



# Gassmetning nedstrøms småkraftverk med installert omløpsventil

*Ulrich Pulg og Sebastian Stranzl*

109  
2015



R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## Rapport nr 109-2015

# Gassmetning nedstrøms småkraftverk med installert omløpsventil

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:**

**Forfattere:** Ulrich Pulg (Uni Research), Sebastian Stranzl (Uni Research)

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 2

**Forsidefoto:** Foto: Ulrich Pulg

**ISBN** 978-82-410-1161-0

**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** NVE ønsket å få undersøkt om gassovermetning opptrer nedstrøms småkraftverk ved produksjonsutfall. Tre småkraftverk på Vestlandet ble valgt ut i studien. Uni Research fikk i oppdrag å måle gassmetningen nedstrøms kraftverkene ved ett styrt utfall. I tillegg skulle de logge gassmetningen nedstrøms utløpskanalen til kraftverkene i ett år. Resultatene er presentert og diskutert i vedlagte utredning.

**Emneord:** småkraft, gassovermetning, anadrom fisk, omløpsventil

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

2015

# Forord

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) setter krav om installasjon av omløpsventil i småkraftverk med store fiskeverdier nedstrøms kraftverket. Kravet gis for å unngå at fisk strander som følge av raske dropp i vannføringen nedstrøms kraftverket ved utilsiktet stopp i anlegget. Gassovermetning i vann kan oppstå når gass løses i vann under trykk. Gassovermetning har vært observert ved enkelte bekkeinntak i store kraftverk. Småkraftverk har tidligere ikke blitt undersøkt med tanke på gassovermetningsproblematikk.

Formålet med undersøkelsen var å se om omløpsventilen slipper gassovermettet vann forbi turbinen ved utfall i kraftverket. NVE ba om en uavhengig undersøkelse ved et utvalg småkraftverk som har installert omløpsventil. Prosjektet ble underveis utvidet til også å se om det er perioder i løpet av året som er spesielt utfordrende når det gjelder gassovermetning.

Uni Research gjennomførte gasslogging nedstrøms tre kraftverk ved tre planlagte utfallsepisoder. I tillegg ble det brukt et gassloggingsapparat i hver av elvene som logget gassverdiene nedstrøms kraftverket et helt år.

Resultatene fra prosjektet viser at omløpsventilen ikke bidrar til målbar gassovermetning, fordi omløpsventilen åpnes umiddelbart ved kraftverksutfall. Det er ikke nødvendig for produksjonsvannet å gå gjennom turbinen for å redusere gassovermetningen. Ved høy vannføring viste gassloggene at noe forhøyede gassovermetningverdier i elveløpet er normalt.

Omløpsventiler er uproblematisk å installere i småkraftverk når de bygges. De bidrar ikke til gassovermetning nedstrøms kraftverkene.

NVE takker både Uni Research og kraftverkseierne for godt samarbeid.



Øystein Grundt

seksjonssjef



Birgitte M.W. Kjelsberg

prosjektleder

# Gassmetning nedstrøms småkraftverk med installert omløpsventil

Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl



LABORATORIUM FOR FERSKVANNØKOLOGI OG INNLANDSFISKE, LFI UNI Research Miljø THORMØHLENSGATE 49b 5006 BERGEN		TELEFON: 55 58 22 28 E-POST: lfi@uni.no
LFI-Rapport 255	ISSN-1892-889	
TITTEL: Gassovermetning nedstrøms småkraftverk med installert omløpsventil	DATO: 12.10.2015	
FORFATTERE: Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl	GEOGRAFISK OMRÅDE: Hordaland, Sogn og Fjordane	
Oppdragsgiver: NVE	ANTALL SIDER: 35	
<p>Sammendrag:</p> <p>2014 til 2015 ble gassmetning overvåket nedenfor tre småkraftverk på Vestlandet. Det ble funnet gassovermetning ved alle de tre undersøkte småkraftverkene. Verdiene var lave til moderate. Normalt lå gassmetningen mellom 99 % og 102 % TGP (medianverdi), maksimalverdien var 111 % TGP. Denne maksimalverdien ble sannsynligvis forårsaket av naturlig innblanding av luft i en flomsituasjon med store vanddyp i et trangt og bratt juv, og var kortvarig (Dalsdalselva, Luster). Kraftverket var stengt ned i det tidsrommet. Maksimalverdiene i de andre kraftverkene var 104 % (Rasdalselva, Voss) og 105 % (Hopselva, Fusa). Også disse verdiene var kortvarige, men knyttet til kraftverksdrift. I Hopselva kan også luftinnblanding ved flom i restfeltet ha bidratt til overmetningen, men i Rasdalselva stammer overmetningen trolig bare fra kraftverksdriften. Mest sannsynlig er det at luftinnblanding i kraftutløpet etter turbinpasseringen forårsaket disse lave til moderate verdiene.</p> <p>Oftest var gassmetningverdiene under 103 % TGP som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) anbefaler som grenseverdi for grunne elver med vanddyp under 1 m. Maksimalverdiene var større enn dette, men sammenfaller med høy vannføring enten fr restfeltet eller kraftverksdrift. Ved høy vannføring er det større vanddyp i elvene, og større muligheter for å kompensere for overmetning. Verdier mellom 104 og 111 % kan kompenseres for i dyp mellom 40 og 110 cm. Slike vanddyp var sannsynligvis hyppig til stede ved høy vannføring, og siden overmetningsperiodene var kortvarige og sammenfalt med høy vannføring regner vi ikke med vesentlige effekter av gassovermetning på fiskebestandene i de undersøkte elvene. Det er imidlertid sannsynlig at gassovermetningen har effekter på fiskens atferd og habitatbruk i perioder med overmetning, for eksempel at de bruker grunne områder i mindre grad. Dette gjelder særlig i Dalsdalselva. Stopp av kraftverk med bruk av omløpsventiler har ikke ført til målbar gassovermetning. Dette forklares med at omløpsventilene ble åpnet med en gang hovedventilen ble stengt. Siden ventilen var åpen kunne eventuell luft slippe ut før den ble satt under trykk og løst i vannet. Denne praksisen ser altså ut til å være egnet for å unngå gassovermetning ved bruk av omløpsventiler.</p> <p>Den foreliggende studien viser at det finnes gassovermetning i de undersøkte elvene, men trolig på et tolererbart nivå. Den viser også at kraftverkene konstruksjonsmåte med dykkede inntak og omløpsventiler som ikke fører til oppløsning av luft under trykk er egnet til å unngå kritisk gassovermetning. Dette er et viktig resultat for å unngå gassovermetning i nye kraftverk i fremtiden.</p> <p>Erfaringer fra kraftverk i andre vassdrag viser at gassovermetning er mer utbredd enn forventet, og at det kan ha alvorlige konsekvenser for livet i vassdraget mange kilometer nedenfor. Å overvåke gassmetning er ikke teknisk komplisert med riktig utstyr, og kan ressursmessig og metodisk sammenlignes med vannstandslogging. Det anbefales derfor å overvåke gassmetningen nedenfor norske kraftverk, særlig hvis det finnes bekkeinntak og grunne magasininntak med fare for luftinnsuging. Dette ble allerede anbefalt av Blindheim et al. i 1984, men ikke fulgt opp i særlig grad.</p>		
EMNEORD: Gassovermetning, småkraftverk, omløpsventil		

**Innhold**

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metode</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>6</b>
3.1	Hopselva kraftverk .....	6
3.2	Kvåle kraftverk.....	12
3.3	Rasdalen kraftverk .....	19
<b>4</b>	<b>Omløpsventiler og gassovermetning</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Erfaringer i andre vassdrag</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Konklusjoner</b> .....	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>33</b>

# 1 Innledning

Gassovermetning i vann kan oppstå når gass løses i vann under trykk og trykket deretter synker, samt ved raske temperaturforandringer i vannet. Overmetning kan skje naturlig i dype fossekulper, men også nedenfor vannkraftverk. Årsak er vanligvis at luftbobler trekkes inn i fallrøret/kraftverkstunnelen der luften løses i vannet under trykk. Bekkeinntak, for små inntaksbassenger, og delvis tilstoppete inntaksrister som trekker luft er kjente kilde for slike luftbobler (Stokkebø et al. 1986). Peltonturbiner lufter vanligvis vannet godt, men en kan likevel ikke utelukke gassovermetning nedenfor. Overmetningen kan også oppstå i selve utløpskanalen dersom innpiskete luftbobler dras med ned i dypet der vannet står under hydrostatisk trykk. Tegn på for høy gassovermetning er blakking av vann (mange små bobler) og akutt fiskedød. Mindre gassmetningskonstrasjoner (< 120 %) er vanligvis ikke synlige, men lave fisketettheter kan være en indikasjon. Gassovermetning skader fisk ("gassblæresyke"), og verdier over 110-120 % kan være akutt dødelig (Heggberget et al. 1986). Også lavere verdier mellom 103 % og 110 % kan skade fisk og øke dødeligheten, særlig i grunne habitater eller bassenger der fiskene ikke kan unnvike til større vanddyb for å kompensere for overmetningen. Gassovermetning kan også føre til en atferdsendring med endringer i habitatbruk, siden fiskene kan flykte til dypere områder. Gassovermetning kan kompenseres med ca. 10 % pr. meter vannsøyle. Har vannet 110 % metning vil en fisk på 1 m dyp oppleve 100 % metning. Habitatforholdene og særlig vanddyb er derfor viktig for å kunne bedømme eventuelle effekter på fisk. Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) anbefaler 110 % som grenseverdi for elver dypere enn 1 m og 103 % for grunnere elver.

På oppdrag for NVE har vi overvåket gassmetningen nedenfor tre kraftstasjoner (Fusa, Luster, Rasdalen) fra mai 2014 til april 2015. Hovedformålet var å sjekke om bruk av omløpsventil<sup>1</sup> når kraftverket stanser gir økt fare for utslipp av overmettet vann nedstrøms kraftverket. Også annen mulig gassovermetning skulle kartlegges.

Kraftselskapene bidrog med egne data, støttet arbeidet ved testkjøring og leverte strøm til logging. Vi er takknemlig for det åpne og ukompliserte samarbeidet.

---

<sup>1</sup> Begrepet «omløpsventil» brukes for forskjellige ting. Det som menes her er et rørsystem med ventil som kan føre vann forbi hovedventilen og turbinen i vannkraftverk. Meningen er å sikre vannføring i elven nedenfor når kraftverket stoppes. Dette blir også kalt «forblippingsventil».

## 2 Metode

For overvåkingen av gassmetning ble det brukt en «Total Gas Analyzer 3.0 fra Fisch- und Wassertechnik» med 'online' GSM-dataoverføring. Stasjonen består av en gassmetningssonde (Total Gass Pressure, TGP) som er basert på et «Weiss- Saturometer». Den registrerer total metning av alle gasser i vannet. Det ble lagret halvtimes verdier. Gassmetningene er gjengitt i prosent. 100 % TGP tilsvarer normal gassmetningsgrad. Lavere verdier betyr at vannet er undermettet med gasser, høyere verdier betyr at vannet er overmettet. Målerens nøyaktighet er på  $\pm 10$  hPa noe som tilsvarer ca.  $\pm 1$  % TGP. Partialtrykkene av gassene ( $O_2$  og  $CO_2$ ) ble logget i tillegg til TGP for å kunne beregne andelen nitrogen ( $N_2$ ). Oksygen kan tas opp i langt større grad av fisken enn nitrogen. Dominerer oksygen betraktes det som mindre farlig for fisk enn ved dominans av nitrogen. I følge kanadiske retningslinjer anbefales maksimalt 110 % TGP luftmetning i vassdrag som er dypere enn 1 m. I grunnere omgivelser og på klekkerier anbefales 103 % TGP som grenseverdi.

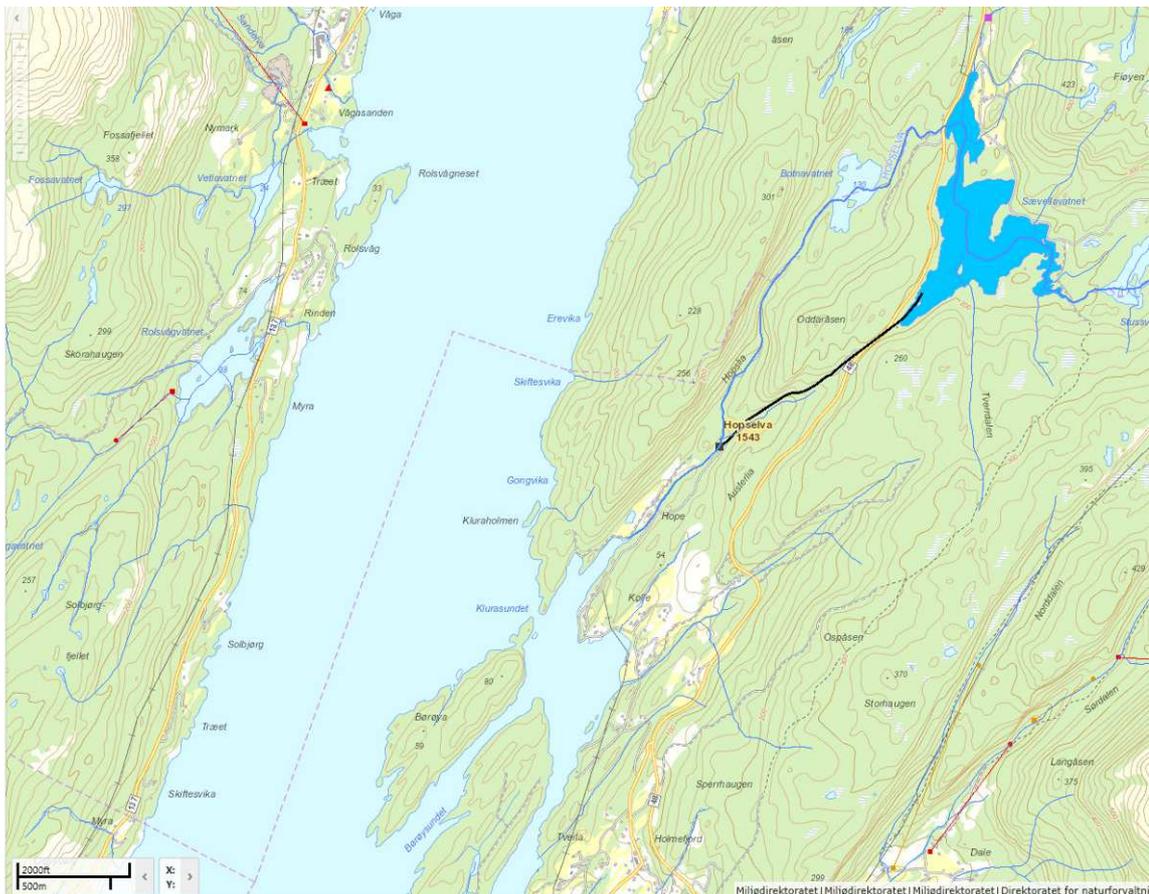
Kraftselskapene bidrog med vannføringsdata eller produksjonsdata i overvåkingstidsrommet fra sine egne målinger, og utførte testkjøringer etter våre ønsker. I hvert kraftverk ble det gjennomført en testkjøring som simulerte en nødstopp med bruk av omløpsventil. Ved denne simulering ble loggeren satt på minuttnivå og supplert med to TGP loggere nedenfor. To personer fra UNI Research Miljø fulgte dessuten fortløpende med på loggerne for å kunne oppdage en eventuell kortvarig bølge med overmettet vann.

Under og etter testkjøringen ble det sett etter eventuell død eller skadet fisk. I tillegg ble det el-fisket ovenfor og nedenfor kraftverkene for å kunne se om fiskebestanden viste tegn på overmetning. El- fisket ble gjennomført som et engangs transekt overfiske etter Forseth et al. (2008). Søket etter død eller skadet fisk ble utført vadende med polaroidbriller.

## 3 Resultater

### 3.1 Hopselva kraftverk

Hopselva kraftverk ligger i Fusa kommune (Hordaland) og har vært i drift siden 2010. Vanninntaket ligger i magasin Sævidvatnet (LRV184,1 moh., HRW 184,6 moh), og utløpet munner ut i den anadrome Hopselva (vassdragsnr. 055.3A). Brutto fallhøyde er 161 m. Maks. ytelse er 4,62 MW med Pelton turbin. Omløpsventilen var innstilt slik at den skulle levere vann med en gang kraftverket stoppet. Ved 100 % drift skulle ventilen levere vann i 10 minutter. Vannføringen skulle bli gradvis lavere i de 10 minutter. Ved mindre driftsgrad vil tidsintervallet være kortere ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no) og personlig meddelelse Fusa Kraftlag/SKL).

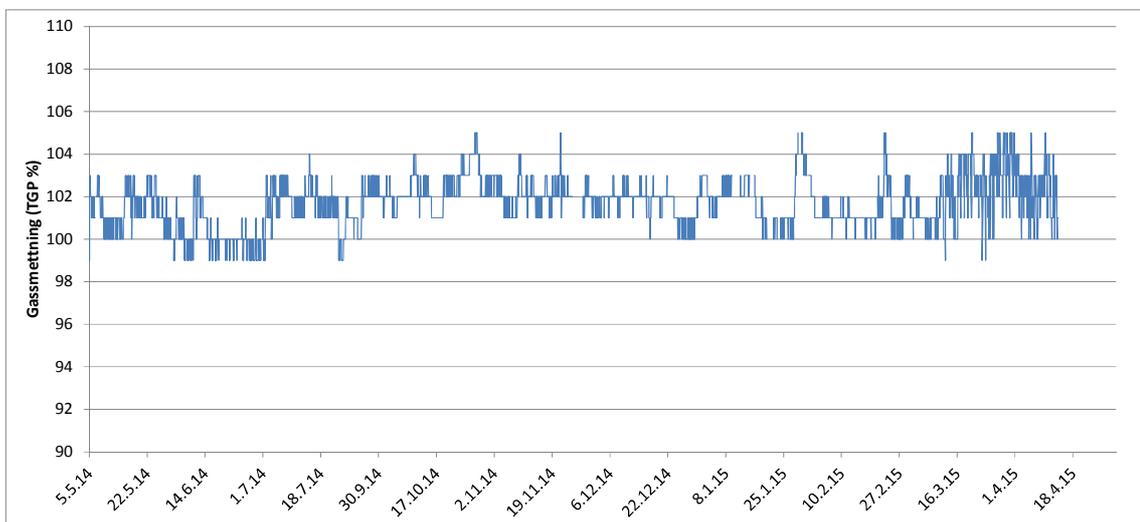


Figur 1 Hopselva kraftverk i Fusa kommune ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no))

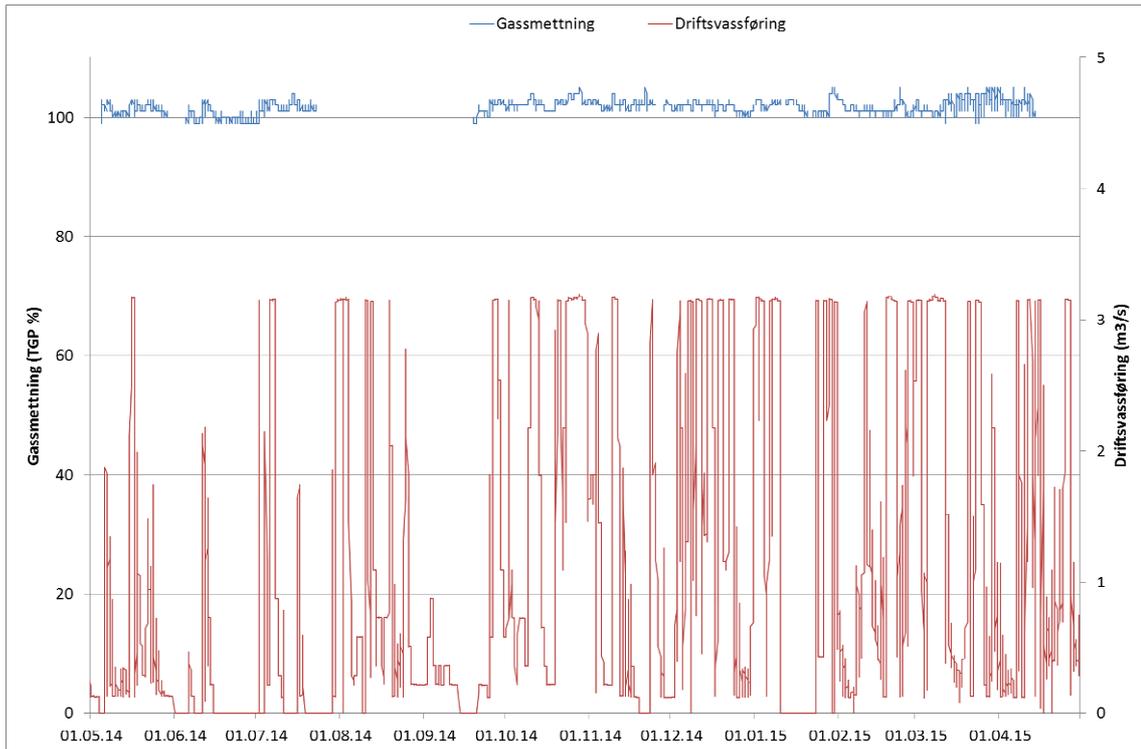
### 3.1.1 Varighetsovervåking

Gassmetningen i kraftverksutløpet varierte mellom 99 % og 105 % TGP i tidsrommet 5.05.2014 - 14.04.2015 (Figur 2). Vanligvis var gassmetningen 102 % (median) ved  $\pm 1$  % målenøyaktighet. I 5,7 % av tiden var verdiene større enn 103 % TGP. Legger vi til vannføringskurven fra kraftverket i diagrammet (Figur 3 og Figur 4, driftsvannføring) ser vi at gassmetningskurven til en viss grad følger driftsvannføringskurven, men med langt mindre amplitude.

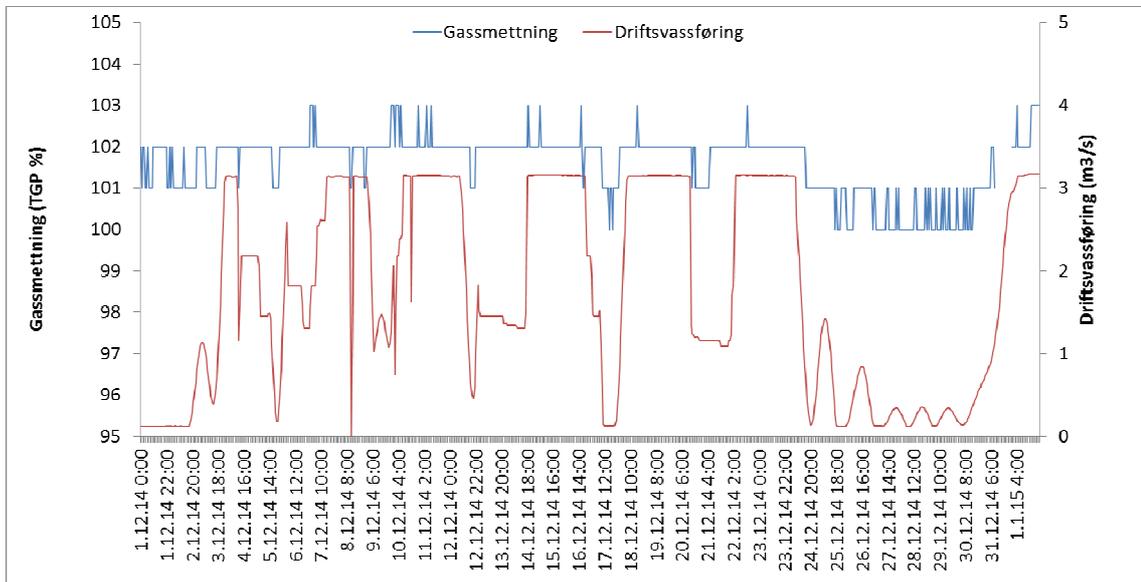
Gassmetningen var 99-103 % TGP i april 2014, og gikk opp til 104 % TGP i juli. I august og i deler av september mangler data grunnet lynnedslag som ødela Eeprom-minnet i loggeren. Fra slutten av september varierte verdiene fra 100 % til maks. 105 %. I nesten hele desember lå verdiene mellom 101 % og 103 %, bare under en periode med liten kraftproduksjon mellom 24. og 31. desember var verdien 100 % (Figur 2, Figur 4). Så økte den igjen opp til 103 -105 % i januar, og varierte med relativt høy frekvens mellom 100 % og 105 % utover vinteren inntil april 2015. Gjennomsnittlig andel O<sub>2</sub> var 36,7 %, N<sub>2</sub> 63,3 %. En statistisk analyse viser at det er en signifikant lineær korrelasjon mellom driftsvannføringen og gassmetningen ( $R^2 = 0,397$ ,  $p < 0,001$ ), men forklaringsverdien er relativt lav. Når det var høy driftsvannføring var det også relativt høy gassmetning, men amplituden var liten (99-105 %).



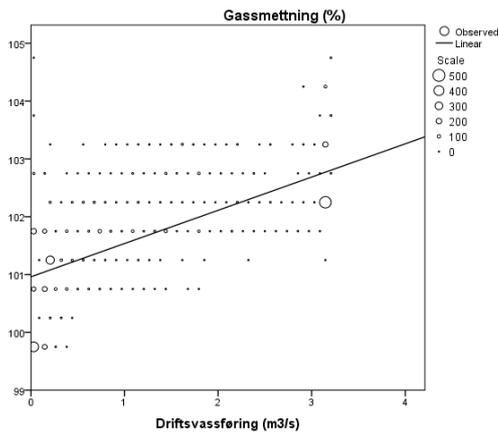
Figur 2 Gassmetning (TGP) i prosent i utløpet av Hopselva kraftverk 5.05.14 til 14.04.15



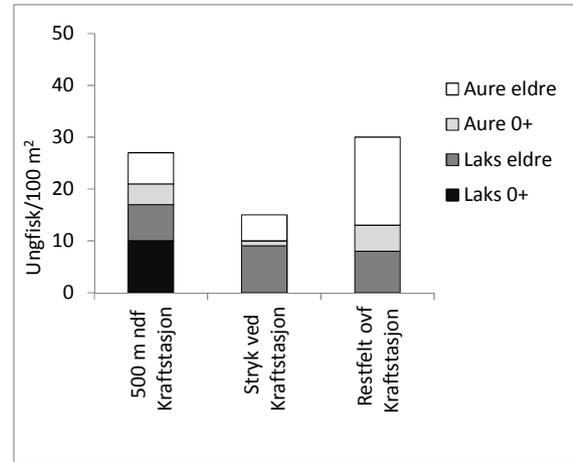
Figur 3 Gassmetning (TGP) i prosent og driftsvannføring (m<sup>3</sup>/s) i utløpet av Hopselva kraftverk 5.05.14 til 14.04.15



Figur 4 Gassmetning (TGP) i prosent og driftsvannføring (m<sup>3</sup>/s) i utløpet av Hopselva kraftverk 1.12.14 til 31.12.15



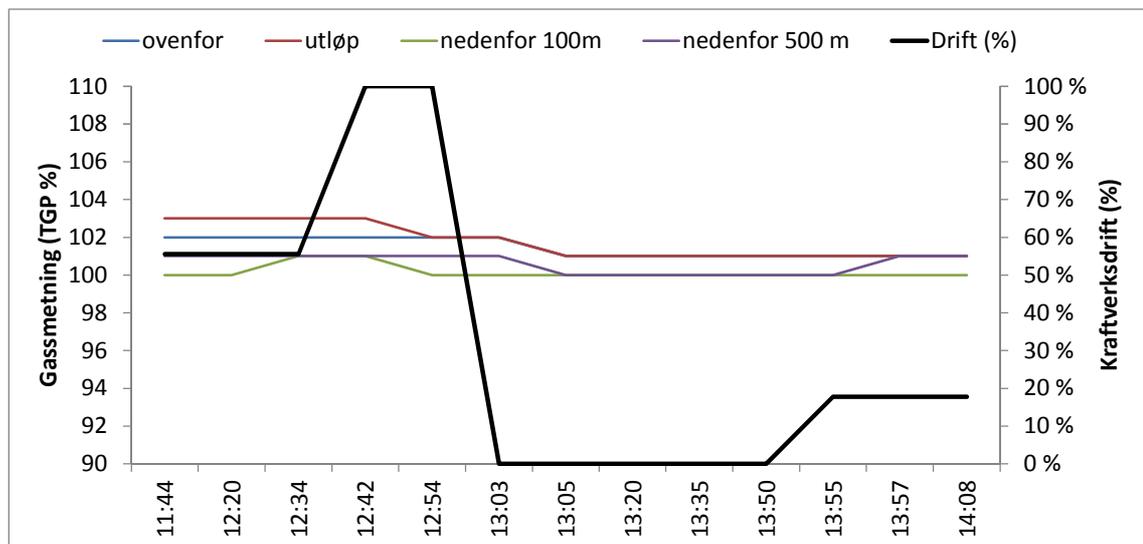
Figur 5 Lineær korrelasjon mellom driftsvannføring og gassmetning i Hopselva kraftverk i overvåkingstidsrommet ( $R^2 = 0,397$ ,  $p < 0,001$ ).



Figur 6 Ungfisktettheter ved Hopselva kraftverk 03.11.2014

### 3.1.2 Testkjøring

Den 3.11.2014 ble det gjennomført en testkjøring med nødstopp og bruk av omløpsventil. Gassmetningen ved kraftverket lå på rundt 100 % i hele perioden, og gikk litt ned da kraftverket stoppet opp (1-2 %). Ovenfor kraftverket var det 102 % ved start av forsøket og 101 % ved slutten av forsøket ( $\pm 1$  % målenøyaktighet). Nedenfor kraftstasjonen sank gassmetningen fra 103 % til 101 %. 100 m og 500 m nedenfor sank den fra 101 % til 100 %. Gassovertmetningen (103 %) i kraftutløpet var borte allerede 100 m nedenfor (100 %) i begynnelsen av forsøket.



Figur 7 Gassmetning ovenfor og nedenfor Hopselva kraftverk ved nødstopp i kraftverket den 3.11.2014. X-aksen viser klokkeslett.



Figur 8 Utløpet av kraftverket ved 100 % kraftverksdrift 3.11.2014 12:50



Figur 9 Klokken 12:54 – 13:09. Kraftutløp rett etter nødstop. Hovedventilen er stengt og omløpsventilen leverer vann.



Figur 10 Klokken 13:18 Omløpsventilen leverer ikke lenger vann. Vannføringen nedenfor kraftverket stammer nå bare fra tilsiget i restfeltet. Vannet ovenfra har ikke rukket å renne over demningen og ned restfeltet. Deler av elvebunn nedstrøms kraftverket er tørr.



Figur 11 Klokken 13:55: Kraftverket er i drift igjen. Overløpsbølgen har fremdeles ikke kommet ned restfeltet.

### 3.1.3 Ungfiskdata

El-fiske ble gjennomført den 03.11.2014 i restfeltet rett ovenfor kraftstasjonen, i stryket ved kraftstasjonen, og 500 m nedenfor kraftstasjonen. Det ble funnet laks og aure på alle stasjonene, men i relative lave tettheter (15-30 pr. 100 m<sup>2</sup>, se Figur 6). 500 m nedenfor dominerte laks (17 ind. hovedsakelig 0+), dessuten ble det tatt 10 aure. Rett ved kraftstasjonen ble det funnet 6 aure og 9 laks (nesten bare eldre ungfisk). Ovenfor kraftstasjonen ble det funnet 22 aure og 8, laks også her hovedsakelig eldre ungfisk. Det ble ikke funnet død, strandet eller skadet fisk.

### 3.1.4 Diskusjon

#### **Vanlig kraftverksdrift og gassmetning**

Det ble funnet lave gassovermetningsverdier i Hopselva (median 102 %, 99-105 % TGP). O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> forholdet (1:2) er som forventet når luft løses i vann. N<sub>2</sub> dominerer og med dette kan overmetningen ha uønskete effekter på fisk. Toppene er knyttet til høy kraftverksdrift. Innsuging av luft utelukkes som årsak siden inntaket er dykket i magasinet, og siden dette ville resultert i langt større overmetningsverdier. Mer sannsynlig er det at overmetningen oppstår etter turbinpasseringen når luftbobler trekkes ned i litt dypere vann i kraftverksutløpet. Også effekter fra restfeltet (se også kap 3.2) kan spille inn siden det finnes topper (105 %) når kraftverket står, som for eksempel i slutten av november 2014. Sannsynligvis fører både kraftverksdriften og naturlig innblanding av luft som settes under hydrostatisk trykk i dypere partier ved flom i restfeltet, til de lave overmetningsverdiene. Medianverdien lå under grenseverdiene som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) foreslår for grunne elver (103 %). I kortere perioder lå overmetningen mellom 103 og 105 %. Dette vil sannsynligvis ikke ha akutte effekter på fisk (akutt dødelighet fra 110 %), men kan ha subletale effekter som endret habitatbruk. Verdiene er imidlertid så lave at de kan kompenseres ved et vanddyb på 30-50 cm. Disse dypene finnes mange steder i Hopselva når kraftverket er i drift, eller når det er flom og slike gassmetningsverdier oppstår. Utover dette tyder testkjøringen på at det meste av overtrykket gasser ut i løpet av de første 100 m etter kraftverket. Derfor betraktes ikke gassovermetning som farlig for fisk i Hopselva.

#### **Nødstopp og omløpsventil**

Det fantes ingen tegn til at nødstoppet eller omløpsventilen førte til gassovermetning. Omløpsventilen leverte vann i ca. 10 minutter. Det tar lengre tid før vannet kommer ned fra magasinoverløpet og restfeltet. Etter el-fisket var vannet fortsatt ikke kommet, og det anslås at det kan ta opptil flere timer før vannet fyller magasinet, renner over og gjennom restfeltet (avhengig av fyllingsgrad og værforhold). I sånne perioder kan det forekomme delvis tørrfalling av elvebunnen nedenfor kraftverket. Også ved vanlig kraftverksstopp kan det regnes med delvis tørrfalling av elven nedenfor. Omløpsventilen med de gitte innstillinger demper vannstandsreduksjonen men klarer ikke å bufre tiden inntil vannet har rukket å ankomme elven via restfeltet.

#### **Ungfisk**

Tetthetene av ungfisk var relativt lave sammenlignet med lignende elver (Pulg et al. 2011, Barlaup et al. 2015). Ut fra bunnforholdene kunne det forventes tettheter mellom 70 og 200 ind./100m<sup>2</sup>. At det fantes lite 0+ kan forklares med at habitatkvaliteten var bedre egnet for eldre ungfisk (grovt substrat). At det heller ikke fantes mye eldre ungfisk tyder på en kunstig redusert fiskebestand. Gassovermetning var ikke så høy at den kan forklare en reduksjon i ungfisk. Perioder med meget lav vannføring, både i restfeltet ved vanlig drift

og lite nedbør, og nedenfor kraftutløpet i perioder etter en stopp i kraftverket, kan imidlertid være en forklaring. Redusert vannkvalitet og forurensing kan også føre til slike lave ungfisktettheter – men dette ble ikke undersøkt. Effekter av oppdrett kan også spille inn (rømt laks, lakselus), og ungfiskene av laks i elven kan stamme fra rømt oppdrettslaks. Denne typen effekter sørger imidlertid heller for et lavere antall gytefisk i slike små elver, ikke lave ungfisktettheter siden det ikke trengs mange gytefisker for å sørge for vanlige ungfisktettheter i det begrensede elvearealet.

## 3.2 Kvåle kraftverk

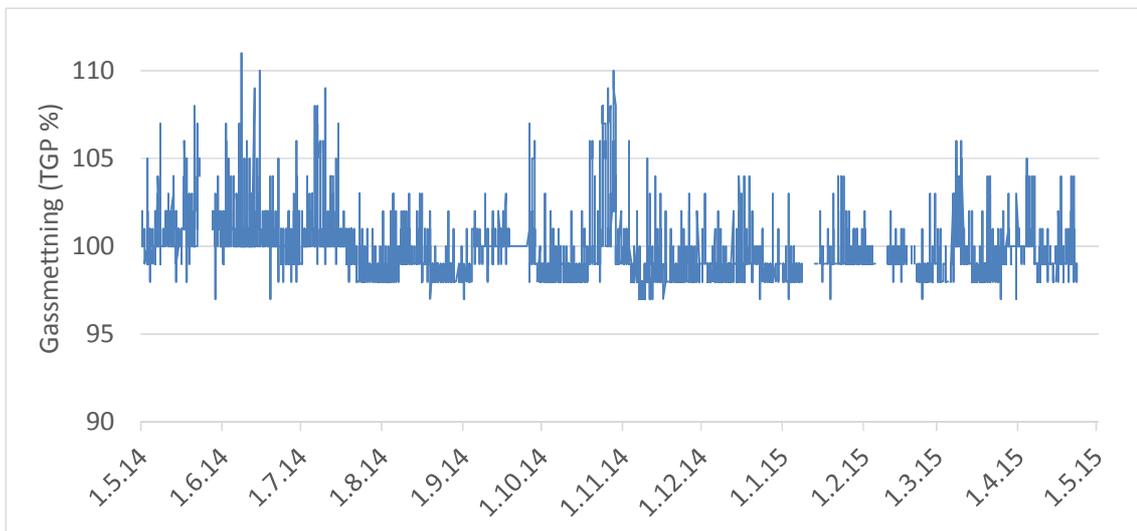
Kvåle kraftverk ligger i Luster kommune (Sogn og Fjordane) og har vært i drift siden 2009. Vanninntaket ligger i et oppdemmet elvemagasin i Dalsdalselvi i Luster (vassdragsnr. 075.5A1). Brutto fallhøyde er 112 m. Maks. ytelse 4,6 MW med to Francis turbiner ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no)), i praksis leverer maskinene 5 MW sammen. Omløpsventilen var innstilt slik at den åpnet seg mens hovedventilen ble lukket ved kraftverksstopp (ca. 100 s). Deretter skulle omløpsventilene levere gradvis mindre vann i 4 minutter (pers. medd., Luster Kraft AS).



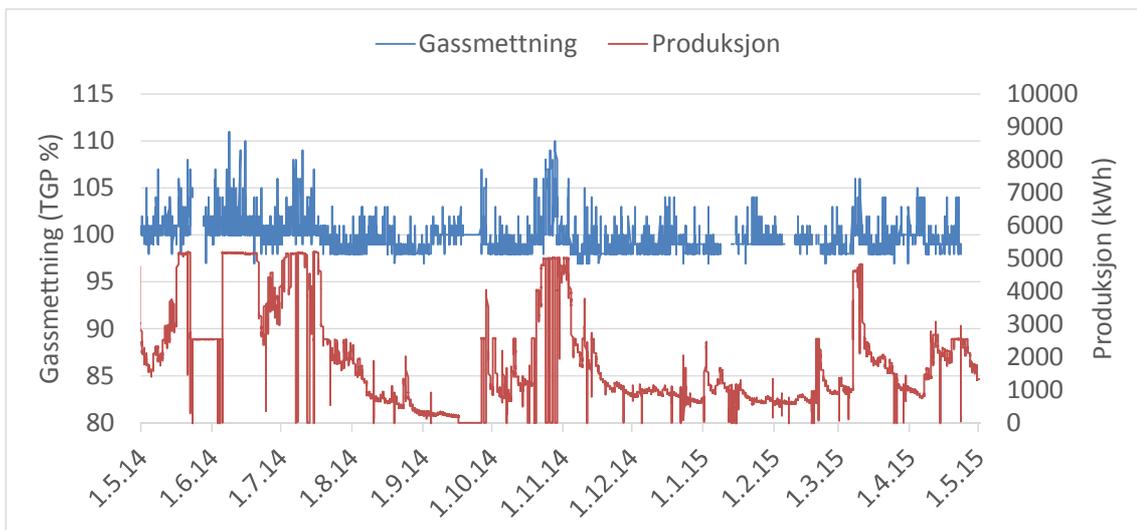
Figur 12 Kvåle kraftverk i Luster kommune ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no))

### 3.2.1 Varighetsovervåking

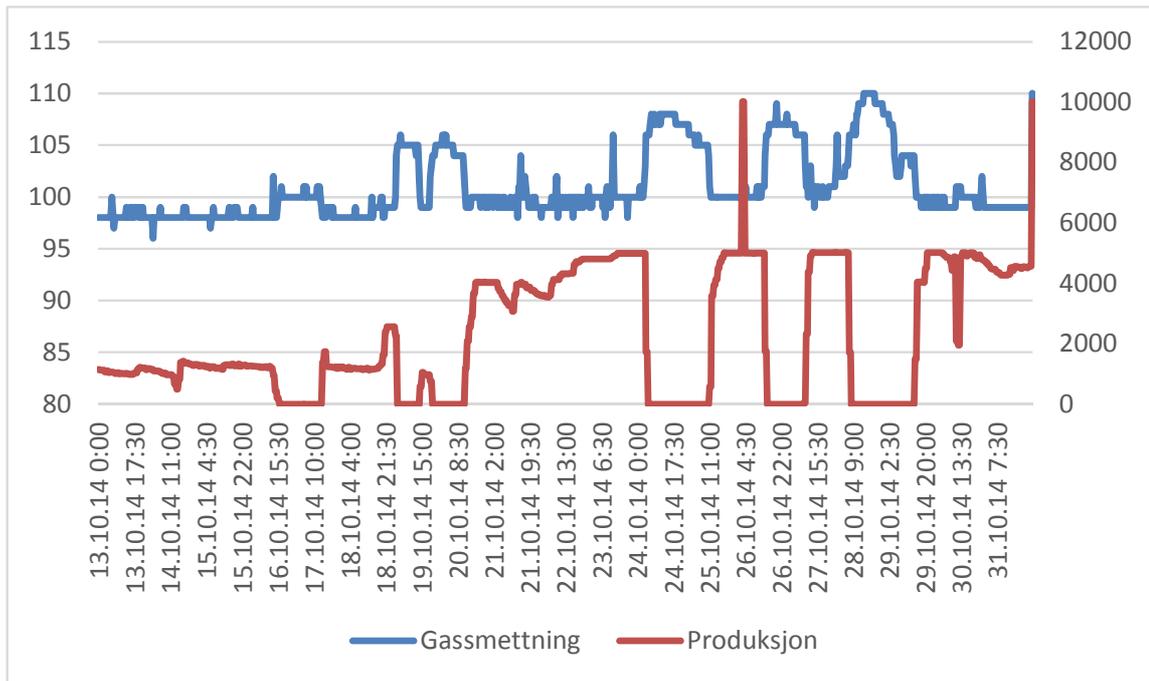
Gassmetningen i kraftverksutløpet varierte mellom 97 % og 111 % TGP i tidsrommet 1.5.2014 til 23.04.2015 (Figur 13). Vanligvis var gassmetningen 99 % (median) ved  $\pm 1$  % målenøyaktighet. I 3,1 % av tiden var verdiene større enn 103 % TGP. Gjennomsnittlig andel O<sub>2</sub> var 38,7 %, N<sub>2</sub> 61,4 %. Det finnes ikke noe tydelig årsmønster i gassmetningskurven, men om vinteren kan det se ut som om verdiene varierer med lavere amplitude (95-104 %). Legger vi til produksjonskurven fra kraftverket parallellt med driftsvannføringen (Figur 14 og Figur 15), så ser vi at gassmetningskurven ikke følger kraftproduksjonen. En statistisk analyse (lineær korrelasjon) viser ingen sammenheng. Maksimale gassmetningsverdier oppnås delvis i perioder når kraftverket står stille (Figur 15).



Figur 13 Gassmetning (TGP) i prosent i utløpet av Kvåle kraftverk 1.5. 14 til 23.4. 2015



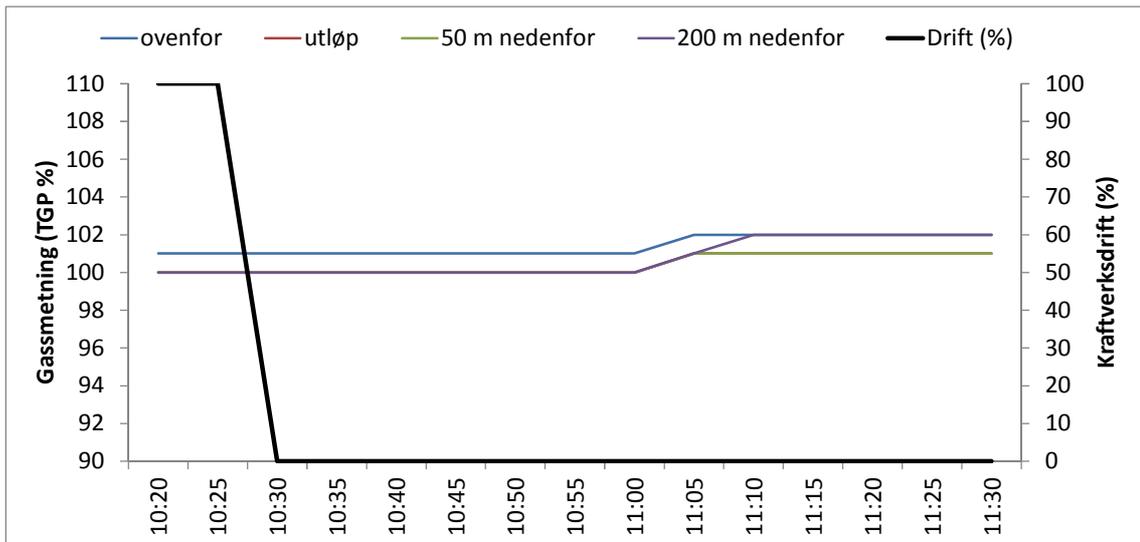
Figur 14 Gassmetning (TGP) i prosent og kraftproduksjon (kWh) i utløpet av Kvåle kraftverk



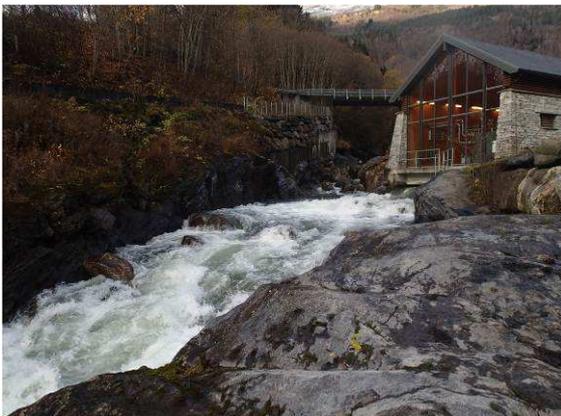
Figur 15 Gassmetning (TGP) i prosent og kraftproduksjon (kWh) i utløpet av Kvåle kraftverk 1.10.14 til 30.10.14

### 3.2.2 Testkjøring

Den 30.10.2014 ble det gjennomført en testkjøring med nødstop og bruk av omløpsventil. Vannet begynte umiddelbart å renne fra omløpsventilen etter nødstoppen, og ventilen leverte vann i 3 minutter og 30 sekunder. Deretter var det lite vann i elveløpet, bare tilsig fra restfeltet. Det tok ca. 30 min før vannet fra demningen (inntak) hadde nådd kraftverksutløpet. Deretter var vannføringen nedenfor kraftverket ca. som før nødstoppen. Gassmetningen ved og nedenfor kraftverket lå på ca. 100 % TGP i begynnelsen, og på 101 % ovenfor. Ved nødstoppen og rett etterpå skjedde det ingen endring nedenfor kraftverket. Etter ca. 30 min gikk verdiene litt opp (1-2 %). Dette falt sammen med ankomsten av vannet fra elveløpet i restfeltet. Ovenfor kraftverket økte gassmetningen fra 101 % til 102 omtrent samtidig.



Figur 16 Gassmetning ovenfor og nedenfor utløpet ved nødstop i Kvåle kraftverk den 30.10.2014



Figur 17 Dalsdalselvi og Kvåle kraftverk kl. 10:20 den 30.10.2014



Figur 18 Kraftverket går på 100 % og leverer ca. 5 MW (tilsvarende ca. 5 m<sup>3</sup>/s)



Figur 19 Steinar Listou fra Luster kraft rett før han stopper kraftverket med den røde nødstopknappen kl. 10:30.



Figur 20 Omløpsventil (til venstre) og hovedventil (til høyre)



Figur 21 Klokken 10:30-10:33: Kraftutløpet rett etter nødstop. Turbinene står, hovedventilen er stengt og omløpsventilen leverer vann.



Figur 22 Klokken 10:34-11:05: Omløpsventilen leverer ikke lengre vann. Vannføringen nedenfor kraftverket stammer nå bare fra resttilsiget i gamle elveløpet opp mot inntakسدemming, deler av elvebunn blir tørrlagt.



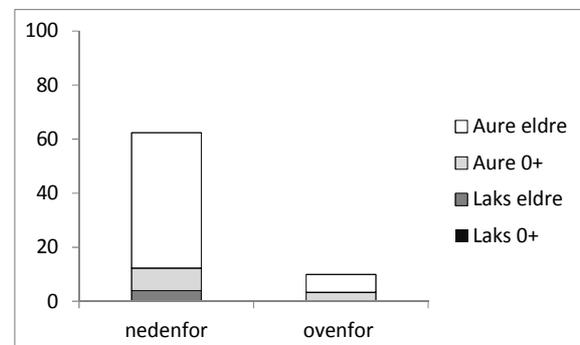
Figur 23 Klokken 11:05-11:30: Vannet renner over inntakسدemmingen, ned restfeltet og har kommet fram til kraftutløpet



Figur 24 Ørret og laks fanget nedenfor Kvåle Kraftverk



Figur 25 Bildet er tatt den 28. 10. 2014 og viser situasjonen ved flom. Kraftverket står og vannet renner i det gamle elveleiet (foto: Steinar Listou, Luster kraft). Gassloggeren viste 110 % TGP.



Figur 26 Ungfisktettheter ved Kvåle kraftverk 30.10.2014

### 3.2.3 Ungfiskdata

El-fiske ble gjennomført den 30.10.2014 i restfeltet rett ovenfor kraftstasjonen, i stryket ved kraftstasjonen, og fra 40 m til 100 m nedenfor kraftstasjonen (Figur 26). Strekingen nedenfor kraftverket ble fisket da vannstanden var senket mellom klokken 10:35 og 11:05. Det ble funnet 4 ungfisk av laks pr. 100 m<sup>2</sup>, og 58 ungfisk av aure pr. 100 m<sup>2</sup> nedenfor kraftverket. Ovenfor ble det tatt 10 aure pr. 100 m<sup>2</sup>. Eldre ungfisk dominerte, og det ble bare tatt 8 0+ aurer nedenfor og 2 0+ aurer ovenfor kraftverket (fisk under 8 cm). Fisken ble lengdemålt og satt levende tilbake. Det ble ikke observert strandet, død eller skadet fisk.

### 3.2.4 Diskusjon

#### **Vanlig kraftverksdrift og gassmetning**

Det ble funnet moderate gassovermetningsverdier i Dalsdalselvi (97 – 111 %, median 99 % ved  $\pm 1$  % målenøyaktighet). O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> forholdet er som forventet i oppløst luft, N<sub>2</sub> dominerer og med dette er det potensiell fare for fisk. Gassmetningen så ut til å øke i perioder med høy kraftproduksjon (Figur 14). Ser man nærmere på det blir det imidlertid tydelig at gassmetningen er høyest når kraftverket har stoppet (Figur 15). Kraftproduksjon og gassmetning er ikke korrelert. Resultatene kan forklares med at overmetningen oppstår naturlig i juvet i restfeltet. Når det er mye vann i elveløpet i restfeltet er det høy gassovermetningen uansett om kraftverket går eller ikke. Når kraftverket er stoppet grunnet flom går alt vannet i det bratte elveløpet i restfeltet, og de høyeste gassmetningsverdiene oppstår. Dette kan forklares med at det finnes mange fosser som pisker inn luft, og dype holer som har stor nok hydrostatisk trykk for å løse luftboblene under trykk. Lignende forhold er beskrevet i Blindheim et al. (1984). Også egne målinger fra Vosso (ikke publisert) har vist lignende verdier på grunn av naturlig innpisking av luft i dype elvestrekninger. Også testkjøringen tyder på dette. Etter at kraftverket ble stoppet var gassmetningsverdiene like lave (100-101 %), men da vannet kom fra restfeltet økte verdiene med 1-2 %. Figur 25 viser at det er mye luft i vannet som renner gjennom juvet i restfeltet ved flom. Kommer denne luften under trykk i dypere elvepartier vil det oppstå gassovermetning. Da bildet ble tatt logget vi 110 % TGP. Gassovermetningen er derfor sannsynligvis naturlig. Kraftverket bidrar trolig til å redusere den samlede eksponeringen av overmettet vann for fisk i nedre Dalsdalselvi, siden det sørger for at det renner mindre vann gjennom juvet. På den andre siden kjøres kraftverket delvis med raske produksjonsendringer, noe som vil føre til raske vannførings- og gassmetningsendringer.

Undermetningen (97-99 %) kan forklares med 112 m høydeforskjell i kraftverket. Perioder med undermetning sammenfaller med middels og lav produksjon i kraftverket. I slike perioder er det lite vann i restfeltet. Vannet som går gjennom turbinene har falt 112 m, og hvis det var 100 % mettet oppe så må man regne med 1,5 % undermetning grunnet adiabatiske trykkforskjeller (ca. 1 hPa per 8 m høydeforskjell).

Gassovermetning som i Dalsdalselvi kan i følge Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) ha effekter på fisk i grunne vassdrag. Fisk kan for eksempel kompensere for 111 % på ca. 1,1 m vanddyp, og 105 % på 50 cm vanddyp. Siden overmetningstoppene ser ut til å falle sammen med mye vann i elven, og er av relativ kort varighet, antar vi at fisk kan kompensere for dette ved elvebunnen. Likevel må det regnes med at fisk kan endre atferd i grunne habitater, og at disse derfor kan være mindre produktive enn det de kunne vært uten gassovermetning.

### **Nødstopp og omløpsventil**

Det fantes ingen tegn at nødstoppen eller omløpsventilen førte til gassovermetning. Men omløpsventilen leverte bare vann i ca. 3 minutter og 30 sekunder. Det tok ca. 30 minutter inntil vannet kom fram gjennom det gamle elveløpet i restfeltet. Omløpsventilen dempet altså bare 10 % av denne perioden. Kraftverksstopp kan med dette føre til delvis tørrlegging av elvearealet nedenfor i perioder, særlig når vannføring i restfeltet er lav.

### **Ungfisk**

Tettheten av ungfisk rett ovenfor kraftverket var relativt lave (10 pr. 100 m<sup>2</sup>) sammenlignet med lignende elver (Pulg et al. 2011, Barlaup et al. 2015). Nedenfor kraftverket var tetthetene høyere (58 pr. 100 m<sup>2</sup>), men fortsatt blant det laveste som er funnet i lignende elver. Dette kan delvis forklares med habitatforholdene (utrettet bratt stryk, store stein og trolig lite til moderat med skjul). Ovenfor kraftverket begynner det bratte juvet, og elvebunnen her er dominert av fjell med lite skjul og gytemuligheter. Dessuten er juvet vandringsbarriere for anadrom fisk. Ut i fra befaringen regnes det med at fisk kan svømme ca. 100-200 m forbi kraftverket, men ut fra elvens gradient (i følge kartgrunnlag > 10 %) kan det ikke forventes mange gyteplasser eller produktive ungfiskhabitater her. Også den naturlige gassovermetningen kan spille inn, for eksempel ved at ungfisk unngår grunne habitater og bruker et mindre habitat enn elvearealet tilsier. Dessuten kan perioder med lite vann føre til redusert ungfiskproduksjon.

### 3.3 Rasdalen kraftverk

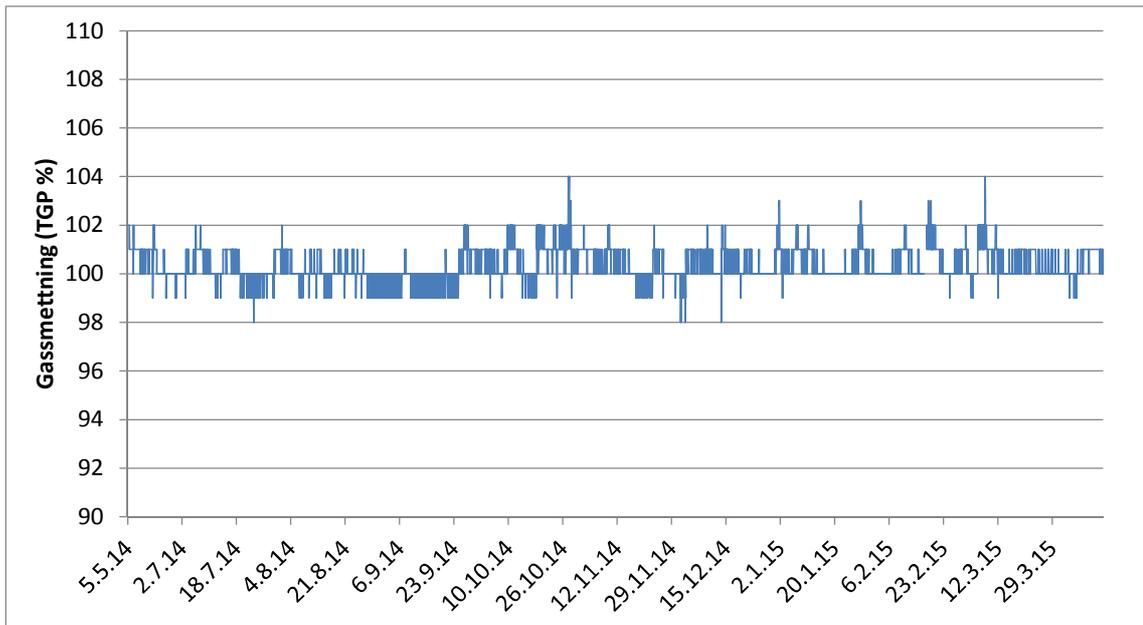
Rasdalen kraftverk ligger i Voss kommune (Hordaland, Figur 27) og har vært i drift siden 2009. Vanninntaket ligger i et oppdemmet elvemagasin i Rasdalselva (vassdragsnr. 062.A1A). Rasdalselva er anadrom og munner ut i Bolstadelva, den nedre delen av Vossovassdraget. Brutto fallhøyde i kraftverket er 280 m. Maks. ytelse er 5,2 MW med en Pelton turbin (maks. 2,2 m<sup>3</sup>/s). Omløpsventilen (VAG Rico) var innstilt slik at den leverte 50 % av driftsvannføringen umiddelbart ved kraftverksstans. Deretter skulle den lukkes gradvis i løpet av 10 minutter. ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no) og pers. meddelelse Småkraft).



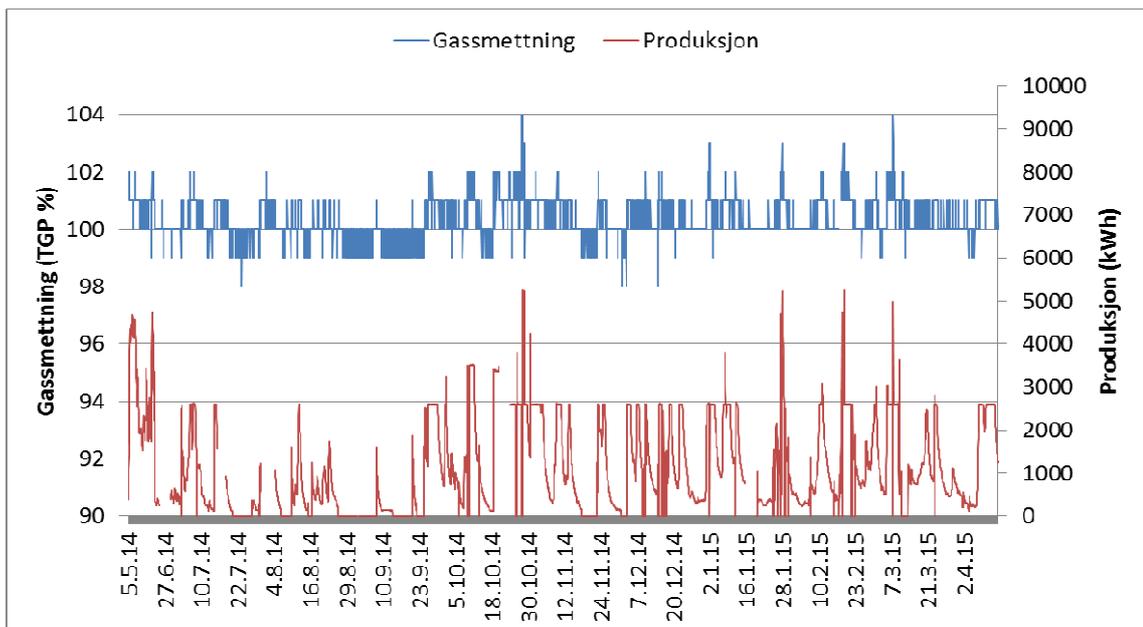
Figur 27 Rasdalen kraftverk i Voss kommune ([www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no))

#### 3.3.1 Varighetsovervåking

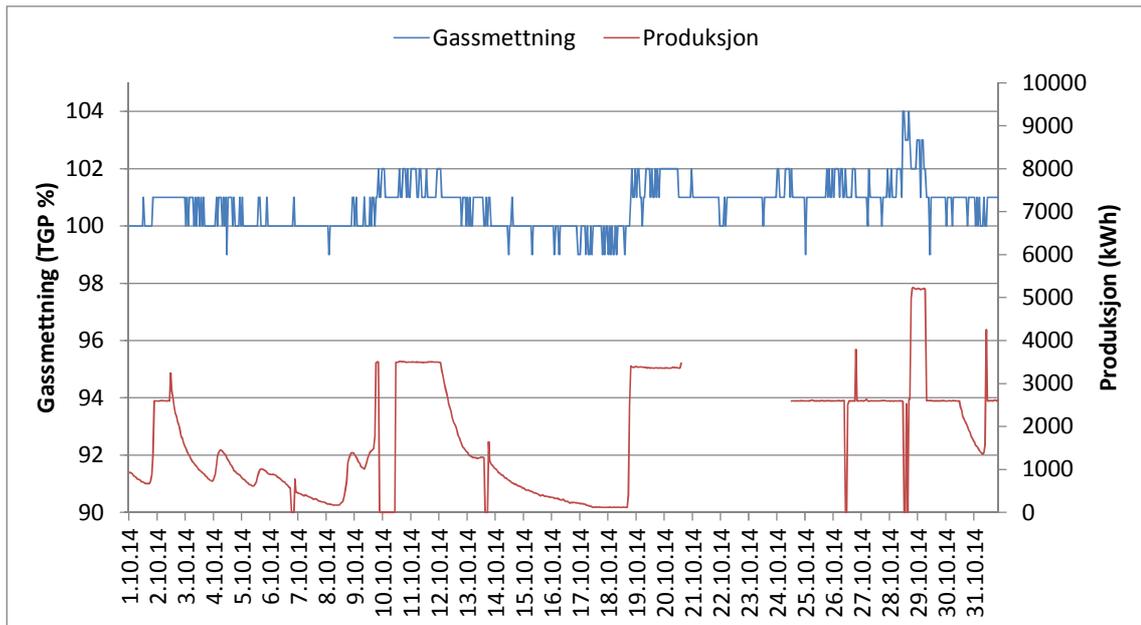
Gassmetningen i kraftverksutløp varierte mellom 98 % og 104 % TGP i tidsrommet 5.5.2014 - 14.04.2015 (Figur 28). Vanligvis var gassmetningen 100 % (median) ved  $\pm 1$  % målenøyaktighet. I 0,6 % av tiden var verdiene større enn 103 % TGP. Gjennomsnittlig andel O<sub>2</sub> var 37,3 %, N<sub>2</sub> 62,7 %. Det finnes ikke noe tydelig mønster i gassmetningskurven gjennom året. Legger vi til produksjonskurven fra kraftverket parallelt med driftsvannføringen (Figur 29 og Figur 30) ser vi at gassmetningskurven følger kraftproduksjonen. En statistisk analyse (lineær korrelasjon, Figur 31) viser en signifikant sammenheng ( $R^2 = 0,62$ ;  $p < 0,001$ ) mellom gassmetning og driftsvannføring.



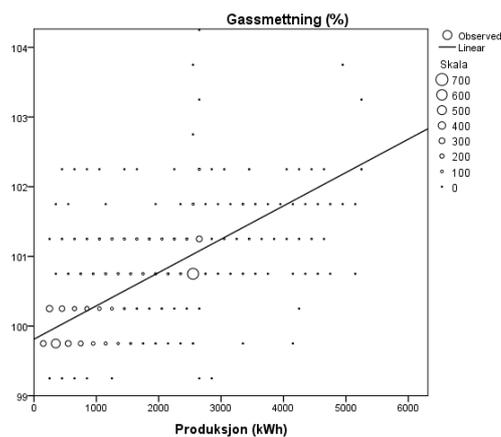
Figur 28 Gassmetning (TGP) i prosent i utløpet av Rasdalen kraftverk 5.5.2014 til 14.4.2015



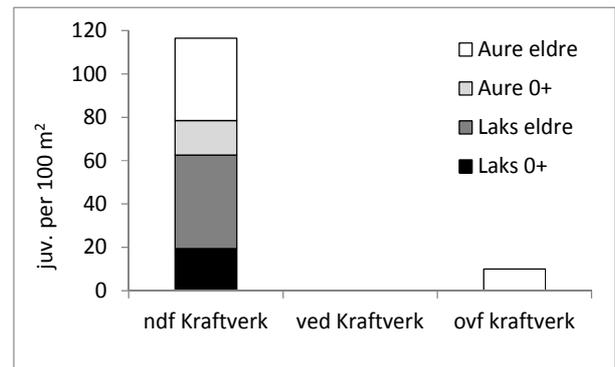
Figur 29 Gassmetning (TGP) i prosent og kraftproduksjon (kWh) i Kvåle kraftverk 5.05.2014 – 14.04.2015



Figur 30 Gassmetning (TGP) i prosent og kraftproduksjon (kWh) i utløp av Rasdalen kraftverk 1.10.2014 til 31.10.14



Figur 31 Lineær korrelasjon mellom produksjon i Rasdalen kraftverk og gassmetning i overvåkingsrommet ( $R^2=0,62$ ,  $p < 0,001$ )

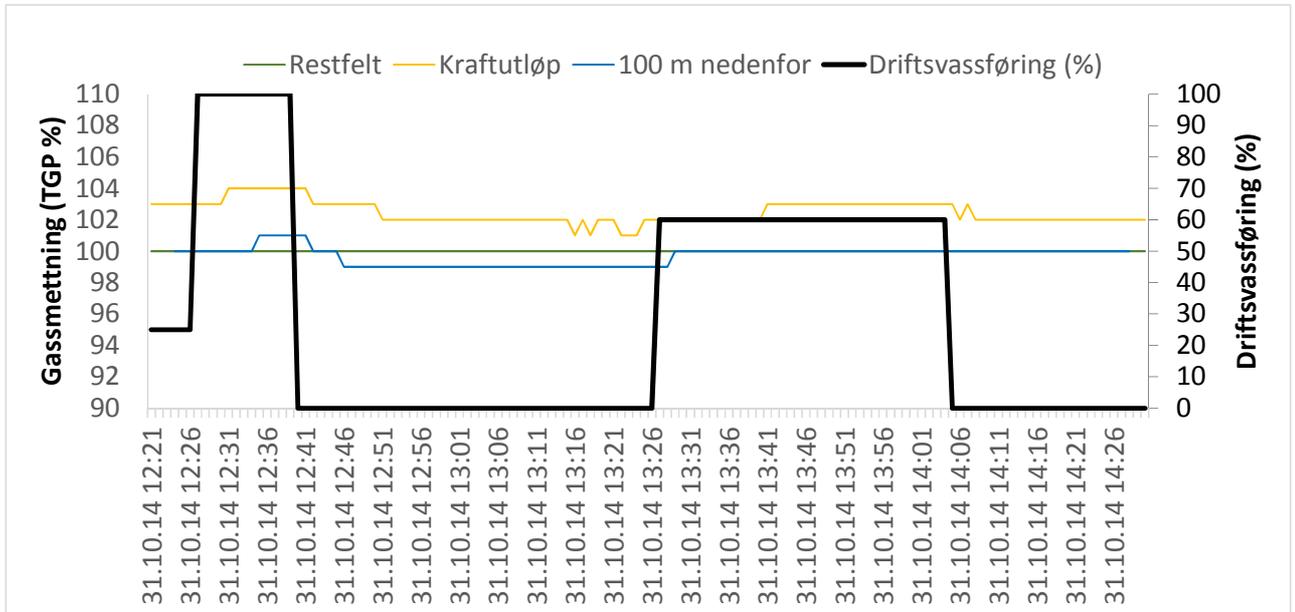


Figur 32 Ungfisktettheter ved Rasdalen kraftverk 31.10.2014

### 3.3.2 Testkjøring

Den 31.10.2014 ble det gjennomført en testkjøring med nødstop og bruk av omløpsventil. Vann begynte umiddelbart å renne fra omløpsventilen etter nødstoppen, og ventilen leverte vann i ca. 9 minutter. Deretter var det lite vann i elveløpet, bare tilsig fra restfeltet. Det tok ca. 30 min før vannet fra demningen (inntaket) hadde nådd kraftverksutløpet gjennom det gamle elveløpet. Deretter var vannføringen nedenfor kraftverket ca. som før nødstoppen.

Gassmetningen ovenfor kraftverket var 100 % TGP i hele testperioden. I kraftutløpet var det 103 % ved ca. 30 % drift, og verdien økte til 104 % da kraftverket ble kjørt opp til 100 %. Rett etter nødstoppen gikk verdien ned til 101 %. Da kraftverket ble kjørt på 60 % (klokken 13:26-14:06) observerte vi en liten økning i gassmetningen med 1 %. Loggeren 100 m nedenfor fulgte denne kurven, men amplituden var dempet (99 - 101 %).



Figur 1: Gassmetning ovenfor og nedenfor ved nødstop i kraftverket den 31.10.2014



Figur 33 Utløpet av Rasdalen kraftverk ved 100 % drift, kl. 12:30, 31.10.2014



Figur 34 Jan Rasdal stopper kraftverket kl. 12:39



Figur 35 Klokken 12:40-12:49: Kraftutløpet etter nødstop. Turbinene står, hovedventilen er stengt og omløpsventilen leverer vann.



Figur 36 Klokken 12:49-13:15: Omløpsventilen leverer knapt vann. Vannføringen nedenfor kraftverket stammer nå bare fra tilsiget i det gamle elveløpet opp mot inntaksdemningen, deler av elvebunn er tørrlagt.



Figur 37 Klokken 13:16: Vannet har rent over inntaksdemningen, nedover elveløpet i restfeltet, og har kommet fram til kraftutløpet



Figur 38 Juvenil laks ved den midlertidige gassloggeren 100 m nedenfor kraftverket.

### 3.3.3 Ungfiskdata

El-fiske ble gjennomført den 31.10.2014 i restfeltet rett ovenfor kraftstasjonen, ved kraftstasjonen og nedenfor kraftstasjonen (nedenfor veibroen og 50 m ned). Strekningen nedenfor kraftverket ble fisket da vannstanden var senket rundt kl. 13:00. Der ble det fanget 63 ungfisk av laks, 20 0+ og 43 eldre ungfisk, 54 ungfisk av aure (16 0+ og 38 eldre ungfisk, se Figur 32), og dessuten 3 blenkjer av aure med lengde mellom 21 og 24 cm (alle tetthetstall per 100 m<sup>2</sup>). Ved kraftverket ble det ikke tatt noe fisk. Ovenfor ble det registrert 10 eldre ungfisk av aure. Fisk under 8 cm ble kategorisert som 0+, fisk mellom 8 og 20 cm som eldre ungfisk. Fiskene ble lengdemålt og satt levende tilbake. Det ble ikke observert død, strandet eller skadet fisk.

### 3.3.4 Diskusjon

#### **Vanlig kraftverksdrift og gassmetning**

Det ble registrert lav gassovermetning ved Rasdalen kraftverk (98-104 %, median 100 % ved  $\pm 1$  % målenøyaktighet). O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> forholdet var som forventet i oppløst luft, N<sub>2</sub> dominerer og det er en potensiell fare for fisk. Gassmetningen øker og synker med kraftproduksjonen, og begge variablene er godt korrelert med hverandre. Årsaken til gassovermetning er ofte innsuging av luft i kraftverksinntak, særlig bekkeinntak (Blindheim et al. 1984). Rasdalen kraftverk har imidlertid et dykket inntak i et oppdemmet elveparti. Dette gjør det lite sannsynlig at luft suges inn. Likevel kan det ikke utelukkes at luft trekkes inn (virvel), og at ikke alt overtrykket luftes ut av Pelton turbinen (Golmen 1992). Langt mer sannsynlig er det imidlertid at luftbobler løser seg i vannet i kraftverksutløpet. Plasseringen av Pelton turbinen medfører lufting og luftbobler i vannet nedenfor. Dras boblene med ned i dypere vann, er 40-50 cm dyp og stor luftmengde nok til 104 % TGP. Gassovermetning ved Rasdalen kraftverk ligger hovedsakelig innenfor rammene som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) anbefaler for grunne elver (< 103 %). 104 % ble målt, men disse toppene var svært kortvarige. Fisk kan kompensere overmetning på 104 % på ca. 0,4 m vanddyb. Slike dyp finnes i kulpene nedenfor kraftverket, men ikke rett ved kraftverket der dybden er 10-20 cm. Høye ungfisktettheter nedenfor, og ingen fisk rett ved kraftverket, kan tyde på at ungfisk unngår overmetningen her ved å gå litt lengre nedover der elven er dypere. Her spiller imidlertid også fysiske habitatfaktorer inn. Stryket ved kraftverket gir mindre skjul og er mer utsatt for vannstandsendringer enn de dypere partiene nedenfor broen.

#### **Nødstop og omløpsventil**

Det fantes ingen tegn at nødstoppen eller omløpsventilen har ført til gassovermetning. Økning av kraftproduksjon førte imidlertid til en liten økning. Omløpsventilen leverte vann i ca. 9 minutter. Inntil vannet kom fram gjennom det gamle elveløpet i restfeltet tok det ca. 30 minutter. Omløpsventilen dempet altså bare 30 % av denne perioden. Kraftverksstopp kan derfor føre til delvis tørrlegging av elvearealet nedenfor i perioder, særlig når vannføring i restfeltet er lav.

#### **Ungfisk**

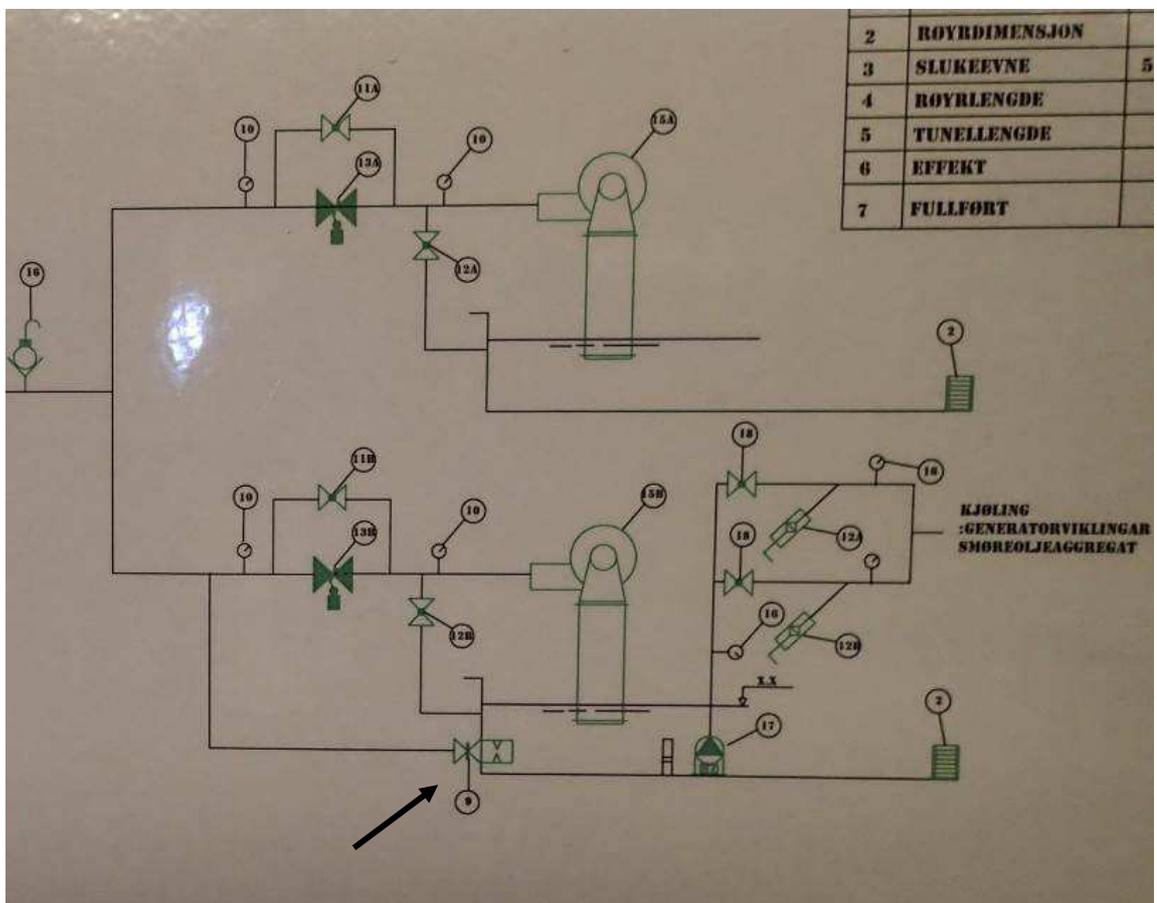
Tettheten av ungfisk (Figur 32) rett ovenfor kraftverket var relativt lav (10 eldre ungfiskav aure pr. 100 m<sup>2</sup>). Dette kan forklares som følge av habitatforholdene. Elven er meget bratt ovenfor kraftverket (> 10 %), har redusert vannføring, og går over i et fossestryk med vandringsbarrierer. Ved kraftverket fantes det ikke fisk selv om det var gode fysiske

habitatforhold med mange rullestein og tilsynelatende mye skjul. Nedenfor kraftverket var tetthetene større (116 pr. 100 m<sup>2</sup>), og på nivå med lignende, uregulerte elver (Pulg et al. 2011, Barlaup et al. 2015).

Gassovermetning kan føre til at ungfisk unngår grunne habitater rett ved kraftverket. Gassmetningsverdiene i Rasdalen var imidlertid lave, og det er mer sannsynlig at fiskene unngikk dette området grunnet senkingen av vannstanden (det ble fisket etter senkingen). Stranding kan heller ikke utelukkes når deler av elvebunnen blir tørrlagt i løpet av minutter. Ved testkjøringen ble det ikke oppdaget strandet fisk. Delvis tørrlegging kan også finne sted ved kraftverksstopp siden omløpsventilen bare leverer vann i noen minutter, og ikke i hele perioden til vannet kommer ned gjennom restfeltet. Dette gjelder trolig i varierende grad for hele elven nedenfor til utløpet i Bolstadelva. Strekningen det ble fisket på hadde dype kulper som sikret en tilstrekkelig vannstand.

## 4 Omløpsventiler og gassovermetning

Bruk av omløpsventil har ikke i noen av tilfellene ført til målbar gassovermetning. I følge kraftverksmedarbeiderne som gjennomførte testkjøringene sammen med oss, var omløpsventilene koblet slik at de ble åpnet automatisk når kraftverket ble stoppet mens hovedventilen ble stengt. Med dette kunne luft som eventuelt var i rørene og i selve omløpsventilen slippe ut umiddelbart, og det kunne derfor ikke forekomme at en blanding av luft og vann ble satt under trykk over tid. Holdes utløpsventilen stengt en periode vil det imidlertid kunne oppstå et betydelig overtrykk (tilsvarende fallhøyden i kraftverket) når omløpsventilen fylles med vann. Er det luft i systemet da vil det føre til gassovermettet vann når vannet slippes ut. Men dette var ikke tilfelle hos de undersøkte omløpsventilene og de gitte ventilinnstillingene.



Figur 39 Koblingskjema på Kvåle kraftverk. Vannet ble ledet forbi hovedventilen via ledningen (9, pil). Ventilen der kalles ikke omløpsventil på skjemaet men «energidreper

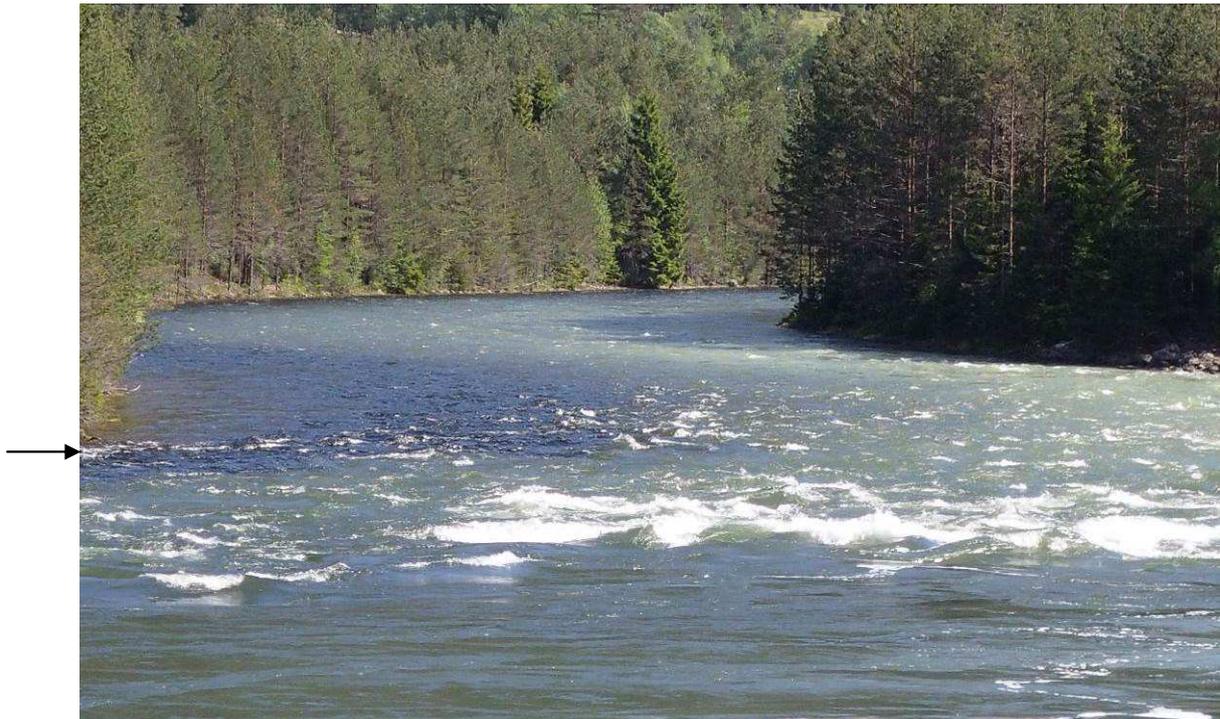
## 5 Erfaringer i andre vassdrag

I de siste 5 årene har vi overvåket gassmetning med varighetsloggere i følgende vassdrag: Otra, Modalselva, Matreelva, Vosso, Vetlefjordselva, Dalsdalselvi, Hopselva, og Rasdalselva. I tillegg kommer mange stikkprøver og kortvarige målinger i en rekke elver. Blant dem er Apeltunelva (100-101 % TGP), Steinsvikelva (100-101 %), Bjoreio (101 %) og Pollelva (100-101 %). I de fleste tilfellene ligger gassmetningsverdiene mellom 98 % og 103% TGP i naturlige elver. Ved flom har vi målt opptil 111 % TGP i dype elver med mye luftinnblanding, dvs. elver med holer som sannsynligvis var flere meter dyp (Vosso, Dalsdalselva). Disse vassdragene har fisk som ikke ser ut å være skadet av slike gassmetninger. Dette kan forklares med at det finnes store områder som er tilstrekkelig dype når det er flom og slike gassmetningsverdier. Fiskene har altså mange muligheter å kompensere for overtrykket. 1,1 m er nok for å kompensere 111 % TGP. Dessuten er flomepisoder tidsbegrenset og ved medianvannføring pleier gassmetningsverdiene å ligge lavere. Det er imidlertid sannsynlig at også naturlig gassovermetning har effekter på fisk og deres habitatbruk og atferd, spesielt når overmettet vann fra dypere elvepartier treffer på grunnere partier. Dessverre finnes det lite kunnskap om virkningene av slike subletale doser.

I alle de undersøkte elvene med varighetslogging har vi funnet perioder med gassovermetning. I 6 av 8 elver var overmetningen knyttet til kraftverksdrift, og betraktes som kunstig i perioder. I 3 av de 8 elvene oppnådde overmetningen nivåer som var akutt farlig for fisk (fra 110 % til 171 % TGP). Det ble observert fiskedød (Matreelva og Otra), og lave ungfisktettheter på utsatte strekninger, til og med nærmest fiskefrie soner som virket som midlertidige vandringsbarrierer (Otra). I to elver (Vetlefjordelva, Vosso) var det kunstig overmetning men den var lav til moderat, dvs. ikke akutt dødelig for fisk. Ut i fra litteraturen er det sannsynlig at slike verdier kan ha subletale effekter som virker for eksempel på fiskenes habitatbruk. Til forskjell fra naturlig overmetning var den kunstige overmetningen langvarig, og den var også til stede ved lave og middelstore vannføringer. Det finnes imidlertid for lite kunnskap til å kunne vurdere effekter av subletale doser i naturen. Det forblir derfor usikkert hvilken effekt dette kan ha på fisk i elver.

I de to resterende elvene var overmetningen så lav at det ikke regnes med effekter på fisk (hovedsakelig under eller ved 103 % TGP - Rasdalselva, Hopselva).

Gassovermetning kan transporteres langt. I Otra rammes sannsynligvis minst 21 km elv av kunstig overmettet vann. Også fra litteraturen er lange transportdistanser kjent.



Figur 40 Bildet viser overmettet og blakket vann i Otra ved utløp Brokke kraftverk (28.05.2014). Vannet fra restfeltet er ikke overmettet (100 % metning) og er klart og mørkt (pil) mens vannet fra kraftverket er overmettet (166 % TGP) og blakket (gråhvitt). Blakkingen oppstår på grunn av mange små bobler – luft på vei ut av vannet. Årsak til overmetninger mest sannsynlig luft som dras inn i bekkeinntak.



Figur 41 Bildet er tatt under vann 1,2 km nedenfor utløp Brokke (04.10.2012) og viser masse små gassbobler i blakket vann som hadde en gassmetning på 141 %.

### **Årsaker til gassovermetning**

I Modalselva og Otra var det mest sannsynlig underdimensjonerte bekkeinntak som drar med seg luft når vannføringen i bekkeinntaket stiger over visse verdier. I Matreelva var det periodiske tilstoppinger av en rist ved et kraftinntak i et magasin som førte til overmetningen. I Vetlefjordselva, Vosso og Rasdalselva har overmetningen sannsynligvis oppstått i relativ dype kraftverksutløp, der innpisket luft settes under hydrostatisk trykk etter passering av Pelton turbiner. Denne hypotesen er enda ikke ferdig testet, men lave til moderate overmetninger (101-105 %) har ofte blitt observert i kraftutløp når kraftverkene var i drift, uten at det finnes andre sannsynlige forklaringer enn luftinnblanding etter turbinpassering (Tveitofoss kraftverk, Hellandsfossen kraftverk I og II).

### **Tiltak for å unngå gassovermetning**

Hovedprinsippet for å unngå gassovermetning bør være å unngå innblanding av luft. Har overmetningen først oppstått er det vanskelig å få kvitt den før den har rammet flere kilometer med elv. Dessuten er innblandet luft heller ikke ønskelig for det tekniske kraftverksanlegget. Den kan føre til utblåsninger og økt slitasje på turbiner, luker og ventiler.

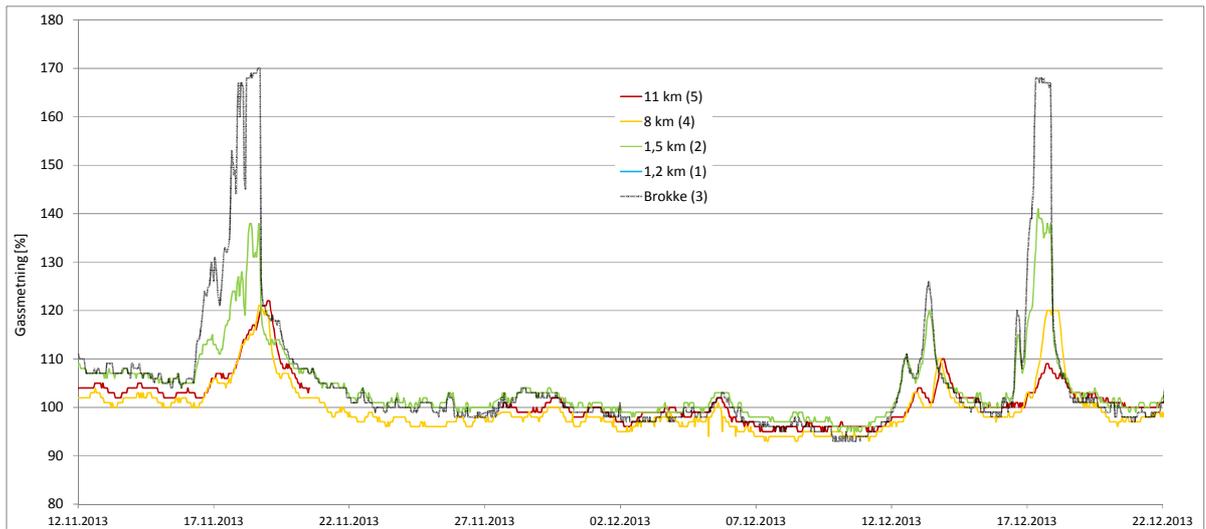
Med tilstrekkelig dimensjonering av bekkeinntak, vakuuminntak, dykkete magasininntak som ikke kan trekke inn luft (direkte eller med virvler), og rene inntaksrister (ristrensker) kan risikoen for innsuging av luft minimeres.

Relative grunne kraftutløp (heller bred enn dyp) vil kunne bidra til å redusere overmetning som oppstår gjennom luftinnblanding etter turbinpasseringen. Dette bør imidlertid undersøkes nærmere siden effektene av slike ofte lave og subletale overmetninger ikke er godt nok kjent.

I eksisterende anlegg kan problematiske bekkeinntak identifiseres og modifiseres til vakuuminntak eller strupes. En strupingstest er planlagt for Modalselva, der ett av to bekkeinntak ble identifisert som luftkilde. Inntaket skal strupes slik at luft ikke rives med ned i kraftverkstunellen. Modellene våre tyder på at gassovermetning kan unngås på denne måten.

I Matreelva ble det satt opp en automatisk ristrensker ved Hommelfoss kraftverk. Med dette ble innsuging av luft unngått, og gassovermetningen nedenfor kraftverket redusert til ikke skadelige verdier.

I Otra skal bekkeinntakene som er luftkilde identifiseres og eventuelle tiltak vurderes.



Figur 42 Gassmetningsforløp i Otra nedenfor Brokke 12.11. – 22.12. 2013, en periode som viser typiske forløp av gassovermetningsbølger fra Brokke og nedover til Tjurrmodammen. Senere målinger har vist at overmetningen transporteres gjennom kraftverk Hekni, totalt minst 21 km.

## 6 Konklusjoner

2014 til 2015 ble gassmetning overvåket nedenfor tre småkraftverk på Vestlandet. Det ble funnet gassovermetning ved alle de tre undersøkte småkraftverkene. Verdiene var lave til moderate. Normalt lå gassmetningen mellom 99 % og 102 % TGP (medianverdi), maksimalverdien var 111 % TGP. Denne maksimalverdien ble sannsynligvis forårsaket av naturlig innblanding av luft i en flomsituasjon med store vanddyb i et trangt og bratt juv, og var kortvarig (Dalsdalselva, Luster). Kraftverket var stengt ned i det tidsrommet. Maksimalverdiene i de andre kraftverkene var 104 % (Rasdalselva, Voss) og 105 % (Hopselva, Fusa). Også disse verdiene var kortvarige, men knyttet til kraftverksdrift. I Hopselva kan også luftinnblanding ved flom i restfeltet ha bidratt til overmetningen, men i Rasdalselva stammer overmetningen trolig bare fra kraftverksdriften. Mest sannsynlig er det at luftinnblanding i kraftutløpet etter turbinpasseringen forårsaket disse lave til moderate verdiene.

Oftest var gassmetningverdiene under 103 % TGP som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) anbefaler som grenseverdi for fisk i grunne elver med vanddyb under 1 m. Maksimalverdiene var større enn dette, men sammenfaller med høy vannføring enten fra restfeltet eller kraftverksdrift. Ved høy vannføring er det større vanddyb i elvene, og større muligheter for å kompensere for overmetning. Verdier mellom 104 og 111 % kan kompenseres for i dyp mellom 40 og 110 cm. Slike vanddyb var sannsynligvis hyppig til stede ved høy vannføring, og siden overmetningsperiodene var kortvarige og sammenfalt med høy vannføring regner vi ikke med vesentlige effekter av gassovermetning på fiskebestandene i de undersøkte elvene. Det er imidlertid sannsynlig at gassovermetningen har effekter på fiskens atferd og habitatbruk i perioder med overmetning, for eksempel at de bruker grunne områder i mindre grad. Dette gjelder særlig i Dalsdalselva.

Stopp av kraftverk med bruk av omløpsventiler har ikke ført til målbar gassovermetning. Dette forklares med at omløpsventilene ble åpnet med en gang hovedventilen ble stengt. Siden ventilen var åpen kunne eventuell luft slippe ut før den ble satt under trykk og løst i vannet. Denne praksisen ser altså ut til å være egnet for å unngå gassovermetning ved bruk av omløpsventiler.

Den foreliggende studien viser at det finnes gassovermetning i de undersøkte elvene, men trolig på et tolererbart nivå. Den viser også at kraftverkens konstruksjonsmåte med dykkede inntak og omløpsventiler som ikke fører til oppløsning av luft under trykk er egnet til å unngå kritisk gassovermetning. Dette er et viktig resultat for å unngå gassovermetning i nye kraftverk i fremtiden.

Erfaringer fra kraftverk i andre vassdrag viser at gassovermetning er mer utbredd enn forventet, og at det kan ha alvorlige konsekvenser for livet i vassdraget mange kilometer nedenfor. Å overvåke gassmetning er ikke teknisk komplisert med riktig utstyr, og kan ressursmessig og metodisk sammenlignes med vannstandslogging. Det anbefales derfor å

overvåke gassmetningen nedenfor norske kraftverk, særlig hvis det finnes bekkeinntak og grunne magasininntak med fare for luftinnsuging. Dette ble allerede anbefalt av Blindheim et al. i 1984, men ikke fulgt opp i særlig grad.

Det er imidlertid usikkerhet knyttet til de biologiske effektene av moderate og subletale doser av gassovermetning. Verdier mellom 103 % og 111 %, som i Dalsdalselva (naturlig), kan ha effekter på fisk, særlig hvis de er langvarige og forekommer på grunne elvepartier. Akutt fiskedød grunnet gassblæresyke er lite sannsynlig, den forekommer fra 110 - 120 % og mer. Det er imidlertid sannsynlig at fisken endrer habitatbruk, og at det kan være mindre produktivt elveareal. Økt følsomhet for sykdom kan heller ikke utelukkes. Å bruke Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) sine grenseverdier (103 % for grunne elver og 110 % for elver dypere enn 1 m) ureflektert i bratte norske vestlandselver virker ikke faglig forsvarlig, siden det kan finnes kompensasjonsmuligheter i slike grunne elver også ved de relevante vannføringene. Dessuten forekommer det også naturlig gassovermetning som overskrider grenseverdiene i perioder i noen elver, samtidig som det er fisk til stede.

Det bør derfor forskes mer på effekter av subletale gassovermetningsdoser spesielt, og på effekter av gassovermetning på vassdragsmiljøet generelt, ikke minst med tanke på bunndyr og biodiversitet. Med dette kunne det utvikles retningslinjer som er tilpasset norske forhold, og som skaper klarhet for forvaltning og industri.

## 7 Referanser

- Beeman JW, Maule AG (2006) Migration depths of juvenile Chinook salmon and steelhead relative to total dissolved gas supersaturation in a Columbia river reservoir. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 584-594.
- Blindheim B, Brox G, Heggberget T, Kittelsen A, Mellquist P, Tekle T (1984) Problemer med luftovermetning i vann fra kraftverk. Komiteen for undersøkelse av gassovermetning (in Norwegian). Oslo: Vassdragsregulantenenes forening.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved gas supersaturation. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Forseth, T. & Forsgren, E 2008: El-fiskemetodikk – Gamle problemer og nye utfordringer. NINA Rapport 488, 74 s.
- Forseth, T. & Harby, A. (Red.) Ola Ugedal, Ulrich Pulg, Hans-Petter Fjeldstad, Grethe Robertsen, Bjørn Barlaup, Knut Alfredsen, Håkon Sundt, Svein Jakob Saltveit, Helge Skoglund, Eli Kvingedal, Line Elisabeth Sundt-Hansen, Anders Gravbrøt Finstad, Sigurd Einum og Jo Vegar Arnekleiv 2013: Håndbok for miljødesign I regulerte vassdrag. NINA-Temahefte 52, 90 s
- Golmen LG (1992) Vurdering av mulighet for gassovermetning i utløpet fra kraftstasjonen ved Evengervatnet. Bergen: NIVA, 11.
- Harvey HH (1975) Gas Disease in Fishes - a review. In Adams, WA, editor, Chemistry and physics of aqueous gas solutions, Princeton, New Jersey: Journal of the Electrochemical Society, 450-485.
- Heggberget TG (1984) Effect of Supersaturated Water on Fish in the River Nidelva, Southern-Norway. *Journal of Fish Biology* 24: 65-74.
- Jungwirth M, Haidvogel G, Moog O, Muhar S, Schmutz S. 2003. *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*, Facultas Universitätsverlag, Wien
- Kondolf GM, Vick JC, Ramirez TM. 1996. Salmon spawning habitat rehabilitation on the Merced river, California. *Transactions of the American Fisheries Society* 125: 899-912.
- Kondolf GM. 2000. Assessing Salmonid Spawning Gravel Quality. *Transactions of the American Fisheries Society* 129: 262-281.

- 
- Kristensen T, Rosseland BO, Kiessling A, Djordevic B, Massabau JC (2010) Lack of arterial PO<sub>2</sub> downregulation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during long-term normoxia and hyperoxia. *Fish Physiology and Biochemistry* 36: 1087-1095.
- Nebeker AV (1976) Survival of Daphnia, Crayfish, and Stoneflies in Air-Supersaturated Water. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 33: 1208-1212.
- Nebeker AV, Baker FD, Weitz SL (1981) Survival and Adult Emergence of Aquatic Insects in Air-Supersaturated Water. *Journal of Freshwater Ecology* 1: 243-250.
- Stokkebo G, Berdal B, Brox G, Fleischer E, Guttormsen G, Kjeldsen A, Tvinnereim K (1986) Bekkeinntak på kraftverkstunneler. Sluttrapport fra Bekkeinntaksomiteen (in Norwegian). Asker: Vassdragsregulantenenes forening.
- Weitkamp DE (2008) Total dissolved gas supersaturation biological effects, review of literature 1980-2007. Bellevue, Washington: Parametrix, 65.



## Ferskvannsekologi – fisk – bunndyr

LFI ble opprettet i 1969, og er nå en avdeling ved Uni Research som er Universitetet i Bergen sitt forskningsselskap. LFI tar oppdrag som omfatter forskning, overvåking, tiltak og utredninger innen ferskvannsekologi. Vi har spesiell kompetanse på laksefisk (laks, sjøaure, innlandsaure) og bunndyr, og på hvilke miljøbetingelser som skal være til stede for at disse artene skal ha livskraftige bestander. Sentrale tema er:

- Bestandsregulerende faktorer
- Gytebiologi hos laksefisk
- Biologisk mangfold basert på bunndyrsamfunn i ferskvann
- Effekter av vassdragsreguleringer
- Forsuring og kalking
- Vassdragsrestaurering og habitattiltak
- Effekter av klimaendringer

Våre internettsider finnes på <http://www.miljo.uni.no/>



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

