. 1995. Rygene kraftverk i Nidelva, Aust-Agder. Vurdering av gassovermetning, minstevannføring og fisketrapp. Fylkesmannen i Aust-Agder, Notat nr. 1-1995, 16 s.
- Mejdell Larsen, B. 1999. Arendalsvassdraget; kap. 3 Fisk, s. 33-44. I: Kalking i vann og vassdrag: Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4.
- Mills, D. 1989. *Ecology and management of Atlantic salmon*. Chapman og Hall, London, 351 s.
- NOU 1999. Til laks åt alle kan ingen gjera? Om årsaker til nedgangen i de norske villaksbestandene og forslag til strategier og tiltak for å bedre situasjonen. Norges offentlige utredninger 1999:9.

Nøst, T., Heggberget, T.G. og Lamberg, A. 1998. Fiskebiologiske undersøkelser i Skjoma 1997-98, Narvik kommune, Nordland fylke. NINA Oppdragsmelding 567: 1-37.

O'Connell, M.F. and Ash, E.G.M. 1989. Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt production in a Newfoundland river system characterized by lacustrine habitat. Int. Revue ges. Hydrobiol. 74: 73-82.

SFT 1998. Statlig program for forurensingsovervåking. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – effekter 1997. SFT Rapport nr. 748/98. 217 s.

Simonsen, J.H. 1993. Fisketrapp og fiskesluse i Rygenefossen. Rapport, 19 s.

Simonsen, J.H. 1995. Nidelva. Fiskebiologiske undersøkelser 1993-1994 og 1989-1990. Rapport, 60 s.

Symons, P.E.K. 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) for maximum smolt production in rivers of different productivity. J. Fish. Res. Board Can. 36: 132-140.

Sættem, L.M. 1995. Gytebestander av laks og sjøaure. En sammenstilling av registreringer fra ti vassdrag i Sogn og Fjordane fra 1960 - 94. DN-utredning 1995 - 7: 1-107.

Sættem, L.M. og Boman, E. 1985. Tilslammingen av Nidelva og Rore på grunn av kanaliseringsarbeider ved utvidelse av Evenstad kraftstasjon 1983. Rapport nr. 3 Fiskeribiologiske studier i nedre del av Nidelvassdraget i tidsrommet 18. august 1983 til 11.mai 1984. Oppfølgende undersøkelser av fysiske, kjemiske og bakteriologiske forhold. Fylkesmannen i Aust-Agder, rapp. nr. 3-1985, 74 s.

Thorstad, E.B, Økland, F. og Kroglund, F. 1998. Vandring hos laks og sjøørret ved Rygene kraftverk i Nidelva, Aust-Agder - telemetriundersøkelser 1997. NINA Oppdragsmelding 545: 1-25.

Walseng, B. 1999. Arendalsvassdraget; kap. 4 Zooplankton og bunndyr, s. 35-37. I: Kalking i vann og vassdrag: Overvåking av større prosjekter 1998. DN-notat 1999-4.

Wright, R.F. and Henriksen, A. 1999. Gap closure: use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. NIVA-rapport 4012-99. 44 s.

9. Vedlegg

9.1 Oversikt over gyte- og oppveks tområder kartlagt i Nidelva ved befarings 2. og 3. september 1999 og av Simonsen (1995). Arealet for de nummererte områdene er oppgitt i Tabell 6.

