

## Smoltutvandring i Nidelva 2014

### Utprøving av tiltak for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk



# RAPPORT

**Hovedkontor**

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

**NIVA Region Sør**

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

**NIVA Region Innlandet**

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

**NIVA Region Vest**

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

Tittel Smoltutvandring i Nidelva 2014 -Utprøving av tiltak for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk	Løpenr. (for bestilling) 6760-2014	Dato 15.12.2014
	Prosjektnr. Undernr. O-14208	Sider 39
Forfatter(e) Tormod Haraldstad Jim Güttrup Throno O. Haugen	Fagområde Fiskeøkologi/ vannkraft	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Agder Energi Vannkraft AS	Oppdragsreferanse
---	-------------------

**Sammendrag**

Antall pre-smolt oppstrøms Rygene, 3546 (3083-4214), er lavere enn hva en kunne forvente utfra antall oppvandrende gytefisk og egnet gyte- og oppvekstareal i elva. I tillegg estimeres et betydelig tap av smolt under nedvandring. Sistnevnte skyldes antagelig to forhold; predasjon fra gjedde og vandring gjennom kraftverksturbinen på Rygene. Det ble i 2014 PIT-merket smolt ved Rygene som ble satt ut oppstrøms. Modellene som er tilpasset merke-gjennfangstdataene tilsier en overlevelse på i størrelsesorden 70 % fra utsetting og ned til Rygene dam. Hypotesen er at oppdemmingen ved Rygene påvirker smolten negativt ved å forsinke den under utvandring og dermed gjøre den tilgjengelig for predasjon over et lengre tidsrom, samtidig som oppdemmingen begunstiger gjedda i dette området. Fra 2013 er det åpnet en fluktrute (isluka) ved inntaket til turbinen ved Rygene. I størrelsesorden 50 % av smolten bruker denne utvandingsveien istedenfor turbinen. Økende smoltlengde og vannføring i fluktruten har en positiv effekt på andelen smolt som benytter tiltaket. Tiltaket kan og bør forbedres. I første omgang ved å øke vannhøyden og/eller vannføringen i isluka. Samtidig er tapet til gjedde stort og bestanden bør kartlegges nærmere med tanke på tiltak. Registrering av tilbakevandrede gytelaks merket som smolt i Storelva indikerer en høy feilvandring til Nidelva. Flere år med data vil kunne si oss mer om dette.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Elvekraftverk	1. Run-of-the-river power plant
2. Laks	2. Atlantic salmon
3. Smolt	3. Smolt
4. Tiltak	4. Mitigation measures



Tormod Haraldstad

Prosjektleder



Øyvind Kaste

Forskningsleder

# **Smoltutvandring i Nidelva 2014**

**-Utprøving av tiltak for nedvandrende laksesmolt ved  
Rygene kraftverk**

## Forord

På oppdrag fra Agder Energi Vannkraft ved Svein Haugland dokumenterte NIVA smoltutvandringen forbi Rygene kraftverk våren 2014. De ansatte ved Rygene kraftverk har vært til stor hjelp med rensing av fangstfella og andre praktiske gjøremål under feltarbeidet. Kjetil Sandem og Lars Bendixby bidro med hjelp under deler av merkeprosessen. Alle takkes for godt samarbeid.

Grimstad, 15.12.2014

*Tormod Haraldstad*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Områdebeskrivelse</b>	<b>10</b>
2.1 Nidelva	10
2.2 Rygene kraftverk	11
2.2.1 Isluka(fluktruten)	12
2.2.2 Vannhastigheter mot og langs varegrinda	13
2.3 Forventet størrelse på smoltutvandringen	13
2.3.1 Produksjonsgrunnlag	14
<b>3. Tiltak for nedvandrende fisk ved kraftverksinntak</b>	<b>15</b>
<b>4. Metoder</b>	<b>16</b>
4.1 Vannføring og temperatur	16
4.2 Fangst av smolt	16
4.3 Merkeprogram	17
4.4 Antall smolt merket og sluppet	18
4.5 Gjenfangstmetoder	19
4.6 Statistiske analyser og modellering	19
4.6.1 Merke-gjenfangstanalyser	19
4.6.2 Beregning av smolt og pre-smolt populasjonen	20
4.6.3 Slagsannsynlighet ved turbinpassering	21
4.6.4 Smoltens vandringshastighet	21
4.6.5 Feilkilder	21
<b>5. Resultater</b>	<b>22</b>
5.1 Temperatur og vannføring	22
5.2 Utvandringsforløp	23
5.3 Gjenfangster	23
5.4 Hva påvirker smoltens bruk av isløpet som fluktrute?	24
5.5 Andre tapsfaktorer for smolt under smoltutvandring i Nidelva.	26
5.6 Slagsannsynlighet for turbinpassering	27
5.7 Størrelsesseleksjon under utvandring	27
5.8 Antall smolt i ulike elveavsnitt	29
5.9 Smoltens vandringshastighet	30
5.10 Vinterstøinger	30
5.11 Andre arter	31
5.12 Gjenfangst av PIT-merket gytelaks	32
<b>6. Diskusjon</b>	<b>33</b>
6.1 Utvandringsforløp	33
6.2 Isluka som fluktrute	33
6.3 Andre tapsfaktorer	34
6.4 Smoltproduksjon vs. gytelaks	35
<b>7. Referanser</b>	<b>36</b>

## Sammendrag

Laksebestanden i Nidelva ble utryddet som følge av forsurening. Andre påvirkningsfaktorer som elvekraftverk, gjeddepredasjon og industriutslipp kan ha medvirket til bestandsreduksjon, og de kan hver for seg eller samlet ha bidratt til å hemme reetableringen av en ny stedegen laksebestand. I løpet av det siste 10-året er det gjennomført en rekke tiltak. Samlet har tiltakene resultert i økt oppvandring av laks. Årlig registreres det mellom 600-1600 gytelaks i fiskeslusa på Rygene dam og det fiskes gjennomsnittlig omkring 200 laks i fiskesesongen.

Det har vært tilstrekkelig med gytefisk til at produksjonspotensialet for smolt ovenfor Rygene skal være helt eller delvis oppfylt de siste årene. Smoltproduksjonen vil imidlertid også avhenge av tilgjengelig gyteareal og arealets egnethet, vannkvalitet og overlevelse fra gyting til smolt. Tetthet av eldre ungfisk i ungfiskundersøkelsene har vært økende de senere år. Basert på de undersøkelser som foreligger, skal det i dag potensielt være betydelig nedvandring av smolt i Nidelva.

Det ble gjennomført undersøkelser i 2013 for å fastslå størrelsen på den nedvandrende smoltbestanden oppstrøms Rygene. Bestandsestimatet for 2013 var betydelig lavere enn hva en kunne forvente. Det ble samme år iverksatt tiltak for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk og ved bruk av eksisterende strukturer (bruk av isluka ved kraftverksinntaket som fluktrute for smolt) fikk en rundt 40 % av smolten til å benytte isluka som nedvandningsrute. Kraftverket ved Rygene er ikke alene grunnen til et lavt antall utvandrende smolt fra Nidelva, men kan på lik linje med flere andre påvirkningsfaktorer medvirke til at antall utvandrende smolt er lavt og at mulighet for oppbygging av en høstbar bestand blir betydelig begrenset.

Undersøkelsen fra 2013 ble repetert i 2014, for også å kunne tallfeste tap av smolt i ulike elveavsnitt samt estimere tetthet av pre-smolt. Vi ønsket i tillegg å undersøke hvilke miljøvariabler som påvirket bruken av isluka, for på denne måten å kunne justere tiltak slik at andelen smolt som vandret turbinruten minimeres. Flere år med utvandningsdata vil samtidig gi et mer robust smoltestimat samt mulighet til å modellere tidspunkt for utvandring. Et godt smoltestimat er avgjørende for å dokumentere år til år variasjon i bestanden – en informasjon som igjen kan brukes til å identifisere kritiske flaskehals. En god modell for utvandringstidspunkt, basert på målbare miljøvariabler, vil kunne forutsi smoltutvandringstidspunkt slik at en kan iverksette og avslutte smolttiltak i rett tid.

Smoltutvandringen i 2014 var betydelig tidligere enn i 2013. Dette kan antagelig relateres til temperaturforskjellene mellom de to årene, der en tidlig oppvarming av ellevannet fører til en tidligere smoltutvandring. Dette er også dokumentert for andre elver i regionen. Flere år med registrering av smoltutvandningsperioden vil gi oss grunnlag til å lage en god modell som predikerer perioden basert på vanntemperatur og andre viktige forklaringsvariabler

Det ser ut til at om lag halvparten av den nedvandrende smolten bruker isluka som nedvandningsvei ved Rygene. Dette var tilfelle både i 2013 og 2014. Høy vannføring i isluka ser ut til å være en viktig faktor for å få mest mulig smolt ut denne veien og ikke gjennom turbinen. Ved å øke vannføringen fra 4,5 - 6m<sup>3</sup>/s i isluka øker andelen smolt som bruker isluka fra 20-70 % (modellert for smoltlengde 15,5cm). Det er usikkert om det er økt vannføring alene som tiltrekker seg mer smolt ut isluka, eller om det også er andre «medvirkende» faktorer. Økt vannføring i isluka vil påvirke de hydrauliske forholdene i inntaksområdet og kunne danne strømmer som smolten finner attraktive. I tillegg økes vannhøyden og dermed også tverrsnittet i passeringpunktet. Det vil være mulig å teste hvorvidt det er vannhøyden og/eller vannføringen som er avgjørende for rutevalg ved å manipulere bredde og dybde på isluka. I første omgang vil vi foreslå å snevre inn bredden slik at en oppnår maksimal dybde uten at en behøver å slippe mer vann ut av isluka. Hvis det er vannhøyden som er den avgjørende faktoren, vil det også være mulig å oppnå bedre resultater enn i 2014 ved bruk av mindre vann.

I tillegg til vannføringen i isluka ser smoltlengde ut til å være avgjørende for rutevalget, der små smolt har større sannsynlighet for å vandre turbinruten sammenliknet med store. Dersom dødeligheten ved å svømme gjennom turbinen er vesentlig større enn for smolt som bruker isløpet, vil denne størrelsesselektive mekanismen kunne lede til lokale tilpasninger i favør av store smolt i Nidelvasystemet. Den observerte forskjellen i lengdefordeling mellom merket fisk og gjenfanget smolt i isluka skyldes sannsynligvis den store lysåpningen og raske strømhastigheten ved varegrinda. Vannhastigheten og lysåpningen i varegrinda er langt større enn kravene som stilles i internasjonale retningslinjer for nedvandringssløsninger for smolt ved elvekraftverk. Disse retningslinjene er imidlertid ikke implementert i Norge. For å unngå dette størrelsesselektive hinderet, vil eneste løsning være en ombygging av varegrinda med mindre lysåpning og lavere strømhastighet. Dette vil, i kombinasjon med en riktig plassert fluktrute, være det beste tiltaket for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk.

Som en basismodell for overlevelse til smolt fra utsetting og ned til Rygene dam ble det benyttet ulik dødelighet mellom utsettingsgruppene Kroken og Blakstad. Ut fra modellseleksjon var en lik overlevelse for utsettingsgruppene en bedre modell. Dette kan tolkes i retning av at predasjonen fra gjedde er lik på begge gruppene og at den kraftigste predasjonen antagelig finner sted i områdene mellom Kroken og Rygene dam. Oppdemmingen ved Rygene har ført til mer stillestående vann og har på denne måten favorisert gjedde i denne delen av elva. I tillegg viser resultatene fra smoltens vandringshastighet at individer som er satt ut nær dammen vandrer med en betydelig lavere hastighet enn de som er satt ut lengre opp i vassdraget. Vi må anta at dammen og områdene oppstrøms forsinker smolten i sin vandring mot havet. Hypotesen er derfor at oppdemmingen ved Rygene påvirker smolten negativt ved å forsinke den under utvandring og dermed gjøre den tilgjengelig for predasjon over et lengre tidsrom, samtidig som oppdemmingen begünstiger gjedda i dette området.

Hypotesen er at gjedde er den viktigste kilden til tap av smolt mellom Blakstad og Rygene, og det ser ut til at overlevelsen til smolten øker med økende vannføring. Dette kan være en ren uttynningseffekt ved at det blir mindre smolt i forhold til vannvolumet, eller at økt vannføring og flom gjør elvevannet mer turbid og smolten blir vanskeligere å se for gjedda. Det ser også ut til at det er de største individene som er mest utsatt for predasjon. Det er foreløpig vanskelig å konkludere rundt dette da kunnskapen om gjeddepopulasjonen i Nidelva er svært begrenset.

Det er mulig å forvalte gjeddebestanden på en slik måte at smolttapet reduseres. F.eks. ved å fiske ut liten og mellomstor gjedde, som antagelig spiser mest smolt, og øke antall stor gjedde som kan spise andre gjedder i betydelig grad. I tillegg kan det manipuleres med vannhøyde i gytetiden for å tørrelegge rogn etter gyting. Det er også mulig å gjøre tiltak slik at predasjonstrykket fra gjedde kan begrenses i andre deler av livssyklusen. Flere sidevassdrag har store produksjonsområder for laks. Det er behov for kartlegging av disse sidefeltene der egnet habitat for laks og muligheter for gjeddesperre i nedre deler bør undersøkes. Det er kjent at vannkjemien er begrensende for laks i flere av disse. Før flytting av gytelaks fra Rygene til sidebekker blir aktuelt, bør det foreligge god dokumentasjon på vannkjemi i disse slik at nødvendige vannbehandlingstiltak eventuelt kan iverksettes.

Det er et betydelig høyere antall gytelaks i Nidelva enn hva en kunne forvente ut fra det estimerte antall smolt som forlater elva. Gytebestanden i Nidelva er derfor sammensatt av individer som er født i Nidelva og individer som har feilvandret til Nidelva fra andre elver. Dette bekreftes også av det høye antallet «Storelva laks» som er registrert i PIT-antennen i fiskeslusa på Rygene. Innsiget av to-sjøvinterlaks fra smoltårgang 2012 merket i Storelva har en nesten 50/50 fordeling mellom Storelva og Nidelva. Det er imidlertid for tidlig å konkludere rundt andelen feilvandrer etter kun ett år med tilstrekkelig overvåking. Den lave vannføringen i Storelva og den høye vannføringen i Nidelva i 2014 sesongen kan i seg selv ha ført til at gytelaksen vegret seg for å vandre opp i Storelva og heller vandret opp i Nidelva. Det er likevel interessant å merke seg at antall sportsfiskefangede «Storelvalaks» i Nidelva har ligget på >5 individer i mange år, også i 2014. Basert på disse tallene er det ingen indikasjoner på en høyere feilvandring i 2014 enn tidligere år.

# 1. Innledning

Nidelva i Aust-Agder mistet sin laksebestand som følge av forsurening utover 1960-tallet. Fiskebestandene var samtidig negativt påvirket av blant annet utslipp fra industri (trefiber), elvekraftverk, periodisk luftovermetning og predasjon fra gjedde (Matzow 1995). Flere tiltak er iverksatt for å retablere den tapte laksestammen de ti siste årene. For å håndtere den eksistensielle trusselen (forsuring), er elva fullkalket fra 2005.

Elvekraftverkene i Nidelva vil påvirke både nedvandring av smolt, men også oppvandring av voksen laks. I 1991 ble det bygd oppvandringstrapp forbi Rygene kraftverk (Matzow og Simonsen, 1992). Allerede før kalkingen startet ble det registrert økende innvandring av laks til vassdraget. Et betydelig antall av disse vandret inn i utløpstunnelen fra Rygene kraftverk (ved Helle). I 2006 ble det etablert et gitter 150 m inne i tunnelen for å hindre at laksen vandret inn mot turbinen. Samtidig ble det sluppet lokkeflommer i hovedelva for å trigge oppvandring til minstevannføringsstrekningen (Thorstad et al. 2003). I samme tidsperiode ble to terskler mellom Rygene og Helle revet (Revsnes og Kalvehagfoss). Målet var å gjenetablere et fiske i området, samt å retablere gyteområder innenfor minstevannføringsstrekningen (Gabrielsen et al. 2012). I 2013 ble det installert en elektrisk fiskesperre ved utløpet av kraftverkstunnelen ved Helle. Det er pågående prosjekter som vil evaluere effekten av el-barrieren på oppvandrende gytefisk.

Eivindstad kraftverk (30 km fra elvemunningen) var tidligere en fysisk vandringsbarriere for oppvandrende laks og sjørret. Det ble igangsatt forsøk med oppvandringstiltak i 2009 (Fjeldstad et al. 2012). For å få fortgang i reetableringen av laks ovenfor Eivindstad er det siden 2006 lagt ut til sammen drøyt 1 mill. rogn i dette området (Gabrielsen et al. 2012). I tillegg er det flyttet voksen gytefisk forbi demningen.

Oppvandring av laks i Nidelva er overvåket i en fangstluse som siden tidlig 1990-tall har vært plassert i Rygene dam. Størrelsen på gytebestanden ovenfor Rygene har økt betydelig etter kalking og i overkant av 500 laks har årlig passert Rygene dam siden 2005 (Anon. 2013). Det har vært tilstrekkelig med gytefisk til at produksjonspotensialet for smolt ovenfor Rygene skal være helt eller nær helt oppfylt de siste årene. Smoltproduksjonen vil imidlertid også avhengig av tilgjengelig gyteareal og arealets egnethet, vannkvalitet og overlevelse fra gyting til smolt. Mellom Rygene og Eivindstad er egnet ungfiskareal beregnet til å være på 0,756 km<sup>2</sup>, mens det ovenfor Eivindstad er beregnet til 0,384 km<sup>2</sup> (Gabrielsen et al. 2012). Tetthet av eldre ungfisk i ungfiskundersøkelsene tyder på at mengde smolt har vært økende de senere år. Denne undersøkelsen gjennomføres dessverre kun annethvert år, og det er derfor betydelige usikkerheter i datasettet (DN 2012).

Smoltnedvandring ble undersøkt i 2004, 2005 og 2007 (DN 2010). Det ble dokumentert få smolt de første årene. Dette var i en periode da elva var ukalket og vannkvaliteten i perioder dødelig for smolt. Få smolt i denne perioden kan derfor forklares med for dårlig vannkvalitet. Første smoltutvandring fra kalket elv var i 2007, men også dette året ble det dokumentert få smolt. Dette kan forklares med forsureningsepisoder og at antall gytefisk årene forut fortsatt var på et lavt nivå i forhold til gytebestandsmålet. Fangstfella var dessuten ugunstig plassert alle disse årene; nedstrøms turbinutløpet og i turbulent vann. Fella vil ikke fungere optimalt under disse forholdene. Hvis kraftverket avlivet smolt, vil dette også ha bidratt til å redusere fangstene.

Det har vært lange tradisjoner for å igangsette tiltak for å bedre oppvandringen av laks og sjørret i Norge. Samtidig er tradisjonen like lang for å glemme at også avkommene fra gytingen, smolten, skal vandre forbi de samme hindringene på sin vei mot havet. Effektene av manglende tiltak er behørig dokumentert internasjonalt lenge før årtusenskiftet (Aitken et al. 1966; Ebel 1977; Larinier and Dartiguelongue 1989). For å opprettholde en bærekraftig vandrende fiskebestand må forholdene legges til rette for å sikre to-veis vandring (Calles 2006; Calles and Greenberg 2009; Kraabøl et al. 2009; Noonan et al. 2011). For å oppnå tilfredsstillende to-veis vandring kan fisk hverken hemmes eller ha redusert overlevelse under opp- eller



nedvandring. Det er velkjent at elvekraftverk hemmer vandring og overlevelse såfremt tiltak ikke iverksettes.

Nedvandrende fisk følger normalt elvas hovedstrøm. Dette innebærer at fisken vil følge vannstrømmen inn mot turbininntaket såfremt tiltak ikke er iverksatt. En turbinpassering vil avlive en andel av fisken som følge av turbinbladtreff. Prosentandelen av fisken som dør avhenger av turbintype og – karakteristika samt turbinvannføring og størrelse. En andel av fisken som overlever selve turbinpasseringen vil kunne ha en forsinket dødelighet, f.eks. relatert til turbulens, kavitasjon, trykkforandringer, med mer (Čada 2001; Coutant and Whitney 2000; Ferguson et al. 2006; Monten 1985). Dødelighet knyttet til turbinbladtreff kan modelleres (Bell et al. 1981; Deng et al. 2007; Ferguson et al. 2008; Monten 1985; Ploskey and Carlson 2004; Turnpenny et al. 2000; von Raben 1957). Turbinbladtreff-modellene er i nyere tid evaluert av Leonardsson (2012) som konkluderer med at de ulike modellene er basert på samme matematiske grunnlag og i prinsippet er like. Ingen av modellene er imidlertid spesielt gode, og alle tenderer til å overestimere direkte dødelighet. Samtidig inkluderer ingen av modellene indirekte eller forsinket dødelighet. Denne vil være stedsspesifikk og vil derfor være vanskelig å modellere (Calles et al. 2013). Forsinket dødelighet kan være større enn den direkte dødeligheten og bør derfor ikke ignoreres (Kroglund et al 2010). Til tross for usikkerhetene, er det internasjonalt anerkjent at utvandring gjennom turbininntaket og dermed turbinene vil ha en bestandsregulerende effekt ved å redusere antall fisk som når havet. Bekymring for tapt produksjon reflekteres blant annet i ulike nasjonale retningslinjer for utforming av elvekraftverk (Anon. 1995; Anon. 2007; Calles et al. 2013; Irish\_guidelines 2005; Larinier 2002; Turnpenny and O’Keeffe 2005).

Elvekraftverk kan derfor alene, eller sammen med andre påvirkningsfaktorer innenfor et vassdrag, være tilstrekkelig til at høstbar andel av bestanden reduseres uakseptabelt mye. Dette har betydning for lokal verdiskapning. Samtidig er det velkjent at dette tapet kan reduseres hvis tiltak anbefalt i de ulike nasjonale retningslinjene iverksettes.

Selv om det internasjonalt er velkjent at tiltak er gjennomførbart, er det lite erfaring med nedvandringstiltak i Norge. Nasjonalt har fokus vært på oppvandring (DN 2011; NVE 2012) og på miljøbasert vannføring (Forseth and Harby 2013). Det har hele tiden vært mer fokus på å få voksen fisk opp i vassdraget ut fra et høstingsperspektiv enn å få smolt og vinterstøing trygt tilbake til havet. Samtidig har holdningen vært at nedvandringstiltak er vanskelig å gjennomføre og at de er for kostbare. Internasjonale erfaringen tilsier at dette er feil og at det er mulig å gjennomføre tiltak også i Norge. Selv om kunnskapsnivået med hensyn til tiltak er stort internasjonalt, er det både ønskelig og nødvendig med oppfølgingsstudier for å evaluere effekten av igangsatte tiltak nasjonalt. Først når slik dokumentasjon foreligger er det mulig å optimalisere tiltaket (adaptiv forvaltning). En optimalisering kan bety forbedret biologisk måloppnåelse til redusert kostnad for regulant.

Det er utført forsøk med nedvandringstiltak ved kraftverk i Storelva i Holt, Tovdalselva og Kvina (Kristensen et al. 2011; Kroglund et al. 2011; Lamborg et al. 2012). Erfaringene fra disse forsøkene tilsier at det er mulig å lede 60-100 % av smolten og all vinterstøing utenom kraftverket hvis tiltaket (sideløpet) tilføres minst ca. 4 % av turbinvannføringen. Dette er i tråd med internasjonale erfaringer (Larinier and Marmulla 2004; Porcher and Travade 2002; Travade 2005; Larinier and Travade 2002; Travade and Larinier 2006).

Det ble gjennomført undersøkelser i 2013 for å fastslå størrelsen på den nedvandrende smoltbestanden oppstrøms Rygene. Bestandsestimatet for 2013 er betydelig lavere enn hva en kunne forvente. Det ble samme år iverksatt tiltak for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk og ved bruk av eksisterende strukturer (bruk av isluka ved kraftverksinntaket som fluktrute for smolt) fikk en rundt 40 % av smolten til å benytte isluka som nedvandningsrute.

Undersøkelsen ble repetert i 2014, for også å kunne tallfeste tap av smolt i ulike elveavsnitt samt estimere tetthet av pre-smolt. Ut fra 2013-data og erfaringer fra andre tiltak for nedvandrende smolt ved

elvekraftverk vil andelen smolt som benytter tiltaket variere gjennom sesongen. Vi ønsket derfor å undersøke hvilke miljøvariabler som påvirker bruken av isluka for på denne måten å kunne justere tiltak slik at andelen smolt som vandret turbinruten kan minimeres. Flere år med utvandringsdata vil samtidig gi et mer robust smoltestimat og mulighet for å modellere tidspunkt for utvandring. Et godt smoltestimat er avgjørende for å dokumentere år til år variasjon i smoltklassestyrke, for på denne måten å kunne identifisere kritiske flaskehalser. Flere år med registrering av smoltutvandringsperioden vil gi oss grunnlag til å lage en god modell som predikterer perioden basert på vanntemperatur og andre viktige forklaringsvariabler. Dette vil være et viktig verktøy for å kunne iverksette og avslutte smolttiltak i rett tid.

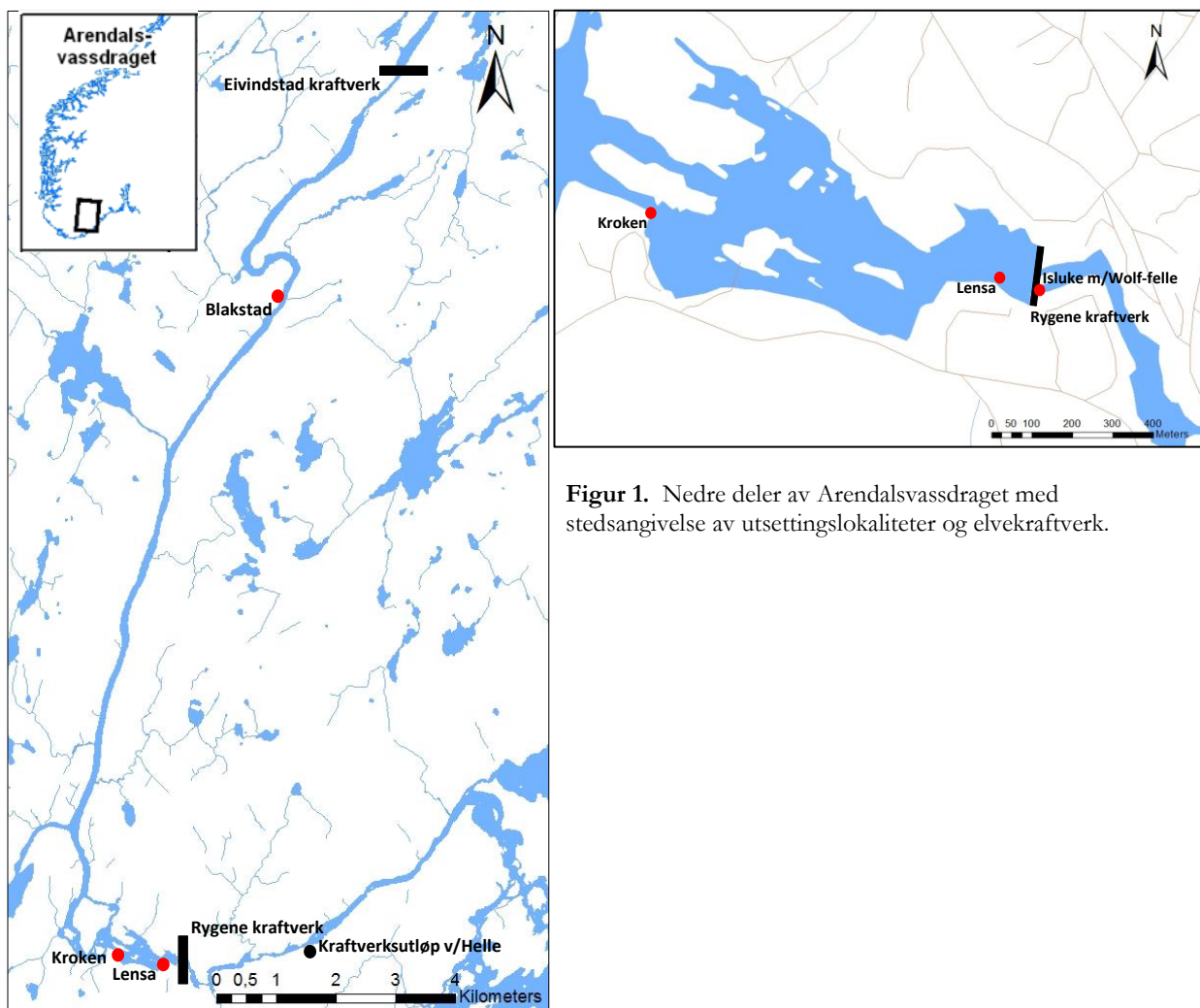
Det var tre definerte mål for undersøkelsene i 2013, som ble repetert med noen tillegg i 2014:

1. Utprøving av enkle tiltak, basert på eksisterende strukturer, for å lede smolt utenom kraftverket
  - a. Hvor stor andel av smolten benytter isløpet?
  - b. Hvilke miljøvariabler er av avgjørende betydning for bruk av isløpet
2. Hvor mye smolt utvandrer forbi Rygene?
  - a. Er det samsvar mellom produksjon av smolt og antall som passerer ved Rygene?
  - b. Er det mulig å tallfeste tap av smolt fra oppvekstområdene og ned til Rygene?
  - c. Hvor lang tid bruker smolten på å vandre fra oppvekstområdene og ned til Rygene?
3. Når utvandrer smolten?
  - a. Periode om våren

## 2. Områdebeskrivelse

### 2.1 Nidelva

Nedbørfeltet til Nidelva (REGINE nr. 019) er på 4025 km<sup>2</sup>. Spesifikk avrenning er på 28,3 l/s/km<sup>2</sup> som gir en middelvannføringen på 115 m<sup>3</sup>/s. Lakseførende strekning er 36,4 km opp til Bøylefoss. Det er to kraftverk i anadrom strekning, Rygene og Eivindstad (**Figur 1**). Det har vært kraftproduksjon ved Rygene siden 1871. Kraftverket ble sist opprustet i 1978. Kraftverk begrenser i utgangspunktet både opp- og nedvandring av fisk. Oppvandring forbi Rygene kraftverk har blitt løst med ulike trappeløsninger siden tidlig 1900-tallet (Fløystad 2011; Matzow og Simonsen, 1992). Det ble etablert nedvandringstiltak i 2013. Eivindstad kraftverk ble satt i drift i 1904 og ble sist oppgradert i 1984. Kraftverket er lokalisert 29,9 km oppstrøms elvemunningen, og har inntil nylig fungert som en vandringsbarriere for laksefisk (**Tabell 1**). Det er ikke etablert nedvandringstiltak ved Eivindstad.



**Figur 1.** Nedre deler av Arendalsvassdraget med stedsangivelse av utsettingslokaliteter og elvekraftverk.

**Tabell 1.** Avstander fra elvemunningen til ulike punkt oppstrøms.

Start	Slutt	Km	Akkumulert avstand fra elvemunning
Odderkleivstrømmen	Tangen	3,2	0
Natvigstrømmen	Tangen	4,4	
Tangen	Helle (tunnelen)	4,6	7,8
Helle	Rykene	2,2	10,0
Rygene	Eivindstad	19,9	29,9
Eivindstad	Bøylefoss	6,5	36,4

## 2.2 Rygene kraftverk

Inntaksområdet ved Rygene har variabel dybde og hovedsakelig dybder innenfor intervallet 0,5 til 7m. De siste 15 m før varegrinda er dybdene mer homogen og i området 9,5 til 10 m. Bredden på inntaksområdet er 15,5 m målt ved varegrinda eller 17 m målt ved gangbru over inntaksområdet.

Varegrinda er ca. 15,5 m lang og høyden er ca. 8,9 m. Den dekker dermed et areal på ca. 138 m<sup>2</sup>. Grinda står på en grunn såle og er dykket ca. 62 cm under vannoverflata. Grinda er bygd opp av 10 mm stålspiler. Disse synes å være svakt spydformet (undervannsfoto). Dette kan skyldes slitasje i kantene forårsaket av grindrenseren. Senter til senter avstand mellom spilene er på 90 mm. Avstanden mellom spilene (lysåpningen) er på 80 mm. Varegrinda har en  $\alpha$ -vinkel målt til å være omkring 70°.

Kraftverket har en slukeevne på 170 m<sup>3</sup>/s og utnytter et fall på 38 m. Det er installert en Kaplan turbin med effekt på 56,3 MW som gir en midlere årsproduksjon på 280 GWh (**Tabell 2**). Kaplan turbinen har en rotasjonshastighet på 167 rpm. Turbinen har 5 turbinblader, med en ytterdiameter på 4,56 m og en navdiameter på 2 m. Dette er alle mål som inngår i en analyse av sannsynlighet for turbinblad treffskader på fisk i Nidelva.

Minstevannføringsstrekningen (MVF) mellom Rygene og Helle tilføres normalt 1m<sup>3</sup>/s i tidsrommet 1. oktober til 30. april og 5m<sup>3</sup>/s resten av året. Av dette slippes 1 m<sup>3</sup>/s gjennom et minikraftverk i bunnluka (**Figur 2**). Resten slippes ut fra segmentluke 3 inntil vannføringen blir så stor at flere luker må benyttes. Hvis vannføringen i elva overstiger kraftverkets slukeevne, vil det resterende vannet slippes i segmentlukene og ut i MVF-strekningen. For ytterligere informasjon om vannslipp gjennom ulike luker i damkrona vises til Haraldstad (2014).

Etter at vannet har gått gjennom turbinene slippes dette ut ved Helle, 2,3 km lengre nede i vassdraget (**Figur 1**). Tunnelen har et tverrsnitt på 57 m<sup>2</sup> før turbinen og et tverrsnitt på 100 m<sup>2</sup> etter turbinen (Ingeniør Berdal A/S, 1979).

**Tabell 2.** Tekniske data for Rygene kraftverk

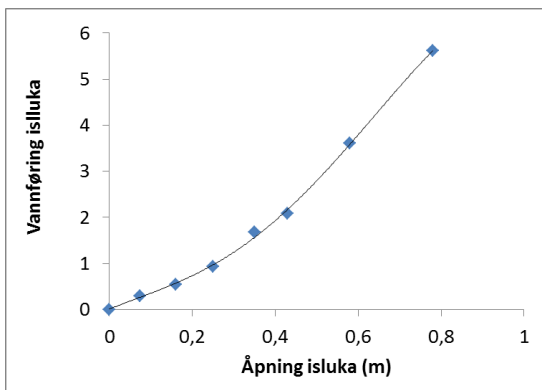
	Enhet
Slukeevne	170 m <sup>3</sup> /s
Fallhøyde	38 m
Lysåpning varegrind	80 mm
Turbintype	Kaplan
Antall blad	5
Diameter	4,56 m
Navdiameter	2,05 m
Omdreining	167 rpm



**Figur 2.** Dammen ved Rygene kraftverk med segmentluke (1-3), klappluke (4), Isluke (5) og fisketrapp m/sluse (6) (Haraldstad 2014).

### 2.2.1 Isluke(fluktruten)

Isluka er plassert vinkelrett på, men ca. 1 m foran varegrinda. Åpningen inn til isløpet er ca. 4 m bredt og ca. 1.6 m dypt når luka senkes maksimalt. Vannføringen skal da være i området 10 m<sup>3</sup>/s (AEV opplysning). Mengde vann ut isluke vil avhenge av hvor mye luka senkes. I tiltaksperioden ble isluke senket slik at vandybden var ca. 60 cm. Fra isluke faller isløpet svakt inntil vannet faller over to høye trinn og ned i laksetrappa.



**Figur 3.** Forholdet mellom vannføring og vannhøyde i isluke (venstre) og isluke ved Rygene og den dykkede varegrinda.

### 2.2.2 Vannhastigheter mot og langs varegrinda

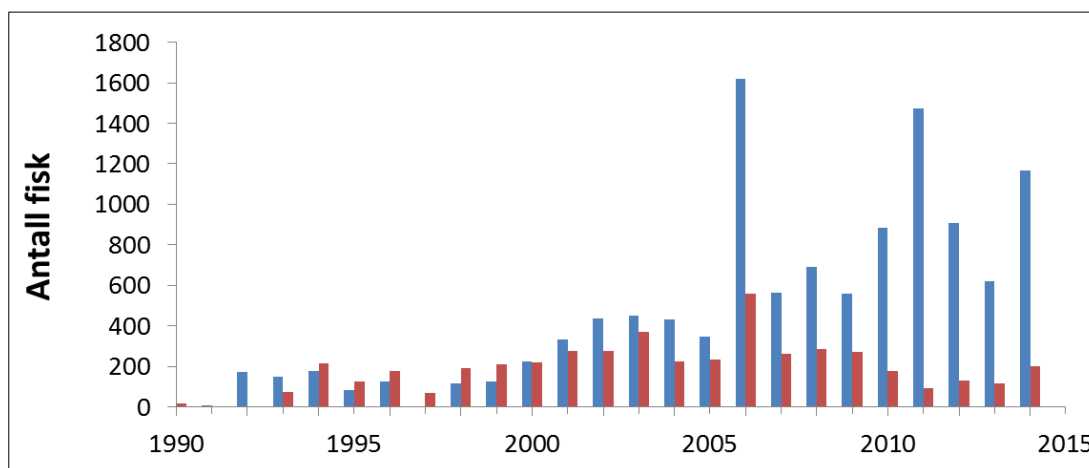
Vannhastigheten i inntakskanalen foran varegrinda vil variere med turbinvannføringen. Når kraftverket går for full produksjon (170 m<sup>3</sup>/s), vil en midlere vannhastighet foran varegrinda være på ca. 1,2 m/s. Denne avtar til hastigheter under 50 cm/s når vannføringa blir lavere enn 70 m<sup>3</sup>/s. I praksis vil det være en mer komplisert sammensetning av hastigheter i og omkring grinda knyttet til turbulens forårsaket av vegger og bunn i inntaksområdet, samt det at grinda er dykket. Mye driv som setter seg på varegrinda vil også påvirke vannhastighetene ved å redusere effektivt areal. Forenklet er det en lineær sammenheng mellom vannføring og vannhastighet.

Vannhastigheten i inntaksområdet ca. 15-20 m ovenfor varegrinda er betydelig høyere enn det hastigheten er foran varegrinda. Dette skyldes variasjoner i vanddybde i inntaksområdet, samt hvor den dominerende vannstrøm går. Denne går langs damkrona. Vannhastigheten er ikke målt i dette området, men er synlig mye høyere enn foran varegrinda. For ytterligere beregninger av vannhastigheter og svømmekapasitet til smolt, se Kroglund et al (2013).

## 2.3 Forventet størrelse på smoltutvandringen

Antall nedvandrende smolt vil være en funksjon av antall gytende voksne, overlevelse fra gyting til smolt (smoltproduksjon) og deretter overlevelsen under nedvandring. For å kunne gjøre en slik vurdering må man ha en idé om smoltalder, produksjonspotensialet (egnet habitat) og om det er nok gytefisk til å kunne nå dette gytebestandsmålet.

Aldersanalysene utført på smolt fra områdene nedenfor Rygene tilsier at de aller fleste laksene smoltifiserer ved 2 års alder (Barlaup et al. 2006) (Kroglund mfl. 2013). Basert på dette kan vi anta at smolt som utvandret i 2014 også var 2-åringer. Disse vil da stamme fra voksne fisk som innvandret i 2011. Det ble registrert et høyt antall oppvandrende laks i 2011, noe som var det høyeste av alle år der oppgangen er registrert i slusa (**Figur 4**).



**Figur 4.** Antall laks registrert i fiskeslusa på Rygene (blå) og antall sportsfisket laks i Nidelva (rød) i årene 1990-2014.

### 2.3.1 Produksjonsgrunnlag

Basert på Ugedal mfl (2001) og Gabrielsen mfl. (2012) anslås det at ca. 80 % av fisken i vassdraget blir produsert oppstrøms Rykene. Smoltproduksjon ovenfor Rygene kan estimeres ut fra ulike typer data. Vi har her benyttet; (1) gytebestandsmål, (2) antall laks sluppet forbi slusa ved Rygene, (3) estimater basert på tilgjengelig habitat (Gabrielsen mfl., (2012), (4) ungfiskdata (DN 2013) og (5) data fra rognutlegging. For mer detaljert beskrivelse, se Kroglund et al. (2013).

Det er store sprik mellom smoltproduksjonsestimatene (**Tabell 3**). Antall basert på Gabrielsen mfl. (2012) er sannsynligvis riktigst gitt dagens habitat, samtidig som dagens habitat kan være forringet i forhold til historiske gytemuligheter. Samlet burde det i 2014 kunne forventes en smoltnedvandring på mellom 14 000 og 27 000 smolt. Antall som ankommer Rygene vil være lavere enn selve produksjonen som følge av faktorer som påvirker overlevelse innenfor elva.

**Tabell 3.** Smoltproduksjonsestimater for Nidelva basert på ulike bakgrunnstall

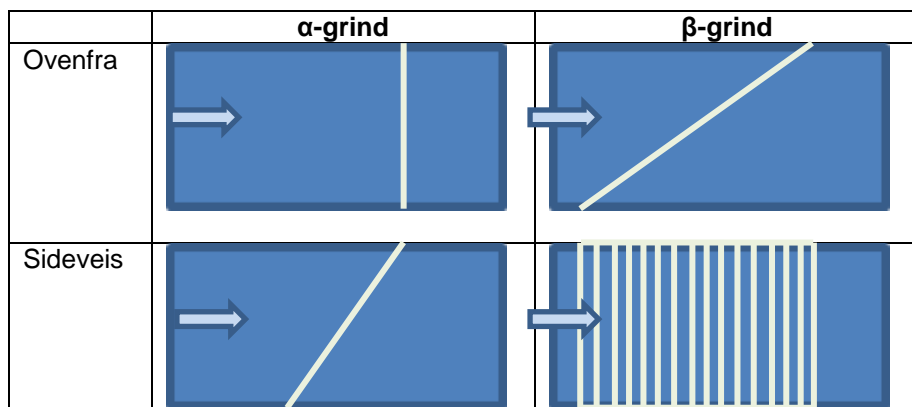
Smoltestimater	Smoltproduksjon (tusen)
1 Gytebestandsmål	88
2 Voksen oppvandring	80
3a Bonitering (Simonsen)	32
3b Bonitering (Ugedal)	10
3c Bonitering (Gabrielsen)	14-27
4 Yngeltetthet	14-27
5 Rognplanting	6



### 3. Tiltak for nedvandrende fisk ved kraftverksinntak

Tiltak for å lede fisk forbi kraftverk bygger på noen grunnleggende prinsipper (Calles et al. 2013; DWA 2005; Larinier and Travade 2002). Fisken må hindres fra å komme inn i områder med økende risiko for skade, f.eks. et turbininntak. Her er varegrinda avgjørende. Hvis spileavstanden er mindre enn fiskens bredde, vil fisken være fysisk hindret fra å passere. Hvis varegrinda har større lysåpning enn fiskens bredde, vil den fungere som en atferdssperre, inntil avstanden blir så stor at fisken i økende grad ignorerer varegrinda. Vannhastigheten inn mot varegrinda må heller ikke være så høy at fisken suges fast. Kritisk vannhastighet er ikke bestemt for villsmolt av Atlantisk laks, men angis ofte til å være i området 20 til 50 cm/s (Larinier and Travade 2002; Turnpenny et al. 1998). Verdiene vil variere med fiskeart, størrelse og vanntemperatur.

Varegrinda og de hydrauliske forholdene fører til at fisken oppkonsentreres i et avgrenset område. Anadrom fisk vil samles i overflaten av vannsøylen og ofte på den ene siden av inntakskanalen hvis denne er vinklet. Ved å vinkle varegrinda genereres en vannstrømvektor ("sweep" eller "transport" velocity) som går på tvers av hovedvannstrømmen. Fisk vil da bevege seg langs varegrinda og mot sideløpet (Turnpenny et al. 1998). Hvis varegrinda skrår oppover defineres dette som en  $\alpha$ -grind. Hvis den står på skrå i forhold til inntakskanalen, er det en  $\beta$ -grind (**Figur 5**). Varegrinda ved Rygene er en  $\alpha$ -grind. Det er mulig å kombinere  $\alpha$ - og  $\beta$ - i samme varegrind.



**Figur 5.** Forskjellene mellom  $\alpha$ - og  $\beta$ -varegrinder. Vannstrømretning er indikert med pil. Varegrindene er illustrert med lyse streker.

Neste trinn er å lede fisken bort fra problemområdet. Fisken må enten tvinges eller tiltrekkes mot en struktur som leder den uhindret/uskadet forbi problemområdet. Dette vil ved Rygene være isluka sammen med vandringsgruten videre ned til minstevannføringsløpet.

For at et nedvandringstiltak skal fungere optimalt, må alle del-elementene fungere. Hvis et av de elementene er mindre optimalt løst, vil andelen fisk som benytter tiltaket bli kraftig redusert. En "liten" feil ved tiltaket vil kunne medføre at det ikke gir forventet økologisk effekt (Coutant and Whitney 2000; Gosset and Travade 1999; Larinier and Marmulla 2004). Hvis et av de elementene er mangelfullt, kan dette delvis bøtes på ved å optimalisere de andre faktorene. Økt vannslipp ut isluka vil være en mulighet ved Rygene.

Tiltaket ved Rygene slik dette ble prøvd i 2013 og 2014 vil ikke være optimalt i henhold til dagens internasjonale råd. Tiltaket besto i å benytte de eksisterende del-elementene og å få disse til å fungere så godt som mulig i forhold til smolt og vinterstøing. Selve tiltaket ved Rygene inkluderer varegrinda (hemmer utvandring), sideløpet (isluka), vannføring ut isluka og de hydrauliske forholdene omkring varegrinda.



## 4. Metoder

### 4.1 Vannføring og temperatur

Vannføring inn mot Rygene kraftverk er hentet fra NVE basen Hydra, stasjon 19.127.0. Agder energi måler vannføring ved flere punkter i og rundt Rygerne. De måler produksjonsvannet samt spillvann tre steder nedstrøms Rygene dam. Den ene måleren står ved utløpet av fiskeslusa og måler dermed vannføring i fiskeslusa samt vann som slippes fra isluka. Denne måler kun opp til 700 l/s. I tillegg måles vannhøyden i Hydråhølen basert på v-overløpet mellom Hydråhølen og Fabrikkhølen. Denne måler vannføringer fra 0-8 m<sup>3</sup>/s. Det siste punktet måler samløpet mellom de to og gir dermed den totale vannføringen som slippes fra ulike punkt ved Rygene og ut i minstevannføringsstrekningen. Begrensingen i vannstandsmåleren ved fiskeslusa gjør at vannføringen ut isluka må beregnes ved samløpet og vannføringen ved Hydråhølen må trekkes fra. Dette gir oss svært god kontroll på vannføringen i isløpet og turbinen gjennom smoltutvandringen 2014.

I undersøkelsene i Storelva (Kroglund mfl., 2012) kunne vi forklare variasjon i smoltens bruk av sideløpet med ratio mellom vannføring i sideløp og turbinløp. Når vannføring sideløpet og vannføring inn mot turbinløpet er kjent, kan ratio beregnes

$$Q_s/Q_t \text{ (vannføring sideløp/vannføring turbinløp)} \quad (1)$$

Temperaturdata ble hentet fra driftskontrollen for kalkdoseringsanlegget i Nidelva som har kontinuerlig logging på ca 3m dyp i inntaksområdet ved Rygene (Haraldstad mfl. 2014).

### 4.2 Fangst av smolt

Nedvandrende smolt forbi Rygene kraftverk ble fanget i en Wolf-felle plassert i isluka. Vi fanger dermed kun smolt som «velger» å vandre ut dette løpet og ikke smolt som vandrer gjennom varegrinda og inn turbinløpet. En Wolf-felle ble satt i drift 23. april og driftet til 28. mai 2014.

En Wolf-felle er en vannavskiller. Selve fella var bygd opp av 2,5 m lange 2,5 cm tykke og 0,5 cm brede aluminiumsspiler plassert med 1 cm mellomrom. Fella dekte hele islukas bredde. Vannet rant av under fella, mens fisken skled på felleoverflata fram til en oppsamlingsrenne (4 m langt, 40 cm bredt og 20 cm høyt) og deretter i rør (200 mm) fram til et oppsamlingskar (ca. 1x1x3 m stort). Det ble plassert inn egne vanntilførselsrør til transportrøret for å sikre vann til fisken i røret samt i fangstkaret.

Wolf-fella sto ca. 61,5 cm lavere enn vannstanden i inntaksbassenget. Toppen av Wolf-fella definerte hvor mye isluka kunne senkes. Hvis denne ble senka dypere en topp av Wolf-fella, ville vann og fisk ha gått under fella.

Wolf-fella og fangstkaret ble normalt røktet hver morgen og kveld. Under vannstandsøkninger måtte Wolf-fella etterses opptil 3 ganger daglig på grunn av mye driv. Ved avtagende vannføring er det betydelig mindre driv og fella trenger mindre røkting. For å renske fella måtte isluka stenges og sikres. Deretter kunne man klatre ned til og gå på selve fella. Rensing av fella tok normalt mindre enn 15 min og ble hovedsakelig utført av personell fra Agder Energi.

Gjenfanget fisk ble sluppet videre gjennom et rør og ut i kulpen som danner samløpet mellom isluka og laksetrappa. Ideelt bør utvandrende smolt slippes nedstrøms laksetrappa slik at den ikke trenger å vandre ned denne.

### 4.3 Merkeprogram

Det ble merket totalt 697 smolt ved Rygene kraftverk våren 2014. Fisken ble merket ved åtte anledninger fordelt over hele utvandningsperioden. Antall utvandrende smolt fanget i fella var bestemmende for merkefrekvens. For hver merkerunde ble det merket smolt fanget samme dag og tidligere dager. Dette ble gjort for å få store nok utsetningsgrupper til fordeling på de ulike utsetningslokalitetene.

Fisken ble bedøvet med MS-222 (Finquel), 135mg/l, og bufret med natrium bikarbonat. Smolten hadde en oppholdstid i bedøvelsesløsningen på 1,5-2min. Et lite snitt ble skåret på buksiden av fisken og PIT-merket ble liggende i bukhulen. Erfaringsmessig gror snittet i løpet av få dager. Etter merking ble fisken stående for restitusjon et halvt døgn før den ble transportert til tre ulike utsetningslokaliteter, alle oppstrøms Rygene. I tillegg ble noe smolt sluppet i minstevannføringsstrekningen nedstrøms Rygene. Disse inngår ikke videre i rapporten. De tre ulike utsetningslokalitetene oppstrøms Rygene ble valgt ut fra ulike motivasjoner, som er beskrevet nærmere under:

#### **Lensa**

Denne lokaliteten er nær inntaksområdet til kraftverket, men likevel lengre oppstrøms enn den som var plassert nærmest kraftverket i 2013. Vi erfarte at å slippe smolt for nær inntaket (50m) antagelig ikke gir smolten tilstrekkelig tid til å akklimatisere/orientere seg før den raske vannstrømmen allerede har ført den for nær eller gjennom varegrinda. Utsetningslokalitet «Lensa» har relativt lav vannhastighet samtidig som den er så nær inntaksområdet at predasjon fra gjedde vil være svært lav eller ikke-eksisterende. Basert på dette forventet vi at fisk tilhørende denne utsetningslokaliteten vil ha den høyeste gjenfangstsansynligheten i fluktruten og dermed fungere som en kontrollgruppe for tap av fisk fra utsetting til ankomst Rygene dam for de to utsetningsgruppene høyere oppe i vassdraget. Vi forventer med andre ord ingen tap til gjedde for denne utsetningslokaliteten. Smolten vandrer enten turbinløpet eller isluka.

#### **Kroken**

Denne lokaliteten er plassert 1 km oppstrøms Rygene dam og 0,9 km oppstrøms lokalitet «Lensa». Lengre vandringsavstand mellom utsetting og ankomst Rygene fører til større predasjonsrisiko for denne gruppen. Samtidig vil denne fisken ankomme inntaksområde på en mer naturlig måte enn fisk som er satt ut ved lensa. Vi har ikke data på hvor i elva fisken vandrer, men antar at hovedandelen av smolt følger hovedvannstrømmen på østsiden av elva ned mot inntaksområdet. Det ble alltid sluppet fisk på Lensa og Kroken slik at vi kan sammenlikne vandringsvalget mellom disse to gruppene.

#### **Blakstad**

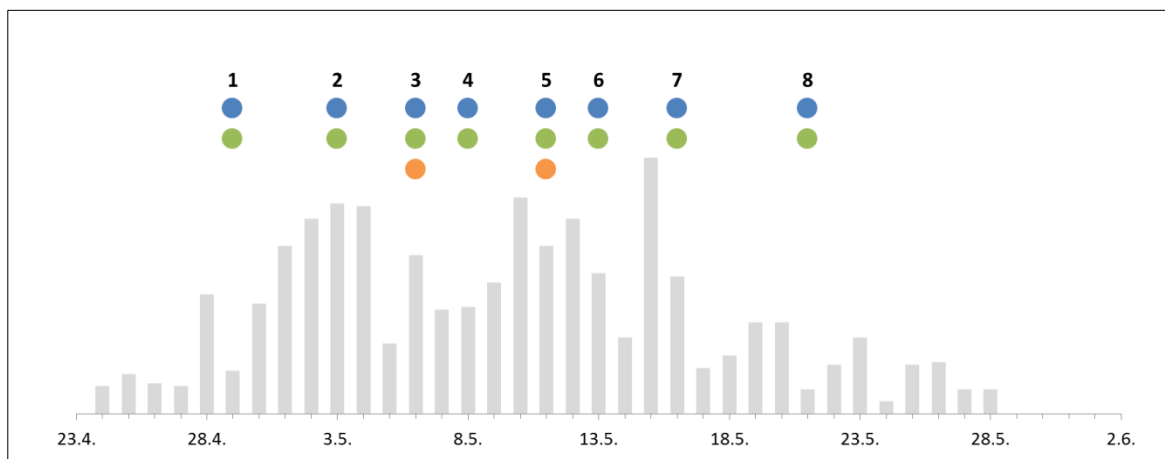
Denne lokaliteten er plassert 13 km oppstrøms Rygene dam. De beste gyteområdene i Nidelva er i områdene mellom Blakstad og Bøylefoss (Gabrielsen 2012). Hovedandelen av smolt som ankommer Rygene er antagelig vokst opp her og startet vandringen fra disse områdene som pre-smolt. Vi ønsket derfor å få tallfestet dødelighet under vandring fra oppvekstområdene her til Rygene dam. Slik vil vi få en bedre forståelse av hvilke dødelighetsfaktorer som påvirker smolten under vandring og samtidig kunne skille mellom dødelighet på ulike elvestrekninger. I tillegg gir det en god mulighet til å dokumentere vandringshastighet i dette elvesegmentet.

#### 4.4 Antall smolt merket og sluppet

Det ble sluppet totalt 694 PIT-merket smolt oppstrøms Rygene fordelt på 8 utsettingsgrupper (**Tabell 4**). I hver utsettingsgruppe ble det satt ut fisk på 2 eller 3 utsettingslokaliteter. Gruppene er fordelt over hele utvandningsperioden (**Figur 6**), men det er kun i gruppe 3 og 4 det ble satt ut smolt ved alle de tre lokalitetene.

**Tabell 4.** Antall smolt sluppet på ulike utsettingslokaliteter og data for slipp av de ulike gruppene.

Utsettingsgrupper	Dato	Antall smolt sluppet ved de ulike utsettingslokalitetene				
		Blakstad	Kroken	Lensa	Minstevannføringsstrekningen	Tot
1	29.04		36	24		60
2	03.05		113	39		152
3	06.05	67	66	22		155
4	08.05		24	28		52
5	11.05	70	34	27	9	140
6	13.05		24	25		49
7	16.05		24	23		47
8	21.05		19	20		42
Tot		137	340	208	9	694



**Figur 6.** Dato for slipp av merket smolt fra de ulike utsettingslokalitetene; Blakstad (orange), Kroken (grønn) og Lensa (blå) er fordelt over hele utvandningsforløpet til umerket smolt ved Rygene (grå søyler, se **Figur 10** for detaljer).

## 4.5 Gjenfangstmetoder

Etter utsetting oppstrøms Rygene ble smolt gjenfanget om den vandret ut fluktruten. Smolt som vandret gjennom turbinen ble ikke registrert. Gjenfangster i fluktruten ble registrert ved håndscanning av hver fisk fra oppsamlingskaret. I tillegg var det montert en PIT-antenne på selve tilførselsrøret mellom Wolf-fella og oppsamlingskaret. Fordelen med denne antennen er at den gir tidspunktet smolten vandret ut fluktruten, mens håndlesningen kun foregår en til to ganger i døgnet og dermed ikke gir den samme oppløsningen i tid. Sannsynligheten for å bli registrert ved vandring ut sideløpet er satt til 100 % og deteksjonssannsynligheten i PIT-antenna på tilførselsrøret er beregnet til å være 86 %. Pit-antenna ble ikke montert før 2. mai og gjenfangstene frem til og med tømning om morgenen 2. mai (16 stk.) inngår ikke i beregningen. Merket smolt som passerte antennen uten å bli detektert kan skyldes strømbrudd i antenna eller at fisken har passert svært fort forbi eller orientert i en slik retning at merket ikke registreres.

Laksetrappa og fiskeslusa ved Rygene ble åpnet i starten av juni når utvandringen av smolt var over. Det ble montert en PIT-antenne mellom laksetrappa og forkammeret til fiskeslusa for å registrere tilbakevandrende laks fra smoltmerkingen i 2013 samt eventuelle feilvandrede gytelaks fra smoltmerkene i Storelva i 2012. PIT-antennen ble driftet gjennom hele oppvandrings sesongen uten avbrudd.

## 4.6 Statistiske analyser og modellering

### 4.6.1 Merke-gjenfangstanalyser

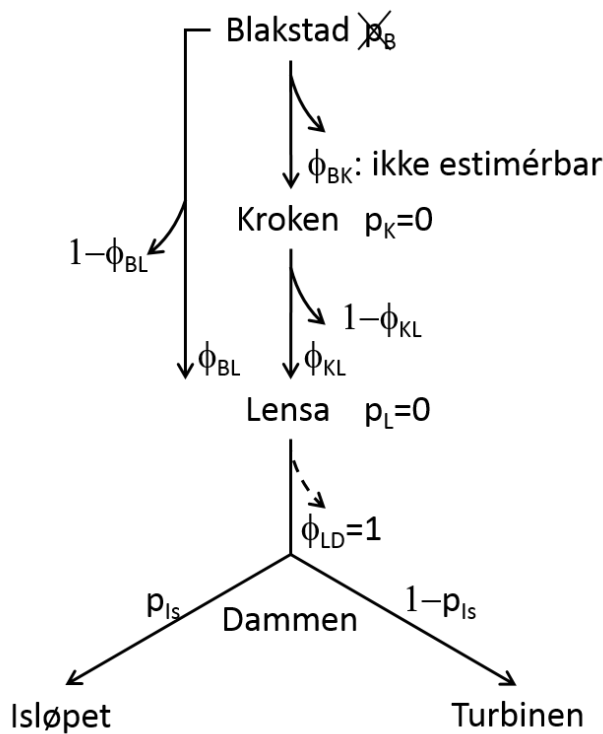
Til å analysere merke-gjenfangstdataene ble det brukt en modellstruktur som er beskrevet som Cormack-Jolly-Seber modellen (CJS)– oppkalt etter forskerne som uavhengig av hverandre (Jolly og Seber samarbeida), utvikla samme modelltilnærming av slike typer data (Lebreton et al 1992). Selve modelltilpasningen ble gjennomført ved bruk av programmet MARK versjon 8.0 (White og Burnham 1999).

I CJS modeller er det to typer parametere som estimeres: gjenfangstsannsynlighet ( $p$ ) og tilsynelatende overlevelse ( $\phi$ ). Med «tilsynelatende» menes her at en ikke alltid kan skille ulike forsvinningsprosessene fra dødelighet. For studiesystemet i Nidelva kan en anta at dette er tett med unntak av at en ikke klarer skille mellom dødelighet og valg av turbinløpet som utvandringrute. Begge de to parametertypene kan tilpasses som funksjon av både individuelle (f. eks størrelse) og eksterne (f. eks vannføring og temperatur) kovariater eller effekter.

Her har vi modellert under følgende forutsetninger (i tillegg til generelle forutsetninger som framkommer i Lebreton et al 1992) og beskrankninger:

- 1) Alle smolt som velger isluka blir registrert (enten i PIT-antenna og/eller i oppsamlingskaret etter Wolf-fella). Dette gjør at gjenfangstparameteren for isluka ( $p_{IS}$ ) kan direkte tolkes som sannsynlighet for å bruke isluka som utvandringrute.
- 2) Alle smolt innen samme gruppe oppfører seg likt (gjenfangstmessig og dødelighetsmessig) fra Lensa og til Rygene dam og dødeligheten på denne 100 m strekningen er 0 (dvs.  $\phi_{LD}=1$ ).

Fordi det ikke registreres gjenfangster på Kroken og Lensa settes gjenfangstsannsynligheten her til 0 ( $p_K=p_L=0$ ).



**Figur 7.** Sekvensiell CJS-parameterisering for merke-gjenfangstanalysene av smoltutvandringsdataene fra Nidelva i 2014.

#### 4.6.2 Beregning av smolt og pre-smolt populasjonen

Studiedesignet for dette prosjektet umuliggjør anvendelse av standardmetoder (f eks Petersenestimat eller Schnabelestimat) for estimering av populasjonsstørrelse, men i og med at en har god kontroll på fisk som merkes og settes ut ved Lensa, og gitt at all fisk som vandrer via isluka blir registrert, kan man bruke dette sjekkpunktet som utgangspunkt for beregning av smoltpopulasjonsstørrelsen ved Rygene (**Formel 1**). Ved å bruke estimatene på overlevelse for den nedvandrende smolten fra Blakstad og Kroken, kan man tilbakeberegne til den initielle smoltpopulasjonen (pre-smolt) rett før nedvandringa begynte fra Blakstad (**Formel 2**). Alt dette forutsetter at smolten som fanges i Wolf-fella i isluka og merkes og utsettes ved de tre utsettingspunktene oppfører seg helt likt overlevelses- og atferdsmessig (herunder ift. valg av utvandningsvei) som den øvrige smolten. I og med at den merka fisken både kan være predisponert for å velge isluka som vandringsrute (de har tross alt gjort dette valget én gang allerede) og utgjør overleverne fra første turs nedvandring vil særlig det opprinnelige populasjonsestimatet ( $N_{Blakstad}$ ) forventes å være konservativt (dvs mindre enn det reelle antallet).

$$N_{Rygene} = \frac{N_{Isløp}}{p_{Is}}, \quad \text{Formel 1}$$

$$N_{Blakstad} = \frac{N_{Rygene}}{\phi_{BL}}, \quad \text{Formel 2}$$

Disse estimatene forutsetter at det ikke er rekruttering av smolt nedstrøms Blakstad. Konfidensintervallene ble estimert ved hjelp av parametrisk bootstrapping (30 000 resamplinger, Manly 1997).

#### 4.6.3 Slagsansynlighet ved turbinpassering

Basert på turbinatype, størrelse (diameter og navdiameter), antall blader og rotasjonshastighet er det mulig å modellere tap av fisk under en turbinpassering. Dødelighet vil variere med turbinvannføring samt fiskens lengde. Det er benyttet en simuleringsmodell utviklet i Sverige til denne modelleringen. Modellen baserer seg på eldre kjente modeller og er blant annet validert i forhold til nyere Franske data (Leonardsson 2012).

#### 4.6.4 Smoltens vandringshastighet

Vandringshastighet regnes ut som antall kroppslengder i sekundet ut fra kjent utsettingslokalitet og korteste vandringsvei til eventuell registrering i isluka ved Rygene (PIT-antenne og/eller Wolf-felle). Vandringshastigheten kan naturligvis bare estimeres for smolt som gjenregistreres ved isluka da det utelukkende er disse som gjenobserveres etter utsetting. En må derfor ta høyde for at smolt som velger å gå via turbin har et annet vandringsforløp og hastighet. Test av forskjeller i vandringshastighet mellom smolt fra ulike utsettingssteder ble utført ved vanlig varisjonsanalyse der vandringshastighetene ble log-transformert for å homogenisere variasjonen mellom gruppene (Sokal & Rohlf 1995).

#### 4.6.5 Feilkilder

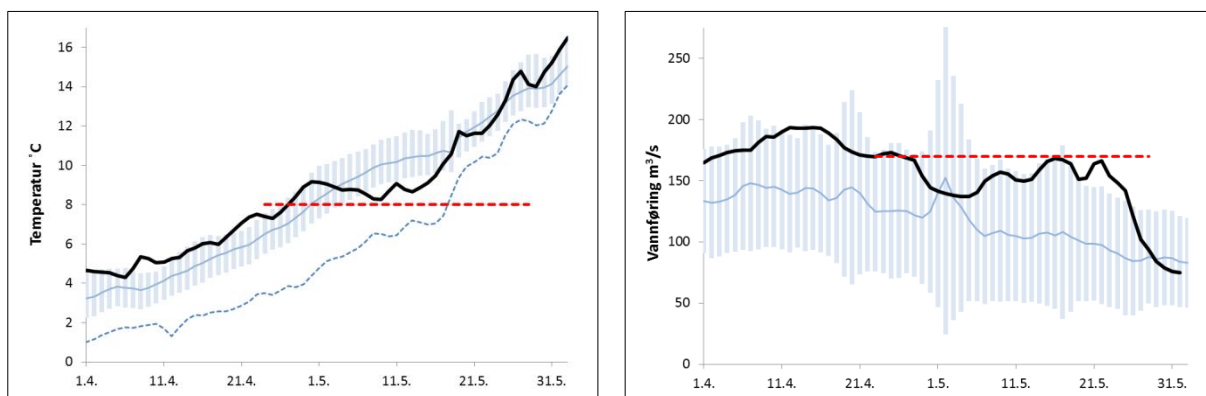
Smolten ble fanget og PIT-merket etter utvandring gjennom isluka i både 2013 og 2014. Utvalget av merkede individer har derfor, unnsloppet predatorer på nedvandring (bedre predatorunnviker enn de som blir predatert) samt valgt isluka som nedvandningsvei. Begge disse forholdene kan medvirke til at populasjonsestimatet vårt vil bli noe mindre enn det reelle fordi overlevelsen trolig i snitt er lavere enn hos våre merkede fisker og fordi en større andel trolig går via turbinene enn hos de merka fiskene. For å få et sikrere estimat på hvilke effekter som påvirker overlevelse samt tallfeste tap i ulike elvesegment vil vi anbefale at det merkes smolt oppstrøms. Dette vil også gi oss tall på hvor representative merkeforsøkene i 2013 og 2014 har vært.

## 5. Resultater

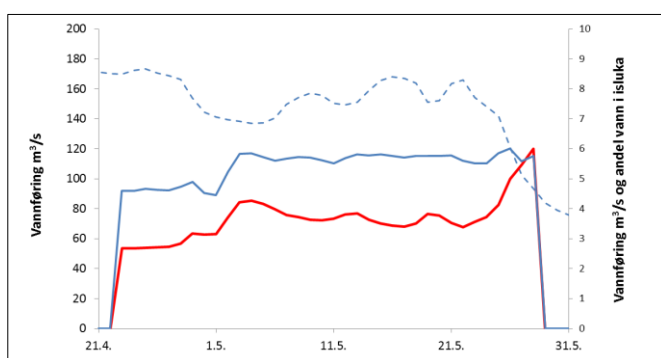
### 5.1 Temperatur og vannføring

Elvetemperaturen steg jevnt gjennom hele utvandringsperioden, men det observeres en periode med utflating de to første ukene i mai (**Figur 8**). Basert på temperaturdata fra de siste seks årene var våren 2014 litt varmere enn normalt og betydelig varmere enn 2013. Data for passering av 8°C var 21 dager tidligere i 2014 enn i 2013.

Vannføringen var relativt høy i 2014 sammenliknet med tidligere år. Under selve smoltutvandringsperioden var vannføringen i en liten periode over slukeevnen til kraftverket, men siden det gikk ca. 5m<sup>3</sup>/s i fluktruten var det aldri behov for å slippe vann over andre luker. Det betyr at det kun var isluka og turbinløpet som var tilgjengelige utvandringsruter for smolt ved Rygene i 2014. Vannføringen i isluka lå mellom 4,5-6m<sup>3</sup>/s (**Figur 9**). Andelen vann i isluka i forhold til totalvannføringen varierte fra 3 til 6 %.



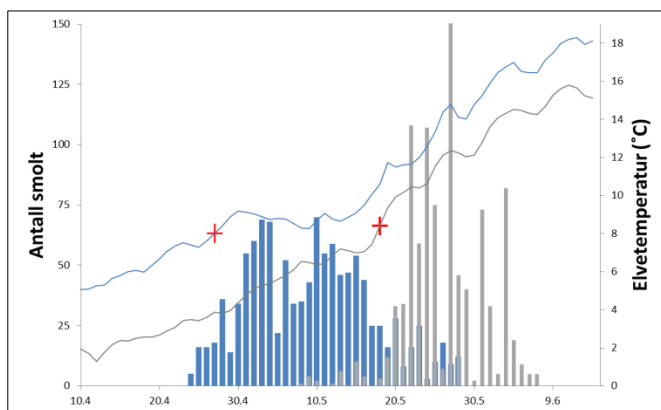
**Figur 8.** Vanntemperatur (venstre) ved Rygene våren 2014 (svart) ligger nær middeltemperaturen (blå, 2007-2013  $\pm 1SD$ ) i motsetning til våren 2013 (blå stiplet) der passering av 8°C (rød stiplet) er betydelig seinere. Lengden på den røde linjen illustrer samtidig utvandringsperioden for smolt. Vannføring (høyre) ved Rygene våren 2014 (svart) ligger over middelvannføringen (blå, 2000-2013  $\pm 1SD$ ) og under kraftverkets slukeevne (rød stiplet) gjennom smoltutvandringsperioden i mai. Lengden på den røde linjen illustrer samtidig utvandringsperioden for smolt.



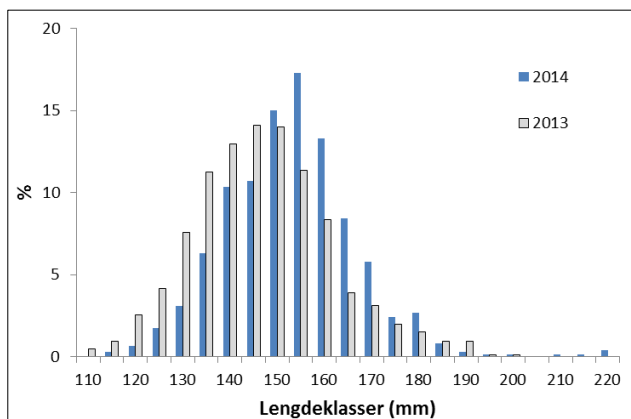
**Figur 9.** Vannføring ved Rygene under smoltutvandringen 2014 (blå stiplet) gjenspeiler andelen vann som går i fluktruten (rød linje) i forhold til turbin siden vannføringen i fluktruten (blå linje) er relativt stabil gjennom perioden.

## 5.2 Utvandningsforløp

Det ble fanget totalt 1147 umerkede laksesmolt i Wolffella under smoltutvandringen våren 2014 (**Figur 10**). Hovedutvandningsperioden var i starten av mai og varte omtrent 14 dager. Den høyeste daglige utvandringen var 10. mai med 70 smolt. Utvandring av 25 % av smoltpopulasjonen ble registrert 3. mai mens 50 % og 75 % ble registrert henholdsvis 9. og 15. mai. Smoltutvandringen i 2014 startet tidligere enn i 2013 og det skiller 18 dager mellom datoene for 50 % utvandring. Utvandningsperioden var også lenger i 2014. Perioden fra 10 % - 90 % akkumulert utvandring var på 21 dager i 2014 mens den var på 13 dager i 2013. Smolten var fra 12-18 cm, med hovedtyngden mellom 14-16 cm (**Figur 11**).



**Figur 10.** Antall smolt fanget i fiskeslusa ved Rygene 2013 (grå) og 2014 (blå) med daglig elvetemperatur for 2013 (grå linje) og 2014 (blå linje) passering av 8°C er indikert med rødt kryss.



**Figur 11.** Lengdefordeling til smolt i 2014 (blå) og 2013 (grå) fanget i Wolffella på Rygene under smoltutvandningsperioden.

## 5.3 Gjenfangster

Det var 277 smolt som brukte fluktruten av de 685 som ble satt ut oppstrøms Rygene våren 2014. Den høyeste gjenfangsten finnes blant smolten som er satt ut ved Lensa, med en variasjon mellom 42 og 77 % (**Tabell 5**). Gjenfangstprosenten fra Kroken-utsettingene følger Lensa, men ligger generelt lavere. Utsettingsgruppene 4, 7 og 8 skiller seg noe fra dette mønsteret ved at gjenfangstprosenten er relativt lik for begge utsettingslokalitetene. Utsettingene ved Blakstad har en generell lavere gjenfangstprosent enn de to andre lokalitetene. En direkte sammenlikning mellom gruppe-nummer er irrelevant mellom disse lokalitetene da smolten utsatt fra Blakstad (13 km oppstrøms Rygene) bruker betydelig lenger tid på å ankomme Rygene enn fra de to andre utsettingslokalitetene (0,1 km og 1 km oppstrøms Rygene).



Andelen smolt som brukte isluka som fluktrute ved Rygene er på nivå med det man fant i 2013. Det er grupper med både høyere og lavere gjenfangstprosent i 2013, men tallet for utsettingslokaliteten samlet er tilnærmet likt for lokalitet «Lensa» (2013: 48 %) og «Kroken» (2013: 39 %). Det var noe færre utsettingsgrupper i 2013 (Lensa: 5, Kroken: 3).

**Tabell 5.** Andelen smolt som ble gjenfanget i Wolf-fella i isluka etter utsetting på ulike utsettingslokaliteter og datoer (grupper).

Lokalitet	Gruppe	Smolt utsatt (n)	Gjenfangst i fluktruten (n)	Andelen ut fluktruten (%)
Lensa	1	24	10	42
	2	39	30	77
	3	22	9	41
	4	28	13	46
	5	27	13	48
	6	25	18	72
	7	23	10	43
	8	20	9	45
	Tot	208	112	54
Kroken	1	36	8	22
	2	113	52	46
	3	66	14	21
	4	24	12	50
	5	34	8	24
	6	24	12	50
	7	24	10	42
	8	19	9	47
	Tot	340	125	37
Blakstad	3	67	13	19
	5	70	27	39
	Tot	137	40	29

#### 5.4 Hva påvirker smoltens bruk av isløpet som fluktrute?

Som en basismodell ble det tilpasset en konstant overlevelses- og isluka brukssannsynlighet for hele forsøksperioden. Denne estimerte en forventet overlevelse på  $0.74 \pm 0.11$  ( $\pm$ SE) for laksesmolt som ble satt ut ved Blakstad og  $0.68 \pm 0.07$  for smolt satt ut ved Kroken. Ut fra modellseleksjon var en lik overlevelse for begge disse utsettelsesgruppene en bedre modell ( $\Delta$ AIC=2.1) og denne ble estimert til  $0.70 \pm 0.05$ . Den estimerte sannsynligheten for å bruke isløpet var  $0.53 \pm 0.03$ . Når en inkluderte individ- og miljøvariabler i CJS-modellen fikk en langt bedre modeller enn de konstante modellene ( $\Delta$ AIC>20), der modellen som fikk mest støtte i dataene hadde følgende struktur:

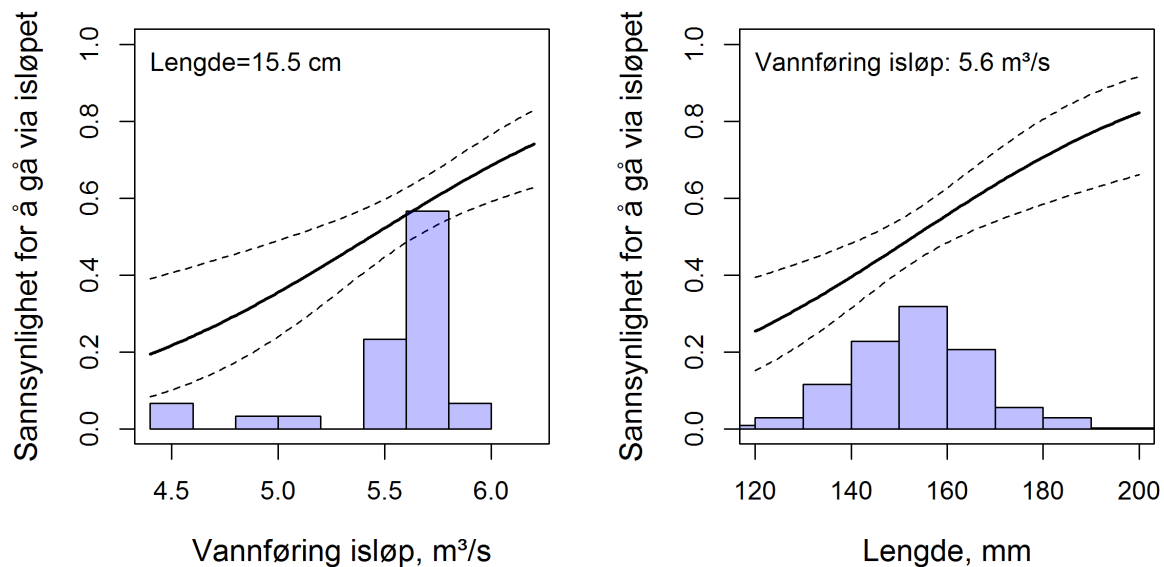
- $\text{Pr}(\text{overleve}) = \text{Vannføring}_{\text{tot}} + \text{Lengde}$
- $\text{Pr}(\text{isløp}) = \text{Vannføring}_{\text{isluka}} + \text{Lengde}$

Parameterestimaten for denne modellen er oppgitt i **Tabell 3** og visualisert i **Figur 12** og viser at både smoltens lengde og vannmengde i isluka har positiv effekt på sannsynligheten for å vandre gjennom isluka. Effekten er additiv for begge variablene og effektene er også sterke. For eksempel vil en smolt med lengde 13 cm bruke isluka med en sannsynlighet på 0.26 mens en 3 cm lengre smolt vil bruke isluka med en sannsynlighet på 0.51. Dersom dødeligheten ved å svømme gjennom turbin er vesentlig større enn for

smolt som bruker isluka, vil denne størrelsesselektive mekanismen kunne lede til lokale tilpasninger i favør store smolt i Nidelva-systemet.

**Tabell 6.** Parameterestimer for den utvalgte CJS-modellen som ble tilpassa merke- gjenfangstdataene. Phi = tilsynelatende overlevelse for Blakstad- og Krokenutsettingene fra utsettingsstedet til Rygene dam og  $p$  = gjenfangstsannsynlighet i isløpet. Merk at phi for distansen Lensa til Rygene dam ble fiksert til 1 og at  $p$  for Kroken og Lensa ble satt til 0 (ut fra forsøksdesignet). SE = standardfeil (standard error).

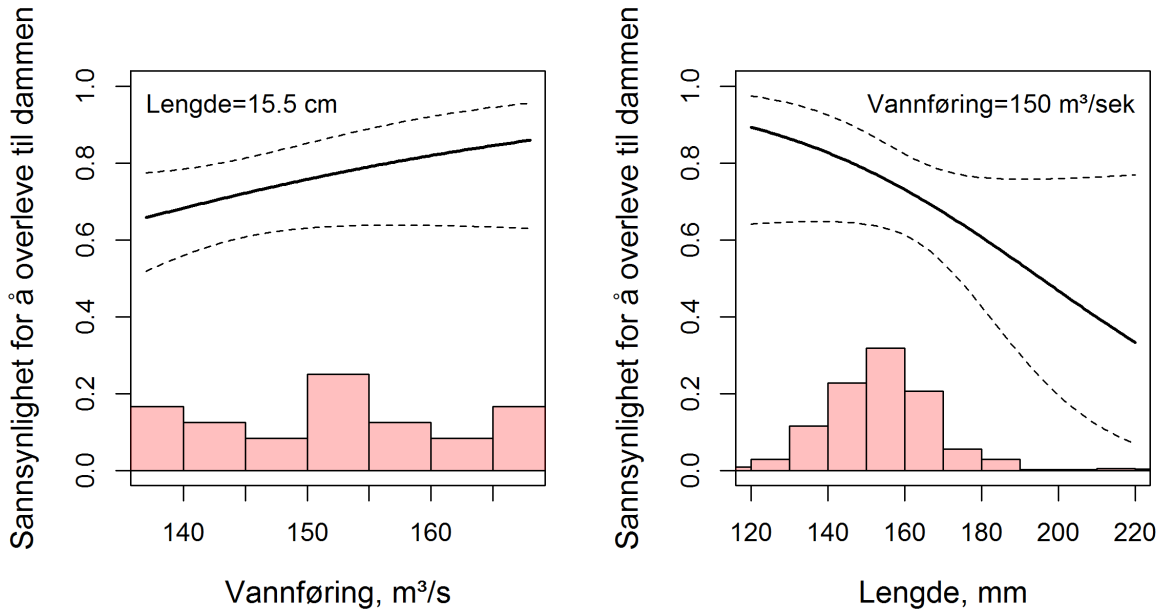
Parametertype	Parameter	Estimat	SE
Phi	Intercept	-0.092	3.930
	Vannføring total	0.037	0.024
	Lengde	-0.028	0.016
p	Intercept	-12.698	2.635
	Vannføring isløpet	1.375	0.389
	Lengde	0.033	0.009



**Figur 12.** Estimerte sannsynligheter for å gå via isluka som funksjon av vannføring i isluka (venstre) og smoltlengde. Merk at estimatene er korrigerede i forhold til hhv lengde og vannføring (se øverst til venstre i figuren). Estimatene er avledet fra den utvalgte modellen som er oppgitt **Tabell 3**. Tjukke linjer utgjør modellestimatet og stipla linjer rundt utgjør 95 % konfidensintervall. Histogrammene angir fordelinga for respektive x-variabler i datasettet.

## 5.5 Andre tapsfaktorer for smolt under smoltutvandring i Nidelva.

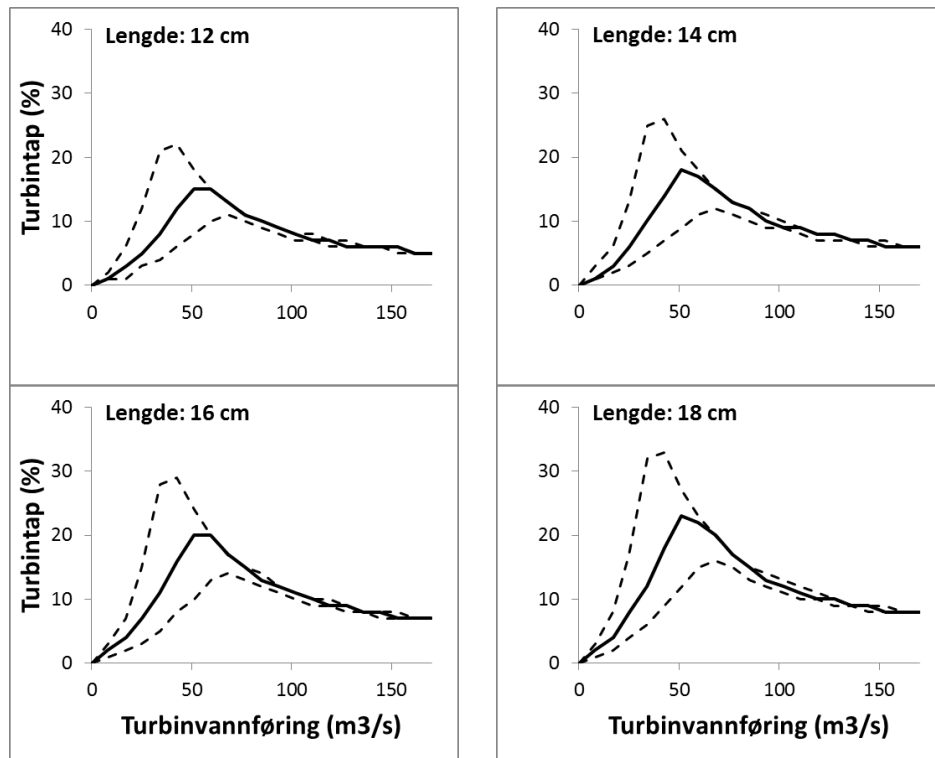
Ut fra CJS-modellparameterne i **Tabell 6** og de tilhørende prediksjonsplottene i **Figur 13** kan en tolke at totalvannføringa i Nidelva har en svak positiv effekt på smoltoverlevelsen fra Blakstad og Kroken og ned til dammen, mens smoltstørrelsen, kanskje noe overraskende hadde en svak negativ effekt på samme overlevelse. Disse effektene er betydelig svakere, og mer usikre (dvs. store konfidensintervall) enn effektene for bruk av isluka.



**Figur 13.** Estimerte sannsynligheter for å overleve fra Blakstad og Kroken til Rygene dam som funksjon av totalvannføring i Nidelva (venstre) og smoltlengde. Merk at estimatene er korrigerte i forhold til hhv smoltlengde og vannføring (se øverst i figurene). Estimaten er avledet fra den utvalgte modellen som er oppgitt i **Tabell 6**. Tjukke linjer utgjør modellestimatet og stipla linjer rundt utgjør 95 % konfidensintervall. Histogrammene angir fordelinga for respektive x-variablene i datasettet.

## 5.6 Slagsansynlighet for turbinpassering

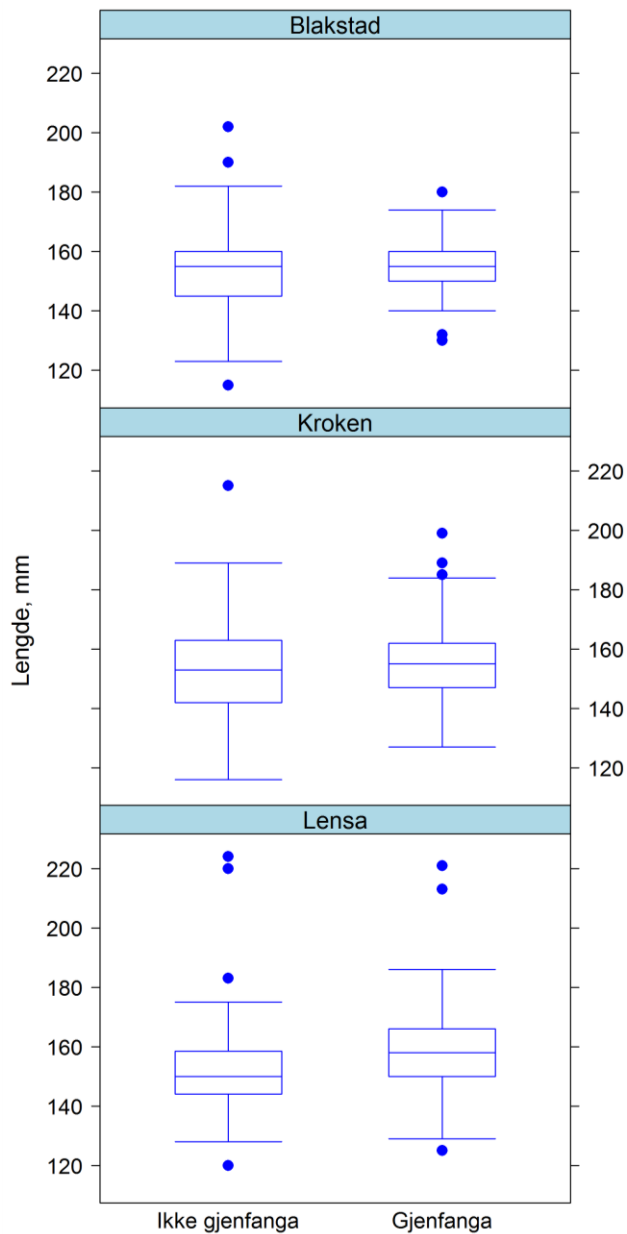
Død som følge av turbinslag ligger mellom 10-30 % (**Figur 14**), der økende fiskelengde og vannføring rundt 50m<sup>3</sup>/s gir høyest dødelighet. Modellen baserer seg på turbinkarakteristika for Rygene og innebefatter ikke dødelighet som følge av kavitasjon og forsinket dødelighet.



**Figur 14.** Estimerte tap av smolt som følge av turbinbladtreff ved ulike fiskelengder og turbinvannføringer etter Leonardsson (2012), basert på turbinkarakteristika for kaplanturbinen på Rygene kraftverk. Stiplet linje angir 25- og 75-persentilen.

## 5.7 Størrelsesseleksjon under utvandring

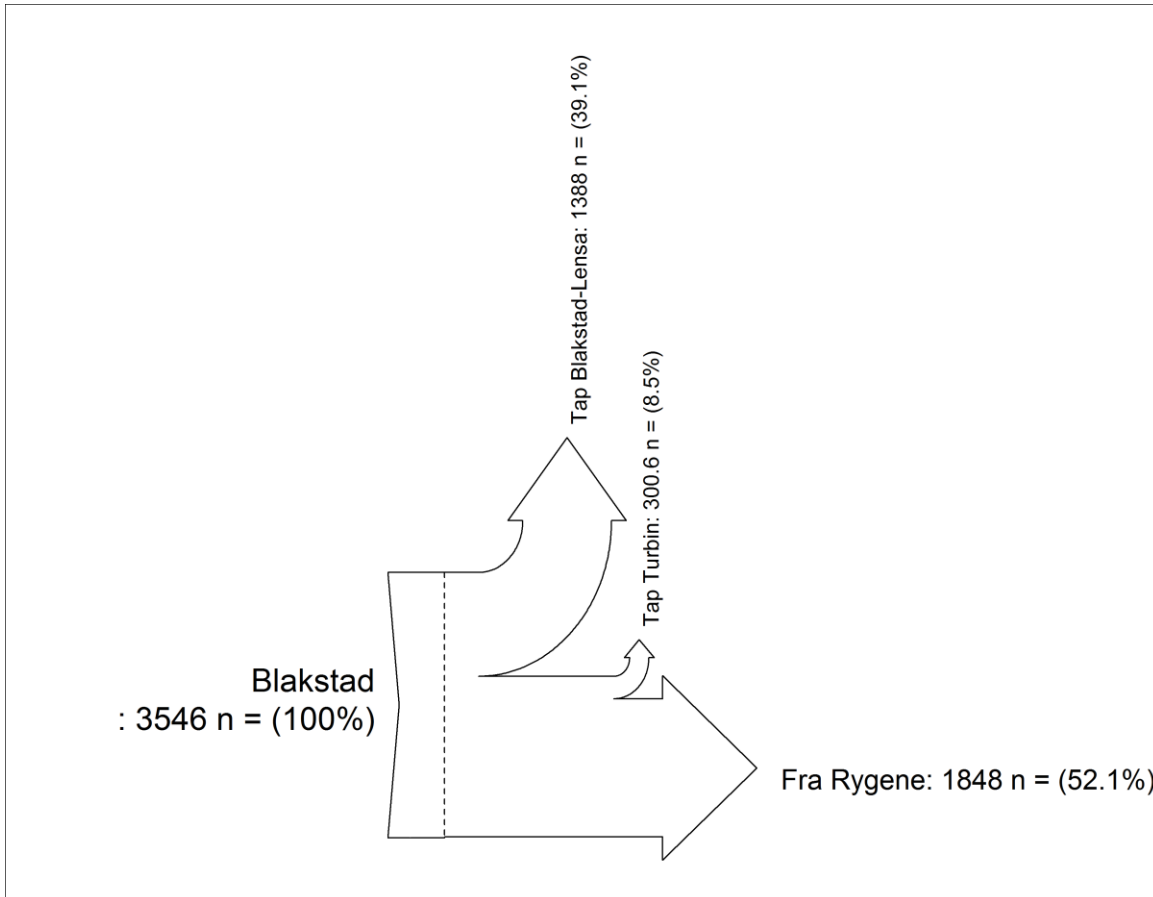
Under nedvandringa fra utsettingsstasjonen skjer det betydelige endringer i størrelsessammensetninga mellom de individene som gjenfanges i Wolf-fella ved Rygene og de som ikke gjenfanges (de som enten dør undervegs eller som svømmer via turbinløpet). Individene som gjenfanges i Wolf-fella er signifikant større enn de som ikke gjenfanges (ANOVA:  $F_{1,683} = 10.41$ ,  $p = 0.0013$ ). Av spesiell interesse er at gruppa som vandrer fra Blakstad og som gjenfanges i Wolf-fella har mye mindre lengdevariasjon (Variasjonskoeffisient= $CV = SD/snitt = 6.6\%$ ) enn de som ikke gjenfanges ( $CV = 8.7\%$ ). En tilsvarende endring i CV skjer ikke i samme grad hos fisken som settes ut ved Lensa (hhv, 9.3% og 10.1%). Endringa hos Krokenfiskene er midt i mellom disse (8.9 vs 9.3). Forskjellen i gjennomsnittsstørrelse mellom de to gruppene er betydelig større hos Lensafiskene (158.6 vs 152.3 mm) enn hos Blakstadfiskene (155.1 vs 153.5). I og med at Lensafiskene antas å være ubetydelig utsatt for predasjon vil forskjellene mellom gruppene gjenspeile islukas seleksjonsmekanisme – dvs i favør av større individer. Dette resultatet er i tråd med funnene i CJS-modellen (**Figur 12**). Den lavere variasjonen og mindre gjennomsnittsstørrelsen hos Blakstadfiskene som gjenfanges gjenspeiler mest sannsynlig seleksjon fra predatorer som disse har opplevd på sin ferd nedover, og, i tråd med funnene i CJS-analysen (**Figur 13**), blir i snitt de større individene i utvalget plukket ut av predatorerne. På denne måten vil seleksjon fra predatorerne og isløpet virke mot hverandre.



**Figur 15.** Box-plott av størrelsesfordeling hos gjenfanga og ikke-gjenfanga smolt etter hvilken utsetningslokalitet de kommer fra. 50 % av observasjonene er innenfor boksene og 90% av observasjonene er innenfor de ytterste horisontalstreken. Medianverdien er angitt som den horisontale streken inne i boksene.

## 5.8 Antall smolt i ulike elveavsnitt

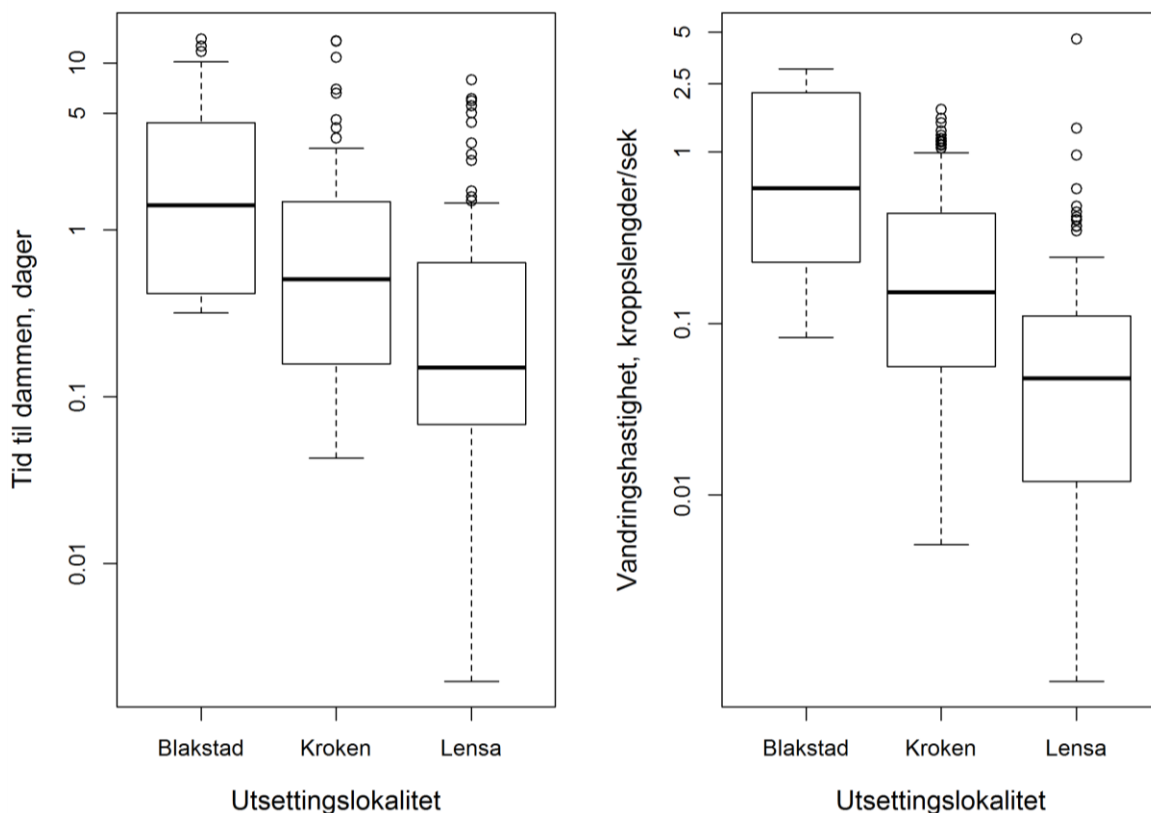
Ved bruk av parameterestimaterne som ble estimert i CJS-analysen (**Tabell 6**), ble estimert antall som vandret fra Blakstad beregnet til: 3546 (95 % CI: 3083, 4214) individer (**Figur 16**). Smoltbestanden ved Rygene ble beregnet til 2149 (1923, 2444) individer, noe som medfører et estimert tap på 1388 (1058, 1925) individer mellom Blakstad og Rygene. Under antagelse om at vi har full kontroll på antallet smolt som gikk ut via isløpet (1147), gikk 1002 (776, 1297) smoltindivider ut via turbinløpet.



**Figur 16.** Sankey-plott av estimert tapsforløp hos laksesmolt som nedvandret i Nidelva våren 2014. Estimaterne er basert på dels CJS-estimaterne i **Tabell 3**, tellinger i Wolf-fella og PIT-antenna samt antatt 30 % dødelighet ved passasje gjennom turbin (Kroglund et al 2011).

## 5.9 Smoltens vandringshastighet

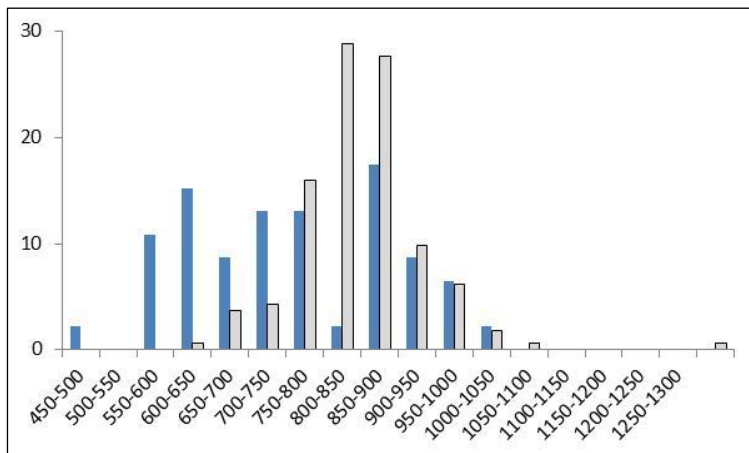
Ikke overraskende brukte smolt satt ut ved Blakstad lenger tid til Rygene enn de som ble satt ut ved Kroken og Lensa, men smolten som ble satt ut ved Blakstad hadde i snitt langt høyere vandringshastighet ( $1.20 \pm 1.11$  kroppslengder pr sekund) enn både smolt utsatt ved Kroken ( $0.32 \pm 0.39$ ) og Lensa ( $0.15 \pm 0.46$ ). Forskjellen i vandringshastighet mellom de tre utsettingsgruppene var svært signifikant (ANOVA:  $F_{2,272} = 60.65$ ,  $p < 0.0001$ , testen er utført på log-transformerte data). Forskjellen i vandringshastighet mellom utsettingslokalitetene tyder på at dammen ved Rygene forsinker vandringen til smolt. Vi kan heller ikke utelukke at noe smolt fra Kroken og Lensa ikke er fullverdig restituert etter merking og ikke opptar normal vandringshastighet før de ankommer dammen.



**Figur 17.** Box-plott av tidsbruk (dager) og nedvandringshastighet (kroppslengder pr sekund) hoslaksesmolt merket med PIT-merker i Nidelva våren 2013. Smolten er gruppert etter utsettingssted. 50% av observasjonene er innenfor boksene og 90% av observasjonene er innenfor de ytterste horisontalstreke. Medianverdien er angitt som den horisontale streken inne i boksene

## 5.10 Vinterstøinger

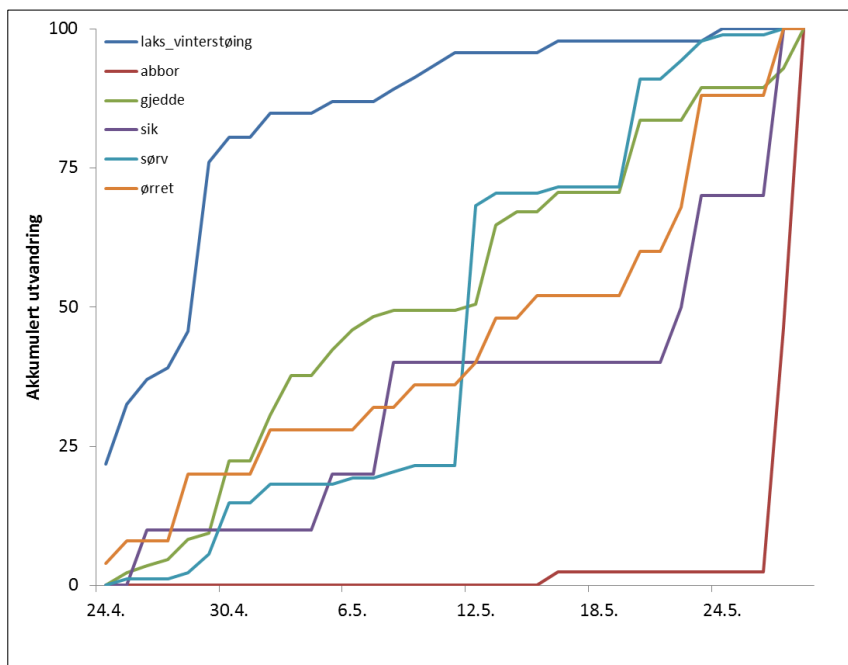
Det ble fanget totalt 46 vinterstøinger av laks i 2014. Dette var betydelig færre enn i 2013 der det ble fanget 163 individer. På grunn av det høye antallet vinterstøinger i 2013 ble isluka senket senhøsten 2013 samt vinter og vår 2014. Mye vinterstøinger har antagelig vandret i denne periode, og dette kan forklare det lave antall vinterstøinger som ble fanget i Wolf-fella under smoltutvandringen våren 2014. Det er kjent at utgytt fisk kan vandre ut av elva rett etter gyting om høsten og utvandringen om våren starter ofte før smoltutvandringen. Dato for passering av 50 % utvandring var 21 dager tidligere i 2014 enn i 2013. Lengdefordelingen mellom vinterstøingene i 2013 og 2014 er også svært forskjellige (**Figur 18**). Der 2013 har en normalfordelt kurve med topp rundt 80-90cm, har fangstene i 2014 tre svake topper som mest sannsynlig representerer 1, 2 og 3 sjøvinter laks.



**Figur 18.** Andelen vinterstøinger fanget etter vandring gjennom isluka ved Rygene dam våren 2014 (mørk blå) og 2014 tilhørende ulike lengdeklasser.

## 5.11 Andre arter

Det ble dokumentert at også andre fiskearter bruker isluka som fluktrute under nedvandring (**Figur 19**). Det ble registrert abbor ( $n=46$ ), gjedde ( $n=85$ ), sik ( $n=10$ ), sørv ( $n=88$ ) og ørret ( $n=25$ ). Utvandningsforløpet er relativt jevnt, men abborer skiller seg ut ved store fangster de siste dagene.



**Figur 19.** Akkumulert utvandring for vinterstøinger av laks, abbor, gjedde, sik, sørv og ørret registrert i Wolf-fella i isluka på Rygene våren 2014.



## 5.12 Gjenfangst av PIT-merket gytelaks

Det ble registrert 22 gytelaks i PIT-antennen ved innhoppet til fiskeslusa ved Rygene gjennom oppgangssesongen 2014. Dette var en- og to-sjøvinterlaks merket som smolt i Storelva i 2012 (n=13) og Nidelva i 2013 (n=9). Av en-sjøvinterlaksen fra Nidelva var 4 sluppet direkte i minstevannføringen etter merking, en var utsatt oppstrøms og gjenfanget etter å ha vandret gjennom fluktruta for andre gang. De resterende 4 er ikke registrert etter utsetting oppstrøms og vi antar at disse har vandret gjennom turbinen og overlevd. Det er først i 2016 det meste av denne smoltårgangen (2013) har ankommet elva som enten en-, to- eller tresjøvinter laks (2014, 2015 og 2016) og det er for tidlig å estimere sjøoverlevelse og sammenlikne denne mellom turbin- og fluktrutevandrende.

Det har i mange år vært merket utvandrende laksesmolt i Storelva og sportsfiskere har rapportert gjenfangster i Nidelva og nærliggende elver. Det har ikke tidligere vært en PIT-antenne i Nidelva som også registrerer feilvandrende gytefisk som ikke blir fisket. Det er derfor usikkert om antall registrerte feilvandrere fra Storelva i 2014-sesongen gjenspeiler det man normalt vil forvente av feilvandrere fra Storelva til Nidelva.

Det ble registrert 18 to-sjøvinterlaks i Storelva som stammer fra smolt utsatt i Storelva i 2012. Det antyder en feilvandring fra Storelva til Nidelva på 43 % blant to-sjøvinterlaks tilhørende smoltårgang 2012. Det ble i tillegg registrert fire PIT-merket laks blant sportsfiskefangstene i Nidelva, der 3 stammet fra smoltmerkingen i Storelva i 2012 og en fra Nidelva i 2013. Legges disse fangstene også inn i beregningen betyr det en feilvandringen fra to-sjøvinter laks av smoltårgang 2012 fra Storelva til Nidelva var på hele 48 %.

Etter oppvandring gjennom fiskeslusa har laksen små muligheter til å vandre ned elva igjen. PIT-antennen står i innhoppet til forkammeret til fiskeslusa, der fisken likevel har mulighet til å vandre frem og tilbake. En av gytelaksene ble registrert i denne antenne 31.august for så å bli registrert ved to antenner i Storelva 10. september. Laksen har med andre ord vandret opp Nidelva til Rygene for så å vandre ut av elva igjen og opp i Storelva i løpet av 10 dager.

## 6. Diskusjon

Antall pre-smolt oppstrøms Rygene er lavere enn hva en kunne forvente ut fra antall oppvandrende gytefisk og egnet gyte- og oppvekst areal i elva. I tillegg estimeres betydelig tap av smolt under vandring fra oppvekstområdene og til kysten. Grunnen til lite pre-smolt er usikker, men tap av smolt under nedvandring skyldes antagelig to forhold; predasjon fra gjedde og vandring gjennom kraftverksturbinen på Rygene.

I størrelsesorden 50 % av smolten bruker den etablerte fluktruten (isluka) ved kraftverksinntaket på Rygene istedenfor turbinen, og det er en positiv effekt av lengde og vannføring på bruk av denne fluktruten. Tiltaket kan og bør forbedres, i tillegg bør forsøksoppsettet endres noe slik at en får sikrere tall på hvor størrelsesselektiv dagens varegrind ved Rygene er. Samtidig er tapet til gjedde stort og bestanden bør kartlegges nærmere og tiltak settes i verk. Registrering av tilbakevandrede gytelaks merket som smolt i Storelva indikerer en høy feilvandring til Nidelva. Flere år med data vil kunne si oss mer om dette.

### 6.1 Utvandringsforløp

Smoltutvandringen i 2014 var betydelig tidligere enn i 2013. Dette kan antagelig relateres til temperaturforskjellene mellom de to årene, der en tidlig oppvarming av elvevannet fører til en tidligere smoltutvandring. Dette er også dokumentert i Tovdalselva (Haraldstad mfl 2013), Storelva (Haraldsated in prep.) og andre elver i Sør-Norge (Jonsson and Ruud-Hansen 1985; Thorstad et al. 2012). Det er også vist at vannføringsøkning kan ha den samme triggereffekten på utvandring av smolt (Klemetsen et al. 2003). Nidelva har flere magasiner og elvekraftverk i nedbørfeltet som antagelig har endret og dempet mye av den naturlige vannføringsvariasjonen elva hadde opprinnelig.

Det ser ut til å være en tendens til at en tidlig start på smoltutvandringsperioden fører til en lengre utvandringsperiode enn om smoltutvandringen kommer i gang seinere. Datamaterialet er foreløpig for lite til å kunne bekrefte dette. En hypotese kan være at ikke all smolt er fysiologisk klar til å starte vandringen om utvandringstriggeren (høy nok vanntemperatur) inntreffer tidlig, mens i år der utvandringstriggeren kommer seinere vil smolten være fysiologisk klar og kun venter på en trigger for å starte vandringen.

Flere år med registrering av smoltutvandringsperioden vil gi oss grunnlag til å lage en god modell som predikerer perioden basert på vanntemperatur og andre viktige forklaringsvariabler. God kunnskap om tidspunkt for smoltutvandring er viktig for å kunne igangsette og drifte tiltak som i hovedsak er rettet direkte mot denne perioden. I Nidelva vil dette si tiltak for nedvandrende smolt ved Rygene og Eivindstad kraftverk, samt i perioden med forhøyet kalkingsmål i anadrom strekning av Nidelva.

### 6.2 Isluka som fluktrute

Det ser ut til at om lag halvparten av den nedvandrende smolten bruker isluka som nedvandringsvei ved Rygene. Dette var tilfelle både i 2013 og 2014. Likevel varierer andelen som bruker fluktruta mellom de ulike utsetningsgruppene. Høy vannføring i isluka ser ut til å være en viktig faktor for å få mest mulig smolt ut denne veien og ikke gjennom turbinen. Modellen predikerer en økende andel smolt ut isluka fra 4,5-6 m<sup>3</sup>/s. Det var ikke vannføring over 6 m<sup>3</sup>/s gjennom perioden, og vi vet derfor ikke om andelen smolt ut luka vil øke proporsjonalt om vannføringen økes til slukeevnen på 10m<sup>3</sup>/s. Det hadde vært nyttig å undersøke om andelen smolt ut isluka fortsatte å øke med økt vannføring, eller om en kom til et nivå der andelen smolt ikke økte selv med økt vannføring.

Det var noe overaskende at andelen vann ut fluktruten gav en dårligere forklaring på smoltens bruk av fluktruten enn det totalvannføringen i isluka gjorde, spesielt sett i lys av flere år med dokumentasjon av

denne effekten på Fosstveit kraftverk i Storelva ( bl.a. Kroglund et al 2011). Dette kraftverket har en betydelig mindre slukeevne, varegrind, vannhastighet og inntaksområde, men designet og tanken bak tiltaket er likt. Det er for tidlig å forkaste andelen vann ut fluktruten som en viktig brikke i nedvandringstiltak, men man må samtidig være oppmerksom på den store variasjonen som finnes i elvekraftverkens utforming i Norge. Det er ikke unaturlig at variasjonen i utformingen til elvekraftverkene også medfører at utformingen av nedvandringstiltakene må variere.

Det er usikkert om det er økt vannføring alene som tiltrekker seg mer smolt ut isluka, eller om også andre «medvirkende» faktorer er avgjørende. Økt vannføring i isluka vil antagelig påvirke de hydrauliske forholdene i inntaksområdet og kunne danne strømmer som smolten finner attraktive. I tillegg økes vannhøyden i takt med at vannføringen øker. Det er vist i andre studier at vannhøyden er avgjørende for at fisk skal bruke overflateorienterte fluktruter (Arnekleiv et al. 2007). Det vil være mulig å teste hvorvidt det er vannhøyden og/eller vannføringen som er avgjørende for rutevalg ved å manipulere bredde og dybde på isluka. I første omgang vil vi foreslå å snevre inn bredden slik at en oppnår maksimal dybde uten at en behøver å slippe 10m<sup>3</sup>/s ut isluka. Hvis det er vannhøyden som er den avgjørende faktoren, vil det være mulig å oppnå bedre resultater enn i 2014 ved bruk av mindre vann.

I tillegg til vannføringen i isluka ser smoltlengde ut til å være avgjørende for rutevalget, der små smolt har større sannsynlighet for å vandre turbinruten sammenliknet med store. Dersom dødeligheten ved å svømme gjennom turbinen er vesentlig større enn for smolt som bruker isløpet, vil denne størrelsesselektive mekanismen kunne lede til lokale tilpasninger i favør store smolt i Nidelvasystemet. Den observerte forskjellen i lengdefordeling mellom merket fisk og gjenfanget smolt i isluka skyldes sannsynligvis lysåpningen og strømhastigheten ved varegrinda. På grunn av den store lysåpningen i varegrinda ved inntaket på Rygene virker den som en svak atferdssperre og ikke en fysisk sperre for nedvandrende smolt. Det vil si at all smolt kan fysisk vandre gjennom, men grinda i seg selv virker avstøtende, spesielt på den større smolten. I tillegg øker svømmekapasiteten med økt kroppslengde, og en må anta at økt svømmekapasitet vil kunne gi større mulighet til å nå et eventuelt sideløp før vannstrømmen fører smolten gjennom varegrinda. Vannhastigheten og lysåpningen i varegrinda er stor og langt større enn kravene som stilles i internasjonale retningslinjer som beskriver nedvandringstiltak for smolt ved elvekraftverk. For å unngå dette størrelsesselektive hinderet vil eneste løsning være en ombygging av varegrinda med mindre lysåpning og lavere strømhastighet. Dette vil, i kombinasjon med en riktig plassert fluktrute, være det beste tiltaket for nedvandrende smolt ved Rygene kraftverk.

### 6.3 Andre tapsfaktorer

Som en basismodell ble det blant annet benyttet ulik dødelighet mellom utsettingsgruppene Kroken og Blakstad fra utsetting og frem til Rygene dam. Ut fra modellseleksjon var en lik overlevelse fra utsetting til Rygene dam en bedre modell for utsettelsesgruppene Kroken og Blakstad. Dette kan tolkes i retning av at predasjonen fra gjedde er lik på begge gruppene og at den kraftigste predasjonen antagelig finner sted i områdene mellom Kroken og Rygene dam. Oppdemmingen ved Rygene har ført til stillestående vann og har på denne måten favorisert gjedde i denne delen av elva. I tillegg indikerer resultatene fra smoltens vandringshastighet at individer som er satt ut nær dammen vandrer med en betydelig lavere hastighet enn de som er satt ut lengre opp i vassdraget. Vi må anta at dammen og områdene oppstrøms forsinker smolten i sin vandring mot havet. Dette er også vist i en rekke andre studier (Marschall et al. 2011). Basert på årets data er hypotesen derfor at oppdemmingen ved Rygene påvirker smolten negativt ved å forsinke den under utvandring, noe som dermed gjør den tilgjengelig for predasjon over et lengre tidsrom, samtidig som oppdemmingen begünstiger gjedda i dette området.

Gjedde er antagelig den viktigste kilde til tap av smolt mellom Blakstad og Rygene, og det ser ut til at overlevelsen til smolten øker med økende vannføring. Dette kan være en ren uttynnningseffekt ved at det blir mindre smolt i forhold til vannvolumet eller at økt vannføring og flom gjør elvevannet mer turbid og smolten blir vanskeligere å se for gjedda. Det ser også ut til at det er de største individene som er mest utsatt for predasjon. Dette kan også ha sammenheng med økt turbiditet ved høy vannføring, ved at den

største smolten er lettere å se og predatere på. Alternativt kan denne størrelseeffekten relateres til smoltatferd, der det i andre systemer er vist at mindre smolt er mer nattaktive under nedvandring og foretrekker å vandre i stim sammenliknet med større smolt (Ibbotson et al. 2011). Både stimatferd og nattevandring kan sees på som antipredatoratferd og det er ikke usannsynlig at dette påvirker gjeddass predasjonsvalg. Gjeddass preferanse mot større individer i Nidelvasystemet skiller seg fra det man vanligvis finner, der gjedde ofte foretrekker mindre individer selv om gapstørrelsen gir den mulighet til å predatere på større fisk (Nilsson og Brönmark 2000). Det er foreløpig vanskelig å konkludere rundt dette da kunnskapen om gjeddepopulasjonen i Nidelva er svært begrenset.

Det er i dag en utfordring for lakseproduksjonen i Nidelva at gjedda er tilstede i hele hovedelva og kan predatere på laks fra den klekker til den forlater elva som smolt. Det er umulig å bli kvitt gjedda i Nidelva, men den kan forvaltes på en slik måte at smolttapet reduseres. Trolig spiser små og mellomstor gjedde mest smolt, mens stor gjedde i større grad spiser andre gjedder. For å få gode tall på dette må bestanden i dette systemet kartlegges. Dersom også gyteplassene er kartlagt, kan en fiske hardt med garn– spesielt langs sivbelter og områder med vegetasjon som flommes over om våren. Det bør samtidig, på bakgrunn av bestandsanalysene, vurderes å sette tilbake de aller største gjeddene da disse effektivt regulerer bestanden av de mindre gjeddene. Har en god kontroll over gyteområdene vil det også være mulig å øke vannstanden i gytetiden, for så å senke vannstanden etterpå slik at rogn blir tørrlagt.

Det er også mulig å gjøre tiltak slik at predasjonstrykket fra gjedde kan begrenses i andre deler av livssyklusen. Det er et betydelig antall sidevassdrag oppstrøms Rygene. Det er kjent at det kan være stor produksjon av laksunger i slike sidebekker, og mange av disse habitat og strømhastigheter som favoriserer laks fremfor gjedde. I slike relativt små systemer vil det være mulig å holde gjeddepopulasjonen lav og ved å konstruere gjeddebarrierer i nedre deler kan en hindre at ny gjedde vandrer inn i systemet. En slik barriere vil kunne konstrueres slik at den er farbar for gytelaks men ikke gjedde. En kan også stenge bekken for oppvandring fra desember til juli. Nedvandring vil kunne skje gjennom hele året. På denne måten vil laks kun være tilgjengelig for å bli predatert av gjedde under selve smoltutvandringen. Det er behov for kartlegging av disse sidefeltene der egnet habitat for laks og muligheter for gjeddesperre i nedre deler kan undersøkes. I tillegg er det kjent at vannkjemien er begrensende for laks i flere av disse. Før flytting av gytelaks fra Rygene til sidebekkene blir aktuelt, bør det foreligge god dokumentasjon på vannkjemi slik at nødvendige vannbehandlingstiltak kan iverksettes.

## 6.4 Smoltproduksjon vs. gytelaks

Det er en svært dårlig sammenheng mellom det estimerte antall smolt som forlater Rygene (<3000) og antall gytelaks registrert under oppvandring forbi Rygene dam (600-1600). Hvis det kun var laks som var født i Nidelva som vandret tilbake for å gyte i Nidelva, vil det tilsi en sjøoverlevelse på mellom 20-50 %. Dette er urealistisk basert på overvåking av sjøoverlevelse fra Imsa (NINAs forskningsstasjon i Rogaland) og Storelva de senere årene. Vi må anta at de samme faktorene påvirker sjøoverlevelsen til laks i oppvekstområdene i havet, og at laksepopulasjonene på Sør- og Vestlandet vandret til felles oppvekstområder.

Gytebestanden i Nidelva er derfor sammensatt av individer som er født i Nidelva og individer som har feilvandret til Nidelva fra andre elver. Dette bekreftes også av det høye antallet «Storelva laks» som er registrert i PIT-antennen i fiskeslusa på Rygene, og at innsiget av to-sjøvinterlaks fra smoltårgang 2012 merket i Storelva har en nesten 50/50 fordeling mellom Storelva og Nidelva. Det er for tidlig å konkludere rundt andelen feilvandrere etter kun et år med tilstrekkelig overvåking. Sommeren 2014 var unormalt tørr og vannføringen i Storelva var ekstremt lav i hele juni og juli og deler av august, mens vannføringen i Nidelva var høy i den samme perioden. Dette kan i seg selv ha ført til at gytelaksen vegret seg for å vandre opp i Storelva og heller vandret opp i Nidelva. Det er likevel interessant å merke seg at antall sportsfiskefangede «Storelva laks» i Nidelva har ligget på <5 individer i mange år, og også i 2014. Basert på disse tallene er det ingen indikasjoner på en høyere feilvandring i 2014 enn i tidligere år.

## 7. Referanser

- Aitken, P. L., L. H. Dickerson, W. J. M. Menzies, and M. Menzies. 1966. Fish passes and screens at water power works. Pages 29-57 *in* ICE Proceedings. Ice Virtual Library.
- Anon. 1995. Fish Passage Technologies: Protection at Hydropower Facilities, TA-ENV-641 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September).
- Anon. 2007. Guidelines on the Planning, Design, Construction & Operation of Small-Scale Hydro-Electric Schemes and Fisheries. Central & Regional fisheries boards & engineering division, Department of Agriculture, Fisheries & Food.:52pp.
- Anon. 2013. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene. . Rapport fra Vitenskaplig råd for lakseforvaltning 5b:670s.
- Arnekleiv, J., M. Kraabøl, and J. Museth. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* 582(1):5-15.
- Barlaup, B. T., F. Kroglund, E. Kleiven, and V. Moen. 2006. Smoltundersøkelser; Undersøkelse av smoltutgangen i Tovdalselva, Otra, Nidelva og Storelva i 2005. side 38-50.
- Hesthagen, T.(red.). 2006. Reetablering av laks på Sørlandet. Årsrapport fra reetableringsprosjektet 2005. DN-utredning 2006-4.:84 s.
- Bell, M. C., A. Delacy, G. Paulik, K. Bruya, and C. Scott. 1981. Updated compendium on the success of passage of small fish through turbines.
- Čada, G. F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* 26(9):14-23.
- Calles, O. 2006. Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers. Karlstads universitet.
- Calles, O., and coauthors. 2013. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar. Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013: 14.:114 s.
- Calles, O., and L. Greenberg. 2009. Connectivity is a two-way street - the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research And Applications* 25(10):1268-1286.
- Coutant, C. C., and R. R. Whitney. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129(2):351-380.
- Deng, Z., T. J. Carlson, G. R. Ploskey, M. C. Richmond, and D. D. Dauble. 2007. Evaluation of blade-strike models for estimating the biological performance of Kaplan turbines. *Ecological Modelling* 208(2-4):165-176.
- DN. 2010. Reetablering av laks på Sørlandet. Etablering av nye laksestammer i Mandalselva og Tovdalselva etter kalking – En syntese. DN-utredning 7-2010:116s.
- DN. 2011. Handlingsplan for restaurering av fisketrapper for anadrome laksefisk (2011-2015). DN-rapport 7 - 2011:44s.
- DN. 2012. Arendalsvassdraget (koordinator A. Hindar) i: Kalking i laksevassdrag, Tiltaksovervåking 2011. DN-notat 1-2012:339s.
- DWA. 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA), Hennef.
- Ebel, W. J. 1977. Fish Passage Problems and Solutions Major Passage Problems. Report of the National Marine Fisheries Service. 7pp.
- Ferguson, J. W., R. F. Absolon, T. J. Carlson, and B. P. Sandford. 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. *Transactions of the American Fisheries Society* 135(1):139-150.
- Ferguson, J. W., G. R. Ploskey, K. Leonardsson, R. W. Zabel, and H. Lundqvist. 2008. Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences* 65(8):1568-1585.
- Fjeldstad, H.-P., and coauthors. 2012. A concept for improving Atlantic salmon *Salmo salar* smolt migration past hydro power intakes. *Journal of Fish Biology*.

- Forseth, T., and A. r. Harby. 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte 52. 1-90 s.
- Gabrielsen, S.-E., and coauthors. 2012. Tiltak for å øke produksjon av laks i Nidelva i perioden 2002 til 2012. UniMiljø rapport 201:50s.
- Gosset, C., and F. Travade. 1999. Devices to aid downstream salmonid migration: Behavioral barriers. *Cybiurn* 23(1):45-66.
- Haraldstad, T. 2014 Utvandring av smolt og oppvandring av gytelaks ved Rygene kraftverk 2015 –Forslag til lukemanøvrering som sikrer to-veis vandring av laks. NIVA-notat 7s.
- Haraldstad, T., Høgberget, R. 2014. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget Avviksrapport 2013. NIVA-rapport 15s.
- Ibbotson, A., W. Beaumont, and A. Pinder. 2011. A size-dependent migration strategy in Atlantic salmon smolts: Small smolts favour nocturnal migration. *Environmental Biology of Fishes* 92(2):151-157.
- Irish\_guidelines. 2005. Guidelines on the Construction & Operation of Small- Scale Hydro-Electric Schemes and Fisheries. Central and regional fisheries board and engineering division.60pp.
- Jonsson, B., and J. Ruud-Hansen. 1985. Water Temperature as the Primary Influence on Timing of Seaward Migrations of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42(3):593-595.
- Klemetsen, A., and coauthors. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12(1):1-59.
- Kraabøl, M., S. Johnsen, J. Museth, and O. Sandlund. 2009. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management And Ecology* 16(4):337-340.
- Kristensen, T., K. Hawley, J. Guttrup, Å. Johannesen, and F. Kroglund. 2011. Uttesting av teknisk løsning for å hindre vandring av laksefisk via turbiner ved Trøandsfoss kraftverk, Kvina. . NIVA. Rapport 1. nr OR-6258. 28 s.
- Kroglund, F. and coauthors 2011. Betydningen av kraftverk og predasjon fra gjedde for smoltproduksjon og aluminium i brakkvann for postsmoltoverlevelse : smoltvandring i Storelva og utenforliggende fjorsområder i 2009. NIVA-rapport: 6084-2010, 103 s
- Kroglund, F., and coauthors. 2011. Effekter av å passere en kraftverksturbin på smoltoverlevelse og atferd. Betydningen av tiltak. . NIVA. Rapport OR-6139:35s.
- Lamberg, A., R. Strand, S. Bjørnbet, and F. Kroglund. 2012. Videoovervåking av kraftverksinntaket i Boenfoss i 2011 -Test av en ny vandringsvei for smolt utenom turbinene. . VFI-rapport 02/2012. 29 s.
- Larinier, M. 2002. Fishways - General considerations. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture* (364):21-27.
- Larinier, M., and J. Dartiguelongue. 1989. The movement of migratory fish: Transit through turbines of hydroelectric installations. . *Bulletin francais de la peche et de la pisciculture*. (312-13):1-90.
- Larinier, M., and G. Marmulla. 2004. Fish passes: types, principles and geographical distribution-an overview.
- Larinier, M., and F. Travade. 2002. Chapter 13. Downstream migration: Problems and facilities. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture* (364):181-207.
- Lebreton, J. D., K. P. Burnham, J. Clobert, and D. R. Anderson. 1992. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals - a unified approach with case-studies. *Ecological Monographs* 62:67–118.
- Leonardsson, K. 2012. Modellverktøy for beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. ELFORSK-rapport. Finns att hämta på ELFORSK:s hemsida.
- Manly, B. F. J. 1997. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. 2nd edition. Chapman & Hall, London.
- Marschall, E. A., M. E. Mather, D. L. Parrish, G. W. Allison, and J. R. McMenemy. 2011. Migration delays caused by anthropogenic barriers: modeling dams, temperature, and success of migrating salmon smolts. *Ecological Applications* 21(8):3014-3031.

- Matzow, D. 1995. Rygene kraftverk i Nidelva, Aust-Agder. Vurdering av gassovermetning, minstevannføring og fisketrapp. - Fylkesmannen i Aust-Agder, Miljøvernnavdelingen. Notat 1-1995. 16 s.
- Monten, E. 1985. Fish and turbines. Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Stockholm, Sweden.
- Nilsson, P. A., and C. Brönmark. 2000. Prey vulnerability to a gape-size limited predator: behavioural and morphological impacts on northern pike piscivory. *Oikos* 88:539-546.
- Noonan, M. J., J. W. A. Grant, and C. D. Jackson. 2011. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*.
- NVE. 2012. Forfattere: Brian Glover, B., Brabrand, Å., Brittain, J., Gregersen, F., Holmen, J. Saltveit, S.J. 2012. Avbøtende tiltak i regulerte vassdrag. Rapport fra FoU-programmet: Miljøbasert vannføring. NVE Rapport 10. 78 sider.
- Ploskey, G., and T. Carlson. 2004. Comparison of blade-strike modeling results with empirical data. Battelle Pacific Northwest National Laboratory Rep. No. PNNL-14603 to US Army Corps of Engineers, Portland, Oreg. Available from [http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-14603.pdf](http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-14603.pdf).
- Porcher, J. P., and F. Travade. 2002. Fishways: Biological basis, limits and legal considerations. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture* (364):9-20.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry*. Third edition. W. H. Freeman and Company, New York.
- Thorstad, E. B., F. Okland, F. Kroglund, and N. Jepsen. 2003. Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway. *Fisheries Management And Ecology* 10(3):139-146.
- Thorstad, E. B., and coauthors. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81(2):500-542.
- Travade, F. 2005. Migratory fish passage at hydroelectric facilities: EDF experience. *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau* (3):60-68.
- Travade, F., and M. Larinier. 2006. French experience in downstream migration devices.
- Turnpenny, A. W. H., S. C. Clough, K. P. Hanson, R. Ramsay, and D. McEwan. 2000. Risk assessment for fish passage through small, low-head turbines. . Contractors report to the Energy Technology Support Unit, Harwell, Project No ETSU H/06/00054/RP, 55pp.
- Turnpenny, A. W. H., and N. O'Keeffe. 2005. Screening for Intake and Outfalls: a best practice guide. Environment Agency, Science Report SC030231.
- Turnpenny, A. W. H., G. Struthers, and K. P. Hanson. 1998. A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and best practice. Contractors report to the Energy Technology Support Unit, Harwell. ETSU H/00052/00/00.
- von Raben, K. 1957. Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. *Die Wasserwirtschaft* 4: 97-100.
- White, G. C., and K. P. Burnham. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46:120-139.