

Overvåking av gassmetning i Vetlefjordselva 2014-2015

Ulrich Pulg og Sebastian Stranzl



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

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 248	ISSN-1892-889	
TITTEL: Overvåking av gassmetning i Vetlefjordselva 2014-2015	DATO: 17.08.2015	
FORFATTERE: Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl	GEOGRAFISK OMRÅDE: Sogn og Fjordane	
Oppdragsgiver: SFE Produksjon AS	ANTALL SIDER: 22	
<p>Sammendrag og konklusjon:</p> <p>Overvåkingen av gassmetning i Vetlefjordelva i 2014 og 2015 viste at det i perioder forekom moderat gassovermetning nedenfor Mel kraftverk (median 105 %, maks. 108 % TGP). Vannet fra restfeltet (referanse) var ikke overmettet (median 101 % TGP), med unntak av enkelte episoder under flom da det ble registrert kortvarige overmetningstopper i restfeltet (opptil 105 %). Gassovermetning i kraftverksutløp faller sammen med drift i Mel kraftverk. Overmetningsperiodene i kraftverksutløp var langvarige (50 % av tiden 105 % TGP eller mer), og kom som daglige bølger når kraftverket ble effektkjørt fra oktober til april. Området som rammes av verdier over 103 % er fra kraftutløpet og 600 m nedover. Den kunstige overmetningen er så lav at den ikke betraktes som akutt dødelig for bunndyr eller fisk, men den kan føre til at fisk unnviker grunne partier i en 600 m lang strekning nedenfor kraftverksutløpet. Stress eller økt sårbarhet mot sykdom kan heller ikke utelukkes.</p> <p>Gassovermetning kan være en faktor som bidrar til å forklare lave ungfisktettheter (sjøaure og laks) funnet ved el-fiske nedenfor kraftverksutløpet, for eksempel som følge av at ungfiskene har unnveket overmetningen. Her spiller sannsynligvis også andre faktorer inn. Særlig påfallende var at det fantes lite skjul i elvebunnen nedenfor kraftverket, et armeringslag, og finsediment i hulrommene. Dette er velkjente effekter av elveregulering med forbygning og endret vann- og sedimentdynamikk, og dette kan være en årsak til reduserte habitatforhold her. Samtidig har restfeltet rett ovenfor moderate men relativt sett betydelige bedre fysiske habitatforhold, samt et mer naturlig vannføringsregime og høyere vanntemperatur i sommerhalvåret. Det er sannsynlig at ungfisk av både laks og sjøaure foretrekker dette området som habitat så lenge det er tilstrekkelig med vann der, og bare dette er nok til å forklare forskjellen i fisketetthet. Habitatforholdene bør derfor inkluderes i betraktningen, ikke minst fordi de kan påvirke hele vassdraget nedenfor mens virkningen av gassovermetningen trolig er begrenset til maksimalt de første 600 m etter kraftverksutløpet.</p> <p>Det anbefales å utrede habitatforholdene i Vetlefjordselva nøye (etter Forseth og Harby 2013) med vekt på sedimentkvalitet, temperatur og vannføring. Disse har trolig større potensial for effekter på fiskeproduksjonen enn den moderate gassovermetningen. For å vurdere subletale doser av gassovermetning som ved Mel kraftverk trengs det mer forskning. Uten mer presis kunnskap om biologiske effekter av subletale doser vil det ikke være mulig å bedømme om det trengs avbøtende tiltak for å redusere gassovermetningen og dens virkning, eller om de moderate verdiene nedenfor Mel kraftverk kan tolereres.</p>		
EMNEORD: Sjøaure, sjøørret, laks, gassovermetning, habitat		

Innhold

1	Innledning	4
2	Metoder	5
3	Resultater	6
3.1	Gassmetning 2014-2015	6
3.2	Gassmetning og vannføring.....	7
3.3	Overvåking av gassovermetningens utbredelse nedstrøms kraftverket.....	10
3.4	Habitatvurdering.....	10
4	Diskusjon	13
4.1	Gassmetning.....	13
4.2	Årsak.....	14
4.3	Biologiske effekter.....	15
4.4	Forskningsbehov.....	16
4.5	Konklusjon.....	17
5	Referanser	18

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 eller kraftverkstunnelen der luften løses i vannet under trykk. Underdimensjonerte bekkeinntak og delvis tilstoppete inntaksrister som trekker luft er kjente kilde for slike luftbobler (Stokkebø et al. 1986, Pulg et al. 2014). Peltonturbiner lufte vanligvis vannet godt, men en kan likevel ikke utelukke gassovermetning nedenfor. Overmetningen kan også oppstå i selve utløpskanalen dersom innpiskete luftbobler dras med i dypet der vannet står under hydrostatisk trykk. Tegn på for høy gassovermetning er blakking av vann (mange små bobler) og akutt fiskedød. Gassmetningskonsentrasjoner under 120 % er vanligvis ikke synlige, men lave fisketettheter kan være en indikasjon. Gassovermetning skader fisk ("gassblæresyke"), og verdier over 110 % kan være akutt dødelig (Heggberget et al. 1986, Weitkamp 2008). Også lavere verdier mellom 103 % og 110 % kan skade fisk og øke dødelighet, særlig i grunne habitater eller bassenger der fiskene ikke kan unnvike til dypere områder for å kompensere for overmetningen. Gassovermetning kan også føre til en atferdsendring og endringer i habitatbruk siden fiskene vil flykte til dypere områder. Med 1 m vannsøyle kan ca. 10 % av gassovermetningen kompenseres. Har vannet 110 % metning vil en fisk på 1 m dyp oppleve ca. 100 % metning. Habitatforholdene, og særlig vanddyp, er derfor viktig for å kunne bedømme eventuelle effekter på fisk (Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999, Beeman et al. 2006).

Bakgrunn for undersøkelser av gassmetning i Vetlefjordelva er at det ble det funnet meget lave ungfisktettheter ($\leq 0,1$ individer/m²) i 7 av 11 år nedenfor kraftverksutløpet (Sægrov & Urdal 2013), og relative lave tettheter i 3 år (0,1-0,3 individer/m²). På et seminar om fiskebestanden i Vetlefjordselva høsten 2010 ble gassovermetning diskutert som mulig årsak til dette. I 2012 ble det funnet mer ungfisk på denne stasjonen (nest høyest tetthet i elven med 0,35 ind./m², Sægrov & Urdal 2013). Likevel kunne perioder med gassovermetning ikke utelukkes og det ble satt i gang overvåking av gassmetning i 2014 på oppdrag for SFE Produksjon AS.

2 Metoder

Uni Research Miljø har overvåket gassmetning fra 28. april 2014 til 22. april 2015 med varighetslogging i kraftverksutløpet Mel kraftverk og i restfeltet på Mel (referanse). Det ble brukt en «TGP-Saturometer 3.0 fra Fisch- und Wassertechnik» med online GSM-datatransfer. Målemetoden er basert på en «Weiss-Saturometer» i sonden, og det som registreres er metning av alle gasser i vannet (Total Gass Pressure, TGP). Det ble lagret halvtimes verdier. Gassmetningen er gjengitt i prosent. 100 % tilsvarer normal gassmetningsgrad. Lavere verdier betyr at vannet er undermettet med gasser, høyere verdier betyr at vannet er overmettet. Målerens nøyaktighet er på ± 10 hPa noe som tilsvarer ca. ± 1 % TGP. I følge kanadiske retningslinjer anbefales maksimalt 110 % TGP gassovermetning i vassdrag som er dypere enn 1 m. I grunnere omgivelser og i klekkerier anbefales 103 % TGP som grenseverdi.

I løpet av undersøkelsene ble det ganske snart påvist gassovermetning nedenfor kraftverksutløpet. For å kunne bedømme gassovermetningens omfang, utbredelse og eventuelle effekter på fisk ble varighetsloggingen supplert med midlertidige loggerne som ble satt opp nedenfor kraftverksutløpet (3.12. 2014). I tillegg ble det gjort en enkel habitatkartlegging (vanddyp, substrat og skjul etter Harby & Forseth 2013). Habitatforholdene er vesentlige for overmetningens virkning på fisk, særlig tilgangen til dype områder i elven eller substratet. Loggerne var av samme type som varighetsloggerne, bare uten internettilkobling.

SFE Produksjon AS bidro med vannføringsdata i overvåkingstidsrommet fra sine egne målinger.



Figur 1 Målepunkt i restfeltet, (venstre bilde) og i kraftverksutløpet (høyre bilde). Sonden ligger i det perforerte metallrøret.

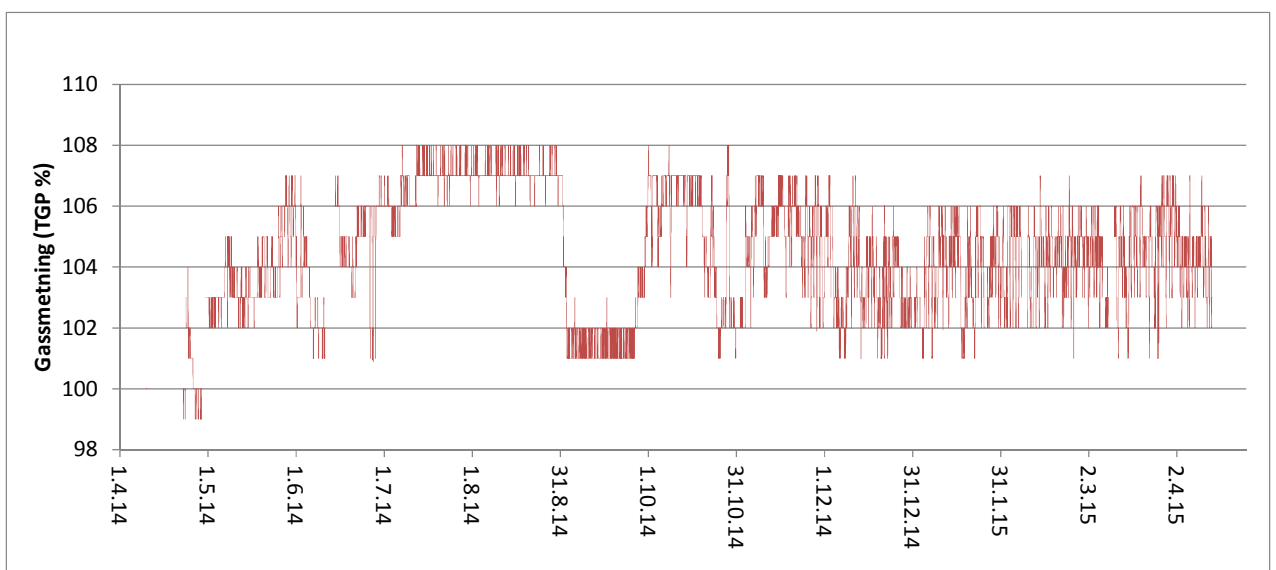
3 Resultater

3.1 Gassmetning 2014-2015

Gassmetningen i kraftverksutløpet varierte mellom 99 % og 108 % TGP i tidsrommet 28.4. 2014 - 22.04.2015 (Figur 2). Vanligvis var gassmetningen 105 % (medianverdi). Gassmetningen steg fra 99-104 % i april 2014 opp til 107 % i juni. Deretter sank den igjen til 102 % i flere dager i juni for så å øke opp til 108 % utover sommeren. I nesten hele september lå verdien på 101 %. Så steg den opp til 107-108 %, for så å svinge med relativ høy frekvens mellom 101 % og 107 % utover vinteren inntil april 2015. I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 107 %, 75 % av tiden under 106 %, 50 % av tiden (medianverdi) under 105 %, 25 % av tiden under 103 % og 5 % av tiden under 101 % (se Tabell 1).

Tabell 1. Varighet av gassovermetning. Persentilene representerer tiden i prosent med gassverdier under tallet i samme rad

Persentil	Gassmetning % TGP
95	107
75	106
50	105
25	103
5	101



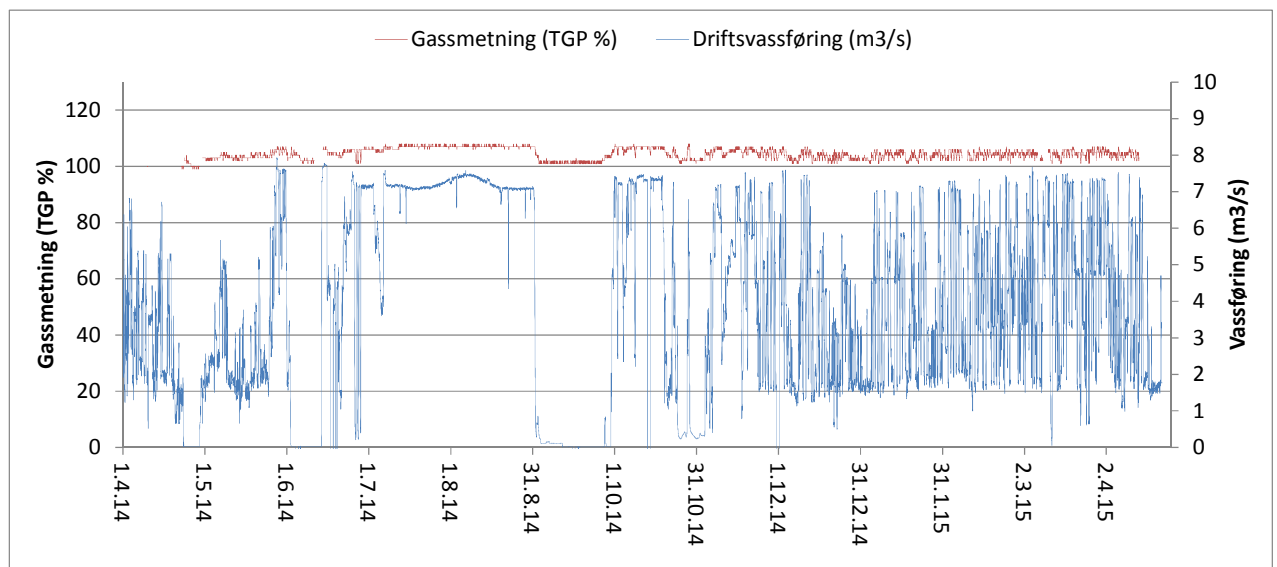
Figur 2 Gassmetning (TGP) i prosent i kraftverksutløpet på Mel 28.4. 2014 – 22.04. 2015.

3.2 Gassmetning og vannføring

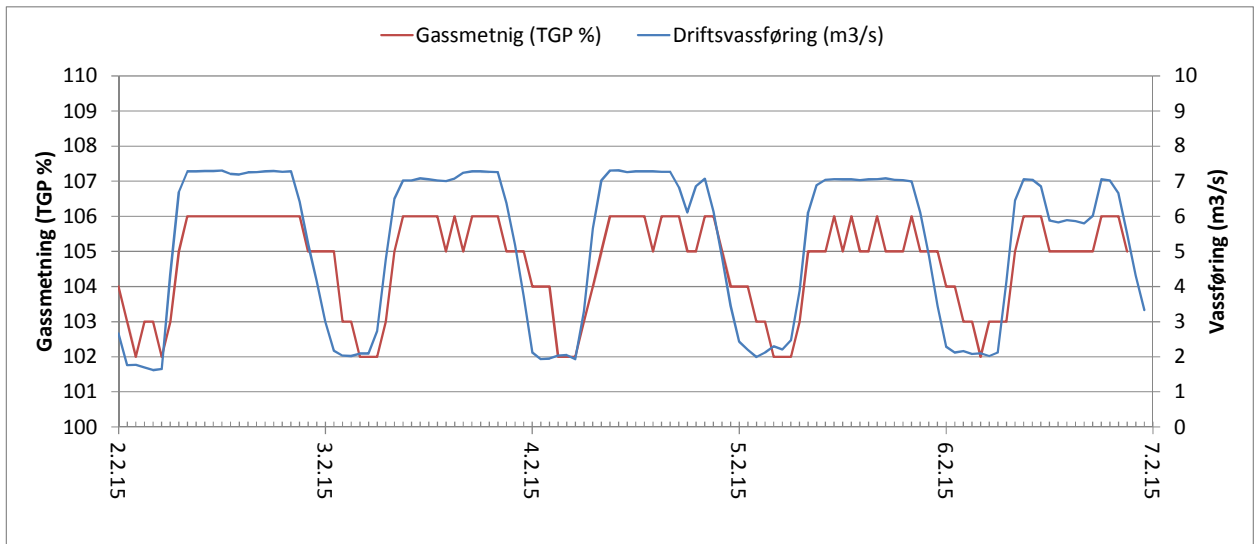
Legger vi til en vannføringskurve fra Mel kraftverk (Figur 3, driftsvannføring) så blir det tydelig at gassmetningskurven følger driftsvannføringskurven. Også vannføringen fra kraftverket øker om våren, stopper noen dager i juni, og så ligger den relativt høyt om sommeren med få svingninger. I september er den nesten null, og i perioden 2.9. til 20.9. 2014 oppnås de laveste totalvannføringene i perioden. Totalvannføringen ligger da stort sett under $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, og faller til $0,76 \text{ m}^3/\text{s}$ som et minimum. Fra oktober av er det hyppige (daglige) svingninger mellom ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ og $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ driftsvannføring. Høyeste vannføringer ble nådd den 27.9. med $16,6 \text{ m}^3/\text{s}$ og den 28.10. med $17,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ser vi nærmere på perioden med hyppige gassmetningssvingninger (oktober–april, Figur 3, Figur 4 og 5), så ser vi at et tilsvarende svingende vannføringsmønster mellom ca. $2 \text{ m}^3/\text{s}$ om natten og $7 \text{ m}^3/\text{s}$ om dagen og kvelden. Vannføringen stiger i løpet av ca. 2-3 timer og faller i løpet av 5 timer. Vannføringsdataene ble levert som timesverdier, gassdataene ble logget på halvtimesverdier. Det som skjer mellom verdiene kan derfor ikke synes her. Gassmetningen følger vannføringsmønsteret med 0-30 minutters forsinkelse.

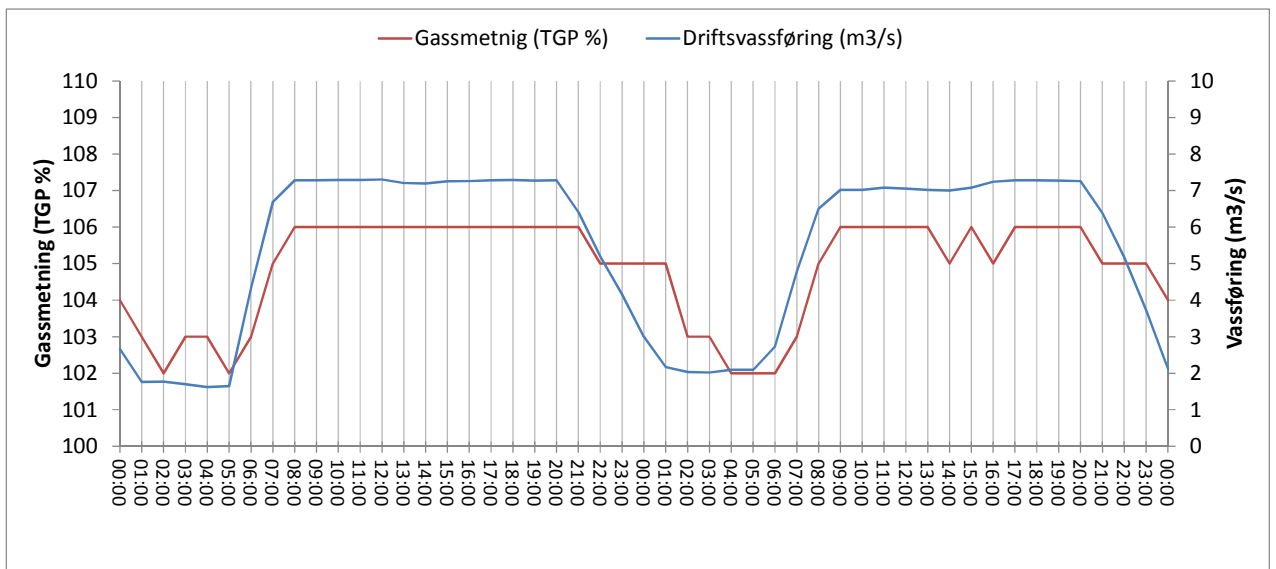
En statistisk analyse viser at det finnes en signifikant linear korrelasjon mellom driftsvannføring og gassovermetning ($R^2 = 0,64$, $p < 0,001$, Figur 7). Dvs. når det var høy driftsvannføring var det også høy gassovermetning og omvendt.



Figur 3 Gassmetning (TGP) i prosent og driftsvannføring (m^3/s) i kraftverksutløpet på Mel 28.4. 2014 – 22.04. 2015.

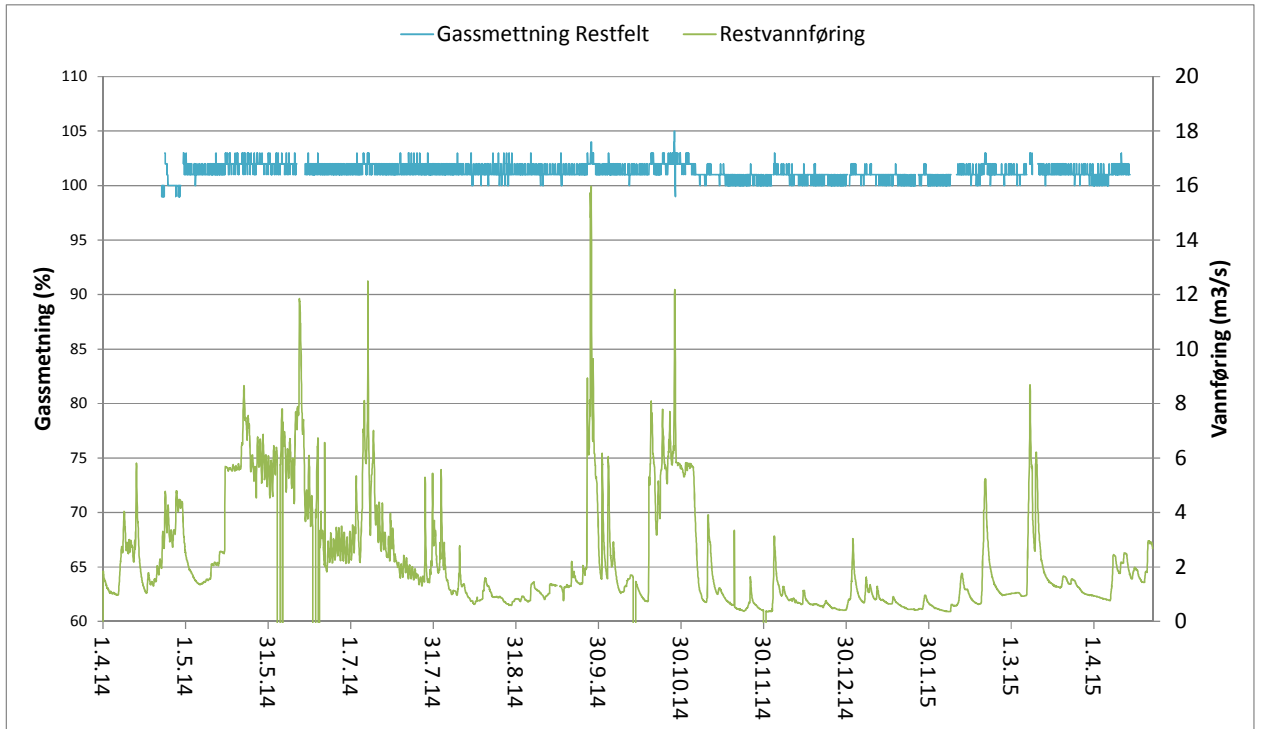


Figur 4 Detalj fra Figur 3: Gassmetning (TGP) i prosent og driftsvannføring (m³/s) i kraftverksutløpet på Mel 2.2. 2015 – 7.2. 2015.

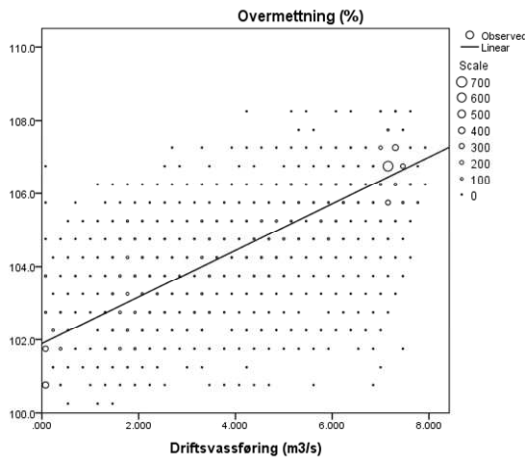


Figur 5 Detalj fra Figur 3: Gassmetning (TGP) i prosent og driftsvannføring (m³/s) i kraftverksutløpet på Mel 02.02. 2015 – 0.4.02. 2015.

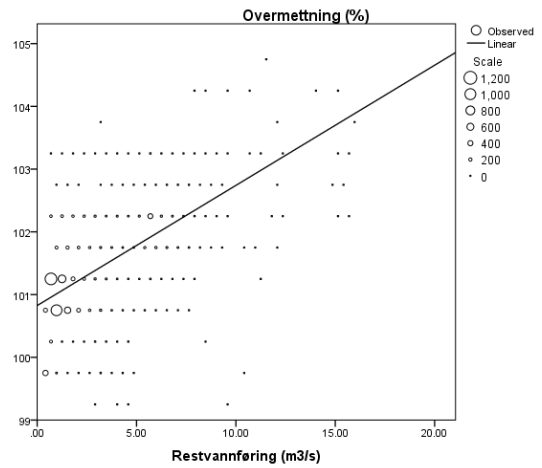
Gassmetningen i restfeltet varierte mellom 99 % og 105 % TGP i tidsrommet 28.4. 2014 - 22.04.2015. Gassmetningen varierte hovedsakelig mellom 101 og 102 %. Vanligvis var gassmetningen 101 % (median). Høyere verdier opptil 105 % falt sammen med høy vannføring i restfeltet (se Figur 6 og Figur 8). Sammenhengen er signifikant ($p < 0,001$), men med lavere forklaringsgrad ($R^2 = 0,33$).



Figur 6 Gassmetning (TGP) i prosent og restvannføring (m³/s, naturlig tilsig) i restfeltet ved Mel 28.4. 2014 – 22.04. 2015.



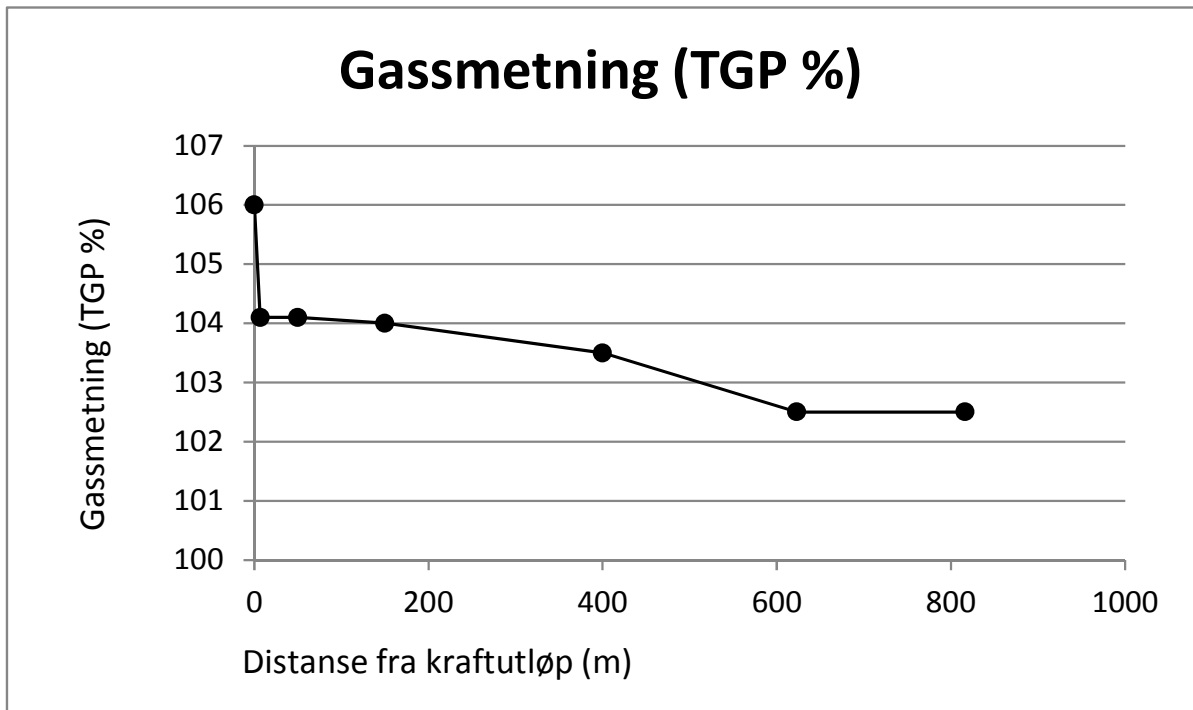
Figur 7 Lineær korrelasjon mellom driftsvannføring og gassmetning i overvåkingstidsrommet, $R^2=0,64$, $p < 0,001$)



Figur 8 Lineær korrelasjon mellom restvannføring og gassmetning i restfeltet i overvåkingstidsrommet, $R^2=0,33$; $p < 0,001$)

3.3 Overvåking av gassovermetningens utbredelse nedstrøms kraftverket

Den 03.12.2014 ble det satt opp midlertidige gassloggere nedenfor kraftverket som logget i minst 1 time (Figur 9). Gassmetning ved dette tidspunktet lå på 106 % i kraftutløpet. Rett etter samløpet med Vetlefjordelva (ca. 1,5 m høydeforskjell med fritt fall) var gassmetningen redusert til 104,1 %. Denne verdien ble også målt 50 og 150 m nedenfor. 400 m nedenfor var gassmetningen 103,5 %. 623 m og 816 m nedenfor var verdien 102,5 %. Vannføringen i kraftverket varierte mellom 4,6 og 7,6 m³/s i denne perioden. Gassmetningen i restfeltet var da 101 %, og vannføringen i restfeltet lå mellom 0,4 og 0,7 m³/s.



Figur 9 Figuren viser målte gassmetningsverdier nedstrøms kraftutløpet den 03.12.2014 kl. 12:00-16:00.

3.4 Habitatvurdering

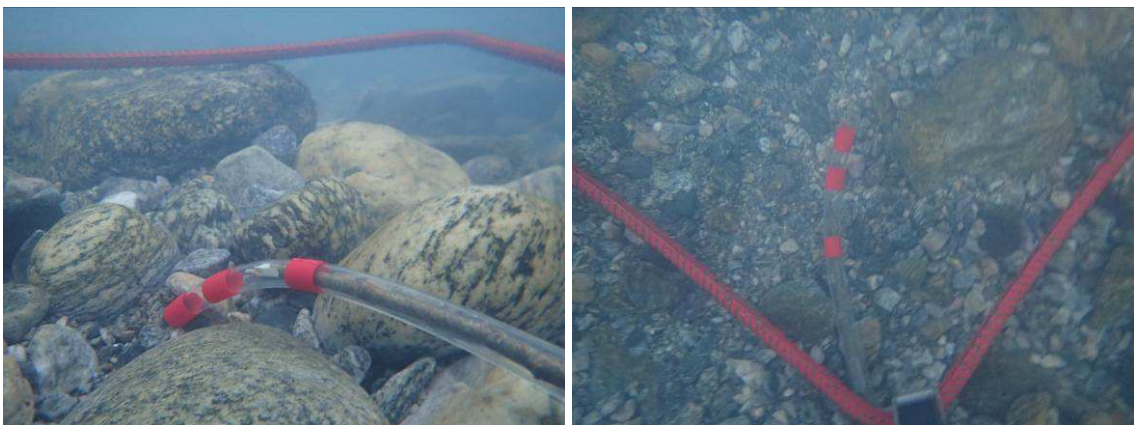
Habitatforholdene er avgjørende for å kunne bedømme eventuelle effekter av gassovermetning på fisk. Rett nedenfor kraftverksutløpet (0-100 m) varierte vanddyppet mellom 0 ved bredden til 65 cm i dypålen (Figur 10). Målingene ble foretatt ved ca. 7,9 m³/s totalvannføring. Mesohabitattypen var stryk, substratet var dominert av rullestein med fin grus og sand i hulrommene (Figur 11). Overflaten var lite pakket, men hadde et tydelig

armeringslag. Skjulmålinger, basert på et transekt med 5 målepunkter, resulterte i et vektet skjul på 1,6. Elvebredden var plastret med stein med glatt overflate, og hadde et kanalaktig preg (Figur 12).

I restfeltet opp til fossestryket varierte vanddypt mellom 1,5 og 0 m. Sedimentet var løst og ikke pakket. Det var ingen armeringslag (Figur 13). Bunnen og elvebredden var uregelmessig utformet, og hadde større ruhet. Rullestein og grus dominerte elvebunnen, med partier med fast fjell. Overordnet mesohabitattype er stryk som er oppdemmet med flere terskler slik at det har oppstod en kaskade av 'step-pool' type (etter Frisell et al. 1986). Vektet skjul, basert på et transekt med 5 målepunkter, var 9,2.



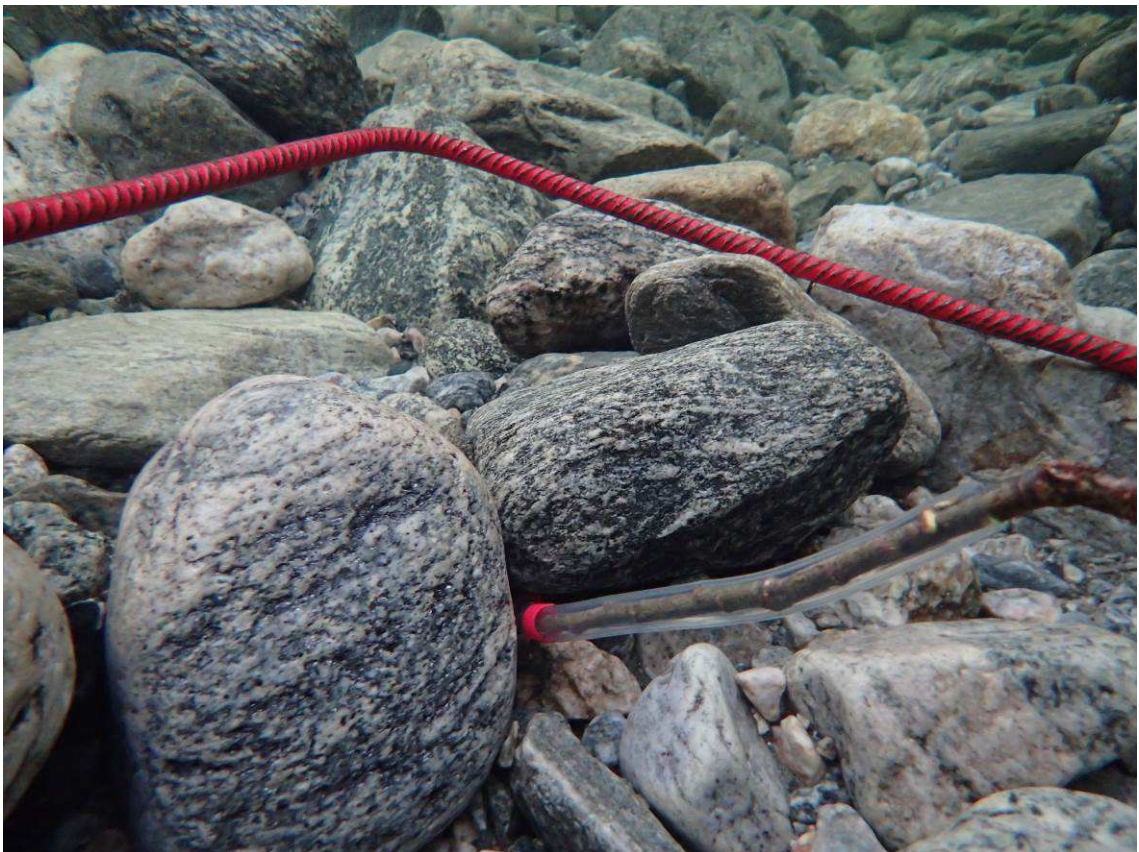
Figur 10 Elvestrekning med habitatvurderinger 1) nedenfor kraftutløpet og 2) i restfeltet (pil i bakgrunnen)



Figur 11 Bilder fra skjulmålingene nedenfor kraftverket. Rommene mellom rullesteinen er fylt med fin grus og sand. Vektet skjul er 1,6 (dårlig).



Figur 12 Elvebredden er sikret med en glatt plastring som gir strekningen et kanalaktig preg



Figur 13 Skjulmåling i restfeltet 50 m ovenfor kraftutløpet. Her finnes det mer hulrom mellom steinene, og vektet skjul er 9,2 (moderat).

4 Diskusjon

4.1 Gassmetning

Overvåkingen fra april 2014 til april 2015 viste at det forekom perioder med moderat gassovermetning i Vetlefjordselva. I utløpet fra Mel kraftverk var median gassmetning 105 % TGP, med relativ kortvarige toppe opp til 108 %. 5 % av tiden lå verdiene over 107 %. Dataene viste at gassovermetningen hang sammen med driften av Mel kraftverk. Overmetningen viste en signifikant sammenheng med kraftverksdriften ($R^2 = 0,64$, $p < 0,001$, Figur 4, Figur 5, Figur 7). Når kraftverket ikke var i drift var det heller ikke gassovermetning (Figur 3). Vannet ble luftet godt ved overfallet på utløpsterskelen (Figur 10). Ca. en tredjedel av overtrykket forsvant i selve fallet (Figur 9). Ved 106 % TGP i utløpet var det bare rundt 104 % rett nedenfor. 600 m nedenfor var verdiene 102,5 %, noe som er vanskelig å skille fra en naturlig gassmetning ved denne vannføringen (se Figur 8). Hvis vi legger maksimalverdien (108 %) til grunn, og samme relative utgassing, så forventes en verdi på 103 % TGP ca. 600 m nedenfor kraftverket.

Disse verdiene ligger godt under grenseverdien (110 %) som Blindheim et al (1984) diskuterte, og som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) anbefaler. Sistnevnte skiller imidlertid mellom dype og grunne elver. De kanadiske retningslinjene bruker en grenseverdi på 110 % brukes for vassdrag dypere enn 1 m, og 103 % TGP for grunne elver. Gassmetningen i Vetlefjorden kan overstige denne verdien i 600 m-strekningen nedenfor Mel. Hvis vi ser nærmere på de målte verdiene så ser vi at dypålen på det oppmålte området nedenfor kraftutløpet er minst 65 cm dyp. Ut fra elvemorfologien forventes det at et slikt minstedyp også finnes nedenfor ved vannføringer med gassovermetning ($> 7 \text{ m}^3/\text{s}$). Fisk vil altså kunne kompensere et overtrykk på minst 106,5 % i dypålen. Ved lavere vannføring vil vanddyppet, og med det kompensasjonsmulighetene reduseres, men da vil også gassmetningen være mindre siden gassmetningen følger vannføringen fra kraftverket (Figur 4).

Gassovermetningsverdiene er moderate og overstiger ikke 110 %. Sånne verdier kan også forekomme i naturen dersom elven er dyp nok. Ut fra litteraturen regnes det ikke med akutt fiskedødelighet ved verdier under 110 % (Weitkamp 2008). På grunnere områder i elven kan overmetningen imidlertid ha en biologisk effekt. Det er kjent at fisk kan unngå overmettet vann ved å gå dypere (Heggberget 1984, Beeman et al. 2006), og dermed må ungfisk trekke mot dypere partier og unngå de grunneste områdene. Overmetning kan altså føre til endret habitatbruk og mindre produktivt areal i elven. På den andre siden kan det bidra til mindre stranding ved effektkjøring hvis fisken virkelig trekker mot og oppholder seg i dypere områder. Stress og større følsomhet for sykdom har også blitt beskrevet for fisk som utsettes for langvarige, men subletale, doser med gassovermettet vann (Elston

1983, Weitkamp 2008). Effekter av gassovermetning på bunndyr er sannsynlig (Nebeker 1976), men også her er de målte gassmetningsverdiene i elva relativt lave.

I restfeltet fant vi vanligvis ingen overmetning. Medianverdien var 101 % TGP. Siden målenøyaktigheten er ± 1 % betraktes ikke dette som overmetning. Ved flomtopper gikk verdiene i korte perioder opp til 105 %. Dette kan forklares med at luftbobler trekkes med ned i dype kulper og løses under trykk ved større vannføringer. Dette er et naturlig fenomen som er beskrevet i litteraturen (Blindheim et al. 1984), og som vi har observert i andre elver også (Dalsdalselvi, Vosso). Situasjonen betraktes ikke som farlig siden toppene er kortvarige, og fisk kan kompensere for høyere trykk ved å gå dypere, noe som er mulig ved så store vannføringer. 105 % overmetning kan kompenseres fullstendig ved 50 cm vanddyb.

4.2 Årsak

Vannføringsmønsteret sammenfaller tydelig med gassovermetningen i kraftverksutløpet. Sammenhengen er signifikant og det finnes en kausal årsak-virknings mulighet. Derfor konkluderes med at gassovermetningen mest sannsynlig forårsakes av kraftversdrift i Mel kraftverk. I perioden oktober 2014 til april 2015 kjørtes kraftverket med daglige svingninger, noe som betegnes som «effektkjøring» (hydropeaking) etter definisjonen i Bakken et al. (2015). Vannføringen gikk fra 1,5-2 m³/s til 7-8 m³/s i løpet av to-tre timer, og gikk så ned igjen i løpet av ca. 5 timer (Figur 5). Gassmetningen fulgte disse svingningene nøye, se Figur 4 og Figur 5. Analogt, som ved «thermopeaking» (temperaturpulser forårsaket av hydropeaking, Zolezzi et al. 2011, Bruno et al. 2013), ble det observert bølger med gassovermettet vann når kraftverket ble effektkjørt (Figur 4). Disse bølgene kan i seg selv ha biologiske effekter, som for eksempel når fisk lokkes tilbake til grunt vann når det er lav overmetning for så å skremmes/skades når overmetningsbølgen kommer. En slik «saturopeaking» har ikke blitt beskrevet før. Særlig relevant kan den bli i vassdrag der det finnes dødelige konsentrasjoner av gassovermettet vann (> 110-120 %).

Årsak til gassovermetning er ofte innsuging av luft i kraftverksinntak, særlig bekkeinntak (Blindheim et al. 1984). Mel kraftverk har to dykkete inntak i magasiner (Svartevassvatnet og Jordalsvatnet), og 3 bekkeinntak som er direkte tilknyttet kraftverkstunnelen ovenfor en Peltonturbin (52 MW, 810 m fallhøyde). Bekkeinntakene kan være kilde til luft, men Peltonturbinen lufte vannet godt. Likevel kan det ikke utelukkes at alt overtrykk forsvinner under turbinpasseringen (Golmen 1992). En annen mulige kilde til overmetning er luftbobler som løser seg i vannet i kraftverksutløpet. Peltonpasseringen medfører lufting og luft i vannet nedenfor. Dras boblene med ned i dypere vann, er minst 80 cm dyp og stor luftmengde nok til 108 % TGP. Kraftutløpet er langt (ca. 1550 m, alle de tekniske

kraftverkstallene i følge . Her kan overtrykk også gasses ut, men egne målinger i Otra og data fra litteraturen (Weitkamp 2008) viser at overmetning kan transporteres over lange avstander (10-20 km), særlig hvis strømmen er relativ laminær og kontaktflaten med luft er liten sett mot vannvolum. Våre egne erfaringer viser at slike moderate verdier ($> 110\%$) nedenfor kraftverk ofte oppstår grunnet innblanding av luftbobler etter turbinen i forskjellige typer kraftverk, og det kan være tilfelle her også. Hypotesen kan testes dersom vannstanden i kraftverksutløpet senkes, f. eks. med åpen luke ved utløpsterskel i en testperiode, helst mer enn 2 m senkning og 24 timers måling med 1 hPa (0,1 % TGP) oppløsning. Da bør man forvente signifikant lavere overmetningsverdier ved samme vannføring, siden det hydrostatiske trykket da er mindre. Stammer overmetningen fra luft i bekkeinntakene vil det ikke være noen signifikant forskjell.

4.3 Biologiske effekter

Gassovermetningsverdiene i Vetlefjordselva er moderate (maks 108 %), og det forventes ikke akutt fiskedød eller akutt dødelighet på bunndyr ($> 110\%$). Samtidig er overmetningsperiodene langvarige. I 50 % av tiden ligger verdien ved eller over 105 %. Dessuten kommer overmetningen som daglige pulser i vinterhalvåret når kraftverket effektkjøres, med daglige svingninger fra 101-102 til 106-108 %. Derfor kan det forekomme indirekte effekter, for eksempel stress, følsomhet mot sykdom, eller endret habitatbruk med unngåelse av grunne områder siden fisk kan føle og unngå gassovermetning ved å gå dypere (Harvey 1975, Beeman et al. 2006, Weitkamp 2008). Hvis el-fisket ble gjennomført på grunne partier (ikke uvanlig) vil dette kunne forklare at det ble funnet lavere tettheter av ungfisk i den grunne elven nedenfor kraftutløpet, samt at det var høyere tettheter å finne i 2012 hvis dypålen ble inkludert i fisket (se kap. 1, bakgrunn) eller hvis det var høyere vannstand. Verdier opp til 110 % kan også forekomme i naturen, men da vanligvis kortvarig ved flom når det er mye dype partier og i dype elver med mange luftbobler.

For å vurdere effekter på fisk bør også andre forhold tas i betraktning. Habitatkartleggingen viste at det var lite skjul nedenfor kraftutløpet (vektet skjul 1,6 - dårlig), noe som i seg selv indikerer lave tettheter av ungfisk. Samtidig finnes det betydelig mer skul (9,2 «moderat», på grensen til «god», se Forseth & Harby 2013) rett ovenfor i restfeltet. Der er det dessuten varmere vann om sommeren og høsten, og ingen effektkjøring. Det finnes altså et betydelig mer attraktivt habitat for ungfisk rett ovenfor, så lenge det er vann der (det er ingen fastsatt minstevannføring). Mindre skjul nedenfor Mel kraftverk er en følge av et armeringslag i elvebunnen, og fin grus og sand i hulrommene mellom rullesteinene (se Figur 11). Situasjonen står i kontrast til substratet i restfeltet, der det fortsatt finnes mange åpne hulrom mellom rullesteinene (se Figur 13). Armeringslag er

typisk for effektkjørte elver (Bakken et al. 2015). Redusert skjul og fylte hulrom er også en kjent regulerings-effekt som følge av forbygning (erosjonssikring og kanalisering) og/eller redusert vannføringsdynamikk. Begge fører til mindre sedimentdynamikk og kan redusere habitatkvalitet for laksefisk (Kondolf et al. 1996, Kondolf, 2000, Sutherland et al., 2000, Jungwirth et al. 2003, Opperman et al. 2005, Sear and DeVries 2008, Pulg et al. 2013). Breelver som Vetlefjordselva har vanligvis mer svevestoffer og finsediment («breslam») enn andre elver på Vestlandet, og dette kan bidra til redusert skjul i substratet. I tillegg ble det tilført store mengder finsediment under og etter utbygging av vassdraget (Hessen et al. 1989). Men dette gjelder også delvis for restfeltet ovenfor kraftverket (geologi, finsedimentutslipp), der det finnes betydelig mer skjul. Hvor finmassene blir liggende avgjøres først og fremst av hydrauliske forhold, hydromorfologi samt sediment- og vannføringsdynamikk. De to undersøkte habitatene ved Mel kan ikke gi et fullt bilde for hele elven, men redusert skjul, og med dette redusert habitatkvalitet for ungfisk, er typisk for vassdrag som er regulert som Vetlefjordselva (forbygning og endret vannføringsregime). Dette kan ha effekt for hele elvestrekningen nedenfor Mel. I tillegg kommer relativ kaldt vann i sommerhalvåret fra kraftverket (4-5 grader, Bjerknes et al. 1998) kombinert med effektkjøring i perioder, som kan inkludere «thermopeaking». Også dette kan redusere habitatforholdene og veksten, og øke dødeligheten for bunndyr og fisk på strekningen nedenfor Mel (Bakken et al. 2015). El-fiske data fra 11 år bekrefter dette. Det ble funnet relativt lave ungfisktettheter og få eldre ungfisk nedenfor Mel i de årene (Sægrov & Urdal 2013).

4.4 Forskningsbehov

For å kunne bedømme effekter av moderate, men langvarige og delvis pulserende overmetningsepisoder som i Vetlefjordselva, trengs det mer kunnskap. Det hadde vært ønskelig å ha flere varighetsloggere for å kunne bedømme området som rammes mer presist, å måle partialgassstrykkene (N_2 , O_2 , CO_2 , Argon), og å identifisere årsaken til overmetningen med testkjøringer. Dette har blitt drøftet men siden det mangler kunnskap om biologiske effekter av lave og moderate gassmetningsverdier i elver vil det ikke oppklare situasjonen vesentlig. Fra laboratorieforsøk og klekkerier er det kjent at også moderat overmetning kan ha effekter som stress, økt følsomhet for sykdom og økt dødelighet, men her kan fisk ikke unnvike. I naturen er det mer sannsynlig at fisk unnviker, endrer atferd og habitatbruk som følge av moderate overmetningsverdier. Å uten videre bruke en grenseverdi på 103 % TGP som Canadian Council of Ministers of the Environment (1999) foreslår for grunne elver betraktes som faglig ikke forsvarlig i Vestlandselver. For å svare på de spørsmålene bør det gjennomføres målrettede og kombinerte forsøk i laboratorier og i felt.

4.5 Konklusjon

Overvåkingen av gassmetning i Vetlefjordelva i 2014 og 2015 viste at det i perioder forekom moderat gassovermetning nedenfor Mel kraftverk (median 105 %, maks. 108 % TGP). Vannet fra restfeltet (referanse) var ikke overmettet (median 101 % TGP), med unntak av enkelte episoder under flom da det ble registrert kortvarige overmetningstopper i restfeltet (opptil 105 %). Gassovermetning i kraftverksutløp faller sammen med drift i Mel kraftverk. Overmetningsperiodene i kraftverksutløp var langvarige (50 % av tiden 105 % TGP eller mer), og kom som daglige bølger når kraftverket ble effektkjørt fra oktober til april. Området som rammes av verdier over 103 % er fra kraftutløpet og 600 m nedover. Den kunstige overmetningen er så lav at den ikke betraktes som akutt dødelig for bunndyr eller fisk, men den kan føre til at fisk unnviker grunne partier i en 600 m lang strekning nedenfor kraftverksutløpet. Stress eller økt sårbarhet mot sykdom kan heller ikke utelukkes.

Gassovermetning kan være en faktor som bidrar til å forklare lave ungfisktettheter (sjøaure og laks) funnet ved el-fiske nedenfor kraftverksutløpet, for eksempel som følge av at ungfiskene har unnviket overmetningen. Her spiller sannsynligvis også andre faktorer inn. Særlig påfallende var at det fantes lite skjul i elvebunnen nedenfor kraftverket, et armeringslag, og finsediment i hulrommene. Dette er velkjente effekter av elveregulering med forbygning og endret vann- og sedimentdynamikk, og dette kan være en årsak til reduserte habitatforhold her. Samtidig har restfeltet rett ovenfor moderate men relativt sett betydelige bedre fysiske habitatforhold, samt et mer naturlig vannføringsregime og høyere vanntemperatur i sommerhalvåret. Det er sannsynlig at ungfisk av både laks og sjøaure foretrekker dette området som habitat så lenge det er tilstrekkelig med vann der, og bare dette er nok til å forklare forskjellen i fisketetthet. Habitatforholdene bør derfor inkluderes i betraktningen, ikke minst fordi de kan påvirke hele vassdraget nedenfor mens virkningen av gassovermetningen trolig er begrenset til maksimalt de første 600 m etter kraftverksutløpet.

Det anbefales å utrede habitatforholdene i Vetlefjordselva nøye (etter Forseth og Harby 2013) med vekt på sedimentkvalitet, temperatur og vannføring. Disse har trolig større potensial for effekter på fiskeproduksjonen enn den moderate gassovermetningen. For å vurdere subletale doser av gassovermetning som ved Mel kraftverk trengs det mer forskning. Uten mer presis kunnskap om biologiske effekter av subletale doser vil det ikke være mulig å bedømme om det trengs avbøtende tiltak for å redusere gassovermetningen og dens virkning, eller om de moderate verdiene nedenfor Mel kraftverk kan tolereres.

5 Referanser

- Bakken, T.H., Forseth, T., Harby, A. (red.) 2015 : Miljøvirkninger av effektkjøring. Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. NINA temahefte – in preparation. Norsk Institutt for Naturforskning, Trondheim, www.cedren.no.
- 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.
- Bjerknes, V., Barlaup, T.B., Kleiven, E., Kvellestad, A., Raddum, G., Åtland, Å. 1998: Vannkvalitet, regulering og anadrom fisk i Vetlefjordelva i Sogn og Fjordane. NIVA rapport nr. 3924-98 Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- 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.
- Bruno, M. C., A. Siviglia, M. Carolli & B. Maiolini, 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. *Ecohydrology* 6: 511-522.
- 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. & 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.

- Hessen, D. , Bjerknes, V., Bækken, T., Aanes K.J. 1989: Økt slamføring i Vetlefjordselva som følge anleggsarbeid. Effekter på fisk og bundyr. NIVA rapport nr 2226. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- 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 PO₂ 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.
- Opperman JJ, Lohse KA, Brooks C, Kelly MN, Merenlender AM. 2005. Influence of land use on fine sediment in salmonid spawning gravels within the Russian Rivers Basin, California. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 2740–2751.
- Pulg, U., Barlaup, T.B., Skoglund, H., Wiers, T., Gabrielsen, S-E., Normann, E.S. 2013: Gyteplasser og sideløp i Aurlandsvassdraget. UNI Research LFI rapport 221. UNI Research LFI, Bergen.
- Pulg, U., Barlaup, B.T., Velle, G., Normann, E, Lehmann, G. 2014: Hydropower induced supersaturation - not in European rivers? Presentation at the 10th International Symposium on Ecohydraulics, NTNU Trondheim, June 23rd-27th 2014.
- Sear DA and DeVries P (editors). 2008. Salmonid spawning habitat in rivers: physical controls, biological responses, and approaches to remediation. American Fisheries Society, Symposium 65: Bethesda
- Sutherland AB, Meyer JI, Gardiner EP. 2002. Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams. *Freshwater Biology* 47: 1791–1805.
- Soulsby, C, Youngson AF., Moir HJ, Malcolm IA. 2000. Fine sediment influence on salmonid spawning habitat in a lowland agricultural stream: a preliminary assessment. *The science of the total environment* 265: 295-307.

-
- Stokkebø G, Berdal B, Brox G, Fleischer E, Guttormsen G, Kjeldsen A, Tvinnereim K (1986) Bekkeinntak på kraftverkstunneler. Sluttrapport fra Bekkeinntakkomiteen (in Norwegian). Asker: Vassdragsregulantenenes forening.
- Sægrov, H. & Urdal, K. 2013: Fiskeundersøkingar i Vetlefjordelva i 2012. Rapport nr. 1784. Rådgivende Biologer, Bergen.
- Weitkamp DE (2008) Total dissolved gas supersaturation biological effects, review of literature 1980-2007. Bellevue, Washington: Parametrix, 65.
- Zolezzi, G., A. Siviglia, M. Toffolon & B. Maiolini, 2011. Thermopeaking in Alpine streams: event characterization and time scales. *Ecohydrology* 4: 564-576.



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/>