

Kalkingsplan for Søgneelva i Vest-Agder



RAPPORT

Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

| | | |
|--|---------------------------------------|----------------------|
| Tittel Kalkingsplan for Søgneelva i Vest-Agder | Løpenr. (for bestilling) 6898-2015 | Dato 2.10.2015 |
| | Prosjektnr. Undernr. 15292 | Sider Pris 19 |
| Forfatter(e) Atle Hindar, Tormod Haraldstad og Rolf Høgberget | Fagområde Sur nedbør | Distribusjon Åpen |
| | Geografisk område Vest-Agder | Trykket NIVA |

| | |
|---|--|
| Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder | Oppdragsreferanse Kontrakt av 19.6.2015 |
|---|--|

| |
|---|
| <p>Sammendrag</p> <p>Søgneelva er et av få sørlandsvassdrag som ikke er fullkalket. Men selv om sur nedbør-belastningen har avtatt sterkt siden 1990, er episodisk forsuring fortsatt et problem i denne regionen. En akseptabel og stabil vannkvalitet er avgjørende for å nå de økologiske målene for vassdraget og sikre en stabil laksebestand. I foreliggende kalkingsplan er bruk av både kalk og silikat som avgiftingsmiddel vurdert, men vi har valgt å gå videre med kun kalk. Det er få større innsjøer i vassdraget, og vi har vurdert innsjøkalking som lite egnet i en tiltaksstrategi for laks. Alternativene har derfor stått mellom kontinuerlig/periodisk dosereralking eller terrengkalking. Begge alternativer anses som fullgode med hensyn til avgifting av aluminium. Dosereralking kan avgifte aluminium forholdsvis raskt i elva, mens terrengkalking holder aluminium tilbake i terrenget slik at det ikke når fram til overflatevannet. Vi har anbefalt tre ulike strategier, og valget mellom dem bør baseres på at det innhentes mer kunnskap om den vannkjemiske variasjonen i elva, spesielt mht episodisk forsuring. pH-styrt dosering med tørr kalk eller kalkslurry hhv. oppstrøms Kravlefossen og ved Underåsen er utredet, likeledes en trinnvis tilnærming med terrengkalking.</p> |
|---|

| | |
|---|---|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Laks Forsuring Avsyringsstrategi Kalkingiltak | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Atlantic salmon Acidification Deacidification strategy Liming |
|---|---|



Atle Hindar
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder

Kalkingsplan for Søgneelva i Vest-Agder

Forord

Søgneelva er forsuret og har i Miljødirektoratets handlingsplan vært oppført på lista over aktuelle, nye kalkingsobjekter. Kalking av elva er også tatt inn som tiltak i forbindelse med vannforvaltningsplanen for Agder for 2016-2021. I forespørsel av 27.4.2015 ber Fylkesmannen i Vest-Agder om tilbud på en kalkingsplan. NIVAs tilbud ble valgt og kontrakt underskrevet 19.6.2015.

Planen er basert på eksisterende data og befaring foretatt 28.9.2015.

Kontaktperson hos fylkesmannen har vært Birgit Solberg. Vi takker for samarbeidet.

Grimstad, 2. oktober 2015

Atle Hindar

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 6 |
| 1. Bakgrunn | 7 |
| 2. Vassdraget | 7 |
| 3. Forsuringssituasjonen | 9 |
| 4. Tiltaksstrategier | 11 |
| 4.1 Eksisterende kalking | 11 |
| 4.2 Alternativer ved fullkalking | 12 |
| 4.3 Dosererkalking og/eller terrengkalking | 13 |
| 4.4 Kalkberegning for dosering | 13 |
| 4.5 Lokalisering av kalkdoseringsanlegg | 14 |
| 4.6 Kostnader | 15 |
| 4.6.1 Dosererkalking | 15 |
| 4.6.2 Terrengkalking | 16 |
| 4.6.3 Terrengkalking og dosererkalking | 16 |
| 4.6.4 Usikkerheter | 17 |
| 5. Samlet vurdering og anbefaling | 17 |
| 6. Referanser | 18 |

Sammendrag

Søgneelva er et av få sørlandsvassdrag som ikke er fullkalket. Men selv om sur nedbør-belastningen har avtatt sterkt siden 1990, er episodisk forsuring fortsatt et problem i denne regionen. Særlig kraftige forsuringsepisoder inntreffer særlig når vindstyrkene innover land kommer opp til storm og orkan styrke og sjøsalter piskes opp og transporteres mot land. Ved ionebytting i jorda kan syre og giftig aluminium mobiliseres og gi uakseptabel vannkvalitet for fisk.

En akseptabel og stabil vannkvalitet er avgjørende for å nå de økologiske målene og sikre en stabil laksebestand. I arbeidet med kalkingsplanen har vi tatt utgangspunkt i den beskrevne forsuringssituasjonen. Vi har også tatt hensyn til at det i dagens situasjon legges ut 110 -160 m³ med skjellsand i sidebekker.

I foreliggende kalkingsplan er bruk av både kalk og silikat som avgiftingsmiddel vurdert, men på bakgrunn av erfaringer og kostnader ved bruk av silikat, valgte vi å gå videre med kun kalk.

Søgnevassdraget er et mellomstort vassdrag vest for Kristiansand. Det er få større innsjøer i vassdraget, og vi har vurdert innsjøkalking som lite egnet i en tiltaksstrategi for laks. Alternativene har derfor stått mellom kontinuerlig/periodisk dosereralking basert på pH-styring, terrengkalking og eventuelt en trinnvis kombinasjon av disse. Alle tre alternativer anses som fullgode med hensyn til avgiftning av aluminium, men valget mellom dem bør baseres på at den vannkjemiske variasjonen undersøkes nærmere, spesielt den episodiske forsuringen.

De tre alternativene som er foreslått i denne planen er som følger:

1. pH-styrt dosereralking med tørr kalk oppstrøms Kravlefossen med tanke på avsyring av hovedelva til nedstrøms samløpet med Utsognbekken,
2. pH-styrt dosereralking med kalkslurry ved Underåsen for avsyring av hele elva, eller
3. en trinnvis tilnærming, med terrengkalking av øvre tredel av nedbørfeltet som første trinn.

pH-styrt dosering oppstrøms Kravlefossen er det rimeligste alternativet, både fordi kalkmengden er forholdsvis liten og fordi kravet til en doserer her er mindre enn ved fullkalking. Kalking nedstrøms samløpet med Gumpedalselva ved Underåsen framstår som det beste alternativet hvis hele elva bør kalkes. Terrengkalking av den øvre tredelen av nedbørfeltet kan være et godt alternativ for å unngå episodisk forsuring, men representerer en større kostnad enn for dosering. Hvis det ikke oppnås god vannkvalitet helt til utløpet, kan det være at dosereralking likevel må benyttes. Med pH-styrt dosering kan en ta direkte hensyn til variasjonen i vannkvalitet og annen kalking i vassdraget, mens terrengkalking gjennomføres med en forhåndsbestemt kalkmengde.

Et problem med pH-styrt dosering kan være at forholdsvis lav pH (ned mot 5,5) i dagens forsuringssituasjon i Søgneelva ikke nødvendigvis sammenfaller med at det er giftig aluminium i vannet. En kan dermed risikere å dosere i perioder hvor kalking er unødvendig. På den andre siden kan for lav styrings-pH (for eksempel pH 5,0) gi perioder med giftig vann uten at det kalkes. Forholdet mellom pH og løst, uorganisk aluminium i Søgneelva bør derfor kartlegges nærmere.

Valget av kalkingsstrategi bør baseres på en bedre dokumentasjon av den vannkjemiske variasjonen i den øvre delen av vassdraget, dvs. i området Kravlefossen og ned til etter samløpet med Utsognbekken. I tillegg bør forskjellen i vannkvalitet her og ved elvas utløp dokumenteres før en eventuelt bestemmer seg for alternativ 1.

Summary

Title: Plan for liming of River Søgneelva

Year: 2015

Author: Atle Hindar, Tormod Haraldstad and Rolf Høgberget

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6633-7

River Søgneelva west of Kristiansand, southern Norway, is one of a few rivers in southernmost Norway that not yet has been limed, although acidification is regarded as a problem for the Atlantic salmon population. Acidification in this river is of an episodic character, and the most pronounced effects result from episodic input of sea salts during heavy storm and rain events. Under such events, sodium is exchanged in the soil with H^+ and aluminium ions, which are leached to surface waters thus resulting in potentially toxic conditions.

Use of both silicate and liming materials has been considered for the main river and its tributaries. Based on mixed experiences with use of silicate elsewhere and also considering the relative high costs, dry or slurried limestone powder are regarded more applicable. We have also considered catchment liming with coarse-grounded dolomite powder. Research results show that dolomite powder spread from helicopter in the typical terrain in this region (steep gradients, thin soils and high specific discharge) favors good contact between the dolomite and soil water. This ensures retention of aluminium in the soil even during sea salt episodes.

We recommend either use of a pH-controlled doser for dry or slurried limestone powder or a three-step approach with use of catchment liming of the uppermost third of the catchment as step one. Liming on a continuous or periodic basis from a pH-controlled doser upstream of the Kravlefossen water-fall for deacidification to downstream of the confluence with River Utsognbekken is one alternative. In that case the water quality further downstream has to be acceptable. If liming of the whole river is necessary, slurried limestone powder should be added on a continuous/periodic basis at Underåsen downstream the confluence with River Gumpedalselva.

Catchment liming will probably reduce the negative effects of sea salt episodes and other acid episodes, but has to be conducted by a predefined amount of dolomite powder. This is in contrast to pH-controlled doserliming, which can take into account both other liming activities (addition of shell sand in streams) upstream and the episodic nature of acidification effects in the river.

A problem with pH-controlled dosing is that relatively low pH (down to 5.5) in the present acidification situation not always results in toxic aluminium concentrations. A pH-controlled dosing system may thus be running in periods when dosing is unnecessary. On the other hand, if the trigger-pH is too low (e.g. 5.0) there may be periods with toxic water but without liming. The pH-toxic Al relationship should therefore be documented by monitoring in the river.

The choice of liming strategy should be based on a better documentation of the water quality variation in the river, especially the episodic nature of the acidification and the difference in water quality between the middle and lowermost river sections.

1. Bakgrunn

Søgneelva¹ er et av få sørlandsvassdrag som ikke er fullkalket. Men selv om sur nedbør-belastningen har avtatt sterkt siden 1990, er episodisk forsuring trolig fortsatt et problem. En akseptabel og stabil vannkvalitet er avgjørende for å nå de økologiske målene og sikre en stabil laksebestand.

Vassdraget står på Miljødirektoratets liste over nye, prioriterte kalkingsvassdrag (Miljødirektoratet 2015). Behov for kalkingstiltak er også satt opp i vannforvaltningsplanen for vannregion Agder for perioden 2016-2021. Dette er foranledningen til forespørselen om en kalkingsplan. Samtidig kan vassdraget ha en verdi som ukalket, slik at utviklingen i forsuringseffekter kan følges, slik Gabrielsen mfl (2010; 2014) påpeker.

Vurderingen av forsuringssituasjonen er en del av oppdraget. I arbeidet med kalkingsplanen har vi tatt utgangspunkt denne situasjonen. Vi har også tatt hensyn til at det i dagens situasjon legges ut 110-160 m³ med skjellsand i sidebekker.

2. Vassdraget

Søgnevassdraget (NVE ID 022.1Z) i Vest-Agder er middels stort og ligger inneklemt mellom Mandalselva og Lundeelva i vest og Otra i øst (*Figur 1*). Nedbørfeltet er 209,4 km², er langstrakt og er uten større innsjøer. Rossevatn i nedre del er største innsjø med et areal på 1,33 km². Totalt tilsig er 197 mill m³/år, noe som gir en midlere spesifikk avrenning på 30 L/s km² og middelvannføring på 6 m³/s.

Vassdraget framstår som svært flomutsatt fordi det ikke er innsjøer som kan holde vannet tilbake. Det er også uregulert, slik at det ikke er manøvreringsmuligheter ved flom. Skrånende terreng og lite løsmasser på fjell fremmer også rask respons på nedbør. Elvestrengen er imidlertid svært flat og meandrerende i store partier.

En hovedforgreining i vassdraget er ved Underåsen, der Gumpedalselva (20,9 km²) kommer inn i vassdraget (*Figur 2*). Arealet oppstrøms dette samløpet består av hovedvassdraget (Kravleelva med et nedbørfelt på 61,5 km²) og Gumpedalselva (21 km²), totalt 82,5 km², som er 39 % av hele vassdraget. En ny hovedforgreining er i Stokkelandsområdet, der Utsognbekken (40 km²) renner inn i hovedelva. Totalt areal oppstrøms dette samløpet er 130 km², som er 62 % av hele vassdraget.

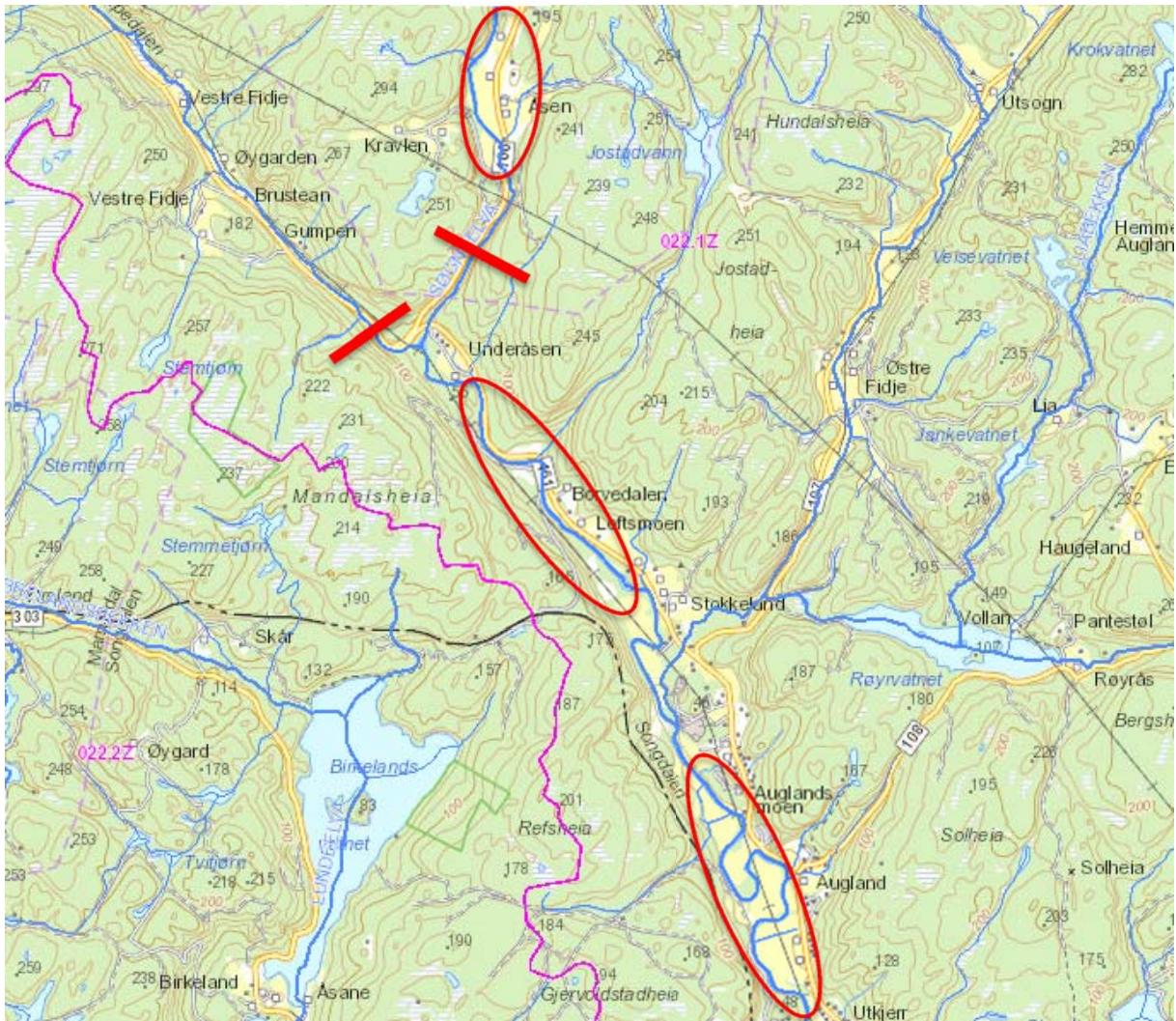
Lakseførende strekning er til Underåsen, 200 meter opp i Gumpedalselva og 700 meter opp i Kravleelva (Barlaup mfl. 1999), se begge figurer. Det er registrert gytelaks noen hundre meter opp i begge elvegreinene her om høsten, men gyteområdene her er svært begrenset og må anses som marginale. Strekningen videre nedover til samløpet med Utsognelva er imidlertid et viktig gyteområde for laks. Her er elva mer stilleflytende, men i enda større grad nedstrøms samløpet ved Stokkeland. Vi betrakter dette området som interessant for plassering av en eventuell doserer, og det mest egnede området er oppstrøms Utsognelva, se *Figur 2*.

Innsjøen Sognevatnet (ID 11078) i øvre del, med et nedbørfelt på 9,1 km², inngår i statlig program for forurensningsovervåking. Innsjøen undersøkes årlig. Dette nedbørfeltet med randsone bør om mulig unntas fra eventuell terrengkalking.

¹ Vi velger å bruke NVEs betegnelse Søgneelva, selv om både Songdalselva og Søgne- og Songdalselva også brukes. Det er også enkelte andre tilfeller der vi har valgt NVEs navnsetting framfor lokalnavn.



Figur 1. Nedbørfeltet til Sognevassdraget med elvestrenger. Antatt vandringshinder for laks ved Underåsen er markert med rød strek. Kart fra NVE Atlas.



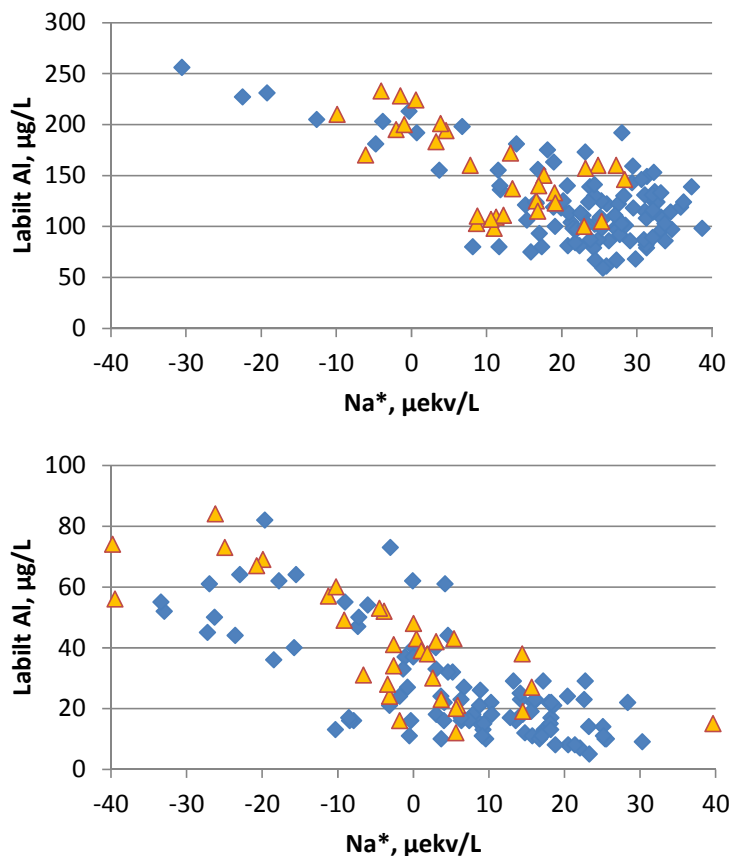
Figur 2. Områder som er vurdert for plassering av kalkdoserer (innsirklet). Vandringshindere er markert med røde streker. Kart fra NVE Atlas.

3. Forsuringssituasjonen

Selv om sur nedbør-belastningen har avtatt sterkt siden 1990 (Garmo mfl. 2014), er forsuring fortsatt et problem i Søgneelva, slik det er i de omkringliggende vassdragene, både vestover og østover. Alle større nabovassdrag i vest (Mandalsvassdraget, Audna, Lygna og Kvina) kalkes, men ikke Otra i øst. Store deler av Otrå nedbørfelt ligger imidlertid i områder i nord som i dagens situasjon er lite preget av forsuring. Vassdragene øst for Otra (Tovdalselva og Arendalsvassdraget) kalkes.

Sjøsaltepisoder har tidligere rammet vassdraget, og spesielt episoden i 1993 var dramatisk, med omfattende fiskedød. Slike episoder kan fortsatt forårsake mobilisering av uorganisk, monomert aluminium (labilt aluminium) i regionen, og på den måten være en trussel. Det viser upubliserte data fra sur nedbør-overvåkingen (Garmo mfl. 2015) i feltforskningsområdene Birkenes i øst (i Tovdalsvassdraget) og Øygardsbekken i vest (i Bjerkreimsvassdraget), se Figur 3. Negative verdier for beregnet konsentrasjon av ikke-marin natrium (Na^*) viser at det har skjedd en ionebytting i jorda med potensiale for utlekking av labilt aluminium. Selv i svært lave konsentrasjoner (ned mot $10 \mu\text{g/L}$) kan labilt aluminium være giftig for laksesmolt, jfr. grenseverdier i vannforskriften.

Andre forsureningsepisoder, forårsaket av snøsmelting og stor avrenning, kan trolig også gi periodevis dårlig vannkvalitet, men episodedynamikken bør dokumenteres bedre. Dette kommer vi tilbake til under anbefalinger.



Figur 3. Forholdet mellom ikke-marin natrium (Na^*) og labilt aluminium i Birkenesfeltet (øverst) og Øygardsfeltet (nederst) i årene 2013-2014 (blått) og i 2015 (oransje trekant). Data er vist med tillatelse fra Miljødirektoratet. De høyeste negative verdiene for Na^* er fra vinteren 2014 og vinteren 2015.

Selv om Søgnevassdraget ikke er del av Miljødirektoratets omfattende tiltaksovervåking i laksevassdrag, har elva vært undersøkt flere ganger de siste årene. Det tas også regelmessige prøver ved Søgne gamle kirke som del av Miljødirektoratets vannkjemikontroll.

I rapporten til LFI-Bergen og NIVA fra 1999 (Barlaup mfl. 1999) slås det fast at pH hadde økt de siste 10 år pga redusert sur nedbør og økt kalkingsaktivitet i vassdraget (utlegging av skjellsand). Men episoder, slik som omtalt over, kunne gi pH 5,4 og 52 µg/L labilt Al i hovedløpet og svært høye konsentrasjoner av gjelle-Al hos smolt. Det slås også fast at fangstene av laks og sjøaure hadde vært lave siden 1970-tallet, noe som ble understøttet av de ungfiskundersøkelsene som ble foretatt i 1998. Situasjonen var imidlertid langt bedre for sjøaure enn for laks. Bunndyrene viste også klare tegn på forurensingsskader. Kalking ble anbefalt, og ulike strategier antydte.

I rapporten fra LFI Uni Miljø i 2010 slås det fast at den opprinnelige laksebestanden anses som tapt, men at det foregår rekolonisering i vassdraget (Gabrielsen mfl. 2010). Det ble funnet ungfisk av laks i nesten hele vassdraget på 2000-tallet, men også registrert episodisk forurensing med fiskedød (laks og sjøaure i 2005). Situasjonen hadde bedret seg, men den kunne fortsatt karakteriseres som ustabil. Undersøkelser

fram til 2013 viste at den positive utviklingen hadde fortsatt. En videre positiv utvikling kunne gi grunnlag for en livskraftig og høstbar laksebestand også uten kalking (Gabrielsen mfl. 2014). Data for sulfat-konsentrasjon i innsjøer (Garmo mfl. 2014) viser imidlertid en utflating. En videre forbedring kan derfor ta svært lang tid.

4. Tiltaksstrategier

Denne planen tar utgangspunkt i forsuringssituasjonen slik den er beskrevet over. Vi tar også hensyn til at det legges ut 110-160 m³ med skjellsand i sidebekker. I arbeidet med planen er det ikke innhentet nye vannkjemiske og biologiske data. Til det er den episodiske forsuringen, som trolig er og vil være den største trusselen i framtida, for uforutsigbar.

Episodisk forsuring med skadepotensiale for laks er først og fremst forårsaket av sjøsaltepisoder, og disse inntreffer ikke hvert år. Om det kan forekomme episodisk forsuring med skadepotensiale for laks også uten sjøsaltpåvirkningen bør undersøkes. Slike episoder vil typisk forekomme under snøsmelting og etter kraftig regnvær, og vil kunne inntreffe flere ganger i året.

Som det vil framgå under, er det flere tiltaksstrategier som kan være aktuelle for Søgneelva, men valget må ha et grunnlag i en bedre oversikt over variasjonen i vannkjemisk, både over tid og mellom midterste og nedre del av elva. Det kan være slik at den sure vannkvaliteten i hovedsak tilføres vassdraget oppstrøms Stokkelandsområdet. Dette gjelder først og fremst mobilisering av surt vann med aluminium som resultat av sjøsaltpåvirkning, men kan også gjelde mer generelt. Se mer om dette under avsnittet om terrengkalking. I vassdraget nedstrøms Stokkeland kan det være at jordbruksarealene i all hovedsak nøytraliserer sur tilrenning fra heiområdene omkring. En mulig strategi vil derfor være å tilføre kalk rett oppstrøms den anadrome strekningen, og kalke kun for tilrenningen til området rett nedstrøms samløpet med Utsognbekken. Dette kommer vi tilbake til.

Det har vært gjennomført befaring i Stokkeland-Underdalsområdet i forbindelse med muligheter for plassering av en kalkdoserer. Vurderingen av egnethet for en doserer oppstrøms Kravlefossen er gjort på basis av vanlig kart og flyfoto. Potensielle kalkingslokaliteter er gitt i *Figur 2*.

En akseptabel og stabil vannkvalitet er avgjørende for å nå de økologiske målene og sikre en livskraftig laksebestand. Dette kan oppnås med ulike typer avsyrningsmetoder, og vi har tatt utgangspunkt i at flere strategier og avsyrningsmidler kan være aktuelle.

4.1 Eksisterende kalking

I følge forvaltningsplanen for Songdalselva som ble utarbeidet i 2011, ble det i 1995 satt i gang kalking av ni sidebekker til elva i Songdalen kommune ved at det én gang i året blir tippet et lass med skjellsand i bekkanten. Dette ble gjort i følgende bekker (navn brukt i foreliggende rapport i parentes): Gumpeåna (Gumpedalselva), Kravleelva, Stokkåna (Utsognbekken), Gjervoldstadbekken, Stemtjønnbekken, Potetbekken, Skeiebekken, Møllebekken og Rosselandsbekken. I følge data fra fylkesmannen brukes det totalt 110-160 m³ per år. Med en egenvekt av skjellsand på 0,8 (Barlaup mfl. 2002), blir dette ca. 100 tonn kalk, nær 30 % av det beregnede kalkbehovet ved dosererkalking for hele vassdraget.

Det vil være svært vanskelig å kalkulere inn effekten av denne kalkingen i foreliggende plan. Den vannkjemiske effekten av skjellsandoppløsning kan ikke beregnes teoretisk fordi den avhenger av hvordan skjellsanden legges ut og forholdene i bekken (helling, vannføring, vannstand, substrat). Men effekten av all kalking oppstrøms en eventuell dosererer blir i praksis tatt hensyn til hvis kalkdosereren er pH-styrt.

4.2 Alternativer ved fullkalking

Avsyringsstrategier i laksevassdrag kan være en kombinasjon av innsjøkalking, kontinuerlig avsyring i elv og terrengkalking. De to første teknikkene er brukt i hhv. 3000 innsjøer og 21 laksevassdrag (Miljødirektoratet 2015). Den siste teknikken er imidlertid ikke tatt i bruk i Norge, men har vært gjenstand for omfattende uttesting, først i Kalkingsprosjektet (Traaen mfl. 1997), deretter i forskningsprogrammet Miljøtiltak i skog (Eilertsen mfl. 1998; Hindar og Norgaard 1998) og videreført i Terrengkalkingsprosjektet i perioden 1993-2003 (Hindar mfl. 2012).

Avsyringsmidler for innsjøer og vassdrag i Norge er hovedsakelig forholdsvis finmalt kalk (partikkeldiameter 0-0,2 mm) som kalsiumkarbonat (CaCO_3). Karbonater er bufferstoffer som stabiliserer pH på akseptable nivåer selv ved overdosering. Oksider, hydroksider og lut er ikke anbefalt fordi pH kan bli for høy ved overdosering og feildosering. Silikatlut er et alternativ til kalk, og har vist seg å binde giftig aluminium raskt.

Når kalk løses opp nøytraliseres syre slik at pH øker og giftige Al-forbindelser avgiftes. Denne effekten kan gå forholdsvis raskt ved bruk av svært lettøselig kalk i tilstrekkelige konsentrasjoner. Men det har vist seg at silikatlut reduserer konsentrasjonen av den uorganiske, monomere fraksjonen av Al, som inneholder de potensielt giftige Al-formene, enda raskere (Teien mfl. 2006). Dette kan være en fordel når doseringen skjer i eller rett oppstrøms viktige deler av anadrom strekning. Rask fjerning av giftig Al vil også redusere faren for at det oppstår blandsoner mellom surt og mindre surt vann. I slike blandsoner dannes det aluminiumsformer som festes effektivt på fiskens gjeller slik at skader kan oppstå (Rosseland mfl. 1992).

Terrengkalking innebærer at kalken spres på land. For å ha en avgiftningseffekt i vann og vassdrag må dosen være tilstrekkelig høy til at pH økes til området 5,5-6,0 (Hindar mfl. 2003; Hindar 2005; Hindar og Wright 2005). Hvis en først oppnår dette, vil vannkvaliteten være stabil og aluminium holdes tilbake i nedbørfeltet og dermed ikke komme ut i overflatevannet i særlig grad. Effekten vil dessuten kunne vare i flere tiår (Traaen mfl. 1997; Hindar mfl. 2003), slik at en kan unngå både teknisk og administrativt arbeid i en lang periode.

Avsyringsstrategien for Søgneelva må sikre de biologiske målene som er satt for tiltaket på en best mulig måte og til en lavest mulig kostnad. Et annet viktig kriterium i denne flomutsatte elva er at tiltaket ikke skal være forbundet med ustabil drift av eventuelle doseringsanlegg. Dette gjelder særlig hvis tiltak blir basert på kun ett anlegg. Erfaring med drift av anlegg for ulike typer avsyringsmiddel tas derfor med i vurderingen.

Vi har brukt NVE Atlas og gått gjennom alle vassdragets REGINE-enheter for å se om det kan være innsjøer som er egnet for kalking og som i tillegg kan være en del av strategien for å fullkalke vassdraget. Innenfor enkelte REGINE-felt kunne kalking av enkelte innsjøer gi en god effekt i feltets utløp, men alle disse feltene er for små til at kalkeeffekten ville gi et tilstrekkelig bidrag i hovedelva.

En mulighet kunne være Rossevatn, som ligger i et nedbørfelt på 9 km². Men utløpet går direkte til anadrom strekning, og kalking av Rossevatn vil trolig ikke gi en tilstrekkelig stabil vannkvalitet til å sikre de vannkjemiske målene ned til utløpet av vassdraget. Elva må avsyres på en måte som hele tiden sikrer at vannkjemimålene oppnås. Skulle denne styringen ta hensyn til bidraget fra Rossevatn, ville det gi en forholdsvis komplisert styring av et doseringsanlegg. Vi har derfor ikke inkludert kalking av Rossevatn i planen.

Det som da gjenstår er avsyring ved hjelp av et doseringsanlegg og/eller terrengkalking.

4.3 Dosererkalking og/eller terrengkalking

Velges kontinuerlig dosering må man ta stilling til avsyrmingsmiddel. Valget står i praksis mellom ordinær vassdragskalk (kalkfiller med kornstørrelse 90 % < 0,09 mm og 50 % < 0,01 mm), finmalt kalkslurry (90 % < 0,01 mm og 50 % < 0,002 mm) og silikatlut.

I denne planen har vi valgt ikke å gå videre med silikatlut. Erfaringene med drift av silikatanlegg har vært noe blandet så langt, og årsakene til diverse driftsproblemer er for tiden under utredning. Situasjonen mht silikatdosering kan dermed stille seg annerledes når konklusjonene fra den pågående utredningen er klare. Kostnaden ved silikatdosering er svært høy sammenliknet med både vassdragskalk og kalkslurry. Kostnadsforholdet ble utredet i kalkingsplanen for Modalselva (Hindar 2013). Fordelene med rask avgifting i elva er neppe tilstrekkelig store til at den store prisforskjellen kan forsvares. Det er heller ikke et stort brakkvannsområde utenfor elva, der det potensielt kan remobiliseres giftig aluminium. Silikat kunne da være et bedre alternativ fordi aluminium blir sterkere bundet.

Basert på det ovenstående anbefaler vi bruk av vassdragskalk eller kalkslurry (Alternativ 1 og 2) dersom en velger dosering i elv. Prinsippet om økologisk og økonomisk optimal kalking tilsier at det til enhver tid må tilføres en riktig mengde kalk for å nå de vannkjemiske målene hele året. Målene kan være forskjellige over året, slik praksis er i de fleste laksevassdrag som kalkes. Bruk av kalkslurry kan være en fordel hvis kalken skal doseres direkte i anadrom strekning, fordi den løses svært raskt opp. Det vil si at det i svært liten grad blir sedimentert kalk i potensielle gyteområder. Da unngår en at porene mellom stein og grus i gytesubstratet tettes igjen og at kvaliteten på gyteområdene reduseres.

Velges dosering vil hele kalkingstiltaket kunne være avhengig av kontinuerlig drift (i de perioder det er behov for kalk) av ett doseringsanlegg, og det kan være en svakhet. Et annet forhold er at dosereren må håndtere svært stor og rask variasjon i vannføring. Driftsopplegget må derfor være tilsvarende sikkert.

En mulighet som framstår som interessant pga den store variasjonen i vannføring og vannkvalitet er å inkludere terrengkalking i strategien (Alternativ 3). Det er særlig i de indre områdene hvor det potensielt kan produseres en giftig vannkvalitet ved sjøsaltepisoder. Massivt sjøsaltnedfall forekommer sjeldnere her, noe som gir større muligheter for mobilisering av H⁺- og aluminiumsioner (Hindar mfl. 1994; Hindar mfl. 1995). Én mulighet kan dermed være å terrengkalke den øvre tredelen av vassdraget med 2 tonn/ha av grovdolomitt. Det vil avsyre hele dette området, dempe effekten av sjøsaltepisoder vesentlig og også representere en sikkerhet ved driftsavbrudd på en eventuell kalkdoserer. Velges denne strategien, kalkes den øvre tredelen med 14000 tonn grovdolomitt etter de samme prinsippene som skissert for Litleåna i Lygna (Hindar 2015). Med en effekt i 20 år, vil dette tilsvare en midlere årlig utgift på 1,4 mill. NOK. Det vil også være mulig å fordele spredningskostnaden over 2-3 år ved at halve mengden eller en tredel av mengden spres av gangen.

Hvis denne strategien velges, bør en vente med å etablere en kalkdoserer til det foreligger tilstrekkelig vannkjemisk og biologisk dokumentasjon til å avgjøre om dette er nødvendig.

Vi går videre med å utrede dosererkalking, både som eneste tiltak og i kombinasjon med terrengkalking.

4.4 Kalkberegning for dosering

Før vi tar stilling til kalktype for dosering, må vi undersøke mulige plasseringssteder for en eller flere kalkdoserere, noe som igjen kan være avhengig av hvor mye kalk som skal tilsettes og hvilke elvestrekninger som skal ha god vannkvalitet. Vi gjør derfor først en beregning av årlig kalkbehov.

Vi tar utgangspunkt i at dagens pH er 5,5, men her er vi usikre fordi datamaterialet fra vassdraget er utilstrekkelig. Av hensyn til beregninger og også som utgangspunkt for å vurdere tiltaksstrategi, bør det gjennomføres en vannkjemisk overvåking i vassdraget.

Utgangspunktet med pH 5,5 anses foreløpig som en sannsynlig middel-verdi basert på noe høyere pH i lange perioder og pH under 5,5 ved episodisk forsuring. Vi setter pH-målet til 6,2 i middel. Det kan være at det bør være 6,4 i smoltifiseringsperioden og 6,0 om høsten, slik at pH 6,2 vil være nær et årsmiddel. I beregningen tar vi hensyn til 90 % CaCO₃ i kalken og en total oppløsning i året på 80 eller 100 % for henholdsvis vassdragskalk og kalkslurry.

Basert på dette grunnlaget er årlig kalkbehov for hele vassdraget beregnet å være 300 tonn vassdragskalk eller 330 tonn kalkslurry. Det er her tatt hensyn til at kalkslurry består av 27 % vann. Med en egenvekt for kalkslurry på 1,85, tilsvarer det nær 180 m³ slurry/år. Sammenliknet med kalking av andre vassdrag, er dette en forholdsvis liten kalkmengde, og det vil ikke være noe problem å dosere alt fra ett anlegg. Vi antar imidlertid at vannkvaliteten kan være langt bedre i tilløpene fra nedstrøms Utsognbekken og mot utløpet i sjøen. Dette området er nesten 40 % av det totale nedbørfeltet. Det kan derfor vise seg at nødvendig kalkmengde er tilsvarende lavere enn det som er beregnet over.

4.5 Lokalisering av kalkdoseringsanlegg

Da er vi tilbake til spørsmålet om hvor dette anlegget skal stå og dermed hva slags kalk det kan være best å bruke. Et viktig utgangspunkt er at lakseførende strekning er opp til Underåsen, dvs. det området der Gumpedalselva renner inn i hovedelva. Nedbørfeltet før samløpet med Gumpedalselva er 61 km², som er 29 % av hele nedbørfeltet. Etter samløpet med Gumpedalselva er nedbørfeltet 90 km² (43 %) og etter samløpet med Utsognbekken ved Stokkeland er totalfeltet blitt 130 km², som er 62 % av hele nedbørfeltet. I dette området (*Figur 2*) kan det være svært aktuelt å sette opp en kalkdoserer.

Det kan anbefales kalkdosering ved Kravleneset (Alternativ 1) hvis anlegget skal gi en god vannkvalitet til nedstrøms Utsognbekken. Kravleneset ligger oppstrøms samløpet med Gumpedalselva og oppstrøms Kravlefossen (øverste alternativ i *Figur 2*). Det vil si at hele den øvre lakseførende strekningen av hovedelva kan avsyres. Overdoseringsfaktoren blir 2,1 i og med at litt over halyparten av nedbørfeltet etter samløp med Utsognbekken blir liggende nedstrøms doseringspunktet. Kalkmengden er anslått til 185 tonn/år. Hvis et anlegg her skal dosere 300 tonn vassdragskalk (som beregnet over for hele vassdraget) kan imidlertid overdoseringsfaktoren bli uforholdsmessig høy, om lag 3,4. Det kan redusere kalkoppløsningen for vassdragskalk og dermed gi større grad av sedimentasjon. Styringen av anlegget kan imidlertid sikres ved å hente inn et pH-styresignal lenger nedstrøms, slik at en får best mulig kontroll med vannkvaliteten videre nedover i elva.

Nedbørfeltet ved Underåsen rett nedstrøms samløpet med Gumpedalselva er 82,5 km², som er 39 % av hele nedbørfeltet. Med dosering her (Alternativ 2 og midterste alternativ i *Figur 2*) må kalkdosen multipliseres med en faktor på 2,5 for å avsyre hele vassdraget. En slik moderat overdosering er ikke noe problem ved bruk av kalkslurry, men kan i perioder med lav vannføring gi sedimentasjon av kalk ved bruk av vassdragskalk.

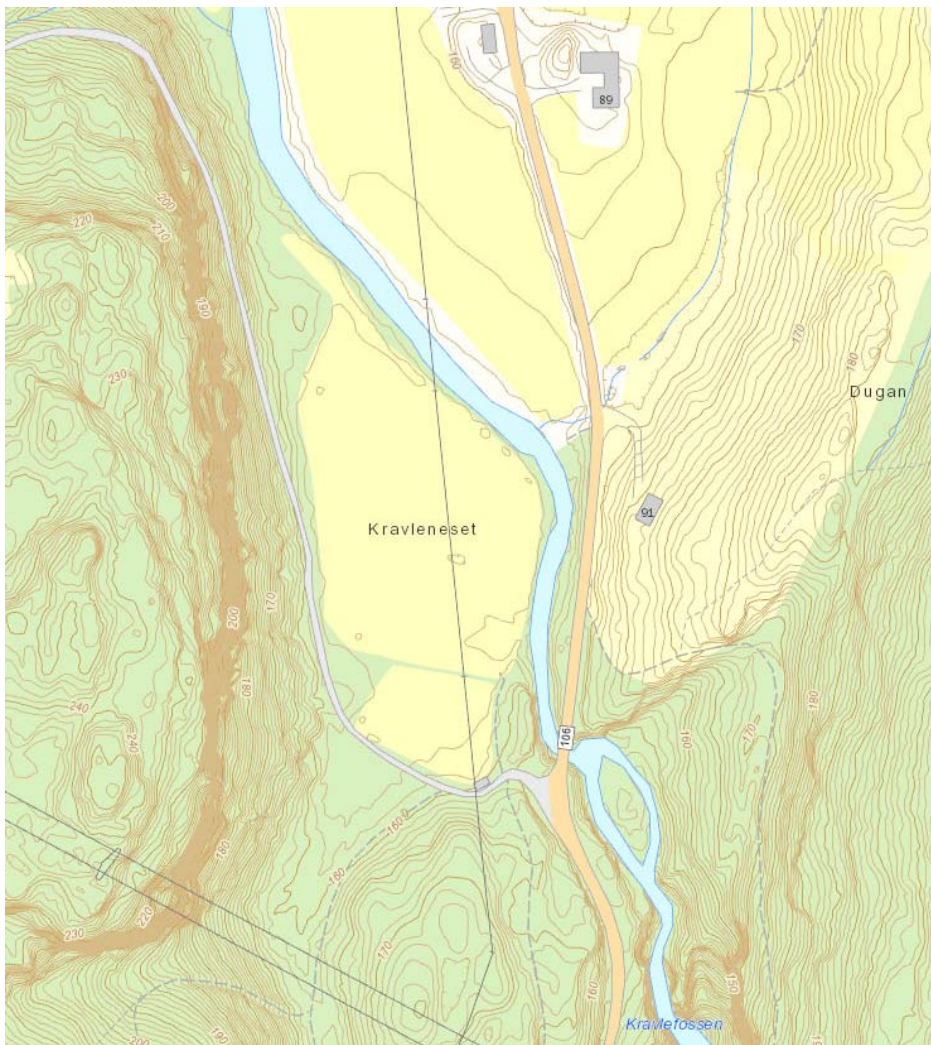
Hvis målet var å kalke for hele vassdraget kunne en god løsning også være at kalkdoseringen ble lagt til området rett nedstrøms samløpet med Utsognbekken. Da må kalkdosen økes med en faktor på 1,6 for å avsyre hele vassdraget, noe som ikke medfører ekstra sedimentasjon pga overdosering. I tillegg vil det gi enda bedre kontroll med vannkvaliteten i den nedre delen av vassdraget. Dette flate området, med en sterkt meandrerende elv, er imidlertid forholdsvis dårlig egnet for kalkdosering. Man mister dessuten den lakseproduserende strekningen oppstrøms. Vi går derfor ikke videre med denne muligheten.

Basert på vurderingene over vil vi anbefale området oppstrøms Kravlefossen (*Figur 4*) for kalking av elva ned til etter samløpet med Utsognbekken og området ved Underåsen (*Figur 5*) for kalking av hele vassdraget.

Kalking rett oppstrøms Kravlefossen gir svært gode forhold for kalkoppslemming og kalkoppløsning. Det kan derfor være akseptabelt å tilsette kalk tørt her. Dosering av omkring 185 tonn kalk/år vil også kreve et mindre doseringsanlegg slik at investeringskostnaden kan bli forholdsvis lav. Selv om anlegget er lite, bør

det være pH-styrt basert på pH målt nedstrøms, slik at det bare kalkes ved behov og slik at en reduserer muligheten for overdosering.

Ved Underåsen er forholdene for dosering ansett som forholdsvis gode pga et visst fall i elva og brukbare oppløsningsforhold. Dessuten vil mesteparten av det viktige produksjonsområdet for laks ned mot Stokkeland bli avsyret. Her er også forholdene for plassering av et anlegg og mottak av kalk ansett som gode. For å redusere sedimentasjon av kalk mest mulig i gytesubstratet anbefaler vi bruk av kalkslurry.



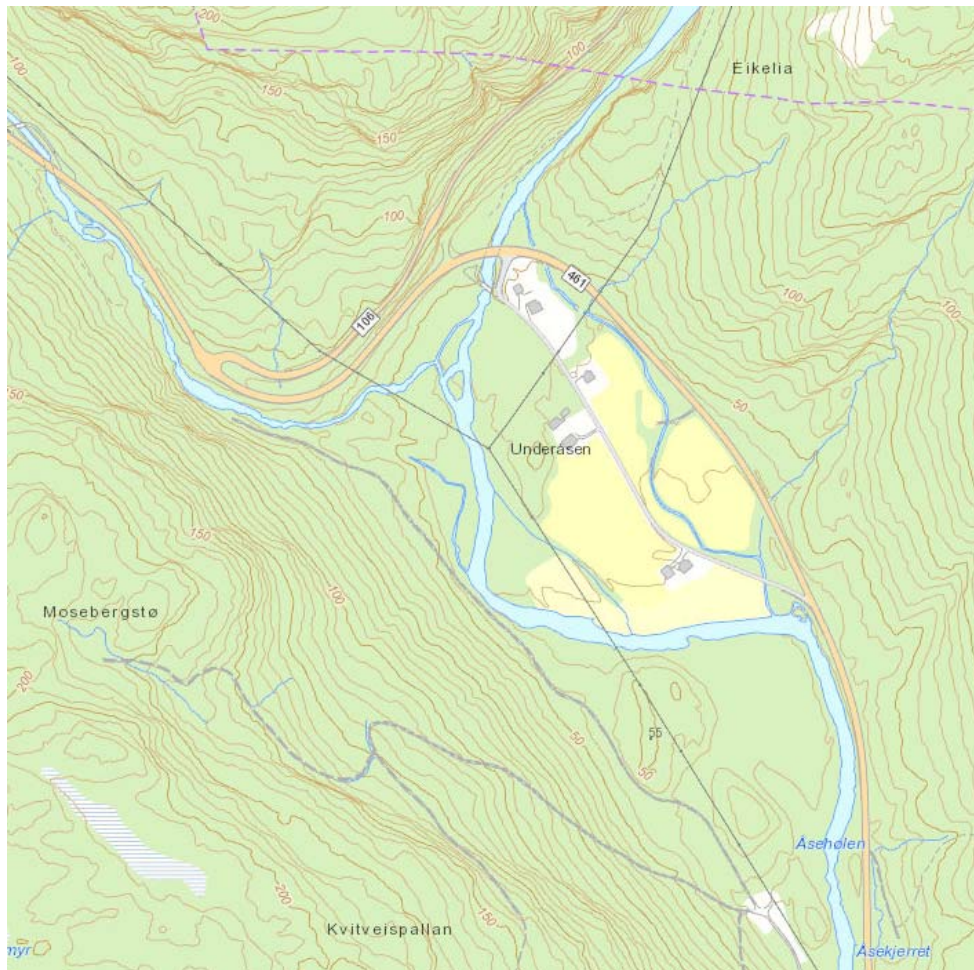
Figur 4. Området ved Kravleneset, oppstrøms samløpet med Gumpedalselva, anses som godt egnet for kalkdosering, se Alternativ 1.

4.6 Kostnader

4.6.1 Dosererkalking

Alternativ 1. Ved kalking med 185 tonn tørt kalkmel/år (ved Kravleneset) og en tonnpris på NOK 1000/tonn, vil kostnaden bli om lag NOK 185.000/år for kalken. Et anlegg kan kanskje koste nær 1 mill. NOK, og det må påregnes en årlig kostnad for drift, kontroll og administrasjon av tiltaket. Med en godt utbygd pH-styring er det potensial for å redusere denne kostnaden noe.

Alternativ 2. Ved kalking med 330 tonn kalkslurry/år (ved Underåsen) og en tonnpris på NOK 1500/tonn, vil kostnaden bli om lag NOK 500.000/år for kalken. Et doseringsanlegg vil trolig koste 2-3 mill. NOK, og det må påregnes en årlig kostnad for drift, kontroll og administrasjon av tiltaket. Med en godt utbygd pH-styring er det potensiale for å redusere kalkmengde og kostnaden betydelig.



Figur 5. Området ved Underåsen, nedstrøms samløpet med Gompedalselva i vest, anses som egnet for kalkdosering, se Alternativ 2.

4.6.2 Terrengkalking

Alternativ 3. Kostnadene ved terrengkalking av den øvre tredelen av nedbørfeltet med 14000 tonn grovdolomitt og en antatt tonnpris på NOK 2000/tonn blir 28 mill. NOK. Tonnprisen kan synes lav, men kalkmengden er stor. Erfaringstallene er imidlertid svært få, slik at det er betydelig usikkerhet knyttet til denne kostnaden. Med en antatt varighet på 20 år vil årlig kostnad bli 1,4 mill. NOK. Det er små muligheter for å redusere denne kostnaden - en lavere dose kan gi en utilstrekkelig effekt. Og det kan tenkes at dette tiltaket ikke er tilstrekkelig.

4.6.3 Terrengkalking og dosererkalking

Denne kombinasjonen kan være aktuell, men er vanskelig å kostnadsberegne fordi vi ikke kjenner effekten av terrengkalking på vannkvaliteten i hele vassdraget i perioder med episodisk forsurening. Utgangspunktet er kostnaden for terrengkalking av en tredel av nedbørfeltet på 1,4 mill NOK/år. Dosererkalking etter

Alternativ 1 (Kravleneset) med for eksempel 50 tonn kalk per år, vil medføre en tilleggskostnad for kalk på NOK 50.000/år. I tillegg kommer de samme etablerings- og driftskostnadene som for Alternativ 1.

4.6.4 Usikkerheter

Vassdraget er episodisk forsuret, og det kan være at de kostnadene som er angitt over kan være betydelig lavere fordi det ikke er behov for kalk annet enn i begrensede perioder av året.

Det kan være at kalking bare er nødvendig i:

- smoltperioden, eller bare i
- smoltperioden under episodisk forsuring, eller bare i
- smoltperioden under sjøsaltepisoder

I det siste tilfellet kan det være at kalking er unødvendig i år uten sjøsaltepisoder. Årlig kostnad kan derfor være fra svært lite til de kostnader som er angitt over.

Det kan også være, slik som antydnet og tatt hensyn til over, at det ikke er nødvendig å kalke for området nedstrøms Stokkeland. Vannkjemiske data, spesielt fra kontinuerlig logging av pH i midte og nedre del, samt stikkprøver for analyse av pH og aluminium under episodisk forsuring, vil kunne avklare dette.

For terrengkalking vil det neppe være mulig å redusere kostnaden på andre måter enn å redusere kalkdosen fra 2 tonn/ha og ned til for eksempel 1,5 eller 1 tonn/ha. Men da kan det være at effekten blir for svak, og vi anbefaler ikke en redusert dose. På den annen side vil en dose på 2 tonn/ha i den øvre tredelen av vassdraget kunne gjøre dosererkalking unødvendig.

5. Samlet vurdering og anbefaling

I foreliggende arbeid er forsuringssituasjonen i Søgneelva vurdert. Grunnlaget for denne vurderingen er undersøkelser utført i vassdraget, situasjonen i nærliggende vassdrag og generelle trender i forsuringsutviklingen i regionen. Forsuringssituasjonen, i form av redusert sulfatførsel har vært i bedring, men det forventes ikke ytterligere forbedring i løpet av de nærmeste årene. Det antas at dagens situasjon med episodisk forsuring hemmer utviklingen av en livskraftig laksebestand, og avsyringstiltak anbefales derfor.

Basert på vassdragets størrelse og andre karakteristika er kalkingsstrategi og aktuelle kalkingstiltak vurdert. Kalktyper, kalkmengder og kostnader er beregnet. Erfaring og resultater fra eksisterende kalkingstiltak i andre vassdrag er trukket inn i vurderingen.

De tre alternativene som er foreslått i denne planen er som følger:

1. pH-styrt dosererkalking med tørr kalk oppstrøms Kravlefossen med tanke på avsyring av hovedelva til nedstrøms samløpet med Utsognbekken,
2. pH-styrt dosererkalking med kalkslurry ved Underåsen for avsyring av hele elva eller
3. en trinnvis tilnærming, med terrengkalking av øvre tredel av nedbørfeltet som første trinn.

Det er mangel på gode vannkjemiske data fra elva, og valget mellom de tre alternativene bør baseres på at dette grunnlaget bedres. Det er særlig variasjonen i vannkvalitet og forskjellen i vannkvalitet mellom det midterste og nederste partiet i elva som vil være avgjørende for valget. Vi foreslår derfor å logge pH kontinuerlig i midtre og nedre del av vassdraget gjennom ett år, samt at det tas vannprøver i perioder med antatt episodisk forsuring begge steder i samme periode.

6. Referanser

- Barlaup, B.T., Fjellheim, A., Gabrielsen, S-E., Kleiven, E. og Kaste, Ø. 1999. Vannkjemiske og ferskvannsbiologiske undersøkelser i Songdalselva 1998. LFI, UiB, rapport 104. 46 s.
- Barlaup, B.T., Hindar, A., Kleiven, E. og Raddum, G.G. 2002. Bekkekalking med skjellsand og kalkgrus - effekter på vannkjemi og biologi. DN-utredning 2002-5. 66 s. + vedlegg.
- Eilertsen, O., Stabbetorp, O. E., Aarrestad, P. A. og Bakkestuen, V. 1998. Skogkalking med grovdolomitt - effekter på vegetasjon, s. 35-44. I: Nilsen, P. (red.) FoU-programmet "Miljøtiltak i skog". Sluttrapport. Aktuelt fra skogforskningen 2/98, NISK-NLH, Ås.
- Gabrielsen, S-E., Barlaup, B.T., Halvorsen, G.A., Skoglund, H., Wiers, T., Lehmann, G.B., Sandven, O.R. og Kleiven, E. 2010. Songdalselva i Vest-Agder - begynnende reetablering av laks etter redusert tilførsel av sur nedbør i Sør-Norge. Resultater fra undersøkelser i perioden 1998-2009. LFI Uni Miljø, rapport 167. 46 s.
- Gabrielsen, S-E., Skoglund, H., Halvorsen, G.A., Barlaup, B.T., Pulg, U., Skår, B., Wiers, T., Lehmann og Normann, E. 2014. Songdalselva i Vest-Agder. Reetablering av laks etter redusert tilførsel av sur nedbør på Sørlandet. LFI Uni Miljø, rapport 211. 48 s.
- Garmo, Ø., Skancke, L.B. og Høgåsen, T. 2014. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Vannkjemiske effekter 2013. Miljødirektoratet, rapport M-173/2014.55 s.
- Hindar, A. 2005. Whole-catchment application of dolomite to mitigate episodic acidification of streams induced by sea-salt deposition. *Sci. Total Environ.* 343: 35-49.
- Hindar, A. 2013. Avsyring av Modalsvassdraget, Hordaland. Notat til Miljødirektoratet. 6 s.
- Hindar, A. 2015. Terrengkalking som alternativ til silikatdosering i Litleåna, Lygna i Vest-Agder. NIVA-rapport 6837. 14 s.
- Hindar, A., Henriksen, A., Kaste, Ø. and Tørseth, K. 1995. Extreme acidification in small catchments in southwestern Norway associated with a sea salt episode. *Water, Air Soil Pollut.* 85: 547-552.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. and Semb, A. 1994. Acid water and fish death. *Nature* 372: 327-328.
- Hindar, A. og Norgaard, E. 1998. Skogkalking med grovdolomitt - effekter på avrenningsvann og jordvann, s. 30-34. I: Nilsen, P. (red.) FoU-programmet "Miljøtiltak i skog". Sluttrapport. Aktuelt fra skogforskningen 2/98. NISK-NLH, Ås.
- Hindar, A., Tørseth, K., Aas, W., Heier, L.S., Salbu, B., Strandring, W., Teien, H.-C., Bakkestuen, V., Brandrud, T.E., Aarrestad, P.A., Kroglund, F., Larssen, T., Nilsen, P. og Krokan, P.S. 2012. Terrengkalking for å redusere surhet og tilførsel av aluminium til vassdrag. Terrengkalkingsprosjektets oppsummeringsrapport. DN-utredning 5-2012. 152 s.
- Hindar, A. and Wright, R.F. 2005. Long-term records and modeling of acidification, recovery and liming at Lake Hovvatn, Norway. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 2620-2631.
- Hindar, A., Wright, R.F., Nilsen, P., Larssen, T. and Høgberget, R. 2003. Effects on stream water chemistry and forest vitality after whole-catchment application of dolomite to a forest ecosystem in southern Norway. *Forest Ecol. Manage.* 180: 509-525.
- Landbruksrådgiving Agder 2011. Songdalselva - Forvaltningsplanen. 59 s.
- Miljødirektoratet. 2015. Forslag til plan for kalking av vassdrag i Noreg 2016-2021. 24 s. (Høringsfrist 1.10.2015).
- Rosseland, B.O., Blakar, I., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D. H., Salbu, B., Staurnes, M. and Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters; Complex Al chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Environ. Pollut.* 78: 3-8.

Teien, H-C., Kroglund, F., Åtland, Å., Rosseland, B.O. and Salbu, B. 2006. Sodium silicate as alternative to liming-reduced aluminium toxicity for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in unstable mixing zones. *Sci. Tot. Environ.* 358: 151-163.

Traaen, T.S., Frogner, T., Hindar, A., Kleiven, E., Lande, A. and Wright, R.F. 1997. Whole-catchment liming at Tjonnstrond, Norway: An 11-year record. *Water Air Soil Pollut.* 94: 163-180.

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