

Overvåking av ål i Storelva og  
evaluering av tiltak for nedvandring  
forbi Fosstveit kraftverk. Resultater  
fra undersøkelser i 2012



# RAPPORT

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

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

**NIVA Midt-Norge**

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

Tittel <b>Overvåking av ål i Storelva og evaluering av tiltak for nedvandring forbi Fosstveit kraftverk. Resultater fra undersøkelser i 2012.</b>	Løpenr. (for bestilling) 6491	Dato Feb 2013
	Prosjektnr. Undernr. 10413	Sider Pris 50
Forfatter(e) Kroglund F., Gjelland K.Ø. (NINA), Güttrup J. (Tvedestrand kommune), Haraldstad T., Hegeland P.V. (Holt landbruksskole) Thorstad E.B. (NINA)	Fagområde Fiskeøkologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

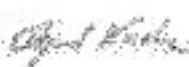
Oppdragsgiver(e) Norges vassdrags- og energidirektorat Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 2012/13681
--	---------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Ålebestanden i Europa er i nedgang og truet av flere påvirkningsfaktorer. Det ble i 2010 igangsatt overvåking og undersøkelser av ål i Storelva, Tvedestrand, for å få kunnskap om miljøgifter ålens svømmeblæremark, mengde ål og tiltak for å lede ål levende forbi kraftverk. I 2012 har fokus vært på fangst av nedvandrende ål og oppvandrende gulål, samt på atferd og tiltak ved kraftverket med spesiell fokus på nedvandrende blankål.</p> <p>Ål vandret ned vassdraget med en hastighet på 0,01 m/s ved lavvannføring og 0,3 m/s ved flom. Ålen vandret på nattetid når det var lavvannføring, men hele døgnet under flommen. Det oppvandre færre gulål i 2012 enn i 2011 til tross for at fangsttynnsatsen var større.</p> <p>Sideløpet som ble etablert i kraftverksdammen i 2010 og modifisert i 2011, avledet betydelige mengder nedvandrende ål i 2012. Når forholdet mellom vannføring i sideløpet og vannføring gjennom turbinløpet (<math>Q_b/Q_t</math>) &gt; 0,04 ble det ikke påvist død ål nedstrøms kraftverket. Samtidig ble det fanget 151 ål som hadde vandret ned gjennom sideløpet. Når <math>Q_b/Q_t</math> &lt; 0,02 ble det påvist 88 døde ål nedstrøms kraftverket og 74 ål som hadde vandret ned gjennom sideløpet. Det var altså mulig å få ål til å finne og benytte sideløpet i stedet for å vandre inn i kraftverksinntaket og gjennom turbinen, men andelen ål som benyttet det trygge sideløpet ser ut til å være avhengig av hvor mye vann som renner gjennom sideløpet i forhold til gjennom turbinen. Resultatet er i tråd med tilsvarende undersøkelser i Frankrike. Mer kunnskap om ålens atferd oppstrøms sideløpet og bruk av sideløpet kan bidra til å ytterligere optimalisere tiltaket, og kan ha overføringsverdi til andre lignende kraftverk.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ål</li> <li>2. Kraftverk</li> <li>3. Tiltak</li> <li>4. Telemetri</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eel</li> <li>2. Power plant</li> <li>3. Mitigation</li> <li>4. Telemetry</li> </ol>
---	--



**Frode Kroglund**  
Prosjektleder



**Øyvind Kaste**  
Forskningsleder



**Brit Lisa Skjelkvåle**  
Forskningsdirektør

# **Overvåking av ål i Storelva og evaluering av tiltak for nedvandring forbi Fosstveit kraftverk**

Resultater fra undersøkelser i 2012

## Forord

Ål ble ført opp som kritisk truet fiskeart i Norsk Rødliste i 2006. Direktoratet for naturforvaltning (DN) utarbeidet en plan for forvaltningstiltak for ål i 2011 og har igangsatt et overvåkingsprogram. Trusselbildet er sammensatt og ingen enkeltfaktor er identifisert som årsak til tilbakegangen av ålebestanden. For å kunne iverksette tiltak for å styrke bestanden er det behov for kunnskap om direkte effekt av truslene, men også om generell økologi. I 2008 startet Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) et prosjekt for å vurdere hvilke påvirkninger vannkraftregulering har på ål og hvilke avbøtende tiltak som kan være aktuelle. Vi takker DN og NVE for økonomisk støtte til å overvåke ål og til å utvikle kunnskap om avbøtende tiltak i Storelva. Videre takker vi Fosstveit kraft for at vi får lov til å utprøve ulike tiltak ved deres kraftverk.

Grimstad, februar 2013

*Frode Kroglund*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>12</b>
1.1 Valg av forsøksområde	12
1.2 Undersøkelser i Storelva i perioden 2008-2011	13
1.3 Undersøkelser i Storelva i 2012	13
<b>2. Områdebeskrivelse</b>	<b>15</b>
2.1 Storelva i Holt	15
2.2 Sagebekken	15
2.3 Fosstveit kraftverk	16
2.4 Fosstveit til Strømmen	18
<b>3. Metoder</b>	<b>20</b>
3.1 Fangstmetoder og lokaliteter	20
3.1.1 Fangstkiste for overvåking av nedvandrende ål i Sagebekken	20
3.1.2 Fangstfelle for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk	20
3.1.3 Registrering av død nedvandrende ål etter turbinpassering ved Fosstveit kraftverk	21
3.1.4 Fangst for overvåking av oppvandrende gulål (ålefaringer) forbi Fosstveit kraftverk	22
3.2 Merking med PIT-merker og registrering av merket fisk	23
3.3 Registrering av bruk av sideløpet for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk	25
<b>4. Miljøvariabler</b>	<b>27</b>
4.1 Vannføring og vanntemperatur	27
4.2 Sjøtemperatur i kyststrømmen	28
<b>5. Resultater og diskusjon</b>	<b>30</b>
5.1 Nedvandring av ål i Sagebekken	30
5.2 Nedvandring av ål ved Fosstveit	31
5.2.1 Nedvandringsperiode	31
5.2.2 Lengde og vekt	32
5.3 Modellert dødelighet gjennom turbin	36
5.4 Registrering av PIT-merket fisk	38
5.4.1 Hvilken nedvandringsvei brukte PIT-merket ål forbi kraftverket?	40
5.4.2 Registrering nedover elva	40
5.4.3 Nedvandrende ål i Sagebekken	41
5.5 Når på døgnet vandret ål?	41
5.6 Evaluering av sideløp som tiltak for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk	42
5.7 Overvåking av oppvandrende gulål (ålefaringer) forbi Fosstveit kraftverk	45

---

<b>6. Konklusjon</b>	<b>46</b>
<b>7. Referanser</b>	<b>47</b>
<b>Vedlegg A. Årsaker til få registreringer ved Angelstad</b>	<b>48</b>
<b>Vedlegg B. Registrering av PIT-merket fisk fordelt på utsettingsdato</b>	<b>50</b>
<b>Vedlegg C. Soloppgang, solnedgang og månefase</b>	<b>51</b>

## Sammendrag

Ål utsettes for mange trusler. Som følge av en kraftig bestandsreduksjon siden 1970-tallet er ål i dag definert som kritisk truet på den internasjonale og den norske rødlista. Direktoratet for naturforvaltning (DN) har utgitt en rapport som beskriver forvaltningstiltak for ål i Norge (DN 2011). Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har fått utarbeidet rapport som oppsummerer kunnskapsstatus om effekter av kraftregulering på ål nasjonalt og internasjonalt. Det konkluderes i rapportene med at man i Norge har lite kunnskap om ålens økologi, har en mangelfull overvåking og generelt lite kunnskap om hva som påvirker bestandsstatus. Fravær av kunnskap har betydning for evnen til å gjennomføre effektive forvaltningstiltak. Ut fra en motivasjon om å øke kunnskapen om ål generelt og ål knyttet til kraftverk spesielt har DN og NVE finansiert overvåkings- og forskningsaktivitet. Denne er delvis utført i Storelva, Tvedestrand hvor det finnes ål, etablerte overvåkingsrutiner for ulike fiskearter, samt et kraftverk som opp- og nedvandrende ål må passere. Undersøkelser av ål er knyttet til overvåkingsaktiviteter allerede etablert for undersøkelser på laks, ørret, sørv, gjedde og sik.

Mange av påvirkningsfaktorene til ål er kjente, selv om betydningen av den enkelte kan være dårlig dokumentert i Norge. Ål dør når den treffes av en kraftverksturbin. På grunn av sitt høye fettinnhold vil ål også akkumulere mye miljøgifter. På 1990-tallet ble ålens svømmeblæremark (*Anguillicoloides crassus*) innført til Norge. Miljøgifter i ål fanget i Storelva ble undersøkt i 2010. Konsentrasjonene av DDT, PCB, dioksiner og flammehemmere var svært høye. Ålens svømmeblæremark påvises årlig i vassdraget. Disse faktorene sammen med andre faktorer i og utenfor vassdraget som vi ikke har undersøkt kan alene eller samlet være årsak til redusert overlevelse. Målet siden 2011 har vært å skaffe tilveie så mye generell kunnskap om ål som mulig, samt å videreutvikle kunnskapen om trygge utvandringsruter forbi kraftverk.

For å besvare de ulike deloppgavene ble ålefangst i Sagebekken (lite sidevassdrag til Storelva) videreført som et overvåkingsprosjekt. Det ble etablert tiltak for å hjelpe både opp- og nedvandring av ål forbi Fosstveit kraftverk i henholdsvis 2011 og 2010. I 2012 ble ål i tillegg merket med passive integrerte transpondere (PIT-merker) for å undersøke vandringsatferd og veivalg ved kraftverket. Hvert merke har sin unike id-kode. Når ål passerer en deteksjonsantenne vil id-merket sende fra seg sin unike kode som lagres sammen med passeringstidspunkt. I 2012 ble ål detektert ved hjelp av PIT-antennene på tre lokaliteter i vassdraget. I tillegg ble ål som utvandret sideløpet fanget og undersøkt for PIT-merker samt at områdene nedstrøms kraftverket ble undersøkt for død ål.

### Nedvandring av ål i Sagebekken

Samlet ble det i 2012 fanget 33 ål i fangstkassa i Sagebekken. Gjennomsnittsstørrelsen var 0,56 kg, likt vektgjennomsnittet i de to foregående årene (0,54 kg i 2010 og 0,61kg i 2011). Fangstene har vært svakt nedadgående siden 1994. Ålen utvandret i perioden 29. juni til 17. oktober i 2012.

Det ble PIT-merket 10 ål fra Sagebekken. Av disse ble fem ål påvist ut av vassdraget. Disse hadde da passert kraftverket og nedvandret elvestrekningen fra Sagebekken til elvemunningen (20 km) med en hastighet på 0,01 m/s.

### Nedvandring av ål forbi Fosstveit kraftverk

Det ble i mai 2012 fanget 8 nedvandrende ål. Fem av disse benyttet et sideløp etablert for å lede nedvandrende smolt og støing forbi kraftverket. Resten utvandret turbinløpet. Av disse var én død.

Hovedutvandringen av ål forbi Fosstveit foregikk i perioden 28. august til 14. oktober 2012. Dette var senere enn i 2011 og 2010. Noe ål kan ha utvandret etter at fangsten ble avsluttet. Det ble til sammen registrert 321 ål høsten 2012. Dette er mer enn det vi har påvist tidligere år. Ålen hadde medianlengde

på 61 cm og vekt på 0,51 kg. De fleste ålene var blanke og sannsynligvis på vei til havet (påvist utvandret på PIT-antenne 120 m fra elvemunningen). Til sammen ble 139 ål PIT-merket og satt ut enten oppstrøms- eller nedstrøms kraftverket. Ål som ble satt ut nedstrøms kraftverket vandret fra utsettingslokaliteten til elvemunningen (ca 6 km) med en hastighet på 0,01 m/s. De fleste av disse ble påvist ut av vassdraget ca 5 døgn etter utsetting.

Den nedvandrende ålen vandret primært på natta (kl. 21 til 04). Dette mønsteret ble brutt dagene etter en flom 25. september. De første dagene etter flommene vandret ål hele døgnet.

### **Oppvandring av ål forbi Fosstveit kraftverk**

Ålen vandret opp ved Fosstveit kraftverk for å bli fanget i en enkel fangstfelle i perioden 21. mai - 31. august 2012. Til sammen ble det fanget 756 oppvandrende ål. Ca halvparten av ålen var mellom 10 og 20 cm lang. Resten var lengre. Antall fanget i 2012 var lavere enn i 2011 ( $n = 1299$ ) til tross for at innsatsen var større. Når fangsten også ble igangsatt senere på våren i 2011 er forskjellen betydelig. Forskjellen i fangst kan skyldes forskjeller i vannføring de to årene, men kan også reflektere faktiske år-til-år forskjeller i oppvandring.

### **Tiltak ved kraftverket**

Høsten 2008 og 2009 døde betydelige mengder ål under utvandring. I disse årene kunne ålen kun passere kraftverket ved å benytte turbinløpet. I 2010 ble det gjennomført et tiltak med formål å lede ål utenom turbinen, gjennom et sideløp. Slukeevnen ved kraftverket er på  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ved full drift vil vannhastighet inn mot varegrinda foran vanninntaket til turbinen være på 0,5 m/s. Varegrinda har et areal på  $32 \text{ m}^2$  og er bygd av 10 mm brede spiler med lysåpning på 50 mm. Ål i Storelva vil ikke oppleve varegrinda som en fysisk barriere. Tiltaket som ble gjennomført i 2010 gikk ut på å heve en slamluke plassert på siden av og like under varegrinda 5 eller 10 cm. I 2011 ble tiltaket bygd om ved at det ble plassert en ventil i slamluka. Ål som benyttet sideløpet ble fanget i en åluse begge årene. Rusa fanget all ål som vandret ned gjennom sideløpet bortsett fra når den ble tatt vekk under store flommer.

Det ble ut fra erfaringene fra 2010 og 2011 konkludert med at tiltaket fungerte, og at mengde ål som benyttet sideløpet var nær knyttet til vannføring i sideløpet. Tiltaket ble tilført for lite vann i 2011, samtidig som turbinvannføringen var høyere. Dermed ble prosentandelen av ål som nedvandret i 2011 lavere enn i 2010. Likeledes var det usikkert hvor mange ål som benyttet turbinløpet og overlevde. Kunnskapsoppbyggingen om tiltak ble derfor videreført i 2012.

Mens vannføringene i sideløpet i 2010 og 2011 varierte fra 100 til 260 l/s, var vannføringen i 2012 konstant på  $264 \pm 6 \text{ l/s}$ . I motsetning til tidligere år da grad av suksess ble knyttet til vannføring i sideløpet, tyder data fra 2012 på at %-andel av vannet som benyttes i sideløpet i forhold til turbinvannføringa ( $Q_s/Q_t$ ) er et bedre mål.  $Q_s/Q_t$  vil variere med turbinvannføring selv om antall liter vann i sideløpet er konstant. Når turbinvannføringen endres, endres samtidig vannhastighet inn mot varegrinda og de hydrauliske forholdene omkring varegrinda. Endringer i de hydrauliske forholdene fanges ikke opp av en slik enkel ratio.

Som følge av variasjon i turbinvannføring kunne vi i 2012 identifisere tre perioder. I periode en og tre ble sideløpet tilført minst 3 % av turbinvannføringen ( $Q_s/Q_t > 0,03$ ). I disse periodene ble det ikke påvist død ål nedstrøms kraftverket. Samtidig ble det fanget 151 ål som hadde vandret ned sideløpet. Når turbinvannføringen økte, og uten at vannføring ut sideløpet ble justert tilsvarende, avtok  $Q_s/Q_t < 0,02$ . Under disse forholdene ble det påvist 88 døde ål nedstrøms kraftverket til tross for at observasjonsforholdene var dårlige. Denne perioden ble det påvist 74 ål som hadde vandret ned sideløpet.

Inkluderes tilsvarende data på  $Q_s/Q_t$  og %-andel av ålen som benyttet sideløpet for årene 2010 til 2012 antydes følgende grenser; når  $Q_s/Q_t < 0,02$  benytter  $< 40$  % av ålen sideløpet. Når  $Q_s/Q_t > 0,04$



benytter nær 100 % av ålen sideløpet. Det er flere usikkerheter knyttet til en slik enkel modell. Den ene er vår evne til å finne død ål. Antall døde ål er sannsynligvis mest underestimert i perioder  $Q_s/Q_t$  var lav som følge av flom. Hvis flere ål enn de vi har estimert utvandret turbinløpet vil %-andel av fisken som benyttet sideløpet bli satt for høyt. Når  $Q_s/Q_t$  var høy var vår evne til å finne død ål samtidig god. Når vi ikke påviste død ål disse periodene kan det skyldes at ål faktisk ikke benyttet turbinløpet når sideløpet ble tilført nok vann. Feilen i estimatet vil sannsynligvis være størst i perioder med flom.

Andelen ål som benyttet sideløpet vil sannsynligvis også avhenge av andre forhold omkring turbininntaket og sideløpet enn kun  $Q_s/Q_t$ . Når turbinvannføringen øker vil vannhastighet inn mot varegrinda samt hydrauliske forhold omkring varegrinda samtidig endres. Dette er faktorer vi ikke har kontroll over, men dette er samtidig faktorer som ikke vil endres fra år til år. Det er dermed mulig å måle eller modellere disse faktorene i ettertid. Det kan heller ikke utelukkes at veivalget påvirkes av temperatur. Foruten disse faktorene antas det at det er gunstig at sideløpet står nært, men også lavere enn varegrinda. Lysåpningen i varegrinda kunne med fordel ha vært smalere.

Resultatene vi hittil har oppnådd er i tråd med erfaringer fra tilsvarende kraftverk i Frankrike. Derfra konkluderes det med at ål benytter et bunnlokalisert sideløp plassert rett ved varegrinda når sideløpet tilføres i størrelsesorden 3 til 5 % av turbinvannføringen ( $Q_s/Q_t$  i området 0,03-0,05). Mens de erfarte at fra 30 til 60 % av ålen benyttet sideløpet når %-bidraget vann ut sideløpet var i størrelsesorden 3 til 5 %, opplevde vi at 40 til 100 % av ålen benyttet sideløpet med denne %-andelen. Årsaken til denne forskjellen i antall ål som benyttet sideløpet er ikke opplagt, men bør avklares fordi slike forskjeller kan lede til økt forståelse av hva som påvirker graden av suksess.

## Summary

Title: Monitoring of eel and evaluation of mitigation to protect migration around a power plant in River Storelva, Results from activities in 2012.

Year: 2013

Author: Kroglund F., Gjelland K.Ø., Güttrup J., Haraldstad T., Hegeland P.V. & Thorstad E.B.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6226-1

Eel is subjected to many threats and is currently classified as critically endangered. In Norway, there is poor knowledge regarding eel ecology, monitoring has been lacking with a few exceptions, and there is generally little knowledge regarding the effects of different threats.

A research program funded by the Directorate for nature management (DN) and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) was initiated in 2010 to bridge this knowledge gap. Storelva, Tvedestrand, was chosen as one of the sites for monitoring and studies of mitigation measures. Studies on eel could here utilize infrastructures established for monitoring of Atlantic salmon, sea trout, rudd, pike and whitefish.

Several threats to eel are present in Storelva. Analysis of micropollutants showed high concentrations of PCB, flame retardants and DDT in eel. The eel swim bladder nematode (*Anguillicoloides crassus*) is present. A run-by-river hydropower plant was built in 2007 and operated from 2008. The observation of dead and cut-into-pieces eel became common below the tailrace.

Eel catches have been recorded annually in the small tributary Sagebekken since 1994. Earlier this catch was for consumption purposes, but now this site is used to monitor the downstream eel migration.

The River Storelva watershed is 408 km<sup>2</sup>. The activity sites are presented in Fig. 1. The hydropower plant is located 6 km from the river mouth (Fig. 2-4). Fish movements were detected at the hydropower plant and by installing PIT-antennas located 750 m and 6 km downstream of the power plant (Fig. 5 & 6).

### **Eel downstream movements in Sagebekken**

A total of 33 eel were captured in 2012 using a traditional eel trap located within the tributary (Fig. 7). Eel moved downstream during the period 29<sup>th</sup> June to 17<sup>th</sup> October 2012. The eel had an average size of 0.56 kg. The individual mass in 2012 was similar to eel captured in 2011 (0.61 kg) and 2010 (0.54 kg). The catches have declined since 1994.

Ten eel were PIT-tagged and released downstream of the tributary. Five of these were later recorded migrating out from the main river. These eel had travelled a distance of 20 km at an average rate of 0.01 m/s.

### **Eel downstream movements at Fosstveit power plant**

An eel bypass was established at the power plant in 2010 (Fig. 4 & 8). The bypass is located towards the bottom of the headrace and next to the trash rack. The trash rack has 50 mm bar spacing. The power plant has a 4-bladed Kaplan turbine which is fed up to 16 m<sup>3</sup> water/s running at 330 rpm. Water velocity in the headrace is maximum 50 cm/s. Eel can be captured in a rotary screw trap located within

the tailrace (spring only), when migrating through the bypass (collection pool and fyke net), or as dead eel downstream of the tailrace.

Eight eel were captured in May 2012. Of these, five used the surface bypass established for smolt and kelt. The remaining migrated through the turbine route. One was killed by the turbine.

The main migration period was between August 28<sup>th</sup> and October 14<sup>th</sup> (Tab. 8). This was later than in 2010 and 2011. Based on no observation of dead eels downstream of the tailrace before August 27<sup>th</sup> and three dead eel on the 27<sup>th</sup>, we assume that no or very few eel migrated prior to this date (Fig. 19). Some eel can have migrated after the study period. A total of 321 eel were captured. This is more than we have captured the previous years but substantially less than historic catches (several tons).

A total of 139 eel were PIT-tagged and released either 400 m upstream of the power plant or 50 m downstream. Eel released downstream were detected on the first PIT-antenna after 0.9 days and at the river mouth after 5 days (Tab. 13). These eel moved with an average speed of 0.01 m/s. All recorded movements were at night, except that daytime movements were recorded during and immediately after a flood starting September 25<sup>th</sup> (Fig. 24).

### **Eel upstream movements at Fosstveit power plant**

A trapping device capturing upstream migrating yellow eel was installed in 2011. The first year, a total of 1299 upstream migrants were captured. In 2012, the number of eels (n=756) was reduced despite a larger effort. Eel migrated upstream past the power plant during May 21<sup>st</sup> to August 31<sup>st</sup> (Fig. 27). About 50 % of the eel were within the size range 10 to 20 cm (Fig. 28). The rest were larger.

### **Mitigation measures to reduce eel kills at the power plant**

During the fall of 2008 and 2009, large numbers of dead eel were observed downstream of the tailrace. From 2009, attempts to divert downstream moving eel through a bottom bypass were initiated. The bypass is located adjacent to, but below the trash rack. The bypass uses a sludge gate. In 2010, this gate was opened 5 or 10 cm. In 2011, a valve was installed into the gate to allow more control of the water flow.

Based on the results from 2010 and 2011, we knew that some eel used the bypass. Water flow through the bypass was too low in 2011, and relatively few eel used the bypass. While the discharge through the bypass was from 180 to 260 l/s in 2010, it was only 100 to 170 l/s in 2011. As turbine flow was higher in 2011, the turbine flow to bypass flow ratio was reduced, which may explain the reduced success in 2011 compared to 2010.

In 2012, bypass flow was  $264 \pm 6$  l/s. Based on the ratio between bypass flow and turbine flow ( $Q_b/Q_t$ ), the study period could be divided into three different periods (Fig. 12). During period 1 and 3,  $Q_b/Q_t > 0.03$ . During period 2,  $Q_b/Q_t < 0.02$ . During the two periods with high ratio bypass flow, no eel were found dead below the tailrace. A total of 151 eel used the bypass (Tab. 15). Diving to record dead eel was not possible during the flood starting September 25<sup>th</sup>. A few days later, 88 eel were found dead below the tailrace, despite visibility and water current hampering detection. During the same period, 74 eel used the bypass. We will have underestimated the number of dead eel, but we will also have underestimated the number of eel using the bypass as this was wrecked by the flood on September 27<sup>th</sup> and restored several days later.

PIT-tagged eel released upstream of the power plant between August 31<sup>st</sup> and September 21<sup>st</sup> did not commence migration until the flood started on September 25<sup>th</sup>. During the initial phase of the flood, 14 % of all PIT-tagged eel moved out of the headrace using the bypass. Some hours later, the power plant production stopped due to technical failure, and the power plant was not operated during the next three

days. An additional 41 % of the downstream migrating eel used either the bypass or spilled over the dam wall. These could not have been killed by the turbines as the power plant was out of operation. After the flood, we found no PIT-tagged eel despite finding 88 dead eel. Undetected eel ( $n = 45$ ) could have moved downstream and passed the two PIT detection sites without being recorded. This is possible if eel migrated high in the water column as water level rose by 1.5 to 2.0 m. Both antennas would be submerged by 1 to 1.5 m at this flow. Based on the lack of dead PIT-tagged eel, we assume all eel that were delayed during their out-migration for up to 4 weeks out-migrated using either the bypass or over the dam. If this is correct, we had not detected all eel that bypassed the turbine.

Based on the combined dataset from 2010 to 2012, a large proportion of the eel (80 to 100 %) used the bypass when  $Q_b/Q_t > 0.04$ . When  $Q_b/Q_t < 0.02$ , less than 40 % of the eel used the bypass. There will be large uncertainties associated with such simple models. These can be related to individual power plant characteristics, water temperature and the hydraulic conditions prior to the trash rack. We believe that the location of the bypass adjacent to, but below the trash rack, is also important. During spring, five eel used the surface bypass. This bypass was not available for the fall migrants.

The results in this study are similar to results from France. Increased understanding of migration behavior above the dam and factors affecting it can improve the success of such mitigations measures. Differences in water flow patterns, trashrack spacing and size of eel can be important factors affecting the number of eel using the bypass.

# 1. Innledning

Det har vært liten forskningsinnsats på ål i Norge i forhold til hva som er gjort internasjonalt. Det meste av kunnskap om ål i Norge er oppsummert i Thorstad mfl. (2010, 2011). Langtidsovervåking er begrenset til ål i elva Imsa i Rogaland og strandnotserien fra Skagerrakkysten (Durif mfl., 2011; Vøllestad & Jonsson, 1988). Utover generell kunnskapsmangel mangler også data på opp- og nedvandringperioder fra ulike vassdrag, og på om det er regionale eller lokale forskjeller i status og på økologiske forhold knyttet til blant annet overlevelse, vekst og vandringsmønster. Thorstad mfl. (2011) konkluderte med at et nasjonalt overvåkingssystem bør omfatte både oppvandrende yngel og utvandrende blankål for å kunne avdekke endringer i rekrutteringen til vassdrag, samt endringer i oppvekstforhold og produksjon. Ål ble ført opp med status kritisk truet på Norsk Røddliste i 2006 (Nedreaas mfl., 2006). Dette foranlediget utarbeidelse av forvaltningstiltak for ål i Norge (DN, 2011) og det ble utarbeidet forslag til en strategi for overvåking (Thorstad mfl., 2011). Storelva ved Tvedestrand inngår her som en av overvåkingslokalitetene.

Både opp- og særlig nedvandring av ål påvirkes av elvekraftverk. Fosstveit kraftverk i Storelva startet kraftproduksjon i 2008. Samme høst ble store mengder nedvandrende blankål drept. Ål har på grunn av kroppslengden større dødelighet ved turbinpassering enn laks- og ørretsmolt (Larinier & Travade, 2002). Tiltak for å redusere dødelighet av nedvandrende ål forbi kraftverk er utprøvd flere steder, men det er vanskeligere å finne egnede tiltak for ål enn for laks- og ørretsmolt (Environment Agency, 2009; Travade mfl., 2010). Internasjonalt etterspørres kunnskap fra flere kraftverk for å kunne identifisere hvilke tiltak som kan redusere dødeligheten. Ønsket om tiltak er blant annet forankret i at ål er oppført som kritisk truet (CR) på International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) sin røddliste for truede arter (<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/60344/0>). I 2007 vedtok EU en forskrift om gjenoppbygging av ålebestanden. Denne har som formål å beskytte og sikre en bærekraftig utnyttelse av bestanden (EC Council regulation No 11/2007). Her anbefales det blant annet at tiltak skal iverksettes ved elvekraftverk. Ett av tiltakene som beskrives er stans av kraftverk for å forhindre uønsket dødelighet. Et slikt tiltak vil medføre redusert kraftproduksjon i perioden kraftverket er stengt. Samtidig, hvis europeisk ål skal hindres i å bli utryddet, kan betydelige tiltak være nødvendig. Skulle stans være påkrevd er det ønskelig å vite når kraftverkene må stanses, og om kraftverkene må stanses hele eller kun deler av døgnet. Hvis alternative tiltak kan gjennomføres uten tap av kraftproduksjon vil slike tiltak kunne være å foretrekke.

## 1.1 Valg av forsøksområde

Aktiviteten som i dag gjennomføres i Storelva har som mål å fremskaffe data av generell karakter knyttet til økologisk kunnskap om ål og utvikle tiltak for opp- og nedvandring forbi kraftverk. Overvåking av ål i vassdraget drar nytte at tilsvarende aktivitet på anadrom fisk. I Storelva har det pågått en utvidet overvåking av anadrom fisk (smolt og støying av ørret og laks) siden 2005. Anadrom fisk overvåkes blant annet med bruk av passive integrerte transponder merker (PIT-merker). Disse merkene er også egnet til merking av ål. Bruk av slike merker tillater estimater på overlevelse, analyse av vandringshastighet og innsamling av data på når fisken passerer stasjonære lyttestasjoner. De samme lyttestasjonene som er etablert for anadrom fisk kan benyttes til registrering av ål.

Storelva og Fosstveit kraftverk har en størrelse som gjør evaluering av ulike tiltak mulig. Selv om alle elvekraftverk er unike i sin oppbygging, har de også klare fellestrekk. Ett fellestrekk er gjerne at hovedvannstrømmen går mot inntaksområdet for kraftverksturbinen. Samtidig vil det være kraftverksspesifikke forhold som påvirker fiskens vandring inn mot og forbi kraftverket og effekten av tiltak. Vårt primære mål er å øke kunnskapen om interaksjoner mellom miljø og ålens atferd for å kunne utnytte dette til å etablere virksomme tiltak.

## 1.2 Undersøkelser i Storelva i perioden 2008-2011

### 2008-2009

I 2008 og 2009 var hovedaktiviteten knyttet til å å samle inn individer som var drept i kraftverket fra elvebunnen nedstrøms kraftverket. Hovedmengden død ål ble funnet like nedstrøms kraftverket, med avtakende forekomst med økende avstand fra kraftverket. Etter større flommer kunne død ål bli funnet langs hele elva ned til Lundevatn (5 km nedstrøms). Den døde ålen ble funnet i bakevjer, mellom steiner, inne på land samt hengende fra greiner langs elvebredden. Det ble funnet flere haler enn hoder.

### Tiltak for nedvandrende ål ved kraftverket i 2010-2011

I 2010 ble det igangsatt et pilotforsøk hvor målet var å lede nedvandrende ål utenom kraftverksturbinen for dermed å redusere dødeligheten. Dette året startet nedvandringen i midten av august. Overvåking pågikk fram til fangstkammeret ble knust under en flom som startet 3. oktober (Kroglund mfl., 2012a). Til sammen ble det i 2010 fanget 87 levende ål som hadde utvandret gjennom et bunnløp (bunnluke) i dammen, samt at det ble funnet 25 døde ål som hadde benyttet turbinløpet. I 2011 ble ål fanget i perioden 18. juni til 5. november (Kroglund mfl., 2012b). Det ble dette året fanget 58 levende ål som hadde vandret gjennom sideløpet, mens 55 ål ble funnet døde nedstrøms kraftverket. Forskjell i mengdefordeling mellom levende og død ål de to årene (22 % døde i 2010 og 49 % i 2011) kan skyldes forskjeller i vannføring i elva (mer vann i 2011) og vannmengde benyttet til drift av sideløpet (mindre vann i sideløpet i 2011). Både absolutt vannforbruk og prosentandelen av vannføringen i elva som ble brukt til å avlede ål inn til bunnluka var lavere i 2011 enn i 2010. Lite vann til sideløpet var sannsynligvis den viktigste enkeltårsaken som kunne forklare forskjellene mellom de to årene.

Vi hadde i 2010 og 2011 ingen oversikt over hvor mange ål som vandret gjennom kraftverksturbinen og overlevde. Det er heller ikke sannsynlig at all ål som døde etter turbinpassering ble funnet, slik at andelen død fisk er et minimumsanslag. Prosentandelen som vandret ned gjennom sideløpet (78 % i 2010 og 51 % i 2011) kan dermed være overestimert.

### Registrering av oppvandrende ål ved Fosstveit fra 2011

Overvåking av oppvandrende gulål (ålefaringer, yngel) startet i 2011. Til sammen ble det i 2011 fanget 1299 oppvandrende ål. De fleste var 20 til 25 cm lange. Fangstlokaliteten og metoden synes å gi et resultat som kan benyttes i videre overvåking.

### Langtidsserie med registrering av nedvandrende ål i Sagebekken ved Niksjå

Det har vært ålefangst ved en lokalitet i Sagebekken i mer enn 100 år. Fangstene er registrert årlig siden 1994. Målet var opprinnelig fangst av ål for konsum, men i dag er målet å overvåke utvandringen. Vi kan ikke anta at all nedvandrende ål fanges, men vi antar den tar en vesentlig andel av ålen. Hvis ål skal unnsnippe fangst må den aktivt unngå å følge vannstrømmen inn mot fangstkammeret. Dette vil ikke skje under normale forhold, men vil kunne skje under flom eller hvis tilførselsrennen (vannavskiller) fylles med kvist og lauv eller lignede.

I Sagebekken ble det registrert nedvandring av ål i perioden 20. august til 10. oktober i 2010 og i perioden 18. juli til 9. oktober i 2011. De to årene ble det fanget henholdsvis 54 og 57 ål med gjennomsnittsvekt på 0,6 kg og 0,5 kg. Det har vært en svak negativ utvikling i antall ål fanget årlig siden 1994.

## 1.3 Undersøkelser i Storelva i 2012

I 2012 ble bruken av sideløpet optimalisert for å lede nedvandrende ål utenom kraftverksturbinen. Andel fisk som benyttet sideløpet gjennom dammen i forhold til turbinløpet ble i 2012 forsøkt

kvantifisert ved å PIT-merke fisk. Et PIT-merke er en passiv integrert transponder med en individuell kode som avleses med bruk av antenner. Antenne kan være i form av en håndleser (avlese en fisk som er fysisk gjenfanget) eller i form av stasjonære lyttestasjoner. Når et merke detekteres av lyttestasjonen lagres merkenummer sammen med klokkeslett. Antenneutforming og stasjonsetablering er basert på erfaringer fra tilsvarende prosjekter på anadrom fisk gjennomført i vassdraget i de senere årene (Kroglund mfl., 2012c).

Data på ålens atferd omkring turbininntaket har blitt etterspurt siden undersøkelsene startet i Storelva. Dette er også data av internasjonal betydning. Ønsket om å iverksette gode tiltak er tilstede, men kunnskapen om hva som påvirker tiltakenes suksess er begrenset (Travade mfl., 2010) (Environment, 2009). Hva gjør ål når de ankommer et kraftverksinntak med varegrind i inntaksåpningen? Hva gjør ålen mellom det tidspunktet den ankommer varegrinda og vandrer videre? Søker ål langs bunnen, i overflata eller i hele vannvolumet etter alternative nedvandringsruter? Eller er den ikke på søken etter trygge nedvandringsruter? For å få mer detaljert kunnskap om ålens atferd ovenfor kraftverksdammen og ved kraftverksinntaket ble det igangsatt et pilotprosjekt hvor 3-D telemetri ble tatt i bruk. 3-D telemetri innebærer å merke fisk med en akustisk sender og registrere detaljert atferd i et studieområde av begrenset størrelse i tre dimensjoner (dvs. horisontalt og dybde). Målet med pilotprosjektet var først og fremst å prøve denne teknologien, også i Norge. Resultatene er enda under bearbeiding og blir ikke presentert i denne rapporten, men vil rapporteres senere.

I 2012 ble overvåking av utvandrende ål i Sagebekken videreført, og noen av disse ble PIT-merket og for å undersøke hvor lang tid ålen buker fra overliggende områder i vassdraget til elvemunningen. Overvåking av oppvandrende ål ved Fosstveit ble også videreført.

Samlet hadde aktiviteten gjennomført i 2012 følgende formål:

- Optimalisere tiltak for å øke overlevelsen av nedvandrende ål forbi Fosstveit kraftverk ved å øke andelen som benytter sideløpet i stedet for å gå gjennom turbinen. Dette ble gjort ved:
  - PIT-merking av ål
  - akustisk merking av ål og bruk av 3D-telemetri.
  - overvåking av andel av ål som benyttet ulike nedvandringsveier
- Undersøke dødelighet av ål som hadde vandret gjennom turbinen
- Undersøke vandringshastighet og vandringsatferd, inkludert når på døgnet ålen vandrer
- Overvåke oppvandrende ål ved Fosstveit ved å registrere antall, størrelse og tid i sesongen.
- Overvåke nedvandrende ål i Sagebekken ved Niksjå ved å registrere antall, størrelse og tid i sesongen.

## 2. Områdebeskrivelse

### 2.1 Storelva i Holt

Storelva i Holt (vassdragsnummer 018) er fullkalka siden 1996. Innsjøen Vegår øverst i vassdraget er kalket siden 1985. Vannføring måles av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i Lundevatn (stasjon 18.4.0). Storelva er et typisk lavlandsvassdrag med relativt lite industriell aktivitet i nedbørfeltet. Det var tidligere en masovn ved Nes Verk, og tresliperi ved Fosstveit. Storelvavassdraget oppstrøms Fosstveit har et nedbørfelt på 350 km<sup>2</sup> (**Tabell 1**). Spesifikk avrenning er på 24,4 l/sek/km<sup>2</sup>. Nedstrøms Fosstveit kraftverk tilføres Storelva vann fra Skjerkafeltet (58 km<sup>2</sup>). Dette feltet har en spesifikk avrenning på 21,5 l/sek/km<sup>2</sup>. Vannføringen ved Fosstveit korrigert for areal, og spesifikk avrenning er ca. 13 % lavere enn det som måles i Lundevatn.

**Tabell 1.** Delfeltarealer og spesifikk avrenning og vannbidrag innenfor Storelvavassdraget.

Delområde	Areal (km <sup>2</sup> )	Arealbidrag	Vannføringsbidrag
T.o.m. Fosstveit	350	86 %	87 %
T.o.m. Lundevatn	58	14 %	13 %
<b>Sum Storelva</b>	<b>408</b>		

### 2.2 Sagebekken

Sagebekken renner ut av Sandvatn (id: 9838; vannhøyde 147 moh.). I bekken er det etablert en fangstkiste for ål. Sagebekken renner inn i innsjøen Niksjå (id: 9819; vannhøyde 97 moh.), og videre til Ubergsvatn (id: 1257; vannhøyde 75 moh.). Derfra renner vannet forbi Nes Verk til Fosstveit kraftverk (**Figur 11**). Det er ca. 14 km vannvei mellom Sagebekken og Fosstveit kraftverk. Fangstkista i Sagebekken har blitt driftet årlig siden 1994. Det har vært ålefangst på denne lokaliteten i mer enn 100 år. Hovedhensikten med denne fangsten var til konsum. De tre siste årene har fangsten blitt opprettholdt, men da kun som et overvåkingsfiske.



**Figur 1.** Lokalisering av fangstkista i Sagebekken (blå sirkel), utsetningslokalitet for ål fanget i Sagebekken og merket med PIT-merker (rosa sirkel) samt plassering av Fosstveit kraftverk (rød sirkel) (kilde: Norge i bilder).



## 2.3 Fosstveit kraftverk

Fosstveit kraftverk sto ferdig sommeren 2008. Kraftverket utnytter et fall på 14,5 m, og har en kaplanturbin installert. Turbinen har en diameter på 1650 mm, fire blader og går med en hastighet på 330 omdreininger per minutt. Slukeevnen er på  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ . Oppdemningen ved Fosstveit danner et kunstig basseng på  $15\,200 \text{ m}^2$  oppstrøms dammen (



**Figur 2.** ). Fra bassenginnløpet til vanninntaket i dammen er det ca. 430 m. Fra vanninntaket til utløpet fra kraftverket er det ca. 80 m. I kraftverksdammen er det laget tre ulike tiltak for vandrende fisk (**Figur 3**). Tiltaket for nedvandrende ål er i form av et sideløp etablert på ei bunnluke (**Figur 3**, gul sirkel) plassert i samme område som vandringsveien for utvandrende anadrom fisk (**Figur 3**, grønn sirkel). Tiltaket for ål er nær bunnen, mens tiltaket for anadrom fisk er i overflata. Oppvandringstiltak for anadrom fisk er etablert på motsatt side av demningen (**Figur 3**, blå sirkel)





**Figur 2.** Flyfoto over Fosstveit kraftverk (kilde: Norge i bilder). Slipplokaliteter for PIT-merket ål oppstrøms (rød sirkel) og nedstrøms (gul sirkel) kraftverket, samt og to slipplokaliteter for ål merket med akustiske sendere (blå sirkel) er vist. Selve kraftverksdemningen er forstørret opp nederst. Tiltaksområdet er markert med rød sirkel. En skisse av kaplanturbinen som er installert ved kraftverket er også vist.



**Figur 3.** Dammen ved Fosstveit kraftverk fotografert i april 2012, med vanninntak til turbinen (gul pil), sideløp for nedvandrende anadrom fisk (grønn sirkel), laksetrapp for oppvandrende anadrom fisk (blå sirkel) og sideløp gjennom dammen for nedvandrende blankål (gul sirkel). Foto: F. Kroglund.

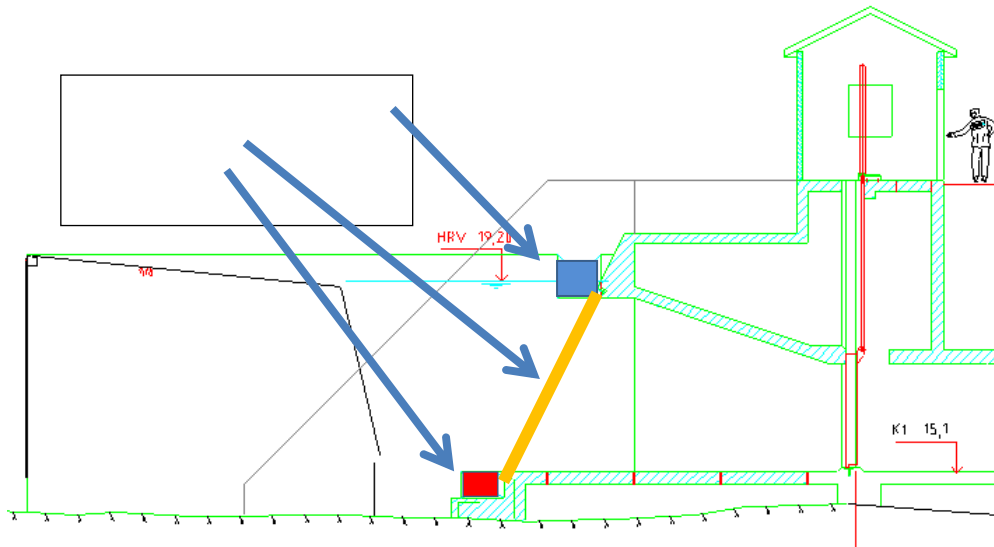
Utvandringstiltakene eller sideløp for anadrom fisk og ål ble etablert i tilknytning til varegrinda. Denne plasseringen er motivert ut fra at fisken følger hovedvannstrømmen som vil være inn mot inntaket til turbinen så lenge vannføringen er lavere enn slukeevnen til kraftverket. Hvis vannføringen er svært høy i forhold til kraftverkets slukeevne vil vann også gå over damkrona. For at vannføringen over damkrona skal bli den dominere vannstrømmen, må vannføringen være betydelig høyere enn kraftverkets slukeevne. Betydelig høyere er ikke kvantifisert, men kan bety minst 2 x kraftverkets slukeevne ( $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ) når damkrona er 25 m lang. Dersom vannføringen er 2xslukeevnen ( $=32 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og vannføringen fordeles over et tverrsnitt på 25 m og 4 m dybde vil vannhastigheten være 0,3 m/s. Vannhastigheten inn mot varegrinda bestemmes av varegrindas størrelse og mengde vann som går til drift av turbinen. Vanninntaket til turbinen er dekket av ei  $25 \text{ m}^2$  varegrind med 50 mm lysåpning mellom spilene. Spilene er 10 mm brede. Tverrsnittet på inntaksområdet er  $32 \text{ m}^2$ . Vannhastigheten i inntaksområdet foran varegrinda vil variere med vannmengde brukt til kraftproduksjon opp til slukeevnen til kraftverket ( $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Så lenge kraftverket benytter  $< 16 \text{ m}^3/\text{s}$  vil vannhastigheten foran varegrinda være  $< 0,5 \text{ m/s}$  (**Tabell 2**). Lokale forhold som innvirker på de hydrauliske betingelsene ved varegrinda gjør at hastigheten på enkelt punkt kan være høyere eller lavere enn dette.

Vannføringen i elva må være minst  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  (3 x slukeevnen) for at vannhastigheten i bassenget ovenfor demningen (tverrsnitt satt til  $25 \times 4 \text{ m}$ ) skal overstige vannhastigheten inn mot varegrinda. Tverrsnittet oppstrøms damkrona er større enn dette, men svært avhengig av hvor det måles. Vannhastigheten over damkrona vil være høy når vannføringen er  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  eller høyere. Uavhengig av hvor og hvordan slike forhold måles, kunnskapen om hvordan fisken faktisk bruker denne type signaler er fortsatt mangelfull og må utvikles for å lage generiske modeller.

**Tabell 2.** Vannhastigheter utenfor turbininntaket ved Fosstveit kraftverk i forhold til vannføringer i elva. Inntaket har et vertikalt areal på  $32 \text{ m}^2$ .

Vannføring $\text{m}^3/\text{s}$	Vannhastighet i inntaksbassenget $\text{m/s}$	Vannføring $\text{m}^3/\text{s}$	Vannhastighet i inntaksbassenget $\text{m/s}$
2	0,06	16	0,50
4	0,13	32	0,50
6	0,19	64	0,50
8	0,25	128	0,50
10	0,31		

Mens tiltak for utvandrende smolt var plassert i overflata, var tiltaket for ål plassert nær bunnen (**Figur 4**). Plasseringene er motivert ut fra den erfaring at smolt er overflateorientert, mens ål oftest rapporteres å være mer bunnorientert. Vi har imidlertid observert ål som utvandret sideløpet for smolt. Begge sideløpene står vinkelrett på varegrinda. Mens tiltaket for ål er plassert lavere enn varegrinda, er tiltaket for anadrom fisk over varegrinda. Dette innebærer at det vil oppstå hydrauliske forhold i områdene omkring sideløpene som avviker fra vannstrømmene omkring selve varegrinda. Dette vurderes av oss å være en gunstig løsning, uten at vi har mulighet for å dokumentere betydningen.



**Figur 4.** Sideprofil av inntaksområdet til kraftverket. Sideløpet for smolt er fargelagt blått, sideløpet for ål er fargelagt rødt mens varegrinda er markert med oransje farge.

Det å benytte vann i disse tiltaksløpene har en kostnad for regulant. Sideløpet for anadrom fisk holdes åpent gjennom hele utvandringsperioden for smolt og vinterstøing. Sideløpet for anadrom fisk åpnes når elvetemperaturen passerer  $7^{\circ}\text{C}$ , eller når de første døde vinterstøingene påvises nedenfor kraftverket. Tiltaket holdes åpent så lenge det er smoltutvandring. Tiltak for ål igangsettes når første sommerflom inntreffer, eller når det observeres død ål på elvebunnen. Tiltaket driftes så langt utover høsten som mulig og helst til vi har flere påfølgende uker uten fangst. Som følge av at slik daglig overvåking er ressurskrevende vil tiltakene driftes over kortere tid enn selve utvandringene pågikk.

## 2.4 Fosstveit til Strømmen

I prosjektet ble ål merket med passive integrerte merker (PIT-merker). Disse merkene avgir en id: kode når de passerer en PIT-deteksjonsstasjon. Funksjon beskrives senere i rapporten. PIT-merket ål ble registrert ved passering av Angelstad (730 m nedstrøms Fosstveit kraftverk, **Figur 4**) og ved utløpet fra Lundevatn (5 km nedstrøms utløpet fra Fosstveit kraftverk, **Figur 6**). Førstnevnte lokalitet benevnes for PIT-Angelstad, mens sistnevnte benevnes PIT-1870 (stasjonsnavn er knyttet til flomdempende tiltak gjennomført der antenna står i år 1870). PIT-1870 er plassert ca 120 m ovenfor elvemunningen (Strømmen).

Elva er sakte meanderende de siste 2 km oppstrøms Lundevatn. Lundevatn (ID: 9726; vannhøyde 2 m) er  $0,38 \text{ km}^2$  i areal og 1,1 km langt. Mellom Lundevatn og Songevatn er det en kort elvestubb på ca. 120 m før elva renner inn i Songevatn ved Strømmen. Songevatn og den utenforliggende

Nævestadfjorden har svært varierende saltnivåer, med variasjoner fra nær null til over 15 promille. Saltnivået i disse innsjøene og i Nævestadfjorden er i stor grad avhengig av vannføringen i elva samt klimatiske påvirkninger fra havet.



**Figur 5.** Flyfoto over Storelva fra Fosstveit til Angelstad (kilde: Norge i bilder). Fangstlokalitet for ål til merking er vist med gul sirkel. Automatisk registrering av nedvandrende ål med PIT-merker gjøres med bruk av PIT-antenne (gul strek). Se innskutt bilde for detaljfoto av PIT-stasjonen.



**Figur 6.** Flyfoto over nedre deler av Storelva, fra E-18 til utløpet av Lundevatn (kilde: Norge i bilder). Se innskutt bilde for detaljfoto av PIT-stasjon 1870. Elvemunningen (Strømmen) er ca 120 m nedstrøms PIT-stasjonen.

## 3. Metoder

### 3.1 Fangstmetoder og lokaliteter

#### 3.1.1 Fangstkiste for overvåking av nedvandrende ål i Sagebekken

Ål ble fanget i fangstkiste i Sagebekken (**Figur 7**). Ål fanget ved denne lokaliteten ble talt, veid og sluppet ut i den nedenforliggende innsjøen Niksjå. Ti av ålene ble merket med PIT-merker (satt ut 5. oktober). I 2010 og 2011 ble ålen transportert og satt ut nedstrøms Fosstveit kraftverk. I 2012 var det ønskelig å utprøve om ål merket i Sagebekken passerte kraftverket samme år.

Det har blitt observert at mink tar ål i fangstkista, og det ble fanget mink og mår i felle i 2012. Det kan derfor ha vært noe tap av ål til mink fra fangstkista.

Fangstkista ble holdt åpent for fangst 27. juni - 28. oktober 2012, det vil si tre og en halv måned. Fangstkista må holdes lukket inntil ålen begynner å gå. Åpnes den for tidlig kan minken finne dette som et spisested med frosk, padde og småfisk. Et annet problem med å holde den åpen er at bever kan havne i fangstkassa og gnage den i stykker for å komme seg ut. Dette er forhold som påvirker bruk av fangstkista til overvåking.



**Figur 7.** Venstre: plastrør plassert i bekken som leder ål inn i transportkanal og fram til fangstkista. Høyre: Fangstkiste for fangst av nedvandrende ål i Sagebekken. Foto: F. Kroglund

#### 3.1.2 Fangstfelle for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk

Fangstfella og sideløpet ved dammen på Fosstveit kraftverk ble først utprøvd i 2010 og modifisert i 2011. Ål utvandret sideløpet og videre ut sideløpsdammen (**Figur 8Error! Reference source not found.**). Denne dammen samler vannet og begrenser vannhastigheten fra sideløpet (støpt i 2011). Ved utløpet av sideløpsdammen skilles vannet av og ålen samles i en ruse med fire rom. Rusa ligger i vannoverflaten i minstevannføringsløpet.

Under flom vil dette området komme under vann og ål kan vandre ned utenom fangstrusa. Dette vil først skje når vannføringen i elva er  $>2x$  slukeevnene til kraftverket (dvs.  $>32 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Normalt vil fangstinstallasjonen kunne driftes så lenge vannføringen over damkrona er mindre enn  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  (totalvannføring  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Det vil derfor være dager fangstinstallasjonen fungerer, men ikke bør tømmes på grunn av sikkerhetsmessige forhold, og dager med svært høy vannføring hvor

fangstinstallasjonen ikke fungerer. Dette er en situasjon som kan oppstå ved alle kraftverk, og er ikke et særlig problem i Storelva. Når kraftverket stanser (konstruksjonsfeil som gir driftsstopp når vannføringen er høy) går alt over damkrona og selv 16 m<sup>3</sup>/s kan gi umulige arbeidsforhold. Det er mulig å etablere fangstsystemer som er mindre sårbare for flom hvis dette er ønskelig, men dette vil kreve betydelige investeringer.



**Figur 8.** Fangstinnretning for ål ved Fosstveit kraftverk. Sideløp, sideløpsdam, vannavskiller (øverst til venstre). Fangstruse plassert på vannavskiller (øverst til høyre). Bunttappeluke med 200 mm hull og ventil (nederst). Plassering av sideløp i forhold til damkonstruksjonen er vist i **Figur 3**. Foto: F. Kroglund

### 3.1.3 Registrering av død nedvandrende ål etter turbinpassering ved Fosstveit kraftverk

Mesteparten av ål som blir drept av turbinen blir erfaringsmessig liggende på bunnen av elva i området fra turbinutløpet og et par hundre meter nedstrøms, avhengig av vannføring. Død ål observeres relativt enkelt fra elvebredden da den hvite buken ofte blir liggende opp. Innsamling av død ål gjennomføres ved at det speides etter ål fra elvebredden og ved snorkling i selve elva. Snorkling kan kun gjennomføres når forholdene tillater dette.

Død ål ble talt opp og fryst ned for senere analyser. Individene var ofte i flere deler. Der det var tvil om antall individer, ble antall haler talt. Vi teller haler, fordi vi har erfart at vi finner dobbelt så mange haler som hoder.

I ettertid er det utviklet en relasjon mellom brystbredde og ålens lengde. Denne er ikke benyttet til å estimere lengde fra hoder i 2012, men kan benyttes i fremtidig overvåking. Det må også la seg gjøre å estimere lengde til ål ut fra haler.

### 3.1.4 Fangst for overvåking av oppvandrende gulål (ålefaringer) forbi Fosstveit kraftverk

Det er utviklet en rekke metoder for å lede oppvandrende ål forbi demninger og kraftverksturbiner (Porcher, 2002). I 2011 testet vi en enkel felle (**Figur 9**). Fella får vann fra laksetrappa. Vannet ledes ned til et oppvandringsrør samt til et fangstkammer. Dette sikrer at ålen har vann å svømme og krype oppover i samt at ål som er fanget får friskt vann. Oppvandringsrøret besto av et 3 m langt 110 mm PVC-drensrør som var fylt med enkammat (**Figur 9**). Inntaket for ålefella var plassert på land og ca. 5 m fra vannkanten



**Figur 9.** Oppvandringsfelle for ål plassert ved inngangen til nedre laksetrapp ved Fosstveit kraftverk (venstre foto). Enkammat (vevde plastråder, høyre foto) ble lagt inn i røret for å hjelpe ålen med å vandre opp i fella. Foto: F. Kroglund

Oppvandringsfella for ål ved Fosstveit var i drift 9. mai - 19. september 2012. Oppvandringsfella ble ettersett og tømt ca. hver tredje dag av Torleif Gidly Berge. Ålen ble talt og delt inn i lengdeklasser (**Tabell 3** og **Figur 10**). All ål fanget ble satt ut oppstrøms Fosstveit kraftverk.

**Tabell 3.** Oversikt over lengdeklassekategorier for oppvandrende ål.


<i>Lengdeklasser for oppvandrende ål</i>				
10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm	> 30cm





**Figur 10.** Ål fanget i oppvandringsfella ved Fosstveit. Ålen ble talt og delt inn i lengdeklasser før de ble satt ut igjen. Foto: F. Kroglund

### 3.2 Merking med PIT-merker og registrering av merket fisk

En andel av ålen fanget ved Sagebekken og Fosstveit kraftverk ble merket med passive integrerte transpondere (PIT)-merker . Hvert PIT-merke har en unik ID-kode. For å avgi sin unike kode må merket aktiveres. Det kan aktiveres manuelt med bruk av en håndleser eller automatisk i en antenne/lyttestasjon. Når en fisk passerer en lyttestasjon avleses og registreres fiskens ID automatisk, samt passeringstidspunkt. I ettertid knyttes merke-id til enkeltindivid. Dermed er det mulig å fastslå hvem som passerte hvor og når.

Det ble innsamlet ål over flere dager før merking. Ålen samlet inn ved Fosstveit ble i denne perioden holdt i vaskemaskintromler i elva for oppbevaring, med maksimum 10 ål i hver trommel. Dagfangstene ble oppbevart adskilt. Ål fanget i Sagebekken ble oppbevart i fangstkista før merking.

Før merking ble ålen bedøvd. Det ble brukt tre ulike bedøvelsesmidler, der alle gav god bedøvelse og ingen dødelighet etter oppvåking (MS222: 20g/30 l vann, nellikolje: 20ml/30 l vann og Metomidate: 120 mg/30 l vann). Bruk av metomidate gav kortest bedøvelsesetid, dyp bedøvelse og raskest oppvåking. Ålen ble tatt ut fra bedøvelseskaret først når den var tilstrekkelig slapp til at den kunne håndteres. Bedøvelsesetid økte med ålens lengde. Det er avgjørende at ålen ikke har mulighet til å bryte vannflaten og snappe luft i bedøvelseskaret. Hvis ålen får hodet ut av bedøvelsen øker bedøvelses tiden.

For å merke ålen ble det skåret et lite snitt med skalpell gjennom huden ved ryggfinneren (**Figur 11**). PIT-merket ble ført ca. 4 cm inn mellom huden og muskelen. Såret ble limt med histoacryl (Aesculap, Tyskland). Etter merking ble ålen lengdemålt og veid før den ble satt til restituering. Ålen hadde normale bevegelser 3-5 min etter merking. Den ble holdt til observasjon før utsetting i ca. ett døgn.

Det var ingen dødelighet etter merking. Umerket ål ble ikke bedøvet og kun veid. Det ble ikke påvist gjenfanget ål med merkesnitt uten PIT-merke.

Ålen som ble fanget i Sagebekken ble sluppet i innsjøen Niksjå (**Figur 1**). Ål som ble fanget ved Fosstveit ble satt ut både oppstrøms- og nedstrøms Fosstveit kraftverk (**Figur 2****Figur 1**). De som ble satt ut oppstrøms måtte da passere kraftverket på nytt. De som ble satt ut nedstrøms hadde ingen slik vandringshinder.

Ål som vandret gjennom sideløpet ved Fosstveit kraftverk ble samlet opp over flere dager før merking. Dette var for å optimalisere merkeprosessen. Utsettingsdatoer er dermed ikke lik fangstdato. Dette er tatt hensyn til i all vandringsrelaterte estimat, hvor utsettingstidspunkt benyttes for  $t = 0$  (starttidspunkt). For hastigheter innenfor elv beregnes hastighet fra PIT- til PIT antenne. Til sammen ble 139 ål merket ved Fosstveit kraftverk og ble satt ut fordelt på 6 dager (**Tabell 12**). Utover dette antallet ble noen ål merket med akustiske merker for å få data på ålens vandringsatferd oppstrøms kraftverket og omkring varegrinda. Det ble her benyttet 3D-akustikk fra HTI, USA. Disse fiskene ble samtidig PIT-merket.

Samme dag som ål ble utstyrt med akustiske merker kom det en flom og de fleste fiskene gikk tapt. PIT-merket ål holdt til restituering som gikk tapt under flommen er tatt vekk fra nedvandringsestimatene. Restitueringsstromlene ble gjenfunnet en drøy uke senere. Ålen var uten synlige skader, men for å unngå mulige skadede ål i forsøket ble disse fortsatt ekskludert fra materialet. Samtidig tydet resultatet på at ål godt kan holdes lenge i vaskemaskintromler. Akustisk merket ål som ble sluppet før flommen vil rapporteres i eget notat.

PIT-merkingene hadde flere formål. Resultatene ble benyttet til å estimere andel ål ut sideløpet i forhold til turbinløpet, tap av ål i turbinløpet samt vandringsatferd. For å sikre at det ble satt ut nok fisk ovenfor kraftverket til at nedvandringvalg kunne diskuteres, ble denne utsettingslokaliteten prioritert i starten. I perioden 31. august til 13. september ble kun satt ut ål oppstrøms kraftverket. Denne perioden ble 72 ål satt ut (**Tabell 12**). Fra 17. til 21. september ble ytterligere 28 ål satt ut oppstrøms kraftverket, mens 39 ble satt ut nedstrøms kraftverket. Ål satt ut nedstrøms kraftverket kan betraktes som en kontrollgruppe i forhold til det å passere et kraftverk.



**Figur 11.** Bedøvelseskar med plexiglasslokk (venstre foto.) og PIT-merket ål, der merket er halvveis inne (høyre foto). Foto: F. Kroglund

Det var utplassert PIT-antennene på sideløpet ut av kraftverksdammen, ved Angelstad (730 m nedstrøms Fosstveit kraftverk) og ved elvemunningen (stasjon 1870, ca. 6 km nedstrøms kraftverket, se områdebeskrivelse for plassering av stasjonene, **Figur 5**, **Figur 6**). En PIT-antenne består av en leserenhet og én antennesløyfe. Leserenheten aktiverer antennen ca. 30 ganger/s. Når antennen er aktivert vil den kunne lese merker som er innenfor deteksjonsområdet. Når systemet alternerer mellom aktivert og lesing som her, klassifiseres systemet som "halv duplex". Utstyret ble levert fra Oregon Rfid.

PIT-antennene ved elvemunningen var etablert for å registrere oppvandrende anadrom fisk. Antenna ved Angelstad ble etablert for å registrere ål som hadde passert kraftverket. Ettersom samme type merker benyttes i alle merkeprogrammene kan merket fisk påvises ved lyttestasjonene uavhengig av stasjonens primære formål. Synergi mellom flere prosjekt gir mer data enn det som ville vært mulig innenfor dette prosjektets rammer.

Hvis en PIT-merket fisk blir stående ved en antenne kan dette resultere i mange påfølgende registreringer og dermed blokkere for nye registreringer. Hvis to PIT-merkede fisk passerer en antenne samtidig kan det oppstå kodekollisjon og ingen av dem bli registrert. Hvis det er avstand (> ca. 20 cm) mellom fiskene vil det ikke bli kodekollisjon.

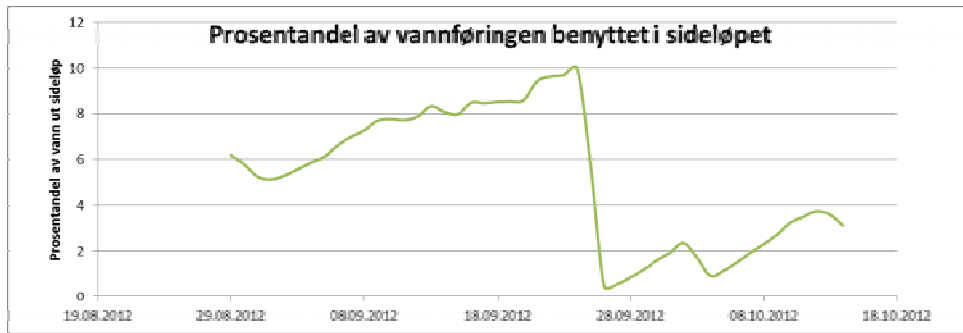
### 3.3 Registrering av bruk av sideløpet for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk

I 2012 ble vannføringen gjennom sideløpet for nedvandrende ål holdt nær konstant gjennom hele perioden og var på  $264 \pm 6$  l/s. Vannføringen var inntil flommen startet bestemt av trykket fra et vannnivå på høyeste regulerte vannstand (HRV, 6 m). Under flommen økte vannstanden med ca. 35-50 cm over HRV. Økningen vil avhengig av vannføringen i elva, og medføre noe økt vannføringen ut av sideløpet. Vannføringen ut av sideløpet var høyere i 2012 enn i 2011 og på nivå med periode 2 i 2010 (**Tabell 4**).

**Tabell 4.** Tidsperioder for forsøk med bruk av sideløpet for ål ved Fosstveit kraftverk i 2010 og 2011. Det er her oppgitt hvilke dimensjoner åpningen til sideløpet hadde samt vannmengde ut sideløpet.

År	Metode	Dimensjon	Periode	Vannmengde l/s
2010	Bunnluke heva	10,0x20 cm	10. aug. – 17. sep.	180
		14,5x20 cm	17. sep. – 03. okt.	260
2011	Sideløp m/slange	150 mm diameter	18. jun. – 11. okt.	100
		200 mm diameter	11. okt. – 07. nov.	170
2012	Sideløp u/slange	200 mm diameter	29.aug. – 14. okt.	264

Selv om vannføringen holdes konstant vil det relative vannforbruket endres med vannføring i elva. Den prosentvise andelen av vannføringen i elva som ble ledet til sideløpet var i størrelsesorden  $7,5 \pm 1,5$  % i perioden fra sideløpet ble åpnet til flommen startet natt til 25. september (**Error! Reference source not found.**). Fra flommen startet og fram til 14. oktober var vannføringen i sideløpet på  $2,0 \pm 1,1$  % av vannføringen i elva. Forsøket i 2012 kan ut fra dette deles inn i to perioder; én periode før flommen hvor vannføringen ut av sideløpet var ca. 7 % av vannføringen i elva, og én periode under flommen hvor vannføringen ut av sideløpet var ca. <4 % av vannføringen i elva (**Error! Reference source not found.**). Når vannmengde og andel av vannføringen ut sideløpet er høyt vil dette skape hydrauliske forhold i inntaksområdet som vil være forskjellig fra det forholdene vil være når vannmengde eller prosentandel er lav. Vi har ikke mulighet til å måle disse forskjellene. De kan modelleres.



**Figur 12.** Prosentandel av vannføringen i Storelva sluppet gjennom sideløpet for nedvandrende ål. Vannføringen i sideløpet var  $264 \pm 6$  l/s fra til 25. september og litt høyere under flommen som startet 25. september. Andelen vann benyttet til å avlede ål avtok fra å være ca. 7 % før flommen til å bli omkring 2 % under flommen.

## 4. Miljøvariabler

Soloppgang, solnedgang og månefase er beskrevet i **Vedlegg C**.

### 4.1 Vannføring og vanntemperatur

Vannføring logges som timesverdier ved NVE-stasjon 18.4.0 Lundevatn. Verdiene som kan hentes ned fra nettet er ikke korrigererte, og kan avvike fra verdier som hentes fra NVE-basen HYDRA i ettertid. Ettersom dette normalt vil innebære ett års tidsforsinkelse i analyser benytter vi her ukontrollerte data.

Vannføringen målt ved Lundevatn er i overkant 10 % høyere enn det som passerer ved Fosstveit. Vi har her valgt å ikke korrigere vannføringen ut fra areal ettersom vi ikke kjenner daglig vannbidrag fra sidefeltet Skjerka, samt hvordan vannmagasinene i Vegår og Ubergsvatn driftes. Selv om disse magasinene kan holde mye vann, kan vannføringen i korte perioder (dager) påvirkes av endringer her. Mens selve flomtopper kan bli feil, vil hovedtrekkene i vannføring stemme.

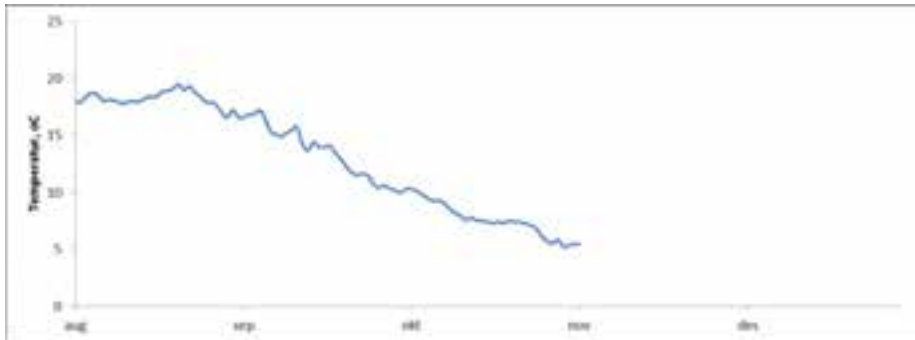
Det utvandret noe ål i mai. Vannføringen var på det tidspunktet omkring  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  og avtagende (**Figur 13**). Fra juli var vannføringen jevn eller avtagende fram til 25. september (**Figur 13**). Den 25. september var vannføringen i underkant av  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  kl. 08, økte til  $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$  kl. 19, passerte slukeevnen til kraftverket ved midnatt og nådde fire ganger slukeevnen tidlig neste formiddag. Denne flommen forårsaket at alle fangstinstallasjoner ble neddykka og at fangst av ål var umulig å dokumentere. Kraftverket var ut av drift mellom midnatt 25. og 27. september. Følgelig var det heller ingen vannstrøm inn mot turbinen. Ål kan ikke ha passert kraftverksturbinen den tid kraftverket var ut av drift.

De neste flomepisodene startet henholdsvis 3. og 15. oktober. Vannføringen var etter den første flommen 25. september aldri under  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ . 25. september representerer således en skilledato hvor forholdene før var ulike fra forholdene etter (**Error! Reference source not found.; Figur 13**).



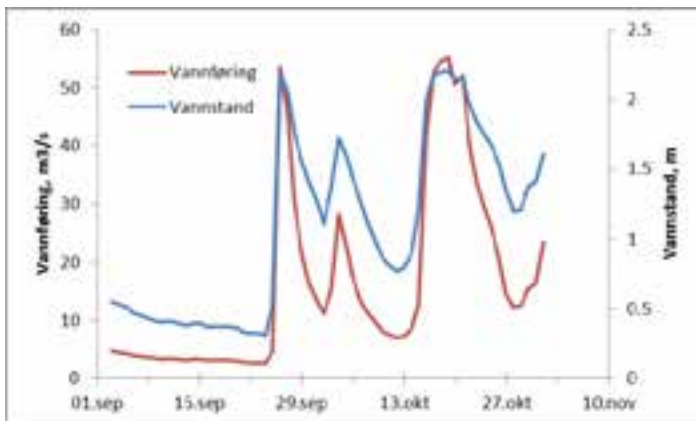
**Figur 13.** Daglig vannføring ved Lundevatn i 2012 (rød strek). Middelverdien ( $\pm 1 \text{ SD}$ ) for årene 2003 til 2011 er inkludert som blå strek. Vannføringsnivåene 1, 2, 3 og 4 ganger slukeevnen til kraftverket er vist med grønne stiplede linjer.

Vanntemperatur måles ved Fosstveit av NVE. Temperaturutvikling er vist i **Figur 14**. Ålen utvandret en periode vanntemperaturen var jevnt avtagende, fra ca 18-20 °C til ca 8 °C.



**Figur 14.** Daglige temperaturmålinger ved Fosstveit 2012. Data er hentet fra NVE-basen HYDRA.

PIT-antenna ved Angelstad er bygd som en liggende antenne og vil i hovedsak kun påvise fisk som passerer mellom bunnen og ca 40 cm opp i vannsøykla. Antenna på stasjon PIT-1870 er bygd som en stående antenne og vil påvise også fisk som står høyere i vannmassene. Når vannstanden blir for høy i forhold til antenneplasseringene kan dette redusere deteksjon, særlig ved Angelstad. Når flommen startet 25. september økte vannstanden i Lundevatn med ca. 1 m i forhold til vannstanden perioden forut (**Figur 15**). Vi må kunne anta at vannstandsøkningen ved Angelstad vil ha vært større på grunn av smalere løp. Høyere hastighet på vannet vil ha motvirket noe av økningen. Vi kan ikke utelukke at vi mistet deteksjon av fisk som går høyere enn ca 40 cm over bunnen ved Angelstad under flommen.



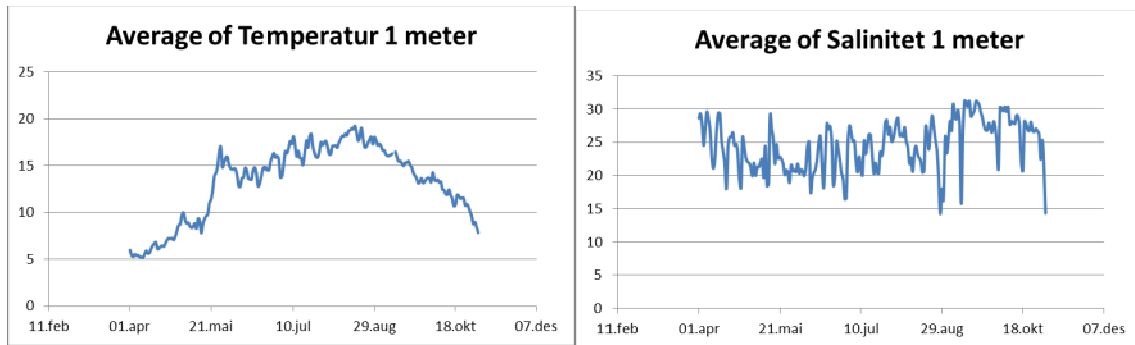
**Figur 15.** Sammenheng mellom vannføring og vannstand i Lundevatn (NVE stasjon 018.4.0).

## 4.2 Sjøtemperatur i kyststrømmen

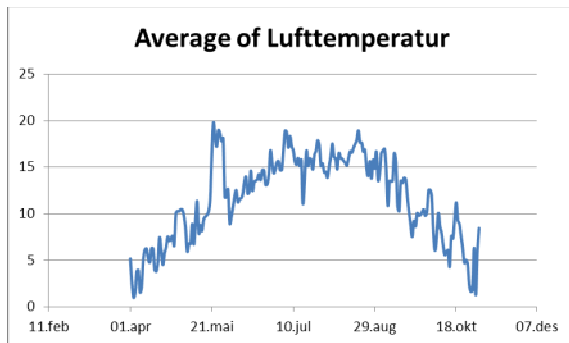
Når ålen forlater vassdraget vil de etter hvert ankomme kyststrømmen. Vi vet ikke hvor lang tid ål bruker fra elvemunningen til ytre skjærgård. I Altafjorden brukte ålen gjennomsnittlig 2,7 dager på å vandre fra elvemunningen og 31 km ut i fjorden, noe som tilsvarte en gjennomsnittlig vandringshastighet på 0,5 km/t (Davidsen mfl., 2011).

Ålen vil ankomme kyststrømmen i en periode når både luft- og vanntemperatur er avtagende, med varierende salinitet (**Figur 16**, **Figur 17**). Saliniteten er mer varierende innenfor Skagerrak enn hva ål

fra de fleste andre elver i Europa vil erfare. Mens Skagerrak, Kattegat og Østersjøen er store brakvannsbasseng, vil ål som ankommer Atlanterhavet, Nordsjøen og Norskehavet ankomme i saltere vann. Foruten forskjeller knyttet til det fysiske miljøet vil også strømretningen på vannmassene være forskjellige. Hvis ål benytter kyststrømmen vil de gå medstrøms til de når Atlanterhavet.



**Figur 16.** Middeltemperatur og middelsalinitet på 1 m dyp målt ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon ved Flødevigen i 2012.



**Figur 17.** Middeltemperatur i luft målt ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon ved Flødevigen i 2012.

## 5. Resultater og diskusjon

### 5.1 Nedvandring av ål i Sagebekken

Samlet ble det i 2012 fanget 33 ål i fangstkassa i Sagebekken (**Figur 18, Tabell 5**).

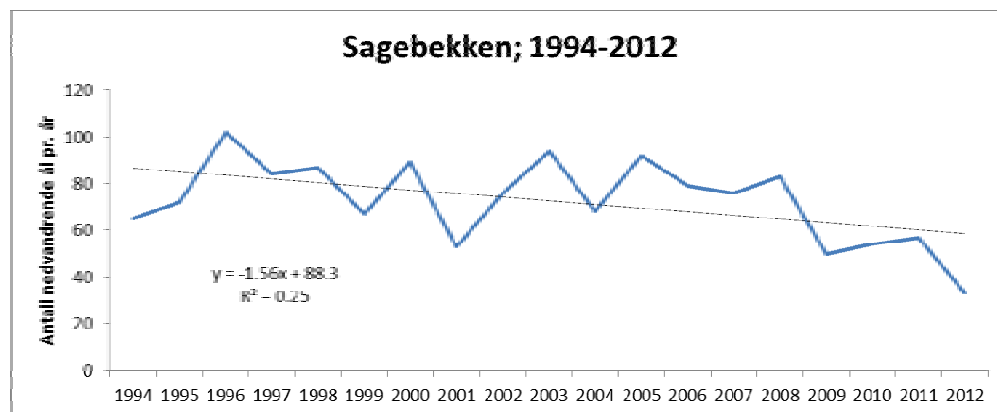
Gjennomsnittstørrelsen var 0,56 kg, noe som var nær vektgjennomsnittene i de to foregående år (0,54 kg i 2010 og 0,61kg i 2011). Det ble fanget én stor ål på 1,9 kg. Dette er også normalt ut fra tidligere års fangst, med 1-3 relativt store ål i fangstene hvert år. Samlet vekt av fangsten i 2012 var 18,7 kg. I 2011 var den på 32,9 kg og på 27,9 i 2010. Ålen som fanges i Sagebekken har stort sett utseende som blankål, men er likevel brunere enn den som fanges ved Fosstveit.

Antall ål fanget i 2012 var det laveste som er registrert noen gang siden ålefangsten begynte i 1994. Dette kan gjenspeile den generelle nedgangen observert i hele Europa. Dette kan også skyldes vannføring i forhold til ideelt nedvandringstidspunkt. Dersom dette er tilfelle så er det ål som står igjen og som vil komme som fangst neste år og seinere fangstsesonger. Det kan også være en lokal forklaring som faller sammen med at det er ca. 10 år siden den nye Hammerdammen ble bygd på Nes Verk. Denne har gjort det vanskeligere for gulålen å komme lenger opp i vassdraget

Det var lite snø vinteren 2011/12, og snøsmeltingen gav ingen markant vårflom. Utover våren var det i perioder forholdsvis tørt. Utover i juni økte nedbøren, og vannføringen i Sagebekken økte. Vannmengder som erfaringsvis samsvarer med nedvandring av ål kom ikke før mot slutten av juni. Det var i grove trekk avtagende vannføring i Sagebekken fra fangstkaret ble åpnet og fram til 24-26. september. Under flommen som kom da ble 20 nedvandrende ål fanget i løpet noen få dager. Denne flommen kom om lag en måned senere enn normalt tidligere år.

**Tabell 5.** Antall ål og vekt på fanget i fangstkassa i Sagebekken i 2012.

Dato	Antall ål	Vekt (g) for individuelle ål	Utsettingssted, kommentarer
29.06.2012	1	280	Nedstrøms fangstkassa
01.07.2012	1	350	"
11.07.2012	1	510	"
15.07.2012	1	540	"
08.08.2012	2	390, 480	"
19.08.2012	1	350	NRK opptak, sluppet Fosstveit
29.08.2012	1	530	Spist av mink, svømmeblæremark
26.09.2012	10	450, 530, 560, 540, 1,880, 780, 890, 350, 490 og 510	Nedstrøms fangstkassa
28.09.2012	10	520, 380, 370, 540, 400, 490, 330, 630, 520 og 430	"
17.10.2012	5	770, 600, 810, 690 og 820	Fosstveit
28.10.2012	stengt for sesongen		



**Figur 18.** Årlig fangst av ål i Sagebekken siden 1994 ( $y = -1,56x + 88,3$ ;  $p = 0,25$ ).



## 5.2 Nedvandring av ål ved Fosstveit

### 5.2.1 Nedvandringsperiode

#### Våren 2012

Det ble i 2012 som i tidligere år påvist en liten nedvandring av ål i mai (n = 8, **Tabell 6**). Fem ål benyttet sideløpet etablert for smolt og vinterstøing. Fangsten her var sannsynligvis nær fullstendig. Tre ål ble fanget i smolthjulet plassert nedenfor kraftverket. Disse hadde sannsynligvis vandret gjennom turbinen siden det ikke fantes andre vandringsveier enn sideløpet og turbinen på dette tidspunktet. Fangsten i smolthjulet vil være et underestimat ettersom ål kan passere smolthjulet uten å bli fanget.

De fleste av ålene var små (15-25 cm), og var sannsynligvis gulål som forflyttet seg nedover i vassdraget, eller eventuelt til sjøen for videre vekst. De største ålene var også gulere under buken enn det høstvandrende ål ved Fosstveit bruker å være. To ål ble merket med PIT-merker. Det var ingen senere registreringer av disse.

**Tabell 6.** Nedvandrende ål fanget i smoltfeller ved Fosstveit våren 2012.

Dato	Sted	Kroppslengde (mm)	PIT-merket id:
24.05.2012	Sideløp	150	
24.05.2012	Sideløp	170	
24.05.2012	Sideløp	220	
31.05.2012	Sideløp	150	
31.05.2012	Sideløp	150	
18.05.2012	Smolthjul	550	356446231
26.04.2012	Smolthjul	200	199901760
04.05.2012	Smolthjul	400	

#### Høsten 2012

Området nedstrøms kraftverket ble undersøkt regelmessig for å finne død ål gjennom hele sommeren 2012. Det ble ikke sett død ål før 28. august (n = 3). Denne ålen var ikke fersk og antas å ha vært død i minst tre dager. Dette betyr at de første ålene hadde nedvandret før 28. august, men nedvandringen var trolig i startfasen på dette tidspunktet. Nedvandringen ble fulgt fram til 14. oktober. På grunn av høy vannføring i elva kunne slutten på nedvandringsperioden ikke dokumenteres. Det ble til sammen registrert 321 nedvandrende ål ved Fosstveit høsten 2012 (**Figur 19**).

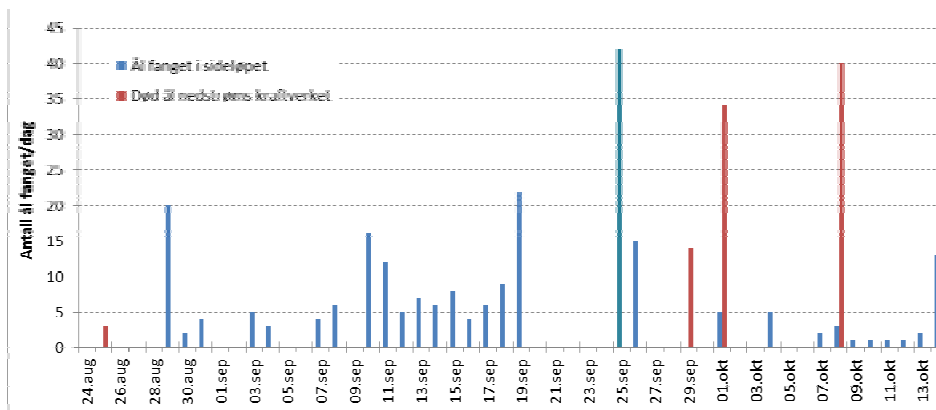
Sideløpet for ål gjennom dammen ble åpnet 29. august. Første natt utvandret det 20 ål gjennom sideløpet. En fangst på 20 ål første natt tyder på at ålen var under nedvandring. Vi kan selvfølgelig ikke utelukke at all ål ankom kraftverket først natt til 30. august, men det er mer sannsynlig at ålen hadde ankommet tidligere og ble hemmet i videre vandring. Andre nedvandringsmuligheter forelå ikke med unntak av laksetrappa. Når alternative nedvandringsruter ikke forelå på dette tidspunktet valgte likevel noen (n = minimum 3) å utvandre turbinløpet og døde. Varegrinda foran kraftverksinntaket syntes derfor å fungere som en atferdssperre i denne perioden.

De første dagene etter at sideløpet ble åpnet var det en jevn fangst av nedvandrende ål som passerte dammen gjennom sideløpet. Det var tydelige fangsttopper 10. og 11. september (n = 28) og 19. september (n = 22). Den jevne fangsten mellom 29. august og 10. september kan tyde på at det var et jevnt tilslag av nyinnvandret ål ned mot kraftverket, alternativt at mange ål brukte tid på å finne sideløpet.

Før flommen 25. september var fordelingen 139 ål gjennom sideløpet, mens det ikke ble påvist død ål nedstrøms kraftverket utover de tre som ble funnet før sideløpet ble åpnet.

Kvelden 25/26. september ble det fanget mye ål som kom gjennom sideløpet. Dette var i starten av flommen, som økte i intensitet utover denne natta. Disse to dagene ble det fanget til sammen 57 ål som hadde vandret gjennom sideløpet. Flommen tok fangstfella, og ny fangst var først mulig da ny felle ble etablert 1. oktober. Fra 1. oktober til midten av oktober ble 34 ål fanget som hadde vandret gjennom sideløpet.

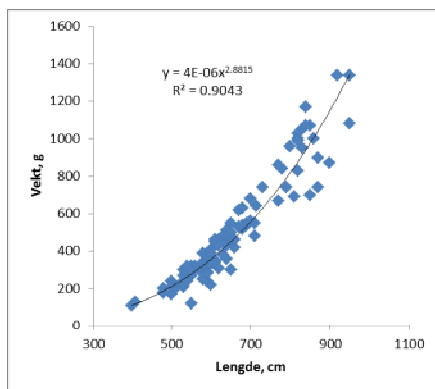
En begrenset undersøkelse etter død ål nedenfor kraftverket ble foretatt 29. september. Denne dagen, samt under dykking 1. og 8. oktober, ble det til sammen påvist 88 døde ål. I samme periode ble det fanget 91 ål som vandret gjennom sideløpet. Fordeling mellom ål som benyttet sideløp i forhold til de som ble funnet døde etter passering gjennom turbinen endret seg følgelig i løpet av undersøkelsesperioden. Fra ingen påviste døde ål før flommen døde minst 49 % av ålen etter vandring gjennom turbinen etter flommen startet. Siden ikke all død ål vil kunne registreres, er dette et minimumsestimat.



**Figur 19.** Antall ål som daglig vandret gjennom sideløpet (blå søyler) og antall død ål funnet nedstrøms kraftverket (røde søyler).

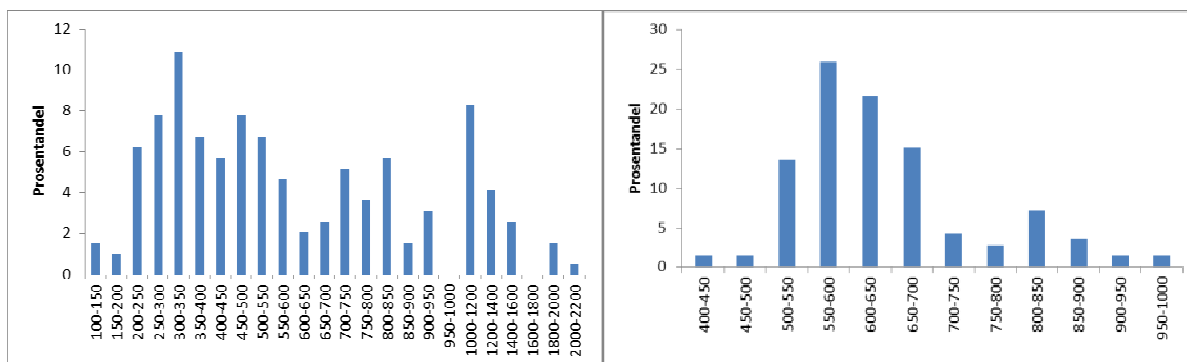
### 5.2.2 Lengde og vekt

Lengde og vekt ble målt for 108 ål (**Figur 20**) som var bedøvd for merking. Medianlengde var 610 mm, mens medianvekt var 510 g (**Tabell 7**). Resten av fangsten ble kun veid fordi veiing kan utføres uten bedøvelse.



**Figur 20.** Sammenheng mellom ålens lengde og vekt (n = 108).

Ålen fanget i 2012 hadde en to-toppet vektkurve (**Figur 21**). Den ene toppen var mellom 200 og 600 g mens den andre var mellom 700 og 1800 g. Dette tilsvarer ål med lengder 50 til 71 cm og 75 til 100 cm, De største ålene ble fanget seint i sesongen (**Tabell 8**). Ålen ble ikke kjønnsbestemt, men basert på resultater fra andre elver er antagelig den minste gruppen en blanding av hunner og hanner, mens den største gruppen er hovedsakelig hunner. Hanner har vanligvis kortere kroppslengde enn hunner, og blankålhanner i Imsa er rundt 40 cm, mens hunner ofte er fra 60 cm og oppover (Vøllestad & Jonsson, 1988). I Kvernavatn i Hordaland var hannene opp til 44 cm lange, mens de fiskene som var lengre var hunner (Sagen, 1983).

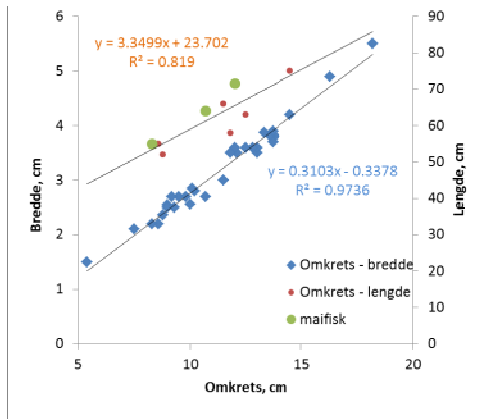


**Figur 21.** Størrelsesfordeling (venstre figur vekt, g; høyre figur lengde, cm) til ål fanget i 2012. Her inngår ikke død ål da vi ikke har veid disse. Sammenhengen mellom lengde og vekt er vist i figur 20.

**Tabell 7.** Lengde- og vektfordeling til ål fanget ut av sideløpet ved Fosstveit kraftverk høsten 2012.

	Lengde mm	Vekt g
25 -prosentil	560	320
50 -prosentil	610	510
75 -prosentil	680	810
Antall	139	194

For å kunne estimere totallengde på død ål, som gjerne er delt i to etter passasje gjennom turbinen, ble bredde, omkrets og lengde målt. Omkrets og bredde ble målt like bak brystfinnene. Det var en god sammenheng mellom omkrets og bredde ( $n = 31$ , **Figur 22**). Vi hadde tilgang på få hele ål ( $n = 9$ ). Ut fra dette materialet kan det antydnes at ål med bredde omkring 2 cm (7,5 cm omkrets) vil være omkring 48 cm lang, mens ål som har en bredde på 5 cm (17 cm omkrets) har en lengde på ca. 80 cm. Flere ål bør undersøkes for å etablere et best mulig forhold mellom disse målene. Tre av ålene som ble målt var fanget i mai. Disse hadde noe høyere K-faktor enn ål fanget i september. Vi har for få datapunkter til å konkludere med at det er en systematisk forskjell i K-faktor mellom ål som vandrer ned om våren og de som vandrer ned om høsten.



**Figur 22.** Sammenheng mellom omkræts og bredde til død ål plukket nedstrøms kraftverket i 2012 (n = 31) og fra hel ål nedfrosset fra årene 2008 til 2011 (n = 9).



### 5.3 Modellert dødelighet gjennom turbin

Kjell Leonardsson ved Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) har utviklet en applikasjon innenfor prosjektet "Krafttag ål", et program finansiert av Havs- og Vattenmyndigheten (HaV) samt kraftregulanter. Modellen bygger på modelltilpasninger og parameterisering av data fra Monténs arbeider (Montén, 1985), hvor en rekke modeller for treffsannsynlighet av fisk gjennom en turbin er evaluert. Validering av modellen med empiriske data viser at modellen gir en relativt god overensstemmelse med enkelte unntak (Leonardsson, 2012). Modellen kan derfor anvendes for å gi et bilde av mulig dødelighetsnivå og for å identifisere forhold hvor man kan forvente lav versus høy dødelighet. Modellen er dokumentert i Leonardsson (2012) og det henvises dit for ytterlige detaljer. Her er modellen benyttet til å estimere median treffsannsynlighet, hvor 25 og 75-prosentilene er beregnet for å angi usikkerhet. Treffsannsynlighet er basert på en Monte Carlo simulering av bladtreff. I den valgte modellen inngår turbintype, turbinens maksimale kapasitet ( $m^3/s$ ), rotasjons hastighet (rpm) samt antall blader. Det er videre forutsatt at sideløpet ikke var åpnet og at varegrinda ikke utgjorde et fysisk hinder. Det er beregnet geometrisk middelverdi samt 25 og 75-prosentilverdiene for turbinbladsannsynlighet (Monte Carlo simuleringer). Data som inngår i modellen er fiskelengdene (**Tabell 7**) samt karakteristika for turbinen (**Tabell 9**).

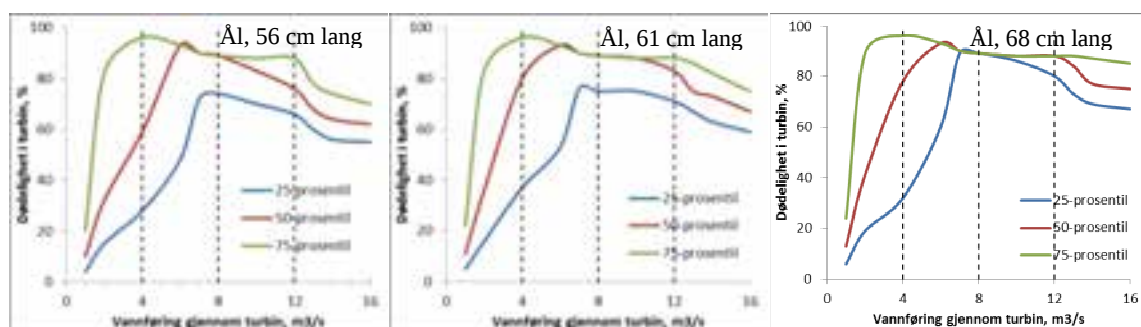
**Tabell 9.** Turbinkarakteristika for Fosstveit kraftverk.

Enhet	Mål
Turbintype:	Kaplan
Rotasjon	330
Antall blader	4
$Q_{maks}$	$16 m^3/s$

Sannsynlighet for dødelighet vil variere med lengden på ålen og med vannføring (**Figur 23**). For små ål vil 50 % sannsynlighet for dødelighet (medianverdi) være størst (93 %) når kraftverket utnytter ca.  $6 m^3/s$  vann, for å avta til 66 % når vannføringen gjennom turbinen øker til  $16 m^3/s$ . Sannsynlighet for dødelighet vil for alle ålelengder være  $>60\%$  så lenge vannføringen er  $> 4 m^3/s$ . Det understrekes at dette er modellresultater, og for å oppnå pålitelige tall for dødelighet gjennom kraftverket må dette undersøkes spesifikt ved hvert kraftverk. Foruten død knyttet til turbintreff, kan ål også dø som følge av andre forhold knyttet til inntaket, varegrinda og til avløpet som ikke inngår i modellen. Faktisk død vil dermed kunne bli høyere enn estimert.

Vannføringen i nedvandingsperioden avtok fra  $5,0 m^3/s$  målt 1. september til  $2,7 m^3/s$  målt 24. september. I dette vannføringsområdet estimerer modellen en 50-prosentil for dødelighet i området 35 til 75 %. Når vi ikke påviste død ål fram til flommen 25. september kan dette bety at utvandrende ål denne perioden faktisk brukte sideløpet. Hvis ål hadde benyttet turbinløpet vil en andel kunne ha overlevd, men neppe så mange at vi ikke ville finne noen døde. Undersøkelserforholdene nedstrøms turbinen var svært gode i denne perioden. Ingen observasjoner av død ål tolkes som en stor preferanse for bruk av sideløpet i denne perioden.

I perioden 29. september til 8. oktober ble 88 døde ål påvist nedstrøm kraftverket. Denne perioden avtok vannføringen fra  $50 m^3/s$  (målt dagene forut for 29. september) til nivåer under  $10 m^3/s$ . Modellen predikerer da en sannsynlighet for dødelighet i området 60 til 90 %. Funn av relativt mye død ål og relativt færre ål i sideløpet ( $n = 74$ ) kan tyde på at ålen denne perioden hadde lavere preferanse for sideløpet. Funn av 88 døde ål kan representere en nedvandring på fra 100 til 150 ål. Det er samtidig sannsynlig at vi ikke påviste all død ål. Høy vannføring kan føre den døde ålen langt nedover vassdraget. Funn av 88 ål ut turbinløpet er et nedre underestimat. Usikkerheter i modellen gjør at faktisk antall som passerte i live kan ha vært noe høyere, men også noe lavere (**Figur 23**).



**Figur 23.** Sannsynlighet for dødelighet ved Fosstveit kraftverk gitt at ål er 56, 61 eller 68 cm (venstre, midten og høyre figur). Det er beregnet median treffsannsynlighet. Usikkerhet er angitt med 25- og 75-prosentilene). De stipla vertikale linjene angir nivåer når kraftverket kjører for  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  eller  $\frac{3}{4}$  kapasitet.

**Tabell 10.** Treffsannsynlighet (medianverdi) for ålelengdene 58, 60 og 68 cm. Disse lengdene representerer 25, 50 og 75 prosentilverdiene for ål påvist ved Fosstveit kraftverk i 2012.

Turbinvannføring m <sup>3</sup> /s	Alens lengde		
	58 cm	60 cm	68 cm
1	10	10	13
2	26	34	32
4	77	60	57
6	93	93	93
7	90	90	90
8	89	89	89
10	88	88	88
12	77	86	88
13	77	69	81
14	65	73	83
16	66	68	74

Det finnes flere andre modeller for å estimere sannsynlighet for at fisk dør ved passasje gjennom turbiner. Gomes og Larinier (2008) sammenstilte resultat fra 71 forsøk med ålepasseringer gjennom kraftverksturbiner og utviklet tre prediktive modeller for dødelighet. De ulike modellene er basert på sammenhenger mellom dødelighet (M1-3) og ålens lengde i forhold til turbinens navdiameter (M1), vannføring (M2) eller turbinens rotasjonshastighet (M3). De franske modellene er:

$$\begin{aligned}
 M1 &= 4,67 * TL^{1,53} Dn^{-0,48} N^{0,6} \\
 M2 &= 6,59 * TL^{1,63} Q^{-0,24} N^{0,63} \\
 M3 &= 12,42 * TL^{1,36} Q^{-0,22} Dn^{-0,1} N^{0,49}
 \end{aligned}$$

der  $M$  er dødelighet i %,  $TL$  er ålens totallengde (m),  $Dn$  er kaplanturbinens navdiameter (m),  $N$  er rotasjonshastighet (rpm) og  $Q$  er turbinens maksimale slukekapasitet. Beregnet dødelighet for ulike ålelengder ved passasje ved Fosstveit kraftverk er angitt i **Tabell 11**. Disse gir et estimat for dødelighet som er noe lavere enn det som ble estimert ut fra den svenske modellen. Denne forskjellen skyldes sannsynligvis grunnlagsdataene benyttet i de ulike modellene og representerer sannsynligvis usikkerheter og ikke reelle forskjeller.

**Tabell 11.** Predikert dødelighet av ål ved passering av turbinen i Fosstveit kraftverk ut fra modell 1 til 3 (M1, M2 og M3) utviklet av Gomes & Larinier (2008).

Fiskens lengde m	Dn Turbin-diameter (m)	N Rotasjons hastighet	Q Slukeevne	M1	M2	M3
0,5	1,65	330	16	41,3	42,3	45,1
0,6	1,65	330	16	54,5	56,9	57,8
0,7	1,65	330	16	69,0	73,1	71,2
0,8	1,65	330	16	84,7	90,9	85,4
0,9	1,65	330	16	100	100	100
1,0	1,65	330	16	100	100	100
1,1	1,65	330	16	100	100	100
1,2	1,65	330	16	100	100	100

## 5.4 Registrering av PIT-merket fisk

Bruk av PIT-merker gjør at andeler gjenfangst, vandringstidspunkt og vandringshastigheter kan bestemmes for ål satt ut henholdsvis oppstrøms og nedstrøms Fosstveit kraftverk. Gjenfangstene var høyest for ål satt ut nedenfor kraftverket ( $94 \pm 6\%$ ). Gjenfangsten var nær halvert for ål satt ut ovenfor kraftverket ( $51 \pm 18\%$ ). Gjenfangst er her angitt som middelværdi med 1 standardavvik beregnet for hver av utsettingsdatoene. Hvis hver utsetting betraktes som egen gruppe varierte andel som ikke ble registrert fra 0 til 11 % for fisk satt ut nedstrøms kraftverket, og fra 33 til 80 % for de som ble satt ut ovenfor. Vi har således systematisk færre deteksjoner av ål satt ut ovenfor kraftverket enn de som ble satt ut nedenfor.

Ål satt ut nedenfor kraftverket ble gjenfanget på PIT-antenne ved Angelstad eller ved Strømmen etter henholdsvis 0,9 og 5,3 dager (**Tabell 13**). Ingen ål satt ut ovenfor kraftverket i perioden 31. august til 21. september ble påvist forbi kraftverket før etter 25. september. Mens ål satt ut nedstrøms ble påvist nedvandrende allerede første døgn etter utsetting, brukte ål satt ut oppstrøms i størrelsesorden 14 dager på å vandre. Første passering av kraftverket var 25. september kl. 14:28. På dette tidspunktet var det nedbør og elva var svakt stigende. Til sammen nedvandret 26 ål mellom kl. 14:28 og 23:25 og ytterligere 9 ål frem til neste morgen kl. 09. På dette tidspunktet gikk elva i flom (**Figur 13**). I løpet av dagen 26. september nedvandret ytterligere 11 ål, mens 5 kom dagen etter. På dette tidspunktet var flommen avtagende. Av ålen satt ut ovenfor kraftverket ble til sammen 55 % registrert enten ved kraftverket eller på en av de to nedenforliggende PIT-stasjonene under eller like etter denne flommen. Majoriteten av ålen vi påviste passerte kraftverket (75 %) i løpet av første døgn av flommen. Prosentandelen økte til 85 % i løpet av de neste to døgnene.

Tid fra utsetting til påfølgende registreringer varierte mellom utsettingslokalitetene. Ål satt ut nedstrøms kraftverket passerte Angelstad etter median 21 timer (25 og 75 prosentil var henholdsvis 15 og 25 timer) og brukte i median 128 timer mellom Angelstad og PIT-1870 (25 og 75 prosentil var henholdsvis 78 og 194 timer) (**Tabell 13**). Dette gir en hastighet på 0,01 m/s fra utsettingslokalitet til Angelstad og mellom Angelstad og Strømmen. De raskeste ålene gjorde denne vandringen på halvparten av medianverdien. Ål satt ut ovenfor kraftverket ble ikke påvist forbi kraftverket før 25. september. Vi har nøyaktig utvandringstidspunkt for få ål forbi selve kraftverket til å beregne vandringshastighet derifra. Benyttes tidsdifferansen mellom Strømmen og Angelstad kan hastighet beregnes for denne strekningen. Ål satt ut oppstrøms kraftverket brukte 5 timer (25 og 75 prosentil var henholdsvis 3 og 19 timer) fra Angelstad til Strømmen (PIT-1870). Ålen satt ut oppstrøms kraftverket vandret med en median hastighet på 0,3 m/s, eller 30 ganger raskere enn ål satt ut nedstrøms kraftverket. Hvis vi antar at de hadde en like rask vandring før de ankom Angelstad som beregnet for strekningen etter, vil de ha passert kraftverket ca. 0,7 timer (ca. 40 min) før de ble registrert ved Angelstad. All ål satt ut ovenfor kraftverket passerte dermed kraftverket under og like etter flommen. Forskjellen i vandringshastighet mellom ål satt ut nedstrøms kraftverket (dager før flommen) og de



som passerte under flommen kan tilskrives forskjellene i vannføring og vannhastighet. Det er ingen grunn til å anta at forskjellene skyldes at ålen ble håndtert forskjellig (fangst, merking, transport).

Ut fra resultatene konkluderes det med at ålen satt ut ovenfor kraftverket mistet en "motivasjon" til å passere kraftverket på nytt. Svekket vandringsmotivasjon var ikke like påtrengende hos ål satt ut nedstrøms kraftverket. Når tilnærmet all ål satt ut oppstrøms kraftverket utvandret fra kvelden 25. september til neste morgen tyder dette på at de da på nytt var motivert. Denne nye vandringsmotivasjon kan knyttes til flommen. Fravær av utvandring/motivasjon kan skyldes det innsjølignende bassenget ovenfor demningen, selve demningen eller at de ikke ville ut sideløpet for andre gang. Turbinløpet var heller ikke attraktivt. Hvis forsøket repeteres bør ål som settes ut ovenfor kraftverket settes ut noen km lengre opp i elva.

**Tabell 12.** Antall ål satt ut oppstrøms eller nedstrøms kraftverket fordelt på dag. Andeler av utsettingene som ble påvist eller ikke påvist senere er angitt. I perioden 31. august til og med 12. september ble det kun satt ut ål oppstrøms kraftverket. Perioden 17. til 21. september ble det satt ut ål både oppstrøms og nedstrøms kraftverket.

	Dato satt ut	Satt ut oppstrøms kraftverket					%andeler		Satt ut nedstrøms kraftverket			%andel påvist
		Antall satt ut	Påvist sideløp	Damkrope eller sideløp	Usikkert valg	Ikke påvist	%andel påvist sideløpet	%andel påvist	Antall satt ut	Påvist nedstrøms	Ikke påvist	
<b>Antall satt ut</b>	31. aug	26	3	9	2	12	54	12				
"	10. sep	24	3	11	2	8	67	13				
"	12. sep	22	4	9		9	59	18				
"	17. sep	18	4	4	2	8	56	22	18	18	0	0
"	20. sep								9	8	1	89
"	21. sep	10		2		8	20	0	12	11	1	92
<b>Periode 1</b>	Sum t.o.m. 12. sep	72	10	29	4	29	60	14				
<b>Periode 2</b>	Sum etter 12. sep	28	4	6	2	16	43	14	39	37	2	95
<b>Sum alle</b>	Total	100	14	35	6	45	55		39	37	2	95
	% av total		14	35	6	45	55		94.9	5		

**Tabell 13.** Antall dager (median og 25 og 75 prosentil) brukt fra utsetting til ulike registreringslokaliteter for ål, eller mellom ulike registreringslokaliteter, for ål satt ut oppstrøms og nedstrøms Fosstveit kraftverk.

Slippsted	Første registrerings-lokalitet (antall, n)	Fra utsetting til sideløp	Fra utsetting til Angelstad	Fra sideløp til Strømmen	Fra utsetting til Strømmen	Fra Angelstad til Strømmen
<b>Oppstrøms</b>	Sideløp (n=14)	13,2 (9,8-14,4)	1,0 (0,9-1,1)	1,5 (1,4-2,0)	17,4 (10,3-26,1)	0,6 (0,3-0,9)
	Angelstad eller PIT-1870 (n=86)		15,6 (13,6-25,4)		15,7 (13,9-25,5)	0,2 (0,2-0,6)
<b>Nedstrøms</b>	Angelstad eller PIT-1870 (n=38)		0,9 (0,3-4,0)			5,3 (3,2-8,1)

#### 5.4.1 Hvilken nedvandringsvei brukte PIT-merket ål forbi kraftverket?

Når ål ble satt ut ovenfor kraftverket var intensjonen at disse enten skulle gjenfanges ut sideløpet (vha. PIT-antenne og åluruse), alternativt at de utvandret turbinløpet. Ål som gikk turbinløpet kunne dø. Funn av død ål med PIT-merker ville ha bekreftet dette veivalget. Eventuell levende ål som utvandret turbinløpet kunne påvises på PIT-antenna ved Angelstad, eventuelt også ut av elva (PIT-1870).

Nær 85 % av all passering av kraftverket skjedde fra kvelden 25. september og de neste to dagene. Av 100 ål satt ut ovenfor kraftverket ble 14 ål registrert ut sideløpet. Flommen ødela fangstfella ut sideløpet mellom 25. september kl. 23 og neste morgen kl. 07. Fangst av ål som benyttet sideløpet ble først mulig igjen fra 1. oktober. Vi har gjenfangster av ytterligere 33 ål nedstrøms kraftverket som må ha passert kraftverket i løpet av kvelden 25. september til neste morgen. Disse kan ha vandret gjennom sideløpet (utløpet fungerte, fangst var umulig), turbinen eller over damkrona.

Turbinslagmodellen (Leonardsson, 2012, se ovenfor) antyder dødeligheter i området 66 til 74 % når kraftverket går for full produksjon. Usikkerheten omkring dette estimatet er på ca  $\pm 10$  % (**Figur 23**). Når det ble påvist død ål (n=88) nedstrøms kraftverket etter flommen, og når ingen av disse var PIT-merket, kan dette bety at PIT-merket ål ikke benyttet turbinløpet, alternativt at de passerte levende eller ble transportert forbi de områdene vi søkte etter død ål. At alle skulle ha passert levende er usannsynlig. Vi tror derfor at denne ålen ikke passerte forbi kraftverksturbinen. Kraftverket stanset på grunn av feil ca. kl. 23:00 25. september og gjenopptok produksjon tre dager senere. Av de ålene vi har gjenfangster fra ved PIT-antenna ved Angelstad var det kun fem som teoretisk kan ha passert før kraftverket stanset. Resten vandret når kraftverket sto. Disse kan kun ha vandret gjennom sideløpet eller over damkrona. Hvilken av de to veiene ålen gikk kan vi ikke dokumentere.

#### 5.4.2 Registrering nedover elva

Av 39 ål satt ut nedenfor kraftverket ble to aldri registrert, mens 36 ble registrert ved Angelstad (**Tabell 14**). Ut fra gjenfangster ved PIT-1870 må 37 ål ha passert Angelstad. Av ålen som passerte Angelstad, ble altså 97 % registrert. Kun 22 ål som ble påvist ved PIT-antenna ved Angelstad ble også påvist ut av Storelva (60 %). Resten av ålen kan ha dødd mellom Angelstad og PIT-1870, kan ha stanset opp i sin vandring eller de kan ha passert antenna på PIT-1870 uten å bli registrert. Denne ålen ble satt ut i nedstrøms kraftverket i perioden 17. til 21. september, eller 4 til 8 dager før flommen. Hvis ålen passerte PIT-1870 under flommen vil kun deler av mulige nedvandringsruter ha blitt dekket av antennene, og merket ål kan ha passert uten å bli registrert. Vi kan ikke ut fra disse dataene avgjøre skjebnen til de vi ikke påviste. Hvis PIT-antenna ved PIT-1870 driftes også i 2013 vil vi kunne påvise ål som stanset under vandringen.

Av 100 ål satt ut oppstrøms kraftverket ble 54 ål senere registrert. Vi vet at 14 ål benyttet sideløpet, vi er rimelig sikre på at 35 benyttet enten sideløpet eller nedvandret over damkrona og er usikker på vandringsruten for 5 ål under flommen. All ål påvist ved Angelstad ble senere påvist ved PIT-1870. Av 54 ål vi vet utvandret ble 72 % påvist ved PIT-1870. Gjenfangst målt fra Angelstad til PIT-1870 var høyere (72 %) enn for ål satt ut nedstrøms kraftverket (60 %).

Av gruppen som kan ha gått sideløp alternativt over damkrona ble 10 av 35 påvist ved Angelstad (29 %). Basert på dette synes PIT-antenna ved Angelstad å systematisk underrepresentere antall passeringer for ål satt ut ovenfor kraftverket i forhold deteksjonseffektivitet for ål satt ut nedenfor kraftverket. En mulig forklaring på at ål satt ut ovenfor kraftverket i mindre grad ble registrert er at de vandret under flommen, da antenna ha hatt dårligere deteksjon hvis ålen utvandret > 60 cm over bunnen (**Vedlegg A**). Selv om vi ikke har målt vannhøyde under flommen fra 25. september, økte vannstanden betydelig denne perioden (**Figur 15**). Lav deteksjon ved Angelstad skyldes sannsynligvis at ål svømte høyt i vannsøyla og ikke at antenna ikke fungerte. I samme periode påviste antenna mange oppvandrende gytefisk av laks og sjørret.

### 5.4.3 Nedvandrende ål i Sagebekken

Av ti ål PIT-merket i Sagebekken 5. oktober ble fem senere registrert forbi kraftverket (**Tabell 14**). Fire ål passerte Angelstad 15.-20. oktober. Tre ål passerte PIT-1870 15.-16. oktober. Ålene hadde da i gjennomsnittsnitt brukt 12,5 dager til Angelstad og 11 dager til PIT-1870. Baseres tidsforbruk på dato for passert Angelstad til dato ankomst PIT-1870 brukte ålen 2,4 timer på å tilbakelegge denne strekningen på ca. 6 km. Dette blir 2450 m/time, eller 0,68 m/s, eller nær 1 kroppslengde/s. Denne ålen gikk raskere enn ål satt ut ovenfor eller nedenfor kraftverket.

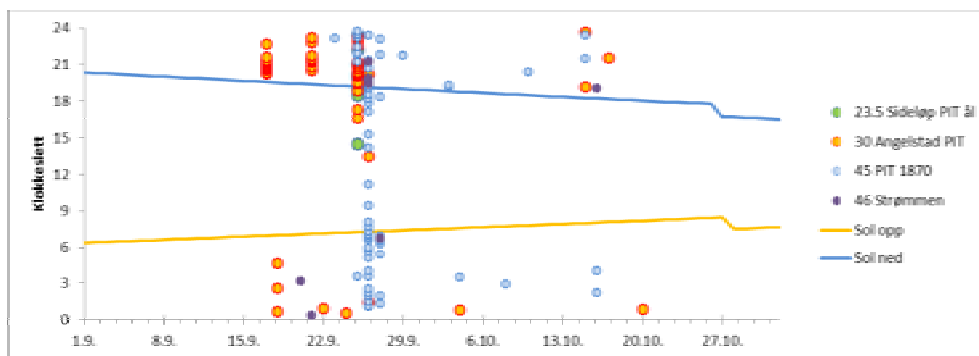
Fra Sagebekken til Angelstad (14 km) brukte ålen  $298 \pm 47,5$  timer. Dette tilsvarer en vandringshastighet på 47 m/time eller 0,01 m/s. Sammenlignet med hastigheten mellom Angelstad og PIT-1870 er dette en meget lav hastighet. Samme nedvandringshastighet ble målt for ål satt ut nedenfor kraftverket. Årsaken til denne lave hastigheten kan skyldes at ålen måtte passere en stor innsjø (Ubergsvatn) samt et kraftverk, men også at vannføringen på dette tidspunktet var  $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Når ål som utvandret under flommen vandret med en hastighet på 0,3 m/s kan forskjellene i vannføring forklare mye av forskjellene i hastigheter. Inntil vi har etablert PIT-stasjoner før kraftverket kan vi ikke avklare i hvilken grad kraftverket forsinket utvandringen. Ål fra Niksjå ble ikke påvist ut sideløpet ved kraftverket. Veivalget forbi kraftverket er således usikkert.

**Tabell 14.** Antall PIT-merkede ål og antall registrert ved lyttestasjoner ved Angelstad og PIT-1870. Resultater er gitt separat for ål satt ut ovenfor og nedenfor Fosstveit kraftverk, samt ål fanget i Sagebekken. Andel (%) registrert av de som ble merket, og andel (%) av de som ble registrert ved Angelstad som ble registrert ved PIT-1870 er også gitt.

	Totalt antall merket	Påvist Angelstad	Passert Angelstad	PIT-1870	Registrert av antall merket (%)	Registrert PIT-1870 % av Angelstad
<b>Satt ut ovenfor kraftverket</b>	100	12	45	39	54	86,7
Brukte sideløpet	14	2	5	5		100
Usikkert valg, utv > 26 sept	5	0	5	5		
Sideløp eller damkrona	35	10	35	29		82,9
Sum påvist ut	54	12	45	39		
Ikke registrert	46					
<b>Satt ut nedenfor kraftverket</b>	39	36	37	22	94,9	59,5
Nedvandret	37	36	37	22		59,5
Ikke registrert	2					
Satt ut Niksjå	10	4	5	3	100	60,0

### 5.5 Når på døgnet vandret ål?

Det vanlige var at ål ble påvist om kvelden og natta mellom kl. 18 og 04. Dette stemte ikke for 26. og 27. september da nedvandring ble påvist hele døgnet. Dagvandring denne perioden kan sannsynligvis knyttes til flommen, når vannet var mer humuspåvirket og turbid.



**Figur 24.** Klokkeslett nedvandrende ål ble påvist på PIT-antennene plassert i vannavskiller ut av sideløpet, ved Angelstad samt ved PIT-1870. De horisontale linjene viser soloppgang og solnedgang. Fiskepasseringene og soloppgang og solnedgang er angitt som GMT+1 (Oslo-tid).

## 5.6 Evaluering av sideløp som tiltak for nedvandrende ål ved Fosstveit kraftverk

Fordelingen mellom fangst av levende ål ut sideløpet og av død ål nedstrøms turbinen var forskjellig før og etter 25. september (**Tabell 15**). Denne endringen kan knyttes til flommen.

Død ål funnet nedstrøms kraftverket kan ikke knyttes til en enkeltdag for nedvandring i motsetning til ål som vandret gjennom sideløpet. Til og med 24. september hadde 139 ål benyttet sideløpet. Inntil da var det ikke funnet død ål nedstrøms kraftverket. Forholdene for å påvise død ål var gunstig. Hvis mange ål hadde benyttet turbinløpet ville vi ha påvist en andel av disse som død ål. Basert på dette kan inntil 100 % av ålen ha benyttet sideløpet. Under og dagene etter flommen ble det funnet 88 døde ål nedstrøms kraftverket. Disse ble funnet til tross for at forholdene var ugunstige (mye vann). I samme periode ble det fanget 74 ål ut sideløpet. Denne perioden fanget vi 46 % av ålen ut sideløpet. Antall her vil være underestimert fordi fangstrusa ble tatt av flommen og det tok noen dager før denne var reetablert. Samtidig kan antall døde ål være underestimert. Basert på de ålene vi har håndtert benyttet > 46 % av ålen sideløpet. Når flommen avtok og fangst ut av sideløpet ble gjenopptatt benyttet 17 ål denne vandringsruten. Etter flommen ble det ikke påvist ny død ål nedstrøms kraftverket selv om forholdene var gunstige. Denne perioden kan sideløpet ha vært inntil 100 % effektivt.

Beregningene over forutsetter at vi har kontroll over antall ål som vandret hvor. Vi har ikke tall på andelen av ålen som kunne ha passert kraftverket levende, eller hvor delene av kappa ål ble transportert utenfor de områdene vi gjennomførte. Når vi fant ål som var død etter flommen, når forholdene samtlige var ugunstig for gjennomføring av området burde vi også ha funnet død ål når vannføringen var lav og forholdene var gode hvis ål var blitt drept av turbinen. Vi antar derfor at nivåene for bruk av sideløp er satt riktig, selv om verdien kan være noe feil. Basert på fordeling mellom levende og død ål og vannføring ut sideløpet kan det anbefales en enkel driftsmodell for tiltaket. Denne baserer seg på vannføringen ut sideløpet i forhold til turbinvannføring ( $Q_s/Q_t$ ).

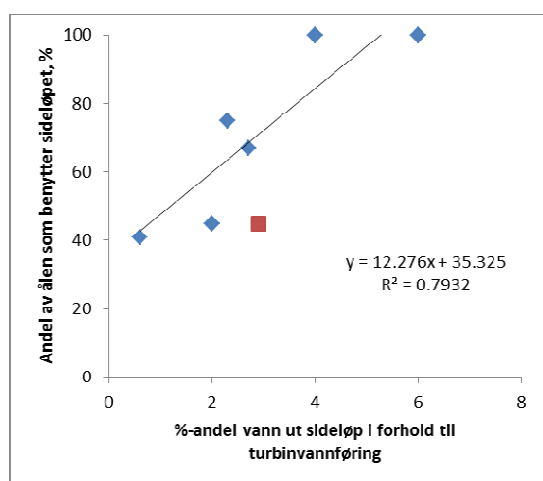
Før flommen ble sideløpet tilført en konstant vannføring på  $264 \pm 6$  l/s. Vannføringen ut sideløpet utgjorde da 6-10 % av turbinvannføringen (**Error! Reference source not found.**). I denne perioden ble 100 % av ålen ledet til sideløpet. Under flommen var  $Q_s/Q_t < 0,02$  %. Reduksjonen skyldes økt turbinvannføring ettersom vannføring ut sideløpet var konstant. Foruten at %-andelen av vann til sideløpet avtok, vil økt turbinvannføring også ha medført at de hydrauliske forholdene i inntaksbassenget og omkring varegrinda ble endret. Samla medførte disse endringene at sideløpet kan

ha endret karakter fra å være velfungerende til å ikke ha samme virkningsgrad. Denne perioden benyttet 46 % av ålen sideløpet. Når vannføringen igjen avtok og sideløpet ble tilført 3-5 % av turbinvannføringen, økte virkningsgraden igjen til 100 %. Dersom denne enkle modellen er riktig, kan økt tap av ål under flommen ha blitt motvirket hvis vi hadde økt vannføringen ut sideløpet. Ut fra dataene over bør sideløpet alltid tilføres > 3 % av turbinvannføringen ( $Q_s/Q_t > 0,03$ ). Under flommen kunne dette nivået ha blitt oppnådd hvis slamluka (luka sideløpet er montert på) hadde blitt åpna. Når data sammenstilles for årene 2010 til 2012 kan ca 80 % av variasjonen i bruk av sideløpet forklares med  $Q_s/Q_t$  (**Figur 25**). Et datapunkt fra 2010 må gjennomgås (markert med rød prikk) nøye. Dette stammer fra starten av undersøkelsene i 2010 og har dårligere kvalitet enn tall produsert senere. Samtidig er det mulig at relasjonen stemmer. Andelen ål som benyttet sideløpet var her lavt, men samtidig var vannføringen ut sideløpet ( $l/s$ ) meget lav.

Den enkle modellen over forutsetter at vi har kontroll over antall ål som døde, eventuelt overlevde gjennom turbinen. Basert på ulike modeller forventes det at ca. halvparten av ålen som benytter turbinløpet vil dø. Når vi ikke påviste død ål når  $Q_s/Q_t > 0,03$  er det sannsynlig at få ål benyttet turbinløpet i denne perioden. Ettersom mye død ål ble påvist når  $Q_s/Q_t < 0,02$  kan disse ålene representere ca. halvparten av antallet som faktisk nedvandret denne ruten. Økes antall ål som passerte gjennom turbinløpet til det dobbelte, benyttet likevel > 33 % av ålen sideløpet denne perioden.

**Tabell 15.** Antall og prosentfordeling av ål som benyttet henholdsvis sideløpet eller turbinløpet forbi kraftverket i forhold til vannbidraget ut sideløpet ( $Q_s/Q_t$ ) i %. Korrigert antall ål tar høyde for at vi ikke påviste levende ål ut turbinløpet under flommen, eller når %-andelen av vann ut sideløpet var lavt.

	Vannbidrag > 5 %	Vannbidrag 3-4 %	Vannbidrag <2 %	Vannbidrag < 2 %
				Antall korr
Sideløp	100 % (n = 139)	100 % (n = 17)	46 % (n = 74)	33-43 % (n = 74)
Turbinløp	0 % (n = 0)	0 % (n = 0)	54 % (n = 88)	67-77 % (n = 100-150)
Sum passert	139	17	162	174-224



**Figur 25.** Prosentandel av ålen som benytter sideløpet i forhold til %-andel vann i forhold til turbinvannføringen. Data fra 2010 til 2012.

Resultatene vi hittil har oppnådd er i tråd med erfaringer fra tilsvarende kraftverk Frankrike (Gosset mfl., 2005; Travade mfl., 2006; Travade mfl., 2010). De konkluderte med at ål benytter et bunnlokalisert sideløp plassert rett ved varegrinda når sideløpet tilføres i størrelsesorden 3 til 5 % av turbinvannføringa. Mens de erfarte at fra 30 til 60 % av ålen benyttet sideløpet når  $Q_s/Q_t$  var i størrelsesorden 0,03 til 0,05 av turbinvannføringa, estimerte vi at > 40 til 100 % av ålen benyttet sideløpet under tilsvarende forhold. Årsaken til denne forskjellen i antall ål som benyttet sideløpet er ikke opplagt, men bør avklares fordi slike forskjeller kan lede til økt forståelse av hva som påvirker tiltakets suksess. Det må også avklares om formelen for avledning av ål til sideløp som benyttes i Frankrike er stedsspesifikk eller ikke. Formelen er gitt nedenfor.

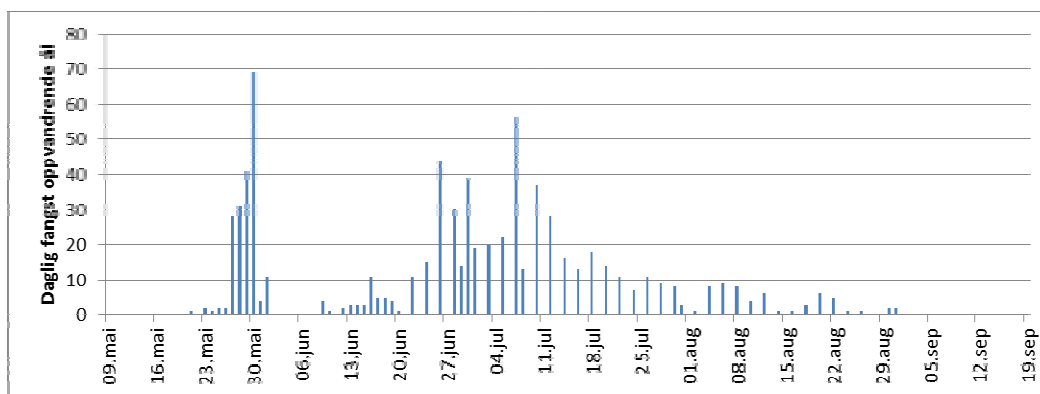
I henhold til Travade mfl. (2010) kan sannsynlighet for at ål benytter sideløp uttrykkes med en sannsynlighet (P). Ålens lengde (TL) oppgis i mm.

$P = \exp(\eta)/(1 + \exp(\eta))$ , hvor:  $\eta = -6,89 + 4,28*(Q_{\text{sideløp}}/Q_{\text{tot}}) + 0.0091 TL$ .

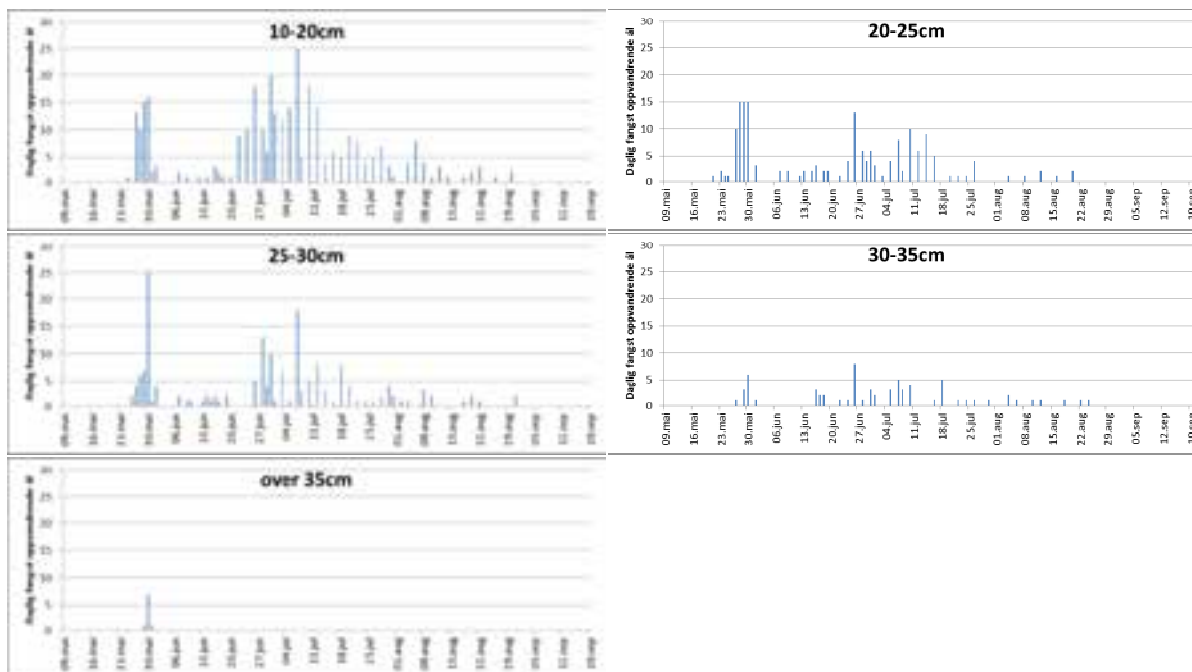
## 5.7 Overvåking av oppvandrende gulål (ålefaringer) forbi Fosstveit kraftverk

Ålen vandret opp forbi Fosstveit kraftverk gjennom fella 21. mai - 31. august 2012.

Ålen ble målt og tilordnet fem størrelseskategorier (**Figur 27**). Til sammen ble det påvist 328 ål i kategori 10 - 20 cm, 175 i kategori 20 – 25 cm, 177 i kategori 25-30 cm, 67 i kategori 30-35 cm og 6 i kategori > 35 cm. Til sammen ble det fanget 756 oppvandrende ål. Dette er færre enn i 2011 (n = 1299). Ålen kom i to puljer i 2012. Den første var i mai, den neste i juli (**Figur 26**). Den første puljen oppvandret mens vannføringen i elva var avtagende. Den neste puljen økte i omfang samtidig som det var en svak vannføringssøkning.



**Figur 26.** Daglig fangst av oppvandrende ål (antall) i fella ved Fosstveit kraftverk.



**Figur 27.** Daglig fangst av oppvandrende ål (antall i ulike størrelseskategorier) i fella ved Fosstveit kraftverk.

## 6. Konklusjon

Ål utsettes for mange trusler. Som følge av en kraftig bestandsreduksjon siden 1970-tallet er ål i dag kategorisert som kritisk truet på den internasjonale og den norske rødlista. I 2010 ble det igangsatt undersøkelser av ål i Storelva, Tvedestrand. Denne lokaliteten ble valgt fordi vassdraget har en størrelse som tillater enkel overvåking, hadde kjente påvirkningsfaktorer og at det ville være enkelt å fange ål under både opp- og nedvandring.

Det er framskaffet mye data på ål gjennom prosjektet. Foruten data på vandringshastigheter og atferd, har vi data på antall nedvandrende ål som benyttet et sideløp forbi kraftverket ved å vandre gjennom en slamluke. Dette tiltaket ble benyttet for å redusere antall ål som dør som følge av at de går gjennom kraftverksturbinen.

Det ble til sammen registrert 321 nedvandrende ål forbi Fosstveit i Storelva i 2012. Ålen fanget dette året hadde en to-toppet vekturve. Den ene toppen var mellom 200 og 600 g, mens den andre var mellom 700 og 1800 g. Dette tilsvarer ål med lengder 50 til 71 cm og 75 til 100 cm. De største ålene ble fanget seint i sesongen.

Ål vandret nedstrøms i hovedvassdraget i perioden fra 24. august til 13. oktober. Det kan ha utvandret ål etter 13. oktober. I sidevassdraget (Sagebekken) utvandret det ål i perioden 29. juni til 28. oktober. I 2012 kan ikke utvandring knyttes til nedbør eller vannstandsøkning alene. Mye ål utvandret perioder vannføringen var lav og avtagende. Vanntemperaturen var avtagende i hovedelva da hoveddelen av ålen vandret.

Det ble i tillegg fanget 8 ål i mai. Fem av disse benyttet en overflateluke i dammen åpnet for å lede smolt og vinterstøing utenom turbinløpet. Resten av ålen nedvandret gjennom kraftverksturbinen.

Ål ble merket med passive integrerte transpondere (PIT-merker) og satt ut nedstrøms Sagebekken, samt oppstrøms og nedstrøms kraftverket. Ål merket i Sagebekken nedvandret med en hastighet på 0,01 m/s. Ål satt ut nedstrøms kraftverket vandret med samme hastighet. Ål satt ut ovenfor kraftverket og som utvandret først når elva ble flomstor, vandret med en hastighet på 0,3 m/s. Forskjellene i vandringshastighet kan tilskrives forskjellene i vannføring. Ålen var primært nattvandrende inntil flommen 25. september. Dagene etter flommen vandret ål hele døgnet.

Det ble i 2010 etablert et sideløp for ål forbi Fosstveit kraftverk. Sideløpet var plassert rett ved, men dypere enn varegrinda. I 2010-2012 var dette sideløpet åpent gjennom det meste av utvandringsperioden for ål. Basert på erfaringene hittil synes tilnærmet all ål å benyttes sideløpet så lenge dette tilføres minst 3 % av turbinvannføringen. Når sideløpet ble tilført mindre enn 2 % av turbinvannføringen avtok andelen ål som benytter sideløpet til mindre 50 % av den nedvandrende ålen. Andelen av ålen som benytter sideløpet vil sannsynligvis avhenge av mer enn kun %-andel av vann som tilføres sideløpet. De fysiske og hydrauliske forholdene vil være vesentlig her. Dette er faktorer som vil være kraftverksspesifikke. Inntil slike sammenhenger er bedre kjent og dokumentert kan ikke resultat fra Fosstveit kraftverk overføres ukritisk til andre kraftverk. Likevel kan det konkluderes med at det er mulig å etablere tiltak som kan øke andelen ål som overlever nedvandringen forbi kraftverk.



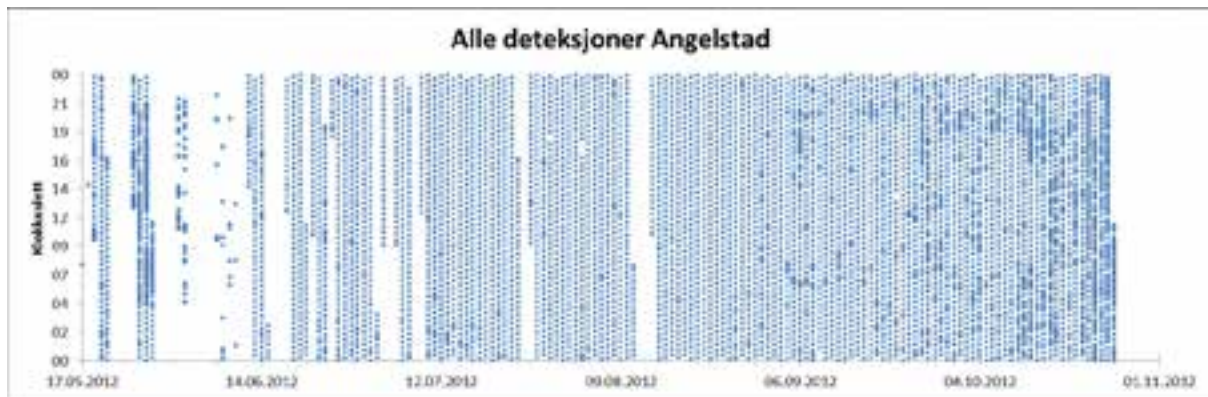
## 7. Referanser

- Davidsen, J.G., Finstad, B., Økland, F., Thorstad, E.B., Mo, T.A. & Rikardsen, A.H. 2011. Early marine migration of European silver eel (*Anguilla anguilla*) in Northern Norway. *Journal of Fish Biology* 78, 1390-1404.
- DN, 2011. Forvaltningstiltak for ål i Norge. DN-notat 5-2011: 25s.
- 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: Biological Sciences*, 278(1704): 464.
- Environment Agency, 2009. Screening at intakes and outfalls: measures to protect eel - The Eel Manual GEHO0411BTQD-E-E
- 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(10): 1095-1105.
- Kroglund, F., Güttrup, J., Hegland, P.V., Lund, E., Fjeld, E., Grung, M. & Haraldstad, T., 2012a. Utprøving av tiltak for å få nedvandrende ål levende forbi kraftverk. Årsrapport 2010, Storelva i Holt i Aust-Agder. . NIVA. Rapport 1. nr OR-6331.: 24.
- Kroglund, F., Haraldstad, T., Güttrup, J. & Hegland, P.V., 2012b. Utprøving av tiltak for å få nedvandrende ål levende forbi kraftverk. Undersøkelser av opp- og nedvandrende ål i Storelva i Holt, Aust-Agder, 2011. NIVA-rapport 6332-2012: 33.
- Kroglund, F., Haraldstad, T., Haugem, T. Rosten, C., Hawley, K., Guttrup, J. & Å. Johansen. 2012c. Påvirkelse av aluminium i brakkevann? Gjenfangst av oppvandrende laks merket og satt ut som smolt i Storelva i Holt, Aust-Agder i 2009 og 2010. NIVA rapport 6291. 45 s.
- 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.
- Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Hesthagen, T., Næsje, T.F., Poole, R., Aarestrup, K., Pedersen, M.I., Hanssen, F., Østborg, G.M., Økland, F., Aasestad, I. & Sandlund, O.T., 2010. Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging- en kunnskapsoppsummering. Rapport Miljøbasert Vannføring 1-2010:: 136s.
- Travade, F., Gosset, C., Larinier, M., Subra, S., Durif, C., Rives, J. & Elie, P., 2006. Evaluation of surface and bottom bypasses to protect eel migrating downstream at small hydroelectric facilities in France.
- 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).
- Vøllestad, L. & 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. *The Journal of Animal Ecology*: 983-997.

## Vedlegg A. Årsaker til få registreringer ved Angelstad

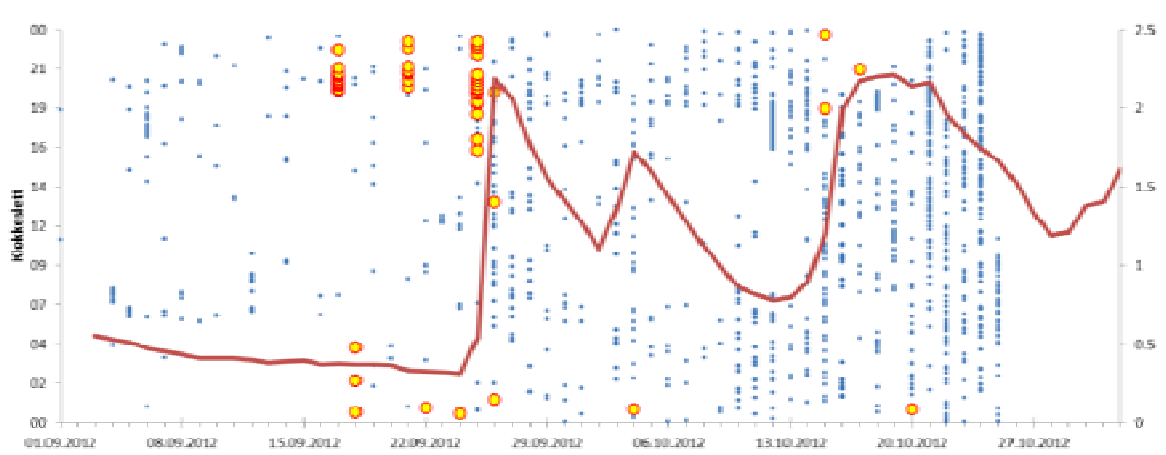
Mens deteksjon ved Angelstad i forhold til PIT-1870 var lik for ål satt ut nedenfor kraftverket var det et tilsvarende stort sprik for ål satt ut ovenfor kraftverket. Utsetningslokalitet alene burde ikke påvirke sannsynlighet for registrering. Lav registrering ved Angelstad bør forklares for å evaluere PIT som metode, men også for å påvise mulige svakheter ved systemet.

Basert på automatisk signalgiver var det ikke noe som antyder funksjonsfeil ved antenna i Angelstad (Fig 29). Manglende registreringer i mai til august skyldes strømsvikt. Dette ble løst i august.



**Figur 28.** Dager det var full deteksjon ved Angelstad. Perioder med hvite felt vil være perioder det ikke var deteksjon.

Selv om antenna fungerer teknisk, trenger den ikke registrere fisk hvis den var dårlig stemt. Antenna ved Angelstad registrerte mye fisk i perioden september til november (Fig 30). Dette var alle oppvandrende gytefisk av laks og sjøørret. Døgnvariasjonen i deteksjon knyttes her til fiskeatferd og ikke til deteksjonsfeil. Vi konkluderer med dette at antenna fungerte, men at den samtidig ikke påviste ål så godt som ønskelig.



**Figur 29.** Fiskedeteksjoner ved Angelstad. Ål er markert med røde prikker, annen fisk med blå prikker.

En mulig forklaring på dårlig deteksjon kan være flommen. Antenna ved Angelstad er en flatseng-type antenne. Denne er plassert ned mot elvebunnen. Fordelen med dette er at antenna ikke påvirkes av driv som setter seg i kablene. Dette er et problem ved PIT-1870. Her er det bygd en gjennomsvømmingsantenne. Begge antennene påviser merket fisk ca. 40 cm utenfor kablene. Når vannstanden øker blir en økende andel av vannet over deteksjonsområdet til antenna. Ved Angelstad vil dette inntreffe når vannstanden øker utover ca. 60 cm fra elvebunnen. Det tilnærma fravær av fisk fra flommen startet kan skyldes at fisk svømte  $> 60$  cm over bunnen under flommen. Fisk som utvandret før flommen vil ha vandret i vann med vanndybder  $< 50$  cm. Det er ikke urimelig å anta at lav deteksjon skyldes at ålen gikk høyt i vannmassene og dermed unngikk deteksjon. Dette kan motvirkes med en annen antenneform.

Denne problemstillingen vil også være relevant ved PIT-1870, men her er den først relevant ved høyere vannføringer. En gjennomsvømmingsantenne dekker en større vanndybde.

## Vedlegg B. Registrering av PIT-merket fisk fordelt på utsettingsdato

<i>satt ut</i>		<i>Sideløp</i>	<i>Turbinløp</i>	<i>Ang</i>	<i>1870</i>	<i>Strømmen</i>	<i>påvist</i>	<i>ikke påvist</i>	<i>%-påvist</i>	
26	Satt ut	31.8.	3	23	4	10	0	13	13	50,0
	Sideløp	31.8.	3		1	2	0	2	1	
	Oppstrøms	31.8.		23	3	8	0	11	12	
24	Satt ut	10.9.	3	21	5	11	3	14	10	58,3
	Sideløp	10.9.	3		1	1	0	1	2	
	Oppstrøms	10.9.		21	4	10	3	13	8	
21	Satt ut	12.9.	3	18	2	8	1	9	9	42,9
	Sideløp	12.9.	3		0	0	0	0	0	
	Oppstrøms	12.9.		18	2	8	1	9	9	
17	Satt ut	17.9.	4	13	1	7	0	7	10	41,2
	Sideløp	17.9.	4			2	0	2	2	
	Oppstrøms	17.9.		13	1	5	0	5	8	
10	Satt ut	21.9.	10		1	1	0	2	8	20,0
	Sideløp	21.9.								
	Oppstrøms	21.9.	10		1	1	0	2	8	
18	Nedstrøms	17.9.			18	9	2	18	0	100,0
9	Nedstrøms	20.9.			7	2	0	8	1	88,9
12	Nedstrøms	21.9.			11	9	1	11	1	91,7
98	Alle opp		27		2	8	0	9	18	33,3
39	Alle ned				39	20	3	37	2	94,9

## Vedlegg C. Soloppgang, solnedgang og månefase

Ål utvandrer primært om natta eller når det er mørkt (oppsummert i Thorstad mfl., 2010, 2011). Ål benytter ikke klokkeslett til å styre vandringen, men benytter mer sannsynlig lysstyrke. Tidspunkt for soloppgang og solnedgang kan dermed ha betydning for tidsvinduet ålen vandrer i.

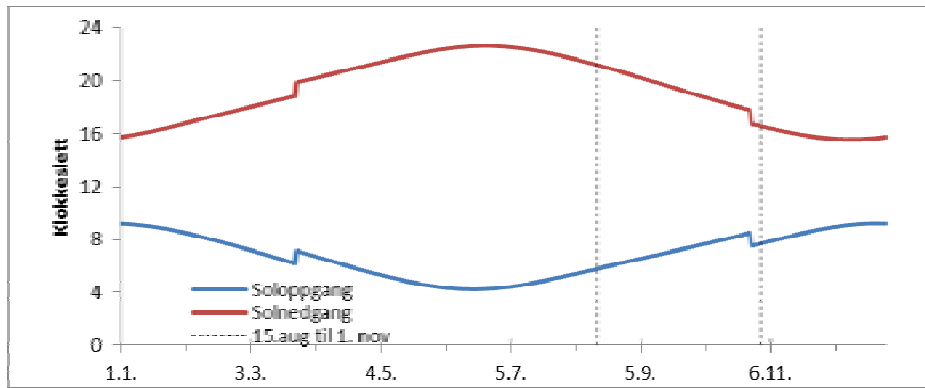
Soloppgang og solnedgang samt tussmørke (skumring og demring) kan defineres ut fra solhøyde. Tussmørke er tiden før soloppgang, og etter solnedgang, når solen er under horisonten, men landskap fortsatt kan være synlig. Grad av tussmørke defineres ut fra solas høyde under horisonten og angis som alminnelig, nautisk og astronomisk. Mens det var 7,5 timer fra solnedgang til oppgang 1. august i Arendal var det 15 timer mellom de to tidsperiodene 31. oktober. Hvis nautisk natt benyttes var natta på 2,5 t 1. august og på 12 timer 31. oktober. Ofte angis vandring som å ha foregått på natt eller dag. Når det ikke tas hensyn til, eller når varighet av tussmørke ikke oppgis, kan viktig informasjon gå tapt. På grunn av den store endringen i forholdet mellom natt og dag i vandringsperioden for ål er klokkeslett et for upresist mål for lys/fravær av lys. Det må samtidig tas hensyn til solhøyde. Maksimum solhøyde er 1 t 26 min etter kl 12 i Tvedestrand om sommeren og 26 min etter 12 når det ikke er sommertid.

Måneskinn vil også påvirke lysstyrken om natta, og kan påvirke ål, men effekter av månefase på ålevandring spriker mellom undersøkelser (oppsummert i Thorstad mfl., 2010, 2011). Vøllestad mfl. (1986) fant ingen effekt av månefase på utvandringen i Imsa. Derimot stanset nedvandringen i perioder med måneskinn når månen kom fram over horisonten og skinte ned på elva. Det kan derfor hende at nedvandringen ikke er så sterkt påvirket av månefasen i seg selv, men at vandringen stanser opp under lys (Haraldstad mfl., 1985; Vøllestad mfl., 1986). Vøllestad mfl. (1986) foreslo at nedvandringen stanser når lyset kommer over en viss terskelverdi, og at denne verdien syntes å være på 0,06 lux.

Dag	sola er over horisonten	helt lyst
Alminnelig tussmørke	< 6°	sterkeste stjerner og landskap synlig
Nautisk tussmørke	6-12°	stjerner synlig, landskapsomriss fortsatt synlig
Astronomisk tussmørke	12-18°	i praksis mørkt
Natt	> 18°	helt mørkt





Soloppgang og solnedgang i Arendal hentet fra [www.timeanddate.no](http://www.timeanddate.no). Avviket herifra til Storelva er minimalt.

	Skumring/demring						Sol		Middag
	Astronomisk		Nautisk		Alminnelig		oppgang	nedgang	
	starter	slutter	starter	slutter	starter	slutter			
1. aug	Hele natta		02:47	00:16	04:21	22:39	05:16	21:45	13:31
15. aug	Hele natta		03:51	23:04	04:59	21:58	05:47	21:10	13:29
1. sep	03:40	23:06	04:47	22:00	05:42	21:06	06:24	20:24	13:25
15. sep	04:31	22:07	05:25	21:13	06:15	20:24	06:55	19:44	13:20
1. okt	05:15	21:12	06:04	20:23	06:50	19:37	07:30	18:58	13:14
15. okt	05:49	20:31	06:35	19:45	07:21	18:59	08:02	18:19	13:11
31. okt	05:23	18:53	06:09	18:07	06:56	17:20	07:39	16:37	12:09



Solopp- og solnedgang i Arendal. Hakkene i kurvene skyldes at data ikke er korrigert for sommertid som sluttet 28. oktober 03:00.

Datoer for ulike månefaser i juli-november 2012.

	Full 	Halv 	Ny 	Halv 
<b>Juli</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>26</b>
<b>Aug</b>	<b>2 og 31</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>24</b>
<b>Sep</b>	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>22</b>
<b>Okt</b>	<b>29</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>22</b>
<b>Nov</b>	<b>29</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>22</b>

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)