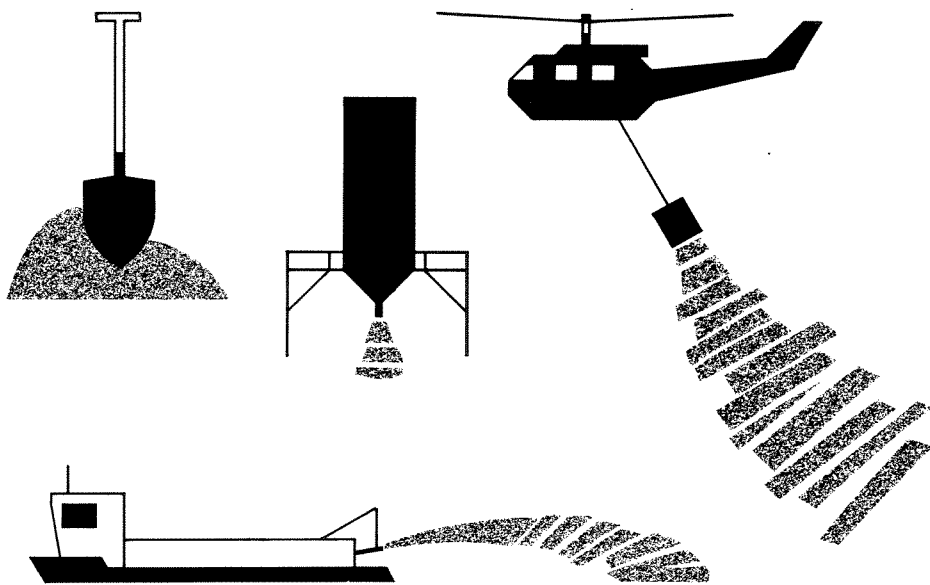




O-92084

# Kalkingsplan for Kvina-vassdraget og Litleåna



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-92084	Undernr.:
Løpenr.: 2775	Begr. distrib.:

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47 2) 23 52 80 Telefax (47 2) 95 21 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47 41) 43 033 Telefax (47 41) 44 513	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47 65) 76 752 Telefax (47 65) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (47 5) 95 17 00 Telefax (47 5) 25 78 90	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47 83) 85 280 Telefax (47 83) 80 509
--	---	--	--	--

Rapportens tittel:  Kalkingsplan for Kvina-vassdraget og Litleåna	Dato: 18.08.92	Trykket: NIVA 1992
	Faggruppe: Sur nedbør	
Forfatter(e):  Atle Hindar	Geografisk område: Vest-Agder	
	Antall sider: 34	Opplag: 100

Oppdragsgiver: Kvinesdal kommune	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
-------------------------------------	----------------------------------

## Ekstrakt:

Kvina-vassdraget i Vest-Agder er forsuret og er sterkt regulert til kraftproduksjon gjennom Sira-Kvina utbyggingen. Hele den øvre delen av vassdraget (omlag 800 km<sup>2</sup>) er ført over til Sira. Sidevassdraget Litleåna er mindre surt enn Kvina og er ikke berørt av regulering. I kalkingsplanen er det redegjort for ulike kalkingsstrategier og plassering av kalkdoserere. Årlige kalkmengder og totale kostnader for kalk og leie av doserere er beregnet. Fullkalking av begge vassdrag vil i middel kreve 3500 tonn kalk/år og koste 1.75 mill. kr/år. I tillegg kommer etableringskostnader for anlegg og kostnader forbundet med drift og tilsyn. Framdriften i kalkingsarbeidet i Kvinavassdraget bør være at Litleåna fullkalles først eller samtidig med at fullkalking av hovedvassdraget settes igang. Kalking i Litleåna kan skje uavhengig av om det kalkes i Kvinas hovedvassdrag. Planen er utformet slik at kalkingstiltakene kan startes i de øvre deler av vassdragene og bygges gradvis ut.

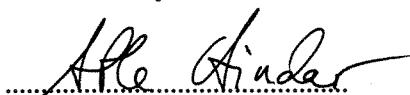
4 emneord, norske

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

4 emneord, engelske

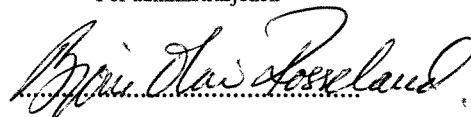
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder



Atle Hindar

For administrasjonen



Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-2158-1

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
SØRLANDSAVDELINGEN  
GRIMSTAD**

**O-92084**

**Kalkingsplan for Kvina-vassdraget  
og Litleåna**

Grimstad, august 1992  
Saksbehandler: Atle Hindar

## FORORD

Som følge av et sterkt lokalt engasjement og som en oppfølging av det planleggingsarbeidet som er utført ved miljøvernavdelingen i Vest-Agder, er det tatt initiativ til å utarbeide en kalkingsplan for Kvina. I brev av 10.03.92 fra Kvinesdal kommune ble NIVA bedt om å utarbeide prosjektforslag for et slikt arbeid. Vårt prosjektforslag av 24.03.92 ble akseptert av kommunen ved brev av 23.04.92. Det er det kommunale kultiveringsutvalget for Kvinavassdraget som har ansvar for prosjektet.

Hydrologiske data fra vassdraget er levert fra Hydrologisk avdeling i NVE. Kostnadsoverslag for kalk, innkjøp og leie av kalkdoseringsanlegg er innhentet fra Miljøindustri A.S. Agderforskning-Teknikk har gjennomført titreringsanalyser av vannprøver.

Arbeidet med planen er finansiert av Kvinesdal kommune.

Grimstad, august 1992

Atle Hindar

## INNHOLDSFORTEGNELSE:

	SIDE:
1. SAMMENDRAG OG TILRÅDNINGER	4
2. INNLEDNING	6
3. MÅLSETTING OG AVGRENSNING	8
4. BESKRIVELSE AV VASSDRAGET	9
4.1. Reguleringer og vannkvalitet	9
4.2. Vassdragsavsnitt	9
4.3. Avrenning i perioden 1989-1991	12
5. KALKINGSSTRATEGI	13
5.1. Kalktyper og kalkoppløsning	13
5.2. Kalkdoseringsprinsipp for elver	14
5.3. Drift av anlegg	15
5.4. Kalkmengder	15
5.5. Reguleringens innvirkning på kalkingsstrategien	16
6. KALKINGSALTERNATIVER	17
6.1. Kvina, Alternativ I	18
6.1.1. Kalkingsstrategi	18
6.1.2. Kalkmengder og kostnader	21
6.2. Kvina, Alternativ II	21
6.2.1. Kalkingsstrategi	21
6.2.2. Kalkmengder og kostnader	22
6.3. Kvina, Alternativ III	24
6.3.1. Kalkingsstrategi	24
6.3.2. Kalkmengder og kostnader	25
6.4. Litleåna	27
6.4.1. Kalkingsstrategi	27
6.4.2. Kalkmengder og kostnader	30
6.5. Anbefalt framdrift	31
7. REFERANSER	32
8. VEDLEGG	33
8.1. Titreringsanalyser	33

## **1. SAMMENDRAG OG TILRÅDNINGER**

Kvina-vassdraget i Vest-Agder er forsuret og har idag en surhetsgrad (pH) som sannsynligvis varierer innenfor området 4.5-5.2. Vannkvaliteten er for dårlig til at laks og sjøaure kan reprodusere. Vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon gjennom Sira-Kvina utbyggingen. Hele den øvre delen av vassdraget (omlag 800 km<sup>2</sup>) er ført over til Sira. Som følge av reguleringen er det bare en begrenset mengde vann (krav om minstevannføring) som føres fra det regulerte området og til Kvina. Et større sidevassdrag i øst (Litleåna) går parallelt med hovedvassdraget fra området sør for Knaben og helt til Liknes ved utløpet i sjøen.

Som følge av et sterkt lokalt engasjement, kommunal medvirkning og som en oppfølging av det planleggingsarbeidet som er utført ved miljøvernavdelingen i Vest-Agder, kom arbeidet med en kalkingsplan for Kvina igang i 1992.

Det er satt opp tre mulige hovedmålsettinger med kalkingstiltakene i Kvina:

- 1) Vannkvaliteten i Kvina og Litleåna skal være så god at laks kan reprodusere og leve i elva.
- 2) Vannkvaliteten i Kvina og Litleåna skal være så god at sjøaure kan reprodusere og leve i elvene.
- 3) Det skal etableres gode leve- og reproduksjonsmuligheter for innlandsfisk i så stor del av de to vassdragene som det er praktisk og økonomisk mulig.

I kalkingsplanen er det redegjort for ulike kalkingsstrategier og plassering av kalkdoserere. Årlige kalkmengder og totale kostnader for kalk og leie av doserere er beregnet.

De totale kalkmengder og kostnader (inkl. leie av doseringsanlegg) for å oppnå målsetting 1) om å gjøre Kvina og Litleåna levelig for laks er beregnet til:

<u>Vassdrag:</u>	<u>Kalkmengde:</u>	<u>Kostnad:</u>
Kvinas hovedvassdrag	2100 tonn/år	1070.000.- kr./år
Litleåna	1350 tonn/år	670.000.- kr./år
<b>TOTALT</b>	<b>3450 tonn/år</b>	<b>1740.000.- kr./år</b>

**Fullkalking av begge vassdrag vil etter dette kreve 3500 tonn kalk/år og koste 1.75 mill. kr/år. I tillegg kommer etableringskostnader for anlegg og kostnader forbundet med drift og tilsyn. Kostnadene for kalken er basert på middelavrenning og kan derfor variere innenfor ± 20 %.**

Beregningene av kalkmengde er gjort ved å anta at pH er 4.7 i de perioder det renner moderate eller store vannmengder i vassdraget. Mål-pH er satt til 6.2 (for laks). Hvis det bare kalkes for sjøaure, er mål-pH 6.0 og kalkmengden blir 10 % mindre på årsbasis. Hvis pH økes fra 6.2 til 6.5 i smoltifiseringsperioden for laks, vil kalkbehovet bli anslagsvis 10 % større på årsbasis.

Kostnadene forbundet med å kalke avrenningen fra Homstølmagasinet (innenfor Sira-Kvina-reguleringen) er ikke tatt med fordi avrenningens størrelse ikke kan beregnes.

Framdriften i kalkingsarbeidet i Kvinavassdraget bør være at Litleåna fullkalkes først eller samtidig med at fullkalking av hovedvassdraget settes igang. På den måten sikres vannkvaliteten i området fra Liknes og til sjøen. Kalking i Litleåna kan skje uavhengig av om det kalkes i Kvinas hovedvassdrag.

Hvis Kvinas hovedvassdrag fullkalkes, må avrenningen fra Homstølmagasinet avsyres. Dette gjelder også hvis en velger en gradvis opptrapping av kalkingen i hovedvassdraget.

Fullkalking av Kvinas hovedvassdrag bør skje etter Alternativ II, dvs. at det etableres doseringsanlegg ved Netland, Stakkeland og Rafoss.

I hovedvassdraget kan en gradvis opptrapping av kalkingen skje etter Alternativ II. Hvis en slik løsning velges, kan også deler av Alternativ III innlemmes før vassdraget fullkalkes. En seinere fullkalking av Kvina kan skje ved utvidelse av kalkingstiltakene etter Alternativ II.

For Litleåna er det ikke lagt inn alternative løsninger annet enn for plasseringen av det øverste doseringsanlegget. Det anbefales at den øverste dosereren i hovedvassdraget plasseres på strekningen Mygland-Haddeland. Galdalsvatnet bør kalkes opp før doseringen fra anlegget startes. Anlegget ved Dukan i nedre del startes opp samtidig med eller etter kalking av Galdalsvatnet.

Flere sidevassdrag til Litleåna kan kalkes og kalkingsstrategi og kalkmengder for disse er vurdert, men ikke trukket inn i hovedplanen.

## **2. INNLEDNING**

Det foregår idag betydelig kalking av vann og vassdrag i Norge. De statlige tilskuddene dekker omlag 5 % av behovet. Interessen for å sette igang nye og større prosjekter er derfor stor. En del mellomstore vassdrag kalkes allerede, f.eks. Vegårvassdraget i Aust-Agder, Audna og Lygna i Vest-Agder, Ognå og Vikedalsvassdraget i Rogaland og Frøysetvassdraget i Hordaland.

Tilskuddene er etterhvert kommet opp på et slikt nivå at det kan være aktuelt å kalke større vassdrag. Det er utarbeidet kalkingsplaner for Arendalvassdraget i Telemark/Aust-Agder og Tovdalsvassdraget i Aust-Agder/Vest-Agder (Hindar 1989, 1991). Den planen som legges fram her bygger på dette arbeidet og omfatter det mellomstore vassdraget Kvina fra Homstølmagasinet til sjøen med sidevassdraget Litleåna.

Kvina-vassdraget i Vest-Agder (figur 1) er forsuret. Årlig middel-pH avtok fra 5.0-5.3 på 1960-tallet til 4.7 på slutten av 1970-tallet (Henriksen m.fl. 1981). Vassdraget har idag en surhetsgrad (pH) som sannsynligvis varierer innenfor området 4.5-5.2. Vannkvaliteten er for dårlig til at laks kan reprodusere. Vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon. Sira-Kvina kraftselskap er regulant. Hele den øvre delen av vassdraget er ført over til Sira (omlag 800 km<sup>2</sup>). Det er imidlertid innført krav om minstevannføring i nedre del av Kvina. Som følge av reguleringen er det en begrenset mengde vann som føres fra det regulerte området og til Kvina. Det kan ha hatt betydning for vannkvalitetsendringer i Kvina.

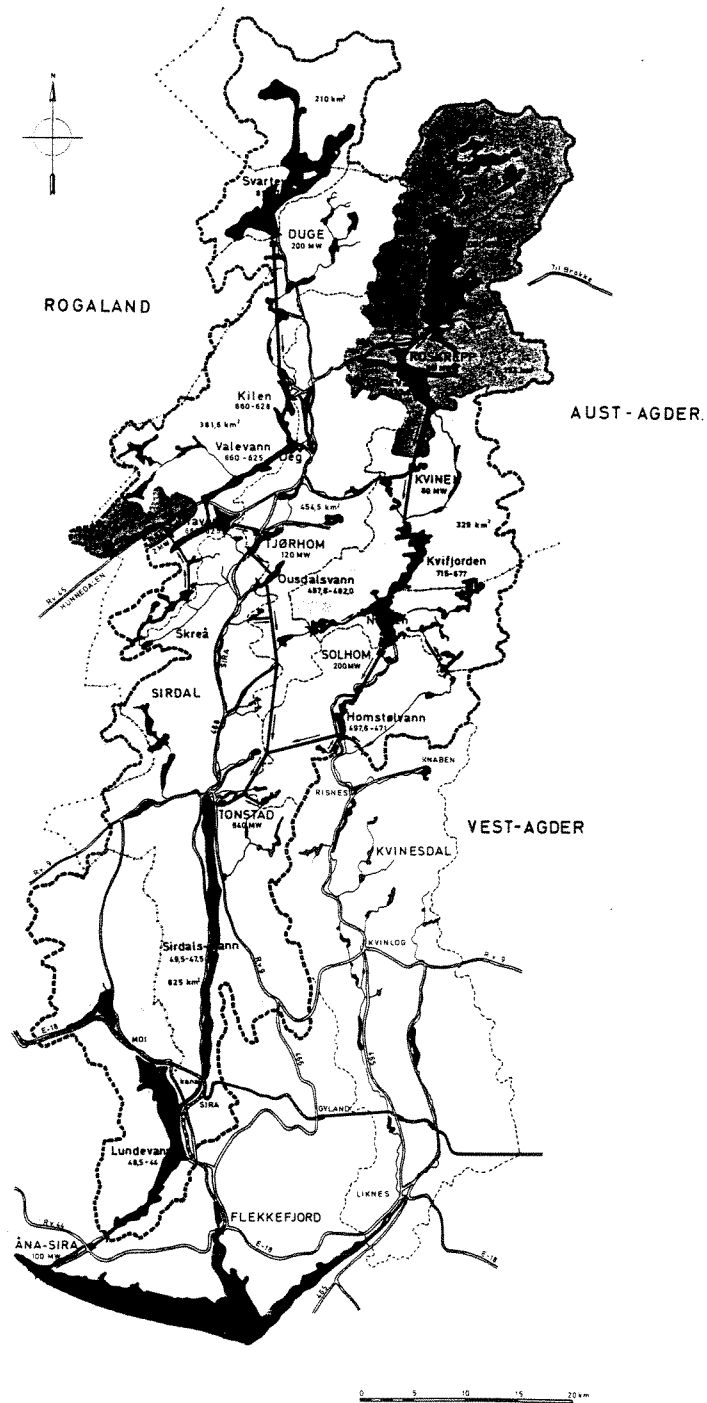
Reguleringen har ført til at omfattende gyte- og oppvekstområder for fisk er tørrlagt. Det er bygd 19 terskelbassenger på strekningen fra Homstølvatn til utløpet i sjøen. Lengden av terskelbassengene utgjør omlag halvparten av elvestrekningen. Som kompensasjon for reguleringene har regulanten fått pålegg om utsetting av fisk. I terskelbassengene settes det årlig ut 7300 to-somrig aure og 3800 en-somrig bekkerøye. Det er i tillegg foreslått utsetting av sjøaure i Kvina.

Flere sidebekker i nedre del og langs indre del av Fedafjorden er viktige reproduksjons- og oppvekstområder for sjøaure. Litleåna er et større sidevassdrag i øst og går parallelt med hovedvassdraget fra området sør for Knaben. Dette vassdraget har fra naturens side noe bedre vannkvalitet enn Kvina og vannkvalitetsvariasjonene er større (Henriksen m.fl. 1981). I perioder kan pH være omkring 6.0.

Det foregår i dag kalking av enkelte vann i Kvinas og Litleånas nedbørfelt og flere er planlagt. Denne kalkingen er så beskjedne at den ikke har betydning for kalkingsstrategien i hovedvassdraget. I et notat fra MV-avdelingen av 7. mai 1991 er årlige kostnader for kalking av Kvina beregnet til 4.9 mill. kr. (Larsen 1991).



## Sira-Kvina kraftselskap



Figur 1. Oversikt over Sira-Kvina utbyggingen. Kalkingsplanen omfatter Kvina fra Homstølvann til sjøen, samt sidevassdraget Litleåna øst for Kvina. (Kopi av fargekart fra Sira-Kvina kraftselskap).

### **3. MÅLSETTING OG AVGRENSNING**

Målsettingen med kalkingen er ikke spesifisert fra kultiveringsutvalgets side, men følgende vurdering er akseptert:

Målsettingen med kalking må ses i sammenheng med manøvreringen av vassdraget, utsettingsrutiner for aure og bekkerøye og annet kultiveringsarbeid.

For å lette arbeidet med kalkingsplan er det satt opp tre mulige hovedmålsettinger:

- 1) Vannkvaliteten i Kvina og Litleåna skal være så god at laks kan reprodusere og leve i elva.
- 2) Vannkvaliteten i Kvina og Litleåna skal være så god at sjøaure kan reprodusere og leve i elvene.
- 3) Det skal etableres gode leve- og reproduksjonsmuligheter for innlandsfisk i så stor del av de to vassdragene som det er praktisk og økonomisk mulig.

Målsetting 1) og 2) er først og fremst innrettet mot den laks- og sjøaureførende delen av Kvina og Litleåna. Det er strekningene fra Trælandsfoss (3 km nord for Liknes) i Kvina og til sjøen og fra Åmot (1.5 km øst for Liknes) i Litleåna og til Liknes.

Hvis det kalkes for laks, vil automatisk sjøauren sikres. De to første målene i kombinasjon med 3) er innrettet mot fisk i hele nedbørfeltet. Det er målsetting 1) og 3) som på den beste måten også vil sikre gode levevilkår for annet organismeliv enn fisk i vassdraget. Nederst i vassdraget kan det være refugieområder (f.eks. små sidebekker) med bedre vannkvalitet som kan danne grunnlag for gjenetablering bl.a. av utdødd bunnfauna i Kvina og Litleåna.

Kalkingsplanen for Kvina omfatter strekningen fra Homstølvatn og til utløpet i sjøen. Det er ikke utarbeidet plan for det regulerte feltet fra Homstølvatn og nordover. Det er utarbeidet en atskilt plan for Litleåna. De to vassdragene er delvis sett på som atskilte enheter. Konsekvenser av evt. kraftutbygging i Litleåna tas ikke opp i denne planen.

Øvrige fiskestelltiltak og vurdering av utsettingsbehov og -rutiner er ikke tatt opp.

Planen kan danne grunnlag for søknad om statlig tilskudd til kalking av Kvina/Litleåna-vassdragene.

## **4. BESKRIVELSE AV VASSDRAGET**

### **4.1. Reguleringer og vannkvalitet**

Kvinavassdraget er sterkt preget av vassdragsregulering og forsuring. Avrenningen fra hele øvre del av vassdraget, omlag 800 km<sup>2</sup> er overført til Sirdal. Totalt nedbørfelt for Kvinas hovedvassdrag er 1150 km<sup>2</sup>, slik at gjenværende, uregulert del blir 340 km<sup>2</sup>.

Grensen for reguleringen går omlag ved utløpet av Homstølmagasinet nordøst for Tonstad i Sirdal. Men også Geithombekken i sør og Austøla nord for Knaben er tatt med i en takrenneoverføring til Homstølmagasinet. Litleåna er uberørt av reguleringer og har et nedbørfelt på 227 km<sup>2</sup>.

Vannkvaliteten i Kvina og Litleåna er relativt godt kjent gjennom tidligere overvåking og et prosjekt som ble gjennomført av NIVA i 1991-1992 på oppdrag fra MV-avdelingen i Vest-Agder. Vassdraget er surt og har pH omkring 4.6-4.7 i nedre del når vannføringen er moderat og høy. Vannkvaliteten i Rosskreppfjorden i den regulerte delen av Kvina var på 1970-tallet bedre (høyere pH) enn lengere nedover i vassdraget (Gunnerød m.fl. 1981).

Vassdragsreguleringen kan derfor ha forsterket forsuring utviklingen de siste tiår siden den øvre delen av vassdraget er ført over til Sirdal.

Litleåna har fra naturens side en vannkvalitet som er noe bedre enn den vi finner i Kvina. Det kan skyldes at menneskelig aktivitet har større betydning for vannkvaliteten i dette vassdraget, særlig i perioder med moderat til lav vannføring. I Litleåna foregår en begrenset vassdragskalking.

Den 12. september 1991 var pH 6.35 i utløpet av Galdalsvatnet og 5.85 før samløp med Kvina. Vannføringen i Kvina var på det tidspunktet 5 m<sup>3</sup>/s, altså svært lav. I november og desember var pH omkring 4.7 begge steder. Da var vannføringen 10 ganger større eller hadde nettopp vært 10 ganger større i Kvina. I perioder med mindre avrenning påvirker den vassdragskalking som gjennomføres i Litleåna til en viss grad vannkvaliteten i nedre del. pH kan derfor i perioder være omkring 6.0 eller høyere. I perioder med moderat og høy avrenning påvirker ikke kalkingen vannkvaliteten i særlig grad.

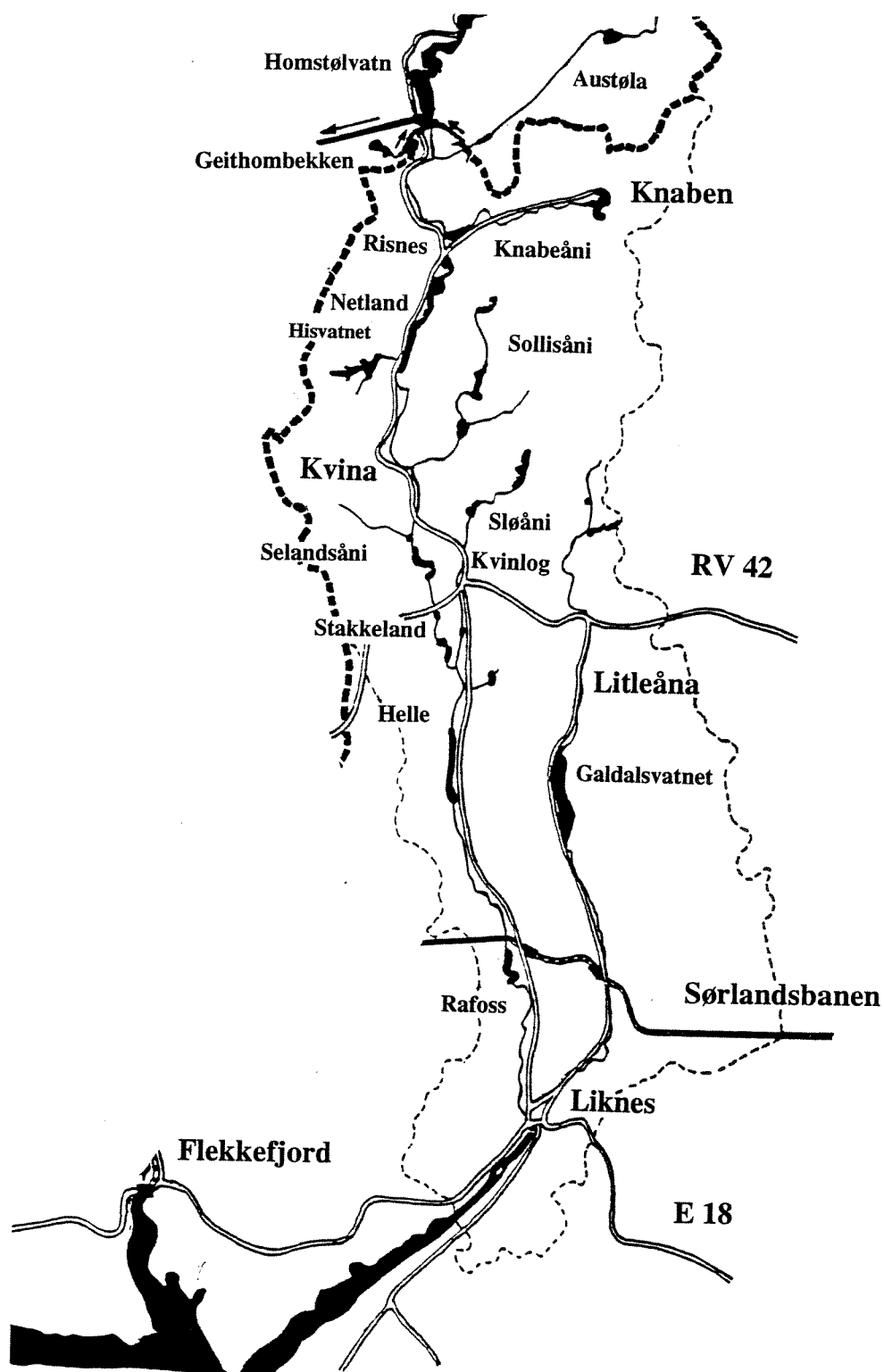
Det har ikke vært behov for et eget undersøkelsesprogram for vannkjemi i forbindelse med kalkingsplanen, men vannprøver er analysert for å finne fram til kalkbehov.

### **4.2. Vassdragsavsnitt**

Etter de data som er innhentet om regulering og vannføring, er det naturlig å betrakte Kvinavassdraget som tre hovedavsnitt:

1. Regulert felt til Homstølmagasinet
2. Kvinas uregulerte felt
3. Litleåna

Kvinas uregulerte felt og Litleåna er vist i figur 2.



Figur 2. Kvina sør for Homstølmagasinet og Litleåna. Den kraftige stiplede linjen markerer skillet til det regulerede Sira-Kvinafeltet.

Vannføringen fra Homstølvatnet er kraftig redusert i forhold til en uregulert situasjon. Hvis det kunne skaffes en garanti for at avløpet til enhver tid ikke ville være større enn 0-3 m<sup>3</sup>/s (normalsituasjon), ville det være uaktuelt å kalke dette bidraget spesielt. Siden dette ikke er tilfellet, bør en kalkingsstrategi for vann fra det regulerte feltet inngå i alle alternativer. Det legges opp til et separat anlegg i tilknytning til reguleringsdammen.

Austøla nord for Knaben har et nedbørfelt på 49 km<sup>2</sup> og er i sin helhet overført til Homstølmagasinet og vil ikke bli behandlet spesielt her.

Det 50 km<sup>2</sup> store nedbørfeltet til Knabeåni vil være naturlig å avsyre med eget anlegg. Arenningen utgjør omlag 15 % av avrenningen i Kvinas uregulerte felt. Doseringsanlegg er foreslått kun i det mest omfattende alternativet.

Sollisåni renner ut i Kvina 5-6 km nord for Kvinlog ved RV 42. Nedbørfeltet er 40 km<sup>2</sup>. Vassdraget er lite egnet til kalking, bl.a. pga dårlig atkomst, og tas ikke med i hovedplanen.

Nedbørfeltet til Selandsåni vest for Lindeland bru for RV 465 er 28 km<sup>2</sup>. Vassdraget er for lite til å komme med i hovedplanen, men kalking vil ha betydning for vannkvaliteten i Kvina.

Sløånis nedbørfelt strekker seg fra Talafjell (709 moh) i nord og sørover forbi Kvinlog. Feltet er 38 km<sup>2</sup> stort, dvs. omlag 11 % av Kvinas uregulerte felt. Vassdraget er sentralt plassert, med de to tettstedene Kvinlog og Fjotland. Fjotlandsvatnet har relativt høy pH pga kalking, mens Sløåni kan ha pH 4.6-4.7 i perioder med moderat og høy avrenning. Vassdraget bør kalkes som del av det mest omfattende kalkingsalternativet.

På strekningen Kvinlog-Liknes er det en rekke mindre vassdrag langs Kvinas vestre del. De faller bratt ned mot Kvina fra et platå 300-400 moh. Kalking av ett av disse vil ikke innvirke i særlig grad på vannkvaliteten i Kvina. De vil derfor ikke bli tatt med i denne planen. Videre ut mot sjøen er det flere små vassdrag som har betydning for sjøauren. Også disse er så små at kalking her ikke vil ha betydning for Kvina.

Langs Kvinas østre del på samme strekning er det også en del mindre vassdrag der kalking vil ha begrenset betydning for Kvina.

Litleåna ligger øst for Kvinas nedre del og har et nedbørfelt på 227 km<sup>2</sup>. Litleåna renner ut i Kvina ved Liknes, like før Kvinas utløp i sjøen og kan derfor delvis betraktes som et eget vassdrag. Vannkvaliteten i Litleåna vil imidlertid være viktig for vannkvaliteten i Kvinas aller nederste deler, fordi vassdraget er så stort, omlag 60 % av Kvinas feltstørrelse. Av den grunn bør kalking av Kvina ses i sammenheng med kalking av Litleåna.

I tabell 1 er det gitt en oversikt over diverse nedbørfelt i Kvina og Litleåna. Totalt nedbørfelt av Kvinas uregulerte del er 343 km<sup>2</sup>, mens de regulerte felt totalt utgjør 809 km<sup>2</sup>. Sammen med Litleåna, blir hele Kvinas nedbørfelt til sjøen omlag 1380 km<sup>2</sup>.

Tabell 1. Oversikt over diverse nedbørfelt i Kvina og Litleåna. Dataene er dels hentet fra NVE (avrenningskart over Norge, 1987) og dels basert på egne målinger/beregninger.

### Nedbørfelt i Kvina:

TOTALT, regulert øvre		755 km <sup>2</sup>
		km <sup>2</sup>
Austøla	49	
Geithombekken	5	km <sup>2</sup>
<hr/>		
TOTALT, regulert nedre		54 km <sup>2</sup>
Knabeåni	50	km <sup>2</sup>
Rest av Storåni til Risnes	15	km <sup>2</sup>
Risnes-Netland	22	km <sup>2</sup>
Netland-Stakkeland	46	km <sup>2</sup>
Sollisåni	40	km <sup>2</sup>
Selandsåni	28	km <sup>2</sup>
Sløåni	38	km <sup>2</sup>
Åmland	11	km <sup>2</sup>
Stakkeland-Rafoss	80	km <sup>2</sup>
Rafoss -----> sjøen	13	km <sup>2</sup>
<hr/>		
TOTALT, uregulert		343 km <sup>2</sup>
<hr/>		
TOTALT Kvina		1152 km <sup>2</sup>

### Nedbørfelt i Litleåna:

Til Mygland	47	km <sup>2</sup>
Mygland-Nyland	20	km <sup>2</sup>
Nyland-Dukan	87	km <sup>2</sup>
Dukan -----> sjøen	73	km <sup>2</sup>
<hr/>		
TOTALT Litleåna		227 km <sup>2</sup>
<hr/>		
Totalt Kvina og Litleåna		1379 km <sup>2</sup>

### 4.3. Avrenning i perioden 1989-1991

Det er innhentet opplysninger om vannføring for perioden 1989-1991 fra utløpet av Homstølvatn (VM 2185 Homstølvatn ndf.) til Kvina for å kunne finne fram til riktig kalkingsstrategi for vanntilførselen fra det regulerte feltet. Det er også innhentet vannføringsdata fra Rafoss (VM 1806 Stegemoen) i nedre del. Denne stasjonen er plassert i Kvina, oppstrøms samløpet med Litleåna.

Regulanten Sira-Kvina kraftselskap er pålagt en minstevannføring på 1.3 m<sup>3</sup>/s i perioden 1. oktober til 1. mai. Minstevannføring sommerstid er 3.7 m<sup>3</sup>/s. Pålegget om minstevannføring gjelder ved Stegemoen vannmerke ved Rafoss. I perioden 1989-1991 har vannføringen flere ganger vært ned mot disse grensene.

I 1989, 1990 og 1991 var det registrert maksimal vannføring på hhv. 90, 60 og omlag 3 m<sup>3</sup>/s ved utløpet av Homstølvatn. I hele den perioden som er registrert er normal vannføring 0-3 m<sup>3</sup>/s. De to maksimale vannføringene som er målt er kun episodiske og strekker seg over få dager og opp til 2 uker.

Disse tre årene var maksimal vannføring i nedre del av vassdraget hhv. 260, 260 og 150 m<sup>3</sup>/s. Vannføringstoppen i februar 1989 på 260 m<sup>3</sup>/s falt sammen med vannføringen på 90 m<sup>3</sup>/s fra Homstølvatn. Vannføringstoppen i juli 1990 på 260 m<sup>3</sup>/s falt sammen med registrert vannføring på 60 m<sup>3</sup>/s fra Homstølvatn. I denne siste perioden er imidlertid dataene fra Homstølvatn brutt og bidraget fra Homstølvatn antas å ha vært større en 60 m<sup>3</sup>/s.

Om vi ser bort fra episodisk store bidrag fra Homstølvatn, har avrenningen fra Kvinas uregulerte felt resultert i vannføringer opp mot 200 m<sup>3</sup>/s. Hvis Kvina ikke var regulert, ville middelvannføringen være omlag 66 m<sup>3</sup>/s ved Rafoss (spesifikk avrenning satt til 58 L/s\*km<sup>2</sup> etter data fra NVE's avrenningskart). Hvis en ser bort fra nedbørfeltet til Homstølvatn ville middelvannføringen for Kvina være noe over 20 m<sup>3</sup>/s. Maksimal vannføring for dette vassdragsavsnittet på 200 m<sup>3</sup>/s tilsvarer 10 ganger middelvannføringen. Dette synes rimelig for et vassdrag av denne størrelse. Det er derfor tatt utgangspunkt i denne verdien ved beregning av doseringskapasitet for kalkdoserere.

## **5. KALKINGSSTRATEGI**

Kalkingsstrategi er kombinasjonen av kalktyper, kalkingsteknikker og kalkmengder som til sammen sikrer tilstrekkelig vannkvalitet for fisken. På grunnlag av årlig kalkbehov og kostnader ved kjøp eller leie av kaldoserere er det beregnet en sannsynlig årlig kostnad for kalking av Kvina og Litleåna. De endelige kostnader vil ikke framkomme før anbud på prosjektet er innhentet fra forskjellige kalkleverandører.

Det gis først en kort gjennomgang av de forhold som har betydning for kalkingen og kostnadene.

### **5.1. Kalktyper og kalkopløsning**

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 grovere kalksteinsmel. Dolomitt er heller ikke omtalt fordi oppløsningen er dårligere enn for tilsvarende malingsgrader av kalksteinsmel. Dårligere oppløsning må kompenseres med finere maling av kalken og det anses ikke som en fordel for driften av doseringsanlegg. Kalkmel 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 $\mu\text{m}$
90 % av vekt mindre enn	10-100
50 % av vekt mindre enn	5-30
20 % av vekt mindre enn	2-10

Det anbefales å bruke så ren kalk som mulig. Vektandel av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bør være omkring 90 %, spesielt hvis det velges av de groveste kalkmelene. 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 kalkdoserer.

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/ $\text{m}^3$ ) til ukalket vann, med bruk av relativt finmalt kalk (minst 50 % mindre enn 10  $\mu\text{m}$ ) og ved god vannbevegelse nedstrøms doserer (ikke bassenger eller dype stilleflytende partier) vil oppløsningen i løpet av et år sannsynligvis ligge nær 100 %.

Til innsjøkalking anbefales generelt samme type kalk som beskrevet over. Kalkoppløsningen er avhengig av kornfordelingen, pH, innsjødyp og kalkdose. Ved rekalking vil kalkdose og pH være endret fra første gangs kalking. Kalkoppløsningen blir derfor også endret. Kalking av innsjøer foregår for det meste med maskinell spredning av oppslemmet kalk fra båt. Det gir best mulig oppløsning av kalken og går raskt. Hvis innsjøen bare skal kalkes opp og deretter vedlikeholdskalkes med dosering i innløp, kan finmalt kritt brukes. Kritt løses nærmest 100 prosent i løpet av en kalkingsperiode.

## 5.2. Kalkdoseringsprinsipp for elver

For å kunne dra nytte av at kalk kan oppløses nesten fullstendig over tid, bør doseringen bygge på et helautomatisk feed-back system eller at dosering styres etter oppstrøms vannkvalitet. Det første alternativet innebærer at doseringen styres etter den vannkvaliteten som oppnås etter kalking. Den kalken som blir liggende på elvebunnen nedstrøms anlegget vil løses opp over tid og på denne måten inngå i beregningen av kalkdose. Dette prinsippet vil være godt egnet i Kvina og deler av Litleåna fordi det må etableres flere doserere nedover i vassdraget og fordi pH og vannføring kan skifte svært mye. Forholdene for kalkoppløsning vil variere i takt med slike endringer. En fast kalkdose pr. kubikkmeter vann vil derimot kunne gi overdosering i lange perioder. Feed-back systemet vil sikre optimal kalking, dvs. tilstrekkelig dosering for fisk, men ikke overdosering (Hindar og Henriksen 1992).

Overdosering er negativt av flere grunner. Den mest innlysende utfra et økonomisk synspunkt er selvfølgelig at det betyr unødig forbruk av kalk. Det representerer et direkte tap. I tillegg kommer redusert oppløsning av kalken ved større doser. Økt konsentrasjon av kalkpartikler vil imidlertid også kunne øke faren for gjellebetennelse hos fisk nedstrøms anlegget. Dertil kan det være fare for nedslamming av gytetrekkninger eller leveområder for bunnlevende organismer som fisken beiter på.



Et slikt doseringsprinsipp er tilpasset en gradvis utvidelse av kalkingen oppstrøms. Enhver effekt av kalking oppstrøms vil redusere kalkforbruket i dosereren. På denne måten blir kalkingen så kostnadseffektiv som mulig.

En helautomatisk styring kan innebære at kalkdosen reduseres noe i de perioder av året da laksen kan tåle dårligere vannkvalitet. Med kalking høyt oppe i vassdraget vil slik hårfin endring i vannkvalitet være vanskelig pga tidsforsinkelser. Bare det anlegget som plasseres i eller umiddelbart oppstrøms den lakseførende strekningen kan reguleres i forhold til fiskestadienes følsomhet.

En variant av dette doseringsprinsippet er å styre kalkdoseringen etter en kombinasjon av den pH som registreres oppstrøms doserer og vannføring. Dette er noe enklere fordi en slipper å strekke kabel fra doserer og ned til en pH-sonde noen hundre meter nedstrøms anlegget. Da kan en fortsatt ta hensyn til kalking høyere oppe i vassdraget, men ikke den langtidsoppløsning som skjer nedstrøms dosereren. Dette styringsprinsippet kan være aktuelt hvis kalkinnblandingen nedstrøms doserer er dårlig.

Det er i planen regnet med at kalken består av 90 %  $\text{CaCO}_3$  og at det kan tas hensyn til 70 % oppløsning. For et enkelt anlegg gjøres det best ved at doseringen styres etter pH nedstrøms anlegget. Langtidsoppløsningen vil imidlertid påvirke vannkvaliteten ved nedenforliggende anlegg uansett styresystem. Kalkdosen kan derfor reduseres tilsvarende ved det nederste anlegget. Styring etter pH oppstrøms på de øverste anleggene i Kvinavassdraget er derfor en fullgod løsning.

### 5.3. Drift av anlegg

Driftsoppfølging av et kalkdoseringsanlegg er avhengig av graden av automatisering og doseringsprinsipp.

Det må innarbeides rutiner for ettersyn, alarmer for avbrudd, påfylling og service. Lokale folk bør lønnes for ettersyn av anleggene. Alarm bør monteres hos lokal kontakt og helst flere steder. Alarm bør knyttes til kalknivå i doserer. Avstand til kalk vil være av betydning for hvor raskt etterfylling kan skje. Det bør utarbeides en detaljert drifts- og serviceavtale med leverandør. 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 lengde. 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/spredning/dosering av kalk.

### 5.4. Kalkmengder

Kalkmengdene avhenger først og fremst av vannmengder, kalkkvalitet og vannkvalitet (konsentrasjonen av sterke og svake syrer). For innsjøer er innsjødyp, vannets oppholdstid og spredningsteknikk også av stor betydning.

Som grunnlag for beregning av kalkbehov er vann fra vassdraget titrert med  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Prøver ble tatt 20.05.92. 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.

Årlige kalkmengder er basert på kalkdoseberegning slik det er beskrevet over og hydrologiske data i perioden 1989-1991. Det er tatt hensyn til at ikke all kalk løses opp og at kalk også inneholder andre stoffer enn karbonat.

I beregningene er det renget med at 70 % av tilført kalkmengde løses opp. Det forutsetter at styringen av kalkdosering kan gjøres i forhold til pH og vannføring i kombinasjon. Det er regnet med at kalken inneholder 90 % kalsiumkarbonat og det er korrigert for dette.

Nødvendig doseringskapasitet og lagerkapasitet på kalkdoserere er beregnet i forhold til maksimal døgnmiddelvannføring i perioden 1989-1991.

## 5.5. Reguleringens innvirkning på kalkingsstrategien

Kvinavassdraget er regulert til kraftproduksjon fra Homstølvatn og nordover. Manøvreringen av magasinene gir som hovedregel ikke avløp av betydning fra øvre del av Kvina. I perioder med svært stor flom og fylte magasiner kan avrenningen fra Homstølmagasinet bli betydelig. Det er vanskelig å beregne hvor store vannmengdene kan være, men vannføringer på opp mot  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  er registrert i 1989 og 1990. Vannføringen ut av bassenget kan også være av betydning i perioder med vannføring ned mot lovregulert minstevannføring ved Rafoss. Det vil da være nødvendig med påslipp av vann fra magasinet. Økt og evt. ytterligere økning i maskinkapasitet ved Tonstad kraftverk, gjør det mindre sannsynlig med flompreget avrenning fra magasinet i framtida.

Den usikkerhet som knytter seg til avrenningen fra Homstølmagasinet fører til at denne delen av vassdraget bør betraktes for seg. Det foreslås at avrenningen avsyres med eget anlegg og at doseringen styres av regulanten. Overføringen av Austøla og Geithombekken til Homstølmagasinet fører til ytterligere redusert vannføring i Kvina. Kalkbehovet blir derfor også mindre.

Kvina er regulert også i nedre del. Fallet fra Rafoss til Trælandsfoss utnyttes i Trælandsfoss kraftverk. Dette tørrlegger periodevis denne elvestrekningen og forkorter den lakseførende strekningen noe. Laksen har uansett et naturlig vandringshinder i Rafossen.

Det er ialt 19 terskler på strekningen Homstølvatn-Liknes. Ovenforliggende bassenger utgjør halvparten av denne elvestrekningen. Dette har konsekvenser for fiskens leve- og produksjonsområder, men også for plassering av kalkdoserere og kanskje også for oppløsningen av kalk.

## **6. KALKINGSALTERNATIVER**

Kvina består av tre hovedavsnitt. Det regulerte feltet i nord har normalt svært liten avrenning, men sikring av minstevannføring lenger ned i vassdraget og spesielt flom med overløp kan snu situasjonen fullstendig i perioder. Det er naturlig å betrakte denne delen av vassdraget separat.

Nedre del av Kvina består av to hovedvassdrag:

1. Kvinafeltet fra Homstølvatn til sjøen og
2. Litleåna

Disse to behandles delvis uavhengig av hverandre.

I dette kapittelet blir kalkingsstrategien for ulike alternativer gjennomgått og deretter de kalkmengder og kostnader som hører til. De forbehold og forutsetninger for prisfastsettelse og lokalisering av doseringsanlegg som gjelder er følgende:

- Kalkpris (kr. 400.-/tonn, inkl. moms) og kostnader for kjøp/leie av kaldoserere (se under) er, etter samråd med leverandør, basert på samme pris som ble brukt i arbeidet med kalkingsplan for Tovdalsvassdraget (Hindar 1991). Det tas forbehold om andre priser for kalk pga endrete forutsetninger (f.eks. transportavstand).
- Årlig kalkoppløsning er satt til 70 % hvis kalkdosererne har styringsmuligheter etter pH oppstrøms eller nedstrøms kalking, ellers til 50 %.
- Innholdet av kalsiumkarbonat (den aktive bestanddelen) i kalken er satt til 90 %.
- Det er regnet med at pH i vassdraget er 4.7 ved moderate og store vannføringer. Vannet fra Homstølmagasinet er gitt en pH på 5.0.
- Mål-pH er satt til 6.2 for laks og 6.0 for sjøaure og innlandsaure. Det opereres ikke med sikkerhetsmarginer fordi det forutsettes at vannkvaliteten justeres til disse verdiene ved dosering etter pH. Sikkerhetsmarginer er dessuten innebygget i kalkingsstrategien.
- Mål-pH kan i perioder (smoltifiseringsfasen) være høyere (pH 6.5) enn det som er satt her av hensyn til saltvannstoleranse, spesielt hos laks. Merutgiftene ved å kalke til pH 6.5 i denne perioden er anslått.
- Kalkdoseringsanleggene i hovedvassdraget er enten middels store eller store og prisene for slike anlegg er hhv. kr. 300.000.- og kr. 400.000.- (ekskl. moms.).
- I tillegg til innkjøp av anlegg kommer utgiftene til fundamentering, brønn for inntaksvann og vannstandsmåling, legging av innløps- og utløpsrør til sirkulasjonsvann. Det er nødvendig å legge vei og føre strøm og telefon helt fram til de mest avanserte dosererne. Slike engangsutgifter er ikke lagt inn i beregningene.
- Doseringsanleggene kan leies. Leieprisen er anslagsvis 20 % av innkjøpsprisen (ekskl. moms) pr. år. For de middels store anleggene vil det si kr. 60.000.- pr. år og for de store kr. 80.000.- pr. år.

- Det bør settes opp en vedlikeholds- og driftsavtale for doseringsanleggene, som innebærer en garanti for vannkvaliteten. Prisen på en slik pakke vil særlig være avhengig av de evt. bøter som leverandør aksepterer ved stans i kalkdosering. Akseptabel lengde på avbrudd kan være forskjellig for de ulike anleggene. Prisen på slike garantiordninger er ikke tatt med her.
- 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 samtidig 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 innsjøer og vassdrag kalkes.
- For en endelig prisfastsetting bør det innhentes tilbud for kalking av vassdraget.

## 6.1. Kvina, Alternativ I

### 6.1.1. Kalkingsstrategi.

Dette alternativet har som utgangspunkt at vannkvaliteten skal gjøre vassdraget levelig for en laks- eller sjøaurebestand hele året. I tillegg skal disse bestandene kunne reprodusere. Det vil si at pH skal være 6.2 eller høyere (for laks) ved utløpet i sjøen hele året. Vannkvaliteten vil da være bedre enn dette fra sjøen og opp til nærmeste kalkdoseringsanlegg. Hvis målet bare er sjøaure, kan lavere pH aksepteres. Det foreslås her å sette mål-pH til 6.0 for sjøaure. Kostnader ved å kalke til pH 6.5 i smoltifiseringsperioden for laks er anslått.

Med dette begrensede utgangspunktet ville det være tilstrekkelig med kalkdosering umiddelbart oppstrøms den laks- og sjøaureførende strekningen, dvs. kalking kun av få kilometers elvestrekning (se under kap. 3). Det er likevel valgt å trekke doseringen høyere opp i vassdraget (figur 3). Det vil ikke ha konsekvenser for annet enn transportavstander og vil sikre andre fiskearter levelige vilkår i større del av hovedvassdraget. Det kan også være gunstig av hensyn til kalkdoserernes kapasitet.

Det etableres et eget doseringsanlegg ved Homstøldammen for å avsyre tilrenning fra det regulerte feltet. Denne doserereren bør ha kapasitet til å avsyre en vannføring på 100 m<sup>3</sup>/s. pH etter kalking skal være 6.2. Kalkdosen blir 2.1 g kalk/m<sup>3</sup> hvis pH er 5.0 i magasinet. Doserereren må derfor ha kapasitet til å dosere ett tonn kalk/time, dvs. 25 tonn på ett døgn hvis vannføringen holdes på 100 m<sup>3</sup>/s hele tiden.

Det er ikke mulig å lage et endelig kostnadsoverslag for avsyring av dette feltet fordi det ikke kan forutsies hvor mye vann som vil passere hvert år framover. Hvis det går 100 m<sup>3</sup>/s i en uke og 3 m<sup>3</sup>/s i to måneder, må totalt 76 mill. m<sup>3</sup> vann avsyres i året. Hvis pH er 5.0, må det tilsettes 230 tonn kalk. Hvis kalkprisen er 400 kr./tonn, blir årskostnaden for kalk i dette tilfellet kr. 90.000.-. Denne kostnaden er svært usikker og er ikke tatt med i det endelige kostnadsoveslaget.

Det etableres et doseringsanlegg nedstrøms bru for RV 42 ved Stakkeland like vest for Kvinlog. Anlegget bør ligge på østsiden av elva, i tilknytning til industriområdet. Denne lokaliteten er meget gunstig med hensyn på plassering, atkomst, strømforhold i elva og strømforsyning og telefon.

Nedbørfeltet ned til dette stedet er 200 km<sup>2</sup>, men det skal doseres for elva ned til Helle. Nedbørfeltet blir derfor 270 km<sup>2</sup>. Middelvannføring her er 12 m<sup>3</sup>/s, mens forventet flom kan være omlag 150 m<sup>3</sup>/s. Doseringskapasiteten for anlegget bør derfor være omkring 1.9 tonn/time.

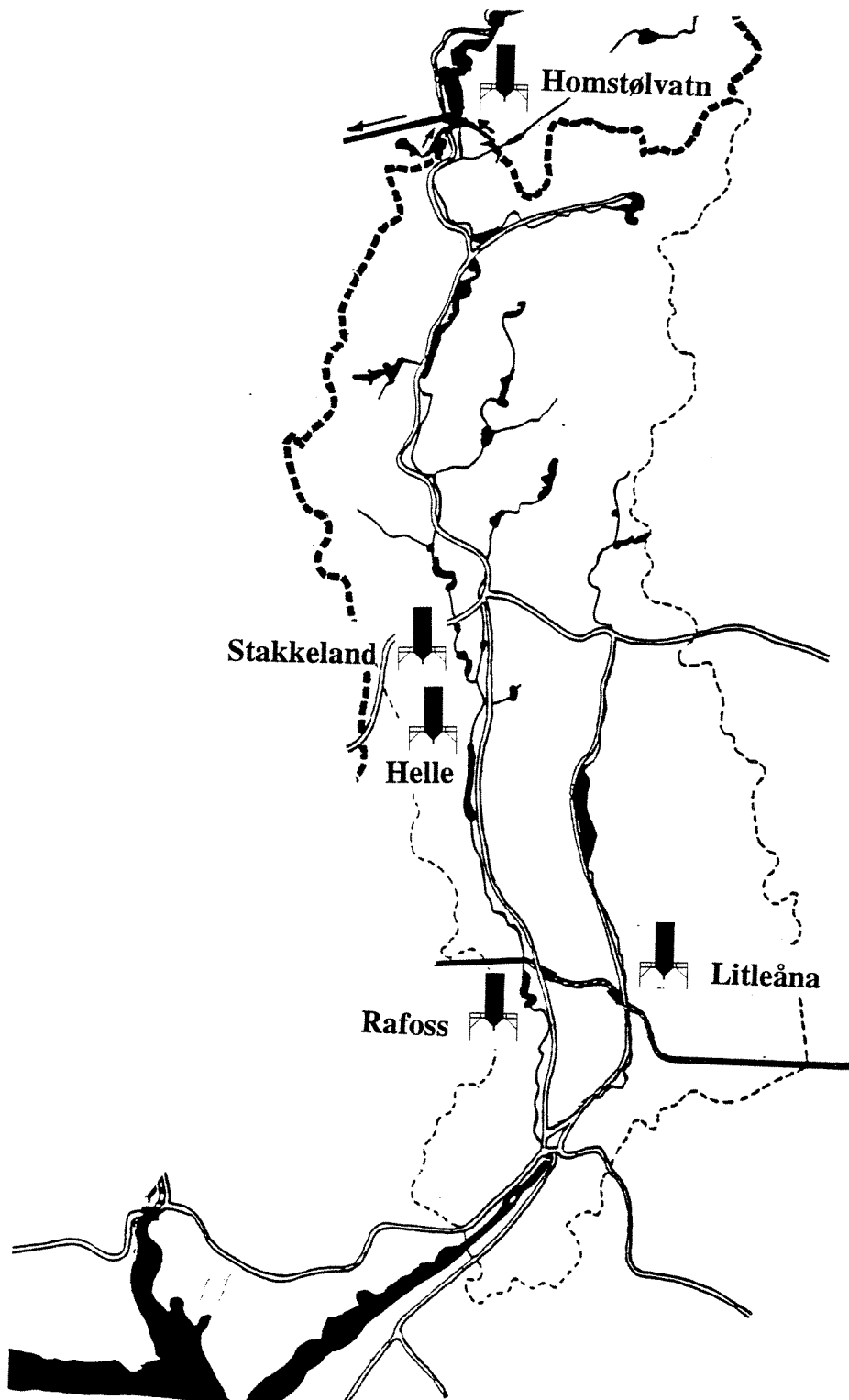
Dette anlegget kan flyttes høyere opp i vassdraget, f.eks. til Netlandsområdet, for å øke leveområdene for aure. Da mister en imidlertid noe av mulighetene for å bruke riktig kalkdose i forhold til tilførsler fra sidevassdrag. En slik løsning er det redegjort for i Alternativ II. Selandsåni har et nedbørfelt på 28 km<sup>2</sup>, mens øvrige sidevassdrag bare er av mindre størrelse hver for seg. Hvis Selandsåni blir kalket i framtida, kan dosering ved Stakkeland ta hensyn til det hvis doseringen styres etter pH.

Det etableres et nytt anlegg oppstrøms Helle, nærmere bestemt ved moen nord for bru over Kvina til nedre Kvinlog. Dette anlegget skal avsyre vann fra feltene ned mot et anlegg lengere nede i vassdraget. Totalt nedbørfelt oppstrøms anlegget er 270 km<sup>2</sup>. Det nedbørfeltet som skal avsyres er 61 km<sup>2</sup>. Kalkmengden blir 370 tonn/år og det er derfor et mellomstort anlegg som er aktuelt her. Dette anlegget kunne i prinsippet også vært satt opp ved Stakkeland, men plasseringen ved Helle gjør at kalkdosen kan reguleres bedre. Hvis Sløåni kalkes, kan dosen også styres etter den kalkingseffekten som oppnås der.

Det etableres et doseringsanlegg ved Rafoss. Dette anlegget skal justere pH i den nederste, lakseførende delen av elva. Restnedbørfeltet er bare 13 km<sup>2</sup>, men anlegget bør likevel være av en viss størrelse for å kompensere for evt. dårlig vannkvalitet oppstrøms. Kalkdosen ved anleggene oppstrøms kan ligge så nær det optimale som mulig, mens sikkerhetsmarginene i forhold til laks kan flyttes til Rafossanlegget. I lange perioder vil anlegget temmelig sikkert gå med minimal eller ingen kalking fordi vannkvaliteten oppstrøms er god, mens det vil være helt avgjørende for akseptabel vannkvalitet for laks i andre perioder.

Det anbefales at Litleåna fullkalkes (se egen utredning) hvis dette alternativet skal realiseres. Hvis ikke, må det overdoseres relativt mye i Kvina for å holde pH nær 6.2 helt til utløpet i sjøen, dvs. forbi Liknes. Overdosering i Kvina oppstrøms Liknes anses som ugunstig fordi det kan være vanskelig å beregne riktig kalkdose for den samlede vannføring nedstrøms Liknes og fordi kalkoppløsningen blir dårligere ved større kaldoser. I tillegg kommer at doseringskapasiteten på anleggene må økes kraftig. Selv om det kan være fornuftig å ha flere anlegg på samme sted hvis noe skulle gå galt med ett av dem, vil denne sikkerhetsordningen flyttes til Litleåna hvis det kalkes der isteden. En lengere fiskeførende strekning vil dessuten bli kalket ved å dosere i Litleåna, og det er nok det viktigste i denne sammenheng.

Kvina-Litleåna er et eksempel på to relativt likeverdige vassdrag etter størrelse. Hvis Litleåna ikke kalkes, kan det oppstå såkalte blandsoner (Rosseland og Hindar 1991) i Kvina ved Liknes. Dette er soner med ustabil vannkjemi, der surt og aluminiumsholdig vann (Litleåna) blandes med kalket vann. Det er vist at slike soner kan være spesielt giftige for fisk som oppholder seg der (Rosseland m.fl. 1992). I likeverdige vassdrag (etter størrelse) er sannsynligheten størst for at blandsonene er store i utstrekning. Kalking av Litleåna er en garanti for at slike soner ikke oppstår i dette viktige området for laks og sjøaure.



Figur 3. Lokaliseringen av kalkdoseringsanleggene i Kvina, Alternativ I. Fullkalking av Litleåna er indikert.

## 6.1.2. Kalkmengder og kostnader

Tabell 2. Kalkbehov og kostnader for kalk for doseringsanleggene ved Stakkeland, Helle og Rafoss. Kostnad er basert på antatt kalkpris (inkl. moms) på kr. 400.-. Kostnader for leie av anlegg kommer i tillegg, se tekst.

	Stakkeland	Helle	Rafoss
Årlig kalkbehov (tonn)	1630	370	80
Årlig kostnad (mill.kr.)	0.65	0.15	0.03
Middeldose (g kalk/m <sup>3</sup> )	4.7	0.8	0.14
Lagerkap. silo i ett døgn (tonn)*)	45	10	10
Maks. doseringskap. (tonn/time)	1.9	0.4	0.4

\*) basert på maksimal vannføring (middelvannf.\*10) i ett døgn

Bare Stakkelandanlegget er stort kaldoseringsanlegg, men alle anleggene er forutsatt utstyrt med muligheter for pH-styring av doseringen. Årlig leie blir da kr. 200.000.- for anleggene.

Totalt kalkmengder og kostnader inkl. leie av anlegg blir i middel:

	tonn/år	mill. kr./år
Stakkeland	1630	0.65
Helle	370	0.15
Rafoss	80	0.03
Leie av tre anlegg		0.20
<b>TOTALT</b>	<b>2080</b>	<b>1.03</b>

Totalt kalkforbruk blir i middel omlag 2000 tonn/år og total årlig kostnad blir kr. 1.03 mill. Hvis det skal kalkes for sjøaure (mål-pH=6.0), blir kalkforbruket 10 % mindre på årsbasis. Den totale kalkmengden blir da 1850 tonn og totalkostnaden blir kr. 950.000.-. Hvis det kalkes til pH 6.5 i smoltifiseringsperioden for laks (satt til 15. april - 15. juni), blir årlig kalkmengde og -kostnad anslagsvis 10 % større.

## 6.2. Kvina, Alternativ II

### 6.2.1. Kalkingsstrategi

Dette alternativet vil sikre fiskens leveområde i en større del av Kvina enn ved Alternativ I og er bedre tilpasset en uvidelse av kalkingen i sidevassdrag (Alternativ III).

Det etableres et eget doseringsanlegg ved Homstøldammen for å avsyre tilrenning fra det regulerte feltet, se under Alternativ I.

Det etableres et doseringsanlegg ved Netland. I kombinasjon med kalking av Knabeåni (Alt. III) vil hele øvre del av hovedvassdraget kunne få akseptabel vannkvalitet. Uregulert nedbørfelt ned til Netland er 87 km<sup>2</sup>. Middelvannføring her er 5 m<sup>3</sup>/s, mens forventet flom kan være omlag 50 m<sup>3</sup>/s. Anlegget skal dosere kalk slik at vassdraget ned til Stakkeland avsyres. Totalt nedbørfelt til Stakkeland er 200 km<sup>2</sup>. Middelvannføring er beregnet til 11 m<sup>3</sup>/s og flomvannføring til 100 m<sup>3</sup>/s. Doseringkapasiteten for anlegget bør derfor være omkring 35 tonn/døgn.

Det etableres et doseringsanlegg nedstrøms bru for RV 42 ved Stakkeland like vest for Kvinlog. Se under Alt. I for detaljer om Stakkelandlokaliteten.

Dette anlegget skal avsyre vann fra feltene mellom Stakkelandanlegget og ned mot et anlegg lengere nede i vassdraget (Rafoss). Totalt restnedbørfelt til Rafoss er 129 km<sup>2</sup> og årlig kalkmengde blir 780 tonn. Doseringkapasiteten for anlegget bør være 0.9 tonn/time. Det må styres etter pH for å kunne ta hensyn til effekten av kalking oppstrøms. Hvis Selandsåni blir kalket i framtida (Alt. III), kan dosering ved Stakkeland ta hensyn til det hvis doseringen styres etter pH.

Hvis Sløåni kalkes (Alt. III), vil effekten av det bli tatt hensyn til ved dosereren lengere nede i vassdraget (Rafoss).

Det etableres et doseringsanlegg ved Rafoss. Se under Alt. I for detaljer om Rafossanlegget.

I figur 4 er lokaliseringen av kalkdoseringsanleggene vist.

### 6.2.2. Kalkmengder og kostnader

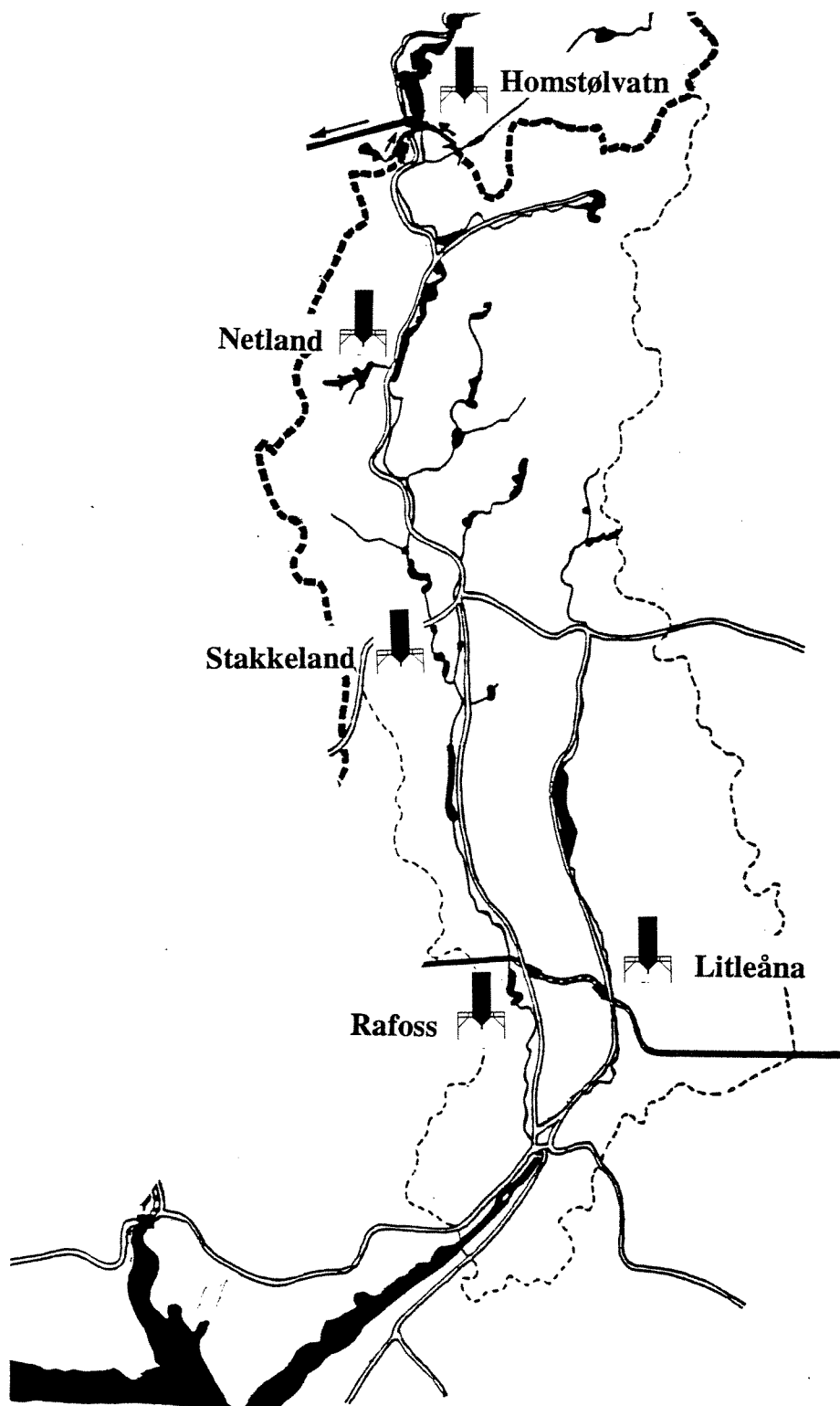
Tabell 3. Kalkbehov og kostnader for kalk for doseringsanleggene ved Stakkeland, Helle og Rafoss. Kostnad er basert på antatt kalkpris (inkl. moms) på kr. 400.-. Kostnader for leie av anlegg kommer i tillegg, se tekst.

	Netland	Stakkeland	Rafoss
Årlig kalkbehov (tonn)	1200	780	120
Årlig kostnad (mill.kr.)	0.49	0.31	0.05
Middeldose (g kalk/m <sup>3</sup> )	8.0	2.9	0.16
Lagerkap. silo i ett døgn (tonn)*)	35	21	10
Maks. doseringskap. (tonn/time)	1.4	0.9	0.4

\*) basert på maksimal vannføring (middelvannf.\*10) i ett døgn

Både Netland- og Stakkelandanlegget er store kaldoseringsanlegg, mens Rafossanlegget er mellomstort. Alle anleggene er forutsatt utstyrt med muligheter for pH-styring av doseringen. Årlig leie blir da kr. 220.000.- for anleggene.





Figur 4. Lokaliseringen av kalkdoseringsanleggene i Kvina, Alternativ II. Fullkalking av Litleåna er indikert.

Totale kalkmengder og kostnader inkl. leie av anlegg blir i middel:

	tonn/år	mill. kr./år
Netland	1200	0.49
Stakkeland	780	0.31
Rafoss	120	0.05
Leie av tre anlegg		0.22
-----		
TOTALT	2100	1.07
-----		

Totalt kalkforbruk blir også her i middel 2100 tonn/år og total årlig kostnad blir kr. 1.07 mill. Hvis det skal kalkes for sjøaure (mål-pH=6.0), blir kalkforbruket 10 % mindre på årsbasis. Den totale kalkmengden blir da 1900 tonn og totalkostnaden blir kr. 980.000.-. Hvis det kalkes til pH 6.5 i smoltfiseringsperioden for laks (satt til 15. april - 15. juni), blir årlig kalkmengde og -kostnad anslagsvis 10 % større.

### 6.3. Kvina, Alternativ III

#### 6.3.1. Kalkingsstrategi

Dette alternativet bygger på Alternativ II, men kalkingen er i tillegg trukket opp i sidevassdrag. Da vil en kunne utnytte de produksjonsarealene som finnes der uten at kostnaden blir vesentlig større. Det vil si at kalking i sidevassdragene er en rimelig investering hvis en først har bestemt seg for å kalke hovedvassdraget.

Selv om en rekke sidebekker i Kvinas utløpsparti er viktige gyte- og oppvekstområder for sjøaure, er det valgt å ikke ta disse bekkene med i kalkingsplanen for Kvina. Kalking av disse vil ikke virke inn på vannkvaliteten i Kvina. Det bør utarbeides separate planer for disse bekkene. Enklere doseringsanlegg og skjellsand vil kunne inngå her.

De mellomstore sidevassdragene Knabeåni, Seldandsåni og Sløåni kalkes med kalkdoser som er beregnet fram til disse vassdragenes samløp med Kvina. Plasseringen av doserere må tilpasses avrenningsforhold, atkomst og fiskeforhold. Det vil være tilstrekkelig med en doserer i hvert vassdrag. Dosererne bør være enklere enn de som er forslått for hovedvassdraget og kan ha fast dosering etter vannføring framfor pH-styring.

Selv om kalkdosererne i Kvina styres etter pH, vil en utvidelse av kalkingen ha innvirkning på den totale kostnaden. Kalkopløsningen kan ikke forventes å være så god pga mindre vannbevegelse i disse bekker. Dessuten må det legges inn sikkerhetsmarginer som gir en viss overdosering. Det er tatt hensyn til dette ved å sette kalkopløsningen til 50 %. I tillegg kommer kostnader forbundet med flere kalkdoserere.

Kalking av enkelte innsjøer i disse vassdragene kan inngå i planen, men det er ikke utredet her. Kalking av innsjøer vil ikke ha vesentlig innvirkning på valg av kalkingsstrategi i

sidevassdragene. Kontinuerlig dosering vil sikre best kontroll med vannkvaliteten i sidevassdragene.

I Knabeåni foreslås at kalkdoserer plasseres ved utløp av terskelbasseng ved Knaben (UTM 869049). Nedbørfelt hit er 24 km<sup>2</sup> og det er halvparten av hele det uregulerte feltet til denne elva. Kalkdosen ved doseringsstedet blir derfor ikke for stor, slik tilfellet blir hvis anlegget trekkes helt opp til Knaben. Kalkoppløsningen er satt til 50 % og årlig kalkmengde er beregnet til 375 tonn.

Det etableres et doseringsanlegg ved Risnes i Kvina som skal avsyre vannet fra Risnes til Netland. Dette anlegget må derfor også avsyre avrenningen fra restfeltet Homstølmagasinet-Risnes. Totalt nedbørfelt som skal avsyres er derfor 37 km<sup>2</sup>. Kalkmengden blir 280 tonn/år ved 50 % oppløsning.

Sollisånis nedbørfelt er 40 km<sup>2</sup>. Feltet kan neppe kalkes ved innsjøkalking alene. Dosering oppe i vassdraget er ikke mulig fordi det ikke går vei. Dosering ved Solli helt nederst i feltet har liten hensikt. Kalking i dette vassdraget er derfor ikke nærmere utredet.

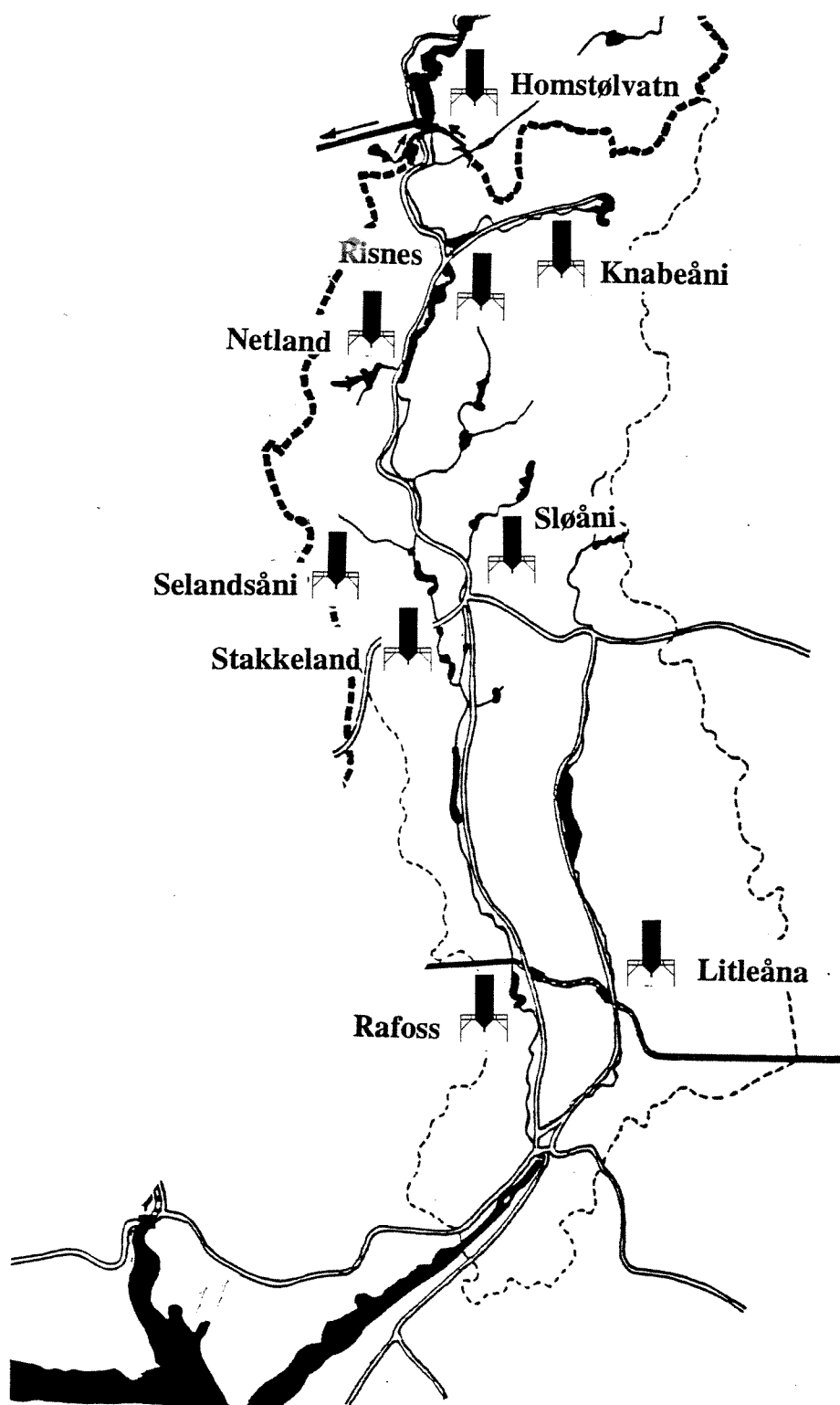
Selandsånis nedbørfelt er 28 km<sup>2</sup>. Vassdragets øvre deler er ikke tilgjengelig for kalking annet enn med helikopter. Kalkdosering kan være aktuelt ved Seland, men det er en begrenset strekning som blir fiskeførende. Kalkbehovet er beregnet til 220 tonn/år ved 50 % oppløsning.

Sløånis nedbørfelt er 38 km<sup>2</sup> og er meget sentralt plassert. Det passerer RV 42 ved Kvinlog og renner langs RV 465 til Kvina nord for Helle. Fjotlandsvatn ligger innenfor dette feltet og kalkes idag. Åsevatnet i øvre del egner seg trolig til kalking, men volum og oppholdstid er ikke kjent. Nedbørfeltet er omlag 8 km<sup>2</sup>. I Sløåni kan det plasseres en kalkdoserer ved Røynebuin (UTM 804906). Nedbørfeltet er omlag 22 km<sup>2</sup> hit. Kalkbehovet for hele vassdraget er 300 tonn/år ved 50 % oppløsning. Kalkforbruket ved eksisterende kalkingstiltak går til fratrekk.

Lokalisering av kalkdoseringsanleggene er vist i figur 5.

### **6.3.2. Kalkmengder og kostnader**

Kalkoppløsningen ved dosering i sidevassdragene med mindre avansert teknikk er satt til 50 %. Reduksjonen i oppløsning gir et ekstra kalkforbruk på 300 tonn. Ekstra kostnader til kalk ved å kalke Kvina fra Risnes til Netland og de mellomstore sidevassdragene Knabeåni, Selandsåni og Sløåni blir derfor kr. 120.000.-. I tillegg kommer leie eller kjøp av tre mellomstore kalkdoserere. Utgifter anslås til kr. 200.000.-/år ved leie. Det vil etter dette påløpe kr. 320.000.- ekstra ved å kalke etter dette alternativet. Det er her regnet med at vannet skal holde pH 6.2 (målpH for laks).



Figur 5. Lokaliseringen av kalkdoseringsanleggene i Kvina, Alternativ III. Fullkalking av Litleåna er indikert.

## 6.4. Litleåna

### 6.4.1. Kalkingsstrategi

Litleånassvassdraget (figur 6) har en stor innsjø, Galdalsvatnet, sentralt plassert som et elvebasseng. Galdalsvatnet kalkes opp og kalkdosering oppstrøms settes igang samtidig. Kalkmengden for innsjøen kan ikke bestemmes før volumet av den er beregnet.

Dosereren oppstrøms Galdalsvatnet kan plasseres ved Mygland (figur 7) ved RV 42, men atkomsten kan være vanskelig på dette stedet. Nedbørfeltet til Mygland er 47 km<sup>2</sup>. Alternative plasseringer er:

- 1) Rett øst for Fjotland, men atkomst og svak strøm (dårlige oppløsningsforhold) i elva kan være et hinder her.
- 2) Fossdal noen hundre meter nord for Mygland. Samme forbehold som over.
- 3) Ved bru over elva sør for Haddeland. Dette stedet er trolig best egnet. Nedbørfeltet hit er 67 km<sup>2</sup>. Kalkingen skal vedlikeholde vannkvaliteten i Galdalsvatnet. Hvis det planlegges kalking høyere oppe i vassdraget, vil det være en fordel om denne dosereren er styrt etter pH. Hvis så ikke er tilfellet, kan en enklere doserer benyttes.

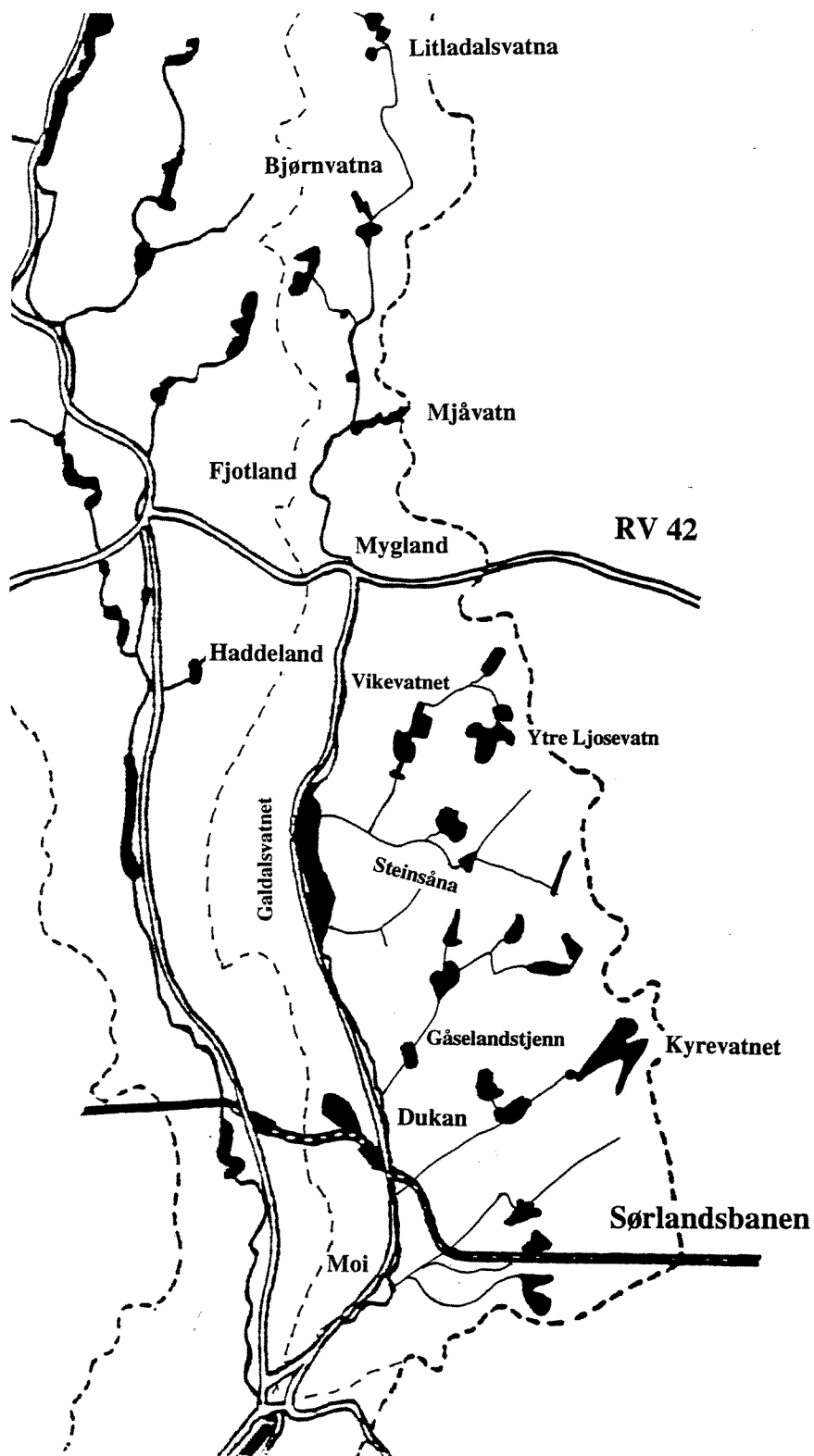
Kalkmengden for denne øvre dosereren må beregnes for hele nedbørfeltet ned til kalkdoserer ved Dukan (se nedenfor), totalt 154 km<sup>2</sup>. Av hensyn til kalkoppløsningen er det derfor en fordel om den plasseres ved lokaliteten sør for Haddeland.

Alternativt kan Galdalsvatnet kalkes med jevne mellomrom og dosereren plasseres høyere oppe i vassdraget. Kalkingsfrekvensen kan imidlertid ikke avgjøres før volumet av innsjøen er beregnet. To doserere i denne øvre delen, en høyt oppe og en sør for Haddeland er også en mulighet. Da bør den ved Haddeland utstyres med pH-styring av kalkdoseringen. Lokalitet for den øvre av disse to må evt. vurderes nærmere.

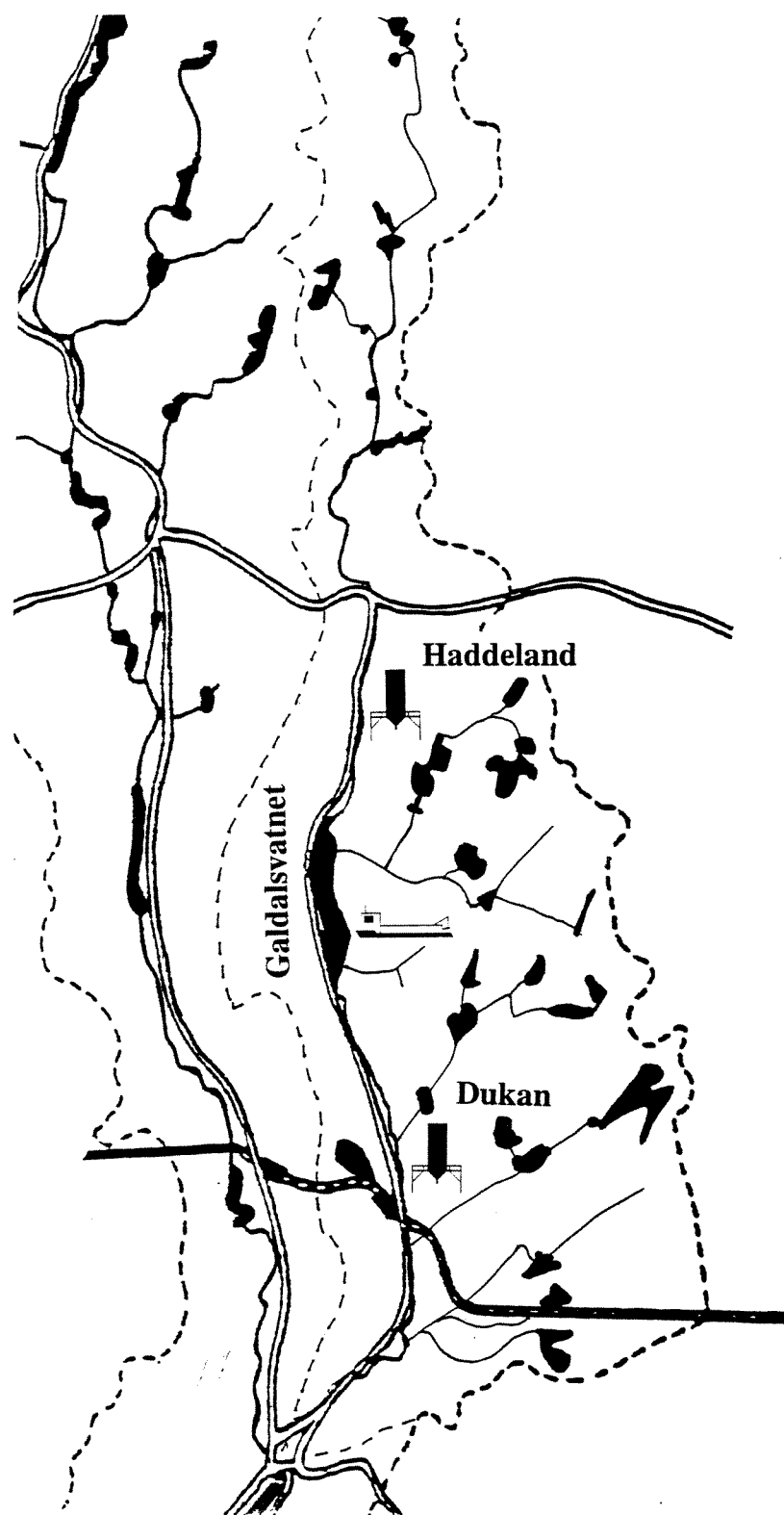
Kalkforbruket ved Haddeland-anlegget er beregnet til 910 tonn/år. Anlegget bør derfor være stort slik at lagerkapasiteten for ett døgn med maksimal flom kan være 25 tonn.

For å sikre vannkvaliteten i den nedre delen av Litleåna, etableres det en kalkdoserer ved bru over elva til Dukan (figur 7). Her er et industriområde (grustak) som egner seg meget godt som lokalitet. Både strømforsyning og telefon er det også i nærheten. Elva går i stille stryk ved moderat vannføring på dette partiet og er godt egnet for best mulig kalkoppløsning. Kalkmengden ved Dukan er beregnet til 430 tonn/år og lagerkapasiteten for ett døgn er 12 tonn. Dette kalkdoseringsanlegget bør utstyres med pH-styring fordi det da kan tas hensyn til:

- 1) kalking oppstrøms
- 2) evt. dårlig vannkvalitet ut av Galdalsvatnet om vinteren når vannet er islagt. Faren for denne effekten er betydelig redusert og kanskje ikke til stede hvis Galdalsvatnet kalkes i innløpet, slik det er foreslått.



Figur 6. Nedbørfeltet til Litleåna.



Figur 7. Lokalisering av kalkdoseringsanlegg i Litleåna. Galdalsvatnet kalkes opp.

Fra Haddeland og sørover ligger det en rekke mindre vassdrag på Litleånas østside. Disse vassdragene renner vest- eller sørvestover mot Litleåna og egner seg meget godt til kalking. Kalkingstiltak her vil delvis passe inn i hovedstrategien for Litleåna. Her skal gis en vurdering av disse kalkingsmulighetene. Hvis de realiseres, vil de ikke påvirke den hovedstrategi som er valgt for Litleåna.

Det foregår idag kalking i Ytre Ljosevatnet øst for Galdalsvatnet, mens kalking av Vikevatn i samme vassdrag er planlagt. Dette nedbørfeltet er omlag 14 km<sup>2</sup>. Ved fullkalking (behovet er 110 tonn/år ved 50 % kalkoppløsning), reduseres kalkbehovet i hovedvassdraget med 80 tonn/år. Det er neppe mulig å drive en kaldoserer i dette vassdraget pga dårlig atkomst.

Det nedbørfeltet som ligger sør for Vikevatnet (Steinsånassdraget) er 15 km<sup>2</sup>. Steinsåna renner sammen med elva fra Vikevatnet og ned i Galdalsvatnet. Her er det også muligheter for kalking i flere vatn, men dette er ikke utredet nærmere her. Det er heller ikke her mulig å drive en kaldoserer pga dårlig atkomst. Kalkbehovet er omtrent det samme som for Vikevatnvassdraget.

I Hauglandsvassdraget nordøst for Dukan er det en rekke vatn som kan egne seg for kalking. Kaldoserer kan dessuten plasseres oppstrøms eller nedstrøms Gåselandstjenn. Dette nedbørfeltet er 19 km<sup>2</sup>. Hvis det kalkes (behovet er omlag 150 tonn/år ved 50 % kalkoppløsning), kan det tas hensyn til dette ved doseringsanlegget ved Dukan, siden dette skal styres etter pH.

Espelandsvassdraget fra Kyrevatnet er 28 km<sup>2</sup>. Flere vann kan kalkes, men atkomsten er begrenset. Kaldoserer kan bare settes opp i den aller nederste delen. Kalkbehovet er 230 tonn/år ved 50 % kalkoppløsning. Det vil redusere kalkbehovet i hovedvassdraget med 165 tonn/år. Dette må legges inn som et fast fratrekk i beregningen av kalkdose ved Dukan, fordi vassdraget renner ut i Litleåna nedstrøms Dukananlegget.

Moivassdraget er 31 km<sup>2</sup>. Flere vann kan kalkes, men atkomsten er begrenset. Kaldoserer kan settes opp på strekningen Årlia-Moi i hovedgreina av vassdraget. Kalkbehovet er 250 tonn/år ved 50 % kalkoppløsning. Det vil redusere kalkbehovet i hovedvassdraget med 180 tonn/år. Dette må legges inn som et fast fratrekk i beregningen av kalkdose ved Dukan, fordi vassdraget renner ut i Litleåna nedstrøms Dukananlegget.

#### 6.4.2. Kalkmengder og kostnader

Tabell 4. Kalkbehov og kostnader for kalk for doseringsanleggene ved Haddeland og Dukan. Kostnad er basert på antatt kalkpris (inkl. moms) på kr. 400.-. Kostnader for leie av anlegg kommer i tillegg.

	Haddeland	Dukan
Årlig kalkbehov (tonn)	910	430
Årlig kostnad (mill.kr.)	0.36	0.17
Middeldose (g kalk/m <sup>3</sup> )	7.8	1.6.
Lagerkap. silo i ett døgn (tonn)*)	25	12
Maks. doseringskap. (tonn/time)	1.0	0.5

\*) basert på maksimal vannføring (middelvannf.\*10) i ett døgn



Haddelandanlegget er et stor kaldoseringsanlegg, mens Dukananlegget er mellomstort. Begge anleggene er forutsatt utstyrt med muligheter for pH-styring av doseringen. Årlig leie blir da kr. 140.000.- for anleggene.

Totale kalkmengder og kostnader inkl. leie av anlegg blir i middel:

	tonn/år	mill. kr./år
Haddeland	910	0.36
Dukan	430	0.17
Leie av to anlegg		0.14
-----		
TOTALT	1340	0.67
-----		

Totalt kalkforbruk blir i middel 1340 tonn/år og total årlig kostnad blir kr. 670.000.-. Hvis det skal kalkes for sjøaure (mål-pH=6.0), blir kalkforbruket 10 % mindre. Den totale kalkmengden blir da 1200 tonn og totalkostnaden blir kr. 620.000.-. I tillegg til dette kommer utgifter forbundet med oppkalking av Galdalsvatnet.

## 6.5. Anbefalt framdrift

Framdriften i kalkingsarbeidet i Kvinavassdraget kan skje på to måter:

1) Kvinas hovedvassdraget fullkalkes. Kalking i Litleåna må settes igang samtidig. Litleåna kan også kalkes uavhengig av om det kalkes i Kvinas hovedvassdrag.

2) Kvinas øvre deler, f.eks. ned til Helle, kalkes først. Dette kan skje samtidig med kalking i hele Litleåna eller øvre deler av dette vassdraget. Kalkingen i de to vassdragene kan deretter utvides.

Hvis Kvinas hovedvassdrag kalkes, må en ha kontroll med avrenning fra Homstølmagasinet. Det vil si at avrenningen fra magasinet må avsyres. Dette gjelder også hvis en velger å bare kalke øvre del.

Fullkalking av Kvinas hovedvassdrag bør skje etter Alternativ II, dvs. at det etableres doseringsanlegg ved Netland, Stakkeland og Rafoss.

En gradvis opptrapping av kalkingen bør også gjennomføres etter Alternativ II. Hvis en slik løsning velges, kan også deler av Alternativ III innlemmes før vassdraget fullkalkes. Det innebærer at det etableres kalkdoserere i mindre sidevassdrag i feltene mellom Homstølmagasinet og Helle. Målet med kalkingen er da utelukkende innlandsfisk. En seinere fullkalking av Kvinna for å sikre laks og/eller sjøaure god vannkvalitet kan skje ved utvidelse av kalkingstiltakene etter Alternativ II.

For Litleåna er det ikke lagt inn alternative løsninger annet enn for plasseringen av det øverste doseringsanlegget. I tillegg er forskjellige muligheter i sidevassdragene nevnt. Det anbefales at den øverste dosereren i hovedvassdraget plasseres på strekningen Mygland-

Haddeland. Galdalsvatnet bør kalkes opp før doseringen fra anlegget startes. Anlegget ved Dukan startes opp samtidig med eller etter kalking av Galdalsvatnet.

Alle sidevassdragene kan startes som selvstendige prosjekter, uansett om Litleåna fullkalkes eller ikke. Hvis alle de nedre sidevassdragene kalkes, vil Dukananlegget i teorien være unødvendig for at Litleåna skal ha god vannkvalitet helt til samløpet med Kvina. I praksis vil det likevel være avgjørende for sjøaure og laks at Dukananlegget kan justere vannkvaliteten i nedre del.

## **7. REFERANSER**

- Gunnerød, T.B., Møkkelgjerd, P.I., Klemetsen, C.E., Hvidsten, N.A. og Garnås, E. 1981. Fiskeribiologiske undersøkelser i rgulerte vassdrag på sørlandet, 1972-1978. Rapport nr. 4-1981. DVF-Reguleringsundersøkelsene, Trondheim. 206 s.
- Henriksen, A., Snekvik, E. og Volden, R. 1981. Endringer i pH i perioden 1966-1979 for 38 norske elver. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 2/81. O-80006-02, NIVA, SFT. 69 s.
- Hindar, A. 1989. Prosjektering av kalkingstiltak i Nisser og Arendalsvassdraget. O-89164, NIVA-Sørlandsavdelingen, Grimstad. 28 s.
- Hindar, A. 1991. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. O-91032, NIVA-Sørlandsavdelingen, Grimstad. 31 s.
- Larsen, P.A. 1991. Fiskekultiveringsplan for Kvinesdal kommune. Et diskusjonsgrunnlag for videre planlegging av fiskekultiveringstiltak i vassdragene i Kvinesdal kommune. Notat, MV-avdelingen i Vest-Agder. 10 s.
- Rosseland, B.O. and Hindar, A. 1991. Mixing zones - a fishery management problem? In: Olem, H., Schreiber, R.K., Brocksen, R.W. and Porcella, D.B., (eds.), International lake and watershed liming practices, p. 161 - 172, 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.

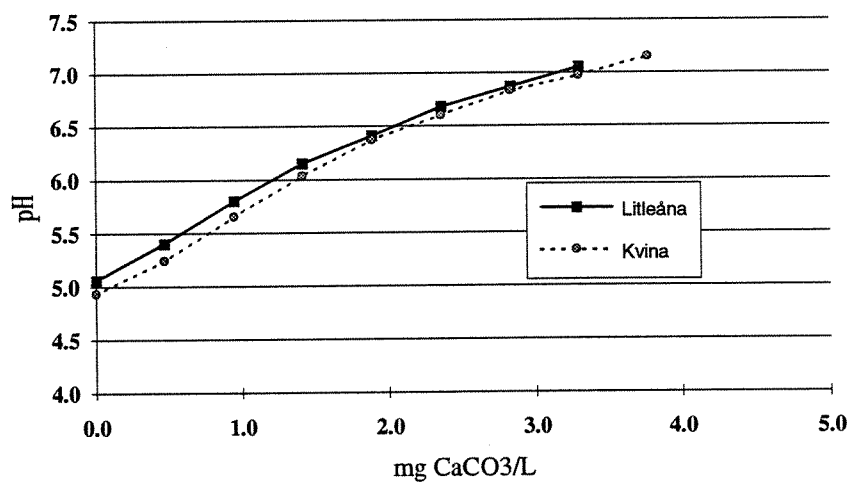
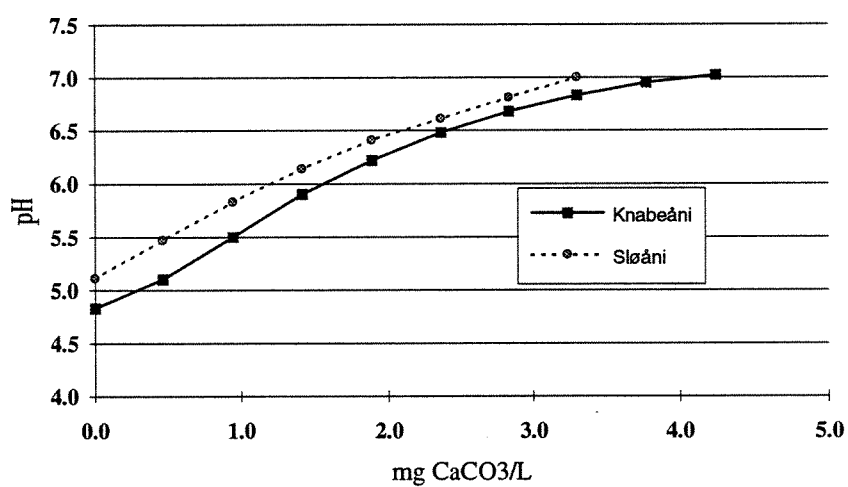
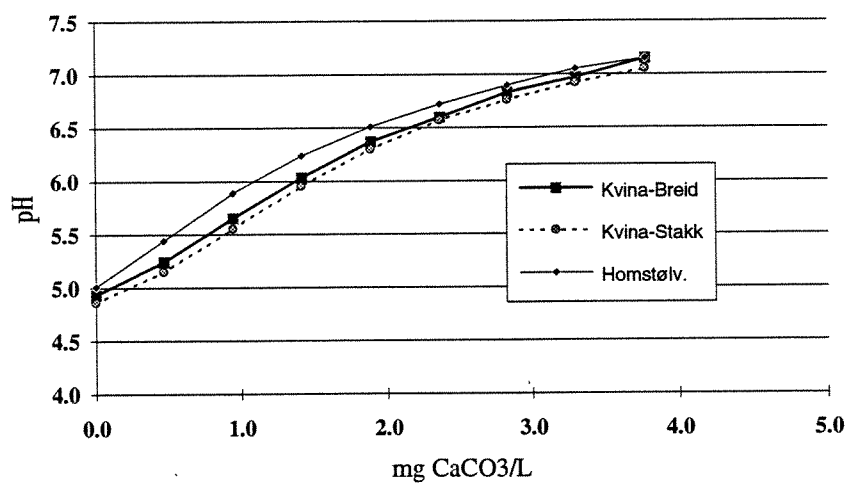
## **8. VEDLEGG**

### **8.1. Titreringskurver.**

Kurvene er framkommet og brukt til beregninger på følgende måte:

En vannprøve ble titrert med natriumkarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). 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.

Opprinnelig vannkvalitet ble satt til pH 4.7 og kurven ble trukket mot venstre ned til denne verdien. På den måten framkommer det totale forbruk av natriumkarbonat for å bringe pH fra 4.7 og opp til 6.0 (akseptabelt for sjøaure) eller 6.2 og 6.5 (akseptabelt for laks). Denne mengden ble så omregnet til kalsiumkarbonatbehov ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ). I de videre beregninger ble innholdet av kalsiumkarbonat i kalken satt til 90 % og oppløsningen av kalken til 50 eller 70 %.



---

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo  
ISBN 82-577-2158-1