

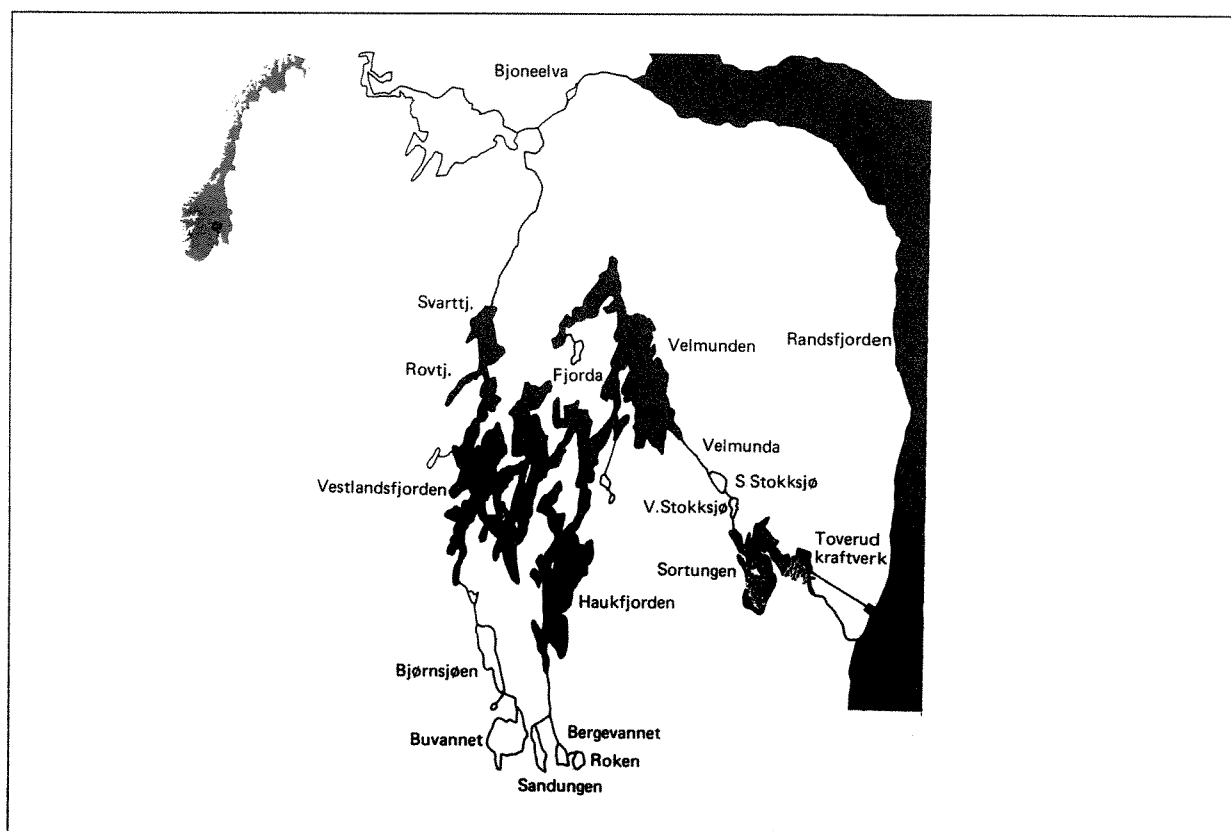
Kalking av surt vann

4/89

Oppdragsgiver **Direktoratet for naturforvaltning**
NIVA

Deltakende institusjon **NIVA**

Prosjektering av kalkingstiltak i **Fjorda-området**



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

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

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

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottetad
Telefon (065) 76 752

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

Prosjektnr.: O-87112
Undernummer:
Løpenummer: 2220
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: PROSJEKTERING AV KALKINGSTILTAK I FJORDA-OMRÅDET	Dato: 16.12.88
Forfatter (e): Atle Hindar	Prosjektnummer: O-87112
	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Oppland
	Antall sider (inkl. bilag): 35

Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Oppland	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Fjordaområdet mellom Randsfjorden og Sperillen er forsuret og det er registrert skader på fisk. Det skal derfor settes igang kalking i den søndre delen av området. I rapporten foreslås en kalkingsstrategi som innebærer kalking av såkalte utstrømningsområder i terrenget. Kalkbehov og kostnader ved bruk av krittme, vassdragskalk og jordbrukskalk er beregnet.

4 emneord, norske:

1. Kalking
2. Utstrømningsområder
3. Kalkbehov
4. Kostnader

4 emneord, engelske:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:

Atle Hindar

For administrasjonen:

Tor Bokn

ISBN - 82-577-1513-1

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD

O-87111 DIVSØR
E-88411 KALKING

Prosjektering av kalkingstiltak i Fjorda-området mellom
Randsfjorden og Sperillen.

Saksbehandler: Atle Hindar

FORORD

Fjordaområdet mellom Randsfjorden og Sperillen er planlagt kalket. Norsk institutt for vannforskning har fått i oppdrag av Fylkesmannen i Oppland å utarbeide en plan for hvordan kalkingen i feltets søndre deler kan gjennomføres.

Det er fra oppdragsgivers side ønsket å se hvordan kalking av utstrømningsområder kan være en del av en slik plan. I den forbindelse var jeg på befaring i området den 28.10.88. sammen med Iver Sevaldrud. De antatt mest aktuelle utstrømningsområdene ble undersøkt. Sevaldrud har bistått med kart, arealberegninger og annen hjelp under arbeidet med rapporten.

Kalking av utstrømningsområder vil bety at torvmoser dør ut og at myrene kan bli brune. Erfaring viser imidlertid at mosene kan ta seg opp igjen over tid. Slike områder kan dessuten ha et rikere preg enn andre myrområder og derfor være kontroversielle i kalkingssammenheng. Det anbefales derfor at planene forelegges rette instans.

En del forutsetninger er trukket inn i beregningene. Det gjelder spesielt på vannkjemi og kalkpris. Det er redegjort nærmere for det i rapporten.

Erfaringen med denne type kalking er svært begrenset i Norge. Hvis kalkingen blir gjennomført bør det derfor være av stor interesse å undersøke nærmere hvordan effekten av denne kalkingen blir. Dette gjelder både effekt på vannkjemi og biologi.

Grimstad, desember 1988

Atle Hindar

INNHOOLD

1. Sammendrag	4
2. Innledning	6
3. Materiale og metoder	8
4. Resultater og diskusjon	13
4.1. Kalking av Bjørnsjøens nedbørfelt	13
4.2. Kalking av Bergevatnets og Sandungens nedbørfelt	23
4.3. Kalking av Haukfjorden	30
4.4. Generelle kommentarer	30
5. Referanser	34

1. Sammendrag

Fjordaområdet mellom Randsfjorden og Sperillen er forsuret og det er registrert skader på fiskebestandene. Dette gjelder særlig i områdets sørlige deler. Området er et attraktivt tur- og padleområde. Intakte fiskebestander vil ha stor betydning for å opprettholde områdets egenart og rekreasjonsverdi.

Det er planlagt kalkingstiltak i Fjordaområdets søndre del. Området omfatter hele nedbørfeltet til Haukfjorden og hele nedbørfeltet til Bjørnsjøen på vestsiden av Haukfjorden, totalt omkring 20 km². Bjørnsjøen drenerer nordover til Vestlandsfjorden. De to vassdragene drenerer begge mot Velmunden og videre til Randsfjorden.

Hele området kan kalkes på en gang, men det er også mulig å gjennomføre en trinnvis kalking. Både økonomi og andre forhold kan peke i retning av at en bør gå trinnvis fram. Kalkingen av de to atskilte feltene kan ses på som helt forskjellige kalkingstiltak som ikke behøver å bli gjennomført samtidig. En planmessig opptrapping av kalkingstiltakene bør skje.

Kalking av Bjørnsjøenfeltet bør bestå i 1) innsjøkalking av Buvatnet for en treårsperiode og 2) oppkalking av Bjørnsjøens vannmasse. Dette bør skje samtidig. Kalkingen kan sannsynligvis vedlikeholdes ved kalking kun av Buvatnet. Utløpsområdet til Buvatnet bør kalkes spesielt i et forsøk på å avsyre surt avrenningsvann fra Buvatnet i vårsmeltingen.

Kalkingen av Haukens nedbørfelt kan bestå i 1) kalking av søndre felt, dvs. nedbørfeltene til Sandungen og Bergevatnet og 2) deretter eller samtidig oppkalking av Haukfjorden. Det anbefales at oppkalkingen av Haukfjorden skjer samtidig med kalking av søndre felt. Siden søndre del av Fjordaområdet er surest og siden Haukfjorden har lang oppholdstid kan vi i første omgang vedlikeholdskalke Haukfjorden ved å kalke de to nevnte delnedbørfeltene.

God vannkvalitet i hele dette området kan sannsynligvis opprettholdes i årene framover ved bare å kalke Buvatnet og delnedbørfeltene til Sandungen og Bergevatnet.

Kalkingen av nedbørfeltene til Sandungen og Bergevatnet er foreslått som en kombinasjon av kalking på vannoverflate og kalking av utstrømningsområder. Vannkjemiske analyser vil vise hvor vellykket denne typen terrengkalking er og i hvilken grad vedlikeholdskalking kan skje med denne kalkingsteknikken alene.

Det er beregnet kostnad ved de forskjellige kalkingstiltak og med forskjellige kalktyper. Det bør imidlertid innhentes tilbud, evt. tilbud fra forskjellige leverandører for å 1) presse kostnaden mest mulig ned og 2) finne de virkelige kostnader.

2. Innledning

Vann og vassdrag i Fjordaområdet mellom Randsfjorden og Sperillen er forsuret (Sevaldrud og Muniz 1980). Vannkvaliteten varierer fra pH ca. 4.8 i de sørlige deler av nedbørfeltet til pH 6.0 i utløpsdelen av Fjorda (Velmunden) (Sevaldrud og Hegge 1987). I den sørlige delen, som omhandles her, er det 6-7 vatn som alle er sure. Det har resultert i reduksjon av fiskebestander, først og fremst av aure og røye (Sevaldrud og Muniz 1980, Sevaldrud og Hegge 1987). Røya er praktisk talt borte fra Bjørnsjøen og Buvatnet (Sevaldrud og Hegge 1987).

I følge Sevaldrud og Hegge (1987) er følgende arter representert i dette vannsystemet : aure (Salmo trutta), røye (Salvelinus alpinus), sik (Coregonus lavaretus), abbor (Perca fluviatilis), ørekyte (Phoxinus phoxinus) og karuss (Carassius carassius). Vikøyr og Weydahl (1984) gir en karakteristikk av disse artene i Fjorda på bakgrunn av diverse materiale.

Fjorda, med sitt særegne vannsystem og sentrale beliggenhet (bare 2 timers biltur fra Oslo) har etterhvert blitt et svært attraktivt tur- og padleområde. Atkomsten til området er lett. Nordfra kan en komme inn på offentlig vei og øst/sørfra gjennom et godt utbygd skogsveinett. Gode fiskemuligheter i Fjorda vil derfor være viktig i rekreasjonssammenheng i årene framover.

Fjorda (420 moh) ble regulert i 1918 ved å føre Fjordavann østover til Toverud kraftverk ved Randsfjorden. Reguleringshøyden er 2.10 meter med HRV på 421.5 moh og LRV på 419.4 moh (Hvidsten og Gunnerød 1978). Hadeland Elektisitetsverk er regulant.

Det produseres kraft ved tapping fra sept./okt. og utover vinteren.

I en tidligere plan for restaurering av Fjorda ble Sandungens nedbørfelt utelukket som kalkingsobjekt, mest av kalkingstekniske årsaker (Vikøyr og Weydahl, 1984). Den åpnet imidlertid for

seinere kalking hvis en kom fram til andre kalkingsteknikker enn rein innsjøkalking eller bekkekalking.

Interessen for vassdragskalking er stor i Fjorda. Området er også høyt prioritert innenfor en kalkingsplan som utarbeides for Oppland fylke (Sevaldrud, pers. medd.). Svarttjern og Rovtjern i det nordvestlige hjørnet av Fjorda er allerede kalket.

Fjorda kan peke seg ut som et eget satsingsområde innenfor kalkingsforskning fordi det antas å være typisk for mange innsjøer på Østlandet som er blitt sure og som har hatt et visst mangfold av fiskebestander.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har fått i oppdrag å utarbeide en kalkingsplan for den søndre delen av Fjordaområdet. Denne delen er den sureste og det er registrert betydelige skader på fiskebestandene (Sevaldrud, pers. medd.). Sandungsbekken var tidligere den viktigste gytebekken for aure i Fjorda. Buvatn- og Bjørnsjøbekken har hatt stor betydning som gytebekker for Buvatn og Bjørnsjøen, i mindre grad for selve Fjorda.

For å få en mest mulig stabil vannkvalitet er det lagt vekt på at en del av tiltaket skal være kalking av såkalte utstrømningsområder i terrenget. Dette er områder der grunnvann fra et nedbørfelt presses fram i dagen. Områdene er kjennetegnet ved at de ligger i forsenkninger eller umiddelbar nærhet til overflatevann og er permanent fuktige. Kalking av slike områder i Norge er bare dokumentert for Store Finnetjenn i Aust-Agder (Hindar 1984). I Sverige anbefales denne kalkingsmetoden brukt innenfor den statlig støttede kalkingsvirksomheten (Naturvårdsverket 1988).

Prosjekteringen har hatt som siktemål å 1) beregne kalkmengder og kostnader for en stabilt akseptabel vannkvalitet for fisk i området og 2) danne et gunstig utgangspunkt for en forskningsmessig oppfølging av kalkutnyttelsen og kalkingens effekter på vannkemi og biologi.

3. Materiale og metoder

Figur 1 viser beliggenheten av det området som skal kalkes og figur 2 viser delnedbørfelt med betegnelser. Data for hvert av de nummererte feltene finnes i tabell 1. I tabell 2 finnes innsjødata. De fleste opplysningene her er hentet fra Vikøyr og Weydahl (1984).

Tabell 1. Data for delnedbørfelt

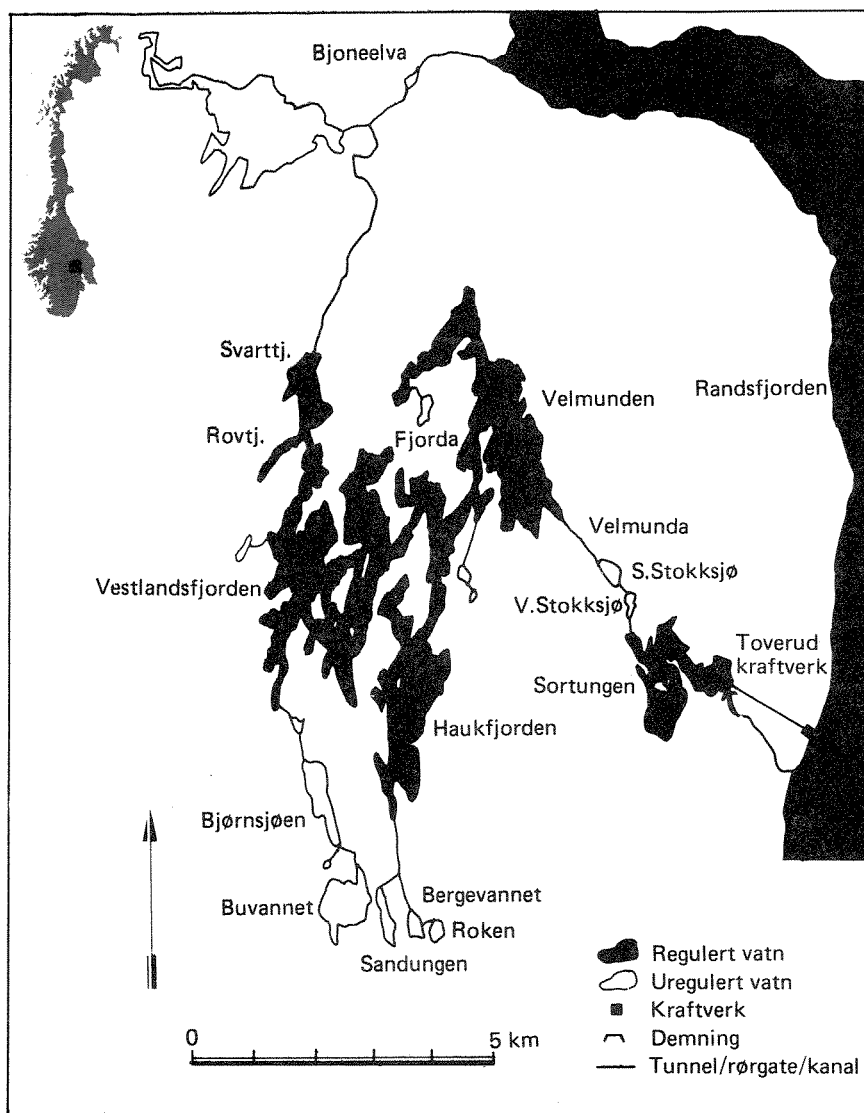
Data del-nedbørfelt:

Felt:	Areal, km ²	Avrenning, m ³ /år
H-0	9.50	4750000
H-1	1.00	500000
H-2	1.20	600000
H-3	0.50	250000
H-41	1.75	875000
H-42	0.75	375000
SUM	14.70	7350000
B-1	1.75	875000
B-2	3.65	1825000
SUM	5.40	2700000

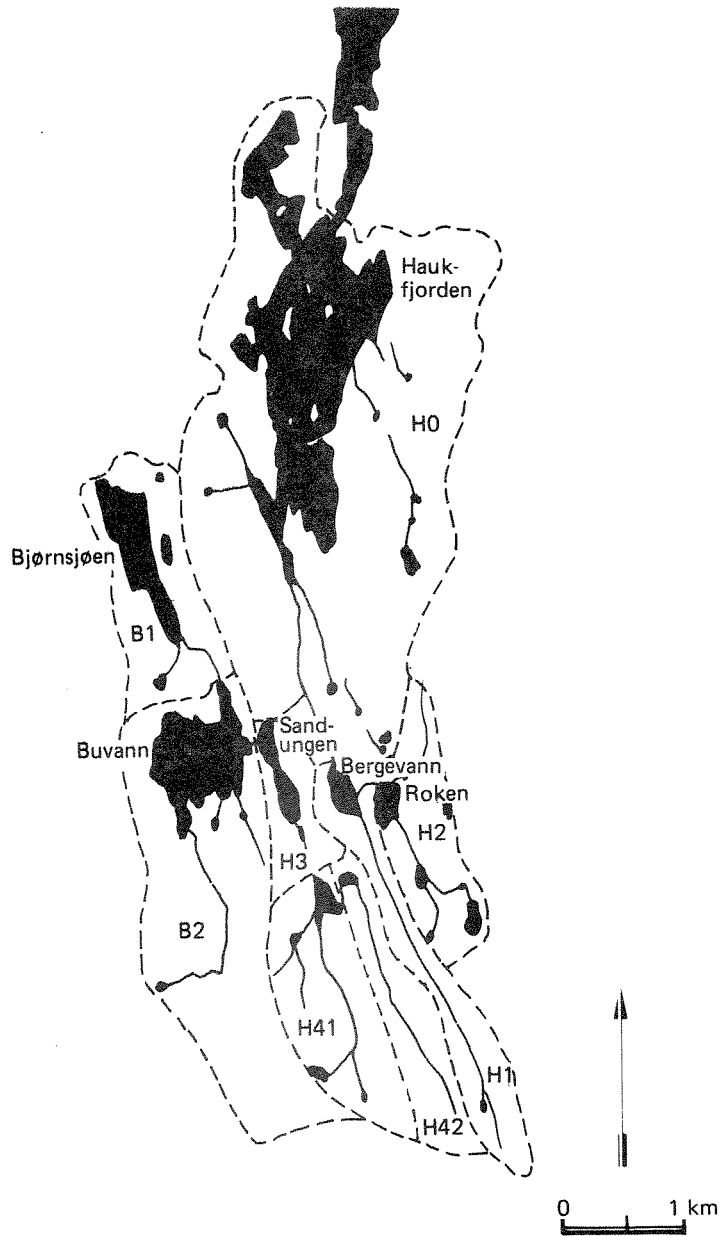
Det finnes en del kjemiske data fra Fjordaområdet. Det gjelder spesielt hovedbassengene. Fra området sør for Haukfjorden er det færre data, slik at grunnlaget for beregning av kalkbehov blir dårligere enn ønskelig. Det kan se ut som om det er en del variasjon i både pH, kalsium og fargetall gjennom året. Aluminiuminnholdet er relativt lavt og variasjoner her vil ha liten betydning for kalkberegningene.

Siden det ikke er foretatt titrering av vannet for å beregne det eksakte kalkbehovet, vil det også være usikkerhet forbundet med hvor mye kalk som må tilsettes for å gi en viss pH-økning. Det anbefales at det gjennomføres slike målinger for en mer nøyaktig beregning av kalkbehov.

Det er regnet med tre forskjellige kalktyper. Data for disse er gitt i tabell 3.



Figur 1. Beliggenheten av det området som skal kalkes.



Figur 2. Nedbørfeltene til de områdene som skal kalkes. Del nedbørfeltene er nummerert og finnes igjen i tabell 1.

Tabell 2. Data for de innsjøene som omfattes av kalking.

FJORDA

Data innsjøer:

Innsjø:	Nedb. f. km ²	Areal da	Volum m ³	Opph.tid år
Hauken	14.70	1980	14050000	1.91
Bergevatn	2.20	60	90000	0.08
Roken	1.20	52	78000	0.13
Sandungen	3.00	100	150000	0.10
Auretjern	2.50	51	91000	0.07
Auretjernp.	0.75			
Bjørnsjøen	5.43	310	1930000	0.71
Buvatn	3.65	470	2700000	1.48

Tabell 3. Data og kostnader for ulike kaltyper

Kalktype	CaCO ₃	90 % mindre enn	50 % mindre enn
	%	mm	mm
Krittmel	92	0.007	0.002
Vassdragskalk	80	0.064	0.012
Jordbrukskalk	80	0.200	0.030

Kalktype	Kalking på innsjøoverflaten	Kalking av utstrømningsområder
	kr./tonn	kr./tonn
Krittmel	1000	1400
Vassdragskalk	800	1200
Jordbrukskalk	600	1200

Det presiseres at kostnader for de tre kalktypene er antatte priser for ferdig spredd kalk, inkl. mva. Reelle priser får vi først ved å innhente tilbud eller anbud fra flere leverandører. En slik anbudsrunde vil også kunne presse prisene noe ned. Prisforskjellene er satt relativt lavt fordi transport- og spredningskostnadene veier tungt i forhold til kalkpris levert fra leverandør.

Det er lagt opp til helikopterkalking av både innsjøer og terreng i nedbørfeltene til Sandungen og Bergevatn. Kalkvolumet her er omkring 150 tonn, men den antatte spredningsprisen på kr. 1200.-/tonn for vassdragskalk kan likevel være noe lav.

I beregningene for kalking av utstrømningsområder er det antatt en varighet av kalkingen på tre år. Kalkdosen er satt til 10 tonn/ha kalket område. Grunnlaget for dosen er svenske erfaringstall. En kombinasjon av tall fra den nye svenske kalkingshåndboka (Naturvårdsverket 1988) og tall fra Harald Sverdrup (LTH) gir 10 tonn kalk/ha kalket område når pH for området er 5.2 og omkring 50 % av den totale avrenningen for et nedbørfelt drenerer mot et kalket utstrømningsområde.

Til beregningene av kalkbehov for innsjøer er det benyttet en oppløsningsmodell for momentanoppløsning av forskjellige kalktyper ved forskjellig pH og synkedyp (Sverdrup 1985). Det er også benyttet en fortynningslikning (Dillon og Scheider 1982) som beskriver endring i kalsium over tid i forhold til innsjøens oppholdstid, vannkvalitet før kalking og kalkinnhold umiddelbart etter kalking. Denne likningen er modifisert til bare å beskrive fortynning av tilført kalsium.

Langtidsoppløsning er trukket inn i regnestykkene. Oppløsningen fra bunnen er satt til mellom 0 og 0.3 tonn kalk/ha*år avhengig av kalktype, momentanoppløsning og oppholdstid. Rosseland og Hindar (1989) redegjør for grunnlaget til denne oppløsningshashtigheten.

Kalkingens varighet ved innsjøkalking er fastsatt etter innsjøens oppholdstid. Det må imidlertid tas forbehold om at det kan skje en relativt rask inaktivering av sedimentert kalk pga vannets innhold av løst organisk stoff. Langtidsoppløsning og dermed kalkingens varighet kan derved bli redusert.

Det er ikke tatt hensyn til at en del av kalken vil forbrukes til å mette innsjøsedimentene i disse vannene som ikke tidligere er kalket. For krittalkingen kan denne effekten trolig være av en viss betydning for resultatet. For de grovere kalktypene vil en del av kalken sedimentere og dermed vil sedimentene i større eller mindre grad mettes. En beregning av denne effekten ville forutsette at sedimentenes basemetningsgrad var kjent. Dette foreligger det ingen opplysninger om.

4. Resultater og diskusjon

Her gjennomgås først beregninger og vurderinger av forskjellige kalkingsalternativer. Deretter gis enkelte generelle kommentarer.

4.1. Kalking av Bjørnsjøens nedbørfelt

Bjørnsjøens nedbørfelt består av de to innsjøene Buvatnet og Bjørnsjøen. Hoveddelen av nedbørfeltet (to tredeler) ligger oppstrøms Buvatnet.

BUVATNET

Det legges ikke opp til at det skal kalkes oppstrøms Buvatnet. Det er derfor naturlig å velge innsjøkalking av Buvatnet og en varighet som står i forhold til vannets oppholdstid. Når dette nedbørfeltet kalkes vil altså to tredeler av Bjørnsjøens nedbørfelt være kalket. Det foreslås derfor at Bjørnsjøens vannmasse kalkes opp samtidig med kalkingen av Buvatnet. Vedlikeholdskalking kan deretter skje hvert tredje år ved å kalke Buvatnet. Kalkingen vil trolig gi positiv effekt helt til Vestlandsfjordens hovedbasseng.

Tabellene 4-6 viser beregning av kalkmengde og kostnad for krittmei, vassdragskalk og jordbrukskalk.

Det er beregnet en momentanopløsning på omkring 100 % for kritt, 60 % for vassdragskalk og 25 % for jordbrukskalk. Dette er basert på at det kalkes fra båt og at kalken slemmes opp før spredning. Etter tre år skal det fortsatt være 0.6 mg Ca/l igjen fra kalkingen. Det er anslått en langtidsopløsning på 0.1 tonn kalk/ha*år for vassdragskalk og 0.15 tonn kalk/ha*år for jordbrukskalk. Kritt kommer klart best ut med en kostnad på kr. 35.000.-. Kalking med kalksteinsmel koster kr. 53.000.-, mens kalking med jordbrukskalk koster kr. 95.000.-. Den totale kalkutnyttelsen i løpet av tre år er hhv. 100 %, 81 % og 38 %.

Tabell 4. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Buvatnet med krittmei.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Buvatnet
Teoretisk opph.tid:	1.48 år	
Innsjøvolum:	2700000 m ³	92 CaCO ₃
% momentanoppløst:	100.0 %	krittmei
Bunnareal:	47.0 ha	
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:		$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t
		$x(i)$ er utgangskonsentrasjonen
		$x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen
		T er teoretisk opph.tid
		e er naturlig log
$x(i)$ =		6.5 mg Ca/l
t =		3.0 år
T =		1.5 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$ =		0.1
$1 - e^{-t/T}$ =		0.9
$x(t)$ =		2.42 mg Ca/l
$x(t) - x(o)$ =		0.62 mg Ca/l
Momentanløst:		34.5 tonn kalk
Avrent pga fort.		29.9 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.00 tonn kalk/ha*år
Totalt fra bunn:		0.0 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.0 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		0.0 tonn
Sum kons.		2.42 mg Ca/l
Totalt brukt:		34.5 tonn
Dosert:		34.5 tonn
Prosent utnyttet:		100 %
Igjen fra mom.løs.		4.5 tonn
Igjen på bunn:		0.0 tonn
Totalt igjen:		4.5 tonn
Dosert:		34.5 tonn
Tonnpris:		1000 kr./tonn
TOTALT:		34484 kroner
Periode:		3 år

Tabell 5. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Buvatnet med vassdragskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Buvatnet
Teoretisk opph.tid:	1.48 år	
Innsjøvolum:	2700000 m ³	
% momentanoppløst:	60.0 %	kalksteinsmel
$x(t)$	=	$x(i)*e(-t/T) + x(o)*(1 - e(-t/T))$
der:	$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log	
$x(i)$ =		6.5 mg Ca/l
t =		3.0 år
T =		1.5 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e(-t/T)$ =		0.1
$1-e(-t/T)$ =		0.9
$x(t)$ =		2.4 mg Ca/l
$x(t)-x(o)$ =		0.6 mg Ca/l
Momentanløst:		39.7 tonn kalk
Avrent pga fort.		34.4 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.10 tonn kalk/ha*år
Bunnareal:		47.0 ha
Totalt fra bunns:		4.7 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.6 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		14.1 tonn
Sum kons.		2.98 mg Ca/l
Totalt brukt:		53.8 tonn
Dosert:		66.1 tonn
Prosent utnyttet:		81 %
Igjen fra mom.løs.		5.2 tonn
Igjen på bunns:		12.3 tonn
Totalt igjen:		17.6 tonn
Dosert:		66.1 tonn
Tonnpris:		800 kr./tonn
TOTALT:		52875 kroner
		periode: 3 år

Tabell 6. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Buvatnet med jordbrukskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Buvatnet
Teoretisk opph.tid:	1.48 år	
Innsjøvolum:	2700000 m ³	
% momentanoppløst:	25.0 %	jordbrukskalk
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:	$x(t)$	er konsentrasjon etter tiden t
	$x(i)$	er utgangskonsentrasjonen
	$x(o)$	er bakgrunnskonsentrasjonen
	T	er teoretisk opph.tid
	e	er naturlig log
$x(i)$	=	6.5 mg Ca/l
t	=	3.0 år
T	=	1.5 år
$x(o)$	=	1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$	=	0.1
$1-e^{-t/T}$	=	0.9
$x(t)$	=	2.4 mg Ca/l
$x(t)-x(o)$	=	0.6 mg Ca/l
Momentaløst:		39.7 tonn kalk
Avrent pga fort.		34.4 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.15 tonn kalk/ha*år
Bunnareal:		47.0 ha
Totalt fra bunn:		7.1 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.8 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		21.2 tonn
Sum kons.		3.25 mg Ca/l
Totalt brukt:		60.8 tonn
Dosert:		158.6 tonn
Prosent utnyttet:		38 %
Igjen fra mom.løs.		5.2 tonn
Igjen på bunn:		97.8 tonn
Totalt igjen:		103.0 tonn
Dosert:		158.6 tonn
Tonnpris:		600 kr./tonn
TOTALT:		95175 kroner
		periode: 3 år

Ved bruk av kritt vil kalsiumkonsentrasjonen komme ned i 2.4 mg Ca/l etter tre år.

Ved bruk av vassdragskalk vil konsentrasjonen også komme ned i 2.4 mg Ca/l om en ser bort fra langtidopløsning. Det er forventet en midlere kalsiumøkning på 0.6 mg Ca/l pga oppløsning fra bunnen. Om dette legges til kommer en opp i et totalt bidrag til kalsiumkonsentrasjonen på 1.2 mg Ca/l, dvs. en konsentrasjon i vannet på 3 mg Ca/l. Dette betyr en sikrere vannkvalitet i kalkingsperioden og muligheter for å utvide perioden fram til neste kalking.

Ved bruk av jordbrukskalk er det forventet en midlere kalsiumøkning på 0.8 mg Ca/l pga oppløsning fra bunnen. Om dette legges til de 0.6 mg Ca/l ved bare fortykning kommer en opp i et totalt bidrag til kalsiumkonsentrasjonen på 1.4 mg Ca/l, dvs. en konsentrasjon i vannet på 3.2 mg Ca/l. Dette betyr også en sikrere vannkvalitet i kalkingsperioden og muligheter for å utvide perioden fram til neste kalking. Kostnaden er imidlertid vesentlig høyere enn for de to andre. Denne kalktypen anbefales derfor ikke brukt under de prisforutsetninger som er lagt inn i beregningene.

Det er beregnet hva det ville koste å kalke Buvatnet hvert år med krittmei. En slik strategi vil gi et sikrere resultat fordi kalkmengden kan justeres etter oppnådd vannkvalitet. Kostnaden blir mindre. Det er fordi kalkdosen ved kalking for tre år blir relativt høy. En vesentlig del av kalken går ut av vannet i løpet av den første tida etter kalking. Besparelsen er kr. 8.000.- fordelt på tre år.

BJØRNSJØEN

Bjørnsjøens vannmasse kalkes opp samtidig med kalkingen av Buvatnet. Beregningene er vist i tabellene 7-9. Det er også her forutsatt kalking fra båt, slik som for Buvatnet. Siden det ikke er vei fram til vannet, må spredefarkost fraktes inn til vannet

på annen måte enn med bil. Dette kan fordyre prosjektet noe, men likevel bli rimeligere enn om kalkingen skulle utføres med helikopter.

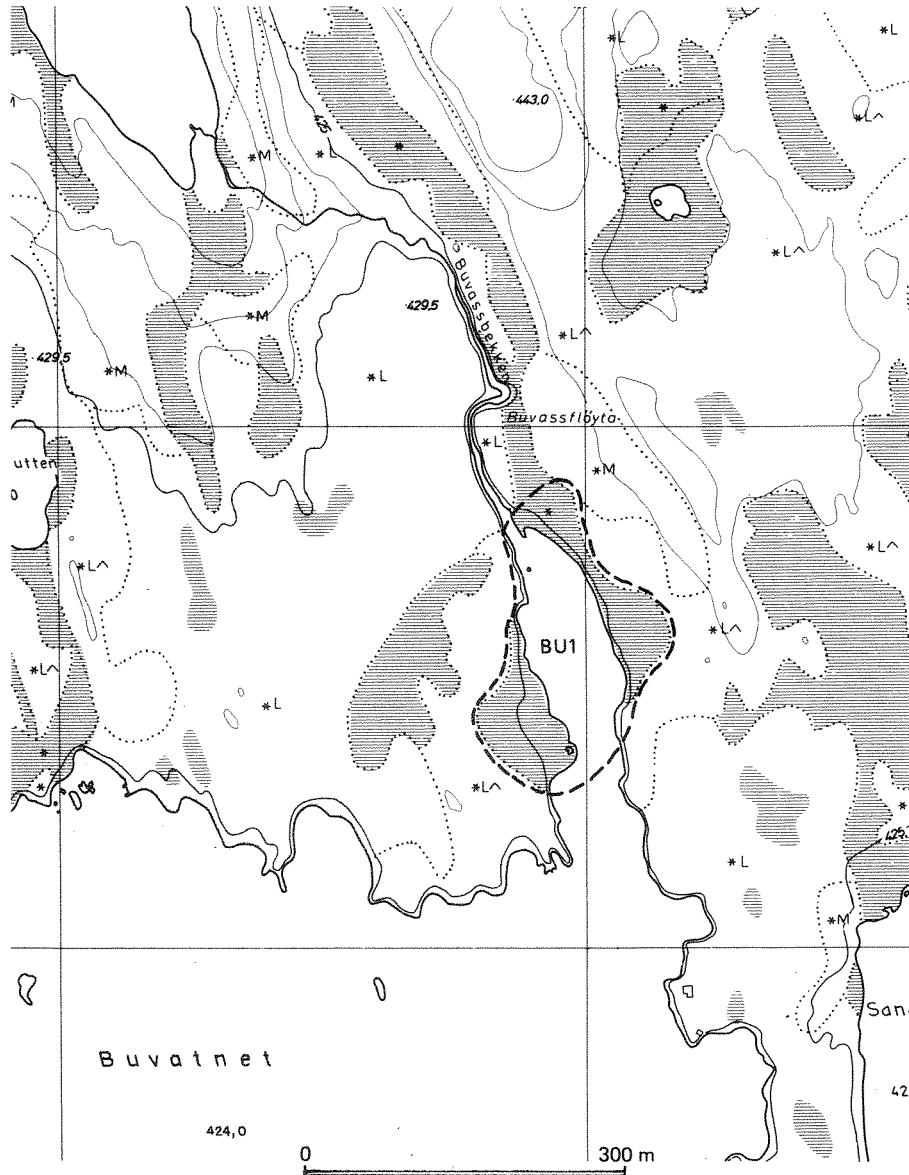
Kalking med kritt faller rimeligst ut, og ligger ca. kr. 4.000.- under kalking med vassdragskalk. Kostnaden ved bruk av jordbrukskalk blir her svært høy fordi en bare er interessert i oppkalking.

Samlet kostnad for kalking av Bjørnsjøens nedbørfelt.

Overslaget er et sammendrag av det som er nevnt ovenfor og inneholder bare anbefalte tiltak under de prisforutsetninger som er tatt inn.

	Kritt	Vassdragskalk
Kalking av Buvatnet for en periode på tre år	35.000.-	53.000.-
Kalking av Bjørnsjøen	<u>7.500.-</u>	<u>11.300.-</u>
SUM	<u>42.500.-</u>	<u>64.300.-</u>

Kalking av det ca. 30 da store utløpsområdet til Buvatnet (BU 1, figur 3) med 10 tonn kalk/ha vil koste 33.000.- kroner med en tonnpris på kr. 1200.- (vassdragskalk/jordbrukskalk) og 38.500.- med en tonnpris på kr. 1400.- (krittmei).



Figur 3. Foreslått kalkingszone i utløpsområdet av Buvatnet .

Tabell 7. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Bjørnsjøen med krittmei.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Bjørnsjøen
Teoretisk opph.tid:	0.71 år	
Innsjøvolum:	1930000 m ³	92 CaCO ₃
% momentanoppløst:	100.0 %	krittmei
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:		$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log
$x(i)$ =		3.2 mg Ca/l
t =		1.0 år
T =		0.7 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$ =		0.2
$1 - e^{-t/T}$ =		0.8
$x(t)$ =		2.1 mg Ca/l
$x(t) - x(o)$ =		0.3 mg Ca/l
Momentanløst:		7.3 tonn kalk
Avrent pga fort.		5.5 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.00 tonn kalk/ha*år
Bunnareal:		31.0 ha
Totalt fra bunns:		0.0 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.0 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		0.0 tonn
Sum kons.		2.14 mg Ca/l
Totalt brukt:		7.3 tonn
Dosert:		7.3 tonn
Prosent utnyttet:		100 %
Igjen fra mom.løs.		1.8 tonn
Igjen på bunns:		0.0 tonn
Totalt igjen:		1.8 tonn
Dosert:		7.3 tonn
Tonnpris:		1000 kr./tonn
TOTALT:		7342 kroner
Periode:		1 år

Tabell 8. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Bjørnsjøen med vassdragskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Bjørnsjøen
Teoretisk opph.tid:	0.71 år	
Innsjøvolum:	1930000 m ³	80 CaCO ₃
% momentanoppløst:	60.0 %	vassdragskalk
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:		<p>$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log</p>
$x(i)$ =		3.2 mg Ca/l
t =		1.0 år
T =		0.7 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$ =		0.2
$1 - e^{-t/T}$ =		0.8
$x(t)$ =		2.1 mg Ca/l
$x(t) - x(o)$ =		0.3 mg Ca/l
Momentanløst:		8.4 tonn kalk
Avrent pga fort.		6.4 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.10 tonn kalk/ha*år
Bunnareal:		31.0 ha
Totalt fra bunn:		3.1 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.5 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		3.1 tonn
Sum kons.		2.66 mg Ca/l
Totalt brukt:		11.5 tonn
Dosert:		14.1 tonn
Prosent utnyttet:		82 %
Igjen fra mom. løs.		2.1 tonn
Igjen på bunn:		2.5 tonn
Totalt igjen:		4.6 tonn
Dosert:		14.1 tonn
Tonnpris:		800 kr./tonn
TOTALT:		11258 kroner
Periode:		1 år

Tabell 9. Beregning av kalkmengde og kostnad for kalking av Bjørnsjøen med jordbrukskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Bjørnsjøen
Teoretisk opph.tid:	0.71 år	
Innsjøvolum:	1930000 m ³	80 CaCO ₃
% momentanoppløst:	25.0 %	jordbrukskalk
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:		<p>$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log</p>
$x(i)$ =		3.2 mg Ca/l
t =		1.0 år
T =		0.7 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$ =		0.2
$1 - e^{-t/T}$ =		0.8
$x(t)$ =		2.1 mg Ca/l
$x(t) - x(o)$ =		0.3 mg Ca/l
Momentanløst:		8.4 tonn kalk
Avrent pga fort.		6.4 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.15 tonn kalk/ha*år
Bunnareal:		31.0 ha
Totalt fra bunn:		4.7 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.8 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		4.7 tonn
Sum kons.		2.91 mg Ca/l
Totalt brukt:		13.1 tonn
Dosert:		33.8 tonn
Prosent utnyttet:		39 %
Igjen fra mom.løs.		2.1 tonn
Igjen på bunn:		20.7 tonn
Totalt igjen:		22.7 tonn
Dosert:		33.8 tonn
Tonnpris:		600 kr./tonn
TOTALT:		20265 kroner
Periode:		1 år

4.2. Kalking av Bergevatnets og Sandungens nedbørfelt

Roken, Bergevatnet, Auretjern og Sandungen foreslås kalket opp. Kalking av feltets avrenning forøvrig skjer ved at en del utstrømningsområder kalkes med 10 tonn kalk/ha. Effekten av denne kalkingen er ventet å vare i tre år. Vedlikeholdskalking bør deretter kunne skje ved å kalke utstrømningsområdene på nytt.

KALKING AV UTSTRØMMINGSOMRÅDER

Figur 4-6 viser de utstrømningsområder som foreslås kalket innenfor Bergevatnets og Sandungens nedbørfelt.

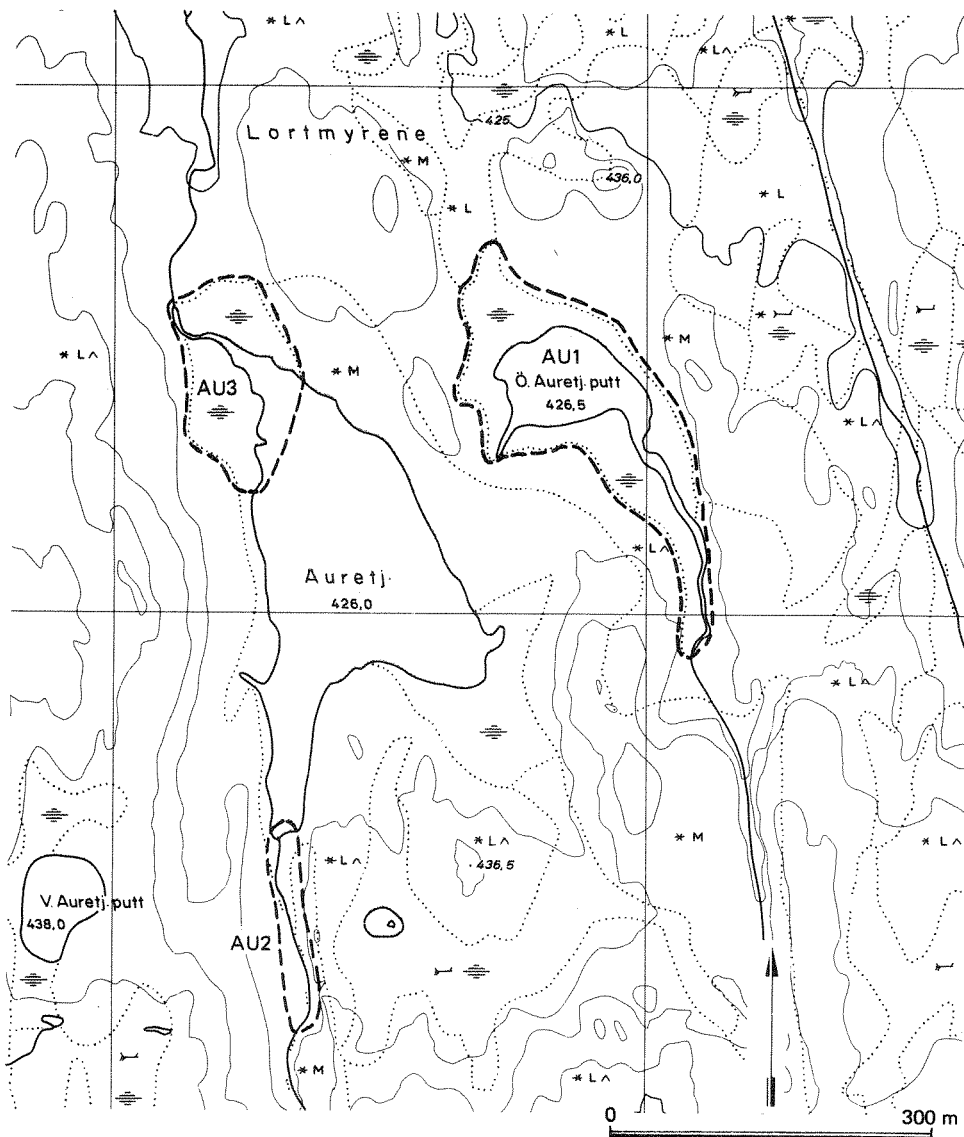
Tabell 10 viser data for utstrømningsområdene, kalkmengde og kostnad ved bruk av forskjellige kalktyper.

Det er beregnet en sprekostnad for kritt på kr. 1400.- og på de to andre kalktypene på kr. 1200.- Kalkmengden er satt til 10 tonn/ha for alle tre kalktyper. Det er gjort fordi den nødvendige doseringen er relativt usikker. Et vannkjemisk oppfølgingsprogram vil gi verdifull informasjon om virkningen av denne kalkdosen i de forskjellige områdene. Den samlede kalkmengden til disse områdene blir 154 tonn.

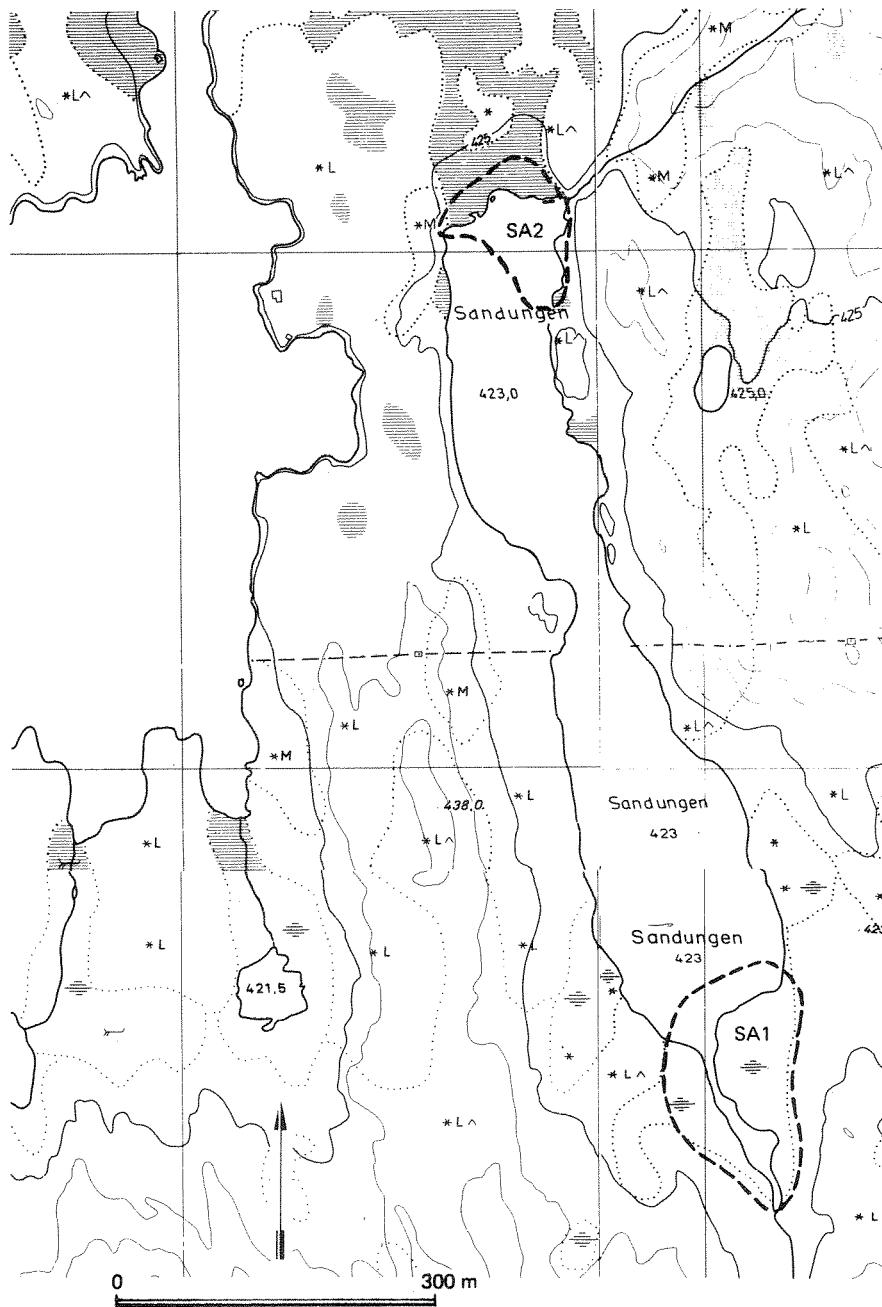
Når det gjelder terrengekalking vil effekten av grovere kalktyper (jordbrukskalk) trolig være fullgod, uten at vi kan sette eksakte tall på oppløsningen. Det kan derfor være regningsssvarende å se om kostnaden ved spredning av jordbrukskalk kan komme lavere enn det som er forutsatt her.

Kostnad

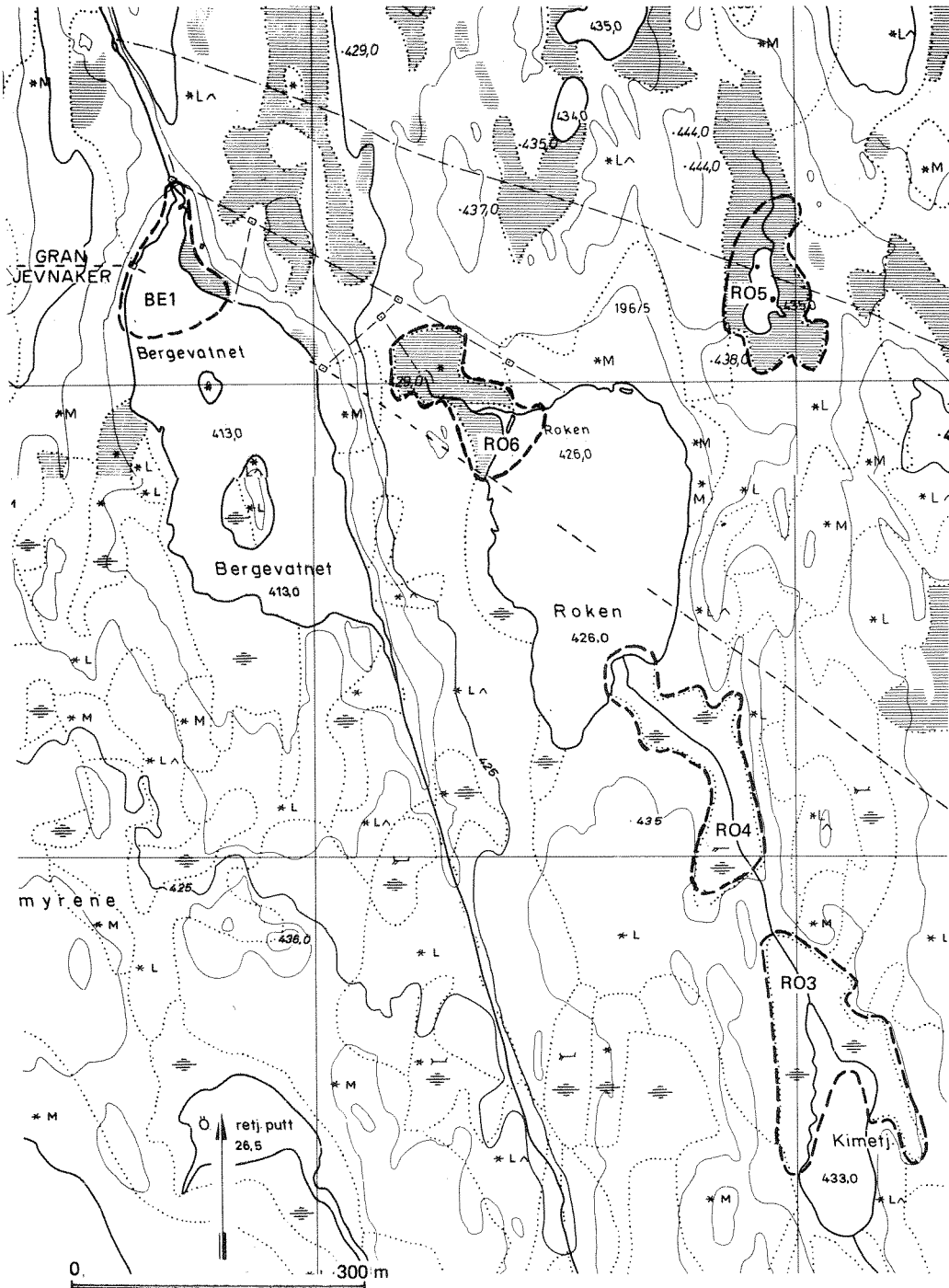
	Kritt	Vassdr.kalk/Jordbr.kalk
Kostnad for utstr.områder	<u>214.000.-</u>	<u>183.300.-</u>



Figur 4. Utstrømningsområder som foreslås kalket. Betegnelsene finnes igjen i tabell 1 og 10.



Figur 5. Utstrømningsområder som foreslås kalket. Betegnelsene finnes igjen i tabell 1 og 10.



Figur 6. Utstrømningsområder som foreslås kalket. Betegnelsene finnes igjen i tabell 1 og 10.

Tabell 10. Data for utstrømningsområdene, kalkmengde og kostnad ved bruk av forskjellige kalktyper. Feltbetegnelser finnes igjen i tabell 1 og i figurene 2-5.

Varighet: 3 år		Kalkmengde		10 tonn/ha
		Vassdr.-og jordbr.kalk		1.0 tonn/da
Innsjø:	Felt	Kalket felt da	Kalk tonn	Kost kr.
Hauken		0.0		
Bergevatn	BE1	9.0	9	10800
Roken	RO3..6	55.8	56	66900
Sandungen	SA1..2	31.8	32	38100
Auretjern	AU2..3	22.8	23	27300
Auretjernp.	AU1	33.5	34	40200
Bjørnsjøen		0.0	0	
Buvatn	BU1	27.5	28	33000

Varighet: 3 år		Kalkmengde		10 tonn/ha
		Krittkalk		1.0 tonn/da
Innsjø:	Felt	Kalket felt da	Kalk tonn	Kost kr.
Hauken		0.0		
Bergevatn	BE1	9.0	9	12600
Roken	RO3..6	55.8	56	78050
Sandungen	SA1..2	31.8	32	44450
Auretjern	AU2..3	22.8	23	31850
Auretjernp.	AU1	33.5	34	46900
Bjørnsjøen		0.0	0	
Buvatn	BU1	27.5	28	38500

KALKING AV VANN OG TJERN

Tabell 11 viser data for kalking av tjernene og vannene i nedbørfeltet til Bergevatnet og Sandungen.

Kalkdosen er satt til 4.5 mg CaCO_3 /l fordi fargetallet på vann fra området kan være omkring 100 mg Pt/l. En titreringskurve for dette vannet ville gi sikrere beregning av hvor mye kalk som må tilsettes for å oppnå ønsket vannkvalitet.

Med en kalkdose på 4.5 g CaCO_3 /m³ blir de totale kalkmengdene 2.2, 4.5 eller 11.1 tonn ved oppkalking med hhv. kritt, vassdragskalk og jordbrukskalk.

Vannene er forutsatt kalket fra helikopter samtidig med utstrømningsområdene og til samme spredkostnad. Samlet kostnad blir kr. 3.000.-, kr. 5.400.- eller kr. 13.300.- ved bruk av hhv. kritt, vassdragskalk eller jordbrukskalk. Igjen kommer jordbrukskalk dårlig ut med den tonnprisen som er forutsatt. Det skyldes både dårlig momentanopløsning og kostnadene forbundet med å spre fra helikopter. Også her gjelder at prisen på jordbrukskalk kan komme noe ned, selvom det alt vesentligste av kostnaden ligger i prisen på selve spredningen.

Kostnad

	Kritt	Vassdr.kalk	Jordbr.kalk
Kostnad for vann og tjern	<u>3.000.-</u>	<u>5.400.-</u>	<u>13.300.-</u>

Tabell 11. Data for kalking av tjernene og vannene i nedbørfeltet til Bergevatnet og Sandungen.

			Krittmel		
Kalking av innsjøer:	4.5 g CaCO ₃ /m ³		92 % CaCO ₃		
Innsjø:	Midd.dyp	Oppl.	CaCO ₃	Kalk	Kost
	meter	%	tonn	tonn	kr.
Bergevatnet	1.5	95	0.4	0.5	650
Roken	1.5	95	0.4	0.4	560
Sandungen	1.5	95	0.7	0.8	1080
Auretjern	1.8	95	0.4	0.5	650

			Kalksteinsmel		
Kalking av innsjøer:	4.5 g CaCO ₃ /m ³		80 % CaCO ₃		
Innsjø:	Midd.dyp	Oppl.	CaCO ₃	Kalk	Kost
	meter	%	tonn	tonn	kr.
Bergevatnet	1.5	50	0.8	1.0	1200
Roken	1.5	55	0.6	0.8	950
Sandungen	1.5	50	1.4	1.7	2000
Auretjern	1.8	50	0.8	1.0	1200

			Jordbrukskalk		
Kalking av innsjøer:	4.5 g CaCO ₃ /m ³		80 % CaCO ₃		
Innsjø:	Midd.dyp	Oppl.	CaCO ₃	Kalk	Kost
	meter	%	tonn	tonn	kr.
Bergevatnet	1.5	20	2.0	2.5	3000
Roken	1.5	25	1.4	1.8	2100
Sandungen	1.5	20	3.4	4.2	5000
Auretjern	1.8	20	2.0	2.6	3100

4.3. Kalking av Haukfjorden

Det forutsettes at nedbørfeltene til Sandungen og Bergevatnet kalkes. Det kan over tid være tilstrekkelig til å bedre vannkvaliteten i Haukfjorden. For at forholdene for fisk og fiskens næringsdyr skal sikres raskest mulig, anbefales det likevel at Haukfjorden blir kalket samtidig med søndre felt. Dette bør skje i form av oppkalking av vannmassen.

I tabell 12-14 er kalkmengder og kostnader beregnet for oppkalking av Haukfjorden.

Beregningene viser at kalking med kritt er rimeligst og vil komme på kr. 53.500.-. Kalking med vassdragskalk og jordbrukskalk vil komme på hhv. kr. 82.000.- og kr. 123.000.-.

Med Haukfjordens lange oppholdstid (1.9 år), vil oppkalking med jordbrukskalk sannsynligvis gi en varighet på tre år med den kalkmengden som er beregnet foran. Det skyldes langtidsoppløsningen av den delen som ikke løses momentant. Hvis nedbørfeltet ikke kalkes og innsjøkalking for tre år velges som eneste kalking av Haukfjorden, vil det likevel være rimeligere å velge krittmei.

4.4. Generelle kommentarer

Krittkalking kommer rimeligst ut ved alle kalkinger utenom kalking av utstrømningsområder. Jordbrukskalk kommer dårligst ut ved alle kalkinger, men ved kalking av utstrømningsområder kan dette være rimeligste alternativ med de forutsetninger som er lagt inn.

Hvis krittmei blir valgt skal en være oppmerksom på den svært raske oppløsningen. Det kan føre til at en del av den oppløste kalken adsorberes til sedimentet slik at effekten blir redusert. Krittmei vil dessuten gi en ubetydelig lagtidsvirkning fordi det synker lite kalk ned på bunnen. Effekten er derfor bestemt av

hvordan den oppløste kalken fortynnes. I dype vann med lang oppholdstid vil virkningene på vannkvaliteten bli minst.

Tabell 12. Kalkmengder og kostnader ved oppkalking av Haukfjorden med krittmei.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Hauken
Teoretisk opph.tid:	1.90 år	
Innsjøvolum:	14050000 m ³	92 CaCO ₃
% momentanoppløst:	100.0 %	krittmei
Bunnareal:	198.0 ha	1000 kr/tonn
$x(t)$	=	$x(i)*e^{-t/T} + x(o)*(1 - e^{-t/T})$
der:		$x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t
		$x(i)$ er utgangskonsentrasjonen
		$x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen
		T er teoretisk opph.tid
		e er naturlig log
$x(i)$ =		3.2 mg Ca/l
t =		1.0 år
T =		1.9 år
$x(o)$ =		1.8 mg Ca/l
$e^{-t/T}$ =		0.6
$1 - e^{-t/T}$ =		0.4
$x(t)$ =		2.6 mg Ca/l
$x(t) - x(o)$ =		0.8 mg Ca/l
Momentaløst:		53.5 tonn kalk
Avrent pga fort.		21.9 tonn kalk
Oppl. fra bunnen:		0.00 tonn kalk/ha*år
Totalt fra bunn:		0.0 tonn/år første 3
Resulterende kons.		0.0 mg Ca/l
Totalt fra bunnen:		0.0 tonn
Sum kons.		2.63 mg Ca/l
Totalt brukt:		53.5 tonn
Dosert:		53.5 tonn
Prosent utnyttet:		100 %
Igjen fra mom.løs.		31.6 tonn
Igjen på bunn:		0.0 tonn
Totalt igjen:		31.6 tonn
Dosert:		53.5 tonn
Tonnpriis:		1000 kr./tonn
TOTALT:		53451 kroner
Periode:		1 år

Tabell 13. Kalkmengder og kostnader ved oppkalking av Haukfjorden med vassdragskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Hauken
Teoretisk opph.tid:	1.90 år	
Innsjøvolum:	14050000 m ³	80 CaCO ₃
% momentanoppløst:	60.0 %	vassdragskalk
Bunnareal:	198.0 ha	
<p>$x(t) = x(i) * e^{-t/T} + x(o) * (1 - e^{-t/T})$ der: $x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log</p>		
$x(i) =$	3.2 mg Ca/l	
$t =$	1.0 år	
$T =$	1.9 år	
$x(o) =$	1.8 mg Ca/l	
$e^{-t/T} =$	0.6	
$1 - e^{-t/T} =$	0.4	
$x(t) =$	2.6 mg Ca/l	
$x(t) - x(o) =$	0.8 mg Ca/l	
Momentanløst:	61.5 tonn kalk	
Avrent pga fort.	25.2 tonn kalk	
Oppl. fra bunnen:	0.05 tonn kalk/ha*år	
Totalt fra bunn:	9.9 tonn/år	første 3
Resulterende kons.	0.2 mg Ca/l	
Totalt fra bunnen:	9.9 tonn	
Sum kons.	2.85 mg Ca/l	
Totalt brukt:	71.4 tonn	
Dosert:	102.4 tonn	
Prosent utnyttet:	70 %	
Igjen fra mom.løs.	36.3 tonn	
Igjen på bunn:	31.1 tonn	
Totalt igjen:	67.4 tonn	
Dosert:	102.4 tonn	
Tonnpris:	800 kr./tonn	
TOTALT:	81958 kroner	
Periode:	1 år	

Tabell 14. Kalkmengder og kostnader ved oppkalking av Haukfjorden med jordbrukskalk.

KOSTNADSBEREGNING FOR:		Hauken
Teoretisk opph.tid:	1.90 år	
Innsjøvolum:	14050000 m ³	80 CaCO ₃
% momentanoppløst:	30.0 %	jordbrukskalk
Bunnareal:	198.0 ha	600 kr/tonn
<p>$x(t) = x(i) \cdot e^{-t/T} + x(o) \cdot (1 - e^{-t/T})$ der: $x(t)$ er konsentrasjon etter tiden t $x(i)$ er utgangskonsentrasjonen $x(o)$ er bakgrunnskonsentrasjonen T er teoretisk opph.tid e er naturlig log</p>		
$x(i) =$	3.2 mg Ca/l	
$t =$	1.0 år	
$T =$	1.9 år	
$x(o) =$	1.8 mg Ca/l	
$e^{-t/T} =$	0.6	
$1 - e^{-t/T} =$	0.4	
$x(t) =$	2.6 mg Ca/l	
$x(t) - x(o) =$	0.8 mg Ca/l	
Momentaløst:	61.5 tonn kalk	
Avrent pga fort.	25.2 tonn kalk	
Oppl. fra bunnen:	0.15 tonn kalk/ha*år	
Totalt fra bunn:	29.7 tonn/år første 3	
Resulterende kons.	0.7 mg Ca/l	
Totalt fra bunnen:	29.7 tonn	
Sum kons.	3.30 mg Ca/l	
Totalt brukt:	91.2 tonn	
Dosert:	204.9 tonn	
Prosent utnyttet:	44 %	
Igjen fra mom.løs.	36.3 tonn	
Igjen på bunn:	113.7 tonn	
Totalt igjen:	150.0 tonn	
Dosert:	204.9 tonn	
Tonnpris:	600 kr./tonn	
TOTALT:	122938 kroner	
Periode:	1 år	

5. Referanser

Dillon, P.J. and Scheider, W.A. 1982. Amer. Chem. Soc. Annual Meeting. Las Vegas. Draft.

Hvidsten, N.A. og Gunnerød, T.B. 1978. Fiskeribiologiske undersøkelser i Sortungen og Velmunden i Gran kommune og Aksjøen i Nordre Land kommune. DVF-rapport 7-1978. 32 s. + vedlegg.

Naturvårdsverket 1988. Kalkning av sjöar och vattendrag. Statens naturvårdsverk. Allmänna råd 88:3. 74 s. + vedlegg.

Rosseland, B.O. and Hindar, A. 1989. Liming of lakes, rivers and catchments in Norway. Water, Air, and Soil Pollut. 41 (1-4): 165-187.

Sevaldrud, I.H. og Hegge, O. 1987. Fiskestatus i forsuringfølsomme områder. Fylkesmannen i Oppland, Miljøvern avdelingen. Rapport 8, 1987. 24 s. + vedlegg.

Sevaldrud, I.H. og Muniz. I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. SNSF-prosjektet. IR 77/80. 92 s. + tabeller.

Sverdrup, H.U. 1985. Calcite dissolution kinetics and lake neutralization. Thesis. Universitetet i Lund. 169 s.

Vikøyr, B. og Weydahl, L.H. 1984. Restaurering av Fjorda - En biologisk og samfunnsøkonomisk vurdering. Semesteroppgave ved NLH. 121 s. + vedlegg.