

Kalkingsplan for lakseførende strekning av Sireåna i Vest-Agder



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Kalkingsplan for lakseførende strekning av Sireåna i Vest-Agder	Løpenr. (for bestilling) 6329-2012	Dato Mars 2012
	Prosjektnr. Undernr. O-11484	Sider Pris 31
Forfatter(e) Tormod Haraldstad Frode Kroglund Birger Bjerkeng Atle Hindar	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder	Oppdragsreferanse Edgar Vegge
---	----------------------------------

<p>Sammen drag</p> <p>Vannkvaliteten i Sireåna er i dag for dårlig til at laksen kan gjennomføre sin livssyklus i vassdraget. Vassdraget er i tillegg regulert til kraftproduksjon. Målet for kalkingsplanen er å bedre vannkjemien i lakseførende strekning fra pH 5,3 til pH 6,2 (6,4 i smoltperioden). Vannføring på minstevannføringsstrekningen er ca. 0,5 - 1 m³/s. Under flom kan vannføringen mangedobles. En kilometer fra elvemunningen slippes vannet fra kraftverket ut i elva (gjennomsnitt 180 m³/s). Vannkjemien i denne delen av elva og ferskvannslaget i fjorden utenfor vil være totalt dominert av dette vannet. Smolt under utvandring vil vandre i «kraftverksvann» i 5,5 km før den når saltvann. Vannet som renner gjennom kraftverket må derfor behandles for å oppnå målet om god vannkvalitet for laks i lakseførende del av Sireåna og Ånafjorden. Vi anbefaler å avgifte hovedelva ved å innsjølkalke Lundevatnet. Dette gir god vannkvalitet i nedre deler av vassdraget og ferskvannslaget i Ånafjorden. Det bør plasseres en doserer nedstrøms dam Lundevatnet for å håndtere sidedbørsfelt. Men økes minstevannføringen på denne strekningen vil vannkvaliteten være tilstrekkelig uten doserer. Før tiltakene iverksettes anbefaler vi forundersøkelser av vannkjemien i Lundevatnet og Ånafjorden.</p>

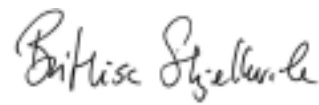
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Laks Forsuring Kalkingstiltak Elv 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Atlantic salmon Acidification Liming measures River
---	---



Tormod Haraldstad
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

**Kalkingsplan for lakseførende strekning
av Sireåna i Vest-Agder**

Forord

Surt vann hindrer laksen i å reprodusere i Sireåna i dag. Elva produserte tidligere laks. Vassdraget er i tillegg kraftig regulert til kraftproduksjon. Det meste av elvevannet tas inn i tunell ved utløpet av Lundevatnet og slippes ut igjen fra kraftstasjonen en kilometer fra elvemunningen.

Til tross for lite og surt vann går det opp laks i elva. Fylkesmannen i Vest-Agder ønsket en vurdering av hvilke kalkingsalternativer som var aktuelle for lakseførende strekning og om dette i det hele tatt var mulig å kalke elva for å tilfredsstille laksens krav til vannkjemi under dagens vannføringsregime.

Det er innhentet opplysninger om kraftverket ved Åna-Sira fra Per Øyvind Grimsby (Fagleder vassdragsmiljø, Sira-Kvina kraftselskap).

Fylkesmannens kontaktperson har vært Edgar Vegge.

Alle takkes for godt samarbeid.

Grimstad, 05.03.2012

Tormod Haraldstad

Innhold

Innhold	5
Sammendrag	7
1. Innledning	8
2. Vassdragsbeskrivelse	9
2.1 Generelt om vassdraget	9
2.2 Hydrologi	10
2.2.1 Siravassdraget	10
2.2.2 Minstevannføringsstrekning i Sireåna	10
2.2.3 Nedre deler av Sireåna	13
2.2.4 Ånafjorden	14
2.3 Revisjon av konsesjonsvilkårene for Sira-Kvina utbyggingen	16
2.4 Effekt av pågående kalking i vassdraget	16
2.5 Vannkjemi	17
2.6 Biologisk status	18
3. Kalkingsplan	20
3.1 Biologiske og vannkjemiske mål	20
3.2 Avsyringsmidler	21
3.3 Kalkmengde og kostnader	22
3.4 Plassering av doserere	22
4. Kalkingsstrategi for hovedelva	23
4.1 Innsjøkalking av Lundevatnet	23
4.2 Kalkdoserer oppstrøms Lundevatnet	24
5. Kalkingsstrategi for lekkasjevann/minstevannføring Sireåna	25
5.1 Kalkingsstrategi med dagens vannføringsregime i minstevannføringsløpet.	25
5.2 Kalkingsstrategi med mulig fremtidig vannføringsregime	26
6. Før- og etterundersøkelser	27
6.1.1 Vannkjemiske undersøkelser i Lundevatnet	27
6.1.2 Gjellealuminium	27
6.1.3 Salinitet i fjorden	27
6.1.4 Overvåkningsprogram	27

7. Anbefalinger	28
8. Litteratur	29
Vedlegg A. Aktuelle lokaliteter for kalkdoserer	1
Vedlegg B. Dybdekart Lundevatnet (etter Østrem mfl. 1984)	34

Sammendrag

Siravassdraget har et opprinnelig nedbørsfelt på 1920 km². Vassdraget er kraftig regulert. Øvre del av Kvina blir overført til Sira via tunnel. Dette gir en øking av nedbørsfeltareal på ca 800 km². Lakseførende strekning er ca 2 km fra utløpet av Lundevatnet til Ånafjorden. Vannkvaliteten i Sireåna er i dag for dårlig til at laksen kan gjennomføre sin livssyklus i vassdraget.

Målet for kalkingsplanen er å bedre vannkjemien i lakseførende strekning av vassdraget. Det skal være gode forhold for laks i Sireåna fra utløpet av Lundevatnet til elvemunningen og ut fjorden. Utgangspunktet for vannkvalitetsmålet er fastsatte grenser for laks. Dette krever en vannkvalitetsforbedring fra pH 5,3 til pH 6,2 i vassdraget og til 6,4 i smoltperioden om våren.

Vannføring på lakseførende strekning er ca. 0,5- 1 m³/s fra dam Lundevatnet til kraftverksutløpet nedstrøms Logsfossen. I perioder med flom kan store mengder vann renne over dammen og ut i minstevannføringsstrekningen. En kilometer fra elvemunningen slippes vannet fra kraftverket ut i elva. Her er gjennomsnittlig vannføring 180 m³/s. Vannkjemien i denne delen av elva vil være totalt dominert av kraftverksvannet. Når elva renner ut i Ånafjorden, vil det ferske elvevannet legge seg som et lag i øvre sjiktet av fjorden og i perioder med høy vannføring dominere i hele fjordbassenget. Dette forholdet vedvarer utover i fjorden til den munner ut i åpent hav. Smolt under utvandring vil dermed vandre i «kraftverksvann» i 5,5 km før den når saltvann. Vannet som renner gjennom kraftverket må derfor behandles.

Vi anbefaler å avgifte hovedelva ved å innsjøkalke Lundevatnet. Dette gir god vannkvalitet fra utløpet av kraftverket til elvemunningen samt i det øvre ferskvannslaget i Ånafjorden. Det bør plasseres en doserer nedstrøms dam Lundevatnet for å håndtere sidedbørsfeltet mellom dammen og kraftverksutløpet. Økes minstevannføringen på denne strekningen, vil vannkvaliteten være tilstrekkelig god uten doserer. Før tiltakene iverksettes, anbefaler vi forundersøkelser av vannkjemien i Lundevatnet og Ånafjorden, samt analyser av gjellealuminium.

Tiltakene vil legge forholdene til rette for at laksen igjen kan fullføre sin livssyklus og over tid reetablere en laksestamme i vassdraget.

1. Innledning

Sur nedbør har blitt kraftig redusert de siste 30 årene takket være internasjonale avtaler om utslippsreduksjoner av svovel og nitrogen (Klif 2010). Det er likevel områder av Norge som fremdeles mottar mer sur nedbør enn det innsjøene og vassdragene tåler. Disse områdene vil forbli kritisk påvirket lenge.

Lokale avsyringstiltak kan bidra til å redusere de negative effektene av sur nedbør i elver og innsjøer. Tiltak kan være bruk av kalk eller silikat. Når tiltak iverksettes, er målet å forbedre den økologiske tilstanden, men det er ofte reetablering av fisk som er drivkraften.

Vannkvaliteten er tilfredsstillende når utbredelsen av og populasjonsdynamikken til de enkelte forsurede artene ikke lenger er begrenset av vannkjemien. Når forsureningen har avtatt så mye at dette inntreffer, er tiltak ikke lenger nødvendig og kan avvikles. Samtidig som at enkelte kalkingstiltak kan avvikles i deler av landet som følge av redusert sur nedbør (Austnes og Kroglund 2010; Hindar 2011a), må tiltakene opprettholdes og optimaliseres i mer forsurede områder.

Vannkvalitetskravet til laks og aure er godt dokumentert (Hesthagen et al. 2008; Kroglund et al. 2008) og angitt i vannforskriften (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009).

Vannkjemien i Sireåna er i dag for dårlig til å opprettholde en selvreproduserende laksebestand. Men til tross for surt vann, går det opp laks i Sireåna og laksefangstene under sportsfiske har ligget rundt 250 kg i årene 2008-2011. Basert på det kjemiske overvåkingsprogrammet (Saksgård and Schartau 2011) er vannkjemien i Sireåna fortsatt dødelig for laks og i særdeleshet for laksesmolt. Tetthetsregistreringer av laks i 2009 påviste ikke laksunger og kun få aure i Sireåna (Enge 2009). Dette underbygger den vannkjemiske konklusjonen. Med dagens vannkjemie vil ikke laks kunne fullføre sin livssyklus i Sireåna. Dette bruddet i laksens livssyklus begrenser oppbyggingen av en selvreproduserende laksebestand i Sireåna. Dagens laksefangst er sannsynligvis feilvandet laks fra andre elver i regionen og rømt oppdrettslaks.

Gytebestandsmålet for Sira er angitt til 163 kg hunnlaks (Anon 2011). Selv om det enkelte år (før forsureningen) er registrert fangster oppunder 1 tonn, synes Sireåna å ha hatt en relativt beskjeden produksjon også historisk.

Kalking av Sireåna vil kunne øke overlevelsen fra egg til smolt og bidra til en oppbygging av en selvreproduserende laksestamme. Med en bedring av vannkjemien vil feilvandrede laks antagelig være nok til å reetablere en laksebestand i elva (jf. Reetableringen av laks i Mandalselva, (Hesthagen 2010)).

Vassdraget er kraftig regulert til kraftproduksjon. Det meste av elvevannet tas inn i tunell ved utløpet av Lundevatnet og slippes ut igjen fra kraftstasjonen én km fra elvemunningen. Variasjon mellom svært lav og svært høy vannføring i lakseførende strekning samt forholdene i fjorden, gjør det svært utfordrende å finne det beste kalkingsalternativet.

2. Vassdragsbeskrivelse

2.1 Generelt om vassdraget

Siravassdraget (026.Z) har sitt utspring i Setesdals Vesthei/Ryfylkeheiene og renner ut i havet ved Åna-Sira. Sira er ca 150 km lang med opprinnelige nedbørfeltet på 1920 km². Siravassdraget er kraftig regulert med 7 større kraftverksmagasiner og 4 kraftstasjoner. Øvre del av Kvina blir overført til Sira via tunnel mellom Homstølvatn og Sirdalsvatn. Dette gir en øking av nedbørfeltareal på ca 800 km². Øvre deler av vassdraget er preget av to store reguleringsmagasiner; Svartevannsmagasinet og Rosskreppfjorden (opprinnelig Kvina). Fra Ådneram til Handeland har vassdraget redusert vannføring med tilrenning fra uregulerte sidefelt. Mellom Handeland og Sirdalsvatn er Sira regulert til kraftproduksjon. Det er ikke gitt pålegg om minstevannføring på denne strekningen (Semb 2001). De siste 45 km av vassdraget er dominert av to store innsjøer; Sirdalsvatn og Lundevatnet. Lakseførende strekning er på ca 2 km, fra utløpet av Lundevatnet til Åna-Sira. Vannføring på lakseførende strekning er i underkant av 1 m³/s fra dam Lundevatnet til kraftverksutløpet nedstrøms Logsfossen. Gjennomsnittlig vannføring ved elvemunningen er 180 m³/s.



Figur 1. Nedbørfelt til Sireåna med øvre deler av Kvinas nedbørfelt som blir overført til Sirdalsvatn. Lakseførende strekning av Sireåna med sidedbørfelt.

2.2 Hydrologi

2.2.1 Siravassdraget

Siravassdraget med øvre deler av Kvinavassdraget har et totalt nedbørfeltareal på 2720 km² (**Figur 1**). Den spesifikke avrenningen for Sira-feltet er beregnet til 68 l/s/km² (antar lik avrenning i Kvinafeltet), og middelvannføringen ved utløpet i sjøen er 180 m³/s. Total årsavrenning er 5783 mill m³/år. Vannføringen vil variere gjennom året og mellom år. Observerte flommer i perioden 1896-2008 er gitt i **Tabell 1**, etter Pettersson (2010). Selv om nedbørfeltet er blitt betydelig større etter reguleringen, vil flomtoppene være noe lavere grunnet magasinerings av vann.

Lundevatnet er den siste store innsjøen vannet passerer før det når havet. Innsjøen er næringsfattig (oligotrof) og relativt dyp, med middeldyp på ca 170 m (**Vedlegg B**). Innsjøarealet er på 26,7 km² med en teoretisk oppholdstid beregnet til 0,8 år.

Tabell 1. Observerte flommer (m³/s) ved 26.8/26.44 Lundevatnet og 26.18 Langhølen/26.31 Sireåna kraftverk, døgnmiddel (Pettersson 2010).

Vannstand i perioden 1896-2008		Vannføring i perioden 1896-2008	
dato	moh.	dato	m ³ /s
05.11.1898	50.76	05.11.1898	825
16.10.1916	50.52	19.10.1983	798
05.05.1913	50.23	16.10.1916	769
27.10.1929	50.17	05.05.1913	704
18.05.1910	50.06	27.10.1929	691
23.12.1936	50.05	18.05.1910	668

2.2.2 Minstevannføringsstrekning i Sireåna

Minstevannføringsstrekningen av Sireåna defineres her fra dam Lundevatnet til utløpet av kraftverket nedstrøms Logsfossen. En lekkasje i dam Lundevatnet gir noe vann i anadrom strekning (**Figur 2**). Selv om lekkasjen fra dam Lundevatnet er relativt stabil, vil vannføringen i Sireåna variere gjennom året (**Figur 4**). Ved svært høy vannføring kan vannføringen overstige slukeevnen til kraftverket. Dette overskuddsvannet vil renne over damkronen og ut i minstevannføringsstrekningen. Slike perioder vil inntreffe under store flommer hovedsakelig høst og vår. I tillegg tilføres det vann fra sidednbørfelt (026.Z) nedstrøms dammen (**Figur 3**). Sidednbørfeltet er lite (2,94 km²) med en beregnet middelvannføring på 130 l/s. Vannføringsdata er hentet fra NVE stasjon 26.18 Langhølen. Dette er en tradisjonell vannføringsstasjon som ble etablert i 1968 nedenfor dammen i Lundevatnet. Her registreres vannet som går forbi dammen som overløp eller kontrollert slipp (Pettersson 2010).

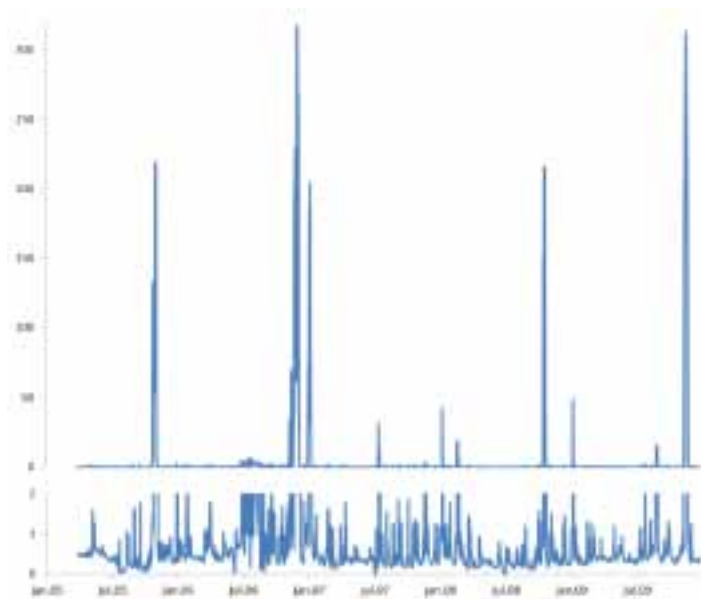
Det må påregnes både planlagt og tilfeldig driftsstans i kraftverket. Da vil store mengder vann kunne renne ut i Sireåna. Planlagt driftsstans vil være for å vedlikeholde eller utbedre kraftverket og gjennomføres som regel sommerstid (Per Øyvind Grimsby, pers medd.). Ofte vil en slik planlagt driftsstans medføre nedtapping av magasiner oppstrøms før driftsstans for å begrense tapet (lekkasje av vann). En tilfeldig driftsstans kan forekomme om uforutsette feil eller skader på anlegget oppstår.



Figur 2. Dam Lundevatnet mot sør (venstre) og lekkasjen fra dammen som bidrar med vann i minstevannføringsstrekningen (høyre).



Figur 3. Tilførselsbekk fra sidednbørsfelt nedstrøms dam Lundevatnet.



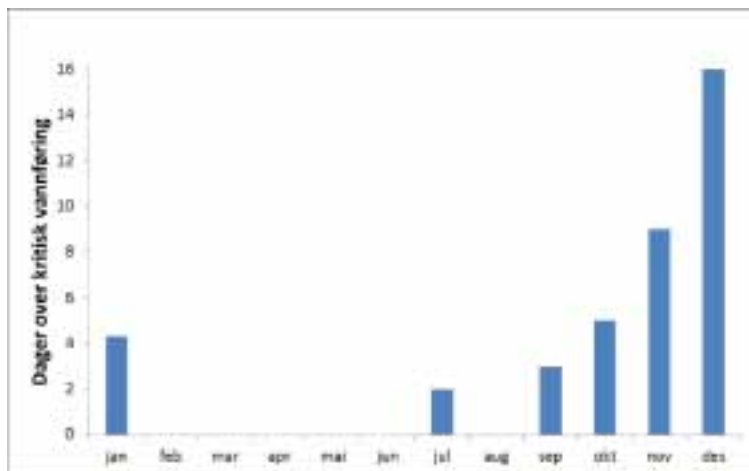
Figur 4. Vannføring (m^3/s) i Sireåna 2005-2009. Data er hentet fra NVE vannføringsstasjon 26.18 Langhølen. Brudd på y-aksen ved $2\text{m}^3/\text{s}$ indikerer ulik vannførings-skalka over og under.

Vannføringsregime og doseringsalternativer

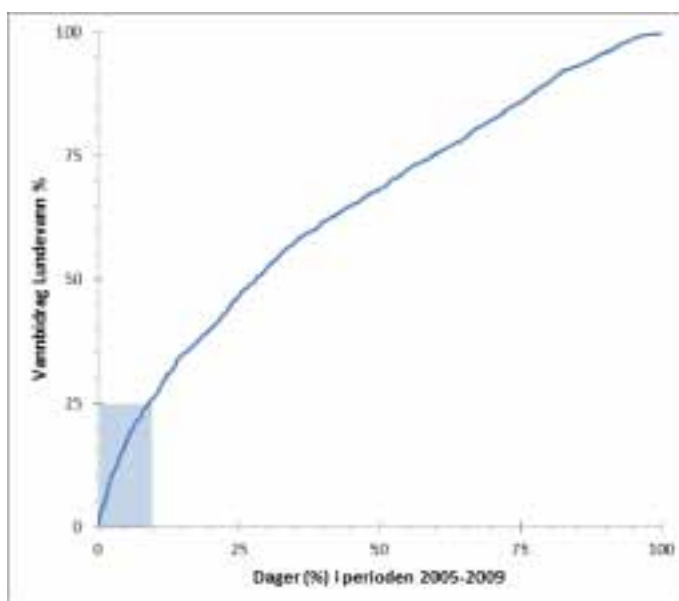
Vannføringsregimet i minstevannføringsstrekningen er en utfordring med tanke på kalkdosering. Normalvannføringen er relativt lav, mens det i perioder er svært høy vannføring. En doserer vil ikke kunne håndtere dette spennet i vannføring. Vi ser her litt nærmere på når den høye vannføringen inntreffer og hvor mange ganger dette skjer i løpet av året. Vi har satt kritisk grense for en «normalvannføringsdoserer» i området $10 \text{ m}^3/\text{s}$, men en enkeltdag med vannføring opp mot $20 \text{ m}^3/\text{s}$ vil ikke være kritisk for laks nedstrøms selv om vannkvaliteten er dårlig. To etterfølgende dager med denne vannføringen defineres imidlertid som kritisk. Etter en periode med svært høy vannføring vil vannføringen ofte synke gradvis. I en slik avtagende periode vil alle dager over $10 \text{ m}^3/\text{s}$ være kritiske.

Antall sannsynlige kritiske dager er summert for Sireåna (NVE stasjon 26.18 Langhølen) i årene 2005-2009. Periodene med kritisk vannføring inntreffer hovedsakelig om høsten og vinteren (**Figur 5**). Det er ikke registrert dager med kritisk vannføring under smoltutvandringsperioden om våren i årene 2005-2009. I løpet av ett år vil det i gjennomsnitt være i overkant av 13 dager med vannføring over kritisk nivå. En episode vil i gjennomsnitt inntreffe 2 ganger i året. Den lengste perioden med vannføring over kritisk nivå var i 2006. Denne foregikk over 16 dager med en vannføringstopp på $316 \text{ m}^3/\text{s}$. Dagene med høy vannføring i Sireåna kan være kritisk for produksjonen av laks og må derfor håndteres.

Prosentbidraget fra det sure sidedebørsfeltet nedstrøms dam Lundevatnet i forhold til lekkasjen fra dammen vil kunne være avgjørende hvis det kalkes oppstrøms dam Lundevatnet. I ti prosent av dagene bidrar vannet fra Lundevatnet med mindre en 25 prosent av totalvannet i minstevannføringsløpet (**Figur 6**). Med en økende minstevannføring vil prosentbidraget fra Lundevatnet bli atskillig høyere, og i de fleste tilfeller totalt dominere i minstevannføringsløpet.



Figur 5. Dager over kritisk vannføring (skjønsmessig vurdering av dager over $10 \text{ m}^3/\text{s}$) for en doserer for normalvannføring i ulike måneder i Sireåna. Gjennomsnitt for årene 2005-2009 (NVE stasjon 26.18 Langhølen).



Figur 6. Prosentvist bidrag av vann fra Lundevatnet i forhold til sidedebørsfelt for dager (%) i perioden 2005-2009. I 10 % av alle dager i denne perioden er bidraget fra Lundevatnet under 25 % (markert med blått).

2.2.3 Nedre deler av Sireåna

Det meste av ellevannet går inn i kraftverket ved utløpet av Lundevatnet og slippes ut nedstrøms Logsfossen, én km fra elvemunningen. Her er vannføringen høy med et gjennomsnitt på $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannføringen kan bli lav i perioder med planlagt driftsstans i kraftverket. Da vil det ikke renne vann gjennom kraftverket, og vannføringen i elva vil kun være lekkasjevann fra dammen. Under driftsstans vil saltvann kunne trenge helt opp til utløpet av kraftverket (pers. medd. Sira-Kvina kraftselskap).

Det antas at perioder med lav vannføring ikke skaper vanskeligheter med å nå vannkvalitetsmålet. Inntrenging av saltvann kan påvirke fisken. Så lenge det ikke foreligger målinger av nivåer og varighet

kan ikke betydningen av en slik inntrenging vurderes. Området vil ha høy vannføring tilnærmet hele året. Hvis dette er et viktig produksjonsavsnitt, må fisken også beskyttes her. Dersom produksjonen er lav, kan området likevel ha bestandseffekt ved å påvirke smolt under utvandring. Graden av påvirkning vil her avhenge av hvor lenge smolten oppholder seg innenfor denne delen av elva under utvandring. Det er rimelig å anta man her snakker om timer og ikke dager.

2.2.4 Ånafjorden

Sireåna munner ut i fjorden Åna. Fjorden er ca. fire kilometer lang. Der fjorden munner ut i åpent hav er den på sitt smaleste og grunneste (5,5 meter dyp, 45 meter bred, **Figur 7**). Saliniteten i denne fjorden vil være strekt påvirket av vannføringen i elva.

Stigebrandt (1989) behandler tolags estuarin strømming i hydraulisk begrensende sund ut fra fjorder med ferskvannstilførsel. Den hydrauliske betraktningen gir en sammenheng mellom inn- og utstrømning og tykkelsen av lagene, og definerer en grense for hvor stor ferskvannstilførselen kan være før sundet blir blokkert for innstrømmende sjøvann. Så lenge ferskvannstilførselen er lavere, kan det gå tolagsstrøm med sjøvann inn under det utstrømmende brakkvannslaget. Saltholdighet og tykkelse på brakkvannslaget avhenger av vertikalblandingen inne i fjorden; hvis det er sterk blanding, vil den hydrauliske begrensningen i sundet sette en grense for innstrømning av sjøvann. Når ferskvannstilførselen overstiger grensen, vil utstrømningen fylle ut hele tverrsnittet. Vannet vil stues opp på innsiden inntil vannstandsfalltet ut gjennom sundet er stort nok til å akselerere vannet så mye at utstrømningen av ferskvann er lik ferskvannstilførselen med elva. Hvis tidevann og vindgenererte vannstandsendringer har betydning, vil det gi tilsvarende svingninger over tid i utstrømningen, slik at det kan være skiftevis enveis utstrømning og tolagsstrøm.

Den hydrauliske begrensningen defineres av et estuarint Froude-tall som kan skrives:

$$F = \frac{Q/A}{\sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho_0} H}}$$

hvor Q = mengden av ferskvann som går ut gjennom sundet.
 A = strømtverrsnitt i sundet
 g = gravitasjonskoeffisienten 9.81 m/s^2
 $\Delta\rho$ = tetthetsforskjell mellom ferskvann og sjøvann på utsiden av sundet
 ρ_0 = ferskvannets tetthet

Hvis $F \geq 1$ vil utstrømningen fylle hele tverrsnittet, og hvis en slik situasjon varer lenge nok, vil fjorden på innsiden av sundet bli fylt av ferskvann, ved at gjenværende sjøvann under brakkvannslaget blandes opp i overflatelaget og blir fraktet ut av fjorden, eller presses ut av fjorden under overflatelaget pga. horisontale trykkgradienter.

Den trangeste delen av sundet ytterst i Ånafjorden ligger rett utenfor Sanden, og ut fra tilgjengelige kart og bilder (Norgebilder.no, Google Earth, Gislink.no) er bredden her ca. 45 m. Kanalen herfra og ut til åpen kyst er 250 til 300 m lang og ca. 60 m bred. Dybden på utsiden av kanalen er angitt til ca. $H = 5.5 \text{ m}$, og ut fra det som er opplyst antas at det er dybden også i det trangeste sundet. Det antas at sundet har avtagende dyp inn mot land, slik at arealet A er 80 % av største bredde og største dyp, dvs. $A = 45 \cdot 5.5 \cdot 0.8 = 200 \text{ m}^2$.

Data fra kystvannet ved Lista viser at saltholdigheten i de øvre 20 m varierer rundt 27 til 32, dvs. at tetthetsforskjell $\Delta\rho$ mellom sjøvann og ferskvann med samme temperatur er ca. 21 til 25

σ_t -enheter (kg/m^3); tettheten av ferskvannet er ca. 1000 kg/m^3 . Sundet vil da være stengt for innstrømning av sjøvann under overflatelaget når

$$Q \geq A \cdot \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_0} H} = 210 \text{ til } 230 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ved vannføringer i elva over dette må en vente enveis strøm ut av fjorden, og det vil etterhvert drive ut saltere bunnlag og fylle fjorden med ferskvann. Arealet av fjorden på innsiden av sundet er ca. $0,9 \text{ km}^2$. Antas gjennomsnittlig dyp å være 8-10 m, vil en vannføring på $210 \text{ m}^3/\text{s}$ gi en oppholdstid på bare 12 timer selv om fjorden fylles helt av ferskvann (og kortere oppholdstid så lenge det er igjen sjøvann i bunnen), så det må ventes at slik oppfylling med ferskvann kan skje ganske raskt i en flomsituasjon hvor vannføringen overstiger $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vannstandsvariasjoner i havet utenfor pga. tidevann, lufttrykk og vind vil modifisere bildet noe. Vannstanddata er tilgjengelig på www.vannstand.no for Mandal (Tregde) og Stavanger, men ikke for mellomliggende strekning (vannstand.no kan gi beregnet vannstand for valgte posisjoner noen steder, men eksplisitt ikke for strekningen fra Farsund til Nord-Jæren). Vannstandsending pr. time varierer stort sett innenfor $\pm 6 \text{ cm/time}$ (90 % av tiden) ved Tregde, og $\pm 12 \text{ cm/time}$ ved Stavanger (Data for januar 2012). For kystvannet utenfor Ånafjorden antas ut fra dette stort sett variasjon innenfor $\pm 9 \text{ cm/time}$. Med overflateareal $0,9 \text{ km}^2$ innenfor sundet gir 9 cm/time et variabelt fradrag eller tillegg til utstrømningen, stort sett innenfor ca. $22 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved vannføringer over $250 \text{ m}^3/\text{s}$ må en derfor regne med at fjorden er permanent blokkert for innstrømning av sjøvann.

For å akselerere vannet til en hastighet ut gjennom sundet som gir likevekt mellom tilrenning fra elva og utstrømning fra fjorden, må vannstanden stues opp på innsiden, slik at det blir et trykkfall ut gjennom sundet. For at det skal kunne bli stående igjen noe salt vann under overflatelaget, må oppstuingen motsvares av en heving av grenseflaten mellom ferskvann og sjøvann ut mot sundet. Ved elvevannføring ca. $400 \text{ m}^3/\text{s}$ vil hastigheten ut gjennom sundet være ca. 2 m/s dersom minste tverrsnitt er 200 m^2 , og da må grenseflaten senkes til 16 m dyp før dypvannet teoretisk kan bli stående igjen, når en ser bort fra friksjon og vertikalblanding. Det betyr at det bare er snakk om litt bunnvann i det aller dypeste partiet midt i fjorden, og det vil sannsynligvis også bli blandet opp raskt.

Disse overslagsberegningene gjelder dersom største dyp i det trangeste sundet er 5.5 m. Hvis det er dypere her, og minste dyp 5.5 bare finnes i kanalen lenger ut, vil de beregnede vannføringsgrensene kunne være opptil 50 % høyere. Trykktap gjennom kanalen pga. friksjon og turbulens, som ikke er regnet med her, vil trekke motsatt vei.

Betraktningene her vil enkelt kunne kontrolleres og kvalifiseres ved profilmålinger med CTD inne i fjorden i noen situasjoner med kjent vannføring.

Smolten vil dermed erfare fjorden som en forlengelse av elva. Vannhastigheten her vil være relativt lav og sannsynligvis mindre rettet enn det den var i elva. Det må derfor antas at smolt under utvandring vil oppholde seg her i størrelsesorden dager. Dette området må derfor behandles.



Figur 7. Sireåna munner ut i Ånafjorden. Fjorden er ca 4 km lang og i underkant av 50 meter bred ved «utløpet» til åpent hav (Kystverket).

2.3 Revisjon av konsesjonsvilkårene for Sira-Kvina utbyggingen

Hovedkonsesjonen for Sira-Kvina utbyggingen ble gitt i 1963. Konsesjonen er tidsubegrenset, men vilkårene kan tas opp til revisjon etter 50 år. Konsesjonen vil derfor bli tatt opp til revisjon i 2013. Konsesjonsvilkår omhandler forholdet mellom konsesjonær (Sira-Kvina kraftselskap) og allmenne interesser. Revisjonsadgangen gir muligheter for å sette nye vilkår. Det vil være mulig å sette krav til oppretting av miljøskader som er oppstått som følge av utbyggingen.

Det er utarbeidet et felles «Kravdokumentet» fra de berørte kommunene der de har mottatt innspill fra innbyggerne (Tjørhom og Omland 2009). Her beskrives ulempene som utbyggingen av Sira- og Kvinavassdragene har påført og påfører allmenne interesser i området. Der beskrives også tilhørende krav og forslag til avbøtende tiltak. Et av punktene omhandler lakseførende strekning av Sireåna. Problemet er sterkt redusert vannføring som begrenser produksjonen av laks. Det foreløpige kravet er at det etableres en minstevannføring på strekningen.

Foreliggende rapport er basert på dagens vannføringsregime, men det tas høyde for en økt minstevannføring på lakseførende strekning.

2.4 Effekt av pågående kalking i vassdraget

Vassdraget er sterkt påvirket av sur nedbør. De senere år er det observert en bedret vannkvalitet på grunn av reduserte sur nedbør. I Taumevassdraget ble det startet kalking i 1991 utlegging av skjellsand i innløpsbekker til Grønplasztjønn. I 1997 ble det igangsatt innsjøkalking av Storevann. Også andre innsjøer i nedbørsfeltet til Sira kalkes (**Tabell 2**) (Semb 2001). Denne kalkingen er ikke tilstrekkelig til å heve pH i lakseførende strekning av Sireåna.

Tabell 2. Innsjøer i Siravassdraget som blir kalket (2001).

Innsjø	Art	Vassdragsnavn	Metode
Sinnesvatn	Innlandsaure	Sira	Oppstrøms
Beinesvatnet	Innlandsaure	Sira	Båt anbud
Svartevatn	Innlandsaure	Sira	Oppstrøms
Øvre Grønplasztjønn	Innlandsaure	Grønplassåni	Skjellsand

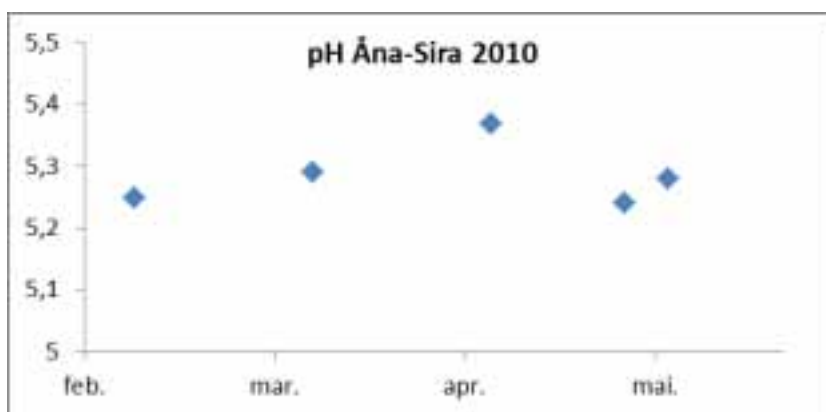
2.5 Vannkjemi

Det er målt lave pH-verdier i Sireåna med 5,3 som gjennomsnitt i 2010 (**Figur 8**) (Saksgård og Schartau 2011). Det ble målt uorganisk monomert aluminium (UM-Al tilsvarende LAl) verdier på gjennomsnittlig 22 µg/l i 2010. Det er vist at smolt som er eksponert til LAl-konsentrasjoner helt ned mot 5 µg/l kan ha en redusert sjøoverlevelse på 25-50 % (Kroglund et al. 2007). Sireåna har på bakgrunn av disse målingene en tilstandsklasse svært dårlig til dårlig for både pH og giftig aluminium i henhold til kriterier gitt i klassifiseringssystem for miljøtilstand i ferskvann (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009)(**Tabell 3**).

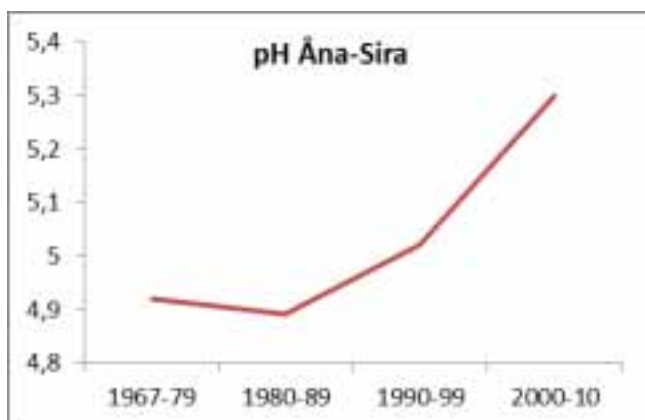
Vannkjemien i Sireåna inngår i NINAs «Elveserie» og har vært overvåket siden 1967 (Saksgård og Schartau 2011). Vannkvaliteten i Sireåna har blitt generelt bedre gjennom de siste ti årene, med en gradvis økning av pH fra 4,9 på 1980-tallet til rundt 5,3 for de ti siste årene (**Figur 9**). Økningen i pH indikerer en gradvis redusert påvirkning fra sur nedbør.

Vannkjemien er i dag for dårlig til å opprettholde en levedyktig laksebestand. Titreringskurve som beskriver nødvendig tilsetning av kalk (som CaCO₃) for å nå ulike pH-mål er vist i **Figur 10**.

Logsbekken munner ut i Ånafjorden ved siden av Sireåna. Det er svært god vannkvalitet i denne bekken (pH 7,8) (Enge 2009). Her er vannkvaliteten påvirket av lekkasjer fra steinfyllingsdammen oppstrøms Logsvatn, som har et høyt innhold av titan.



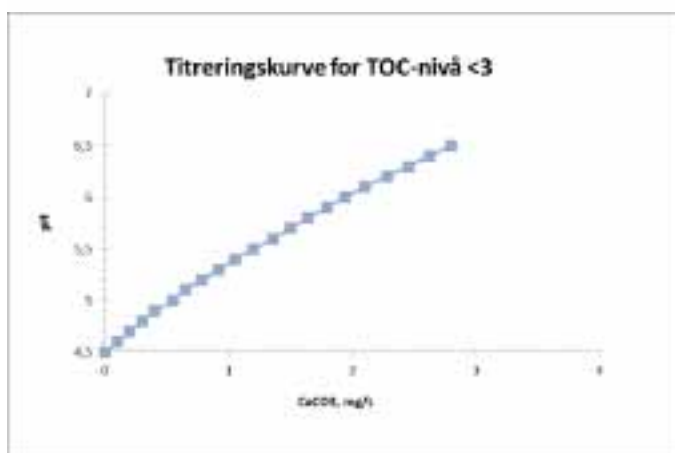
Figur 8. pH-verdier i Sireåna (Lokalitet 43) i februar-mai 2010 (Saksgård og Schartau 2011)



Figur 9. pH utviklingen i Sireåna (Lokalitet 43) fra 1967 og frem til i dag, vist som gjennomsnitt av ti år (Saksgård og Schartau 2011).

Tabell 3. Kritisk grense for pH, uorganisk aluminium (Al) og ANC for lakseparr og laksesmolt i ferskvann (F) og sjøvann (S) (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009).

Stadium	Parameter	Enhet	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Parr (F)	pH		>5,9	5,9-5,6	5,6-5,2	5,2-4,8	<4,8
Parr (F)	Al	µg/L	<10	10-20	20-30	30-60	>60
Parr (F)	ANC	µekv/L	>50	50-30	30-10	10-0	<0
Smolt (F)	pH		>6,4	6,4-6,2	6,2-5,8	5,8-5,5	<5,5
Smolt (F)	Al	µg/L	<5	5-10	10-20	20-40	>40
Smolt (F)	ANC	µekv/L	>50	50-40	40-20	20-10	<10
Smolt (S)	pH		>6,4	6,4-6,2	6,2-6,0	6,0-5,8	<5,8
Smolt (S)	Al	µg/L	<5	5-10	10-15	15-20	>20
Smolt (S)	ANC	µekv/L	>50	50-40	40-20	20-10	<10



Figur 10. Titreringskurve for TOC-nivå <3 mg/l, gir CaCO₃ behov (mg/L) ved ulike pH.

2.6 Biologisk status

Anadrom fisk

Laks og sjøaure var blant de første fiskeartene som vandret inn i vassdragene på Sørlandet etter siste istid. Laksen vandrer opp i sin fødeelv for å gyte. Bare de best tilpassede individene overlever og klarer å overføre arvematerialet til neste generasjon. Over tid kan det dermed utvikle seg ulike bestander i de ulike elvene, som er spesielt tilpasset miljøforholdene i det vassdraget de lever. En slik bestand utviklet seg i Sireåna i over 10 000 år før sur nedbør (og surt vann i elvene) utryddet den stedegne laksebestanden på 1970-tallet.

Vannkjemien i Sireåna er i dag for dårlig til å opprettholde en selvreproduserende laksebestand. Kravet til vannkvalitet hos laks varierer gjennom ulike stadier av livet. Parrstadiet er det mest robuste, mens smoltifiseringsperioden er den mest utsatte perioden (Kroglund et al. 2008). Med andre ord kan noen stadier av laks overleve i Sireåna. Gytetorsk kan vandre opp i elva og gyte. Rogn kan klekke og yngel og parr kan overleve i år med gunstige forhold. Tetthetsregistreringer av laks i 2009 viste imidlertid ingen laks og kun få aure (Enge 2009). Om våren er vannkjemien i Sireåna dødelig for smolt. Det ble målt UM-Al verdier (tilsvarende LAI) på gjennomsnittlig 22 µg/l i 2010. Det er vist at smolt som er eksponert til LAI-konsentrasjoner helt ned mot 5 µg/l, kan gi en redusert sjøoverlevelse på 25-50 % (Kroglund et al. 2007). Dette gjør at få eller ingen laks klarer å fullføre sin livssyklus i

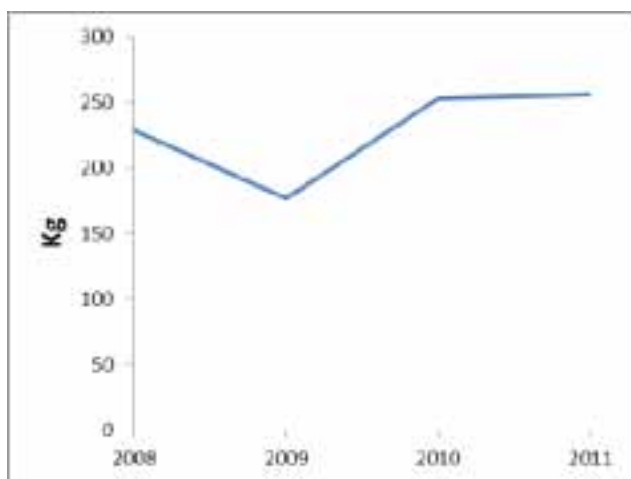
Sireåna etter et sjøopphold. Dette bruddet i laksens livssyklus begrenser oppbyggingen av en selvreproduserende laksebestand i Sireåna i dag.

Ikke all laks vandrer opp i sin fødeelv. Undersøkelser fra Imsa dokumenterer feilvandring på rundt 6 %, der hovedandelen (80 %) feilvandret til naboelver innen 60 km fra fødeelva (Jonsson et al. 2003). Dette er antagelig en mekanisme for å rekolonisere nye elver. Laks eksponert for giftig aluminium under smoltutvandringen ser ut til å feilvandre mer en ubelastet smolt (Hansen et al. 1997).

Laksefangstene i Sireåna er antagelig feilvandret laks fra andre elver i regionen samt rømt oppdrettslaks. Laksefangstene under sportsfiske har ligget rundt 250 kg per år fra 2008-2011 (**Figur 11**). En kalking av Sireåna vil kunne øke overlevelsen fra egg til smolt og bidra til en oppbygging av en selvreproduserende laksestamme. En stor elv som Sireåna dumper store mengder ferskvann ut i kystvannet, noe som antagelig tiltrekker seg laks. Fangsttallene fra sportsfiske bekreftet også dette. Feilvandrende laks vil antagelig være nok til å reetablere en bestand i elva (jf. Reetableringen av laks i Mandalselva, (Hesthagen 2010) hvis vannkjemien bedres.

Logsbekken munner ut i fjorden ved siden av Sireåna. Det er svært god vannkvalitet i denne bekken (pH 7,8) (Enge 2009), og det er funnet høye tettheter av både laks og aure. Potensiell lakseførende strekning er ca. 400 m. Feilvandring fra denne bekken vil kunne bidra med laks i Sireåna.

Gytebestanden i Logsbekken er estimert til maksimalt 45 individer. Dette er for lite til å representere en stabil bestand (Enge 2009). Selv om vannkjemien er god i dag, var bekken sur på 1990-tallet. Et el-fiske i 1991 resulterte i kun aure. Laksen i Logsbekken tilhører derfor ikke en bestand som har overlevd forsuringen.



Figur 11. Laksefangster (kg) under sportsfiske i Sireåna 2008-2011 (Scanatura).

3. Kalkingsplan

3.1 Biologiske og vannkjemiske mål

Målet for kalkingsplanen er å foreslå tiltak for å bedre vannkjemien i vassdraget. Utgangspunktet er at det skal være gode forhold for laks i Sireåna fra utløpet av Lundevatnet til elvemunningen og ut fjorden.

Vannkvalitetsmålet er basert på fastsatte grenser for laks. Kravet til vannkvalitet hos laks varierer gjennom ulike stadier av livet. Parrstadiet er det mest robuste, mens smoltifiseringsperioden er den mest utsatte perioden (Kroglund mfl. 2008). Under denne perioden er pH-grensen satt til 6,4 for anadrom laks (Kroglund mfl. 2008). Vannkvalitetskravet som er benyttet på anadrom laks er satt for å beskytte smoltens saltvannstoleranse. Vi har på bakgrunn av dette valgt å sette pH-målet til 6,4 i smoltperioden og 6,2 resten av året (jf. Kalkingsstrategi i Mandalselva og Tovdalselva). I og med at tidspunktet for smoltutvandring fra Sireåna er ukjent, benytter vi data fra naboelva Kvina. Her vandrer laksesmolten i perioden 01.05-20.05 (Kristensen mfl. 2011).

For å oppfylle vannkvalitetsmålene, må pH heves fra pH 5,3 til pH 6,2 i vassdraget og til 6,4 om våren. For silikat kreves en lavere mål-pH fordi silikat avgifter aluminium på en annen måte (Teien mfl. 2009a). Mål-pH er satt til 5,9. Selv om pH i elva kan være høyere enn 5,3 i deler av året, er denne minimumsverdien grunnlaget for beregning av kalkmengder.

En kilometer fra elvemunningen slippes vannet fra kraftverket ut i elva. Dette gir svært høy vannføring på denne strekningen, og vannkjemien vil være totalt dominert av kraftverksvannet. Når elva renner ut i Ånafjorden vil noe av det ferske elvevannet blande seg med saltvann. Hovedmengden av elvevannet vil likevel legge seg som et ferskvannslag i øvre sjiktet av fjorden og vil i perioder med høy vannføring dominere i hele fjordbassenget. Dette forholdet vedvarer utover i fjorden til den munnar ut i åpent hav. Smolt som vandrer ut elva vil på denne måten vandre i ferskvann de fire km ut fjordarmen. Smolt under utvandring vil dermed vandre i «kraftverksvann» i 5,5 km før den når saltvann. Vannet som renner gjennom kraftverket må derfor behandles.

De øverste 1,5 kilometerne av Sireåna har lav vannføring. Vannlekkasjen fra dammen og periodevis flomvann bør behandles oppstrøms. I perioder med mye nedbør og liten vannlekkasje vil vann fra sidedebørsfeltet dominere i minstevannføringsløpet. Dette er surt vann som må avsyres.

Vi har valgt å dele kalkingsplanen inn i to deler. Den første delen tar for seg hovedvannføringen som går inn i tunellen ved dam Lundevatnet og slippes ut nedstrøms Logsfossen. Dette vannet vil periodevis også renne over damkronen. Den andre delen tar for seg sidedebørsfeltet nedstrøms dam Lundevatnet.

Kraftverkskonsesjonen vil bli tatt opp til revisjon i 2013 (Tjørhom og Omland 2009). Dette kan medføre krav om høyere minstevannføring på anadrom strekning av Sireåna. Vi har derfor også beregnet kalkmengder og kostnader ved en tenkt økning i minstevannføringen.

Vi skisserer her flere kalkingsstrategier, med sine respektive styrker og svakheter. Alle er teknisk mulig å gjennomføre, men det vil i mange tilfeller være et økonomisk spørsmål om den beste kalkingsstrategien kan realiseres.

3.2 Avsyingsmidler

Det vannkjemiske målet med vassdragskalkingen er å øke pH slik at avgiften av aluminium (Al) er så effektiv som mulig og til lavest mulig pris. Flere avsyingsmidler kan være aktuelle. Avgiften av Al bør skje raskt for å hindre subletale/letale effekter på fisk. Dette er spesielt viktig der doseringen er plassert i eller svært nær lakseførende strekning. Hvor raskt avgiftningsprosessene kommer i gang er avhengig av hvor raskt pH øker. pH-økningen er knyttet til kalkproduktenes løselighet og kinetikk (Teien mfl. 2009b), men selvsagt også til den dosen som brukes.

Kalkpartikler vil sedimentere i varierende avstand nedstrøms dosereren, avhengig av kornstørrelse og vannhastighet. Ved flom vil en stor andel kunne føres langt nedover i vassdraget, og da vil også tidligere sedimentert partikler kunne rives med av flommen og løses videre. Ved lav vannføring vil en forholdsvis stor andel av partiklene sedimentere (Teien mfl. 2009b). Tykke bunnlag med sedimentert kalk er uønsket fordi slike kalkbelegg endrer substratet for bunnlevende organismer og er lite vakkert å se på.

I dag dominerer kalktypene Miljøkalk VK3 og Miljøkalk NK3. Dette er tørt kalkmel, der 50 % av kalkpartiklene er under ca. 0,02 mm. Biokalk 75 er en ferdigprodusert kalkslurry, der 50 % av partiklene er under 0,005 mm. Resultater fra laboratorieforsøk og feltforsøk viser at Biokalk 75 løses raskere og mer fullstendig i vann enn Miljøkalk VK3 og Miljøkalk NK3 (Teien mfl. 2009b). Både forsøk på laboratoriet og i felt viser at 90-100 % av Biokalk 75 var løst innen 50 minutter etter tilsetning, mens kun 40-50 % av Miljøkalk NK3 og Miljøkalk VK3 var løst innenfor samme tid. Langtidsoppløsning i store vassdrag vil imidlertid gi en totaloppløsning av disse litt grovere kalktypene på i størrelsesorden 80-100 %.

Natriumsilikat (NaSi) er en konsentrert og basisk silikatløsning som består av små og store silikatmolekyler. Fordelingen av Si-tilstandsformene er avhengig av forholdet mellom SiO_2 og NaO_2 (Teien mfl. 2009a). NaSi avgifter Al ved at reaktive silikattilstandsformer reagerer med Al og danner mindre gjellereaktive Al-Si komplekser. Samtidig vil NaSi bidra til å øke pH som også avgifter Al parallelt. Til sammenligning avgifter kalk Al ved pH-økning. Dette igangsetter hydrolyse og polymerisering av Al, og over tid dannes mindre gjellereaktive høymolekylære Al-former.

Sedimentert kalk representerer et internt kalkreservoir, som vil gi en effekt i vassdraget over tid, mens kalkslurrien løses temmelig momentant og fullstendig. Driftsproblemer i et doseringsanlegg for litt grovere kalk kan derfor være mindre skadelig for fisk enn ved bruk av slurry.

NaSi avgifter Al raskere enn ved bruk av kalk, og NaSi avgifter Al ved lavere pH-nivåer enn kalk. I forhold til NaSi, bidrar imidlertid kalk med Ca, som har en beskyttende effekt for akvatiske organismer som fisk.

Selv om silikat har egenskaper som kan være fordelaktige, har kostnadene i forhold til bruk av kalk redusert bruken. Erfaringene med NaSi er i stor grad knyttet til forsøk og i liten grad til fullskala dosering. I dag doseres NaSi i to sideelver til Mandalselva samt i flere settefiskanlegg (Teien mfl. 2009a).

Fire steder er vurdert for plassering av kalkdoserer, se avsnitt 3.4. under. Lokaliteten oppstrøms Lundeavatnet er langt unna anadrom strekning og vi vil anbefale bruk av kalksteinsmel i dette anlegget. De tre resterende lokalitetene er alle i nærheten av dam Lundeavatnet. Alle lokalitetene er nært opptil områder hvor laks og sjøaure kan oppholde seg og gyte hvis de vannkjemiske forholdene bedres. Det er derfor et ønske om å begrense de subletale/letale effekter av blandsoner og unngå stor sedimentasjon av kalk. Vi vil på bakgrunn av dette ikke anbefale vanlig kalksteinsmel i disse doseringsanleggene. Til dette er lakseførende strekning for kort. Kalken vil ikke løses i løpet av 2 km elvestrekning, samtidig som sedimentering av kalk vil påvirke gyteområdene på en negativ måte. Vi

foreslår derfor bruk av kalkslurry eller silikat i dosererne. Kalkslurry er billigere enn silikat. For innsjøkalking anbefaler vi vanlig kalksteinsmel.

3.3 Kalkmengde og kostnader

Det er laget et grovt budsjett for de ulike avsyringssalternativene. Prisene for kalksteinsmel, kalkslurry og silikat samt fraktkostnader er gitt i **Tabell 4**. Vi har lagt til grunn 80 % kalkoppløsning og 86 % CaCO₃ i kalken (tilsvarende NK3 Kalk) og 100 % kalkoppløsning ved bruk av kalkslurry. Det er gjort ulike beregninger på denne bakgrunn.

Tabell 4. Pris per tonn og fraktkostnader for ulike typer avsyrimiddel (pers. medd. Edgar Vegge)

Avsyrimiddel	Pris per tonn	Fraktkostnader
Kalksteinsmel	350,-	250,- per tonn
Kalkslurry	330,-	300,- per tonn
Silikat	2120,-	10 000,- per transportlass

3.4 Plassering av doserere

For å få best utbytte av den relativt korte lakseførende strekningen av Sireåna bør en doserer for minstevannføringen være plassert så nær dam Lundevatnet som mulig. I et av alternativene for avgifting av hovedelva skisseres det en doserer oppstrøms Lundevatnet. Vi ser imidlertid på dette alternativet som såpas lite realistisk at vi ikke har utredet en nærmere plassering av denne. De ulike lokalitetene for kalkdoserer for minstevannføringsløpet er nærmere beskrevet med bilder i **vedlegg A**. Det er knyttet usikkerhet til om grusveien opp til dam Lundevatnet tåler daglig tungtransport.

4. Kalkingsstrategi for hovedelva

I denne delen anbefaler vi ulike strategier for å håndtere vannet som går gjennom kraftverket og ut i elva nedstrøms Logsfossen. Det er dette vannet som dominerer i de nedre delene av elva og ferskvannslaget i fjorden. Under flom vil vannet som overstiger kraftverkets slukeevne renne over damkronen og ut minstevannføringsløpet. Tiltakene baserer seg på å kalke vannet oppstrøms kraftverksinntaket ved dam Lundevatnet.

4.1 Innsjøkalking av Lundevatnet

Kalkingsstrategi

Det foreligger lite vannkjemiske undersøkelser fra Lundevatnet. Lundevatnet er en stor innsjø på 26,7 km² med et middeldyp på 175 m. Lundevatnet er surt med pH omkring 5,3. Vannets oppholdstid er beregnet til 0,8 år. Denne beregningen tar utgangspunkt i spesifikk avrenning i Sirafeltet. Vi antar at øvre deler av Kvina har tilnærmet lik avrenning. En relativt lang oppholdstid gjør lokaliteten egnet for innsjøkalking. Erfaring fra innsjøer som islegges om vinteren er at surt smeltevann skyver ut kalket vann oppunder isen. Vinter/vår-avrenningen fra slike innsjøer vil dermed periodevis kunne være sur. Lundevatnet er relativt vindpåvirket og blir sjelden islagt. Dette medfører lengre sirkulasjonsperioder, og sannsynlig få problemer med surt smeltevann i overflaten om vinteren.

Det vil antagelig ikke være nødvendig å innsjøkalke Lundevatnet hvert år. Oppholdstiden tilsier at annethvert år kan være riktig frekvens. Kalkoppløsningen er avhengig av pH, innsjødyp og hvor finmalt kalken er. Vi vil anbefale kalkkvaliteter med kornfordeling tilsvarende NK3.

Momentanoppløsningen kan da beregnes ved å bruke oppløsningskurver fra Sverdrup m. fl. (1985). Hvis pH i innsjøen er 5,3 og middeldypet 175 m, blir momentanoppløsningen av NK3 på 75 %. Data fra før og etter kalking av Nisser og Fyresvatn i 1996 og 1997 (middeldyp på hhv. 93 og 140 m) var imidlertid at kalkoppløsningen må ha vært nær 100 %, og vi velger derfor å bruke 100 % i beregningene.

Kalkbehov for oppkalking av Lundevann fra pH 5,3 til 6,0 blir 4463 tonn eventuelt 6063 tonn for pH 6,2. For av Lundevann skal opprettholde pH gjennom ett år trengs en andregangsbehandling. For pH 6 trengs det 9976 tonn kalk eventuelt 14439 tonn for pH 6,2.

Vi vil anbefale en vannkjemisk undersøkelse av Lundevatnet før endelig kalkingsstrategi besluttes (se kap. 6). Undersøkelser av labilt aluminium vil fastslå pH mål. Det er ikke gitt at pH-målet for innsjøkalkingen trenger å være 6,2. Nivået av labilt aluminium vil være med å avgjøre det.

Utgifter til kalk og transport for de ulike lokalitetene vil variere mellom år. De estimerte utgiftene med dagens priser (pers medd. Edgar Vegge, des. 2011) er gitt i **Tabell 5**.

Tabell 5. Utgifter til kalk og transport ved oppkalking og andregangskalking av Lundevann ved ulike pH mål.

Lokalitet Lundevann	Oppstrøms nedbørsfelt areal (km ²)	Tiltak	Avsyrings Middel	Kalk forbruk (tonn)	Utgifter kalk (mill)	Utgifter frakt (mill)
Mål pH 6,0						
Oppkalking til pH 6,0	2702	Innsjøkalking	Kalksteinsmel	4463	1,56	1,12
Andregangsbehandling	2702	Innsjøkalking	Kalksteinsmel	9976	3,49	2,49
Mål pH 6,2						
Oppkalking til pH 6,2	2702	Innsjøkalking	Kalksteinsmel	6063	2,12	1,51
Andregangsbehandling	2702	Innsjøkalking	Kalksteinsmel	14439	5,05	3,61

Biologisk effekt

Tiltaket vil gi en vannkvalitet som tilfredsstillende kravene til laks og sjøaure på strekningen mellom utløpet av kraftverket og ut Ånafjorden, samt i minstevannføringsløpet under flom. Økt pH i Lundevatnet vil også bedre forholdene for røye, ål og aure i innsjøen.

4.2 Kalkdoserer oppstrøms Lundevatnet

En kalkdoserer oppstrøms Lundevatnet med nødvendig kapasitet vil avgifte alt vannet fra nedbørsfeltene til Sira (1900 km²) og øvre deler av Kvina (800 km²). Dosereren vil bidra til god vannkvalitet på samme elvestrekning som innsjøkalking vil gi. Kalkdosering er et dyrere alternativ en innsjøkalking. Ved dette alternativet vil det også ta lang tid (2-3 år) fra oppstart til vannkjemien i Lundevatnet er på et akseptabelt nivå. Oppkalking av innsjøen bør derfor gjøres samtidig med oppstart av dosering.

Den spesifikke avrenningen for Sirafeltet er beregnet til 68 l/s/km² (antar lik avrenning i Kvina feltet) og middelvannføringen ved lokaliteten blir da 180 m³/s. Årsavrenningen blir 5783 mill m³/år. Årlig kalkmengde er beregnet 9751 tonn NK3 kalk (1,7 g kalk/m³).

Utgifter til kalk og transport for de ulike lokalitetene vil variere mellom år. De estimerte utgiftene med dagens priser (pers medd. Edgar Vegge, des. 2011) er gitt i **Tabell 6**.

Tabell 6. Årlige utgifter til kalk og transport.

Lokalitet	Oppstrøms nedbørsfelt areal (km ²)	Tiltak	Avsyrings middel	Årlig forbruk (tonn)	Årlig utgift kalk (mill)	Årlig utgift frakt (mill)
Oppstrøms Lundevatnet	2700	Doserer	Kalksteinsmel	9751	4,68	2,67

Biologisk effekt

Tiltaket vil gi god vannkvalitet med biologisk effekt tilsvarende kap 4.1.

5. Kalkingsstrategi for lekkasjevann/minstevannføring Sireåna

I denne delen diskuterer vi ulike strategier for å håndtere sidedebørsfeltet fra dam Lundevatnet til utløpet av kraftverket nedstrøms Logsfossen. Disse strategiene tar utgangspunkt i at lekkasjevannet og periodevis overløp fra dam Lundevatnet har god vannkjemi. Vi gir et overslag over kostnader for kalkslurry og silikat ved dagens og fremtidige vannføringsregimer i minstevannføringsstrekningen av Sireåna. Tiltakene skal kunne håndtere variasjoner i vannføring mellom 0,5 og 5 m³/s.

5.1 Kalkingsstrategi med dagens vannføringsregime i minstevannføringsløpet.

Kalkingsstrategi

En kalkdoserer nedstrøms dam Lundevatnet vil ta høyde for nedenforliggende nedbørsfelt. Dosereren vil dermed bidra til god vannkvalitet fra dette punktet og til utløpet av kraftverket nedstrøms Logsfossen. Sidedebørsfelt er beregnet til 2,94 km², den spesifikke avrenningen er beregnet til 44 l/s/km² og middelvannføringen ved lokaliteten blir da 130 l/s. Årsavrenningen blir 4,07 mill m³/år. I tillegg kommer lekkasjen fra dammen. Avsyringsmengden for nedenforliggende nedbørsfelt blir 9,4 tonn kalkslurry per år (2,3 g slurry/m³ eller 1,3ml slurry/m³) eller 33,3 tonn silikat (6,0 ml silikat/m³). Årlige utgifter til avsyringsmiddel og transport for de ulike lokalitetene vil variere mellom år. De estimerte utgiftene med dagens priser er gitt i **Tabell 7** (pers medd. Edgar Vegge, des. 2011).

Tabell 7. Årlige utgifter til kalk og transport ved bruk av ulike avsyringsmidler.

Lokalitet	Nedbørsfelt areal som skal dekkes	Tiltak	Avsyrings middel	Årlig forbruk (tonn)	Årlig utgift (kr)	Årlig frakt utgift (kr)
Dam Lundevatnet	2,94 km ²	Doserer	Kalkslurry	9,4	3102	2820
Dam Lundevatnet	2,94 km ²	Doserer	Silikat	33,3	70 596	10 000,- per transportlass

Biologisk effekt

Tiltaket vil gi en vannkvalitet som tilfredsstillende kravene til laks og sjøaure på strekningen mellom dosereren og utløpet av kraftverket. Uten avsyringstiltak mot flomvann og overløpsvann over dammen ved Lundevatnet, vil laksen i elva sannsynlig dø under slike episoder. Episoder under smoltutvandringen om våren vil være mest kritisk.

5.2 Kalkingsstrategi med mulig fremtidig vannføringsregime

Eksempel med minstevannføring på 5 m³/s:

Kalkingsstrategi

Økt vannføring i minstevannføringsstrekningen vil føre til at dette vannet blir totaldominerende i elveavsnittet. Selv om vannet i sidedebørsfeltet er surt, vil bidraget fra dette feltet bli prosentvis betraktelig mindre ved en økt minstevannføring. Med en avgifting oppstrøms, vil det ikke være behov for en doserer for å håndtere sidedebørsfeltet.

Biologisk effekt

Vannkvalitet i minstevannføringsløpet vil tilfredsstillere kravene til laks og sjøaure. Økt vannføring som følge av økt minstevannføring vil ha en svært positiv effekt på laksebestanden i elva. Det vil øke tilgjengelig habitat for laks og stimulere oppvandring i minstevannføringsløpet. Dette fører til økt lakseproduksjonen i elva. Vi går ikke nærmere inn på de positive effektene av økt vannføring her.

6. Før- og etterundersøkelser

6.1.1 Vannkjemiske undersøkelser i Lundevatnet

Det foreligger lite vannkjemiske data fra Lundevatnet. Før Lundevatnet eventuelt innsjøkalkes, anbefaler vi en vannkjemisk undersøkelse her som kan gi detaljerte data for pH og aluminiumsfraksjonene på flere dyp.

6.1.2 Gjellealuminium

Før eller under kalking anbefaler vi også en undersøkelse av aluminiumspåslag på fiskegjeller. Dette vil gi et sikrere mål på mengden labilt aluminium i Sireåna. Selv små konsentrasjoner av LAI er skadelig for smolt. Konsentrasjonene kan i noen tilfeller ligge under deteksjonsgrensen ved en kjemisk analyse av vannprøver. Konsentrasjonen av LAI er i størrelsesorden åtte ganger høyere på en fiskegjelle enn i elvevannet. Dette gjør analyser av fiskegjeller til et svært egnet analyseverktøy.

Prøver av gjellealuminium krever tilgang på parr. Påslaget av aluminium på aure- og laksegjeller er relativt likt. Det kan dermed brukes aureparr, da disse antagelig er lettere å få tak i. Parr settes i eksponeringsbur i 3-4 dager i 3-4 perioder under smoltutvandringsperioden om våren. Fiskegjeller tas etter 1, 2, 3 og 4 dager. Prøvene fryses og sendes til analyse.

6.1.3 Salinitet i fjorden

Det er beregnet salinitet i fjorden basert på vannføring i elva og fjordens utforming. Det er mange faktorer som påvirker blandingen av saltvann og ferskvann i et fjordbasseng. Vi anbefaler at det legges ut saltloggere på ulike dybder gjennom smoltutvandringsperioden for å forstå dynamikken og dermed kunne optimalisere kalkingsstrategien.

6.1.4 Overvåkningsprogram

Uansett hvilket kalkingsalternativ som velges, vil vi anbefale at tiltakene følges av et vannkjemisk undersøkelsesprogram, der målestasjonen er tilpasset tiltakene. Resultatene vil vise om de vannkjemiske målene er nådd og gi grunnlag for å tilpasse eller endre tiltakene. Det er særlig viktig at undersøkelsene gjøres i perioder hvor det antas at effektene av tiltakene kan være usikre, slik som under kraftige nedbørsepisoder og under smoltutvandringen.

I slike undersøkelser kan det være tilstrekkelig med få vannkjemiske parametere (pH, Ca) inntil tiltakene er optimalisert. Deretter bør undersøkelsene ta sikte på å dokumentere vannkvalitet (pH, Al-fraksjoner og ANC) og fiskestatus. ANC (syrenøytraliserende kapasitet) beregnes på basis av målte konsentrasjoner av hovedioner, og gir en god indikasjon på om vannkvaliteten er god nok for fisk.

7. Anbefalinger

Vi anbefaler å avgifte hovedelva ved å innsjøkalke Lundevatnet annethvert år. Dette er et rimeligere alternativ enn å plassere en doserer oppstrøms innsjøen. Innsjøkalking av Lundevatn vil gi god vannkvalitet fra utløpet av kraftverket til elvemunningen samt i det øvre ferskvannslaget i Ånafjorden.

Det bør plasseres en doserer nedstrøms dam Lundevatnet for å håndtere sidedbørsfeltet mellom dammen og kraftverksutløpet. Økes minstevannføringen på denne strekningen, vil vannkvaliteten være tilstrekkelig god uten doserer.

Det vil i mange tilfeller være et økonomisk spørsmål om den beste kalkingsstrategien lar seg gjennomføre i praksis. Vi vil ikke anbefale at det som eneste tiltak utplasseres én doserer ved dam Lundevatnet. Overløp over damkronen fra et ukalket Lundevatn vil raskt kunne drepe fisk i elva, og den nedre delen av vassdraget og ferskvannslaget i fjorden vil også være dødelig for smolt.

Tiltakene vil legge forholdene til rette for at laksen igjen kan fullføre sin livssyklus i vassdraget og over tid reetablere en laksestamme i vassdraget.

Før tiltakene iverksettes anbefaler vi forundersøkelser i Lundevatnet og Ånafjorden.




8. Litteratur

- Anon 2010. Status for norske laksebestander i 2010. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 2b. 516 s.
- Austnes, K. og Kroglund, F. 2010. Vurdering av fortsatt kalkingsbehov i kalkede innsjøer i Vest – Agder. NIVA-rapport 6062. 30 s.
- Direktoratsgruppa for gjennomføring vanddirektivet, 2009. Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann. 125s.
- Enge, E. 2009. Tetthetsregistreringer av laks og aure i lokaliteter i Sireåna. Notat 4s.
- Hesthagen, T., P. Fiske, and B. L. Skjelkvale. 2008. Critical limits for acid neutralizing capacity of brown trout (*Salmo trutta*) in Norwegian lakes differing in organic carbon concentrations. *Aquatic Ecology* 42(2):307-316.
- Hesthagen, T. og Østborg, G. 2008. Endringer i areal med forursingsskadde fiskebestander i norske innsjøer fra rundt 1990 til 2006. NINA Rapport 169.114 s.
- Hesthagen, T. 2010. Etablering av nye laksestammer på Sørlandet. Erfaringer fra arbeidet i Mandalselva og Tovdalselva etter kalking DN-utredning 7-2010.
- Hindar, A. 2011a. Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 5-8 første årene etter avsluttet kalking. NIVA-rapport 6260. 34 s.
- Hindar, A. 2011b. Reetablering av Vänerlaksen i Trysilvassdraget – forursingssituasjonen og behovet for kalking. NIVA-rapport 6269-2011. 20 s.
- Hindar, A. og Rognerud, S. 2011. Kvantifisering av kalkrester og metaller i sedimentet etter innsjøkalking. NIVA-rapport 6161. 42 s.
- Klif. 2010. Overvåkning av langtransportert forurensing luft og nedbør. Årsrapport- Effekter 2009. Klima- og forurensingsdirektoratet (KLIF). Statlig program for forurensingsovervåkning. Rapport 1078/2010. TA 2696/2010, 160s.
- Kroglund, F., and coauthors. 2007. Exposure to moderate acid water and aluminum reduces Atlantic salmon post-smolt survival. *Aquaculture* 273(2-3):360-373.
- Kroglund, F., and coauthors. 2008. Water quality limits for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to short term reductions in pH and increased aluminum simulating episodes. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(2):491-507.
- Kristensen, T., Hawley, K., Guttrup, J., Johannesen, Å., Kroglund, F. 2011. Etablering av smoltutvandringsovervåking og evaluering av fysiologisk smoltkvalitet i Kvina, 2011. NIVA rapport 6259-2011. 19s.
- Pettersson, L. E. 2010. Flomberegning for Sira ved Tonstad. NVE 6. 2010. ISSN: 1501-2840 s.23






- Saksgård, R., A. K. Schartau. 2011. Kjemisk overvåking av norske vassdrag - Elveserien 2010. NINA Rapport 748:74.
- Semb, R. 2001: Plan for overvåking av miljøtilstand, vannforkomster i Vest-Agder. Fylkesmannen i Vest-Agder, miljøvernavdelingen, rapport nr. 3-2001
- Sevaldrud, I. H. og Munitz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfiske i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelser 1974-1979. SNSF prosjektet, Intern Rapport 77/80. 95s.
- Stigebrandt A. 1989 Kompendium i marin systemanalys: Nr. 1. Strømning i sund. Göteborgs universitet, Oceanografiska Institutionen
- Sverdrup, H., Warfvinge, P. og Bjerle, I. 1985. Teori og beregningseksempel for kalkningen av en sur sjö. Lunds Tekniska Högskola, Sverige.
- Teien, H. C., Kroglund, F., Kleiven, M., Salbu, B., Rosseland B.O. 2009. Bruk av natriumsilikat i forhold til kalk for å avgifte aluminium i ferskvann og brakkvann. Rapport nr 2/2009. Institutt for plante- og miljøvitenskap – UMB.
- Teien, H. C., Kroglund, F. 2009. Komparative studier mellom kalksteinsmel (Miljøkalk VK3, Miljøkalk NK3) og kalkslurry BOKALK 75 - løselighet av Ca og økning i pH over tid. Rapport nr. 1/2009. Institutt for plante- og miljøvitenskap - UMB.
- Tjørhom, T.J. og Omland, O. 2009. Krav om revisjon av konsesjonsvilkårene for Sira-Kvina utbyggingen. 15 s.
- Østrem, G., Flakstad, N., Santha, M. 1984. Dybdekart over Norske innsjøer, et utvalg innsjøer utarbeidet ved hydrologisk avdeling. Meddelelse nr.48 fra hydrologisk avdeling NVE. 228 s.

Vedlegg A. Aktuelle lokaliteter for kalkdoserer






Sørsiden av dam Lundevatnet

<p>Merknader</p> <ul style="list-style-type: none"> -Stor høydeforskjell mellom vannspeil og dosereren krever pumpe for å få tilført vann til dosereren. -Grusveien opp til dam Lundevatnet kan være problematisk for tungtransport. 	
	
<p>Aktuell lokalitet for doserer. Bilde tatt mot Nord</p>	<p>Dam Lundevatnet. Bilde tatt fra aktuell lokalitet mot Nord-Vest.</p>

Nordsiden av dam Lundevatnet

<p>Merknader</p> <ul style="list-style-type: none"> -Stor høydeforskjell mellom vannspeil og dosereren krever pumpe for å få tilført vann til dosereren. -Grusveien opp til dam Lundevatnet og broen over dammen kan være problematisk tungtransport. -Vanskelig for en semitrailer å snu på Nordsiden av brua. 	
	
<p>Aktuell lokalitet for doserer ved enden av brua over dammen. Bilde tatt mot Nord.</p>	<p>Aktuell lokalitet for doserer ved enden av brua over dammen. Bilde tatt mot Vest. Veien fortsetter ned mot Lundevatnet.</p>
	
<p>Aktuell lokalitet for doserer ved enden av brua over dammen. Bilde tatt mot Øst.</p>	<p>Veien som går vestover og ned mot Lundevatnet fra den aktuelle lokaliteten. Bilde tatt mot Nord fra vanninntaket på den sørlige bredden av Lundevatnet.</p>

150 meter nedstrøms dam Lundevatnet

<p>Merknader</p> <ul style="list-style-type: none"> -Grusveien opp til dam kan være problematisk for tungtransport. -Stor høyde fra vannspeilet til dosereren. Kan ikke bruke ellevannet i anlegget. Aktuell sidebekk for vanttøførsel kan være sommertørr. -Tilførselsrør for kalk må graves under veien. 	
	
<p>Aktuell lokalitet for doserer 150 meter nedstrøms dam Lundevatnet. Bilde tatt mot Vest.</p>	<p>Aktuell lokalitet for doserer 150 meter nedstrøms dam Lundevatnet. Bilde tatt mot Vest.</p>
	
<p>Aktuell lokalitet for doserer 150 meter nedstrøms dam Lundevatnet. Bilde tatt mot Sørøst.</p>	<p>Sidebekk ved aktuell lokalitet. Kan brukes som vanninntak til doserer. Vannføring sommerstid er usikker.</p>

Vedlegg B. Dybdekart Lundevatnet (etter Østrem mfl. 1984)



NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no