

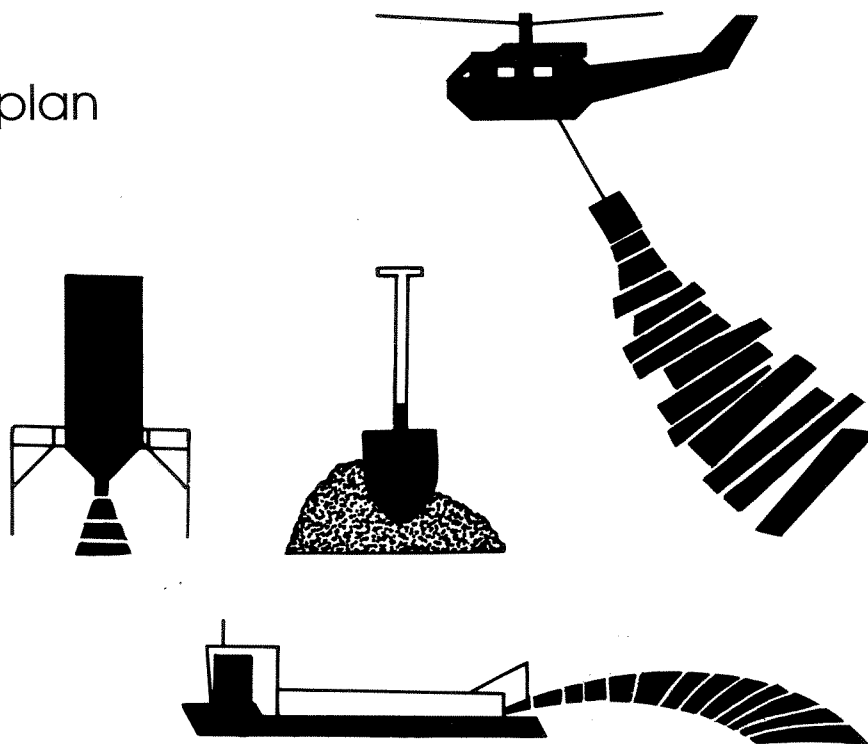


O-93257

Tiltak mot forsuring av

Otra

Kalkingsplan



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-93257	Undernr.:
Løpenr.: 3052	Begr. distrib.:

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

Rapportens tittel: Tiltak mot forsuring av Otra - kalkingsplan.	Dato: 06.04.94	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Kalking	
Forfatter(e): Øyvind Kaste Atle Hindar	Geografisk område: Agder	
	Antall sider: 37	Opplag: 135

Oppdragsgiver: Bykle, Valle, Bygland, Evje og Hornnes, Iveland, Vennessla, Kristiansand kommuner, Otteraaens brugseierforening, Fylkesmannen i Aust- og Vest-Agder, Direktoratet for naturforvaltning.	Oppdragsg. ref.:
---	------------------

<p>Ekstrakt:</p> <p>Otravassdraget har vært sterkt påvirket av forsuring gjennom mange tiår. I tilløpselvene fra øst og vest har fiskebestandene stort sett forsvunnet eller blitt sterkt redusert. Den verneverdige laksestammen, bleka, i Byglandsfjorden sluttet å reprodusere omkring 1970. Det er antatt at forsuring er en viktig årsak til dette.</p> <p>For å sikre god vannkvalitet i hovedelva ved innløp til Byglandsfjorden og redusere faren for sure episoder på strekningen Bykil - Brokke er det beregnet et årlig kalkbehov på 4800 tonn kalk. Kostnadene til kalk er anslått til 2,5 mill. kr. Det anbefales oppkalking av Byglandsfjorden det første året med 3150 tonn kalk til anslagsvis 1,6 mill. kr.</p> <p>For å sikre god vannkvalitet for laks nedstrøms Vigeland er det beregnet et ytterligere kalkbehov på 7400 tonn årlig, til en anslått kostnad på 3,7 mill. kr. Dette målnivået sikrer en pH på 6,5 i smoltifiseringsperioden (feb-jun) og på 6,2 ellers i året. Kostnader til innkjøp/leie og oppføring av kalkdoserere kommer i tillegg.</p>
--

4 emneord, norske

1. Vassdrag
2. Sur nedbør
3. Laksefisk
4. Kalkingsplan

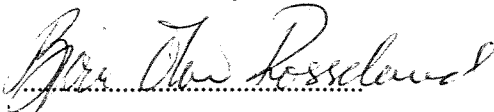
4 emneord, engelske

1. Water course
2. Acid precipitation
3. Salmonidae
4. Liming plan

Prosjektleder


Øyvind Kaste

For administrasjonen


Bjørn Olav Rosseland

ISBN-82-577-25 11-0

Norsk institutt for vannforskning
Sørlandsavdelingen

O-93257

TILTAK MOT FORSURING AV OTRA

Kalkingsplan

Grimstad

6. april 1994

Saksbehandler:

Øyvind Kaste

Medarbeider:

Atle Hindar

FORORD

I brev av 15.06.93 fra Fylkesmannens miljøvernnavdeling i Aust-Agder og brev av 18.06.93 fra Fylkesmannens miljøvernnavdeling i Vest-Agder ble NIVA anmodet om å komme med prosjektforslag for arbeidet med en kalkingsplan for Otravassdraget. NIVAs prosjektforslag, som ble utarbeidet i august 1993, ble presentert for kommunene i området, samt Otteraaens brugseierforening. I november 1993 fikk NIVA i oppdrag å utarbeide en kalkingsplan for Otra.

Hydrologiske data fra vassdraget, basert på REGINE-systemet er utarbeidet av Norges vassdrags- og energiverk (NVE). Kart over vassdraget er utarbeidet av Miljøvern-avdelingen i Aust-Agder. Kostnadsoverslag for kalk, samt pris for innkjøp og leie av kalkdoseringsanlegg er innhentet fra Miljøindustri AS i forbindelse med tidligere planer.

Kalkingsplanen for Otra er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning, Fylkesmannen i Aust-Agder, Fylkesmannen i Vest-Agder, kommunene Bykle, Valle, Bygland, Evje og Hornnes, Iveland, Vennessla, Kristiansand, samt Otteraaens brugseierforening.

Grimstad 6. april 1994

Øyvind Kaste

INNHALDSFORTEGNELSE:

FORORD	2
INNHALDSFORTEGNELSE:	3
1. KONKLUSJONER OG TILRÅDINGER	4
2. INNLEDNING.....	6
2.1. Bakgrunn.....	6
2.2. Mål for kalkingsplanen.....	7
2.3. Avgrensning.....	7
3. VASSDRAGSBESKRIVELSE	8
3.1. Vassdragsavsnitt og hydrologi.....	8
3.2. Reguleringer.....	11
3.3. Vannkvalitet og fiskestatus	15
3.4. Vannvegetasjon.....	19
3.5. Eksisterende kalkingsprosjekter i Otra.	19
4. KALKINGSTEKNISK GRUNNLAG.....	21
4.1. Kalkingsstrategi	21
4.2. Kalktyper og kalkoppløsning.....	21
4.4. Beregning av kalkdose og -mengder.....	22
4.5. Blandsoner	23
4.6. Forbehold og forutsetninger for beregninger i kalkingsplanen.....	24
5. KALKINGSPLAN.....	25
5.1. Strekningen Bykil - Byglandsfjorden utløp.	25
5.2. Kalking for laks nedstrøms Vigeland.....	30
5.3. Anbefalt framdrift.	32
6. REFERANSER	34
8. VEDLEGG.....	36
8.1. Titreringskurver.	36

1. KONKLUSJONER OG TILRÅDINGER

Otravassdraget har vært sterkt påvirket av forsurening gjennom mange tiår. Spesielt er det lave pH-verdier i de nedre delene av vassdraget, samt på strekninger med minstevannføring oppstrøms Byglandsfjorden. I tilløpselvene fra øst og vest har fiskebestandene stort sett forsvunnet eller blitt sterkt redusert. Vannmassene i selve hovedvassdraget har vært dominert av den mindre sure avrenningen fra det nordlige området, slik at det fortsatt er fisk i hele elva. I området nedstrøms Vennesla er elva for sur for naturlig reproduksjon av laks.

Den verneverdige laksestammen, bleka, i Byglandsfjorden sluttet å reprodusere omkring 1970, etter at Brokke kraftverk ble startet opp. Det er antatt at forsurening er en viktig årsak til at det har vært vanskelig å få utsatt bleke til å reprodusere i Byglandsfjorden. Kalking er derfor et aktuelt tiltak i påvente av bedre vannkvalitet ved internasjonale utslippsreduksjoner. Kalking av Otra er en relativt komplisert operasjon fordi de hydrologiske forhold er sterkt endret pga. vannkraftutbygging. Reguleringene i vassdraget påvirker til en viss grad forsuringforholdene, gjennom overføringer av vassdrag og endringer av avløpsmønsteret over året.

Del I av kalkingsplanen har som mål å sikre god vannkvalitet i hovedelva ved innløp til Byglandsfjorden og redusere faren for sure episoder på strekningen Bykil - Brokke. Det konkrete pH-målet for Byglandsfjorden er satt til pH 6,0. Dette kan vise seg å være lavt, da undersøkelser tyder på at en bør opp i pH 6,5 for å få optimal vekst hos bleke. Heving av pH til dette nivået kan derfor være aktuelt senere.

For å oppnå målsetningen under del I av planen er det foreslått etablert kalkdoseringsanlegg oppstrøms Valle, ved Brokke kraftverk, ved blivende Hekni kraftverk, samt innsjøkalking i Hovatn. Beregnet kalkforbruk og anslåtte kostnader for denne delen av kalkingsplanen er gjengitt i tabellen nedenfor. Kostnader til innkjøp/leie og oppføring av kalkdoserere er ikke tatt med her.

Del I	Valle	Brokke	Hekni	Hovatn	Sum
Årlig kalkbehov (tonn)	780	3650	150	210	4790
Årlig kostnad (1000 kr.)	390	1825	75	170	2460

Del I av planen vil kreve anslagsvis 4800 tonn kalk til en kostnad av omlag 2,5 mill. kr. Det anbefales oppkalking av Byglandsfjorden det første året, noe som vil kreve ytterligere 3150 tonn kalk og koste omlag 1,6 mill. kr ekstra. Før det kalkes i Byglandsfjorden er det viktig at kalkdosererne oppstrøms er utprøvd og kan settes i gang samtidig. Doseringsanlegget ved Brokke kraftverk foreslås styrt automatisk etter pH, eller manuelt etter manøvreringen av kraftverket.

Del II av planen bygger på del I og omfatter et kalkingsalternativ som sikrer god vannkvalitet for laks nedstrøms Vigeland. Det er foreslått kalkdoserere i Dåsåna, ved Iveland kraftverk og ved Hunsfoss. Planen inneholder to ambisjonsnivåer: Det høyeste målet er å holde pH på 6,5 i smoltifiseringsperioden (feb-jun) og på 6,2 ellers i året. Det laveste ambisjonsnivået innebærer en pH-hevning til 6,2 i smoltifiseringsperioden og til 6,0 ellers i året. Tilleggsbehov for kalk og anslåtte kostnader for del II av planen er gjengitt i tabellen nedenfor. Kostnader til innkjøp/leie og oppføring av kalkdoserere er ikke tatt med.

Tillegg for del II av planen	Dåsåna	Iveland	Hunsfoss		Sum	
			Høy	Lav	Høy	Lav
Årlig kalkbehov (tonn)	660	2300	4400	1100	7360	4060
Årlig kostnad (1000 kr.)	330	1150	2200	550	3680	2030

Del II av planen forutsetter at Del I er gjennomført på forhånd. Det høyeste ambisjonsnivået, som tar hensyn til nyere forskningsresultater om laks og vannkvalitetskrav, vil i tillegg til kalkbehovet under Del I kreve ytterligere 7400 tonn kalk til en anslått ekstrakostnad på 3,7 mill. kr. Det er også utredet et lavere ambisjonsnivå, men det er usikkert om dette er tilstrekkelig for å sikre en stabil laksebestand. Begge kalkingsstrategiene innebærer kontinuerlig kalkdosering i Dåsåna, i hovedelva ved Iveland kraftverk og ved Hunsfoss. Det er foreslått automatisk pH-styring av doseringsanlegget ved Hunsfoss.

Samlet vil kalkingsplanen for Otra innebære et behov for omlag 12000 tonn kalk årlig, til en anslått kostnad av 6,2 mill. kr. I tillegg til dette vil oppkalking av Byglandsfjorden det første året kreve anslagsvis 3150 tonn kalk til en engangskostnad av ca 1,6 mill. kr.

2. INNLEDNING

2.1. Bakgrunn.

Otravassdraget har vært sterkt påvirket av forsurening gjennom mange tiår. Dette er blant annet dokumentert gjennom et langsiktig overvåkningsprogram som NIVA utfører for SFT. Spesielt finnes det lave pH-verdier i de nedre delene av vassdraget, samt på strekninger med minstevannføring oppstrøms Byglandsfjorden. I mai 1993 var det en lokal episode med fiskedød i Valle sentrum. Det går klart fram av vannanalyser at elvevannet var svært surt på denne tiden.

Vannkvaliteten er best i de øvre delene av vassdraget hvor berggrunnen er noe mer kalkholdig og tilførselene av forurenset luft og nedbør er mindre enn i de nedre delene. Sure sideelver fører imidlertid til en gradvis forverring av vannkvaliteten i hovedelva ettersom vassdraget nærmer seg sjøen. I tilløpselvene fra øst og vest har fiskebestandene stort sett forsvunnet eller blitt sterkt redusert. Vannmassene i selve hovedvassdraget har vært dominert av den mindre sure avrenningen fra det nordlige området, slik at det fortsatt er fisk igjen i hele elva, både på strekninger med redusert og full vannføring. I området nedstrøms Vennesla er elva for sur for naturlig reproduksjon av laks.

Otravassdraget er meget stort i forhold til de største vassdrag som kalkes i dag. Men vassdraget har viktige fiskebestander som det er verdt å ta vare på. Den verneverdige laksestammen, bleka, i Byglandsfjorden sluttet å reprodusere omkring 1970, etter at Brokke kraftverk ble startet opp. Dersom bleka ikke var blitt tatt vare på gjennom en "redningsaksjon" ville den ha gått tapt (Dag Matzow, pers. medd.). Om det var effekter av slamutspyling fra tunnelene eller forsurening som stanset reproduksjonen er ikke helt avklart, men det er åpenbart at vannkvaliteten i øvre del av Byglandsfjorden var sur og uegnet for laks tidlig på 80-tallet (Hafsund 1982, 1983, Skogheim m.fl. 1984). Det er derfor antatt at forsurening er en viktig årsak til at det har vært vanskelig å få utsatt bleke til å reprodusere i Byglandsfjorden.

Otra har et stort rekreasjonspotensiale som i liten grad har blitt utnyttet pga forurensningsforholdene i de nedre delene. Utslippene fra industrien i Venneslaområdet er blitt redusert i de senere år, og i løpet av 1995 skal det i tillegg settes i drift en avskjærende industriavløpsledning som skal lede utslippene direkte til Kristiansandsfjorden. Dette vil føre til en markert forbedring av forholdene i elva. I tillegg til reduksjoner i industriutslippene er det i de senere år foretatt saneringstiltak på kloakkledningsnett, bygget renseanlegg og tilrettelagt for friluftsliv langs elva. Det er i alt gitt minst 230 mill. kr i offentlige tilskudd til tiltak i den nedre delen av Otra (P.A. Larsen, pers. medd.).

Flerbruksplanen for Otra har fisk som ett av fire satsingsområder, og det er satt miljømål både for laks og sjøaure. Otra laxefiskerlag startet i 1992 salg av fiskekort på hele den

lakseførende strekningen for første gang i historien. For å oppnå fullgod vannkvalitet i elva vil imidlertid kalking være nødvendig, inntil tilførselene av sur nedbør er redusert tilstrekkelig. Kalking av vassdraget vil koste mye, men kan også gi store gevinster. Beregninger som er gjort andre steder viser at det kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt å kalke vassdrag som Otra (Navrud 1990, 1993a, 1993b).

Kalking av Otra er en relativt komplisert operasjon fordi de hydrologiske forhold er sterkt endret pga. vannkraftutbygging. Reguleringene i vassdraget påvirker til en viss grad forsuringforholdene, gjennom overføringer av vassdrag og endringer av avløpsmønsteret over året. Konesjonsbetingelsene for den pågående Hekni-utbyggingen åpner for å gi konsesjonæren pålegg om å kalke strekningen med minstevannføring. Dette gjelder imidlertid bare en liten del av vassdraget, og tilsvarende pålegg er ikke innarbeidet i de andre konsesjonene. Det er tidligere anslått kalkbehov ved kalking av hele Otra, samt strekningen som omfattes av Hekni-utbyggingen (Traaen og Johannessen 1987, Grande og Wright 1982).

2.2. Mål for kalkingsplanen.

Miljøvernavdelingen hos Fylkesmennene i Aust- og Vest-Agder har formulert følgende mål for arbeidet med kalkingsplanen for Otravassdraget:

1. Det skal sikres en god vannkvalitet i hovedelva ved innløp til Byglandsfjorden, slik at verken bleka eller auren i Byglandsfjorden blir skadelig påvirket av surt vann. Det skal vurderes ulike strategier, med spesifisering av metoder, kalkmengder og kostnader. Det er også viktig å vurdere tiltak som reduserer eller eliminerer faren for sure episoder på strekningen med redusert vannføring mellom Bykil og Brokke.
2. Kalkingsplanen skal omfatte et kalkingsalternativ som sikrer god vannkvalitet for laks i den nedre delen av Otra, fra sjøen til Vigelandsfossen (den lakseførende strekningen).
3. Det er ønskelig at prosjektet også vurderer forsuringssituasjonen og effekten av de aktuelle kalkingsstrategier for hele vassdraget, fra Bykle til utløpet i sjøen.

2.3. Avgrensning.

Kalkingsplanen er basert på eksisterende vannkjemiske og biologiske data fra vassdraget. Det gjennomføres ikke noe eget vannkjemisk undersøkelsesprogram i forbindelse med kalkingsplanen, bortsett fra at det innhentes prøver til titeringsanalyser én gang.

Planen skal gi svar på kalkbehovet ved kalking til forskjellige vannkvalitetsnivåer i et år med "normal" avrenning. De kostnader en kommer fram til kan bare være retningsgivende, totalsummen vil først framkomme etter en anbudsrunde. Fiskestelltiltak og vurdering av utsettingsbehov og -rutiner er ikke tatt opp i planen. Se ellers avsnitt 4.6.

3. VASSDRAGSBESKRIVELSE

Otravassdraget har et naturlig nedbørfelt på 3738 km² og er Sørlandets mest vannrike vassdrag. Fra kildeområdet nord for Hovden i Setesdalen og til utløpet i Kristiansandsfjorden er det en strekning på 240 km. Figur 1 viser Otra med nedbørfelt.

De høyereliggende delene av vassdragets nedbørfelt er delvis dominert av bjørkeskog. Tregrensa ligger på ca. 1000 moh, men også store deler av de lavereliggende heiområdene ned til 4-500 moh er skogfattige. I de nedre deler dominerer lauv- og barskog. De mektigste løsavsetningene finnes langs hovedvassdraget, spesielt i forbindelse med innsjøbassengene. Store deler av heiområdene i nedbørfeltet er karakterisert av fjell i dagen og tynt morenedekke. De sørligste delene av Otra, fra Mosby og sørover, ligger under den marine grense, mens resten av nedbørfeltet ligger i sin helhet over den marine grense, dvs. over ca. 40 moh. Påvirkninger av marine avsetninger betyr derfor minimalt for vannkvaliteten i Otra. Vassdraget skjærer gjennom raet ved utløpet av Venneslafjorden.

3.1. Vassdragsavsnitt og hydrologi

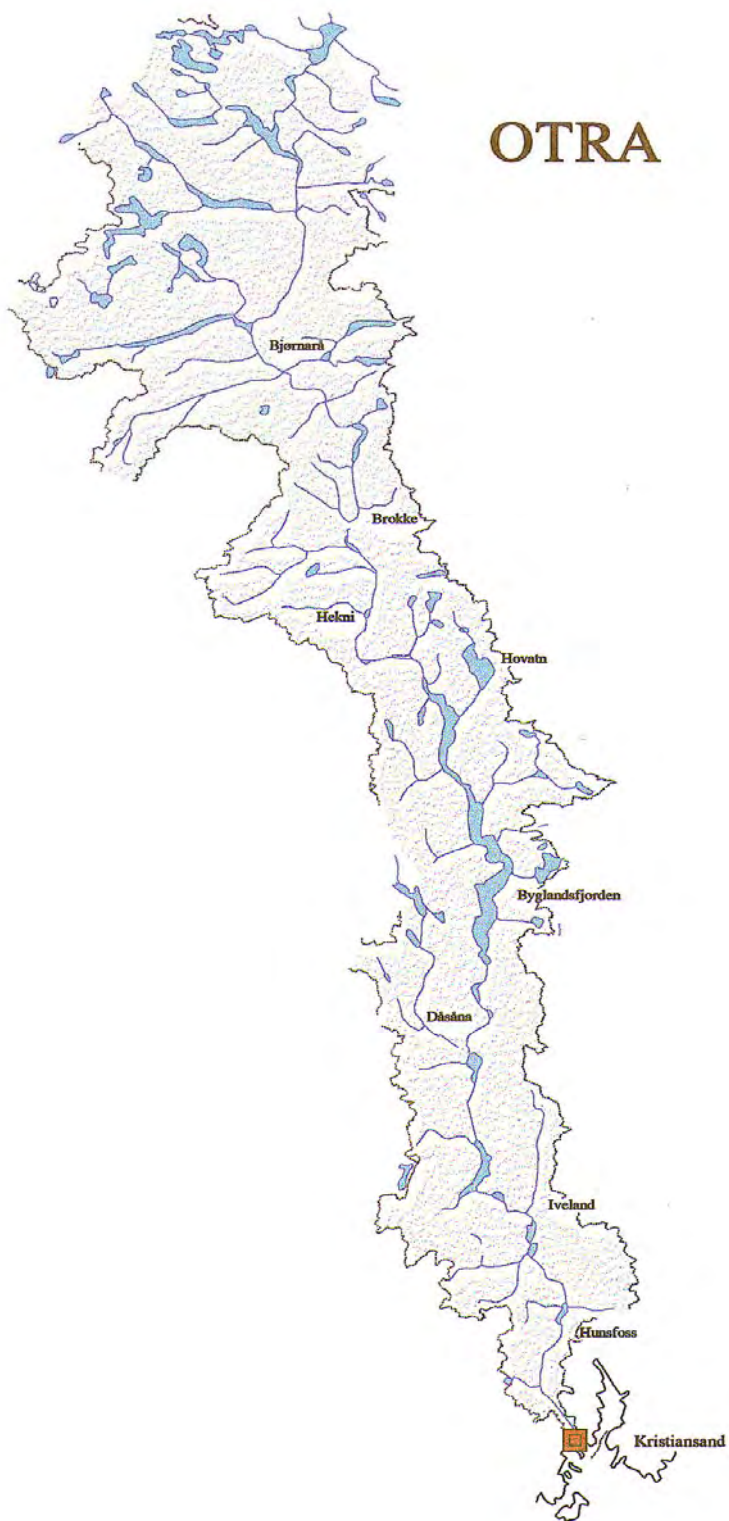
Otravassdraget ligger i grensesonen mellom områder som mottar mye nedbør og områder som ligger i regnskygge. Årlig nedbørhøyde avtar fra over 2000 mm i vestlige deler til knapt 700 mm i øst. Det er store forskjeller i gjennomsnittstemperatur fra nord til sør i nedbørfeltet. Mens Kristiansand bare har to måneder i året med gjennomsnittstemperatur under 0 °C, har Bjåen ved Hovden seks.

Tabell 1 viser vannføringsdata for ulike målepunkter på strekningen Valle-Vigeland. Vannføringen ved Valle er preget av at store deler av det naturlige tilsiget føres utenom elveløpet og inn i Brokke kraftverk. Vannføringen som er målt nedstrøms Brokke kraftverk er tilnærmet summen av vannføringen forbi Valle og vannet som kommer ut av kraftverket. På grunn av de omfattende reguleringene i Otras øvre nedbørfelt er det ikke tatt med normalverdier for vannføring basert på 1930-1960 normalen.

Tabell 1. Vannføringsdata basert på døgnverdier ved et utvalg av NVEs målestasjoner i Otra.

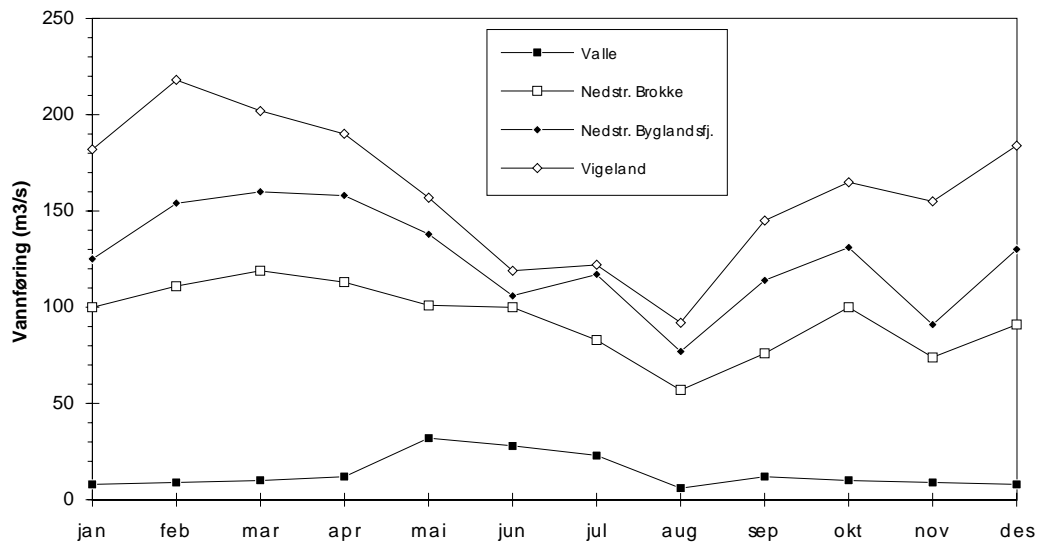
	Valle	Nedstrøms Brokke	Utløp Byglandsfjord	Vigeland
Nedbørfeltareal (km²)	regulert	1771	2767	3668
Periode	1990-1992	1990-1992	1990-1992	1990-1992
Middel (m³/s)	14,4	94	125	161
Maksimum (m³/s)	230	365	804	861
Minimum (m³/s)	2,1	6	13	22*

**) Skyldes vedlikeholdsarbeider på Nomeland kraftstasjon. Pålagt minstevannføring: 50 m³/s.*



Figur 1. Otra med nedbørfelt. Kart fra miljøvernavdelingen i Aust-Agder.

Vannføringen nedstrøms Brokke er preget av høy vintervannføring og lav sommervannføring (figur 2). Ved Valle stammer restvannføringen hovedsakelig fra uregulerte nedbørfelt. Vannføringsmønsteret her er derfor noe anderledes, med høy vannføring på forsommeren og lav vannføring om vinteren. Snøsmelting i fjellet er en viktig årsak til den høye vannføringen på forsommeren.



Figur 2. Månedsmiddelvannføring på stasjoner i Otra fra perioden 1990-1992.

Byglandsfjorden er den største innsjøen i hovedvassdraget med et areal på 35 km² og et nedbørfelt på nær 2800 km² (tabell 2). Innsjøen er 167 meter dyp og består av flere innsjøbassenger med mellomliggende terskler. På bakgrunn av tilsigsdata og innsjøvolum er det beregnet en teoretisk oppholdstid for vannet i innsjøen på 0,6 år. Det vil si at det tar litt over 7 måneder å fylle opp bassenget med naturlig tilsig.

Tabell 2. Hydrologiske data for Byglandsfjorden (Østrem m.fl. 1984).

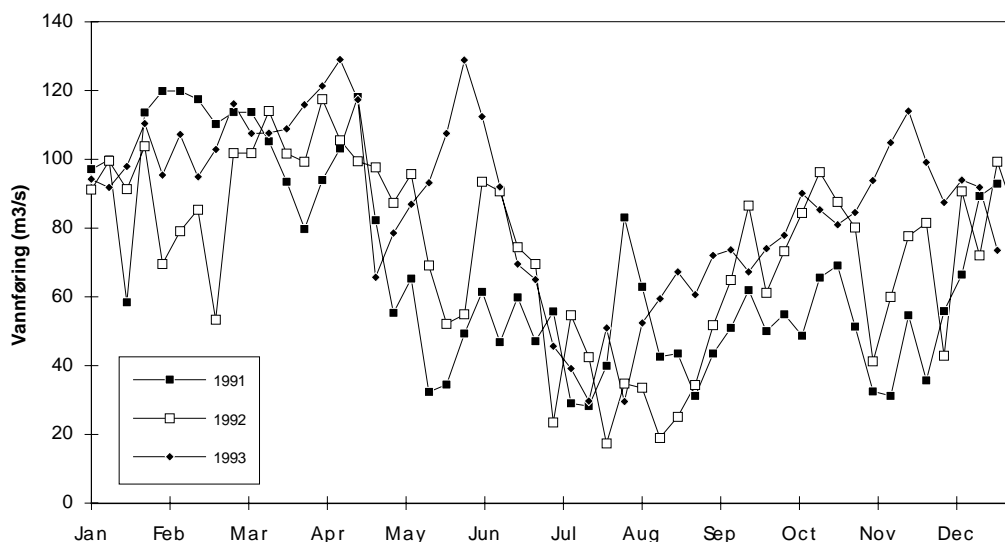
Nedbørfelt (km ²)	2772
Midlere årlig avløp (mill. m ³)	3494
Innsjøareal (km ²)	34,6
Max. dyp (m)	167
Mid dyp (m)	58
Innsjøvolum (mill. m ³)	1995
Teoretisk oppholdstid (år)	0,6

3.2. Reguleringer

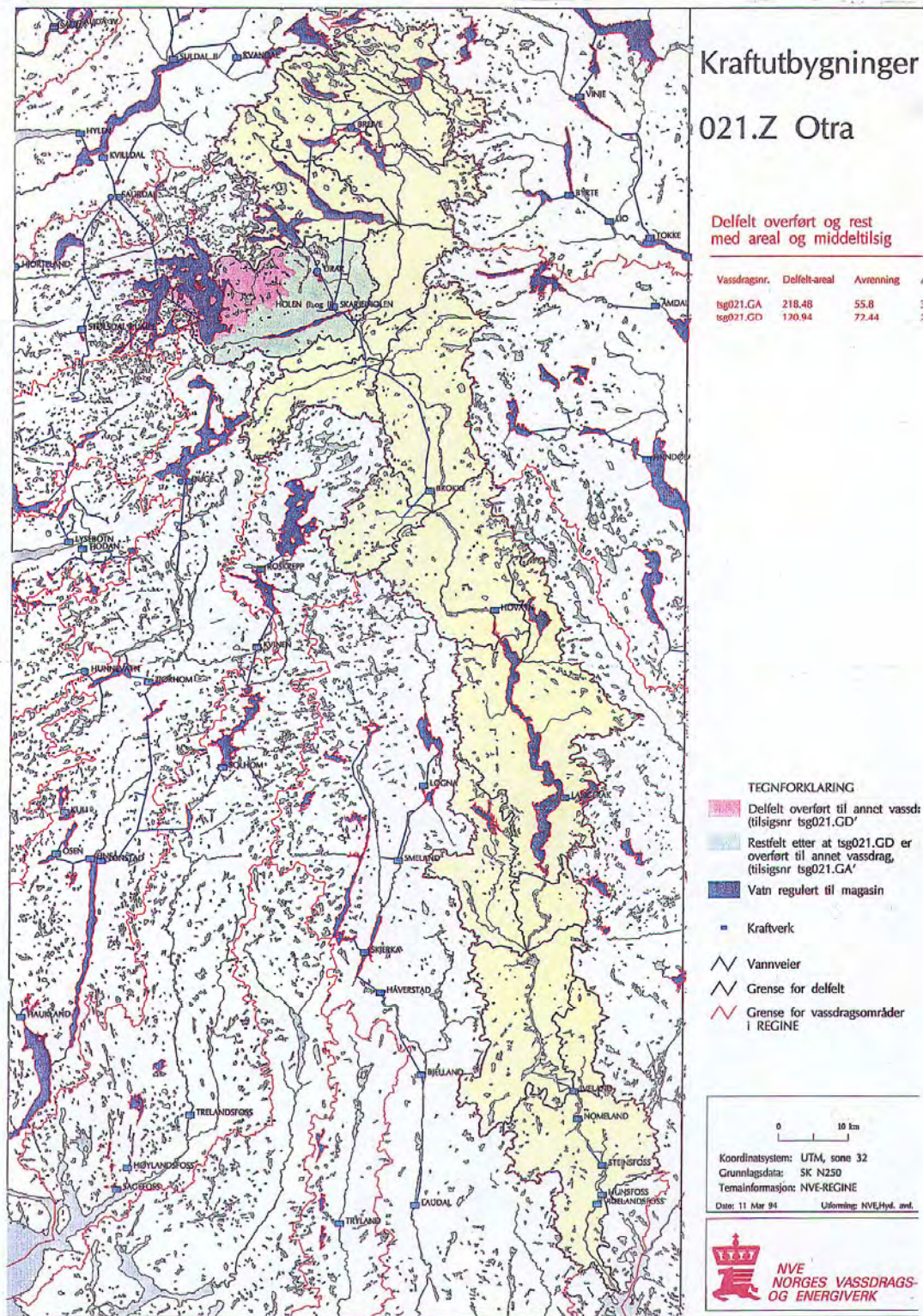
Otra er kraftig regulert på hele strekningen (figur 4 og 5). Dette fører flere steder til at elva ikke følger sitt naturlige løp. Det gjelder f.eks. partiet fra Hartevatn til Brokke i øvre del, samt kortere strekninger mellom Kilefjorden og Vennesslafjorden i den nedre delen. Enkeltstrekninger kan derfor være sterkt preget av tilrenning fra sure sidevassdrag, mens andre strekninger hele tiden er dominert eller sterkt preget av Otravann med bedre vannkvalitet. Fra 1996 vil nok et kraftverk bli satt i drift, nemlig elvekraftverket Hekni. Dette vil berøre området fra Straume bro til Langeid. Rørslett m.fl. (1981), Hindar og Grande (1987) og Hindar m.fl. (1991) gir en oversikt over vannkraftutbygging i Otra med krav til minstevannføringer.

Storevatn-feltet i den vestligste delen av Otras nedbørfelt er overført til annet vassdrag gjennom Sira-Kvina kraftselskaps utbygging av Ulla/Førre. Innsjøene Krokvatn og Ytre Ratevatn drenerer naturlig til dette feltet. Overføringen av Storevatn-feltet medfører at Otras nedbørfelt reduseres med 121 km² til 3617 km².

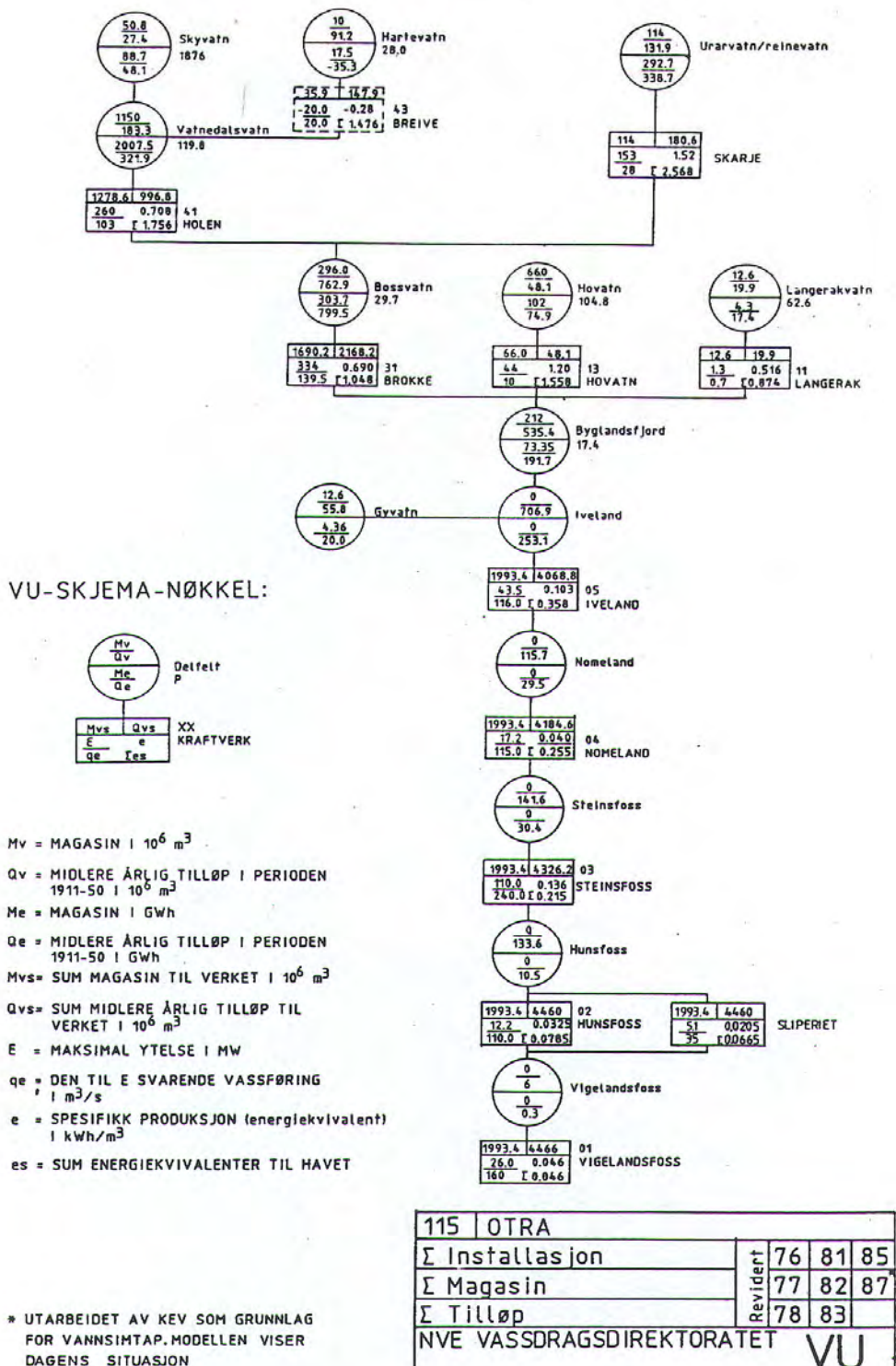
Manøvreringen av reguleringsmagasin og kraftverk fører til endret vannføring i hele Otra. Vintervannføringen er økt, flommene er dempet og sommervannføringen er lav på flere elveavsnitt (figur 2). Reguleringene fører til kraftig reduksjon av vannføringen på hele strekningen fra Breidvatn til Brokke. Vannet i hovedvassdraget på denne strekningen er derfor dominert av sidevassdragene på østsiden av dalen. Figur 3 viser den ukentlige vannføringen ut av Brokke kraftverk i perioden 1991-1993. Maksimal ukemiddelverdi i perioden var omlag 130 m³/s, mens den laveste var omlag 20 m³/s. Det er klare sesongmessige variasjoner i vannføringen, men stor variasjon fra år til år gjør det vanskelig å generalisere.



Figur 3. Ukentlig vannføring ut fra Brokke kraftstasjon i perioden 1991-1993.



Figur 4. Eksisterende kraftutbygging i Otrane nedbørfelt (Kart og data fra NVE).



Figur 5.
(KEV).

Data for ulike magasiner og kraftverk i Otra. Utarbeidet av Kristiansand energiverk

På enkelte strekninger i Otra er det innført bestemmelser om minstevannføringer (tabell 3). Minstevannføringen på enkelte strekninger oppstrøms Venneslafjorden er 0 m³/s. Det vil si at elva i perioder kan være helt tørrlagt på disse strekningene. Det gjelder spesielt oppstrøms Steinsfoss og Iveland kraftverk. Minstevannføringen ved Vigeland i nedre del av vassdraget er 50 m³/s både sommer og vinter. Hvis Otra var uregulert ville midlere lavvannføring ved utløpet være omkring 13 m³/s, altså betydelig lavere enn nåværende minstevannføring (Hindar m.fl. 1991).

Tabell 3. Gjeldende minstevannføringer i Otra 1987 (Hindar og Grande 1987).

	Minstevannføring m ³ /s	
	Sommer	Vinter
Lislevatn, utløp	2	1
Otra etter Børtemannsbekken	4	1
Hartevatn, utløp	2	0,5
Otra ved Hoslemo	4	2
Otra ved Sarvsfossen	0	0
Otra ved Bykil	0,2	0,2
Otra ved Valle	3	2
Otra ved Gåseflå til Iveland	0	0
Otra ved Beiehølen til Steinsfoss		0
Otra ved Vigeland	50	50

Reguleringene og overføringene i øvre Otra er mange. Breivatn og Sæsvatn (897 moh) overføres via Lislevatn (852 moh) og Store Førsvatn (843 moh) til Vatnedalsvatn (764 moh), som er regulert 140 meter og følgelig har stor magasinkapasitet (1150 mill. m³). Mellom Lislevatn og Store Førsvatn pumpes avløpet fra Hartevatn (759 moh) inn på overføringstunnelen til Store Førsvatn og Vatnedalsvatn. Også avløpet fra Skyvatn (1090 moh) overføres til Vatnedalsvatn via Store Førsvatn. Det er opprettet magasin i Ormsavatn (868 moh) som drenerer naturlig til Vatnedalsvatn. Alt tilsiget fra Vatnedalsvatn utnyttes i Holen kraftverk ved Botsvatn i et brutto fall på 289 m.

Det er opprettet reguleringsmagasiner i Store Urarvatn (1164 moh), Reinesvatn (1170 moh) og Skargjesvatn (1077 moh) som utnyttes i Skargje kraftstasjon ved Botsvatn. Botsvatn har en reguleringshøyde på 56 meter og et magasinvolym på 296 mill. m³. I Botsvatn samles vannet fra Holen kraftverk og Skargje kraftverk. Til inntaksmagasinet i Botsvatn føres også vann fra selve Otra i tunnel fra Sarvsfossen ovenfor Bykil. Sør for Brokke kraftverk er elva Farå ført inn på tilløpstunnelen. I tillegg eksisterer de planer om å overføre Bjørnarå og flere elver øst og sørøst for Bykle til Botsvatn. Bestelandså og flere elver sør for Farå er søkt overført nordover til Brokke. Konsekvensene av å overføre Bestelandså og Bjørnarå til kraftverkssystemet er utredet av Holtan og Lingsten (1986).

Det er gitt konsesjon på utbygging av Hekni elvekraftverk. Byggearbeidene er igangsatt og planlagt produksjonsstart er på nyåret i 1996 (Hindar m.fl. 1991). Utbyggingen omfatter etablering av en ca. 12 meter høy dam i Otra ved Bergheim sør for Straume. Anlegget vil gi en årsproduksjon på 230 mill. kwh. Vannføringen mellom inntaksdammen og avløpet ved Langeid vil bli sterkt redusert; til 3 m³/s om sommeren og

1 m³/s om vinteren. Grande og Wright (1982) har vurdert muligheter for økt forsurening på den berørte elvestrekningen.

Byglandsfjorden er regulert 5 meter, fra kote 198 til kote 203. Denne regulerings høyden tilsvarer et vannvolum på 212 mill. m³. I perioden mellom vårflommens kuliminasjon til 1. september skal vannstanden ikke underskride øvre reguleringsgrense med mer enn 1 meter. På østsiden av Byglandsfjorden ligger Hovatn kraftverk og Langerak kraftverk som utnytter innsjømagasiner med samme navn. Tilsiget til disse to kraftverkene er relativt begrenset, tilsammen omlag 88 mill. m³/år. Dette tilsvarer en middelvannføring på knapt 3 m³/s. I den nedre delen av Otra finner vi først og fremst elvekraftverk, som utnytter fallstrekninger i hovedelva og fjerner store deler av vannføringen på de aktuelle strekningene.

3.3. Vannkvalitet og fiskestatus

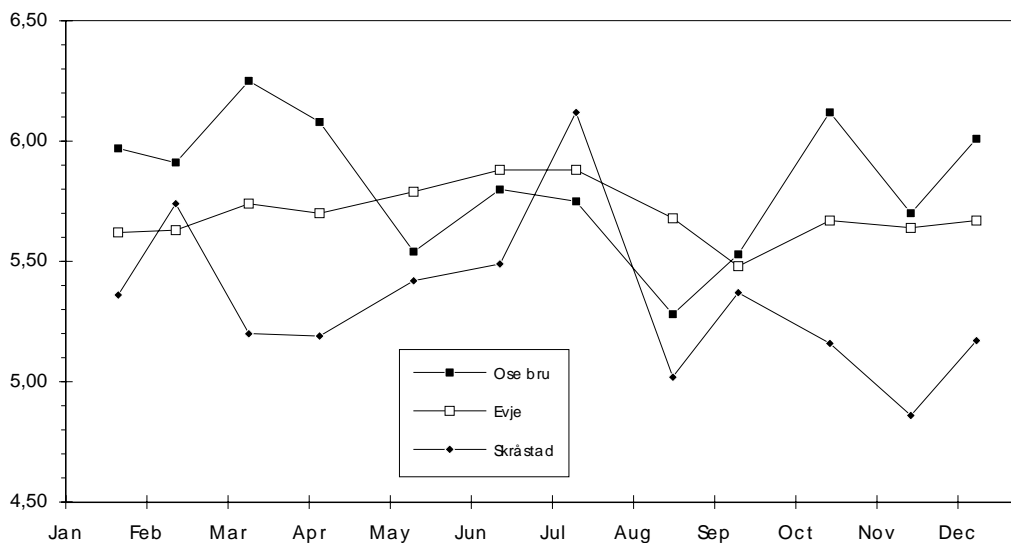
Det går en geologisk grense gjennom Vatnedalen mellom Bykle og Hovden. Bergartene i nedbørfeltet sør for Vatnedalen består vesentlig av gneis og granitt, som gir kalkfattig avrenningsvann og lav motstandsevne mot forsurening. Nord for Vatnedalen finnes metamorfe og sedimentære bergarter. Videre finnes det metamorfe bergarter øst for Valle. Disse bergartene er noe mer kalkholdige. I tillegg kommer at øvre deler av nedbørfeltet mottar vesentlig mindre forurenset luft og nedbør enn nedre deler. Avrenningsvannet fra dette området er derfor mindre surt enn i resten av vassdraget. Det er fisk i alle vassdragsavsnitt, men i området nedstrøms Hunsfos Fabrikker er elva for sur for naturlig reproduksjon av laks.

Vannkvaliteten i Otra blir overvåket innenfor Statlig program for forurensningsovervåkning. Tabell 4 viser vannkvalitetsdata fra ulike stasjoner i den øvre og nedre delen av vassdraget. På de tre øverste stasjonene Løyningsåni, Hartevatn og Valle må vi tilbake til 1987 for å finne målinger gjennom et helt år. For de øvrige stasjonene er det gjengitt analyseresultater for perioden juli 1992 til juli 1993.

Tabell 4. Gjennomsnittsverdier og standard avvik for pH, alkalitet (alk), konduktivitet (K-25), kalsium (Ca), reaktivt aluminium (RAL) og labilt aluminium (LAL). Data fra Statlig program for forurensningsovervåkning.

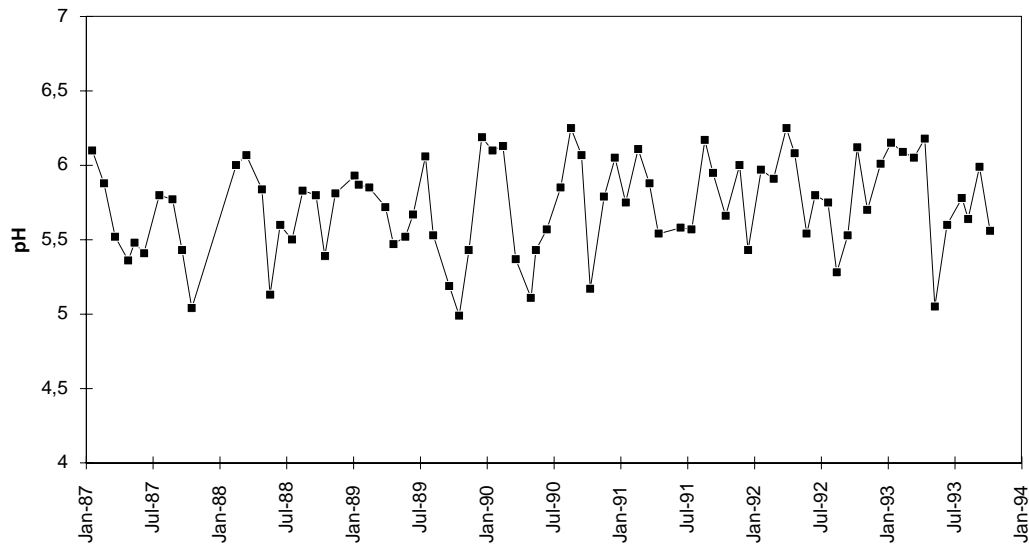
Stasjon	Periode	N	pH	H ⁺ (x 10 ⁻⁶)	Alk µekv/L	K-25 µS/cm	Ca mg/l	RAL µg/l	LAL µg/l
Løyningsåni	jan 87-nov 87	11	6,57	0,3±0,6	286±107	5,52±1,70	-	-	-
U. Hartevatn	jan 87-des 87	12	5,84	1,5±2,9	-	1,11±0,17	-	40±17	11±11
Valle	"	12	5,64	2,3±4,4	-	1,71±0,38	-	79±0	25±20
Straume	aug 92-aug 93	13	5,62	2,4±2,7	10±6	1,64±0,38	0,8±0,2	88±55	37±40
Langeid	"	13	5,69	2,0±2,0	-	1,63±0,44	-	82±51	37±40
Ose bru	jul 92-jul 93	13	5,64	2,3±2,4	10±6	1,68±0,33	0,8±0,2	89±58	38±41
Evje	"	13	5,57	2,7±2,2	6±3	1,84±0,34	0,8±0,1	104±24	51±22
O. Hunsfos	"	15	5,57	2,7±2,1	39±15	1,97±0,29	0,9±0,1	75±42	38±24
Hellandsfoss	"	13	5,37	4,3±2,7	33±11	2,23±0,18	1,1±0,2	91±39	49±26
Vigeland	"	13	5,33	4,7±2,9	30±8	2,33±0,34	1,1±0,1	91±41	48±24
Skråstad	aug 92-jul 93	12	5,20	6,3±3,6	27±6	2,51±0,39	1,1±0,1	95±36	54±21

Resultatene viser at vannkvaliteten er best i de øvre delene av vassdraget (tabell 4 og figur 6). Det er her vi finner de høyeste pH- og alkalitetsverdiene og de laveste aluminiumskonsentrasjonene. Variasjonen i surhet kan imidlertid være stor i løpet av året, spesielt i deler av elva hvor det er redusert vannføring. Sideelvene får her stor relativ betydning for vannkvaliteten (f.eks. ved Valle). Reguleringer i den øvre delen av Otra har ført til sterkt redusert vannføring på strekningen Hartevatn - Brøkke. Reguleringen resulterer i at Otravann fra den øverste delen av vassdraget, som har noe bedre vannkvalitet, ledes utenom det opprinnelige elveleiet. Strekningene med redusert vannføring domineres av tilrenning fra sidebekkene.

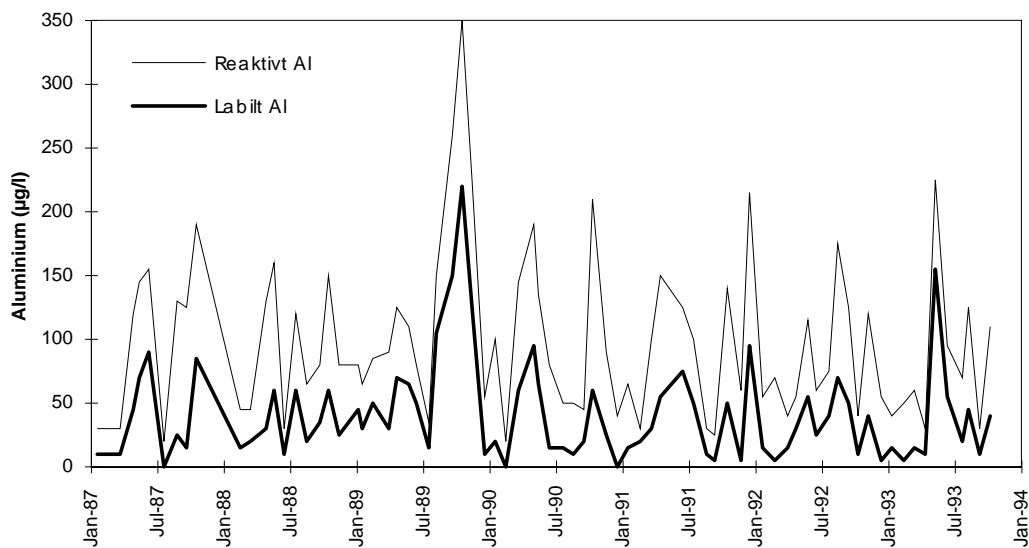


Figur 6. pH-målinger i 1992 fra Ose bru (oppstrøms Byglandsfjorden), Evje (nedstrøms Byglandsfjorden) og Skråstad (nedstrøms Vennesla). Fra statlig program for forurensningsovervåkning (Hindar m.fl. 1993).

Undersøkelser fra snøsmeltingsperioden i 1981 viste at reguleringene i Otra kunne redusere pH fra 6,2 - 6,4 til rundt 5,4 ved Hoslemo (Wright 1983). I forbindelse med en fiskedødepisode i Valle i mai 1993 ble det målt pH-verdier i området 5,15-5,3 og konsentrasjoner av reaktivt aluminium på 155-170 $\mu\text{g Al/l}$. Figurene 7 og 8 fra målestasjonen Ose bru, like oppstrøms Byglandsfjorden kan illustrere de store variasjonene i vannkvalitet som kan registreres i løpet av året. Figur 6 viser at stasjonen nedstrøms Byglandsfjorden (Evje) har mer stabil pH over året enn stasjonen oppstrøms (Ose bru). Dette skyldes at Byglandsfjorden virker som et utjevningssjø for vannkvalitetsvariasjoner i innløpselvene.



Figur 7. pH-verdier ved stasjonen Ose bru, like oppstrøms Byglandsfjorden i perioden 1987-1993.



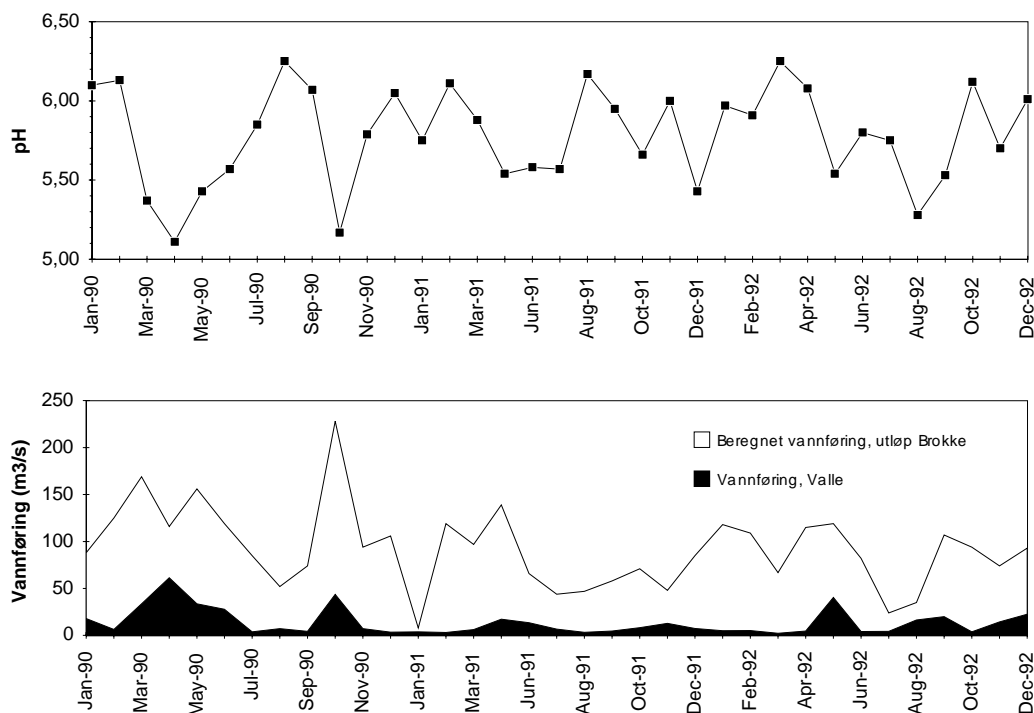
Figur 8. Konsentrasjon av reaktivt (RAL) og labilt aluminium (LAL) ved stasjonen Ose bru, like oppstrøms Byglandsfjorden i perioden 1987-1993. Labilt aluminium er den giftige fraksjonen av det reaktive aluminiumet.

Vannkvaliteten nedstrøms Vennesla er preget av to forhold: På grunn av generell forurenging har Otra en vannkvalitet som ikke er tilstrekkelig god for reproduksjon av laks. pH oppstrøms Vennesla er over 5.5 i middel, men kan gå ned mot 5.0 i perioder (Hindar m.fl. 1993). Nedstrøms Vennesla er pH i middel 0.2-0.3 pH-enheter lavere pga industriutslipp. I tillegg slippes det betydelige mengder organisk stoff ut i elva. I løpet av

1994 skal prosessen ved Hunsfos Fabrikker legges om slik at en ikke lenger skal få sure utslipp fra fabrikkene. Sommeren 1995 skal en avskjærende industriavløpsledning settes i drift, noe som vil medføre en betydelig reduksjon av de organiske utslippene til elva. Denne utviklingen gjør det aktuelt å se på om også den generelle vannkvaliteten i elva kan bedres.

Otra har en marginal vannkvalitet for fisk, noe som medfører at fisken blir mer ømtålig for andre miljøpåvirkninger og stressfaktorer. Det kan derfor tenkes at det skal lite til før fisken får problemer eller dør i dette miljøet. I tilløpselvene fra øst og vest har fiskebestandene stort sett forsvunnet eller blitt sterkt redusert. Vannmassene i selve hovedvassdraget har vært dominert av den mindre sure avrenningen fra det nordlige området, slik at det fortsatt er fisk igjen i hele elva, både på strekninger med redusert og full vannføring. Den innsjøgytende auren i Byglandsfjorden har vist seg å være meget robust og trolig tilpasset den sure vannkvaliteten den lever i.

Vannkvalitetskravene til den nasjonalt og internasjonalt viktige blekebestanden i Byglandsfjorden er lite kjent. Genetisk sett er bleka en laks og smoltifiserer slik laksen gjør. Den har derfor et livsstadium der man må anta at den er svært sårbar og lite tolerant overfor surt vann. De undersøkelser som er gjort tyder da også på at den har en surhetstoleranse som mer likner på laksens enn aurens (Skogheim m.fl. 1984, 1986, Rosseland m.fl. 1986). På det grunnlaget er det helt klart at dagens vannkvalitet i Otra og Byglandsfjorden ikke er tilstrekkelig god for å sikre bleka gjennom alle livsstadier.



Figur 9. Vannføring og pH nedstrøms brokke kraftstasjon. Vannføringsdata fra NVEs stasjoner ved Valle og nedstrøms Brokke. pH-data fra stasjonen Ose bru (Hindar m.fl. 1991, 1993).

De store pH variasjonene nedstrøms Brokke (figur 7 og 9) påvirkes av vannføringen gjennom kraftverket og vannføringen forbi Valle. I perioder med lav vannføring gjennom kraftverket og flom i lokalfeltene rundt Valle vil pH synke til nivåer like over 5,0. Vannføringen forbi Valle kan imidlertid ikke alene forklare pH-variasjonen nedstrøms Brokke. Det kan også registreres lave pH-verdier i perioder med relativt stor vannføring ut fra Brokke kraftverk. Dette tyder på at det er relativt store svingninger i vannkvaliteten fra kraftverket gjennom året. I perioder med mye vann fra bekeinntakene, vil utløpsvannet fra kraftverket ofte være surt. Automatisk pH-styring av en eventuell kalkdosering ved Brokke er derfor aktuelt.

3.4. Vannvegetasjon

På enkelte strekninger er Otra sterkt begrodd av krypsiv (*Juncus bulbosus*). Dette er en langskuddsplante med hovedsaklig undervannsblader. I Otra er det spesielt terskelbassengene ved Valle, elvestrekningene Brokke-Byglandsfjord, Byglandsfjord-Evje, samt Venneslafjorden som har store bestander av krypsiv (Rørslett m.fl. 1981, 1990). Den økte forekomsten av krypsiv i Otra er først og fremst en regulerings effekt og skyldes i mindre grad forsuringsutviklingen i vassdraget (T.E. Brandrud, pers. medd.). Undersøkelser har vist at kalking direkte i innsjøer kan stimulere framvekst av krypsiv, mens det samme ikke er dokumentert ved elvekalking (T.E. Brandrud, pers. medd.). Flere problemstillinger i forbindelse med kalking og krypsiv er imidlertid uavklarte, og det forskes for tiden aktivt innenfor fagfeltet.

Ved Evje er det registrert en liten forekomst av vannplanten vasspest, *Elodea canadensis* (Blomdal og Egerhei 1983). Denne planten danner masseforekomster i flere innsjøer og elver på Østlandet og er hinder for brukerinteresser som bading, fiske og båtsport. Forekomsten av vasspest ved Evje har ikke spredt seg videre nedover vassdraget siden den ble oppdaget i 1982. Hovedvassdraget er trolig ikke egnet som voksested for vasspest med sterk strøm og næringsfattige forhold. Kalking av vassdraget vil ventelig ikke medføre noen stor risiko for videre spredning av vasspesten. Siden forekomsten er såvidt begrenset kan bruk av kjemisk bekjempningsmiddel være aktuelt før det eventuelt settes i gang kalking i hovedvassdraget (T.E. Brandrud, pers. medd.). Før det iverksettes tiltak for å bekjempe vasspesten må en rådføre seg med eksperter på fagområdet og innhente tillatelse fra miljøvernmyndighetene.

3.5. Eksisterende kalkingsprosjekter i Otra.

Enkelte innsjøer langs Otra-vassdraget kalkes allerede (tabell 5). Kalkingsprosjektene er hovedsaklig konsentrert til området omkring Byglandsfjorden og de nedre delene av vassdraget. Da den eksisterende kalkingen i området er forholdsvis begrenset, er det ikke tatt hensyn til dette ved beregning av kalkbehov for hovedvassdraget.

Tabell 5. Oversikt over kalkingsprosjekter i Otra-vassdraget. Årlig kalkforbruk er angitt.

Prosjektnavn:	Utløpsområde:	Kalk/år (tonn)	CaCO₃/år (tonn)
Stråndevatn	Nordåni (Bygland)		11
Tjørnstøylvatn	Longerak- Valebjørg		14
Valebjørgvatn	Longerak- Valebjørg		33
Bjorvatn	Bjoråna, Breidflå		38
Røynelandsvatn	Otra ved Røyknes	25	
H- Eikelandsvatn	Otra ved Røyknes	80	
V- Eikelandsvatn	Venneslafjorden	50	
Svanetjønn	Rugåna, Venneslafjorden	6	

4. KALKINGSTEKNISK GRUNNLAG

4.1. Kalkingsstrategi

Kalkingsstrategi er bl.a. kombinasjonen av kalktyper, kalkingsteknikker og kalkmengder som til sammen sikrer tilstrekkelig vannkvalitet for fisken. Lokalisering av doserer og kalkingsintervaller blir også en del av strategien. På grunnlag av årlig kalkbehov og kostnader ved kjøp eller leie av kalkdoserere kan det beregnes en sannsynlig årlig kostnad for kalking av vassdraget.

Det gis her en kort gjennomgang av de forhold som har betydning for kalkdosering i elver og kostnader forbundet med kalkingen.

4.2. Kalktyper og kalkoppløsning

Ikke alle kalkprodukter egner seg til kontinuerlig dosering i rennende vann. I denne rapporten er krittprodukter ikke omtalt fordi det er større fare for driftsproblemer med kritt enn med noe grovere kalksteinsmjøl. Dolomitt er heller ikke omtalt fordi oppløsningen er dårligere enn for tilsvarende malingsgrader av kalksteinsmjøl. Dårligere oppløsning må kompenseres med finere maling av kalken og det anses ikke som en fordel for driften av doseringsanlegg. Kalktyper som er for grove anbefales ikke brukt. Det er fordi en ønsker at så mye løses at det oppnås akseptabel kalkingseffekt et visst stykke nedover i vassdraget. Dårlig oppløsning må kompenseres med store kalkdoser. Det vil gi ytterligere redusert oppløsning og økt nedslamming nedstrøms anlegget.

Kalkmel innenfor følgende kornfordelingsområder anbefales brukt:

	diameter i μm
90 % av vekt mindre enn	15-100
50 % av vekt mindre enn	8-30
20 % av vekt mindre enn	2-10

Det anbefales å bruke så ren kalk som mulig. Vektandel av kalsiumkarbonat (CaCO_3) bør være omkring eller større enn 90 %, spesielt hvis det velges av de groveste kalktypene. Den andelen av kalken som ikke er kalsiumkarbonat består ofte av kvarts som er tungt nedbrytbart. Hvis det velges både grov kalk og kalk med lav andel kalsiumkarbonat, vil nedslammingen kunne bli betydelig nedstrøms kalkdoseringen.

Kalk løses opp over tid. Oppløsning skjer i vannfasen og fra kalk som blir liggende på bunnen. Kalkoppløsningen henger først og fremst sammen med kalkens finmalingsgrad,

vannets pH og vannets bevegelse nedstrøms doserer. Ved lav dosering (opp til 20 g kalk/m³) til ukalket vann, med bruk av relativt finmalt kalk (minst 50 % mindre enn 10 µm) og ved god vannbevegelse nedstrøms doserer (ikke bassenger eller dype stilleflytende partier) vil oppløsningen i løpet av et år sannsynligvis ligge nær 100 %.

Kalk løses bedre i en turbulent elv enn i en stilleflytende elv fordi oppslemmingen av kalk i vann bedres og fordi det karbondioksidet som brukes under oppløsningen av kalk erstattes raskere. Stryk og fosser nedstrøms doseringsanlegget vil derfor bedre oppløsningen av kalken.

4.3. Kalkdoseringsanlegget og driften av det

Kalkdoseringsanlegget vil ruve i landskapet fordi det skal inneholde kalk for en viss periode. Det utvikles for tiden siloanlegg som ikke skiller seg vesentlig fra store driftsbygninger. Ved anlegget må det være tilstrekkelig plass for kalkbil, slik at den kan fylle på kalk og snu uten for store ulemper. Som det går fram av avsnitt 4.5, har vi ikke kostnadsberegnet tilrettelegging og grunnarbeider for doseringsanleggene. Her behøves spesifikasjoner fra leverandør.

Driftsoppfølging av et kalkdoseringsanlegg er avhengig av graden av automatisering og doseringsprinsipp. Det må innarbeides rutiner for ettersyn, med alarmer for avbrudd, påfylling og service. Alarm bør monteres hos lokal kontakt og helst flere steder. Alarm bør bl.a. knyttes til kalknivå i doserer. Avstand til kalkleverandør vil være av betydning for hvor raskt etterfylling kan skje. Det bør utarbeides en detaljert drifts- og serviceavtale med leverandøren. Det bør skaffes et visst reservelager for rask utskifting av deler.

Leverandør bør være forpliktet til å produsere en avtalt vannkvalitet. Ved misligholdelse bør det påløpe mulkt etter et avtalt system. Misligholdelse kan være at avtalt vannkvalitet underskrides utover en fastsatt tidsperiode. Dette bør innarbeides i en drifts- og serviceavtale. Alle disse momentene er viktige for å hindre lange driftsavbrudd og hører med i kontraktsforhandlinger om levering og dosering av kalk.

4.4. Beregning av kalkdose og -mengder

Kalken skal avsyre sterke og svake syrer og dessuten gi vannet en viss bufferkapasitet. Kalkdosen er derfor ikke kun avhengig av pH. Avgifting av aluminium er også ett av målene med kalkingen. I et komplekst vassdragssystem er pH egentlig ikke en tilstrekkelig god variabel for å vurdere kalkbehovet. I mangel av en bedre styreparameter er imidlertid pH brukt som en ledetråd for de videre beregningene.

Som grunnlag for beregning av kalkbehov er vann fra vassdraget titrert med Na₂CO₃. Prøver ble tatt 16.02.94. Titrering vil i dette tilfellet si å tilsette en økende mengde svak base av karbonat til elvevannet samtidig som pH måles, se redegjørelse i vedlegg. På den

måten kan vi finne fram til hvor mye karbonat som skal til for å øke pH til forskjellige nivåer. Den mengden vi kommer fram til kan omregnes til kalkmengde.

Kalkmengdene avhenger først og fremst av vannmengder, kalkkvalitet og vannkvalitet. Årlige kalkmengder er basert på kalkdoseberegning slik det er beskrevet over og hydrologiske data for vassdraget. Det er tatt hensyn til at ikke all kalk løses opp og at kalk også inneholder andre stoffer enn karbonat. I beregningene er det regnet med at 70 % av tilført kalkmengde løses opp (Miljøindustri SR-kalk brukt som referanse). Videre er det regnet med at kalken inneholder 90 % kalsiumkarbonat (udefinert kalktype og leverandør). Nødvendig doseringskapasitet og lagerkapasitet på kalkdoserere er beregnet i forhold til en beregnet maksimal døgnmiddelvanntføring (10 ganger middelvanntføringen).

4.5. Blandsoner

I elver der surt og aluminiumsholdig vann blandes med kalket vann kan det oppstå soner med ustabil vannkjemi (Rosseland og Hindar 1991). Forsøk har vist at slike blandsoner kan være spesielt giftige for fisk som oppholder seg der (Rosseland m.fl. 1992). Betydningen og omfanget av blandsonene vil være avhengig av sidevassdragets størrelse i forhold til hovedvassdraget og sidevassdragets surhet og aluminiumskjemi. Høy vanntføring i to likeverdige tilløpselver er kanskje det verst tenkelige fordi det sikrer full innblanding i hele tverrprofilen og rask spredning av blandsonen nedover i vassdraget (Rosseland og Hindar 1991).

I denne kalkingsplanen er det lagt hovedvekt på å kalke hovedvassdraget og tatt mindre hensyn til sure sidevassdrag. På den lakseførende strekningen er elva så stor i forhold til sidevassdragene at det neppe vil oppstå blandsoneproblemer. Lengre opp i Otra kan det oppstå blandsoner i forbindelse med innløpet av Dåsåna og muligens også bekken fra Hovatn. Dette er tatt hensyn til i kalkingsplanen. På strekninger mellom Kilefjorden og Venneslafjorden med lav vanntføring pga kraftutbygging kan blandsoner bli et problem, ved at sidevassdragene til tider kan dominere vanntføringen i hovedelva. Hindar (1994) har foreslått kalkingstiltak for å motvirke dette.

Som et generelt tiltak mot blandsoner i forbindelse med kalking, er doseringsanlegg i sidevassdragene forsøkt plassert i en viss avstand fra hovedelva. Dette for å oppnå en mest mulig stabil vannkjemi før vannet slippes ut i hovedvassdraget. Kalking av sidevassdrag vil generelt være positivt med tanke på å redusere faren for blandsoner. Slike tiltak kan igangsettes etterhvert og vil være en naturlig utvikling av basisplanen som er presentert i denne rapporten. Kalking i sidevassdragene vil redusere behovet for kalk i hovedvassdraget.

4.6. Forbehold og forutsetninger for beregninger i kalkingsplanen.

- pH i vassdraget er fastsatt på bakgrunn av eksisterende vannkjemidata. Det er ikke gjennomført noe eget prøvetakingsprogram for kalkingsplanen. Dagens pH er satt til 5,5 ved Valle, 5,6 ved Brokke og i Byglandsfjorden. I sideelvene er pH satt til 5,0.
- Det er foreslått pH-styring ved to doseringsanlegg. Ved de øvrige anleggene er det foreslått en konstant kalkdose som reguleres automatisk etter vannføring. Kalkdosen er basert på titreringskurver fra vassdraget (se vedlegg). Flomvannføring er satt til ti ganger middelvannføringen dersom ikke annet er oppgitt.
- Mål-pH for Byglandsfjorden er satt til 6,0. Undersøkelser tyder på at en bør opp i pH 6,5 for å få optimal vekst hos bleke (Skogheim m.fl. 1984, 1986, Rosseland m.fl. 1986). Heving av pH til dette nivået kan derfor være aktuelt senere. Mål-pH for laks er satt til 6,5 i smoltifiseringsperioden (1.februar-30. juni). Ellers i året foreslås et pH-mål på 6,2. Det er også utredet et lavere ambisjonsnivå med pH-mål på 6,2 i smoltifiseringsperioden og 6,0 ellers i året.
- Kalkopløsning er satt til 70 % (referanse: Miljøindustri SR-kalk). Det er regnet med at kalken inneholder 90 % kalsiumkarbonat (udefinert kalktype og leverandør).
- Kalkpris er satt til 500 kr/tonn inkl. moms, ferdig tilkjørt og spredt. Ved kalking i mindre innsjøer er det benyttet en kalkpris på 800 kr/tonn. Endelig prisfastsetting for kalken kan ikke foretas før det er innhentet anbud for kalking av vassdraget.
- Innkjøp eller leie av doseringsanlegg er ikke kostnadsberegnet i planen. I tidligere kalkingsplaner er kjøp av middels store eller store doseringsanlegg anslått til hhv. kr. 300.000.- og kr. 400.000.- pluss moms (Hindar 1991, 1992). Anleggene kan også leies til anslagsvis 20 % av innkjøpsprisen pr. år. Endelig prisfastsetting for doserere kan ikke foretas før det er innhentet anbud. Utgifter til vedlikeholds- og driftsavtaler for doseringsanleggene er ikke tatt med her.
- Utgifter til fundamentering, brønn for inntaksvann og vannstandsmåling, legging av innløps- og utløpsrør til sirkulasjonsvann er ikke lagt inn i beregningene. Det er nødvendig å legge vei og føre strøm og telefon helt fram til de mest avanserte dosererne.
- Det er ikke innhentet detaljerte opplysninger om bæreevnen til de veier i nedbørfeltet som skal brukes til kalktransport. Det innføres akseltrykkrestriksjoner på en rekke veier om våren. Denne perioden er spesielt kritisk av hensyn til kontinuerlig kalkdosering.
- Det er ikke innhentet godkjenning fra de grunneiere som må avstå grunn til doseringsanlegg eller gi annen form for tillatelse. Det tas derfor forbehold om plasseringsmulighetene. Det er heller ikke tatt kontakt med de grunneiere som evt. må godkjenne at vassdraget kalkes.

5. KALKINGSPLAN

5.1. Strekningen Bykil - Byglandsfjorden utløp.

Strekningen mellom Bykil og Brokke har redusert vannføring på grunn av kraftutbygging. Den reduserte vannføringen har medført at sure sidevassdrag får stor betydning for vannkvaliteten i hovedelva og kan føre til store svingninger i surhet og aluminiumsinnhold. Høy vannføring i sidevassdragene i forbindelse med snøsmelting eller store nedbørmengder vil føre til sure episoder i hovedelva med muligheter for fiskedød. Målet med kalkingen på denne strekningen er å redusere eller eliminere faren for sure episoder som kan skade fisken i elva.

På strekningen mellom Brokke kraftverk og Byglandsfjorden (ca. 25-30 km) har hovedelva full vannføring og det er ingen sidevassdrag som kan påvirke vannkvaliteten nevneverdig. Et unntak er strekningen som berøres av Hekni elvekraftverk (ca. 5 km), hvor vannføringen forbi dammen i perioder kan bli lik null. Sidevassdragene vil derfor dominere på denne elvestrekningen og føre til kraftig forsuring av det tidligere hovedløpet.

Målet for kalkingen mellom Brokke og utløpet av Byglandsfjorden er å sikre en god vannkvalitet i hovedelva ved innløp til Byglandsfjorden, slik at verken bleka eller auren i Byglandsfjorden blir skadelig påvirket av surt vann. Det konkrete pH-målet for Byglandsfjorden er satt til pH 6,0. Dette kan vise seg å være lavt, da undersøkelser tyder på at en bør opp i pH 6,5 for å få optimal vekst hos bleke (Skogheim m.fl. 1984, 1986, Rosseland m.fl. 1986). Heving av pH til dette nivået kan derfor være aktuelt senere.

Bykil - Valle

Vannføringen på denne elvestrekningen er sterkt redusert på grunn av kraftutbygging og tilløp fra mindre sideelver og bekker som kan forsure hovedelva. For å kompensere for dette foreslås det anlagt et kalkdoseringsanlegg i Otra rett nedstrøms innløpet av Bjørnarå (figur 11). Dette anlegget skal dimensjoneres for å avsyre hovedelva forbi Valle og helt ned til utløpet av Brokke kraftstasjon.

Det er beregnet et årlig kalkbehov på 780 tonn for denne elvestrekningen, til en årlig kostnad av kr 390.000 (tabell 6). Den gjennomsnittlige dosen kalksteinsmjøl ut av anlegget vil ligge på 2,25 g/m³. Det er da innbakt en overdosering for å kompensere for restfeltet ned mot Brokke kraftverk. I en flomsituasjon må anlegget ha kapasitet til å dosere 0,9 tonn kalk/time, eller omlag 22 tonn/døgn (flomvannføring, se avsn. 4.6, pkt 2).

Det er relativt store årstidsvariasjoner i pH i denne delen av Otra. Vannet er surest under snøsmeltingen om våren og ved eventuelle høstflommer. Om vinteren og sommeren er vannkvaliteten vanligvis bedre. Et unntak er snøfattige vintre med mye nedbør i form av regn. Ved å benytte en fast kalktilsetning styrt etter vannføring vil det i perioder bli en overdosering av kalk. Kalk kan da sedimentere langs elvebunnen nedstrøms anlegget. Om våren og høsten med mye surt vann i elva vil imidlertid denne kalken kunne løses igjen og komme til nytte. Kalkingsstrategien innebærer en heving av pH i elva fra 5,5, som er en realistisk årsmiddelverdi, til et målnivå på 6,0. Dette målnivået er noe over det som er strengt nødvendig for fisken i elva, slik at doseringen innebærer en viss sikkerhetsmargin mot at pH nedstrøms anlegget skal gå vesentlig under 5,5 i flomperioder.

En mulig, men noe risikofylt strategi er å redusere kalkdosen f.eks. i januar/februar og juli/august, mot å øke dosen tilsvarende i april/mai og oktober/november. En får da i større grad tilpasset kalkdosen avsydingsbehovet i elva, og en oppnår større kalkutnyttelse ved å unngå unødig høy pH i perioder med relativt god vannkvalitet. En ulempe ved denne kalkingsstrategien er at den krever manuell styring av anlegget i overgangsperiodene. Et risikomoment er dessuten at anlegget har nedsatt evne til å nøytralisere eventuelle surstøt i perioder med lav kalkdosering.

Brokke kraftstasjon.

Tilsiget fra store deler av OTRAS øvre nedbørfelt ledes gjennom Brokke kraftstasjon. Vannet hentes fra ulike reguleringsmagasiner til ulike tider av året. I de fleste reguleringsmagasinene i de øvre delene av vassdraget er vannkvaliteten god. I perioder om våren blir flomvannet fra en rekke sure småvassdrag sluppet inn i kraftverkstunnelen. Utløpsvannet fra kraftverket kan følgelig være svært surt ved denne manøvreringen

Det er beregnet et årlig kalkbehov på 3650 tonn til en kostnad av 1,83 mill. kr ved utløpet av Brokke kraftverk (tabell 6). Den tilsatte kalkmengden skal avsyre tilsiget til og med utløpet av Byglandsfjorden (figur 11). Dosen ved anlegget blir da 1,68 gram kalksteinsmjøl pr. m³. Kalkdoseringsanlegget dimensjoneres etter kapasiteten ved kraftverket, som er oppgitt til 140 m³/s. Ved denne vannføringen må det kunne doseres ut 0,85 tonn/time og drøyt 20 tonn/døgn. Ved beregning av kalkbehov til Brokke-dosereren er det forutsatt at lokalfeltet mellom Straume og Langeid, samt Hovatn kalkes (se kalkplaner nedenfor).

Behovet for kalktilsetning vil variere over året med manøvreringen av anlegget. Automatisk pH-styring av kan derfor være en aktuell strategi for doseringen i Brokke kraftstasjon. Et slikt anlegg vil være relativt dyrt og kreve regelmessig ettersyn. Besparelser i form av redusert overdosering kan imidlertid medføre at utstyret betaler seg selv. En annen, og rimeligere metode er å styre utdoseringen manuelt. I perioder med tapping fra sure flomvassdrag kan kalkdosen økes med f.eks. 30%, mot at kalktilsetningen reduseres tilsvarende i perioder med tapping fra de øvre delene av Otra.

Straume - Langeid.

Ved etablering av Hekni kraftverk vil vannføringen på en ca 5 km lang elvestrekning mellom Straume og Langeid blir sterkt redusert. Surt smeltevann fra sidevassdragene vil dominere vannkvaliteten i hovedelva på strekningen med minstevannføring. Det største sidevassdraget på strekningen, Kvernelvi (42 km²) foreslås kalket (figur 11). Nedstrøms innløpet av Kvernelvi kommer det inn tre mindre sidebekker (samlet nedbørfelt: 14 km²) på strekningen med minstevannføring. Kalkingen i Kvernelvi dimensjoneres med tanke på å avsyre også denne tilrenningen.

Det foreslås etablert en kalkdoserer nederst i Kvernelvi. For å avsyre den lokale tilrenningen mellom Straume og Langeid vil det være behov for 150 tonn kalk årlig til en kostnad av kr 75.000 (tabell 6). Dette tilsvarer en dose kalksteinsmjøl ved anlegget på 3,6 g/m³, inkludert en overdosering for å kompensere for restfeltet nedstrøms Kvernelvi. Ved flomvannføring bør anlegget ha kapasitet til å dosere 0,17 tonn/time og ca 4 tonn/døgn.

Hovatn.

Hovatn er regulert og utløpet føres i dag til Otra like oppstrøms Byglandsfjorden. Ved å kalke denne innsjøen (figur 11) reduseres kalkbehovet ved Brokke-doseren tilsvarende, samtidig som eventuelle fiskeinteresser i Hovatn blir tilgodesett. Dersom regulerings-høyden i Hovatn (16,8 m) anses å være et problem for etableringen av en god fiskebestand, kan kontinuerlig dosering i uløpstunnelen fra Hovatn kraftverk være et alternativ. Avrenningen fra Hovatn kan også avsyres ved å øke kalkdosen ved Brokke, men dette øker faren for å få en giftig blandsone like før innløpet i Byglandsfjorden.

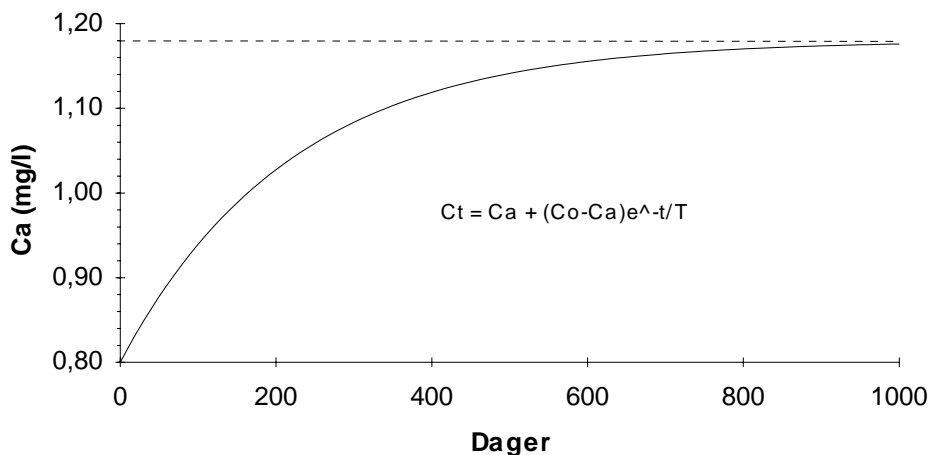
For å avsyre den årlige tilrenningen til Hovatn (70 km²) er det ved innsjøkalking behov for 210 tonn kalksteinsmjøl årlig, til en kostnad av omlag kr 170.000 (tabell 6). Oppkalking av innsjøens vannmasser er ikke beregnet, da det ikke foreligger opplysninger om dybdeforholdene i Hovatn. Dersom det velges kontinuerlig dosering i elv vil det årlige kalkbehovet bli 180 tonn og kostnaden omkring 90.000 kr.

Byglandsfjorden.

Med sitt store og dype innsjøbasseng fungerer Byglandsfjorden som et fordrøyningsbasseng for tilrenningen oppstrøms. Det vil ta tid før endringer i vannkvaliteten i innløpet vil skape endringer i Byglandsfjorden. Byglandsfjorden har en teoretisk oppholdstid på 0,6 år. Det vil si at det tar litt over 7 måneder å fylle opp innsjøbassenget med naturlig tilsig dersom det på forhånd var tomt. På grunn av den relativt korte oppholdstiden vil en innsjøkalking av Byglandsfjorden ha kortvarig effekt. Oppkalking av Byglandsfjorden bør derfor skje i forbindelse med igangsettingen av kalkdoseringsanlegg oppstrøms for å få en rask bedring av vannkvaliteten (figur 11).

For å heve pH i Byglandsfjordens vannmasser fra et forventet årsmiddelnivå 5,6 til ca 6,0 vil det være behov for omlag 3150 tonn kalksteinsmjøl til en kostnad av omkring 1,6 mill. kr (tabell 6). Kalkmengden er beregnet på Byglandsfjorden i nedtappet tilstand. De øverste 5 metrene i innsjøen (volum ca. 212 mill. m³) skiftes ut relativt hyppig i sommer- og vinterhalvåret på grunn av reguleringen, og det er derfor lite lønnsomt å kalke dette ustabile øverste laget. Kalken bør fordeles mest mulig over den store vannflaten. Ved å kalke Byglandsfjorden samtidig med etablering av doserere oppstrøms vil en få en umiddelbar virkning på hele vassdraget. Investeringer i kalking oppstrøms vil med dette gi resultater umiddelbart. Dette forutsetter selvfølgelig at dosererne fungerer tilfredsstillende.

En annen mulighet er å la kalkdoseringen oppstrøms gradvis bygge opp vannkvaliteten i Byglandsfjorden. Dette medfører at det vil gå en tid (3-4 oppholdstider, dvs. ca 2 år) før vannkvaliteten i Byglandsfjorden er oppe på ønskelig nivå (figur 10). I mellomtiden vil investeringer i kalk og doseringsanlegg oppstrøms ikke gi full uttelling i forhold til kalkingsmålsettingen.



Figur 10. Simulert kalsiumutvikling i Byglandsfjorden ved kalking oppstrøms. Mål for kalsium er satt til 1,18 mg/l. Teoretisk oppholdstid er satt til 219 dager. Ligningen er hentet fra Dillon og Scheider (1979).

Tabell 6. Kalkingsdata for strekningen Bykle - Byglandsfjorden utløp.

	Valle	Brokke	Hekni	Hovatn	Sum
Årlig kalkbehov (tonn)	780	3650	150	210	4790
Årlig kostnad (1000 kr.)	390	1825	75	170	2460
Kalkdose ved anlegg (g kalk/m ³)	2,25	1,68	3,6	innsjøkalk	
Lagerkap. silo i ett døgn (tonn)	22	20	4		
Maks. doseringskap. (tonn/time)	0,9	0,85	0,17		



Figur 11. Forslag til plassering av kalkdoserere ifølge kalkingsplanen. Kart fra miljøvernavdelingen i Aust-Agder.

5.2. Kalking for laks nedstrøms Vigeland.

Denne kalkingen har som mål å oppnå god vannkvalitet for laks mellom Vigelandsfossen og utløpet i sjøen. Den lakseførende strekningen er omlag 15 km lang, og fram til i dag har vannkvaliteten i denne delen av elva vært preget av forsurening fra langtransportert forurenset nedbør og industriforensninger. Syreutslippene fra Hunsfos Fabrikker skal elimineres/avsyres innen utgangen av 1994 i følge en nedtrappingsplan som er pålagt av Statens forureningsstilsyn. Det er derfor ikke tatt hensyn til syreutslipp fra industrien ved utarbeidelse av kalkingsplanen.

Dåsåna.

Utløpet av Dåsåna ligger omlag 3 mil ovenfor den lakseførende strekningen. Det relativt store og meget sure sidevassdraget kommer inn i Otra fra øst, like nedstrøms Evje. Dåsåna foreslås kalket med doserer før elva løper ut i Otra (figur 11). Innsjøkalking i Dåsvatn er et aktuelt supplement til kontinuerlig dosering i elva. Kalkingen i Dåsåna har som mål å heve pH fra et antatt gjennomsnittsnivå på 5,0 og opp til 6,0.

For å kalke Dåsåna trengs det årlig 660 tonn kalksteinsmjøl til en kostnad av kr 330.000 (tabell 7). Dette tilsvarer en dose kalksteinsmjøl på $2,7 \text{ g/m}^3$ ved Dåsånas utløp i Otra. I en flomsituasjon bør anlegget ha en kapasitet til å dosere 0,8 tonn/time og 18 tonn/døgn. Driftsavbrudd for doseringsanlegget vil ikke ha umiddelbare konsekvenser for laksen i Otra, i og med at pH i elva justeres like oppstrøms den lakseførende strekningen. Det foreslås at samme kalkdose benyttes året rundt. Prøvetaking i februar 1994 viste at pH i Dåsåna lå omkring 5,0, mens hovedvassdraget lå over 6,0 helt ned til utløpet av Byglandsfjorden (vedlegg 1).

Det kan være aktuelt å kalke Dåsvatn, som ligger høyere opp i vassdraget. Dette vil være positivt med tanke på fiskeinteressene i området, men vil ikke gjøre kalkdosering i nederste del av elva overflødig. Med kalking i Dåsvatn kan imidlertid kalkforbruket i doseringsanlegget reduseres. Kalkbehovet for tilrenningen til innsjøen er beregnet til omlag 210 tonn årlig. Den antatte prisen for dette vil ligge på omlag 170.000 kr. Lavere kalkutnyttelse (60%) og høyere tonnpris (800 kr/tonn) ved innsjøkalking fører til at det vil bli opptil 80.000 kr dyrere med supplerende kalking av Dåsvatn. Oppkalking av Gyvatn anses som mindre aktuelt på grunn av vanskelig tilgjengelighet.

Iveland kraftverk

Det foreslås etablert et doseringsanlegg i forbindelse med Iveland kraftverk (figur 11). Dette anlegget har som formål å heve pH i elva ved Vigeland til omlag 6,0 hele året. For å oppnå dette må all lokal tilrenning mellom Byglandsfjorden og Vigeland avsyres (omlag 685 km^2). En forutsetter dermed at pH ut av Byglandsfjorden ligger i nærheten av 6,0 hele året.

Utgangs-pH for avrenningen mellom Byglandsfjorden og Vigeland er satt til 5,0. Det er benyttet samme titreringskurve som for Dåsåna ved beregningen av kalkbehov. For å heve pH i dette vannet fra 5,0 til 6,0 hele året er det behov for 2300 tonn kalksteinsmjøl årlig, til en kostnad av omlag 1.15 mill kr (tabell 7). Det betyr en gjennomsnittlig utdosering av 0,53 g kalksteinsmjøl pr m³ elvevann ved Iveland kraftverk. Med denne kalkingen vil middel-pH ved Vigeland være 6,0 gjennom hele året.

Dersom en dimensjonerer anlegget etter en maksimal vannføring på 800 m³/s, må det kunne dosere ut 1,51 tonn kalk pr. time og 36 tonn/døgn. Ved flom i Otra vil vannføringen kunne overstige dette nivået, men kost/nytte faktoren ved disse vannføringene vil trolig bli uforholdsmessig høy.

Hunsfoss

For å justere pH i hovedelva, slik at det oppnås god nok vannkvalitet for laks fra Vigelandsfossen og helt ned til sjøen, foreslås det etablert en kalkdoserer nær Hunsfoss i Vennesla (figur 11). Avstanden ned til Vigeland er i korteste laget, men vannet har god fart og det bør være relativt gode oppløsningsforhold før vannet når dammen ved Vigeland. Lokalisering av doseringsanlegget oppstrøms Venneslafjorden er vurdert, men ikke valgt pga dårlige oppløsningsforhold og den store bestanden av krypsiv i fjorden.

Kalkingsmålet for laks er delt opp i to ambisjonsnivåer (se avsnitt 4.6 og tabell 7). Det høyeste ambisjonsnivået innebærer en mål-pH på 6,5 i smoltifiseringsperioden og pH 6,2 ellers i året. Med dette alternativet er en relativt sikker på å lykkes i forhold til å etablere en levedyktig laksebestand (Kroglund m.fl. 1993). Det vil kreve en årlig utdosering av omlag 4400 tonn kalk ved Hunsfoss. Den gjennomsnittlige dosen kalksteinsmjøl er beregnet til 1,42 g/m³ i smoltifiseringsperioden og 0,55 g/m³ ellers i året. Prisen for dette kalkingsalternativet vil være omlag 2,2 mill. kr (tabell 7). Dersom anlegget dimensjoneres for å tåle en flomvannføring på 800 m³/s, må det ha kapasitet til å dosere 4,1 tonn/time og 98 tonn/døgn ved denne vannføringen. Ved å forkorte vannforbedringen i smoltifiseringsperioden til 4 måneder vil det kunne spares inn omlag 350 tonn kalk årlig. Dette er risikofyllt uten nærmere studier av laksen adferd i vassdraget.

Et lavere ambisjonsnivå er å sette målet til pH 6,2 i smoltifiseringsperioden og 6,0 ellers i året. Undersøkelser tyder imidlertid på at disse pH-nivåene ikke er tilstrekkelig for å etablere en god og levedyktig laksebestand (Skogheim m.fl. 1986, Jensen og Leivestad 1989, Kroglund m.fl 1993). Denne kalkingsstrategien vil innebære et årlig kalkforbruk på 1100 tonn, til en kostnad av omlag 550.000 kr. Kalkdosen ved anlegget vil være 0,55 g/m³ i smoltifiseringsperioden. Ellers i året vil det ikke være behov for kalkdosering dersom anleggene oppstrøms fungerer tilfredsstillende.

For å unngå unødig bruk av kalk foreslås anlegget knyttet til pH-stasjonen som allerede finnes på dammen ved Vigeland. Styling av doseringsanlegg ved kontinuerlig måling av pH nedstrøms er utprøvd i Vikedalselva (Hindar m.fl. 1989). pH-stasjonen på Vigeland inngår i overvåkningsprogrammet for Otra innenfor Statlig program for forurensnings-

overvåkning. Stasjonen er i første omgang planlagt opprettholdt ut 1995. Dersom det vedtas kalking av Otra bør det inngås en samarbeidsavtale mellom miljøvernmyndighetene om driften av stasjonen.

Tabell 7. Kalkingsdata for den lakseførende strekningen nedstrøms Vigeland. To ambisjonsnivåer.

	Dåsåna (dosering)	Iveland	Hunsfoss		Sum	
			Høy	Lav	Høy	Lav
Årlig kalkbehov (tonn)	660	2300	4400	1100	7360	4060
Årlig kostnad (1000 kr.)	330	1150	2200	550	3680	2030
1/2-30/6 Kalkdose (g kalk/m ³)	2,7	0,53	1,42	0,55		
1/7-28/2 Kalkdose (g kalk/m ³)	2,7	0,53	0,55	0		
Lagerkap. silo i ett døgn (tonn)	18	36	98	38		
Maks. doseringskap. (tonn/time)	0,8	1,5	4,1	1,6		

5.3. Anbefalt framdrift.

Del I av planen omfatter strekningen Bykil - utløp Byglandsfjorden og vil kreve anslagsvis 4800 tonn kalk til en kostnad av omlag 2,5 mill. kr. I tillegg kommer kostnader til leie/kjøp og oppføring av doserere. Det anbefales oppkalking av Byglandsfjorden det første året, noe som vil koste omlag 1,6 mill. kr ekstra. Før det kalkes i Byglandsfjorden er det viktig at kalkdosererne oppstrøms er utprøvd og kan settes i gang samtidig. Det er foreslått kalkdoseringsanlegg oppstrøms Valle, ved Brokke kraftverk, ved det framtidige Hekni kraftverk, samt innsjøkalking i Hovatn (figur 11). Anlegget ved Brokke vil ha størst betydning for vannkvaliteten ved innløpet i Byglandsfjorden. Det foreslås dermed pH-styring eller en manuell styring av dette anlegget ved forskjellige vannkvaliteter. De mindre anleggene oppstrøms Valle og ved Hekni kraftverk vil ha stor betydning for vannkvaliteten på de lokale strekningene med redusert vannføring.

Del II av planen omfatter den lakseførende strekningen nedstrøms Vigeland og forutsetter at Del I er gjennomført på forhånd. Det høyeste ambisjonsnivået, som tar hensyn til nyere forskningsresultater om laks og vannkvalitetskrav, vil i tillegg til kalkbehovet under Del I kreve ytterligere 7400 tonn kalk til en anslått ekstrakostnad på 3,7 mill. kr. Det er også utredet et lavere ambisjonsnivå, men det er usikkert om dette er tilstrekkelig for å sikre en stabil laksebestand. Begge kalkingsstrategiene innebærer kontinuerlig kalkdosering i Dåsåna (sidevassdrag), ved Iveland kraftverk og ved Hunsfoss.

Etterhvert kan det bli aktuelt å kalke flere sideelver og innsjøer i OTRAS nedbørfelt, hvor det enten er store brukerinteresser eller spesielt viktige oppvekstområder for fisk. Dette blir i første rekke en prioritering i den enkelte kommune, i samråd med fylkesmennenes miljøvernavdelinger. Kalking av sidevassdrag vil være gunstig i forhold til å øke den total nytten av kalkingsprosjektet og det vil kunne medvirke til å redusere faren for giftige blandsoner mellom sidevassdrag og hovedvassdrag. Ved igangsetting av kalkingsprosjekter i sidevassdragene vil kalkmengdene kunne reduseres ved doseringsanleggene i

hovedelva. Innsjøkalking vil imidlertid medføre lavere kalkoppløsning og høyere kalkpris, slik at totalkostnadene vil øke noe.

Det bør senere vurderes kalkingstiltak for strekningene med minstevannføring mellom Kilefjorden og Venneslafjorden, hvor det går lite vann og vannkvaliteten til tider kan bli svært dårlig. Hindar (1994) har foreslått kalkingstiltak for disse elvestrekningene og foretatt simuleringer av vannkvalitet ved ulike vannføringer og pH-verdier i hovedelva og sidevassdragene.

6. REFERANSER

- Blomdal, E. og Egerhei, T. (1983). Vasspest (*Elodea canadensis*) i Evje og Hornnes kommune, Aust-Agder kommune. Blyttia 41: 58-60.
- Dillon, P.J. og Scheider, W.A. (1979). Modelling the reacidification rates of neutralized lakes near Sudbury, Ontario. In: J.J. Schnoor (ed.) Modelling of total acis precipitation impacts. Ann Arbor Science, s 121-154.
- Grande, M. og Wright, R.F. (1982). Hekni kraftverk. Vurdering av resipientforhold. NIVA-rapport, løpenr. 1438, 27 s.
- Hafsund, F. (1983). Årsrapport 1982. Bygland Fiskeanlegg. 15 s.
- Hafsund, F. (1984). Årsmelding 1983. Bygland Fiskeanlegg. 14 s.
- Hindar, A. , Hoell, E., Veidel, A. og Nilsen, A.N. (1989). Kalking av Vikedalselva - Forsøk med styring av kalkdosering etter pH målt nedstrøms kalkdoserer. NIVA-rapport, løpenr. 2292, 39 s.
- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. NIVA-rapport, løpenr. 2653. 31 s.
- Hindar, A. 1992. Kalkingsplan for Kvina-vassdraget og Litleåna. NIVA-rapport, løpenr. 2775, 34 s.
- Hindar, A. og Grande, M. (1987). Otra 1980-1986. Tiltaksorientert overvåkning. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 292/87, NIVA-løpenr. 2056, 106 s.
- Hindar, A., Aanes, K.J. og Bækken, T. (1991). Otra 1987-1990. Tiltaksorientert overvåkning. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 472/91, NIVA-løpenr. 2657, 68 s.
- Hindar, A., Aanes, K.J., Bækken, T. og Lindstrøm, E.A. (1993). Otra 1992. Tiltaksorientert overvåkning og konsekvensundersøkelse. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 535/93, NIVA-løpenr. 2951, 43 s.
- Hindar, A. (1994) Drift av vassdrag. Otra - vannkvalitet. Utredning for Norges teknisk-naturvitenskaplige forskningsråd (NTNF) sitt program "Bedre bruk av vannressursene, NIVA-rapport (under trykking).
- Holtan, H. og Lingsten, L. (1986). Overføring av Bjørnarå m.fl. og Bestelandså m.fl. til Brokke kraftverk. Vurdering av eventuelle forurensningseffekter. NIVA-rapport, løpenr. 1813, 52 s.
- Jensen, E.A. og Levestad, H. (1989). Surt vann og smoltproduksjon. Sluttrapport fra vannbehandlingsprosjektet Salar/Bp, 82 s.

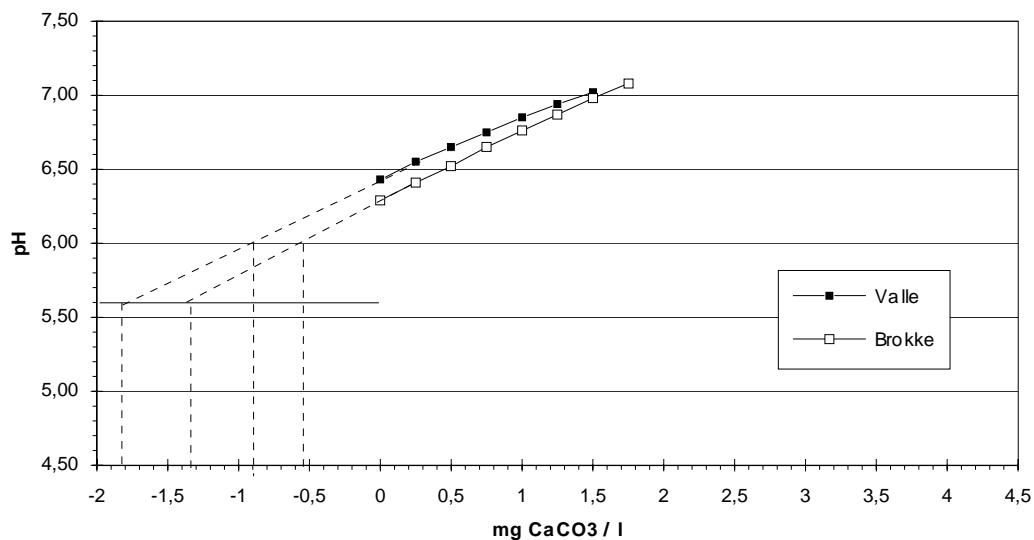
- Kroglund, F., Berntssen, M., Åtland, Å. og Rosseland, B.O. (1993). Er laksen truet selv ved moderat forsuring ? Eksempler fra Vosso. NIVA-rapport, løpenr. 2947, 34 s.
- Navrud, S. (1990). Nytte-kostnadsanalyse av vassdragskalking. En studie i Audna. DN-notat 1990-5. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim, 51 s.
- Navrud, S. (1993a). Samfunnsøkonomisk lønnsomhet av å kalke mindre fiskevann. DN-notat 1993-3. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim, 59 s.
- Navrud, S. (1993b). Samfunnsøkonomisk lønnsomhet av å kalke Audna. DN-notat 1993-4. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim, 38 s.
- Rosseland, B.O. and Hindar, A. (1991). Mixing zones - a fishery management problem? Pages 161-172. In: International lake and watershed liming practices (Olem, H., Schreiber, R.K., Brocksen, R.W. and Porcella, D.B., eds.). Terrene Inst., Washington, DC.
- Rosseland, B.O., Blakar, I.A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D., Salbu, B., Staurnes, M. and Vogt, R. (1992). The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. Environ. Pollut. 78: 3-8.
- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K., Kroglund, F. og Hoell, E. (1986). Mortality and physiological stress of year-classes of landlocked and migratory Atlantic salmon, brown trout and brook trout in acidic aluminum-rich soft waater. Water, Air and Soil Pollution 30, 751-756.
- Rørsløtt, B., Tjomsland, T., Løvik, J.E., Lydersen, E., Mjelde, M. og Grande, M. (1981). Undersøkelse av øvre Otra. NIVA-rapport, løpenr. 1263, 180 s.
- Rørsløtt, B., Brandrud, T.E. og Johansen S.W. (1990). Tilgroing i terskelbasseng i Otra ved Valle. Problemanalyse og forslag om tiltak. NIVA-rapport, løpenr. 2442, 117 s.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O., Hafsum, F., Kroglund, F. og Hagenlund, G. (1984). Eksponering av bleke, aure og bekkerøye til surt vann. Rapport fra Fiskeforskningen 2/84, 14 s.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O., Hoell, E. og Kroglund, F (1986). Base additions to flowing acidic water: Effects on smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) Water, Air an Soil Pollution 30, 587-592.
- Traaen, T.S. og Johannessen, M. (1987) Tiltak for å bedre vannkvaliteten i Otravassdraget. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 301/88, NIVA-løpenr. 2069, 29 s.
- Wright, R.F. (1983). Øvre Otra. Samspill forsuring - regulering på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 77/83, NIVA-løpenr. 1483, 23 s.
- Østrem, G., Flakstad, N. og Santha, J.M. (1984). Dybdekart over norske innsjøer. Meddelelse nr. 48 fra Hydrologisk avdeling, Norges- vassdrags- og energiverk, 128 s.

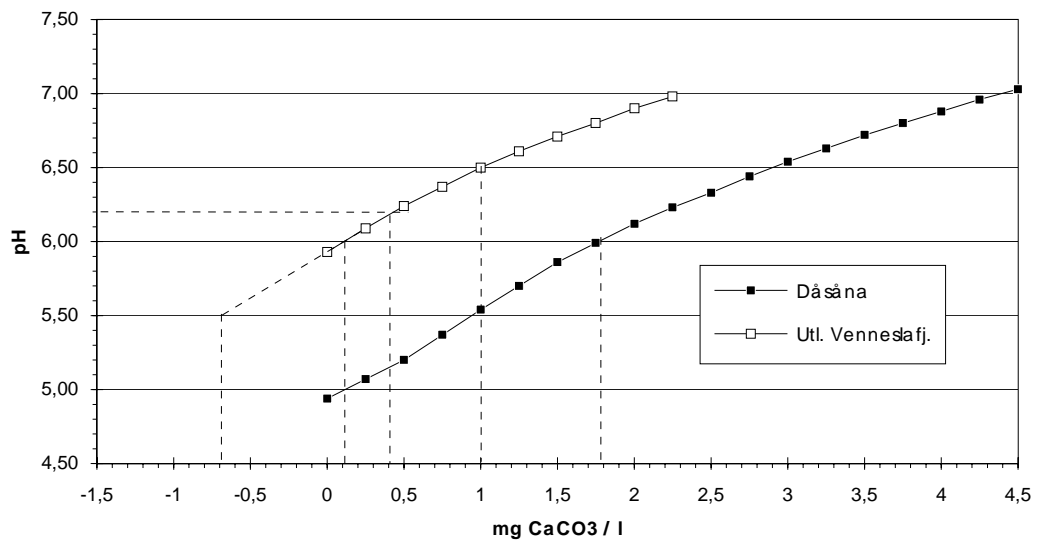
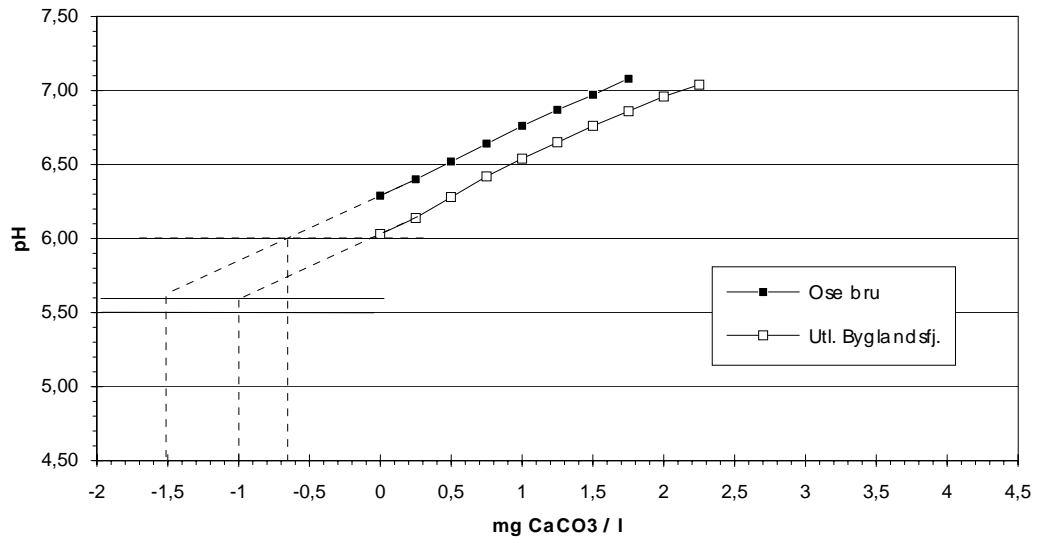
8. VEDLEGG

8.1. Titreringskurver.

Kurvene er framkommet og brukt til beregninger på følgende måte: En vannprøve ble titrert med natriumkarbonat (Na_2CO_3). Etter hver tilsetning av reagens ble det rørt og deretter ventet i omlag fem minutter til pH var stabil. pH ble avlest uten omrøring. Totalt tidsforbruk pr. titrering var 0.5-1.0 time.

Forventet årsmiddelverdi er anslått for hvert enkelt vassdrag, og kurven er trukket mot venstre ned til denne verdien. På den måten framkommer det totale forbruk av natriumkarbonat for å bringe pH fra et forventet årsmiddelnivå og opp til et ønsket nivå. Denne mengden ble så omregnet til kalsiumkarbonatbehov ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$). Nedenfor er det framstilt titreringskurver for 6 ulike stasjoner i Otra den 16/2-1994. Prøvene ble samlet inn i en periode med høye pH-verdier i hele hovedvassdraget. Kurvene måtte dermed ekstrapoleres relativt mye for å nå ned til forventet årsmiddelverdi. På grunn av denne usikkerhetsfaktoren er de ekstrapolerte kurvene sammenlignet med tilsvarende kurver for Tovdals- og Kvina-vassdraget (Hindar 1991, 1992) før de er benyttet til beregninger.







Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2511-0