

## 974 Status for ål i Siravassdraget

NINA Rapport

Eva B. Thorstad, Frode Kroglund, Randi Saksgård & Rolf Midtbø



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

### **NINA Temahefte**

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

### **NINA Fakta**

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

### **Annen publisering**

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

# Status for ål i Siravassdraget

Eva B. Thorstad  
Frode Kroglund  
Randi Saksgård  
Rolf Midtbø

Thorstad, E.B., Kroglund, F., Saksgård, R. & Midtbø, R. 2014.  
Status for ål i Siravassdraget. - NINA Rapport 974: 1-54.

Trondheim/Grimstad januar 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2583-0

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Anders Foldvik

ANSVARLIG SIGNATUR

Ingeborg Palm Helland Forskningssjef (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Sira-Kvina kraftselskap

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Per Øyvind Grimsby

FORSIDEBILDE

Ål fanget i ruser i Langhølen, nederst i Sira. Foto: Rolf Midtbø.

NØKKELOORD

- Norge, Vest-Agder og Rogaland, Siravassdraget, Åna-Sira

- Ål (*Anguilla anguilla*)

- Kraftregulering, dam, vandring, vannkvalitet, forsuring

KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00

**NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00

**NINA Tromsø**

Framsenteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00

**NINA Lillehammer**

Fakkalgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00

## Sammendrag

Thorstad, E.B., Kroglund, F., Saksgård, R. & Midtbø, R. 2014. Status for ål i Siravassdraget. - NINA Rapport 974: 1-54.

Bakgrunnen for denne undersøkelsen var at de siste kjente observasjoner av ål i Siravassdraget var fra tidlig på 1990-tallet, og det ble stilt spørsmål om ålen som art hadde forsvunnet fra vassdraget. Formålene med prosjektet var å undersøke og vurdere:

1. Tilstand for ål i Siravassdraget. Fiske etter ål ved el-fiske, ruser, teiner og markliner ble gjennomført for å undersøke om og eventuelt hvor det finnes ål i vassdraget.
2. Om det er sannsynlig at vassdraget er så forsuringspåvirket at det har bidratt til en tilbakegang av ål i vassdraget.
3. Om det er mulig å fange oppvandrende ål i åleledere montert ved dammen i utløpet av Lundevatnet.
4. Om det er mulig å finne løsninger ved Åna-Sira kraftverk slik at i) oppvandrende ål kommer forbi kraftverksutløpet, minstevannføringsløpet med redusert vannføring og dammen ved Lundevatnet, og ii) nedvandrende ål finner veien forbi kraftverket og ut i sjøen igjen uten å utsettes for dødelighet og skader i turbinene.

Undersøkelsen viste at det fortsatt er ål i vassdraget, og ål ble fanget både nederst i Sira og i Lundevatnet. Til sammen ble det fanget 35 ål i Sira nedenfor dammen ved Lundevatnet og 46 ål i Lundevatnet.

Vi vet ikke hvor stor tettheten av ål i vassdraget var tidligere, men antar at den generelle tilbakegangen av ålebestanden i Europa har bidratt til en tilbakegang også i Siravassdraget. Ålebestanden i vassdraget er trolig også begrenset av sur vannkvalitet, men forsurenningen har i likhet med andre vassdrag på Sørlandet ikke medført at bestanden er utryddet. Forsuringsfølsomhet til ål er generelt dårlig dokumentert, men ål kan bli negativt påvirket av forsurenning, selv om de påvirkes i mindre grad enn laks. Eventuell kalking kan ha en positiv effekt på tettheten av ål i Siravassdraget.

I Sira nedenfor Lundevatnet var fangstene av ål gode i Langhølen, nær elvemunningen, mens bare fire ål ble fanget lengre opp mot dammen ved utløpet av Lundevatnet. Det kan derfor være grunnlag for å vurdere om det er vanskelige forhold for oppvandring av ål ulike steder på strekningen mellom Langhølen og utløpet av Lundevatnet. Denne elvestrekningen har redusert vannføring siden det meste av vannet føres gjennom Åna-Sira kraftverk.

Dammen ved utløpet av Lundevatnet kan tenkes å forvanske og eventuelt redusere oppvandringen av ål, men synes ikke å være et totalt vandringshinder siden det ble fanget ål i Lundevatnet. Det ble ikke fanget ål i ålelederne montert ved dammen. Dette kan skyldes at det var lite ål i området ved ålelederne, og eventuelt at de få individene som eventuelt var i området ikke var motivert for oppvandring, eller at de ikke fant inngangen til ålelederne.

Blankål som vandrer nedover vassdraget på vei til sjøen igjen føres sannsynligvis gjennom kraftverksturbinene ved Åna-Sira kraftverk, siden mesteparten av vannet føres gjennom kraftverket og det ikke finnes omløpsmulighet ved dammen unntatt under flommer som overstiger kraftverkets slukeevne og vann renner over dammen. Selv under flom kan en stor andel av ålen føres gjennom kraftverket hvis kun en liten andel av vannet renner over dammen og resten går gjennom kraftverket. Dødeligheten og skadefrekvensen for ål som føres gjennom kraftverksturbinene er ikke kjent, men det må påregnes at i alle fall en andel av ålen ikke overlever.

Hvis full overlevelse av nedvandrende blankål forbi Sira-Kvina kraftverk skal sikres er det nødvendig med tiltak som sikrer at det finnes en alternativ nedvandningsvei som ålen benytter, samt at ål hindres i å føres gjennom kraftverket. Det mest effektive tiltaket for å hindre at ål føres gjennom kraftverket er trolig å etablere ei fysisk sperre i form av ei varegrind foran vanninntaket. Svenske forskere anbefaler at åpninger mellom spilene i varegrinder som skal stanse ål i kraftverksinntak bør være 18 mm eller mindre. Videre anbefaler de at slike varegrinder bør være skråstilt i forhold til horisontalplanet (30-35°). Vannhastigheten mot varegrinda bør ikke være for høy. Det må etableres en alternativ nedvandningsvei for ål, enten over dammen eller ved å installere fangstkammer eller omløpsrør i forbindelse med kraftverksinntaket.

Hvis vassdraget ovenfor dammen ved Lundevatnet åpnes for laks vil det være nødvendig å utvikle løsninger for nedvandrende fisk som fungerer både for ål og laks. Ei varegrind som hemmer ål vil også hemme smolt. Et slikt tiltak etablert for ål kan med små justeringer fungere som tiltak for smolt, men et tiltak for smolt behøver ikke å være tilstrekkelig for ål.

Tekniske løsninger for å lede nedvandrende ål og eventuelt laks forbi kraftverket ved Åna-Sira kan altså trolig utvikles, men slike løsninger er lite utprøvd i Norge og andre land, og de svenske erfaringene og anbefalingene er fra mindre kraftverk enn Åna-Sira kraftverk. Tiltak vil dermed kreve utvikling, uttesting og tilpasninger over flere sesonger, og de vil være kostnadskrevenende.

Så lenge det må påregnes dødelighet under nedvandring av blankål forbi Åna-Sira kraftverk bør det ikke gjennomføres tiltak for å lede flere ål oppover i vassdraget. Mest sannsynlig er det bedre å la ålen leve i sjøen eller nedre del av vassdraget enn å lede dem opp i vassdraget med fare for dødelighet under nedvandringen.

Eva B. Thorstad ([eva.thorstad@nina.no](mailto:eva.thorstad@nina.no)) og Randi Saksgård ([randi.saksgard@nina.no](mailto:randi.saksgard@nina.no)), Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685, 7585 Trondheim.

Frode Kroglund ([frode.kroglund@niva.no](mailto:frode.kroglund@niva.no)), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Jon Lilletuns vei 3, 4879 Grimstad.

Rolf Midtbø ([rolf.midtbo@dabb.no](mailto:rolf.midtbo@dabb.no)), Rekefjord, 4380 Hauge i Dalane.

# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>5</b>
<b>Forord</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Siravassdraget</b> .....	<b>10</b>
2.1 Kraftregulering .....	11
2.1.1 Tonstad kraftverk .....	11
2.1.2 Lundevatnet, Åna-Sira kraftverk og nedre del av Sira .....	11
2.2 Vannføring i Langhølen .....	12
2.3 Tidligere observasjoner av ål i vassdraget.....	15
<b>3 Metoder</b> .....	<b>16</b>
3.1 El-fiske .....	16
3.2 Fiske med ruser, teiner, markline og sniker .....	19
3.2.1 Vassdraget nedstrøms Lundevatnet.....	19
3.2.2 Lundevatnet .....	19
3.3 Åleledere ved dammen i utløpet av Lundevatnet.....	22
3.4 Vurdering av vannkjemi .....	23
3.5 Vurdering av ålens opp- og nedvandring ved Åna-Sira kraftverk .....	23
<b>4 Resultater</b> .....	<b>24</b>
4.1 El-fiske .....	24
4.2 Fiske med ruser, teiner, markline og sniker .....	25
4.2.1 Vassdraget nedstrøms Lundevatnet.....	25
4.2.2 Lundevatnet .....	26
4.3 Åleledere ved dammen i utløpet av Lundevatnet.....	26
4.4 Vurdering av vannkjemi .....	26
4.4.1 Generell kunnskap om effekter av forsurening på ål.....	26
4.4.2 Vannkvalitet i Siravassdraget .....	28
4.5 Vurdering av ålens opp- og nedvandring ved Åna-Sira kraftverk .....	33
4.5.1 Oppvandring av gulål.....	34
Generell kunnskap om oppvandring av gulål og kraftregulering.....	34
Forholdene for oppvandring av ål i Siravassdraget.....	36
4.5.2 Nedvandring av blankål .....	37
Generell kunnskap om nedvandring av ål og kraftregulering.....	37
Mulige tiltak for å redusere dødelighet av nedvandrende ål forbi kraftverk .....	40
Forholdene for nedvandring av ål i Siravassdraget.....	44
4.6 Installasjon av varegrind foran tunnelinntaket i Lundevatnet som spesifikt forslag til tiltak for nedvandrende ål .....	46
4.6.1 Hindre fisken fra å svømme inn mot turbin.....	46
4.6.2 Varegrinda .....	47
4.6.3 Fluktåpninger .....	49
4.6.4 Konkretisering av tiltak ved turbininntaket i Lundevatnet.....	49
<b>5 Oppsummering</b> .....	<b>52</b>
<b>6 Referanser</b> .....	<b>54</b>

## Forord

Ålen i Siravassdraget kan potensielt være negativt påvirket av kraftregulering, forsuring og den generelle tilbakegangen av ål i Europa. Sira-Kvina kraftselskap ga Norsk institutt for naturforskning (NIVA) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i oppdrag å undersøke status for ål i vassdraget sommeren 2013. Rolf Midtbø deltok i prosjektet som kjentmann i vassdraget og erfaren ålefisker.

Vi takker Sira-Kvina kraftselskap v/ Per Øyvind Grimsby for oppdraget og for et godt samarbeid under gjennomføringen av prosjektet. Videre takker vi Kristoffer Midtbø, Ronny Duås og Kristine Duås for hjelp under rusefisket, Rune Bergstøl for hjelp under el-fisket, Jim Güttrup for hjelp med montering av ålefellene ved dammen ved Lundevatnet, Ivar Skregelid (Sira-Kvina kraftselskap) for opplysninger om ål i vassdraget, Bjørn Mejdell Larsen (NINA) for bistand med vannkjemidata og Kari Sivertsen (NINA), for grafisk hjelp med **figur 1 og 2**.

Januar 2014

Eva B. Thorstad, prosjektleder



# 1 Innledning

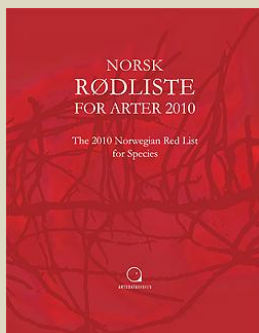
Bakgrunnen for denne undersøkelsen var at de siste kjente observasjoner av ål i Siravassdraget var fra tidlig på 1990-tallet. Det ble dermed stilt spørsmål om ålen som art hadde forsvunnet fra Siravassdraget. Ålen i vassdraget kan potensielt være negativt påvirket av kraftregulering, forsurening og den generelle tilbakegangen av ål i Europa.

Formålene med dette prosjektet var å undersøke og vurdere:

1. Tilstand for ål i Siravassdraget. Fiske etter ål ved el-fiske, ruser, teiner og markliner ble gjennomført for å undersøke om og eventuelt hvor det finnes ål i vassdraget.
2. Om det er sannsynlig at vassdraget er så forsureningspåvirket at det har bidratt til en tilbakegang av ål i vassdraget.
3. Om det er mulig å fange oppvandrende ål i åleledere montert ved dammen i utløpet av Lundevatnet.
4. Om det er mulig å finne løsninger ved Åna-Sira kraftverk slik at i) oppvandrende ål kommer forbi kraftverksutløpet, strekningen med redusert vannføring, og forbi dammen ved Lundevatnet, og ii) nedvandrende ål kommer forbi kraftverksinntaket uten å utsettes for dødelighet i turbinene, over dammen og forbi strekningen med redusert vannføring. Dette ble gjort ved en foreløpig teoretisk vurdering av mulige løsninger for opp- og nedvandrende ål forbi kraftverket.

I tillegg har vi inkludert informasjon om tidligere observasjoner av ål i Siravassdraget innhentet fra ulike personer i lokalmiljøet.

## Ål - en truet art, ført opp i Norsk Rødliste



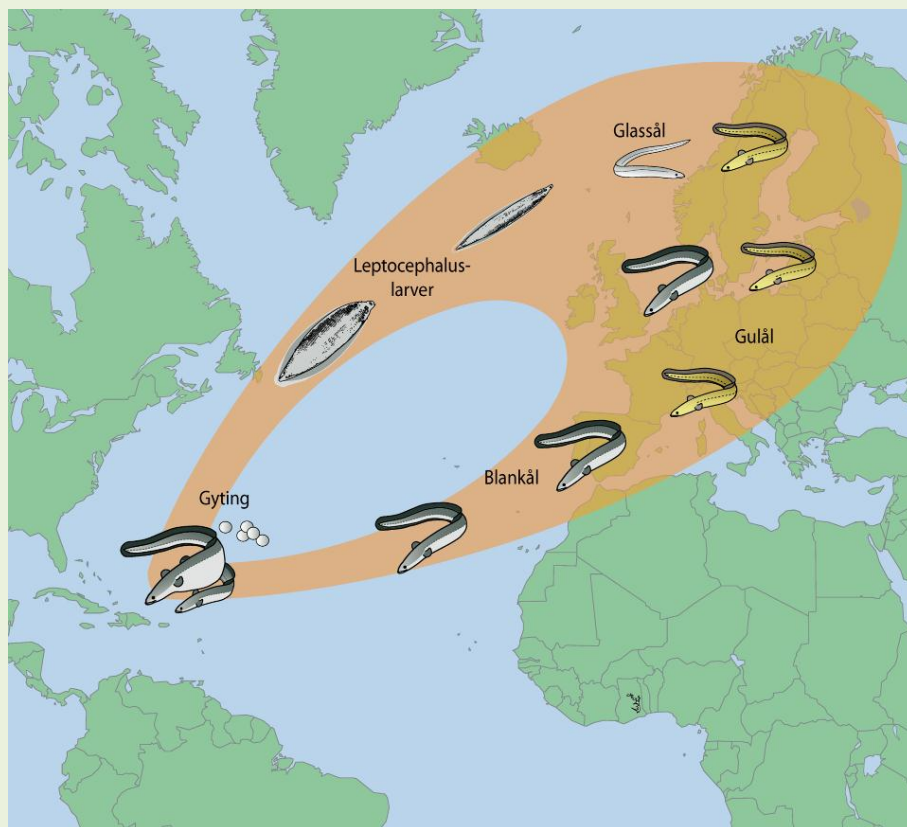
Ålen er ført opp i Norsk Rødliste for arter 2010, som gir en oversikt over sårbare og truede arter. Ålen er kategorisert som kritisk truet, og vurderes som en art med ekstrem høy risiko for utdøing.

Fritidsfiske og næringsfiske etter ål er ikke lenger tillatt i Norge.

## Ålens livssyklus

Ålen har en unik livshistorie (**figur 1**). De forplanter seg sannsynligvis i Sargassohavet, mens yngelen driver mer eller mindre passivt til Europa hvor de vokser opp i saltvann langs Atlanterhavs-kysten og Middelhavet eller i ferskvann. I Norge finnes gulål langs kysten som lever hele livet i sjøen. Vi har også gulål som vandrer opp i vassdragene og lever i innsjøer, elver og bekker. Når kjønnsmodningen begynner starter den lange vandringen tilbake til gyteområdet.

Ålens livssyklus består av ulike faser hvor de gjennomgår til dels store utseendemessige og fysiologiske forandringer (metamorfose). De ulike livshistoriestadiene har ulike navn og består av: **egg** (i Sargassohavet), **plommesekkclarver** (i Sargassohavet), **leptocephaluslarver** (pelagisk i havet på vei til Europa), **glassål** (nær kysten og tidlig stadium i ferskvann), **gulål** (viktigste vekstfase langs kysten og i ferskvann) og **blankål** (kjønnsmoden ål rett før og under vandring til gyteområdet i Sargassohavet, tar ikke til seg næring). For mer detaljerte beskrivelser av ålens livssyklus, biologi og utbredelse, se Thorstad mfl. (2010, 2011).



**Figur 1.** Ålens livssyklus. Figurdesign: Kari Sivertsen, NINA.

## Om ålens generelle tilbakegang i Europa

Ålebestanden er betydelig redusert i hele Europa i de siste tiårene. Tilbakegangen har skjedd siden starten av 1980-tallet, men i noen områder, som for eksempel i Østersjøen, kan tilbakegangen ha startet allerede på 1950-tallet. I elva Imsa i Rogaland har det vært en tilbakegang i alle fall fra starten av 1980-tallet (Durif mfl. 2008). I følge det internasjonale havforskningsrådet (International Council for the Exploration of the Sea, ICES) er bestandssituasjonen utenfor trygge biologiske grenser, og nåværende beskatning er ikke bærekraftig.

Årsaken til tilbakegangen er ikke kjent. Overfiske, habitatendringer, blokkering av vandringsruter med kraftverk og andre hindre, innførte parasitter og sykdommer, forurensing og klimaendringer inkludert endringer av havtemperatur og -strømmer, er blant de mulige årsakene. Flere faktorer kan ha virket sammen.

Siden ålen trolig tilhører en felles europeisk bestand, vil faktorer som påvirker bestanden i andre deler av Europa også påvirke bestanden i Norge, og omvendt. At ålen tilhører en felles bestand betyr at ål i ei norsk elv kan ha foreldre fra Middelhavet eller andre deler av Europa.

At ulike vassdrag ikke har egne bestander av ål, og at avkom ikke nødvendigvis kommer tilbake til foreldrenes oppvekstplass, har konsekvenser for forvaltning av ålen. Negative effekter som eventuelt bare rammer deler av utbredelsesområdet kan ha betydning for utviklingen av bestanden i hele utbredelsesområdet.

*En generell tilbakegang av den europeiske bestanden kan medføre at bestanden går tilbake i vassdrag der leveforholdene ikke er negativt påvirket – eller som i Siravassdraget der ålen kan være negativt påvirket av kraftregulering og forsurening, så kan den generelle tilbakegangen potensielt ha medvirket til en enda større tilbakegang enn forholdene i vassdraget tilsier.*

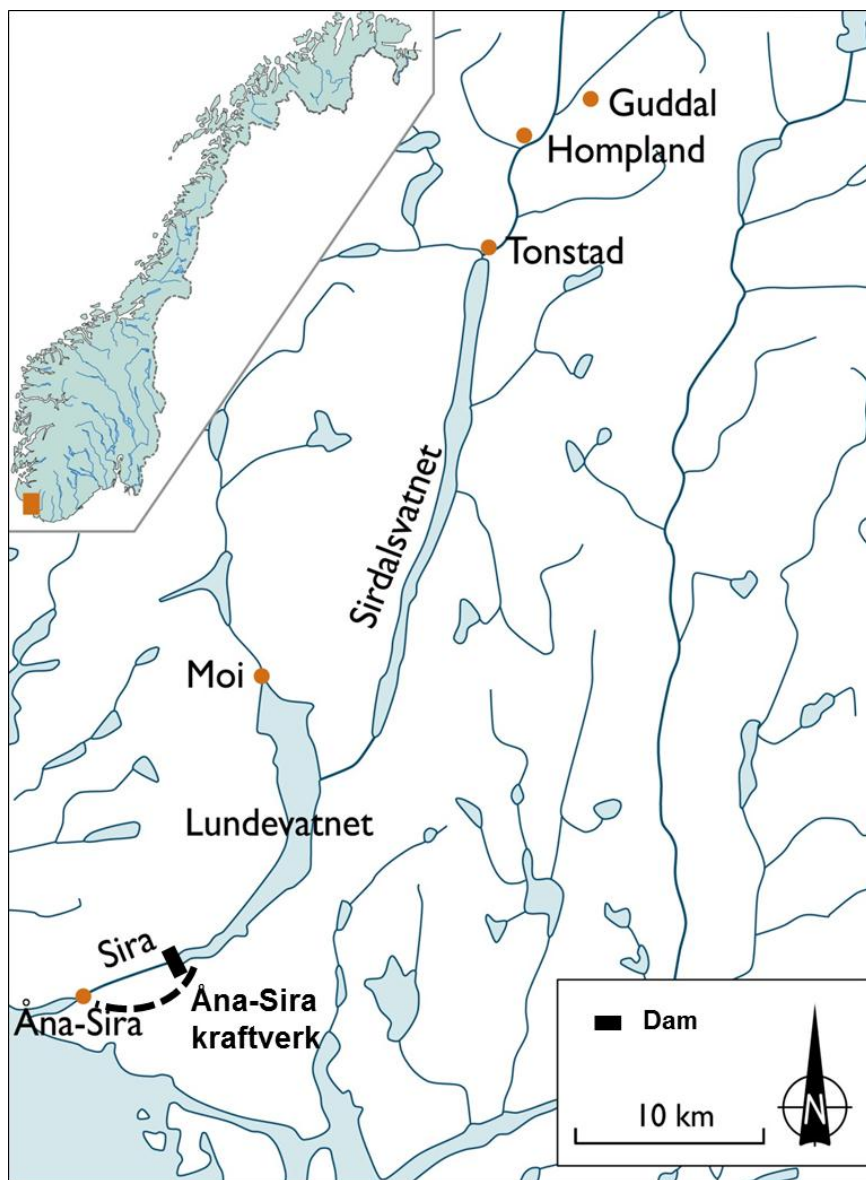


Blankål.

Foto: Eva B. Thorstad

## 2 Siravassdraget

Siravassdraget (026.Z, **figur 2**) har utspring i Sirdalsheiene. Elva Sira renner gjennom Sirdalen i Vest-Agder, passerer gjennom de to store innsjøene Sirdalsvatnet og Lundevatnet før den renner ut i den 3 km lange fjorden Åna ved Åna-Sira. Fra Lundevatnet og ned til fjorden utgjør elva fylkesgrensen mellom Vest-Agder og Rogaland. Sira er ca 150 km lang med opprinnelig nedbørsfeltet på 1920 km<sup>2</sup>. Gjennomsnittlig vannføring ved munningen til sjøen er 180 m<sup>3</sup>/s.



**Figur 2.** Kart som viser Siravassdraget og beliggenheten av Åna-Sira kraftverk. Åna Sira kraftverk har vanninntak nederst i Lundevatnet og utløp 2 km lengre nedstrøms (stiplet linje symboliserer overføringen av vann gjennom kraftverket). Elvestrekningen mellom kraftverksinntaket og –utløpet har redusert vannføring (minstevannføringsløp). Kraftverksutløpet ligger nær elvemunningen til sjøen. Ål er tidligere registrert så langt opp i vassdraget som Lilandsåna ved Guddal og Hemsåna ved Hompland. Figurdesign: Kari Sivertsen, NINA.

## 2.1 Kraftregulering

Sira er bygd ut for kraftproduksjon sammen med naboelva Kvina gjennom Sira-Kvina-utbyggingen. Siravassdraget er regulert med sju store kraftverksmagasin og fire kraftstasjoner (Duge, Tjørholm, Tonstad og Åna Sira kraftverk, **figur 3**).

### 2.1.1 Tonstad kraftverk

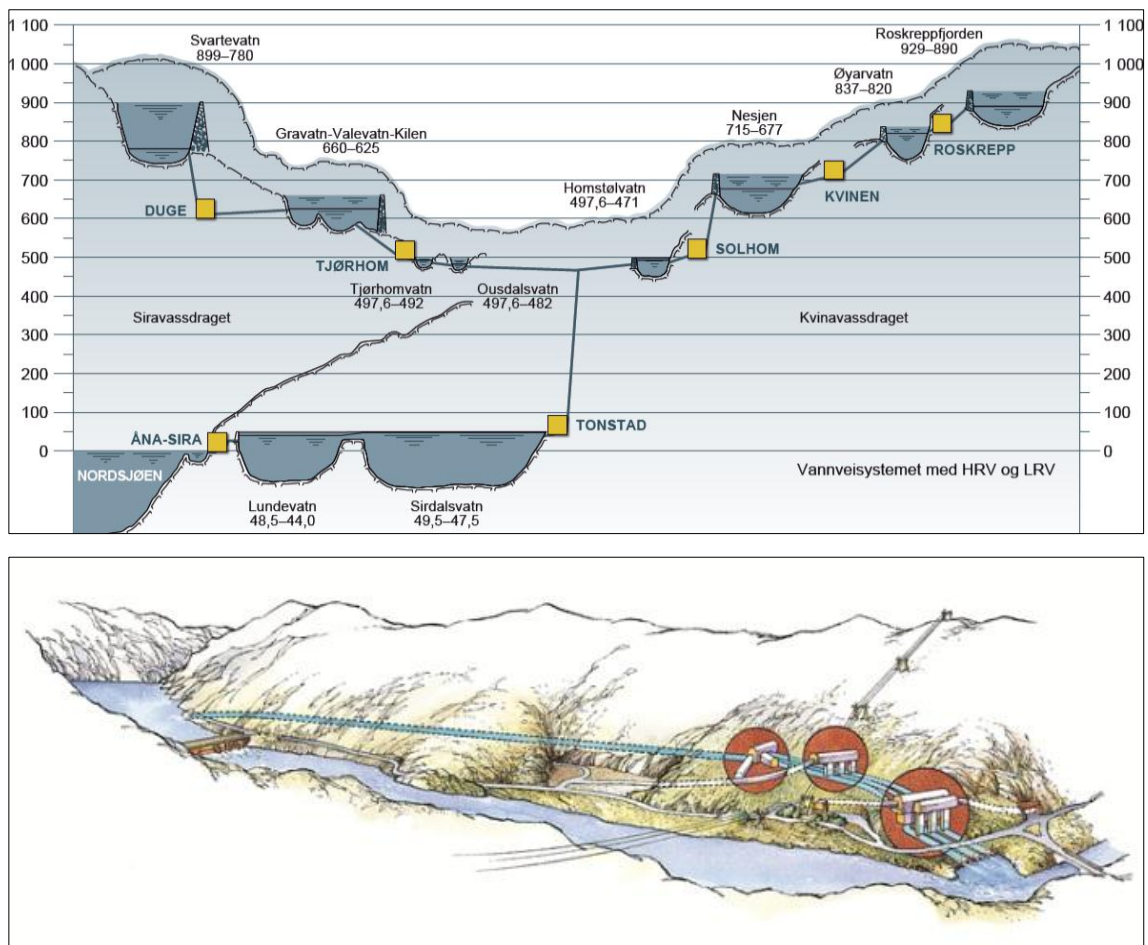
Øvre del av Kvinavassdraget blir overført til Sira via tunnel mellom Homstølvatn og Sirdalsvatn, hvor fallet utnyttes ved Tonstad kraftverk. Dette gir en øking av Siravassdragets nedbørfelt på ca 800 km<sup>2</sup>. Vann fra øvre deler av Sirdalsvassdraget føres også inn i tunnelen til Tonstad kraftverk. Kraftverket har utløp øverst i Sirdalsvatnet, ved Tonstad. Tonstad kraftverk ble satt i drift i 1968, men overføringer er gjort i flere byggetrinn fram til 1988. Kraftverket er Norges største kraftverk målt i produksjon. Oppstrøms Sirdalsvatnet har Sira sterkt redusert vannføring, spesielt i sommermånedene (Fjeldstad 2013).

### 2.1.2 Lundevatnet, Åna-Sira kraftverk og nedre del av Sira

Lundevatnet har et areal på 25,9 km<sup>2</sup> og ligger 49 moh. Laveste regulerte vannstand er 44,0 moh. og høyeste regulerte vannstand 48,5 moh. Lundevatnet er en av landets dypeste innsjøer med største dybde 314 meter. Vann fra Sirdalsvatnet renner inn i Lundevatnet via Sira ved Sirnes, og vann fra Hovsvatnet renner inn ved Moi. Ved utløpet av Lundevatnet er det en dam ved Åna-Sira kraftverk. Dammen ble bygd ferdig i 1971, og det er ikke gjort endringer på dammen siden.

Åna-Sira kraftverk utnytter et fall på 48 meter (**figur 3**). Kraftverket har tre Francisturbiner med slukeevne på 125 m<sup>3</sup>/s hver (3 x 50 MW, turtall 150/159,7 o/min). Vanninntaket ligger nederst i Lundevatnet. Utløpet ligger nedenfor Logsfossen, ca. 2 km nedstrøms dammen ved Lundevatnet, nær elvemunningen til sjøen.

Vannføringen i Sira nedenfor dammen ved Lundevatnet er ca. 0,7 m<sup>3</sup>/s. Dammen står på ei ur og vannføringen er resultatet av en lekkasje gjennom dammen som ikke har vært mulig å tette, og vannføringen er relativt stabil gjennom året. I tillegg tilføres vann fra sidedebørfelt nedstrøms dammen (areal 2,94 km<sup>2</sup>) med årlig middelvannføring 0,13 m<sup>3</sup>/s (Haraldstad mfl. 2012). Ved svært høy vannføring gjennom Lundevatnet kan vannføringen overstige slukeevnen til kraftverket. Vannet renner da over damkrona og ned i minstevannføringsstrekningen. Slike perioder kan inntreffe under store flommer, hovedsakelig høst og vår.



**Figur 3.** Øverst: Skjematisert framstilling av hovedmagasin og kraftverk i Siravassdraget samt øvre deler av Kvinavassdraget som er overført til Siravassdraget gjennom Sira-Kvinautbyggingen. Nederst: Ana-Sira kraftverk med vanninntak i Lundevatnet og utløp 2 km lengre nedstrøms. Kilde: Sira-Kvina kraftselskap.

## 2.2 Vannføring i Langhølen

Ål kan oppvandre i elva, men også vandre over land når dette er fuktig. Det vanskelig å avgjøre om ål har, eller ikke har, vanskeligheter med å forsere elvestrekninger ved ulike vannføringer, og om de eventuelt vandrer over land når forholdene er ugunstige. Det kan ikke utelukkes at ål vil ha vanskeligheter under oppvandring når vannføringen i hovedelva er høy. Det foreligger vannføringsdata fra stasjon 026.18 Langhølen fra oktober 2004 (overvåking av pålegg fra 1. jan. 2000).

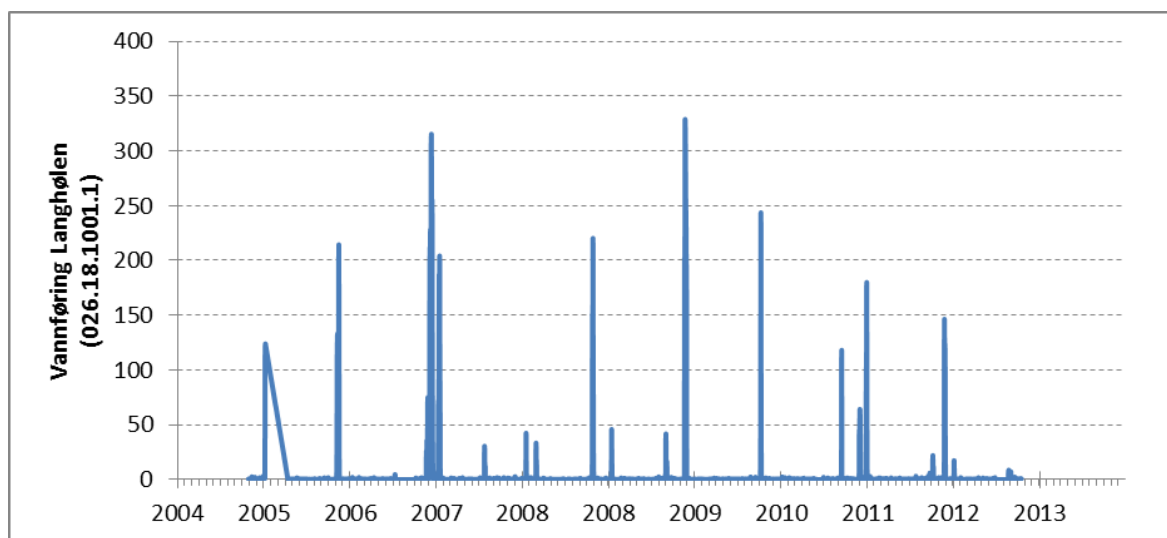
Vannføringen i Langhølen er normalt lav og lavere enn  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (tabell 1, figur 4). I perioder kan vannføringen være meget høy. Innenfor perioden oktober 2004 til oktober 2013 var vannføringen  $> 10 \text{ m}^3/\text{s}$  i 5,7 % av dagene.

I 2013 var det ekstra vannslipp ut fra Lundevatnet som følge av vedlikeholdsarbeid. Nedtapping av Lundevatnet resulterte i kraftig økning i vannføringen i Langhølen fra 13. august 2013 (figur 5). Denne flommen varte ut måneden. Vannføringen sommer og høst 2013 var innenfor nivåer som må betraktes som normalt forekommende i Sira. Basert på fotografier

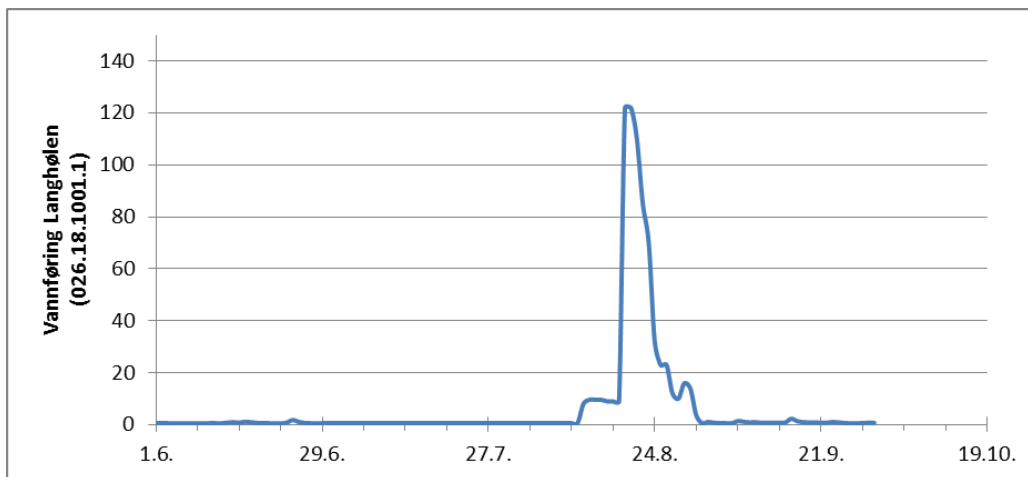
tatt henholdsvis 22. februar 2012 og 20. august 2013 gir en vannføringsøkning fra 1,2 m<sup>3</sup>/s til 122 m<sup>3</sup>/s en betydelig endring i vanndekt areal og vannhastigheter (se foto nedenfor).

**Tabell 1.** Vannføringsdata fra stasjon 026.18.1001.1 Langhølen for perioden oktober 2004 til oktober 2013. I tabellen er antall dager med vannføring innenfor ulike intervall summert, samt angitt som prosentandel av totalt antall dager i perioden (n = 3139 dager).

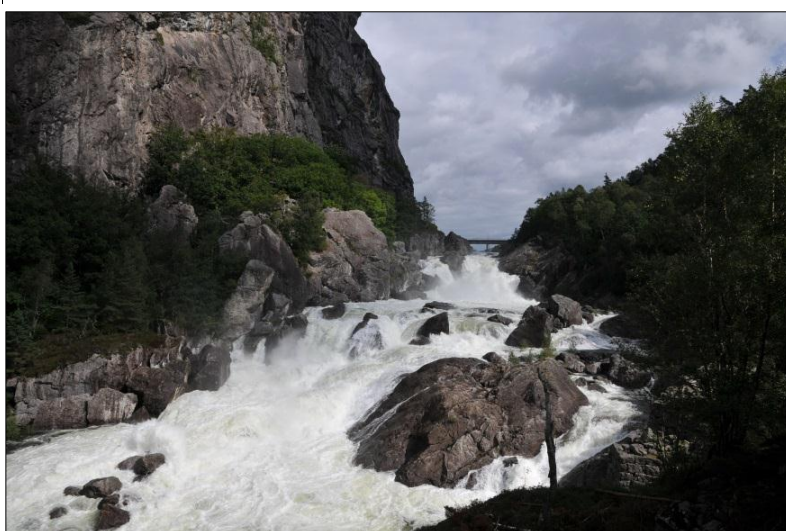
Vannføring m <sup>3</sup> /s	Antall dager	%-andel
< 0,1	185	5,9
0,1-1	2466	78,6
1-2	259	8,3
2-10	49	1,6
10-50	66	2,1
50-100	54	1,7
100-200	44	1,4
> 200	16	0,5
Sum dager	3139	



**Figur 4.** Vannføringsdata fra stasjon 026.18.1001.1 Langhølen for perioden oktober 2004 til oktober 2013.



**Figur 5.** Vannføringsdata fra stasjon 026.18.1001.1 Langhølen i 2013.



*Elvestrekningen nedenfor dammen ved Lundevatnet. Øverst: Foto tatt 22. februar 2012. Vannføring i Langhølen var da på 1,2 m<sup>3</sup>/s. Nederst: Foto tatt 20. august 2013. Vannføring i Langhølen var da på 122 m<sup>3</sup>/s. Foto Frode Kroglund.*



## 2.3 Tidligere observasjoner av ål i vassdraget

Rolf Midtbø har snakket med Sigbjørn Sandsmark, Leif Hamre, Ove Elve og flere innbyggere på Moi om tidligere observasjoner av ål i vassdraget.

Sigbjørn Sandsmark (gårdbruker på Sandsmark ved Sirdalsvatnet) fortalte at det tidligere var mye ål i Sirdalsvatnet og Lundevatnet. Han fortalte at ei li som fører opp fra Sirdalsvatnet til et vann som ligger ca. 200 meter høyere heter Ålekjærlia, noe som tyder på at det har vært en fangstinnretning der hvor det ble fanget ål. Vanligvis fisket de med krok egnet med mark. De brukte også line egnet med mark. Den siste ålen han kunne minnes som ble fanget i vassdraget var en ål som ble fisket av noen barn for ca. 20 år siden.

Leif Hamre (bor på Hamre på Moi) fortalte at det var mye ål da han vokste opp på Hamre. De agnet med mark, og satte ut kroker etter ørret. Det var vanlig at det hang ål på mange av krokene. Han fortalte at det var mye stor ål ved Tronvik i Lundevatnet, og derfor fisket tyskere ofte etter ål der. Likedan fortalte han det samme som mange andre på Moi som Rolf Midtbø snakket med, at nedenfor det tidligere slaktehuset på Moi var det mye ål. Det var også ål i Hoffvannet som ligger ovenfor Lundevatnet. Han hadde ikke tenkt så mye på når ålen ble borte, men trodde at det begynte å minke i slutten av 1950-årene.

Ove Elve (bor på Gården Elve ved Lundevatnet) fortalte at det var mye ål før kraftreguleringen, men det måtte iallfall være 40 år siden han sist hadde fanget ål i Elve.

Mange innbyggere på Moi fortalte det samme, at ålen forsvant etter reguleringen av Lundevatnet. Vanlig fiskemetode var krok agnet med mark eller line agnet med mark. Ingen hadde brukt ruser. Ingen kjente til at det var drevet kommersiell fangst i vassdraget, og det var heller ikke vanlig at det ble spist ål. Noen fortalte at ål som ble fanga ble gitt til grisene.

Vi har også fått informasjon fra Ivar Skregeli, som har 30 års erfaring som felthydrolog i Sira-Kvina kraftselskap og ansvar for fiskeutsettinger i anleggene deres. Da det var mye ål i Siravassdraget, var de beste fiskeplassene i Lundevatnet Sirnes ved innløpet fra Sira og ved utløpet av Moisåna, Skålandsbekken og i Tronviksbekken (Ivar Skregeli, pers. komm.). I Sira fra Sirdalsvann til Lundevatnet var utløpet av Sirnesbekken og Kirkebekken ved utløpet like nedenfor Bakke bru sikre steder å fiske ål. I Sirdalsvann ble det fisket ål på grunnene ved Mjåsund, ved utløpet av Øksendalselva, ved utløpet av Sira til Sirdalsvann og ved utløpet av Finsåna til Sira.

*«Det mest vanlige redskap for ålefiske var Stegle. Stegle er det samme som line med flere kroker agnet med meitemark. Vi bant en stein i enden på lina og kastet den ut slik at lina ble stram. Enkel markstang festet på land ble også brukt. Fangst av ål var ikke av kommersiell. Det ble regnet som en ufisk som ingen brukte til mat. Det var en sport i å fange største ålen. Vi prøvde å tilberede ålen ved steking og koking, men det smakte like dårlig.»* (Ivar Skregeli, e-post 12. august 2013).

Hvor langt opp i Sirdalsvassdraget fantes det ål? Ivar Skregeli har fått bekreftet fra Rolf Guddal at ålen i alle fall har forekommet så langt opp i vassdraget som til Kårehølen ovenfor Guddalsbrua og et stykke opp i Lilandsåna. Rolf Hompland som bor på Hompland har bekreftet at de fiska ål på Hompland i Hemsåna.

## 3 Metoder

### 3.1 El-fiske

For å undersøke tilstand for ål ble el-fiske gjennomført ulike steder i vassdraget. Urdalsbekken tilhører ikke Siravassdraget, men renner ut ved utløpet av Sira i Åna-Sira. Den er kjent for bedre vannkvalitet enn Siravassdraget og ble inkludert som en referansestasjon. Fisket ble gjennomført 2.-3. juli 2013 under gode forhold for el-fiske, med relativt lav vannføring. Til sammen ble et areal på 8085 m<sup>2</sup> i Siravassdraget og 280 m<sup>2</sup> i Urdalsbekken undersøkt for forekomst av ål ved el-fiske.

El-fisket ble utført med en type FA4 el-fiskeapparat. Hvert område ble overfisket én gang. All ål som ble fanget i Siravassdraget ble avlivet og frosset ned. Ål fra Urdalsbekken ble lengdemålt og satt ut. Andre fiskearter ble telt opp underveis i el-fisket og er et omtrentlig antall.

**Sira i innløpet til Sirdalsvatnet**, er ei stor elv og nedre deler er stort sett dyp og lite egnet for el-fiske. Det ble fisket på et område utenfor kulturhuset. Variert og velegnet substrat som oppvekstområde for ørret.

**Finsåna** renner ut i Sira, innløpet til Sirdalsvatnet. Nedre del er kanalisert og ikke egnet for el-fiske på grunn av dybden. Ovenfor bru på hovedveien har bekken et velegnet substrat for oppvekst for ørret.

**Øksendalsbekken** (Sirdalsvatnet) har bare et lite parti i utløpsosen som var mulig å el-fiske. Bekken blir raskt svært stri og ligger i et bratt terreng.

**Sira ved utløpet av Sirdalsvatnet** er ei stor og dyp elv som ikke har områder som er egnet for el-fiske. Her ble det fisket i to sidebækker til elva. **Kirkebekken** har fine områder med variert substrat for oppvekst for laksefisk. I **Sirabekken** er substratet svært grovt, det vil si storsteinet, og den går i et bratt terreng slik at el-fiske bare kunne utføres på en kort strekning i nedre del.

**Moisåna**, innløpet til Lundevatnet, er en stor og bred elv med variert og velegnet substrat for oppvekst av laksefisk. De nedre delene er svært dype og uegnet for el-fiske.

**Tronviksbekken** går under jernbanen og E39 og her er det lagt betong/støpelementer i bekken, men er fullt mulig å forsere for ål. Fra Lundevatnet og opp til jernbanebrua (ca 50 m) har bekken et velegnet substrat for oppvekst av ørret. Ovenfor bruene blir bekken fort stri og lite egnet for el-fiske.

I **Skålandsbekken** er det et forholdsvis rolig parti i de nederste 10 m, men deretter blir bekken stri og mindre egnet for el-fiske. Substratet er for det meste storsteinet.

I **Sira nedenfor dammen ved utløpet av Lundevatnet** ble det el-fisket på tre områder i Langhølen der det var mulig å utføre el-fiske med hensyn på dybde.

**Urdalsbekken** har et godt egnet substrat for oppvekst av laks og ørret, med gode skjulmuligheter og overhengende vegetasjon i form av trær.



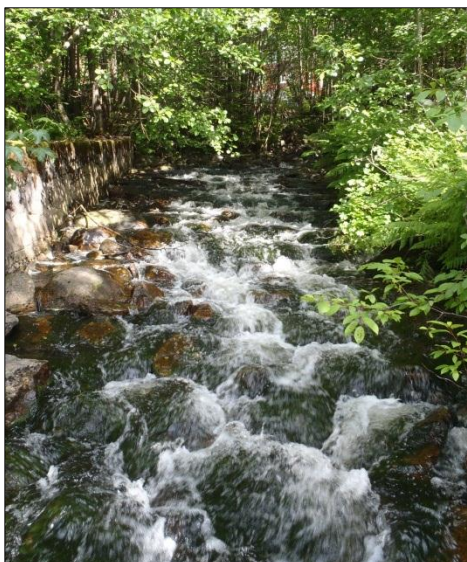
*Sira ved innløp til Sirdalsvatnet. Foto Randi Saksgård.*



*Finsåna og bekkerøye fanget i Finsåna. Foto Randi Saksgård.*



*Øksendalsbekken (venstre) og Kirkebekken (høyre). Foto Randi Saksgård og Rune Bergstøl.*



*Sirabekken (venstre) og Moisåna (høyre). Foto Randi Saksgård og Rune Bergstøl.*



*Tronviksbekken. Foto Randi Saksgård og Rune Bergstøl.*



*Skålandsbekken. Foto Randi Saksgård.*

## 3.2 Fiske med ruser, teiner, markline og sniker

### 3.2.1 Vassdraget nedstrøms Lundevatnet

I Langhølen ble det fisket med seks doble ruser på 1-3 meters dyp i perioden 8. juli - 8. august 2013. Det ble fisket i fire felt, hvor felt 1 var nederst i Langhølen og felt 4 øverst. Vanntemperaturen nær overflata var 15-17 °C. Rusene hadde mindre maskevidder enn vanlige ruser for å også kunne fange relativt små ål. Bunnforholdene i Langhølen med store steinblokker medførte at det var vanskelige forhold for rusefangst, og rusene måtte flere steder manøvreres mellom steinblokkene. Bunnforholdene ble undersøkt med undervannskamera. Ålen som ble fanget ble enten avlivet og frosset ned, eller oppbevart levende i samlepose til fangsten ble avsluttet 8. august. De ble da sluppet uskadd ut igjen. Det var dermed ikke de samme individene som ble fanget flere ganger.

I Svarthølen ble det fisket med ett ålerør, tre åleteiner og ei vertikalruse i perioden 29. juli - 25. september 2013. Teinene og røret ble agnet med krabbe eller fiskeslo.

Like nedenfor dammen ved utløpet av Lundevatnet ble det fisket med to ålerør uten agn 16. juli - 21. august 2013.

### 3.2.2 Lundevatnet

I Lundevatnet ble det fisket med ti doble ruser i perioden 10. august - 25. september 2013. Vanntemperaturen i overflata av Lundevatnet var 13-18 °C. Fisket ble fordelt over flere områder; Tronvik, Moi, Skåland, Elve, Øvstefjels og Osen (like ovenfor dammen ved utløpet av Lundevatnet) (**tabell 2**). Flere steder var det vanskelige bunnforhold for ruser, med dypt vann like inntil land, mye røys og store steiner. Bunnforholdene ble undersøkt med ROV (fjernstyrt undervannsfarkost) for å finne de beste stedene for å sette ut ruser.

I tillegg ble det fisket med 200 m lang markline med 50 kroker egnet med mark og reker i Lundevatnet (**tabell 2**). Det ble også fisket med stegler med fem kroker egnet med mark og reker (**tabell 2**).

**Tabell 2.** Fiske etter ål i Lundevatnet 10. august - 25. september 2013. For fanget ål er antall og kroppsstørrelse gitt, samt på hvilket dyp de ble fanget. For fanget ørret er kun antallet gitt.

Dato	Redskap	Sted	Dybde	Fangst
10.-13. august	10 ruser	Osen-Elve	4-10 m	6 ørret
13.-19. august	10 ruser	Elve	8-12 m	1 ål (82 cm, 750 g, 12 m dyp), 5 ørret
13-19. august	6 sniker med 5 kroker med mark	Elve	12-38 m	1 ørret
14.-19. august	2 vertikallruser agnet med reker	Elve	6-14 m	ingen
20.-23. august	10 ruser	Skåland	3-5 m	1 ål (40 cm, 5 m dyp), 27 ørret
20.-26. august	6 sniker med 5 kroker med reker	Skåland	8-15 m	1 ørret
20.-26. august	2 vertikallruser agnet med reker	Skåland	6-10 m	ingen
23.-26. august	6 ruser	Skåland	4-8 m	ingen
23.-26. august	4 ruser	Moi	8-15 m	5 store ål
26.-27. august	Markline, 50 m lang, 50 kroker agnet med mark	Skåland	5-7 m	1 ørret
26.-29. august	4 ruser	Tronvik	6 m	1 ål (64 cm, 6 m dyp)
26.-29. august	3 ruser	Hamre	5-7 m	ingen
26.-29. august	3 ruser	Moi	14 m	2 ål (61 og 66 cm, 14 m dyp)
26. august-4. september	6 sniker med 5 kroker med reker	Skåland	10-20 m	ingen
26. august-9. september	2 vertikallruser	Skåland-Hellesmark		ingen
27.-29. august	Markline, 50 m lang, 50 kroker agnet med mark og reker	Mellom Skåland og Moi	7-15 m	ingen
29.-31. august	3 ruser	Tronvik	5-12 m	ingen
29.-31. august	7 ruser	Moi	6-14 m	4 store ål
29. august-4. september	Markline, 50 m lang, 50 kroker agnet med mark og reker	Sør for Moi		3 ørret
31. august - 2. september	1 ruse	Hamre	12 m	ingen
31. august - 2. september	2 ruser	Tronvik	5,5 m	1 ål (5,5 m dyp)
31. august - 2. september	7 ruser	Moi	12-14 m	6 store ål (12-14 m dyp), 1 røye, 1 ørret
2.-4. september	3 ruser	Tronvik	4-10 m	4 ål
2.-4. september	7 ruser	Moi	7-14 m	7 ål (7-14 m dyp), 1 røye, 2 ørret

**Tabell 2** fortsetter

Dato	Redskap	Sted	Dybde	Fangst
4.-9. september	9 ruser	Skåland-Eik	12-15 m	ingen
4.-9. september	1 ruse	Øvstefjels	4,5 m	1 liten ål (4,5 m dyp)
4-9. september	6 sniker med 5 kroker med mark og reker	Skåland-Hellesmark		ingen
9.-12. september	8 ruser	Øvstefjels	5-10m	2 ål (36 og 40 cm, 8 m dyp)
9.-12. september	2 ruser	Allestad	8-10 m	ingen
12.-16. september	5 ruser	Øvstefjels	6-14 m	2 ål (53 cm 9 m dyp, 49 cm 6 m dyp)
12.-16. september	5 ruser	Elve	5-15 m	5 ål (62, 63, 53, 50, 38 cm)
16.-19. september	5 ruser	Osen	7-15 m	ingen
16.-19. september	5 ruser	Elve	6-12 m	1 år (67 cm, 12 m dyp)
19.-25. september	5 ruser	Osen	9-15 m	2 ål (40 cm 8 m dyp, 38 cm 7 m dyp)
19.-25. september	5 ruser	Elve	7-12 m	1 ål (64 cm 15 m dyp)



Ålerør (venstre) og vertikal åleruse (høyre). Foto Rolf Midtbø.



Vanlig åleruse. Foto Rolf Midtbø.

### 3.3 Åleledere ved dammen i utløpet av Lundevatnet

To åleledere ble installert ved dammen i utløpet av Lundevatnet. En liten vannmengde ble ledet ned til et oppvandringsrør samt til et fangstkammer. Dette sikret at ålen hadde vann å svømme og kripe oppover i samt at ål som eventuelt ble fanget fikk friskt vann. Oppvandringsrøret besto av et 3 m langt 110 mm PVC-drensrør som var fylt med enkamat (et stoff bestående av vevde nylontråder som ålen kan kripe opp gjennom). Ålelederne ble bygd etter samme modell som åleledere som benyttes til å fange ål ved Fosstveit kraftverk i Storelva i Holt (Kroglund mfl. 2013). Ålelederne var i drift i perioden 24. mai - 29. oktober 2013, med unntak av 2. august - 9. august for lederen på vestsida og 2. august - 13. august for lederen på østsida på grunn av problem med vanntilførsel. Ettersyn av fellene ble gjort ca. hver 3. dag.



Åleledere (til venstre og høyre i bildet) ved dammen ved utløpet av Lundevatnet (oppvandringsrør laget av PVC-drensrør og fangstkammer bestående av blå plastdunk). Plasseringen av to åleledere for fangst av ål ved dammen vises også i bildet. Bildet er tatt fra dammen og rett ned i elva. Foto Rolf Midtbø.



### 3.4 Vurdering av vannkjemi

For å vurdere om det er sannsynlig at vassdraget er så forsuringspåvirket at det har bidratt til tilbakegangen av ål i vassdraget ble det gjort en gjennomgang av 1) kjent kunnskap om effekter av forsurening på ål, og 2) eksisterende data som karakteriserer vannkvaliteten i vassdraget.

Det foreligger ikke like klare vannkvalitetskriterier for ål som for laksefisk. Kunnskapen om vannkvalitetskravet til ål er mer anekdotisk, også internasjonalt. Det er derfor gjennomført et litteratursøk for å hente inn informasjon om ål og vannkjemi. Basert på spredte datasett og kunnskap om vannkjemi i tidligere undersøkte vassdrag kan man sannsynliggjøre om dagens vannkjemi i Sira er kritisk eller akseptabel for ål. De viktigste datasettene for å fastsette vannkvalitetskravet til ål har vært kjemidata fra tiltaksovervåkingen i laksevassdrag (DN 2012) og forekomst av ål i de samme vassdragene (Larsen mfl. 2010, Thorstad mfl. 2010).

### 3.5 Vurdering av ålens opp- og nedvandring ved Åna-Sira kraftverk

En foreløpig teoretisk vurdering ble gjort av kraftreguleringens effekt på ål og mulige avbøtende tiltak ved Åna-Sira kraftverk. Vurderingen er gjort basert på befarings i området og oppsummering av kunnskap fra publisert litteratur. Oppsummeringen er basert på en tidligere litteraturgjennomgang av Thorstad mfl. (2010) og oppdatering av ny kunnskap.

## 4 Resultater

### 4.1 El-fiske

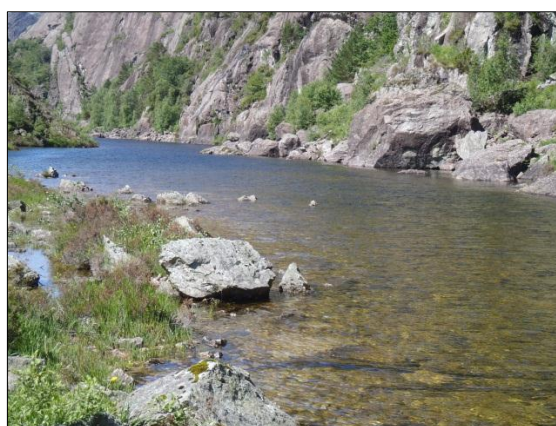
Ål ble ikke fanget ved el-fiske i Siravassdraget oppstrøms dammen ved utløpet av Lundevatnet (**tabell 3**). Fem ål ble registrert i Sira mellom dammen ved Lundevatnet og kraftverksutløpet (155-198 mm lange, **tabell 3**). En av disse ble funnet død i elva nedenfor dammen, tre ble fanget i Langhølen og én ble observert i elva samme sted uten å bli fanget. Tre ål ble fanget ved el-fiske i Urdalsbekken (230-325 mm lange, **tabell 3**).

I Siravassdraget oppstrøms dammen ved Lundevatnet ble det fanget ei bekkerøye (i Finsåna) og 405 ørret (**tabell 3**). I Sira nedstrøms dammen i utløpet av Lundevatnet, i Langhølen, ble det fanget 24 ørret og én laks. I Urdalsbekken var det svært stor tetthet av laks (> 100 laks fanget) og ørret (> 50 ørret fanget).

**Tabell 3.** Fangster under el-fiske i bekker og elver i Siravassdraget og i Urdalsbekken.

Lokalitet	Fisket område	Areal (m <sup>2</sup> )	Antall ål	Lengde individuelle ål (mm)	Antall ørret	Antall laks	Antall bekkerøye
Sira innløpet av Sirdalsvatnet	100 x 25 m	2500	0		60		
Finsåna	100 x 7 m	700	0		75		1
Øksendalsbekken	20 x 4 m	80	0		25		
Kirkebekken	100 x 3,5 m	350	0		50		
Sirabekken	40 x 3 m	120	0		15		
Moisåna	300 x 10 m	3000	0		55		
Tronviksbekken	70 x 3 m	210	0		60		
Skålandsbekken	100 x 3 m	300	0		65		
Sira nedenfor Lundevatnet omr. 3	50 x 10 m	500	1 (død)	155	12	1	
Sira nedenfor Lundevatnet omr. 2	25 x 4 m	100	0		2	0	
Sira nedenfor Lundevatnet omr. 1	15 x 15 m	225	3*	198, 190, 160	10	0	
<b>Total Siravassdraget</b>		<b>8085</b>	<b>4</b>		<b>429</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Urdalsbekken	80 x 3,5 m	280	3	230, 320 og 325	> 50	> 100	

\*i tillegg ble en ål observert i elva uten å bli fanget.



*Sira nedenfor Lundevatnet, område 1 og 2 i Langhølen. Foto Rune Bergstøl og Randi Saksgård.*



*Ål fanget ved el-fiske i Sira nedenfor Lundevatnet (i Langhølen). Foto Randi Saksgård*

## 4.2 Fiske med ruser, teiner, markline og sniker

### 4.2.1 Vassdraget nedstrøms Lundevatnet

I ruser i Langhølen ble det fanget 45 ål. De 30 ål som ble lengdemålt hadde gjennomsnittlig kroppslengde 41 cm (fra 25 til 80 cm, standardavvik 11,7). Ålen ble fanget spredt over hele Langhølen, men i avtakende mengde fra nederst til øverst i hølen (18 ål i felt 1, 12 ål i felt 2, 10 ål i felt 3 og 5 ål i felt 4). Det ble også fanget 219 ørret i Langhølen. Ingen laks ble fanget.

I Svarthølen ble det fire ål. Av disse ble tre ål fanget i åleteine (62, 53 og 46 cm lange) og én ål i vertikalruse (51 cm lang). De var fanget da redskapen ble sjekket 12. september. På grunn av åpne luker i dammen og mye vann hadde redskapen da stått ute men ikke blitt sjekket siden 9. august.

I ålerørene like nedenfor dammen ved utløpet av Lundevatnet ble det ikke fanget ål, men det ble fanget 13 ørret.

#### 4.2.2 Lundevatnet

Til sammen ble 46 ål fanget i Lundevatnet. Det ble fanget ål i alle områder av Lundevatnet hvor det ble fisket inkludert Osen, det vil si like ovenfor dammen ved utløpet (**tabell 2**). De beste fangstene var i området ved Moi sentrum, vis a vis kirken. Alle ål som ble fanget i Lundevatnet ble fanget i vanlige åluser. Ingen ål ble fanget på markline, sniker eller vertikalluser (**tabell 2**). Ålen som ble lengdemålt hadde gjennomsnittlig kroppslengde 54 cm (fra 36 til 82 cm, standardavvik 13,2, n = 18).

#### 4.3 Åleledere ved dammen i utløpet av Lundevatnet

Ingen ål ble registrert i ålelederne som var montert ved dammen i utløpet av Lundevatnet.

#### 4.4 Vurdering av vannkjemi

##### 4.4.1 Generell kunnskap om effekter av forsurening på ål

Det finnes generelt lite kunnskap om effekter av forsurening på ål, og det er gjort svært få undersøkelser både i Norge og internasjonalt. Teoretisk sett kan det være to årsaker til at ålebestanden reduseres i forsuredde vassdrag; 1) at vannkvaliteten er så dårlig at den medfører økt dødelighet på ål i vassdraget (Almer 1972, Fjellheim mfl. 1985), og 2) at ålen kan sanse den dårlige vannkvaliteten (Kardel 1978) og velger å ikke vandre opp i vassdraget, eller vandrer tilbake til sjøen igjen etter et opphold i vassdraget. Begge disse mekanismene kan virke samtidig og forklare tilbakegangen av ål i et forsuret vassdrag. Det finnes lite publisert litteratur knyttet til begge mekanismene.

Selv om ål er regnet som en hardfør fiskeart, var både utbredelse og tetthet redusert på grunn av forsurening i 13 undersøkte elver i Agder og Rogaland (Thorstad mfl. 2010, Larsen mfl. 2010). Utbredelse og tetthet av ål økte i mange av vassdragene etter kalking. Det ble fanget ål på bare på 29 % av el-fiskstasjonene før kalking i 1995, mens i 2002-2005 ble det fanget ål på 51-66 % av stasjonene. Gjennomsnittlig tetthet økte fra 0,7 individ per 100 m<sup>2</sup> før kalking til ca. 3 individ per 100 m<sup>2</sup> etter 8-9 år med kalking. Dette tilsvarer i grove trekk en overgang fra pH lavere enn 6,0 til pH høyere enn 6,0. Resultatene samsvarer med resultater fra 12 vassdrag i Bohuslän og Halland i Sverige, der bestandstettheten av ål var 1,1 individ per 100 m<sup>2</sup> på stasjoner med pH under 6,0 og i gjennomsnitt 3,7 individ per 100 m<sup>2</sup> på stasjoner med pH over 6,0 (Degerman mfl. 1985, 1986).

Ål ser ut til å være mindre følsom for forsurening enn laks, og ål var fortsatt til stede i vassdrag der laks var dødd ut i de undersøkte vassdragene i Agder og Rogaland (Thorstad mfl. 2010, Larsen mfl. 2010). Ål ble funnet før kalking i alle 6 av de 13 vassdragene der laksen var helt utdødd på grunn av forsurening. Det ble funnet ål i 12 av 13 undersøkte vassdrag før kalking, selv om utbredelse og tetthet var lav, mens det var ål i alle de 13 vassdragene etter kalking. Forekomsten av ål var lavest i vassdrag der laksebestanden var utdødd (det vil si vassdrag med de største forsureningsproblemene). Etter kalking økte forekomsten av ål relativt sett mest i de vassdragene som før kalking hadde den dårligste vannkvaliteten. Det er verdt å merke seg at denne økningen av tetthet og utbredelse av ål i kalkede vassdrag i Agder og Rogaland skjedde i en periode da den europeiske ålebestanden for øvrig har blitt redusert (ICES 2012), inkludert tilbakegang av bestanden i sjøen langs den norske Ska-gerakkysten (Durif mfl. 2011).

Ål synes å være den minst forsureningsfølsomme fiskearten i innsjøer langs den svenske vestkysten (Almer mfl. 1974). Degerman mfl. (1985, 1986) fant imidlertid at ål hadde lav

bestandstetthet i små, forsurede vassdrag på Sveriges vestkyst, og spekulerte i at ål ikke ble tiltrukket av sure og lavproduktive vassdrag, samt at høy konsentrasjon av aluminium medførte stress og økt dødelighet. Siden ålen synes å være relativt tolerant for lav pH, mente de eventuell dødelighet måtte knyttes til giftige former av aluminium, og ikke til effekter av lav pH i seg selv. Død ål ble imidlertid funnet ved pH 4,4 (Almer 1972), og all ny-pigmentert gulål som ble satt ut i en forsuret svensk innsjø (pH 4,6-4,8) døde innen tre uker (Forsberg 1986). I Polen er ål fraværende når pH er lavere enn 4 (Barabaz mfl. 2002). Dette er en lavere pH-verdi enn målt i norske vassdrag selv da forsuringen var på sitt mest intense.

Det døde ål i forbindelse med forsuringsepisoder i Vikedalselva, Rogaland (Hesthagen 1989). Vinteren 1993 oppstod det en akutt forsuringsepisode i alle de ukalkede vassdragene i Vest-Agder (Hindar mfl. 1993). Dette medførte meget lave pH-verdier, høyt innhold av giftige aluminiumsforbindelser og omfattende fiskedød. Det ble registrert død laks, sjø-aure og ål. I en analyse av forsuringseffekter på fiskesamfunn ble det konkluderte med at ål er blant de mest forsuringstolerante fiskene vi har (Muniz 1991). Selv om ål påvises etter at andre arter er utryddet, kan bestanden likevel være betydelig påvirket. Tetthet og utbredelse vil avta lenge før arten forsvinner helt.

Det finnes kun én undersøkelse av ålens toleranse for økte aluminiumskonsentrasjoner knyttet til forsuring (Fjellheim mfl. 1985). Glassål hadde lav dødelighet i eksperimenter ved aluminiumskonsentrasjoner mindre enn  $170 \mu\text{g l}^{-1}$  (pH 6,6 og 5,1). Dødeligheten økte betydelig da aluminiumskonsentrasjonene ble økt til  $230 \mu\text{g l}^{-1}$  (pH 5,1). Glassålen var også mindre aktive og hadde større slimdannelse ved disse høye aluminiumskonsentrasjonene. Aluminium forsterker altså effektene av redusert pH, en konklusjon som er i tråd med det som observeres for andre fiskearter (Gensemer & Playle 1999). Det er imidlertid verdt å merke seg at denne undersøkelsen ble gjennomført med glassål, som er livsstadiet før gulål, der ålen enda er glassklar og gjennomsiktig, uten farge. I de fleste norske vassdrag vandrer ålen opp på et senere livsstadium, det vil si etter at de har blitt gulål og fått brune pigmenter. Det er ikke kjent om følsomheten for forsuring er forskjellig mellom glassål, ny-pigmentert gulål og eldre gulål.

Det finnes også kun én undersøkelse av unnvikelsesatferd og preferanse for ulike vannkvaliteter hos ål (Kardel 1978). Preferanse for vann med ulik pH ble undersøkt, og åleyngel foretrakk vann i pH-intervallet 7,0-8,4, mens surere vann enn pH 4,7 virket frastøtende og ble unngått (Kardel 1978). Fjellheim mfl. (1985) refererte til personlig kommunikasjon fra T.Kvås som hadde observert at ål unnvik sidebekker som var forsuringspregede og foretrakk bekker med bedre vannkvalitet. Tilsvarende atferdsrespons og unnvikelse av surt vann ble antydnet av Degerman mfl. (1985, 1986). Samlet tyder disse arbeidene på at ål kan unnvike surt vann.

Amerikansk ål (*Anguilla rostrata*), en nær slektning av europeisk ål, ser også ut til å være mer tolerante for lav pH enn laks, ettersom de ikke viste noen dødelighet ved pH-nivå så lave som 4,0 (Reynolds 2011). Reynolds (2011) foreslo at den amerikanske ålen har en effektiv mekanisme for å regulere ionekonsentrasjonen i blodet, som medfører at de er tolerante for lave pH-verdier.

Andre nærstående arter til europeisk ål er shortfin (*Anguilla australis*) og longfin eel (*Anguilla dieffenbachii*). En undersøkelse av fisk i 42 elver på New Zealand viste at disse to artene ål ble funnet i surere vann (pH < 5) enn mange andre fiskearter, men at innholdet av tungmetaller i vannet hadde større betydning for forekomst av fisk enn pH i seg selv (Greig mfl. 2010). Ålen var blant artene som hadde størst toleranse for høyt innhold av tungmetaller, men ble ikke funnet når den totale konsentrasjonen av tungmetaller var større enn  $2,7 \text{ mg l}^{-1}$ .

Forsuringsfølsomhet til ål er altså dårlig dokumentert både i Norge og ellers i Europa. I motsetning til laks og ørret som er intensivt studert både gjennom prøvefiske og i forsøk, er ål ofte utelatt i de samme rapportene. Datamangel gjør at vannkvalitetskrav til ål ikke kan fastsettes med sikkerhet. De spredte observasjonene fra Norge og Europa støtter alle en konklusjon om at forekomst av ål er redusert i forsuringspåvirkede lokaliteter. Det kan være en årlig innvandring av ål til vassdragene som er uavhengig av om vannkvalitet er ugunstig eller dødelig. Når vannkjemi i elvene samtidig varierer med årstid kan det være perioder med akseptabel vannkjemi i hovedelva i forhold til oppvandring, selv om kjemien i andre deler av året er dødelig. Når ålen har vandret opp i elva vil de kunne spre seg til sidebækker og innsjøer. Her vil det være stor regional og lokal variasjon i kjemi knyttet til berggrunnskjemi. Hvis denne er mer homogen vil kjemi i sidebækkene og innsjøene være mer homogen. Hvis berggrunnen derimot er heterogen vil det kunne være store variasjoner i kjemi.

Den årlige innvandringen av åleyngel kan resultere i at det påvises ål i et vassdrag selv om vannkjemien er ugunstig. Samtidig vil lokal variasjon i vannkjemi resultere i at det innenfor de fleste vassdragene er refugier hvor vannkjemi er bedre. Her vil ål kunne overleve til tross for at vannkjemien karakteriseres som kritisk forsuret. Slike overlevelsesrefugier påvises særlig ofte i innsjøer og bekker. Innenfor vassdraget vil ål kunne vandre mellom innsjø, sidebakk og hovedelv. Når vannkjemi samtidig varierer innen og mellom de ulike vannforekomstene og over tid, blir forekomst og overlevelse til ål i forhold til vannkjemi et komplekst samspill, hvor man samtidig må ta hensyn til årlig innsig av ny åleyngel.

Ål utnytter mange ulike delområder i et vassdrag. Det er ikke avklart om majoriteten av bestanden er innenfor hovedvannstrengen eller i sidebækkene med sine innsjøer. Hvis sidebækkene er vesentlige for overlevelse kan forekomst av ål i et vassdrag avhenge mer av vannkjemien her enn i hovedelva. Siden det heller ikke er kjent om det er variasjon i toleranse knyttet til alder, livssyklus og/eller sesong, er mulighetene til å angi et vannkvalitetskrav ytterligere begrenset. Samlet medfører dette at man kan forvente stor sprik i sammenhenger mellom dose og respons for ål.

Samlet konkluderer vi med at ål er forsuringfølsom, men at ålens biologi kan gi stor spredning i respons på forsuring. Kalking bidrar til å øke overlevelse og forekomst av ål. Et viktig spørsmål med hensyn på effekt av kalking er imidlertid hvor mye av ålens oppvekst som skjer i sidebækkene og innsjøene. Resultatene fra undersøkte elver i Agder og Rogaland, samt vassdrag langs den svenske vestkysten, tilsier at ålebestanden i Siravassdraget kan være begrenset av sur vannkvalitet i vassdraget, selv om ålen synes å være mer hardfør for forsuring enn mange andre fiskearter.

#### 4.4.2 Vannkvalitet i Siravassdraget

Overvåkingsstasjonen i Sira ligger i klimaregion lavland i økoregion Sørlandet og tilhører vanntypen svært kalkfattig og klar, stor elv. Vannkjemien i Sira er fortsatt sur og vil være kritisk for laks (**figur 6**, **figur 7**, Saksgård & Schartau 2013).

Vannkjemien i Sira har vært overvåket siden 1967, og er en av de lengste vannkemiske dataseriene som finnes fra norske vassdrag (**figur 6**, **figur 7**, Saksgård & Schartau 2013). Vannkvaliteten i Sira har blitt generelt bedre gjennom de siste ti årene, men målingene viser også at vassdraget fremdeles er svært følsomt overfor sure episoder. I perioden 1967-1974 var pH gjennomgående noe høyere sammenlignet med siste halvdel av 1970-tallet og hele 1980-tallet. Beregninger av en 5 års glidende middelværdi viser en gradvis økning av pH fra 4,9 på 1980-tallet til 5,5 i 2008 (**figur 6**). Færre målinger og prøver tatt ved ulike tidspunkt gjennom de siste fire årene gjør at datagrunnlaget blir mer usikkert. Økningen i

pH startet omkring 1994 og tyder på en gradvis redusert påvirkning fra sur nedbør. Innholdet av ikke-marint sulfat viser en klar nedadgående trend for perioden 1987-2011 ( $y = -0,072x + 3,60$ ,  $r^2 = 0,90$ ). Målingene viser en tilsvarende økning i pH i samme periode ( $y = 0,039x + 4,07$ ,  $r^2 = 0,66$ ). Det ble målt lave pH-verdier med 5,4 som gjennomsnitt i 2012. Det ble ikke tatt noen høstprøver i 2009, 2010 og 2012, og de inngår derfor ikke i analysene. I likhet med pH ser ANC-verdiene ut til å ha økt utover 1990-tallet for så å flate ut etter årtusenskiftet. ANC var på 5  $\mu\text{ekv/l}$  i 2012.

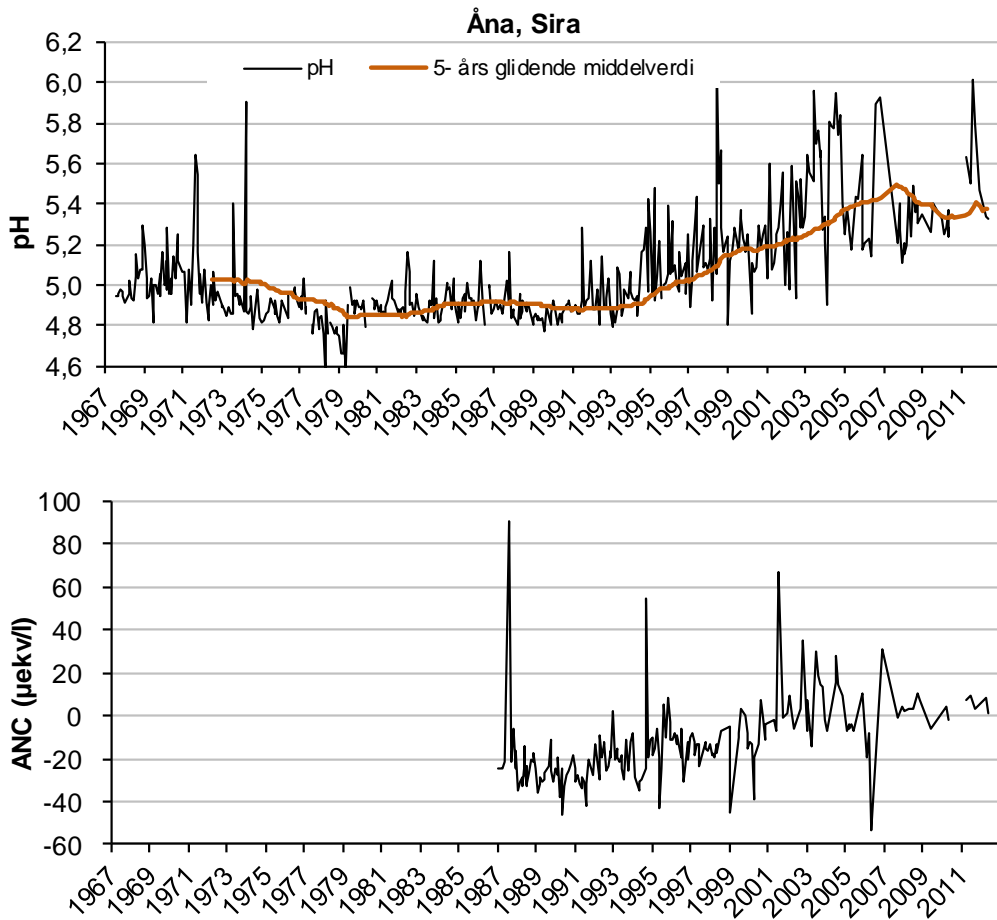
Det er ingen klare endringer i innholdet av kalsium over år i Sira ( $y = -0,007x + 0,73$ ,  $r^2 = 0,29$ ). Kalsiuminnholdet var i hele måleperioden lavt og sjelden over 1,0 mg/l. Alkaliteten var også forholdsvis lav (Saksgård & Schartau 2013).

Målinger av totalt fosfor (Tot-P) og nitrogen (Tot-N) tyder på at vassdraget er næringsfattig med verdier lavere enn 4,0  $\mu\text{g/l}$  for Tot-P og 300  $\mu\text{g/l}$  for Tot-N. Konsentrasjonen av nitrat har i hovedsak vært under 300  $\mu\text{g/l}$  siden målingene startet i 1987. Regresjonsanalyser tyder på en nedgang i nitrat i perioden 1988-2011 ( $y = -3,88x + 278,64$ ,  $r^2 = 0,58$ ), men trenden er ikke så klar som for sulfat. Turbiditeten var lavere enn 1 FTU, og fargetallet hadde et gjennomsnitt på 14 mg Pt/l i 2012, det vil si tilsvarende nivåer som målt i tidligere år. TOC og fargetallet tyder på at vassdraget er lite påvirket av humus og andre organiske forbindelser.

Giftig aluminium (uorganisk monomert aluminium, UM-Al) var på 26  $\mu\text{g/l}$  i 2012. Det har vært en nedgang i konsentrasjonen av giftig aluminium (**figur 7**). Fra og med 2003 har det vært mindre variasjon i konsentrasjonen av total aluminium (Tot-Al) sammenlignet med perioden 1998-2002. De registrerte konsentrasjonene av UM-AL kan være skadelig for laks og andre forsurningsfølsomme organismer.

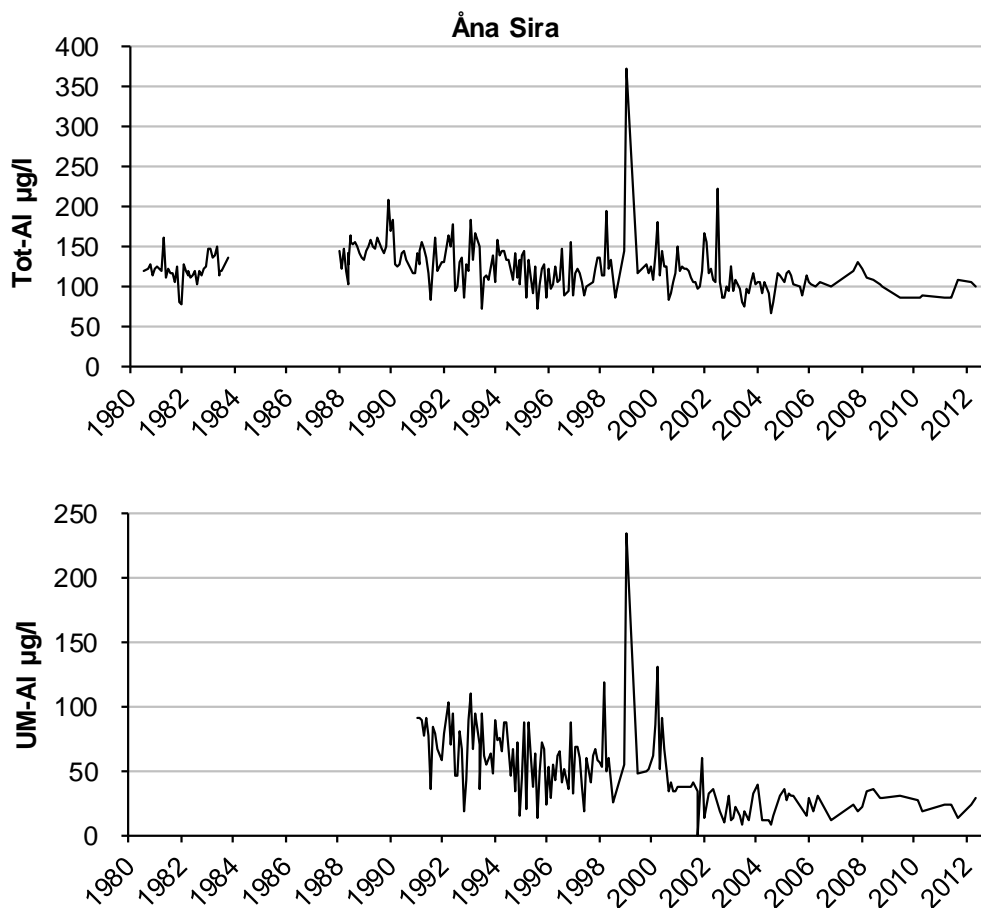
I henhold til kriterier gitt i klassifiseringssystem for miljøtilstand i ferskvann (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009) kom Sira i 2012 ut med tilstandsklasse svært dårlig for både pH, giftig aluminium (UM-Al) og ANC (Saksgård & Schartau 2013). Dette er samme klassifisering som i de tre foregående årene (Saksgård & Schartau 2010 og 2011, 2012). Vannkjemiske støtteparametre tyder på at Sira har en svært god tilstand med hensyn til eutrofi-ering (Saksgård & Schartau 2010, 2011, 2012).

Våren 2012 ble det gjennomført eksponeringsforsøk med laks hvor akkumulering av aluminium på fiskens gjeller ble analysert. Mens medianverdien antydnet moderat forhøyede nivåer (ca 100  $\mu\text{g Al/g}$  gjelle tørrvekt) 4. juni, var nivåene betydelig høyere (ca 300  $\mu\text{g Al/g}$  gjelle tørrvekt) 29. mai (Hildegun 2012). pH ble målt av NINA 1. juni, og var da på 5,50, mens konsentrasjonen av labilt aluminium var på 24  $\mu\text{g/l}$ . Verdiene for gjelle-Al støtter opp om at vannkvaliteten er kritisk. Selv om det har vært en betydelig forbedring i vannkjemi må området fortsatt karakteriseres som kritisk forsuret. Når kalsiumkonsentrasjonen samtidig er  $< 0,4$  mg/l og ledningsevnen er  $< 1,6$  mS/m er vanntypen følsom for variasjon i vannkjemi.



**Figur 6.** pH med 5-års glidende middelværdi og syrenøytraliserende kapasitet (ANC) i Sira i perioden 1967-2012. Figur kopiert fra Saksgård & Schartau (2013).





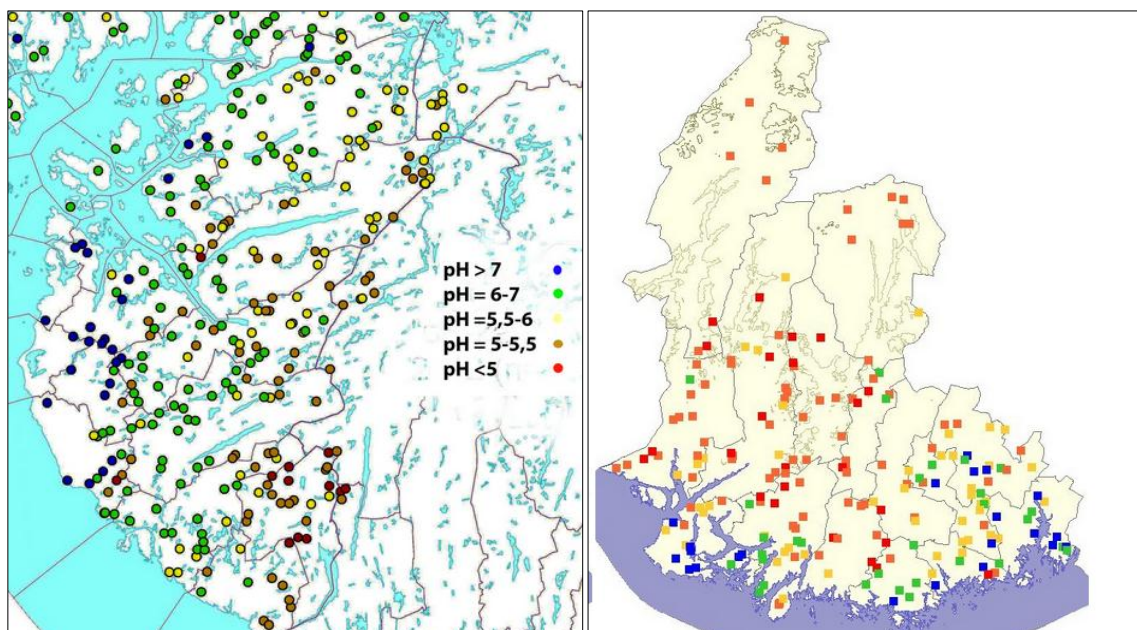
**Figur 7.** Konsentrasjonen av total aluminium (Tot-Al) og uorganisk monomert aluminium (UM-Al) i Sira i perioden 1980-2012. I perioden 1980-1984 ble Tot-Al målt som reaktivt Al (Ala). Figur kopiert fra Saksgård & Schartau (2013).

Ål benytter ikke kun hovedvassdraget som oppvekstområde, men også sidebekker og innsjøer. Vannkvalitet i sidebekkene og innsjøene kan dermed være avgjørende for bestandsstatus. Det foreligger pH-målinger fra noen vannforekomster i området (**figur 8** for Rogaland og **figur 9** for Agder). Som for hovedelva synes vannkvalitet å være bedre nå enn den var tidligere. Samtidig er det en øst-vest gradient i pH i regionen, hvor pH generelt er dårligere fra Sira og østover enn vestover. Basert på denne type informasjon kan man anta at vannkvalitet i sidebekkene til Sira er marginal til dårlig for ål.

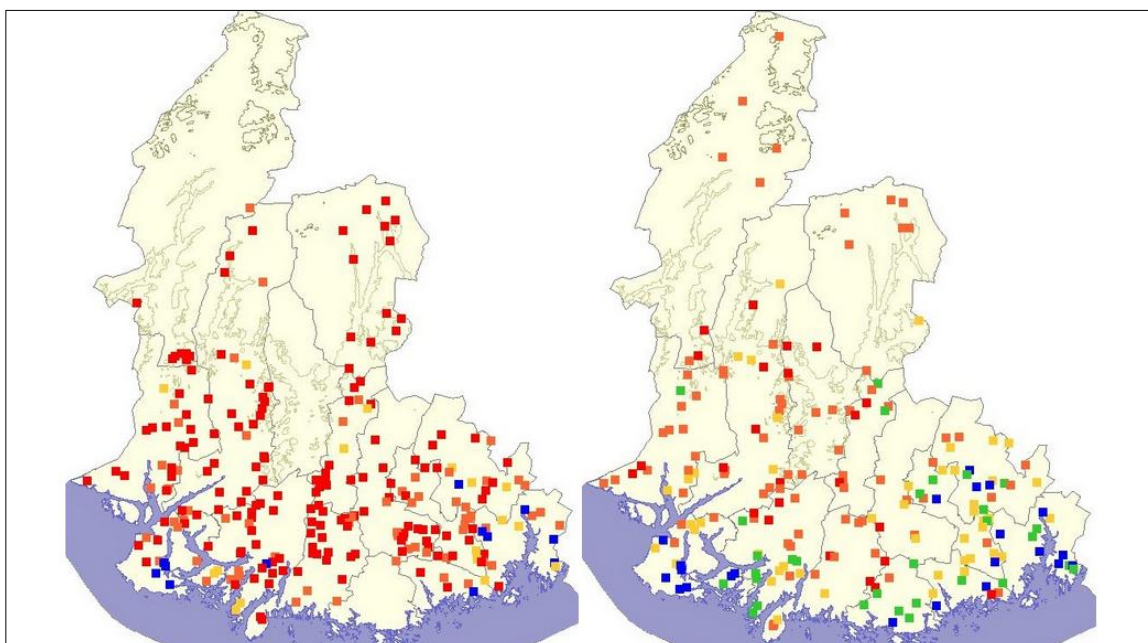
Selv om vi ikke har tilgang på vannprøver fra de ulike sidegrenene til hovedelva hvor det kan være ål, kan det antas at vannkjemien i Moisåna er mindre kritisk enn vannstrengen fra Sirdalsvatn. Denne type lokale variasjoner må dokumenteres med egne vannprøver før det konkluderes endelig.

Det ble i 2012 utarbeidet en kalkingsplan for Siravassdraget for laks (Haraldstad 2012). I planen anbefales kalking av Lundevatnet samt at det plasseres en doserer nedstrøms Lundevatnet for å avgifte minstevannføringsstrekningen. Denne planen vil ikke begunstige ål ovenfor Lundevatnet eller ål som har oppvekst i sidebekkene. Det er noe kalkingsvirksomhet i innsjøer som drenerer til Åna-Sira. Denne kalkingen vil ikke påvirke vannkvalitet i

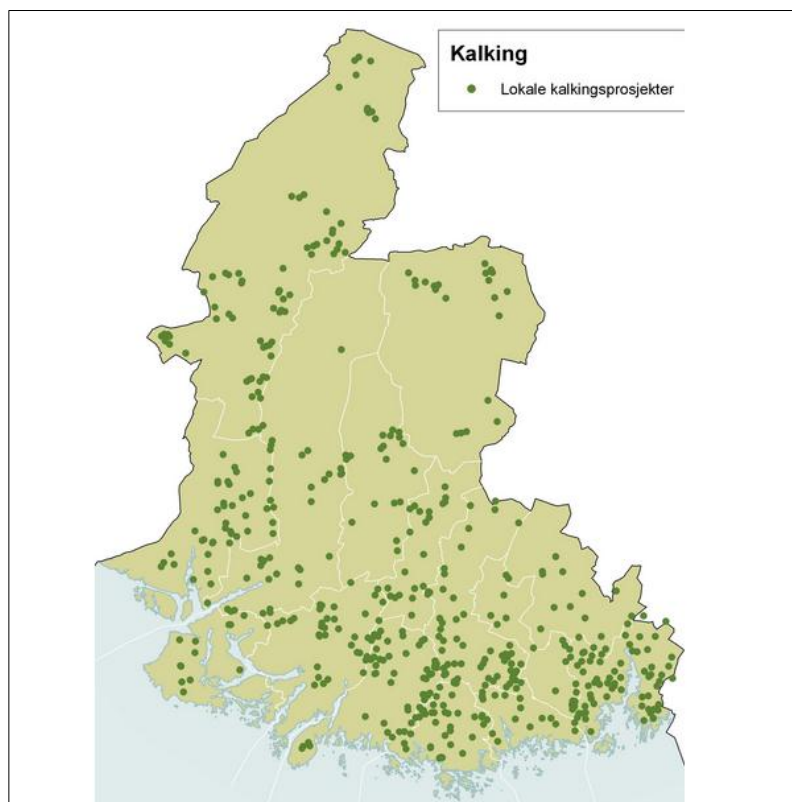
hovedelva, men kan bidra til lokalt bedre vannkjemi. Oversikt over kalkingsvirksomhet i Vest-Agder er vist i **figur 10**.



**Figur 8.** pH kart for Rogaland. Kartet til venstre viser pH målinger utført i perioden 1980-85, mens kartet til høyre viser målinger gjennomført i 2012. Kartene er hentet fra Ambio (2003) og fylkesmannen i Rogaland (<http://www.fylkesmannen.no/nb/Rogaland/Nyheter/pH-kart-for-Rogaland-2012/>). Rødt er dårligst, så orange, gult, grønt til blått, som er nær upåvirket.



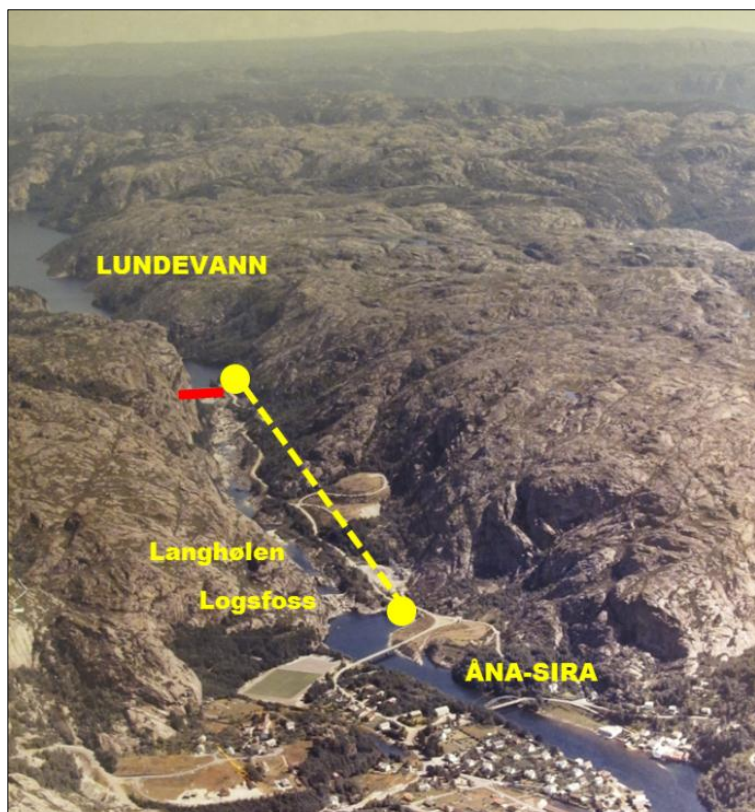
**Figur 9.** pH kart for Vest-Agder. Kartet til venstre viser pH målinger utført i 1993, mens kartet til høyre viser målinger gjennomført i 2003. Kartene er hentet fra <http://fylker.miljostatus.no/Vest-Agder/Tema-A-A/Vann/Sur-nedbor/Forsuring/>. Rødt er dårligst, så orange, gult, grønt til blått, som er nær upåvirket.



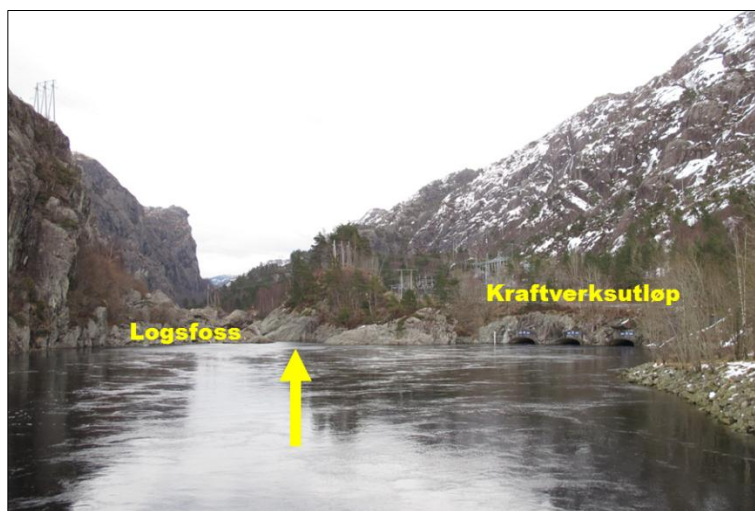
**Figur 10.** Kart over kalkingsvirksomheten i Vest-Agder. Kartet er hentet fra <http://fylker.miljostatus.no/Vest-Agder/Tema-A-A/Vann/Sur-nedbor/Kalking/>.

#### 4.5 Vurdering av ålens opp- og nedvandring ved Åna-Sira kraftverk

Generelt påvirkes ål av vannkraftreguleringer først og fremst ved at de må passere kraftverksinstallasjoner på vandringene 1) oppover i vassdrag som åleyngel og yngre gulål, og 2) nedover i vassdrag på vei til havet som blankål når de starter gytevandringen. Det kan i tillegg være eldre gulål som forflytter seg nedover i vassdragene. Andre mulige effekter av kraftregulering kan være endringer i oppvekstforholdene på grunn av endret vanndekt areal eller endret vannføring og vanntemperatur gjennom året. Vi fokuserer her på forholdene for opp- og nedvandring, og anser disse som viktigst å prioritere for Siravassdraget i denne omgang. Deler av teksten nedenfor er redigert fra Thorstad mfl. (2010).



**Figur 11.** Nedre del av Siravassdraget der elva Sira renner ut i fjorden ved tettstedet Åna-Sira. Overføringen av vann gjennom Åna-Sira kraftverk er vist med gul stiptet linje. Gule sirkler viser kraftverksinntaket i Lundeavatnet og kraftverksutløpet ved elvemunningen. Mellom dammen ved utløpet av Lundeavatnet (rødt symbol) og kraftverksutløpet er det kraftig redusert vannføring i det gamle elveleiet (minstevannføringsløpet). Kilde: gammelt foto som henger på veggen i kontorbygningen hos Åna-Sira kraftverk.



**Figur 12.** Utløpet fra tre francisturbiner ved Åna-Sira kraftverk i munningen av Sira. Pil viser starten på det gamle elveleiet (minstevannføringsløpet) i Sira, der Logsfoss kommer ned. Bildet er tatt i retning oppover elva. Foto Eva B. Thorstad.

#### 4.5.1 Oppvandring av gulål

Gulål som vandrer opp i Siravassdraget kommer først til hølen ved kraftverksutløpet, og skal deretter vandre videre oppover minstevannføringsløpet som utgjør nederste del av Sira (**figur 11**, **figur 12**). I det to kilometer lange minstevannføringsløpet skal de passere fosser og høler før de kommer til dammen ved utløpet av Lundeavatnet. Det siste vandringshinderet er dammen, før de kommer opp i nederste del av Lundeavatnet.

#### Generell kunnskap om oppvandring av gulål og kraftregulering

Åleyngel og større gulål kan ha problemer med å passere områder med stor vannhastighet hvis det ikke finnes områder med lavere vannhastighet eller gunstige områder på land hvor de kan passere. Åleyngel er dårlige svømmere. De kan derfor ha problemer med å passere områder med høy vannhastighet, som for eksempel gjennom terskler, kulverter og lak-

setrapper der vannhastigheten er høy i hele bredden, og der yngelen samtidig har små muligheter for å bevege seg opp på land. Vannhastigheten er ofte for rask i laksetrapper til at ålen har muligheter for å passere vandringshindre gjennom disse (Knights & White 1998). Unntaket kan være større gulål som kan benytte laksetrapper med relativt lav vannhastighet. Det er derfor oftest nødvendig å lage egne installasjoner tilpasset oppvandring av ål forbi dammer og andre mulige vandringshindre.

Et kjent problem for oppvandrende laksefisk er at de tiltrekkes av vannstrømmen fra kraftverksutløpet og kan til og med vandre inn i kraftverkstunellen (Thorstad mfl. 2003, 2005). Et slikt fenomen er ikke beskrevet i litteraturen for oppvandrende ål. Siden åleyngel er dårlige til å svømme mot sterke vannstrømmer, kan det hende at vannstrømmen ut fra et kraftverksutløp blir for sterk, slik at de heller forsøker å finne alternative vandringsveier forbi slike steder, for eksempel langs den andre bredden hvis det finnes områder med saktere vannhastigheter.

Terskler og dammer i forbindelse med kraftverk kan medføre totale eller delvise vandringshindre for oppvandrende yngel og større gulål. Ålen kan ikke hoppe, og vertikale hindre som er høyere enn 50-60 % av kroppslengden kan utgjøre totale vandringshindre (Knights & White 1998). Dermed kan selv vannfall med noen få cm høyde fullstendig hindre oppvandringen av yngel (Porcher 2002).

Ålen er kjent for å kunne ta seg fram over fuktige områder på land, ved bruk av slangeliggende kroppsbevegelser (Ellerby mfl. 2001). Evnen deres til å ta seg fram over land kan imidlertid ofte være begrenset, og forekommer kun i områder med fuktig og gunstig substrat, og hvor de har atkomstmuligheter til og fra elva (Porcher 2002). Ålen kan også klatre opp vertikale vegger. Ål opp til 12 cm kroppslengde kan klatre rett opp fuktige vegger, mens større ål kan klatre opp fuktige vegger hvis det er ujevnheter i underlaget, som ru eller mosegrodd betong (Knights & White 1998). Hvis de må over en kant der de møter en sterk vannstrøm kan de imidlertid skylles ned igjen. De vil også ha problemer med å klatre over kanter som stikker ut med et overheng.

Variasjon i vannføring innen et vassdrag påvirker i liten grad oppvandringen av yngel (White & Knights 1997, men se Schmidt mfl. 2009 om *Anguilla rostrata*), men større flommer i oppvandringsperioden kan tenkes å medføre raskere vannhastigheter og problemer for yngelen med å vandre oppstrøms (Kim Aarestrup, pers. obs.). Hvorvidt størrelsen på et vassdrag påvirker mengden yngel som søker mot vassdraget, vet vi ikke. Om en generelt redusert vannføring på grunn av kraftregulering påvirker antall yngel som søker mot vassdraget, er ukjent.



Åleyngel.

Foto: Eva B. Thorstad.

### **Forholdene for oppvandring av ål i Siravassdraget**

Oppvandrende ål i Siravassdraget kan være fra noen få centimeter til flere desimeter lange gulål. Siden det var ål både nederst i Sira og Lundevatnet, kan vi fastslå at det er mulig for gulål å vandre opp i vassdraget. Vi vet imidlertid ikke i hvilken grad oppvandringsforholdene er fysisk vanskelige, og/eller det kan være forhold som medfører at ålen ikke motiveres til å vandre oppover i vassdraget. Det kan være partier av Sira nedenfor Lundevatnet som er vanskelige å passere for oppvandrende gulål, dammen kan være et vandringshinder og dårlig vannkvalitet og den reduserte vannføringen i det gamle elveleiet kan tenkes å redusere ålens motivasjon til å søke videre oppover i vassdraget.

Dammen ved utløpet av Lundevatnet er ikke et absolutt vandringshinder for oppvandrende ål, basert på fangst av ål Lundevatnet som etter all sannsynlighet er yngre enn dammen. Vi kan imidlertid ikke utelukke at dammen utgjør et vandringshinder som er vanskelig å passere, og som dermed kan redusere oppvandringen av ål i vassdraget. Vi vet ikke hvordan oppvandrende ål passerer dammen, men de kan være i stand til å klatre over betongmuren i dammen. Muren er ganske ru og ikke helt loddrett, så det kan være mulig for åleyngel å passere ved å klatre over betongen, særlig i perioder med regn eller overløp så den er fuktig. Om yngelen også er i stand til å passere gjennom dammen i ura der vannlekkasjen kommer gjennom vet vi ikke. Det bør også undersøkes om det kan være andre vannveier som ålen kan følge fra sjøen og opp i Lundevatnet enn via Sira og forbi dammen ved Lundevatnet, siden ålen for eksempel kan ta seg fram over kortere strekninger gjennom våt vegetasjon. Vi kan ikke fullstendig utelukke at det finnes andre mulige vandringsveier for ål opp i vassdraget enn via utløpet av Sira og dammen ved Lundevatnet.

Åleledere kan installeres for å bedre forholdene for oppvandring ved dammen. Ålelederne som var installert i 2013 ble ikke brukt av oppvandrende ål, noe som kan skyldes at ålen ikke fant inngangen til ålelederne, eller at det rett og slett var lite ål i området nedenfor dammen der ålelederne var installert. At det var lite ål i området var trolig en medvirkende forklaring, siden det ikke ble fanget ål i ålerør i samme område. Siden ørret ble fanget i ålerørene, så burde også ål kunne bli fanget om mye ål var til stede. Resultatene fra fisket med ruser og teiner i minstevannføringsløpet tydet også på at det var lite ål i dette området, og at de største tetthetene med ål var i Langhølen, helt nederst i Sira.

At det var redusert tetthet av ål fra Langhølen og videre oppover i Sira mot Lundevatnet kan skyldes at det er områder som er vanskelige for ål å passere på strekningen, at det er mindre gunstige leveområder videre oppover i minstevannføringsløpet, og/eller at lav vannføring i liten grad stimulerer ål til å søke videre oppover i vassdraget. Det ble ikke gjort forsøk med rusefangst i Sirdalsvatnet eller andre lokaliteter oppstrøms Lundevatnet.



*Dammen ved uløpet av Lundevatnet. Foto: Eva B. Thorstad.*

#### **4.5.2 Nedvandring av blankål**

Før kjønnsmodning omdannes ålen til sølvfarget blankål. De får større øyne, brystfinnene blir større og snuten spissere, tarmsystemet tilbakedannes og de slutter å spise. Ål som lever i ferskvann blir også fysiologisk tilpasset et liv i saltvann. Overgangen til blankål skjer vanligvis i løpet av sommeren (Durif mfl. 2005, van Ginneken mfl. 2007). Utvandringen fra ferskvann skjer oftest senere samme sommer, høst eller tidlig vinter (Vøllestad mfl. 1986). Kroppslengde ved utvandring er vanligvis mindre hos hanner (35-45 cm) enn hos hunner (40-150 cm). Enkelte hunnål kan bli svært store og veie mer enn 6 kg.

Gulål kan også vandre opp- og nedstrøms i vassdraget. Slike forflytninger hos gulål har vi lite kunnskap om, men vi kan ikke utelukke at noen gulål også vandrer nedover i vassdraget i tillegg til blankål, og kan dermed bli berørt av krafverksinstallasjoner.

#### **Generell kunnskap om nedvandring av ål og kraftregulering**

Nedvandrende blankål (og eventuelle gulål) er sårbare for å vandre inn eller bli dratt inn i vanninntak til kraftverk, noe som ofte vil medføre dødelighet gjennom turbinene, enten ved at ålen blir umiddelbart skadet og dør, eller at de påføres skader som medfører forsinket dødelighet.

Under nedvandring av ål forbi kraftverk kan årsaker til skader og dødelighet være:

- 1) at ålen setter seg fast i beskyttelsesgitter i vanninntaket eller foran turbinen,
- 2) kollisjon med roterende turbinblad eller andre deler av turbinen,
- 3) klemskader i turbinen,
- 4) raske trykkendringer, kavitasjon, skjærkrefter og turbulens gjennom turbinen og andre deler av kraftverket,
- 5) predasjon på ål som eventuelt forsinkes og samles ovenfor kraftverket, eller ål som kommer desorientert og eventuelt skadet ut gjennom kraftverket, og
- 6) luftovermetning.

Andelen av den utvandrende bestanden som dør ved passasje av et kraftverk er avhengig av:

- hvor stor andel som går gjennom vanninntaket og turbinen i forhold til andelen som går utenfor kraftverket, og
- hvor stor andel av de som går gjennom vanninntaket og turbinen som opplever umiddelbar eller forsinket dødelighet.

Vandringsveier utenfor turbinen kan være over eller gjennom kraftverksdammen, gjennom fisketrappene, gammelt elveleie, eller gjennom konstruerte omføringssløp. Slike vandringsveier vil normalt ikke medføre dødelighet eller skader på ålen. Hvis fisken vandrer over en høy dam og faller langt ned og treffer for eksempel bunn eller tørt land, kan imidlertid skader og dødelighet oppstå.

#### *Andel nedstrøms vandrende ål som går gjennom kraftverk*

Utvandrende ål følger gjerne hovedstrømmen (ICES 2003), og vil derfor ofte føres mot kraftverksinntaket. Ålens muligheter for å vandre forbi kraftverket avhenger av hvordan kraftverket er konstruert og hvor eventuelle omløp er plassert. Hvis det ikke foreligger alternative utvandringsmuligheter som ålen samtidig finner attraktiv, vil turbininntaket være eneste utvandringsmulighet. Andel ål som benytter det alternative løpet, vil være knyttet til plassering av omløpet samt hvor stor andel av vannføringen som går i omløpet (Travade mfl. 2010).

#### *Dødelighet ved passasje gjennom kraftverk og turbiner*

I undersøkelser oppsummert av Thorstad mfl. (2010), var skadefrekvensen eller dødeligheten mellom 6 og 100 % for ål som gikk gjennom turbiner, med et gjennomsnitt på 52 %. Dødeligheten for ål som går gjennom turbiner er i høy grad avhengig av fiskens lengde, turbintype og ulike tekniske karakteristikk ved turbinen og drift av denne. På grunn av ålens lengde er risikoen for skader på ål som går gjennom en turbin mye større enn for laksesmolt (Montén 1985, Larinier 2008). Dødeligheten for voksen ål er 4-5 ganger større enn for laksesmolt (Larinier & Travade 2002). For en gitt turbin under samme forhold, vil andelen ål med skader eller dødelighet øke med økende fiskelengde (Montén 1985, Eicher 1987, Haddingh & Bakker 1998). Siden hunnål er lengre enn hannål, vil hunnål ha større risiko for skade og dødelighet i turbiner. I Sverige er det utviklet en dynamisk turbinslagmodell hvor dødelighet som følge av turbinbladtreff kan modelleres (Leonardsson 2012). Denne er blant annet validert mot empiriske data fra Frankrike (Gomes & Larinier 2011). Slike modeller kan gi en antydning av dødelighetssannsynlighet, men angir ikke dødelighetsnivå ved det enkelte kraftverket med noen stor presisjon. Dette skyldes blant annet at modellene ikke fanger opp forsinket dødelighet.

Francisturbiner og kaplanturbiner er turbintyper som begge kan medføre stor skadefrekvens og dødelighet for ål som passerer, men det kan være stor variasjon på skadefrekvens både innen ulike francisturbiner og innen ulike kaplanturbiner. Francisturbiner betraktes ofte som mer skadelig for fisk enn kaplanturbiner, fordi de har flere turbinblader (ICES 2003, Ferguson mfl. 2008, Larinier 2008). Dette er imidlertid en forenkling, og det er



mange karakteristikk ved ulike turbiner og kraftverk som medfører at dette er en sannhet med modifikasjoner (Montén 1985, Larinier 2008). Etter en gjennomgang av eksisterende litteratur konkluderte Eicher (1987) med at forskjellen i dødelighet mellom turbiner ikke er avhengig av om det er en francis- eller kaplanturbin, men av andre karakteristikk ved kraftverket og dets plassering. Årsaken til at lavere dødelighet generelt er registrert for kaplanturbiner er i følge Eicher (1987) at de ofte er installert på steder med lave fallhøyder, lave rotasjonshastigheter og med turbinen lavt plassert i forhold til vannivået ved utløpet. Derimot er francisturbiner ofte installert på steder med større fallhøyder, raskere rotasjonshastighet og med turbinen høyere plassert i forhold til vannivået ved utløpet. Larinier (2008) påpekte også at de større skadelighets- og dødelighetsfrekvenser registrert for fisk i francisturbiner skyldes at disse gjerne er installert ved større fallhøyder enn kaplanturbiner. Fallhøyde har ingen direkte effekter på dødeligheten, men indirekte ved økt hastighet på vannet (Eicher 1987). Ferguson mfl. (2008) modellerte risikoen for at smolt og voksen laks skulle bli truffet av turbinbladene i en francisturbin i Umeälven og en kaplanturbin i Piteälven i Sverige, og fant ingen forskjell mellom de to typene. Dette forklarte de med den høye rotasjonshastigheten på kaplanturbinen i forhold til francisturbinen.

Sannsynligheten for å skades ved kollisjon mellom fisken og turbinblader er avhengig av hastigheten på vannet og fisken i forhold til det roterende turbinbladet (von Raben 1964, Montén 1985). Når den *relative* hastigheten overstiger visse nivå, vil alle treff mellom fisk og turbinblader være skadelige, og skaderisikoen er da avhengig av sannsynligheten for å treffe turbinbladene. Sannsynligheten for å treffe turbinbladene og skades gjennom en turbin er hovedsakelig avhengig av den relative åpningen mellom turbinbladene og fiskens relative hastighet i forhold til turbinbladene, i tillegg til fiskens lengde (Montén 1985). Utforming eller drift av kraftverk som medfører områder med stor turbulens, kavitasjon eller raske trykkendringer som fisken passerer gjennom kan også øke frekvensen av fisk som skades og dør. Skader ved passering av turbiner installert ved små kraftverk er generelt større enn ved større kraftverk på grunn av den mindre størrelsen og raskere rotasjonen av turbinene (Larinier 2008).

#### *Predasjon ved passering av kraftverk*

Når nedvandrende ål ankommer kraftstasjoner, er det flere undersøkelser som rapporter at de kan forsinkes og svømme rundt i området oppstrøms kraftverksinntaket og kraftverksdammen i dager og uker (Behrmann-Godel & Eckmann 2003, Durif mfl. 2003, Gosset mfl. 2005, Jansen mfl. 2007). Eventuelle oppsamlinger av ål oppstrøms kraftverket, eller særlig ål som kommer desorientert eller skadet ut nedenfor kraftverket, kan bli utsatt for en økt predasjonsrisiko fra andre større fisk, fugler eller pattedyr.

#### *Luftovermetning*

Luftovermetning innebærer at vannet inneholder mer oppløst gass, hovedsakelig nitrogen og oksygen, enn likevektstilstand. Problemer med luftovermetning kan forekomme nedenfor kraftverk hvis luft løses i vann under trykk gjennom kraftverket, og trykket avtar når vannet kommer ut av kraftverket. Problemer med luftovermetning er rapportert fra en rekke kraftverk i utlandet, og noen kraftverk i Norge (Thorstad mfl. 1997).

Gassblæresyke, eller luftblæresyndrom, er en skade som oppstår på grunn av luftovermetning. Skadebildet innebærer vanligvis funn av luftblærer i og på vev, men skadebildet kan være variert og diffust. Hos fisk ser en ofte utvendige blærer som et symptom. Skadeomfanget kan i ytterste fall være dødelig, men subletale eksponeringer kan påvirke og medføre skader på organer, gjellevev, sensoriske egenskaper, atferd og vandringshastighet. Disse skadene kan medføre dødelighet og bestandsendringer hos fisk over tid som følge av redusert fluktrespons, svekket salttoleranse eller økt mottakelighet for sykdommer. En grundig gjennomgang av effekter av luftovermetning er gitt i Weitkamp & Katz (1980) og Thorstad mfl. (1997). Ål ser ut til å være mer tolerant for luftovermetning enn

laksefisk (Heggberget mfl. 1984). Ved Rygene kraftverk i Nidelva ved Arendal var luftovermetning knyttet til bruk av en omløpstunnel som leder vannet forbi turbinen ved driftstans. Det ble registrert flere tilfeller med dødelighet av fisk i forbindelse med dette, også for ål (Heggberget 1984).



*Francisturbin lik de som er i drift ved Åna-Sira kraftverk. Foto: Eva. B. Thorstad.*

### **Mulige tiltak for å redusere dødelighet av nedvandrende ål forbi kraftverk**

Mens man i forhold til smolt kan vurdere turbinløpet som et alternativ i forhold til nedvandringsspassasje, er dette ikke en løsning for ål. Dette skyldes ålens lengde. Generelt finnes ikke standard løsninger for hvilke tiltak som kan benyttes for å lede blankål forbi kraftverk, og det finnes relativt lite kunnskap på området (Larinier & Travade 2002, Larinier 2008, Travade mfl. 2010). I forhold til laksefisk er det gjort lite forskning på ål og tiltak for nedvandring (Larinier & Travade 2002, Travade mfl. 2010). De fleste undersøkelser av tiltak for ål er foretatt i Frankrike, Nederland, Tyskland og Sverige. I Frankrike har de konkludert med at nedvandring av ål er en av de største utfordringene ved kraftverk, og at det er kunnskapsmangel i forhold til å utvikle gode løsninger (Larinier 2008). I det følgende gis en generell oppsummering av hva som finnes av mulige tiltak og kunnskap om effekten av disse.

Det finnes ulike typer tiltak som kan redusere dødelighet for nedvandrende ål forbi kraftverk:

- Fange nedvandrende ål i vassdraget, frakte dem forbi kraftverket og slippe dem ut igjen nedenfor kraftverket.
- Redusere andelen ål som går gjennom kraftverket og øke andelen ål som benytter trygge vandringsveier utenfor turbinene. Trygge vandringsveier kan for eksempel være over eller gjennom kraftverksdam, gammelt elveleie, konstruerte omførløp eller andre muligheter.
- Stanse kraftverket i hele eller deler av perioden med nedvandring av ål.

Hvert av disse punktene er nærmere beskrevet og diskutert i det følgende.

#### *Fangst og transport forbi strekninger med kraftverk*

Dødelighet av blankål kan reduseres ved å fange ålen i vassdraget ovenfor kraftverket, transportere dem i tanker med vann forbi kraftverket og sette dem ut igjen lengre nede i vassdraget ("trap and transport" eller "trap and truck"). Effektiv fangst av en stor andel blankål i et vassdrag er svært arbeidskrevende, spesielt i store vassdrag som i Siravassdraget. I River Shannon i Irland har de imidlertid konkludert med at fangst og transport forbi kraftverket er det mest effektive tiltaket for å redusere dødelighet under nedvandring, og de benytter installasjoner som tidligere ble brukt til kommersiell fangst (McCarthy 2008). I 2001-2007 transporterte de årlig mellom 1,3 og 7,7 tonn ål forbi kraftverket på denne måten. I Moselle River i Tyskland ble det fanget og transportert mellom 1,5 og 4,7 tonn ål årlig forbi kraftverk i perioden 1997-2002 (Adam mfl. 2005). Metoden forutsetter at man kan etablere en eller flere effektive fangststasjoner. Dette kan være vanskelig, særlig i større vassdrag.

#### *Lede ålen til å bruke omløpsmuligheter forbi kraftverket*

Tiltak som øker andelen ål som bruker trygge vandringsveier utenom turbinene, som for eksempel over eller gjennom kraftverksdam, gammelt elveleie, konstruerte omføringssløp eller andre muligheter vil redusere skadefrekvens og dødelighet. Dette kan gjøres på flere måter:

- Tilpasse alternative passasjer slik at ålen i mest mulig grad blir tiltrukket av disse i stedet for kraftverksinntaket.
- Fysisk hindre ålen fra å gå gjennom turbinene, eller fysisk lede dem bort fra kraftverksinntaket, som for eksempel ved installasjon av ei varegrind.
- Bruke sperrer som skal påvirke ålens atferd til å unngå vanninntaket og heller finne alternative vandringsveier, som for eksempel elektriske sperrer, boblegardiner, lys og lyd.

Flere typer tiltak kan kombineres på samme sted. De ulike tiltakene beskrives nærmere i det følgende.

#### *Tilpasning av alternative passasjer slik at ålen i mest mulig grad blir tiltrukket av disse i stedet for kraftverksinntaket*

Første skritt er å sikre at det faktisk finnes andre vandringsmuligheter for blankål enn gjennom kraftverket og turbinen, og at ålen ikke skades når de bruker disse. Vandringsveier utenfor turbinen kan generelt være bruk eller tilpasning av eksisterende omløpsmuligheter (eksisterende damluker, fisketrapper, gammelt elveleie og lignende) eller konstruksjon av nye vandringsveier spesielt konstruert for ål.

Den neste utfordringen er å få ålen til å benytte de alternative passasjemulighetene i stedet for å søke mot kraftverksinntaket, siden ålen gjerne følger hovedvannstrømmen (Deelder 1984), og denne oftest går gjennom kraftverket. Det vil derfor mange steder være naturlig for ål å søke mot kraftverksinntaket. Inngangen til alternativ vandringsvei forbi kraftverket må derfor være på et sted hvor ålen enkelt finner den.

Jansen mfl. (2007) fant at andelen ål som valgte de ulike vandringsrutene forbi et kraftverk var tilnærmet lik fordelingen av vann mellom vandringsrutene. En økt andel av vannet som slippes gjennom alternative passasjer kan dermed øke andelen ål som benytter disse. Hvilke passasjer ålen velger vil imidlertid også være avhengig av utformingen og andre forhold ved det enkelte kraftverket, slik at dette ikke alltid stemmer (Calles & Bergdahl 2009). Haddingh mfl. (1999) fant at blankål foretrakk å vandre nedover med den raskeste vannstrømmen (25 cm/s) når de fikk et valg i en vannrenne.

*Fysiske hindre foran vanninntak og turbiner, som hindrer ålen fra å gå gjennom kraftverket*  
Andelen ål som går gjennom kraftverket kan reduseres ved å installere ei varegrind som hindrer dem i å komme inn i kraftverket (Larinier 2008). Hastigheten på vannet mot varegrinda må være så lav at ikke ål klemmes fast mot varegrinda og dør på grunn av dette. Vannhastigheten kan reduseres ved å vinkle varegrinda i forhold til vannstrømmen slik at den får en større overflate (Adam mfl. 2005, Calles & Bergdahl 2009, Calles mfl. 2013b). På denne måten kan ålen i større grad bevege seg rundt på varegrinda, og kan eventuelt også snu og svømme oppstrøms igjen hvis vannhastigheten ikke er for stor. Vinklede varegrinder med så lav vannhastighet at fisken ikke klemmes fast mot varegrinda kan kombineres med omløpsmuligheter som leder ålen forbi turbinene (Adam mfl. 2005, Calles & Bergdahl 2009, Calles mfl. 2013b). Det kan lages hull i varegrinda som fører ålen inn i omløpsrør eller andre typer omløp forbi turbinene, eller det kan være åpning på toppen av hele varegrinda mot overflata, som leder ålen inn i en omløpsmulighet. Ei varegrind vil redusere potensialet for kraftproduksjon, og jo mindre spaltebredde jo større produksjonstap. Ei vertikalt eller horisontalt vinklet varegrind, som dermed får større overflate, reduserer produksjonstapet i forhold til ei varegrind som står vinkelrett på vannstrømmen (Adam mfl. 2005). Etablering av ei varegrind foran turbininntaket i Lundevatnet er et aktuelt tiltak for nedvandrende ål. Tiltaket er derfor nærmere beskrevet i kapittel 4.6.

Ulike andre fysiske ledegjerder for å lede ål bort fra kraftverksinntak og mot alternative omløp er også forsøkt, som "louvers" og "bar racks", som skal lede ålen i riktig retning selv om de ikke utgjør fullstendige fysiske sperrer (Amaral mfl. 2003). Slike installasjoner er i likhet med andre typer sperrer avhengig av at vannhastigheten ikke er for stor, og at fisken kan bevege seg i riktig retning uten å kolliderer med ledegjerdene. I laboratorieundersøkelser er det oppnådd varierende resultater i forhold til å lede amerikansk ål med ledegjerder (Amaral mfl. 2003), mens slike tiltak ikke er testet under fullskala forhold ved kraftverk. I store vassdrag vil slike ledegjerder bli store og krevende å vedlikeholde. Adam mfl. (2005) konkluderte med at slike ledegjerder ikke vil være tilstrekkelige til å redusere dødeligheten for ål ved kraftverk, selv om de kan være effektive for smolt. Dette skyldes i stor grad hvordan de ulike fiskeartene beveger seg i vannmassene.

*Bruk av sperrer som skal påvirke ålens atferd til å unngå vanninntaket, som elektriske sperrer, boblegardiner, lys og lyd*

Flere ulike typer sperrer som skal påvirke ålen til å unngå kraftverksinntak, eller til å ledes mot åpningen til alternativ vandringsveier, er forsøkt. Hovedsakelig er disse basert på elektrisk strøm, bobler, lys eller lyd.

*Elektrisk strøm:* Det finnes generelt få undersøkelser som har dokumentert at elektriske sperrer fungerer i forhold til å redusere andelen fisk som går inn i kraftverk, særlig i store vassdrag der en stor andel av vannet tas gjennom kraftverket (Adam mfl. 2005). Ål er sensitive for elektrisk strøm (Enger mfl. 1976, Berge 1979), men det finnes få undersøkelser av effekter av elektriske sperrer spesifikt på ål. Haddingh & Jansen (1990) konkluderte med at effekten var høyst variabel og upålitelig, og konsentrerte derfor senere undersøkelser om effekter av lyssperrer (Haddingh mfl. 1992). Et problem med elektriske sperrer er at hvis vannstrømmen er for sterk, og fisken kommer for langt inn i det elektriske feltet, så kan de bli bevisstløse og drive med strømmen inn i det området de i utgangspunktet skulle skremmes bort fra (Richkus & Dixon 2003).

*Bobler:* Prinsippet med luftboblegardiner for å få fisk bort fra vanninntak, er at fisken skal skremmes visuelt eller med kontakt med luftboblene. Strobelys kan brukes i kombinasjon for å gjøre luftboblene mer synlige når lyset reflekteres i dem. Luftboblegardiner har ikke vist seg som effektive sperrer i forhold til blankål. Ålen kan i utgangspunktet vise en unnvikelsesreaksjon, men venner seg så til boblegardinen og svømmer gjennom den (Richkus & Dixon 2003, Adam mfl. 2005).

*Lys:* Ålen er et utpreget nattaktivt dyr. Flere undersøkelser viser at blankål unnviker kunstig opplyste områder, både i laboratorieundersøkelser (Lowe 1952, Hadderingh mfl. 1992, 1999) og ved dammer og kraftverk (se nedenfor). Kunnskap om ålens unnvikelse fra kunstig lys har også blitt brukt for å øke fangstene i fiskerier (Tesch 2003, Deelder 1984). Flere ulike typer lamper har gitt en unnvikelseeffekt (Lowe 1952, Hadderingh mfl. 1992, 1999), og lysintensiteter fra 3-5 mlux til 10 lux har medført unnvikelsesatferd av ål i laboratorieundersøkelser (Hadderingh mfl. 1992, 1999).

Undersøkelser av lyssperrer viser lovende resultater i forhold til at blankål unnviker områder med lys (Vøllestad mfl. 1986, Hadderingh & Bakker 1998), selv om det også finnes eksempler på feltundersøkelser hvor det ikke ble funnet effekter av kunstig lys (Lowe 1952, Richkus & Dixon 2003). Dermed er det et potensial for å redusere dødelighet i kraftverk og øke andelen ål som styres mot alternative vandringsveier ved bruk av lys eller lyssperrer. Imidlertid har det i undersøkelser bare blitt vist at andelen ål som går inn i uønsket område ved kraftverket blir redusert i perioder med belysning. Individuell atferd ved kraftverk har ikke blitt undersøkt, slik at det ikke er kontrollert om belysning medfører at flere ål finner alternative vandringsveier, eller om de bare blir skremt av lyset og venter i områder oppstrøms kraftverket til lyset blir slått av, og senere likevel går gjennom turbinen i en mørk natt. Det er også viktig at lyssperrer brukes i områder med så lav vannhastighet at ålen faktisk har en mulighet til å manøvrere og komme seg unna.

*Lyd:* Ålen hører frekvenser opp til 300 Hz (Jerkø mfl. 1989). Effekten av en lydkilde som produserte infralyd på 11,8 Hz ble testet på atferd hos blankål (Sand mfl. 2000). I laboratoriet viste fisken en atferdsmessig og fysiologisk stressreaksjon på infralyd. Lydkilden ble så plassert ovenfor fiskefella i Imsa i Rogaland. Fiskefella er en såkalt Wolf-felle som dekker hele elva og fanger all nedvandrende fisk. Sperra ble delt opp i seksjoner over elvas bredde, og lydkilden plassert på den ene sida av elva. I perioder da infralyden var slått på endret ålen bruk av elvebredden, slik at seksjonen nær lydkilden ble mindre brukt og seksjoner mot den andre elvebredden ble mer brukt.

Bruk av lydsperrer for å hindre blankål i å gå inn i kraftverk og heller finne alternative vandringsveier er lovende på bakgrunn av disse testene. Utviklingsarbeid og uttesting ved kraftverk gjenstår imidlertid, samt uttesting i større vassdrag enn Imsa. Som for lyssperrer er det også viktig at lydsperrer brukes i områder med så lav vannhastighet at ålen faktisk har en mulighet for å manøvrere og komme seg unna.

#### *Stans av kraftverket under nedvandringen*

Stans av kraftverket under nedvandringen av blankål er et tiltak som i stor grad kan redusere dødelighet. Siden dette medfører tap av kraftproduksjon vil det vanligvis være et kostbart tiltak. Hvis stans av kraftverket skal brukes som tiltak for å redusere dødelighet av utvandrende blankål, bør kraftverket stanses i perioder med størst sannsynlighet for at blankålen vandrer ut. Kunnskap om når ålen vandrer kan også brukes til å forutsi når andre typer tiltak for å redusere dødeligheten av nedvandrende blankål bør iverksettes. Siden utvandringstidspunktet er dokumentert fra få norske vassdrag, vil det være nødvendig å undersøke dette nærmere.

#### *Hvilken tid på døgnet vandrer ålen?*

Mange undersøkelser viser at blankålvandringen hovedsakelig foregår i de mørkeste timeene av døgnet (Deelder 1984, Tesch 2003, Gosset mfl. 2005, Winter mfl. 2006, Aarestrup mfl. 2008). Hvis stans av kraftverk skal brukes som tiltak i forhold til å redusere dødeligheten for nedvandrende blankål, kan det derfor være tilstrekkelig å stenge kraftverket i de mørke timeene av døgnet. Unntaket kan være i turbide og dype elver, der ålen i større grad kan vandre hele døgnet fordi det uansett finnes mørke områder i dypet (Breukelaar mfl. 2009).

Det kan også være mulig med en kombinasjon av stans av kraftverket og bruk av kunstig lys, ved å bruke belysning ovenfor kraftverket til å redusere antall netter med nedvandring av blankål. Dermed kan man redusere antall netter med behov for å stenge kraftverket. For eksempel kan kunstig lys benyttes annenhver natt med kraftverket i drift, mens kraftverket stenges annenhver natt når vandringen ikke hindres med kunstig lys. Effekten av denne typen tiltak er imidlertid ikke testet, og det er nødvendig med utprøving og evaluering før et slikt tiltak eventuelt kan anbefales og iverksettes.

### **Forholdene for nedvandring av ål i Siravassdraget**

Det er kun en liten mengde vann som renner ned det gamle elveleiet (0,7 m<sup>3</sup>/s) forbi Åna-Sira kraftverk, mens hovedmengden vann går gjennom kraftverket. Det er derfor sannsynlig at de fleste eller all nedvandrende ål følger hovedstrømmen med vann og går gjennom kraftverksturbinen. Det er usikkert om de i det hele tatt har en alternativ nedvandringsvei enn gjennom kraftverket, siden vannet som renner ned det gamle elveleiet er en lekkasje gjennom ura i dammen og neppe egnet som vandringsvei for blankål. Hvis det forekommer perioder med flom under utvandringen for ål slik at vannføringen overstiger slukeevnen til kraftverket, kan det imidlertid være en alternativ vandringsvei over dammen og ned det gamle elveleiet. Andelen ål som eventuelt bruker alternativ vandringsvei over dammen i stedet for gjennom kraftverket i slike flomperioder kan avhenge av hvor stor andel av den totale vannføringen som renner over dammen. Jo større andel av vannet som renner over dammen, jo større andel av ålen vandrer trolig denne veien. Det er uvanlig at det går mye vann forbi demningen. Dette vil derfor være et usikkert alternativ og ikke en løsning. Dødeligheten for ål som går gjennom turbinene ved Åna-Sira kraftverk er ikke kjent, men det må påregnes at den kan være betydelig.

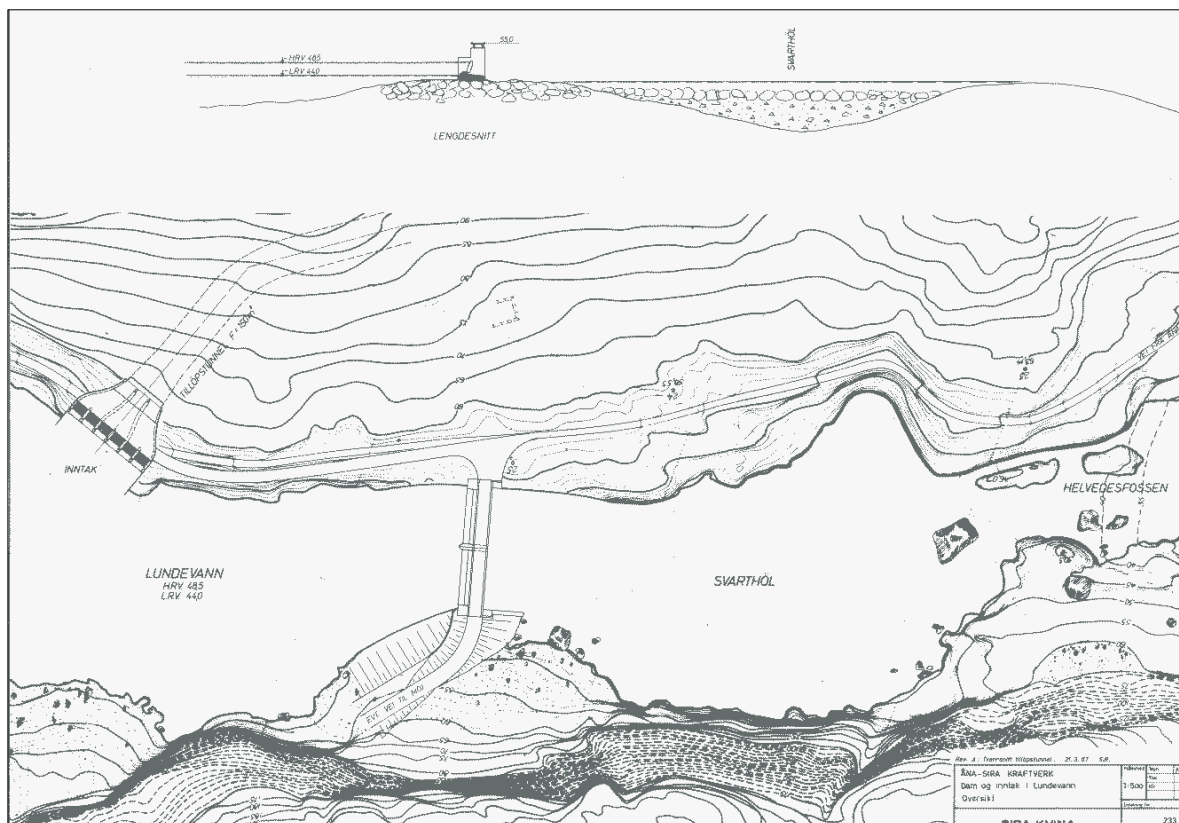
For å sikre overlevelse av nedvandrende blankål forbi Sira-Kvina kraftverk er det nødvendig med tiltak både for å redusere andelen ål som går gjennom kraftverket, samt sikre at det finnes en alternativ vandringsvei som ålen finner og faktisk benytter. Siden vanninntaket ikke ligger i forbindelse dammen, men i Lundevatnet et stykke fra dammen (**figur 13**), er det en utfordring å etablere gode løsninger for nedvandring av ål.

Tiltak som har som formål å påvirke ålens atferd i form av lys, lyd, ledegjerder og lignende er sannsynligvis ikke tilstrekkelig til å hindre ål i å gå inn i kraftverket, og det er trolig nødvendig å etablere en fysisk sperre i form av ei varegrind foran vanninntaket for å hindre ål i å gå inn i kraftverket (se kap. 4.6 for detaljer).

Alternativt til et fysisk hinder ved inntaket til Åna-Sira kraftverk kan det vurderes å stanse kraftverket i perioder med utvandring av ål. Det må da skaffes empiriske data på når utvandring skjer. Utvandring kan starte fra midtsommer og vare ut oktober. Dette vil være et svært kostbart tiltak.

Det er ikke laks i Siravassdraget oppstrøms dammen ved Lundevatnet. Hvis det bygges fisketrapp slik at laks ledes opp i Lundevatnet og videre oppover i vassdraget (Fjeldstad 2013), vil det være nødvendig å utvikle løsninger for nedvandrende fisk som fungerer både for ål, laksesmolt og voksen laks.

Gode tekniske løsninger for å lede nedvandrende ål og eventuelt laks forbi kraftverket ved Åna-Sira antas å kunne utvikles, men slike løsninger er lite utprøvd i Norge og vil kreve utvikling, uttesting og tilpasninger over flere sesonger.



**Figur 13.** Beliggenheten for vanninntaket til Åna-Sira kraftverk, dammen ved utløpet av Lundeavatnet og øverste del av minstevannføringsløpet mellom Lundeavatnet og Åna-Sira. Kilde: Sira-Kvina kraftselskap.



Nederste del av Lundeavatnet, sett fra dammen ved utløpet og oppover vatnet. Beliggenheten for vanninntaket ved Åna-Sira kraftverk er vist med pil. Foto: Eva B. Thorstad.



Nederste del av Lundevatnet, sett fra vanninntaket ved Åna-Sira kraftverk og nedover mot dammen ved utløpet. Vanninntaket er vist med pil. Foto: Eva B. Thorstad.

## 4.6 Installasjon av varegrind foran tunnelinntaket i Lundevatnet som spesifikt forslag til tiltak for nedvandrende ål

For å etablere et velfungerende tiltak for nedvandrende fisk må det tas hensyn til flere faktorer. Hvis en eller flere av faktorene er ufullstendig vil tiltaket ha redusert til ingen virkningsgrad. De tre viktigste hovedpunktene er:

- Fisken må hindres fra å svømme inn mot turbin
- Fisken må ledes til en trygg fluktrute
- Fluktruta må ende i et løp hvor fisken kan vandre trygt videre

Svenske forskere har gitt anbefalinger for hvordan varegrinder foran vanninntak bør utformes for å hindre ål i å føres gjennom kraftverket ut fra egne undersøkelser og litteraturoppsummeringer (Calles & Bergdahl 2009, Calles & Christiansson 2012, Calles et al. 2013b,c). De svenske forskerne har anbefalt at varegrinder foran turbininntak bør være skråstilt i forhold til horisontalplanet (30-35°). I elva Åtran i Sverige ble det gjort forsøk med å installere varegrind foran kraftverksinntaket (Calles & Bergdahl 2009, Calles mfl. 2013b). Varegrinda hadde 18 mm lysåpninger og ble installert i 35 graders vinkel for å øke overflaten. Samtidig ble det laget seks hull i varegrinda som ålen kunne passere gjennom, som var forbundet med feller hvor ålen ble fanget levende og kunne transporteres forbi kraftverket. Sammenlignet med varegrinda de hadde ved kraftverket tidligere, som hadde 20 mm lysåpning og var montert i 63 graders vinkel, ble dødeligheten av blankål forbi kraftverket redusert fra over 70 % til mindre enn 10 % med den nye varegrinda. Anbefalingene i dette kapitlet er i stor grad basert på de svenske undersøkelsene.

### 4.6.1 Hindre fisken fra å svømme inn mot turbin

Ei varegrind kan fungere som ei atferdssperre eller som ei fysisk sperre. Grad av sperring er knyttet til avstanden mellom spilene. Spilene kan plasseres horisontalt eller vertikalt. Det kan være fordeler med horisontale spiler i forhold til det å lede ål, samtidig som rensing av



varegrinda vil bli mer komplisert. Inntil det foreligger mer praktisk erfaring med horisontale spiler anbefaler vi bruk av vertikale spiler.

Mens ei varegrind med lysåpninger som er inntil 3-4 ganger bredden til en fisk kan fungere som ei atferdssperre for smolt, vil ål kunne presse seg gjennom ei varegrind som har lysåpninger som er smalere enn ålekroppens bredde. For å hindre ål i å vandre ned gjennom turbinløpet må varegrinda utformes som en fysisk barriere. Ei varegrind som hemmer ål vil også hemme smolt. Et slikt tiltak etablert for ål kan med små justeringer fungere som tiltak for smolt, men et tiltak for smolt behøver imidlertid ikke å være tilstrekkelig for ål.

#### 4.6.2 Varegrinda

Det er ingen entydig og klar definisjon på hva som er en akseptabel lysåpning for ål. Hvis den nedvandrende ålen er liten, må lysåpningen være tilsvarende liten. Spalteåpningene i varegrinda bør være mindre enn 15 mm for å hindre at blankålhunner går gjennom, og mindre enn 9 mm for å hindre at de mindre hannene går gjennom, i følge Adam mfl. (2005). Ål med kroppslengde på 70 cm kan komme gjennom ei varegrind med spalteåpninger på 20 mm. Selv en spalteåpning på 18 mm kan passeres av ål som veier 250 g og er 45-50 cm lange (Adam mfl. 2005). I Danmark og Tyskland benyttes derfor åpninger på 10 mm (oppsummert av Calles & Bergdahl 2009, Calles & Christiansson 2012). Erfaringene fra Sverige antyder imidlertid god avledning av ål når lysåpningen ble redusert fra 20 til 18 mm. De fant ingen positiv effekt av å gå ytterligere ned i dimensjon. Inntil det foreligger studier som påviser klar positiv effekt av mindre lysåpning anbefaler vi at varegrinda bygges med 18 mm spileavstand. Redusert spileavstand vil medføre at mindre vann kan passere varegrinda. Varegrindas areal må derfor økes for å opprettholde produksjon.

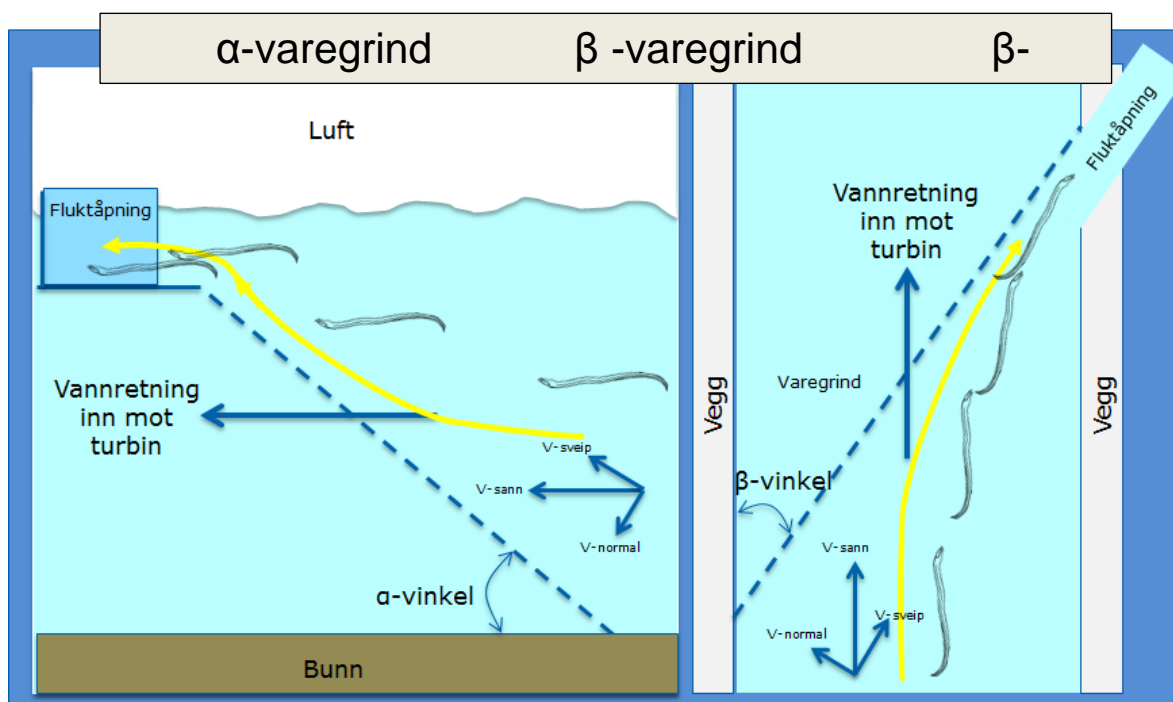
**Vannhastighet** foran varegrinda må ikke overstige ålens svømmekapasitet. Hvis hele kraftverksinntaket er sperret av ei varegrind som har mindre spaltebredde enn fisken kan komme gjennom, og vannhastigheten er for stor til at fisk som har kommet bort til varegrinda kan snu og svømme tilbake igjen, vil fisken sette seg fast i varegrinda og det kan medføre dødelighet (Adam mfl. 2005, Calles & Bergdahl 2009). Hastigheten foran (ca. 10 cm foran) ei tradisjonell varegrind vil være en funksjon av varegrindas areal og kraftverkets slukeevne. Dagens inntaksareal foran varegrinda er på 240 m<sup>2</sup>. Maksimal slukeevne er på 375 m<sup>3</sup>/s. Vannhastigheten foran varegrinda vil da bli ca 1,5 m/s. Hvis man setter kritisk svømmekapasitet for ål til 0,5 m/s, må varegrinda ha et areal på minst 750 m<sup>2</sup> hvis denne står vinkelrett på vannstrømmen. Dette arealet kan reduseres hvis varegrinda vinkles på vannretningen.

Vannhastighet ( $V_{\text{sann}}$ ) foran varegrinda kan deles opp i vektorer. Disse benevnes som  $V_{\text{normal}}$  ("approach" eller "normal" velocity) og  $V_{\text{sveip}}$  ("sweep" eller "transport" velocity) (**figur 14 og 15, tabell 4**). Her er  $V_{\text{sveip}}$  viktigst. Fisk vil ledes effektivt langs varegrinda hvis  $V_{\text{sveip}}$  er  $> 2x$  vannhastighet inn mot varegrinda ( $V_{\text{normal}}$ ). Mens dagens vannhastighet inn mot varegrinda i Lundevatnet vil medføre at ål presses fast på spilene såfremt ålen ikke presses gjennom, vil en korrekt vinklet varegrind medføre at ålen ledes langs varegrinda og fram til en fluktåpning. For å oppnå god ledeeffekt må varegrinda vinkles minst 35° på vannstrømmen. Ved å vinkle varegrinda samtidig som arealet økes fra dagens 240 m<sup>2</sup> til 400 m<sup>2</sup>, reduseres hastighet inn mot varegrinda.  $V_{\text{sann}}$  avtar fra 1,5 til 0,9 m/s mens  $V_{\text{normal}}$  reduseres 0,86 til 0,5 m/s (**tabell 4**). Økningen i areal medfører at det ikke vil være falltap knyttet til redusert lysåpning.

**Tabell 4.** Vinkel og lysåpning for varegrinder foran turbininntak i kraftverk i de svenske elvene Åtran og Emån (Calles et al. 2012, 2013a) og vannhastighetsvektorer ved varegrindene. Hastighetsvektorer er også gitt for varegrind foran turbininntaket i Lundeavatnet med dagens areal samt hvis den var vinklet 35° og hadde økt areal.

	Åtran	Emån	Lundeavatnet Dagens varegrind 240m <sup>2</sup>	Lundeavatnet Økt areal 400m <sup>2</sup>
Varegrind vinkel	35°	35°		35°
Lysåpning	18	18		
V <sub>-sveip</sub> Sveiphastighet	0,76	0,66	1,23	0,74
V <sub>-sann</sub> Anløpshastighet	> 0,93	0,80	1,5	0,9
V <sub>-normal</sub> Normalhastighet	0,53	0,46	0,86	0,52

Avhengig av hvordan varegrinda vinkles har man enten en  $\alpha$ - eller en  $\beta$ -varegrind. Avhengig av vinkel vil fisk ledes opp og bort ( $\alpha$ -vinkel) eller sidelengs og bort ( $\beta$ -vinkel). Det er mulig å kombinere  $\alpha$ - og  $\beta$ - i samme varegrind. Det er i dag en  $\alpha$ -varegrind i Lundeavatnet. Det kan være relevant å vurdere kostnader knyttet til en kombinasjonsgrind. Denne vil kreve mindre lengde enn en  $\beta$ -grind, men arealet vil øke i forhold til en  $\alpha$ -varegrind.



**Figur 14.** Prinsippskisse av en  $\alpha$ - og en  $\beta$ -varegrind med tilhørende fluktåpning (omarbeidet fra Calles et al. 2013c). For  $\alpha$ -varegrinda er tiltaket illustrert fra siden. For  $\beta$ -varegrinda er tiltaket illustrert ovenfra. Vinklene  $\alpha$  og  $\beta$  er målt mellom henholdsvis bunn og varegrind ( $\alpha$ -varegrind) og mellom vegg og varegrind ( $\beta$ -varegrind). Pilene er vektorer og illustrerer vannhastigheter inn mot varegrinda ( $V_{-sann}$ ) og de resulterende vannhastighetene parallelt med ( $V_{-sveip}$ ) og vinkelrett på varegrinda ( $V_{-normal}$ ). Varegrindene er illustrert med stiplede strek. Fisken vil føres langs den gule streken og inn mot en fluktåpning hvis varegrinda står med en vinkel på  $< 35^\circ$ .

### 4.6.3 Fluktåpninger

Et tiltak som kun hemmer innvandring til turbin er ikke et fungerende tiltak. For å være et fungerende tiltak må fisken også ledes trygt videre. For å oppnå dette er det behov for fluktåpninger. For at fisken skal finne fluktåpning(e) må den tilføres vann. Antall fluktåpninger vil være knyttet til fiskeart og areal på varegrinda.

Mens det i mindre kraftverk er tilstrekkelig med ett sideløp som fluktåpning, vil det i større kraftverk være behov for flere sideløp. Erfaringsmessig bør det være fluktåpninger minst hver 10. m. Fluktåpningene skal plasseres der fisken med stor sannsynlighet finner dem. En fluktåpning feilplassert med få meter vil kunne redusere effektiviteten på tiltaket med mer enn 75 %. Etter fluktåpningene skal fluktløpet smalne inn for å gradvis øke vannets hastighet. Dette for å lede fisken videre og for å minimere sannsynlighet for at fisken snur og vender tilbake til inntaket.

I Frankrike og Sverige har det fungert godt med fluktåpninger plassert i øverste del av varegrinder. Varegrindene er da ikke dykket. Ål som vandrer gjennom fluktåpningene ledes i en felles transportkanal fram til fluktløpet (sideløpet). Hvis varegrinda lages som en dykket varegrind kan denne transportkanalen plasseres i bakkant av varegrinda.

Det er uklart hvor ål svømmer i vannsøylen når den ankommer varegrinda. Det er rimelig å anta at den ankommer fordelt på alle dyp. Inngangen til fluktåpningene bør derfor plasseres på flere dyp fordelt mellom bunn og opp mot overflata hvis det etableres en  $\alpha$ -varegrind. Bygges det en  $\beta$ -varegrind vil ål ledes langs hele lengden av grinda. Hvis denne avsluttes med en  $\alpha$ -varegrind vil ål ledes oppover og det vil kun være behov for én fluktåpning.

Fluktåpningene skal ha en bredde  $> 0,5$  m og en dybde  $> 0,4$  m. Dybden er viktigere enn bredden. Inngangen til fluktåpningene kan med fordel beskyttes av et grovgitter. Dette har som formål å sikre at inngangen ikke tettes av ulike former for driv.

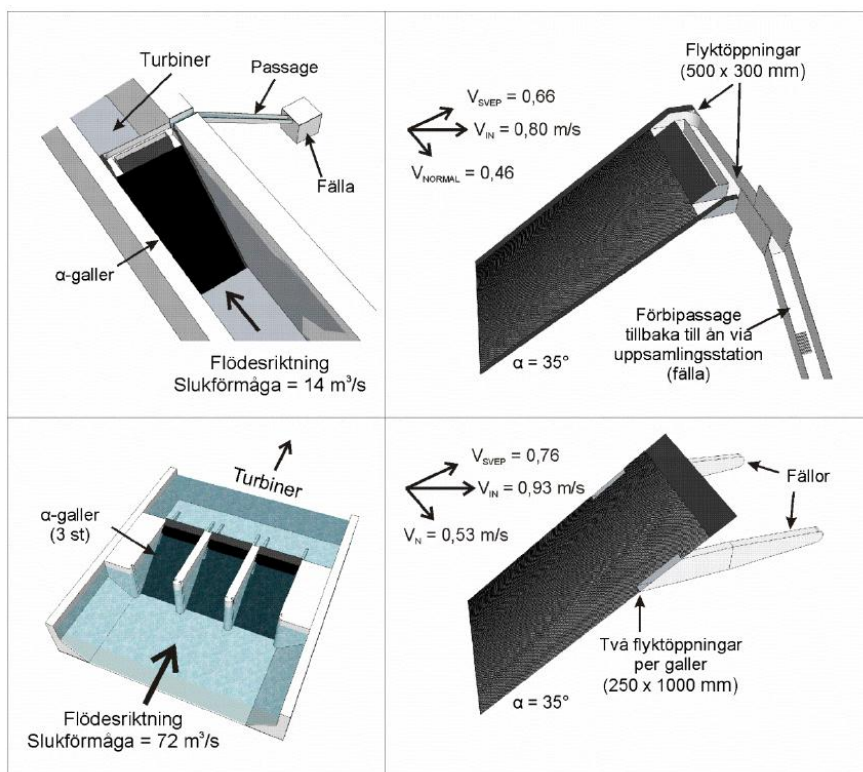
Fluktåpningenes effektivitet avhenger ikke kun av plassering, men også av det vannvolum åpningen tilføres. Forenklet vil fluktrutens effektivitet økes med vannforbruket. Ofte benyttes en tommelfingerregel som tilsier at fluktåpningen må tilføres 5 % av turbinvannføringen, hvor behovet reduseres til 2 % når tiltaket fungerer godt eller må økes opp mot 10 % når tiltaket er mindre optimalt utformet. Det er uklart hvordan dette vannforbruket skal fordeles hvis varegrinda er utstyrt med mange innganger. Dette bør avklares nærmere før en varegrind planlegges i detalj.

### 4.6.4 Konkretisering av tiltak ved turbininntaket i Lundevatnet

Varegrinda skal ha et areal på minst  $400 \text{ m}^2$  for å sikre at vannhastighet ikke overstiger  $0,5 \text{ m/s}$ . Vanndybden er i henhold til Fjeldstad (2013) ca. 12 m. Lengden på varegrinda må da være minst 33 m for å gi tilstrekkelig areal. Det er her laget forslag til to løsninger.

Det kan etableres en  $\beta$ -varegrind mellom tupp av neset og fram til dagens inntak. Varegrinda vil da bli vinklet  $35^\circ$  i forhold til vannstrømmen (**figur 16**). Avstanden er ca. 42 m. Varegrinda vil få et areal på  $500 \text{ m}^2$ . Ål vil ledes langs hele til varegrinda og frem til en fangståpning plassert inn mot Lundevatnet.

Det kan alternativt etableres en  $\alpha$ -varegrind i dagens inntaksåpning. Dagens inntak er 19 m bredt og 12 m dypt (Fjeldstad 2013). Etableres det her en varegrind som har  $35^\circ$  vinkel vil lengden på selve varegrinda bli 20,9 m. Denne får da et areal på  $397 \text{ m}^2$ . Dette gir trolig en enklere bygging enn en  $\beta$ -varegrind, men kan gi større utfordringer knyttet til plassering av fluktåpningene.



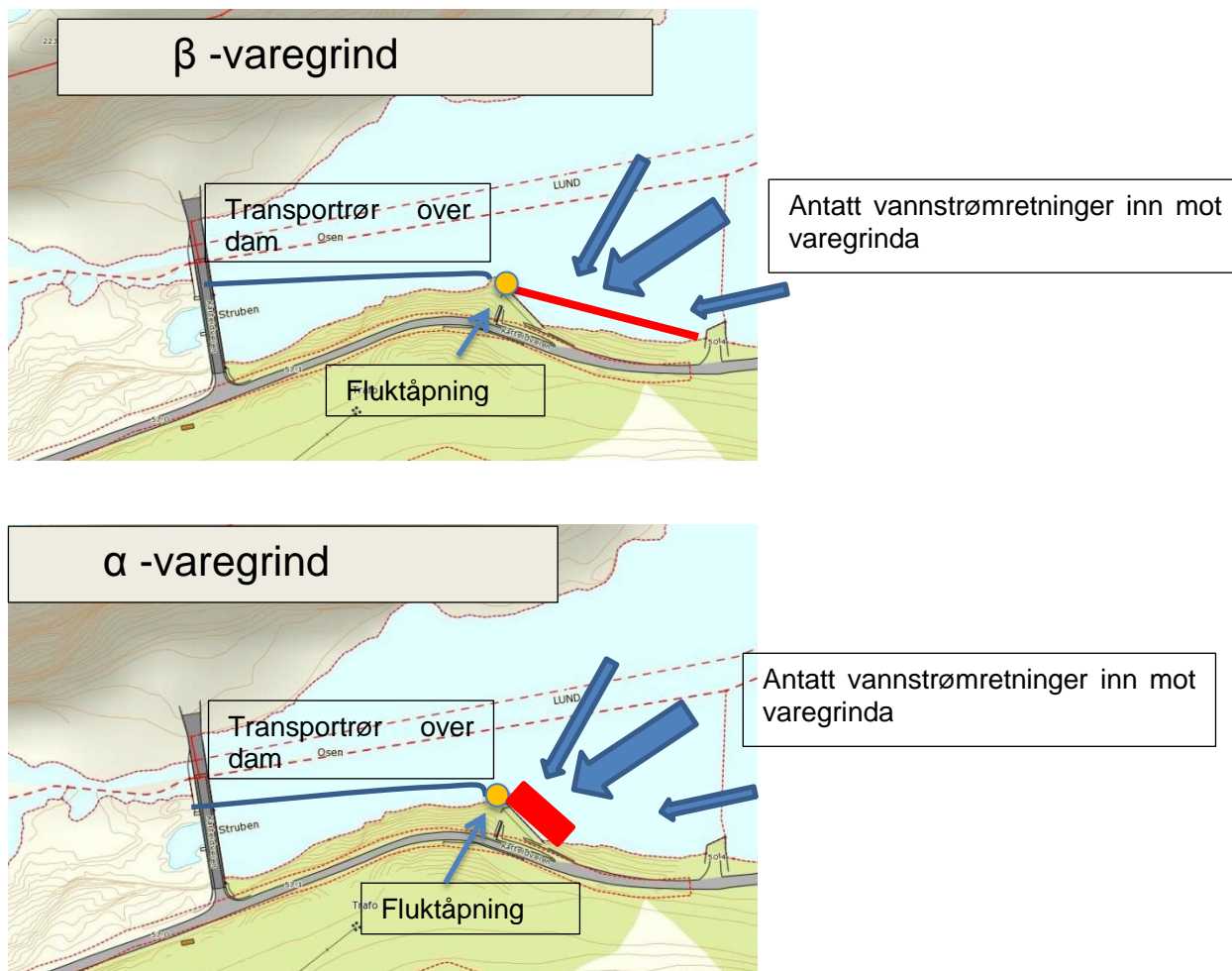
**Figur 15.**  $\alpha$ -varegrinder benyttet ved ulike svenske kraftverk; Övre Finsjö i Emån (överst) og Ätrafors kraftverk i Ätran (nederst). Figuren er hentet fra Calles et al. 2013c, modifisert fra Calles mfl. 2012, 2013a. Pilene angir vannhastighetsvektorer og viser vannhastighet i inntaksområdet ( $V_{IN}$ ), og for vannhastighet parallelt med varegrinda ( $V_{SVEP}$ ) og vinkelrett mot varegrinda ( $V_{NORMAL}$ ).

Fluktåpninger må plasseres der fisken har stor sannsynlighet for å raskt finne dem. For å kan det være relevant med både bunnorienterte og overflateorienterte fluktåpninger. Bygges en  $\beta$ -varegrind vil ål følge varegrinda og ledes inn mot Lundevatnet. Det er ikke gitt at ål vil finne damkrona uten å hjelpes videre. Det må derfor etableres en fangstanordning. Dette kan gjøres ved at det etableres en  $\alpha$ -varegrind vinkelrett på selve hovedvaregrinda. Denne vil lede ål opp og inn i et fangstkammer.

Bygges det en  $\alpha$ -varegrind bør toppen av varegrinda dykkes. I overgangen mellom varegrinda og luft etableres det en dykket transportkanal. Denne skal være tett med unntak av selve inngangen og utgangen. Transportkanalen skal lede fisken frem til det endelige fluktutløpet. Normalt vil dette plasseres i en damkrona eller lignende. Ettersom det er ca. 125 m mellom enden av varegrinda og utløpet til Lundevatnet bør ål ledes til et fangstkammer. Uavhengig av varegrindløsning kan ål transporteres fra fangstkammeret til damkrona med rør/slanger. I første omgang vil manuell transport være den mest rimelige løsningen. Når forekomsten av ål er så stor at dette blir tungvint kan andre transportløsninger ettermonteres.

Det er lite internasjonal erfaring med tiltak slik det her beskrives. De positive erfaringene fra Frankrike og Sverige er i stor grad basert på kunnskap fra mindre kraftverk enn i Sira, samt ved kraftverk som har mer heldig plassering mellom turbininntak og fluktløsninger.

Det er ikke uten videre lett å fastsette en kostnad. Gitt at varegrinda er på 400 m<sup>2</sup> og at kostnaden er mellom 10 og 30 tusen kr/m<sup>2</sup> vil varegrinda koste i størrelsesorden 4 til 12 millioner kr.



**Figur 16.** Forslag til to ulike løsninger for varegrind foran tunnelinntaket i Lundevatnet. Øverst: β-varegrind mellom tupp av neset og fram til dagens inntak. Ål vil ledes langs hele til varegrinda og frem til en fangståpning plassert inn mot Lundevatnet (orange prikk på figuren). Nederst: α-varegrind i dagens inntaksåpning.

## 5 Oppsummering

Undersøkelsene sommeren 2013 viste at det fortsatt finnes ål i Siravassdraget, og det ble fanget ål både i Lundevatnet og i Sira nedstrøms Lundevatnet. Vi vet ikke hvor stor tettheten av ål var i vassdraget tidligere, men antar at den generelle tilbakegangen av ålebestanden i Europa har bidratt til en tilbakegang også i Siravassdraget. Den sure vannkvaliteten i vassdraget virker trolig også begrensende på ålebestanden, men forsuringen har i likhet med i andre vassdrag på Sørlandet ikke medført at bestanden er utryddet. Ålen er mindre følsom for forsuring enn laks. Eventuell kalking av vassdraget kan ha en positiv effekt på tettheten av ål, men kun i de deler av vassdraget som i så fall kalkes. Lokalkjente personer har gjort observasjoner som kan tyde på en tilbakegang av ålebestanden i vassdraget de siste 20-40 årene, noe som kan samsvare med en reduksjon både på grunn av en generell tilbakegang av bestanden i Europa, forsuring og/eller effekter knyttet til kraftregulering.

Dammen ved utløpet av Lundevatnet kan tenkes å forvanske og eventuelt redusere oppvandringen av ål, men synes ikke å være et totalt vandringshinder siden det ble fanget ål i Lundevatnet. Ålen som ble fanget i Lundevatnet ble ikke aldersbestemt, men var etter all sannsynlighet yngre enn dammen. Dammen ble bygd ferdig i 1971, og selv om ål er kjent for å kunne bli gamle er det ikke vanlig at ål blir eldre enn 30 år i norske vassdrag, som de måtte ha vært om de hadde vandret opp i Lundevatnet før dammen ble bygd. De fleste blankål som vandret ut fra elva Imsa i Rogaland i perioden 1982-1992 var mellom 6 og 10 år gamle (Durif mfl. 2008). Gjennomsnittsalderen for blankål fra Imsa i perioden 1982-1987 var ca 8 år og varierte mellom 3 og 18 år (Vøllestad & Jonsson 1988). I Numedalslågen var ålen gjennomsnittlig 14 år ved utvandring (fra 6 til 27 år) (Aasestad 1996). I Kvernvatn i Hordaland var hannene gjerne 4-5 år og hunnene 5-6 år ved utvandring (Sagen 1983). Det bør imidlertid undersøkes om det kan være andre vannveier som ålen kan følge fra sjøen og opp i Lundevatnet enn via Sira og forbi dammen ved Lundevatnet, siden ålen for eksempel kan ta seg fram over kortere strekninger gjennom våt vegetasjon. Vi kan ikke fullstendig utelukke at det finnes andre mulige vandringsveier for ål opp i vassdraget enn via utløpet av Sira og dammen ved Lundevatnet.

Det lyktes ikke å fange oppvandrende ål i åleledere ved dammen ved Lundevatnet. Om dette skyldes at det ikke var ål i området, eller om ålelederne var montert slik at ålen ikke fant inngangen, vet vi ikke. Fangstene av ål var gode i ruser og ved el-fiske i Sira i Langhølen, helt nederst ved elvemunningen, mens kun et lite antall ål ble fanget lengre opp i minstevannføringsløpet. Det kan derfor være grunnlag for å vurdere om det er vanskelige forhold for oppvandring av ål ulike steder i minstevannføringsløpet.

Blankål som vandrer ut fra vassdraget føres sannsynligvis gjennom kraftverksturbinene ved Åna-Sira kraftverk, siden mesteparten av vannet føres gjennom kraftverket og det ikke finnes omløpsmulighet ved dammen unntatt under flommer som overstiger kraftverkets slukeevne og det renner vann over dammen. Selv under flom kan en stor andel av ålen føres gjennom kraftverket hvis kun en liten andel av vannet renner over dammen og resten føres gjennom kraftverket. Dødeligheten og skadefrekvensen for ål som føres gjennom kraftverksturbinene er ikke kjent, men det må påregnes at i alle fall en andel av ålen ikke overlever.

Hvis full overlevelse av nedvandrende blankål forbi Sira-Kvina kraftverk skal sikres er det nødvendig med tiltak som sikrer at det finnes en alternativ nedvandringsvei som ålen benytter, samt hindrer ål i å føres gjennom kraftverket. Det mest effektive tiltaket for å hindre at ål føres gjennom kraftverket er trolig å etablere ei fysisk sperre i form av ei varegrind foran vanninntaket (se kapittel 4.6 for detaljer). Det må etableres alternativ nedvandrings-

---

vei for ål, enten over dammen eller ved å installere fangstkammer eller omløpsrør i forbindelse med kraftverksinntaket. Hvis vassdraget ovenfor dammen ved Lundevatnet åpnes for laks vil det være nødvendig å utvikle løsninger for nedvandrende fisk som fungerer både for ål og laks.

Gode tekniske løsninger for å lede nedvandrende ål og eventuelt laks forbi kraftverket ved Åna-Sira kan altså trolig utvikles, men slike løsninger er lite utprøvd i Norge og andre land og vil dermed kreve utvikling, uttesting og tilpasninger over flere sesonger. Slike undersøkelser bør gjennomføres parallelt med nasjonal forskning på området. Utvikling og uttesting av løsninger for nedvandrende fisk vil være kostnadskrevenende.

Så lenge det må påregnes dødelighet under nedvandring av blankål forbi Åna-Sira kraftverk bør det ikke gjennomføres tiltak for å lede flere ål oppover i vassdraget. Mest sannsynlig er det bedre å la ålen leve i sjøen eller nedre del av vassdraget enn å lede dem opp i vassdraget med fare for dødelighet og skader under nedvandringen.

I denne rapporten er det hovedsakelig forholdene ved Åna-Sira kraftverk og i og nedenfor Lundevatnet med sidebekker som er vurdert. Forholdene for ål videre oppover i vassdraget er ikke i særlig grad vurdert.

## 6 Referanser

- Adam, B., Bosse, R., Dumont, U., Hadderingh, R., Joergensen, L., Kalusa, B., Lehmann, G., Pischel, R. & Schwevers, U. 2005. Fish protection technologies and downstream fishways. Dimensioning, design, effectiveness inspection. DWA German Association for Water, Wastewater and Waste, Hennef, Tyskland.
- Almer, B. 1972. Försuringens inverkan på fiskbestånd i västkustsjöar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm Rapport nr. 12: 1-47.
- Almer, B., Dickson, W., Ekström, C., Hörnström, E. & Miller, U. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. *AMBIO* 3: 30-36.
- Amaral, S.V., Winchell, F.C., McMahon, B.J. & Dixon, D.A. 2003. Evaluation of angled bar racks and louvers for guiding silver phase American eels. *American Fisheries Society Symposium* 33: 367-376.
- Barabasz, W., Albinska, D., Jaskowska, M. & Lipiec, J., 2002. Ecotoxicology of aluminium. *Polish Journal of Environmental Studies* 11: 199-204.
- Behrmann-Godel, J. & Eckmann, R. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 196-202.
- Berge, J.A. 1979. The perception of weak electric A.C. currents by the European eel, *Anguilla anguilla*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 62A: 915-919.
- Breukelaar, A.W., Ingendahl, D., Vriese, F.T., de Laak, G., Staas, S. & Klein Breteler, J.G.P. 2009. Route choices, migration speeds and daily migration activity of European silver eels *Anguilla anguilla* in the River Rhine, north-west Europe. *Journal of Fish Biology* 74: 2139-2157.
- Calles, O. & Bergdahl, D. 2009. Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk. - Före og efter åtgärd. Forskningsrapport, Karlstad University Studies 2009:19, 41 s.
- Calles, O. & Christiansson, J. 2012. Ålens möjlighet till passage av kraftverk. En kunskapsmanställning. Etforsk rapport 12:37.
- Calles, O., Karlsson, S. & J. Tielman, 2012. Improving downstream passage conditions for fish at hydroelectric facilities in Sweden. I Gough P., red. From sea to source; International guidance for restoration of fish migration highways Veendam (The Netherlands): Hunze and Aa's Regional Water Authority.
- Calles, O., Rivinoja, P., Greenberg, L. 2013a. A historical perspective on downstream passage at hydroelectric plants in Swedish rivers. I: Maddock, I., Kemp, P. & Wood, P. red. *Ecohydraulics: an integrated approach*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Calles, O., Karlsson, S., Vezza, P., Comoglio, C. & Tielman, J. 2013b. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology* 58: 2168-2179.
- Calles, O., Degerman, E., Wickström, H., Christiansson, J., Gustafsson, S. & Näslund, I. 2013c. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar. Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:14.
- Deelder, C.L. 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). *FAO Fisheries Synopsis no. 80, revision 1: 1-73*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Degerman, E., Fogelgren, J.-E., Tengelin, B. & Thörnelöf, E. 1985. Förekomst och täthet av havsöring, lax och ål i försurade mindre vattendrag på svenska västkusten. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Rapport nr. 1-1985: 1-84.
- Degerman, E., Fogelgren, J.-E., Tengelin, B. & Thörnelöf, E. 1986. Occurrence of salmonid parr and eel in relation to water quality in small streams on the west coast of Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 30: 665-671.



- Direktoratsgruppa Vanndirektivet, 2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 01:2009. 179 s.
- DN 2012. Kalking i laksevassdrag. Tiltaksovervåkingen 2011. DN-notat 1-2012, 339 sider.
- Durif, C., Dufour, S. & Elie, P. 2005. The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology* 66: 1025-1043.
- Durif C.M.F., Gjøsæter J. & Vøllestad L.A. 2011. Influence of oceanic factors on *Anguilla anguilla* (L.) over the twentieth century in coastal habitats of the Skagerrak, southern Norway. *Proceedings of the Royal Society B* 278: 464-473.
- Durif, C.M.F., Knutsen, J.A., Johannesen, T. & Vøllestad, L.A. 2008. Analysis of European eel (*Anguilla anguilla*) time series from Norway. *Fisken og Havet* 8: 1-22.
- Durif, C., Elie, P., Gosset, C., Rives, J. & Travade, F. 2003. Behavioural study of downstream migrating eels by radio-telemetry at a small hydroelectric power plant. *American Fisheries Society Symposium* 33: 343-356.
- Eicher, G.J. 1987. Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. Electric Power Research Institute, California, EPRI AP-5480, Project 2694-4. Eicher Associates, Inc., Oregon.
- Ellerby, D.J., Spierts, I.L.Y. & Altringham, J.D. 2001. Fast muscle function in the European eel (*Anguilla anguilla* L.) during aquatic and terrestrial locomotion. *The Journal of Experimental Biology* 204: 2231-2238.
- Enger, P.S., Kristensen, L. & Sand, O. 1976. The perception of weak electric D.C. currents by the European eel (*Anguilla anguilla*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 54A: 101-103.
- Ferguson, J.W., Ploskey, G.R., Leonardsson, K., Zabel, R.W. & Lundqvist, H. 2008. Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 1568-1585.
- Fjeldstad, H.-P. 2013. Laksen tilbake til Sira og Moisa? Vandringsutfordringer og produksjonspotensial. SINTEF Rapport TR A7349, 23 s.
- Fjellheim, A., Raddum, G.G. & Sagen, T. 1985. Effects of aluminium at low pH on the mortality of elvers (*Anguilla anguilla* L.). A laboratory experiment. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 22: 2544-2547.
- Forsberg G. 1986. Nypigmenterade ålyngels överlevnad och födoval i en försurad sjö. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm Rapport nr. 8-1986.
- Gensemer, R.W. & Playle, R.C., 1999. The bioavailability and toxicity of aluminium in aquatic environments. *Critical reviews in Environmental Science and Technology* 29: 315-450.
- van Ginneken, V., Durif, C., Balm, S.P., Boot, R., Verstegen, M.W.A., Antonissen, E. & van den Thillart, G. 2007. Silvering of European eel (*Anguilla anguilla*): seasonal changes of morphological and metabolic parameters. *Animal Biology* 57: 63-77.
- Gomes, P. & Larinier, M. 2011. Etablissement de formules prédictives de mortalité des anguilles lors du transit à travers les turbines Kaplan. Programme R&D Anguilles et ouvrages - Solution technique - Séminaire de restitution 28-29 novembre 2011, Paris.
- Gosset, C., Travade, F., Durif, C., Rives, J. & Elie, P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications* 21: 1095-1105.
- Greig, H.S., Niyogi, D.K., Hogsden, K.L., Jellyman, P.G. & Harding, J.S. 2010. Heavy metals: confounding factors in the response of New Zealand freshwater fish assemblages to natural and anthropogenic acidity. *Science of the Total Environment* 408: 3240-3250.

- Hadderingh, R.H. & Bakker, H.D. 1998. Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht Rivers. I Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (red.) Fish Migration and Bypasses. Fishing News Books, Oxford.
- Hadderingh, R.H. & Jansen, H. 1990. Electric fish screen experiments under laboratory and field conditions. I Cowx, I.G. (red.) Developments in electric fishing. Blackwell Science Publications, Fishing News Books, Oxford, England.
- Hadderingh, R.H., van der Stoep, J.W. & Habraken, J.M.P.M. 1992. Deflecting eels from water inlets of power stations with light. Irish Fisheries Investigation Series A (Freshwater) 36: 78-87.
- Hadderingh, R.H., van Aerssen, G.H.F.M., De Beijer, J. & van der Velde, G. 1999. Reaction of silver eels to artificial light sources and water currents: an experimental deflection study. Regulated Rivers: Research & Management 15: 365-371.
- Haraldstad, T., Kroglund, F., Bjerkeng, B. & Hindar, A. 2012. Kalkingsplan for lakseførende strekning av Sireåna i Vest-Agder. NIVA Rapport 6329-2012: 1-31.
- Heggberget, T.G. 1984. Effect of supersaturated water on fish in the River Nidelva, southern Norway. Journal of Fish Biology 24: 65-74.
- Hesthagen, T., 1989. Episodic fish kills in an acidified salmon river in southwestern Norway. Fisheries 14: 10-17.
- Hildegunn, L.W. 2012. Rapport, gjelleundersøkelser Åna-Sira. Sira-Kvina Kraftselskap, 4 s.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. & Lien, L. 1993. Betydningen av sjøsaltanrikt nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA, O-93129: 42 s.
- ICES 2003. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. ICES CM 2003/ACFM:06.
- ICES 2007. Report of the 2007 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. EIFAC Occasional Paper No. 38, ICES CM 2007/ACFM: 23.
- ICES. 2012. Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 3-9 September 2012, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2012/ACOM:18.
- Jansen, H.M., Winter, H.V., Bruijs, M.C.M. & Polman, H.J.G. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. ICES Journal of Marine Science 64: 1437-1443.
- Jerkø, H., Turunen-Rise, I., Enger, P.S. & Sand, O. 1989. Hearing in the eel (*Anguilla anguilla*). Journal of Comparative Physiology A 165: 455-459.
- Kardel, K. 1978. The water preferences of elvers (*Anguilla Anguilla* L.). Hovedfagsoppgave, Universitetet i Oslo, 44 s.
- Knights, B. & White, E.M. 1998. Enhancing immigration and recruitment of eels: the use of passes and associated trapping systems. Fisheries Management and Ecology 5: 459-471.
- Kroglund, F., Gjelland, K.Ø., Güttrup, J., Haraldstad, T., Hegeland, P.V. & Thorstad E.B. 2013. Overvåking av ål i Storelva og evaluering av tiltak for nedvandring forbi Foss-tveit kraftverk. Resultater fra undersøkelser i 2012. NIVA Rapport L.NR. 6491-2013: 1-51.
- Larinier, M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. Hydrobiologia 609: 97-108.
- Larinier, M. & Travade, F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364 supplément: 181-207.
- Larsen, B.M., Thorstad, E.B. & Hesthagen, T. 2010. Forekomst og bestandsutvikling hos ål i kalkede vassdrag i Agder og Rogaland. pH-status 2-2010: 4-5.
- Leonardsson, K. 2012. Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. ELFORSK-rapport.
- Lowe, R.H. 1952. The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). Journal of Animal Ecology 21: 275-309.
- McCarthy, T.K., Frankiewicz, P., Cullen, P., Baszkowski, M., O'Connor, W. & Doherty, D. 2008. Long-term effects of hydropower installations and associated river regulation

- on River Shannon eel populations: mitigation and management. *Hydrobiologia* 609: 109-124.
- Montén, E. 1985. Fisk och turbiner. Om fiskars möjligheter att oskadda passera genom kraftverksturbiner. Vattenfall, Stockholm. 116 s.
- Muniz, I.P. 1991. Freshwater acidification: its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B*, 97: 227-254.
- Porcher, J.P. 2002. Fishways for eels. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364 supplément: 147-155.
- von Raben, K. 1964. Regarding the problem of mutilations of fishes by hydraulic turbines. *Fisheries Research Board of Canada Translation Series No. 448*: 1-12.
- Reynolds, C. 2011. The effect of acidification on the survival of American eel. M.Sc., Dalhousie University, Canada.
- Richkus, W.A. & Dixon, D.A. 2003. Review of research and technologies on passage and protection of downstream migrating catadromous eels at hydroelectric facilities. *American Fisheries Society Symposium* 33: 377-388.
- Sagen, T. 1983. Ernæring, aktivitet, alder og vekst hos ål (*Anguilla anguilla* L.) i Kvernvatn. Hovedfagsoppgave i zoologisk økologi, Universitetet i Bergen, 77 s.
- Saksgård, R. & Schartau, A.K. 2010. Kjemisk overvåking av norske vassdrag - Elveserien 2009. NINA Rapport 596: 1-71.
- Saksgård, R. & Schartau, A.K. 2011. Kjemisk overvåking av norske vassdrag - Elveserien 2010. NINA Rapport 748: 1-74.
- Saksgård, R. & Schartau, A.K. 2012. Kjemisk overvåking av norske vassdrag - Elveserien 2011. NINA Rapport 873: 1-71.
- Saksgård, R. & Schartau, A.K. 2013. Kjemisk overvåking av norske vassdrag - Elveserien 2012. NINA Rapport 973: 1-70.
- Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E., Knudsen, F. & Kvernstuen, T. 2000. Avoidance responses to infrasound in downstream migrating European silver eels, *Anguilla anguilla*. *Environmental Biology of Fishes* 57: 327-336.
- Schmidt, R.E., O'Reilly, C.M. & Miller, D. 2009. Observations of American eels using an upland passage facility and effects of passage on the population structure. *North American Journal of Fisheries Management* 29: 715-720.
- Tesch, F.-W. 2003. *The eel*. Blackwell Science, Oxford.
- Thorstad, E.B., Kroglund, F., Økland, F. & Heggberget, T.G. 1997. Vurdering av luftovermetning, trefiberutslipp og oppvandring av laks ved Rygene kraftverk i Nidelva, Aust-Agder. NINA Oppdragsmelding 494: 1-36.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Hvidsten, N.A., Fiske, P. & Aarestrup, K. 2003. Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag. Rapport nr. 1-2003, Miljøbasert vannføring, Norges vassdrags- og energidirektorat, 52 s.
- Thorstad, E.B., Fiske, P., Aarestrup, K., Hvidsten, N.A., Hårsaker, K., Heggberget, T.G. & Økland, F. 2005. Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. I Spedicato, M.T., Lembo, G & Marmulla, G. (red.) *Aquatic telemetry: advances and applications*. *Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003*, s. 111-121. FAO/COISPA, Rome.
- Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Finstad, B., Hesthagen, T., Hvidsten, N.A., Johnsen, B.O., Næsje, T.F. & Sandlund, O.T. 2011. Kunnskapsoppsummering om ål og forslag til overvåkingssystem i norske vassdrag. NINA Rapport 661: 1-69.
- Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Hesthagen, T., Næsje, T.F., Poole, R., Aarestrup, K., Pedersen, M.I., Hanssen, F., Østborg, G., Økland, F., Aasestad, I. & Sandlund, O.T. 2010. Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging - en kunnskapsoppsummering. Rapport nr. 1 2010 Miljøbasert vannføring, 136 s. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Travade F., Larinier M., Subra S., Gomes P. & De-Oliveira E. 2010. Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant

- during their downstream migration. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 398: 1-19.
- Vøllestad, L.A. & Jonsson, B. 1988. A 13-year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in a Norwegian River: Evidence for density-dependent mortality, and development of a model for predicting yield. *Journal of Animal Ecology* 57: 983-997.
- Vøllestad, L.A., Jonsson, B., Hvidsten, N.A., Næsje, T.F., Haraldstad, Ø. & Ruud-Hansen, J. 1986. Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1909-1916.
- Weitkamp, D.E. & Katz, M.A. 1980. A review of dissolved gas supersaturation literature. *Transactions of the American Fisheries Society* 109: 659-702.
- White, E.M. & Knights, B. 1997. Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *Journal of Fish Biology* 50: 1104-1116.
- Winter, H.V., Jansen, H.M. & Bruijs, M.C.M. 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*. *Ecology of Freshwater Fish* 15: 221-228.
- Aasestad, I. 1996. Ålefiske i Lågendalen, fangst og lønnsomhet. Hovedoppgave ved Institutt for biologi og naturforvaltning, NLH.
- Aarestrup, K., Thorstad, E.B., Koed, A., Jepsen, N., Svendsen, J.C., Pedersen, M.I., Skov, C. & Økland, F. 2008. Survival and behaviour of European silver eel in late freshwater and early marine phase during spring migration. *Fisheries Management and Ecology* 15: 435-440.





*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2583-0

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor  
Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim  
Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01  
E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)  
Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger