

Gassmetning i Otra nedenfor Brokke kraftverk

Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl, Knut Wiik Vollset, Bjørn Torgeir Barlaup, Espen Olsen, Bjørnar Skår, Gaute Velle



LABORATORIUM FOR FERSKVANNØKOLOGI OG INNLANDSFISKE, LFI UNI Research Miljø Nygårdsgaten 112 5006 BERGEN		TELEFON: 55 58 22 28 E-POST: lfi@uni.no
LFI-Rapport 271	ISSN-1892-889	
TITTEL Gassmetning i Otra nedenfor kraftverk Brokke	DATO: 03.05.2016	
FORFATTERE: Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl, Knut Wiik Vollset, Bjørn Torgeir Barlaup, Espen Olsen, Bjørnar Skår	GEOGRAFISK OMRÅDE: Aust-Agder	
Oppdragsgiver: Otra Kraft	ANTALL SIDER: 40	
<p>Sammendrag:</p> <p>Overvåking av gassovermetning i Otra nedenfor Brokke kraftverk (2011-2015) har vist at det fantes gassovermetningsbølger opptil 172 % TGP (total gass pressure). I mer enn 45 % av tiden 2013-2015 var gassovermetningen over 110 %. Gassovermetningsbølger forekom sjeldent om vinteren, men var dominerende om våren (april – juni). Deretter forekom de periodisk inntil desember.</p> <p>Overvåkingen av området som er rammet indikerer at gassovermetningsbølger kunne i perioder følges minst til Ose bro i Åraksfjorden 30 kilometer nedenfor Brokke kraftverk. Fra 21 km var verdiene imidlertid bare unntaksvis over 110 % - en verdi som betraktes som grenseverdi for fisk i Canada og USA. I strekningen mellom kraftutløp og Rysstadbassenget (4 km) ble det nesten ikke funnet fisk etter gassovermetningsepisoder og det må gås ut i fra at den periodiske gassovermetningen dreper fisk i den delen av Otra, særlig i sommerhalvåret. Fra Rysstadbassenget og nedover forekommer fisk (ørret og ørekyte) og nedenfor Tjurrmoen demning også bleke. Her er det større vanddyp der fisk kan kompensere for overmetning samt at overmetning gradvis luftes ut. Maksimalverdiene i gassbølgene ble i snitt redusert med 2,8 % per km elv, størst var reduisering i de øverste 11 km (Brokke-Tjurrmoen demning) med 6,4 % per km elv.</p> <p>Resultatene tyder på at midtre og nedre minstevannføringsstrekning ved Hekni ikke er utsatt for gassovermetning fra Brokke ved vanlig restvannføring, mens øvre del er utsatt for lave til moderate verdier (106-110 %). Når kraftverk Hekni stenges eller ved flom, når større mengder vann renner gjennom strekningen, vil også gassovermetningsbølger fra Brokke kunne transporteres gjennom denne delen av Otra. I en sånn situasjon er fisk (inkludert bleke) i den strekningen sannsynligvis utsatt for skadelige gassmetninger mellom 110 % og 125 %.</p> <p>Det er overveiende sannsynlig at gassovermetningen i Brokke kraftverk forårsakes av luft som rives med i bekkeinntak når bekkene fører mye vann, særlig i vårløsning og snøsmelting og ved regnværsepisoder ellers i året.</p>		
EMNEORD: Gassovermetning, bleke, Otra, bekkeinntak		

Innhold

1	Innledning	3
2	Metoder	4
2.1	Gassmetningslogging	4
2.2	Vannføringsmålinger fra 2014	6
3	Resultater	7
3.1	Gassovermetning i utløp Brokke.....	7
3.2	Gassovermetningens omfang i Otra nedenfor Brokke	10
3.3	El-fiske nedenfor Brokke	15
3.4	Et eksempel på en gassovermetningsbølge.....	16
3.5	Gassovermetning og kraftverksdrift	18
3.6	Vannstand i bekkeinntakene og gassovermetning	21
4	Diskusjon	26
5	Appendix	30
6	Referanser	38

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 trykkrør eller 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). Pelton-turbiner lufter vanligvis vannet godt, men en kan likevel ikke utelukke gassovermetning nedenfor (Golmen 1992). Overmetningen kan også oppstå i selve utløpskanalen dersom innpiskete luftbobler dras med ned i dypet der vannet står under hydrostatisk trykk (Pulg et al. 2015). 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"), deriblant laks (*Salmo salar*). 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 bassenger der fiskene ikke kan unnvike til større vanddyp for å kompensere for overmetningen. Gassovermetning kan også føre til en atferdsendring med endringer i habitatbruk, siden fiskene kan flykte til dypere områder (Beeman et al. 2006). Gassovermetning kan kompenseres med ca. 10 % pr. meter vannsøyle (Henry 1803). Har vannet 110 % metning vil en fisk på 1 m dyp oppleve 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) anbefaler 110 % som grenseverdi for elver dypere enn 1 m og 103 % for grunnere elver.

Nedenfor kraftverk Brokke var det mistanke om gassovermetning siden det har blitt observert fiskedød, samt blakket vann. Dessuten la fylkesmannen merke til at ørekytens utbredelse (invasive species i Otra) oppover i Otra ble forsinket ved Brokke kraftverk. Fra 2011 satte Otra Kraft i gang overvåking av gassmetning. Overvåkingen ble utvidet etter hvert og er beskrevet i metoddelen nedenfor. Deretter vises resultater (kap. 3, s. 7) fra perioden 2011-2015 som diskuteres i etterfølgende kapittel (4, s. 26).

2 Metoder

2.1 Gassmetningslogging

Fra 2.2.2011 har gassmetningen blitt målt ved utløpet av Brokke kraftverk. I begynnelsen var formålet å sjekke om det finnes gassovermetning (2011). Deretter ble omfanget av overmetningen kartlagt. Bakgrunn er at det var mistanke om gassovermetning som følge av at det har vært observert blakking av vannet, død fisk og en forsinket utbredelse av ørekyte forbi Brokke kraftverk.

Gassloggerne som ble benyttet er basert på et «Weiss-saturometer» (Weiss 1970, Produsent: Fisch- und Wassertechnik, spesiallaget for varighetsinnsats i elver) som måler totalgasstrykket i en slange under vann og lufttrykk i selve loggeren på land. Gassmetning ble logget i prosent hvert 30. minutt. Verdien i prosent gjenspeiler totalgasstrykket (TGP, total gas pressure) i vann ved vannoverflaten. Fra juli 2012 til juli 2013 ble omfanget av gassmetning i Otra overvåket med til sammen 4 stasjoner som ble satt opp ved utløp Brokke (fortsettelse av overvåking der), ved pH-stasjon (1,2 km nedenfor), ved Skagen bro (1,5 km nedenfor) og Straume bro (Rysstadbassenget 8, km nedenfor Brokke), se Fig. 1 nedenfor. Varighetslogging ble supplert med håndlogging og et omfattende elektrofiske (transektelektrofiske etter Forseth *et al.*, 2008) for å kunne vurdere eventuelle effekter på utbredelse av fisk (2012).

I løpet av overvåkingsperioden ble stasjonsnettutvidet. I august 2013 ble en logger flyttet fra pH-stasjonen (1,2 km) ned til Tjurrmodammen (11 km) for å kunne vurdere transport av overmettet vann gjennom hele Rysstadbassenget. Dessuten ble det satt opp en totalgasslogger (TGP, T, O₂, N₂, CO₂) ved utløp Brokke for å kunne vurdere andel av de forskjellige gassene, da særlig N₂. Totalgassloggeren beregner N₂ andelen med grunnlag i de andre måleverdiene.

Loggeren ved Tjurrmodammen viste at gassovermettet vann i perioder passerte gjennom hele Rysstadbassenget (LFI Notat V, 2-2014). Derfor ble det satt opp en batterilogger nedenfor Hekni kraftverk i perioden mai-september 2014 (batterilogger er rimeligere men tåler ikke vinterdrift). Dessuten ble det gjennomført håndmålinger i en overmetningsperiode for å få en idé om området i Otra som er rammet av gassovermetning fra Brokke kraftverk. I 2015 ble det satt opp loggere i minstevannføringsstrekning ved Hekni, én øverst en én nederst. Dessuten ble det i perioder satt opp loggere i Otra nedenfor Hekni og i øvre Byglandsfjorden (21 km og 30 km nedenfor Brokke). En oversikt finnes i Fig. 1.

Agder Energi og Otra kraft bidro med data fra kraftverksdrift og bekkeinntak (Faråna). Disse ble sammenlignet med gassmetningsdata for å finne ut årsak til overmetningen.

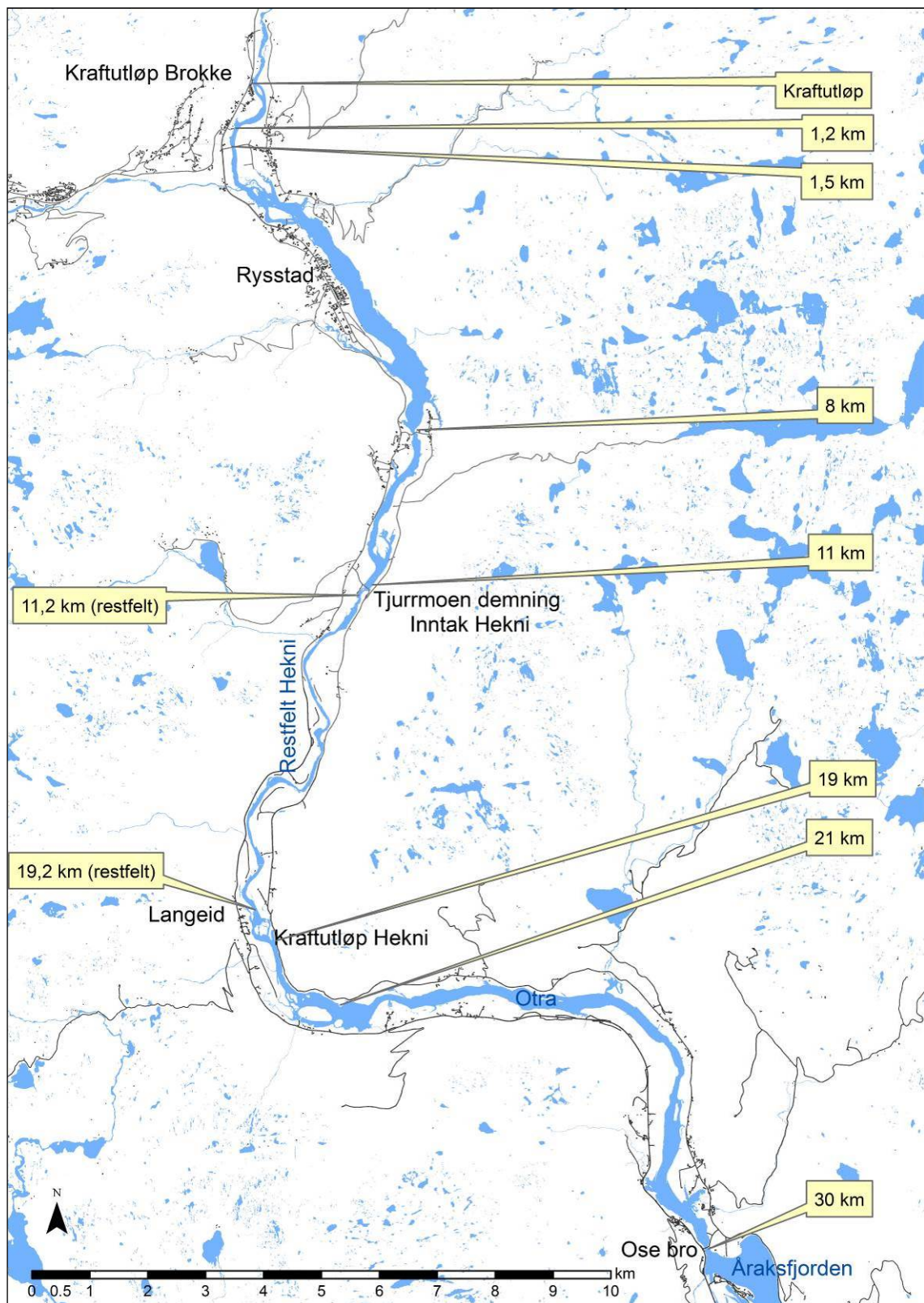


Fig. 1 Målepunkter for varighetslogging 2012-2016 med varighetslogger nedenfor Brokke.

2.2 Vannføringsmålinger fra 2014

Resultatene fra gassovervåkingen 2012-2014 tyder på at gassovermetningen mest sannsynlig ble forårsaket av luft som ble dratt inn i bekkeinntak (se notat V, 2-2014 og kap. 4). Det finnes 14 forskjellige bekkeinntak som kan bidra med uønsket luft i kraftverket, men det var usikkert om alle bidro og i hvilket omfang. Tiltak for å redusere innsuging av luft vil være kostbare og ikke minst derfor er det ønskelig at tiltak er målrettede og effektive. Struping og stenging av inntak vil kunne bidra til å identifisere luftkilder og samtidig teste omfang av nødvendig struping for å nå et ønsket gassmetningsnivå. Men også dette er relativt kostbart og omfattende. Sjakt- og tunnelsystemet er uten tilkomst ved drift, noe som gjør målinger inne i systemet meget kostbare. En alternativ måte er å linke vannføring i bekkeinntakene til gassmetning. Med dette kan kilder til luft sannsynliggjøres og rangeres. En sånn undersøkelse ble satt i gang i 2014. Metoden er basert på målepunkter utenfor sjakt/kraftverksystemet. Overvåking av gassovermetningen nedenfor kraftverket fortsatte – i tillegg ble det målt vannstand i alle 13 bekkeinntakene. Siden luftinndrag er avhengig av vannføring i et bekkeinntak kunne denne undersøkelsen vise hvilke bekkeinntak som sammenfaller best med gassmetningsverdiene. Forutsetning var at bekkeinntakene har signifikante forskjeller i vannføring. Dette var ikke sikkert men det var sannsynlig å finne lokale og temporære forskjeller siden nedbørsfeltene strekker seg over mer enn 40 km lengde og ligger i forskjellige høyder (500-700 moh).

I juli 2014 ble det satt opp en vannmålestasjon på hvert bekkeinntak. Det ble målt vannstand basert på hydrostatisk trykk rett ved inntakene i 30 minutters intervaller (Solinst levellogger model 3001). Avløpstvernsnitt og fall ble nøye oppmålt med målebånd, lasermåler (Hilti 343) og differential GPS (Trimble R8). Loggerne har målt fra juli 2014 til juli 2015. Dataene ble deretter korrelert til gassdataene.



Fig. 2 Installasjon vannstandslogger og oppmåling juli 2014 (her Ljoså)

3 Resultater

3.1 Gassovermetning i utløp Brokke

I utløp fra Brokke kraftverk ble det påvist gassovermetning opptil 172 %. Gassmetningsforløpene gjennom årene 2011-2015 viste liknende mønster (Fig. 3 f.). Vanligvis var det ingen overmetning om vinteren (januar-mars). Vannet var på denne tiden faktisk ofte litt undermettet (90-100 %). Under vårløsningen (april) ble det registrert en til to episoder (3-15 dager) med overmetning, mens det fra mai juni-juli har vært gjennomgående overmetning med varige og høye verdier (opptil 172 %) over flere uker. Utover høsten har det forekommet episoder med overmetning (opptil 172 %), men også lengre perioder uten overmetning. I løpet av desember har det vært få eller ingen gassovermetningsepisoder. N₂ andelen lå i snitt ved 68,4 % og O₂ andelen ved 31,6 % (2013-2015, Fig. 7). Gassovermetningens varighet varierte mellom årene. I 2012 var gassmetningen over 110 % TGP i 30,1 % av tiden (109 dager). I 2013 var det tilfelle i 36,8% av tiden (134 dager), i 2014 i 56,8 % av tiden (207 dager) og i 2015 i 45,8 % av tiden (167 dager). Gassmetning i restfeltet rett ovenfor Brokke ble logget ved flere (6) anledninger i perioden 2011-2015. Hver gang ble det målt verdier mellom 100 % og 101 %.

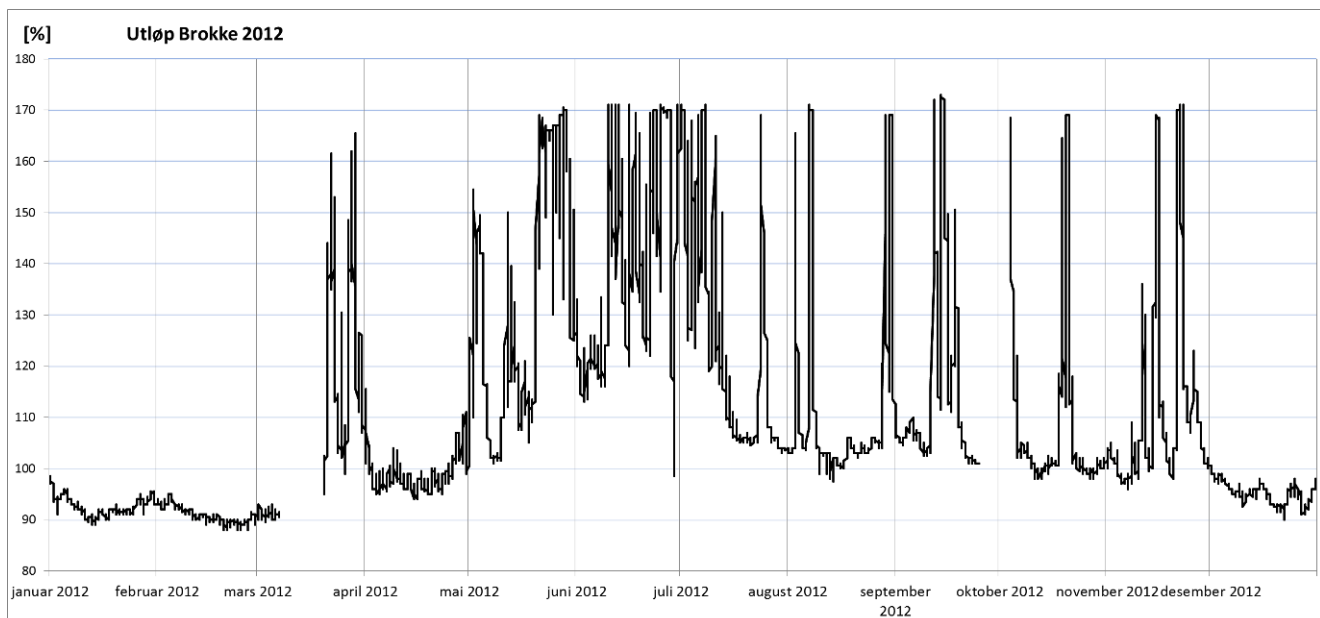


Fig. 3 Gassmetning i utløp Brokke (vannoverflaten) for hele 2012.

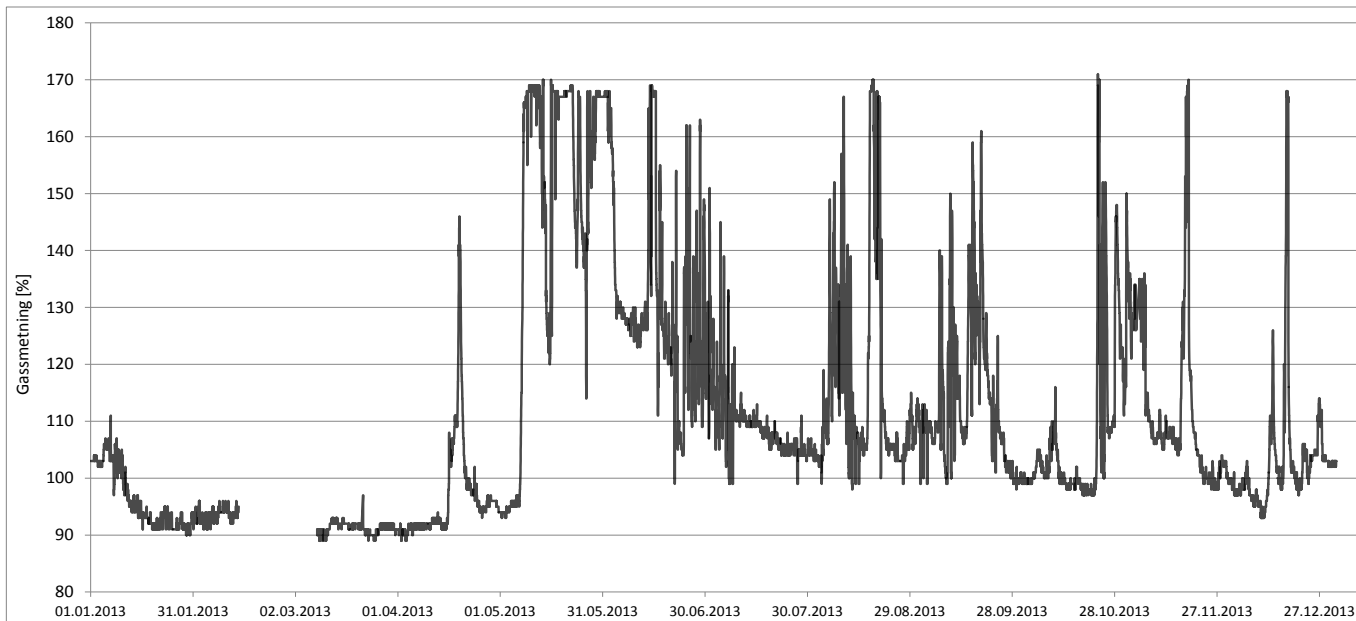


Fig. 4 Gassmetning i utløp Brokke (vannoverflaten) for hele 2013.

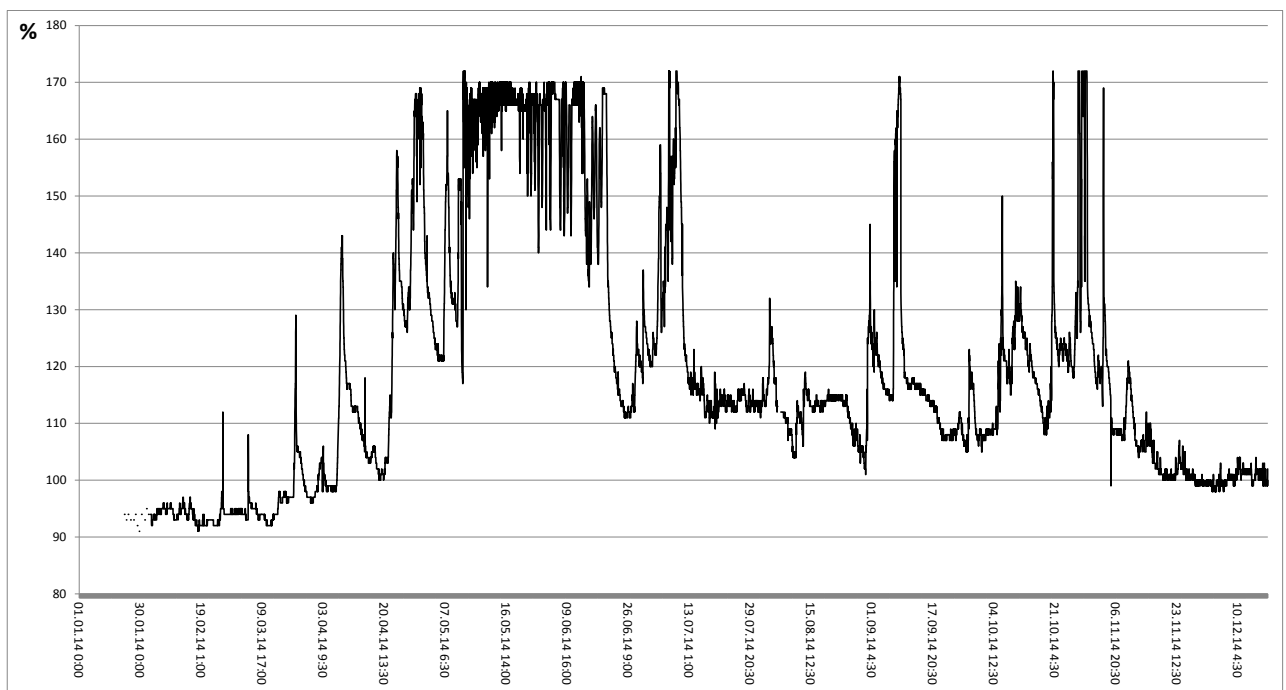


Fig. 5 Gassmetning utløp Brokke kraftverk (2014)

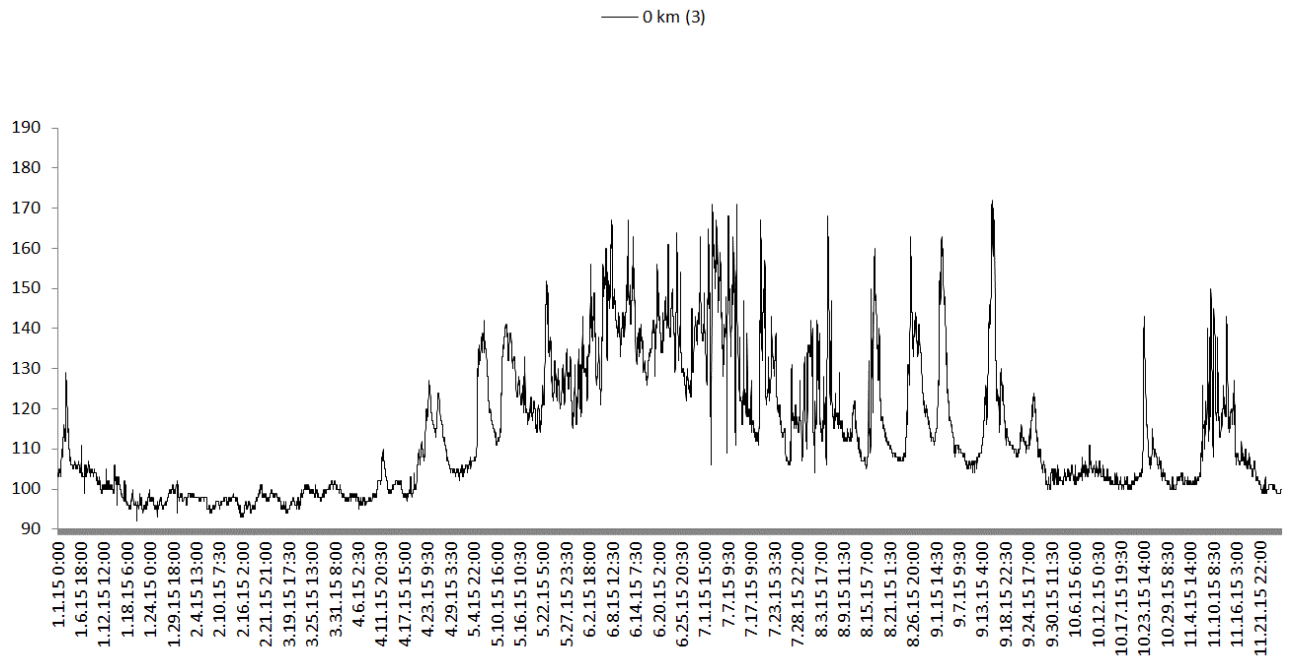
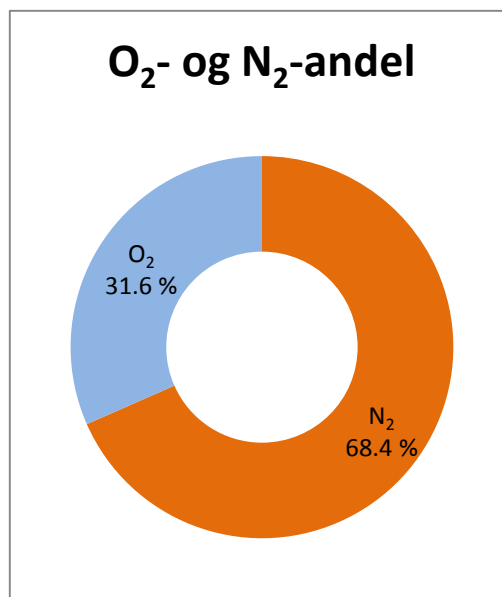


Fig. 6 Gassmetning fra utløp Brokke i 2015

Fig. 7 O₂- og N₂-andel i løst gass i overmetningsperioder 2013-2015 (utløp Brokke).

3.2 Gassovermetningens omfang i Otra nedenfor Brokke

Datakurvene vises som samlefigurer her, detaljer kan sees i enkelkurver i appendix, kap. 5, s. 30.

3.2.1 Gassmetning i hovedelva

Gassovermetningsbølger kan følges i Otra nedenfor Brokke (Fig. 9, Fig. 10 Fig. 11, Fig. 13 og Tabell 1). 1,2 km nedenfor Brokke har gassovermetning nådd verdier opp til 169 %, 1,5 km nedenfor opp til 168 %. Sånne toppe forekom i perioder med kronisk overmetning om våren (mai). Varigheten av toppene var kortere 1,2 og 1,5 km nedenfor enn i kraftutløp Brokke. Ved mer kortvarige overmetningsbølger fra Brokke (typisk juli-november) var toppene på de to målestasjonene typisk 130 % - 160 %. 8 km nedenfor i Rysstadbassenget nådde gassverdiene opptil 142 % i kroniske perioder og lå typisk mellom 120 og 130 % i kortvarige bølger. I kurvene 8 km ndf. kan det dessuten sees periodevis tydelige døgnvariasjoner mellom ca. 100 og 110 % eller mindre - uavhengig av Brokke kraftverk. 11 km nedenfor ved inntak til Hekni kraftverk, ble det registrert opptil 128 % i kroniske perioder og opptil rundt 120 % ved mer kortvarige overmetningsbølger fra Brokke. Ofte var gassmetningsverdiene mellom 105 og 115 %. Også her ble det observert døgnvariasjoner som samsvarer med dem fra 8-km-loggeren. Fra inntaket Hekni ledes vannet gjennom kraftstasjonen. I følge Otra Kraft utsettes vannet for 0,5-2 bar på vei gjennom kraftstasjonen (pers. kom. Ole Morten Egeland). Rett nedenfor (19 km nedenfor Brokke) ble det registrert verdier som samsvarer med inntaket Hekni, bare ca. 0-5 % lavere. Ved målestasjonen 21 km og 30 km nedenfor Brokke dominerer mer og mer døgnvariasjoner mellom 100 og 107 %. Større gassmetningsbølger fra Brokke kan imidlertid også gjenkjennes her for eksempel 16.9. 2015 (Fig. 13). Stort sett ligger toppene under 110 % og har maks. nådd 111 % (30 km).

Tabell 1. **Karakteristiske verdier av loggerne i Otra nedenfor Brokke, x = persentil**

		Utlop_Brokke	1.2 km	1.5 km	8 km	11 km	11.2 km	19.2 km	19 km	21 km	30 km
2015	min	92		91*	93	92	95*	94*	95*	100*	98*
	maks	172		149*	135	127	125*	111*	126*	110*	112*
	middel	114		101*	101	103	107*	101*	103*	104*	103*
	x50	108		97*	98	101	107*	100*	101*	105*	102*
	x75	123		102*	102	108	108*	103*	106*	106*	105*
	x95	147		129*	121	117	109*	106*	114*	108*	109*
2014	min	91		92	92	92			91*		
	maks	172		165	133	125			123*		
	middel	118		116	107	106			108*		
	x50	113		113	103	105			108*		
	x75	125		125	112	111			112*		

	x95	168		151	126	120			117*		
--	-----	-----	--	-----	-----	-----	--	--	------	--	--

*: logget bare deler av året på den lokaliteten i det året

		Utlop_Brokke	1.2 km	1.5 km	8 km	11 km	11,2 km	19.2 km	19 km	21 km	30 km
2013	min	87	90*	91	89	91*					
	maks	172	169*	168	142	122*					
	middel	112	10*	108	101	103*					
	x50	105	94*	106	98	103*					
	x75	124	101*	112	108	106*					
	x95	169	133*	126	117	109*					

*: logget bare deler av året på den lokaliteten i det året

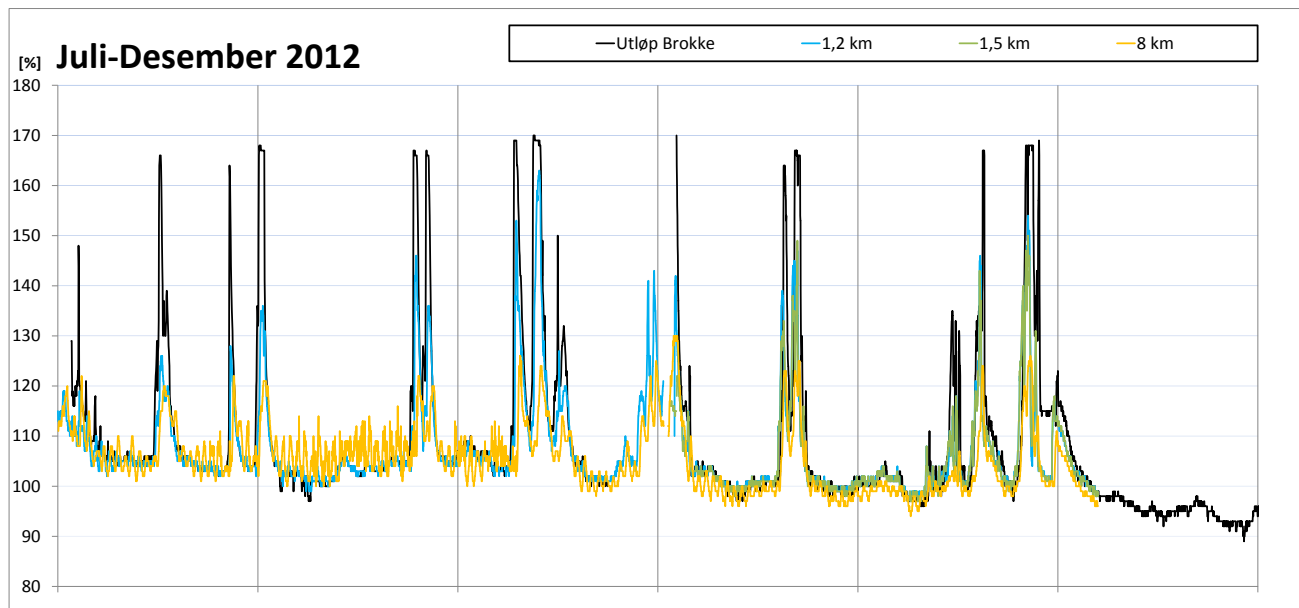


Fig. 8 Gassmetningsdata i Otra nedf. Brokke 2012, fra juli da flere loggere var på plass 1,2, 1,5 og 8 km nedenfor .

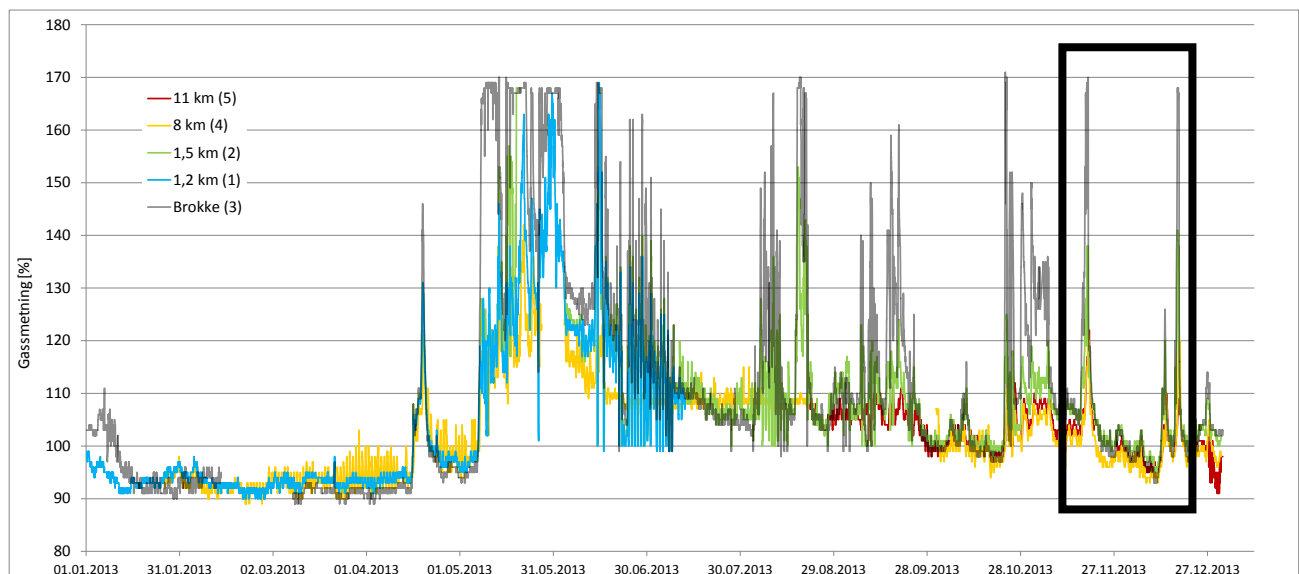


Fig. 9 Gassmetningsdata i Otra nedf. Brokke 2013. Det merkete område er vist eksemplarisk i en forstørret figur nedenfor.

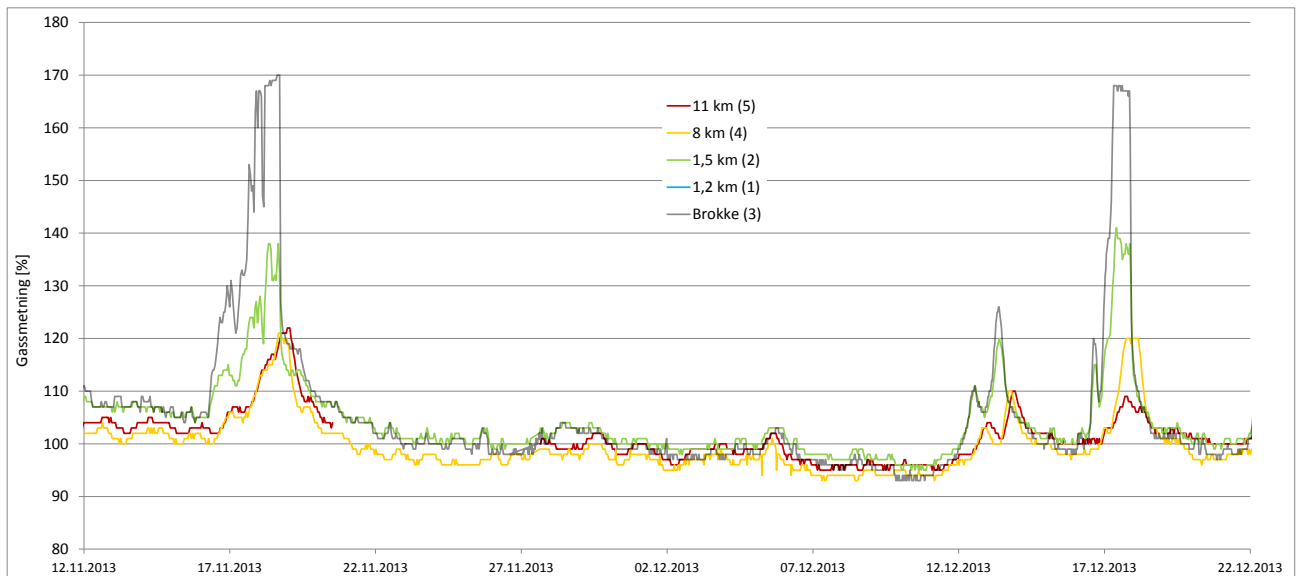


Fig. 10 Zoom 12.11. – 22.12. 2013, en periode som viser typiske forløp av gassovermetningsbølger fra Brokke og nedover i Otra til Tjurrmodammen.

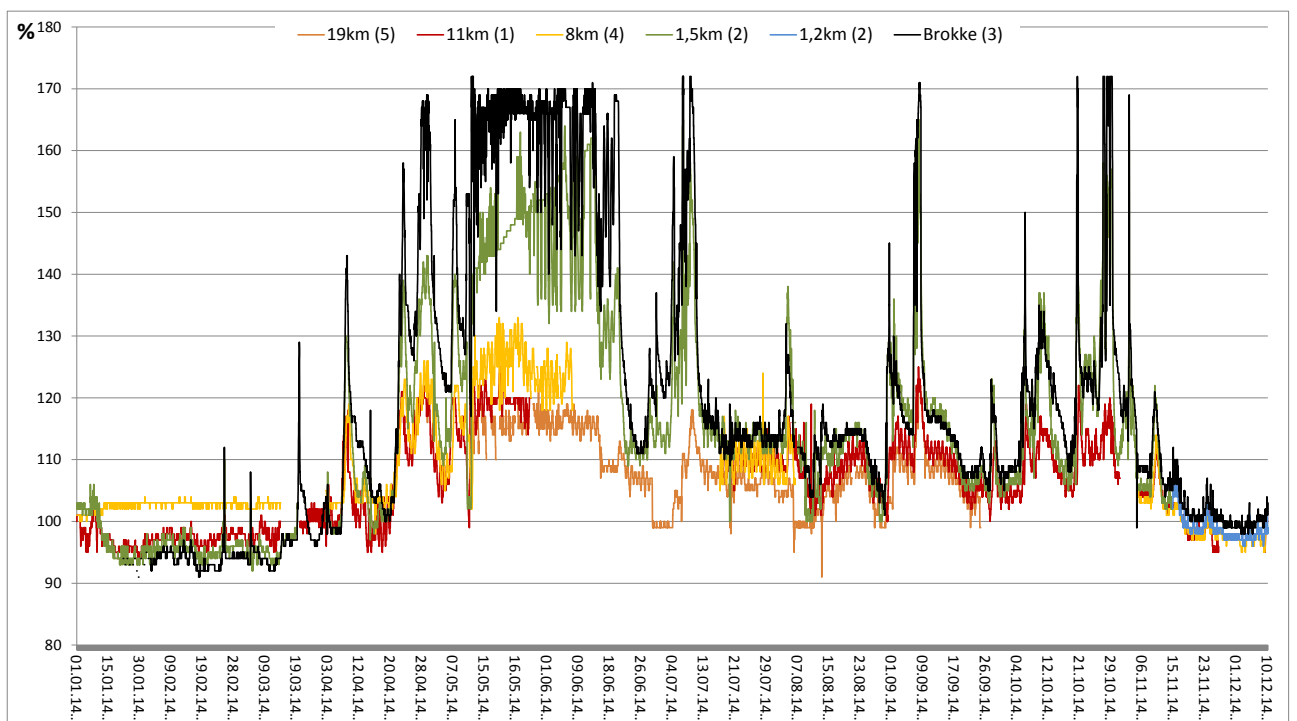


Fig. 11 Gassmetning i Otra nedenfor Brokke i 2014

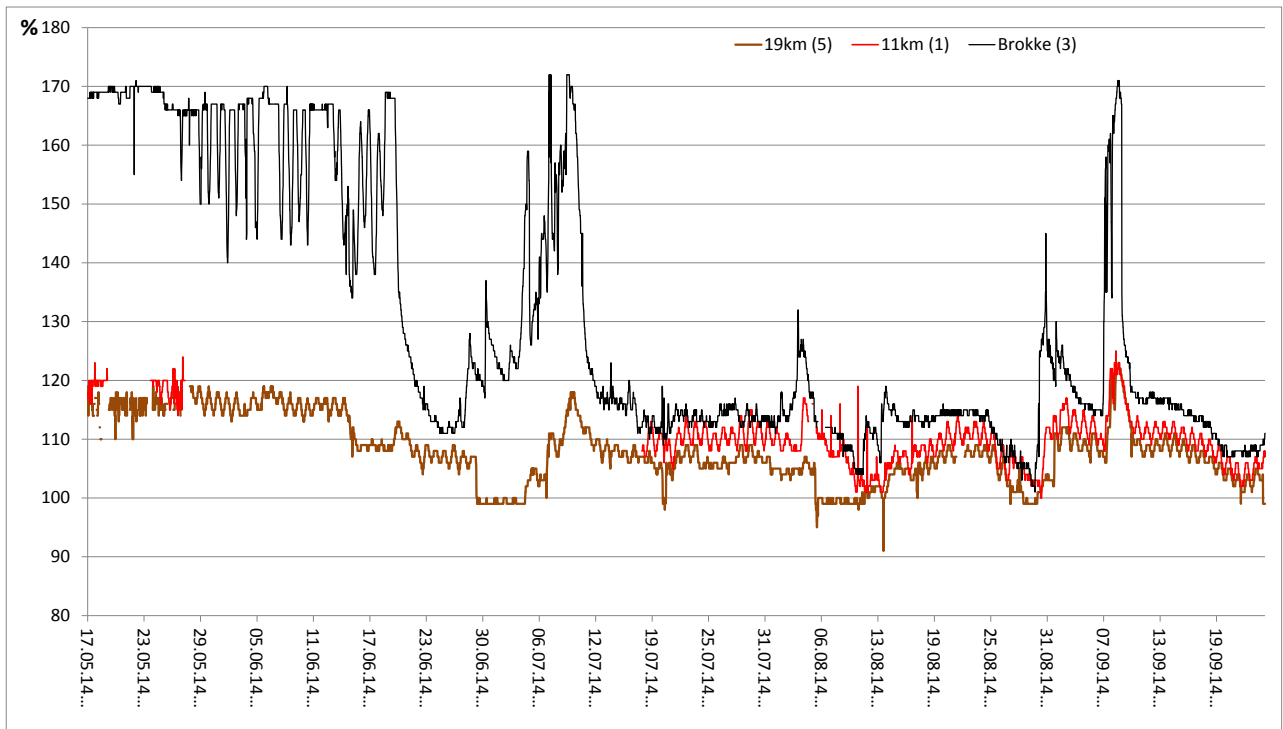


Fig. 12 Gassmetning nedenfor kraftverk Hekni (19 km fra Brokke). Dessuten vises verdier fra stasjon ved inntak Hekni (11 km) og utløp Brokke (svart)

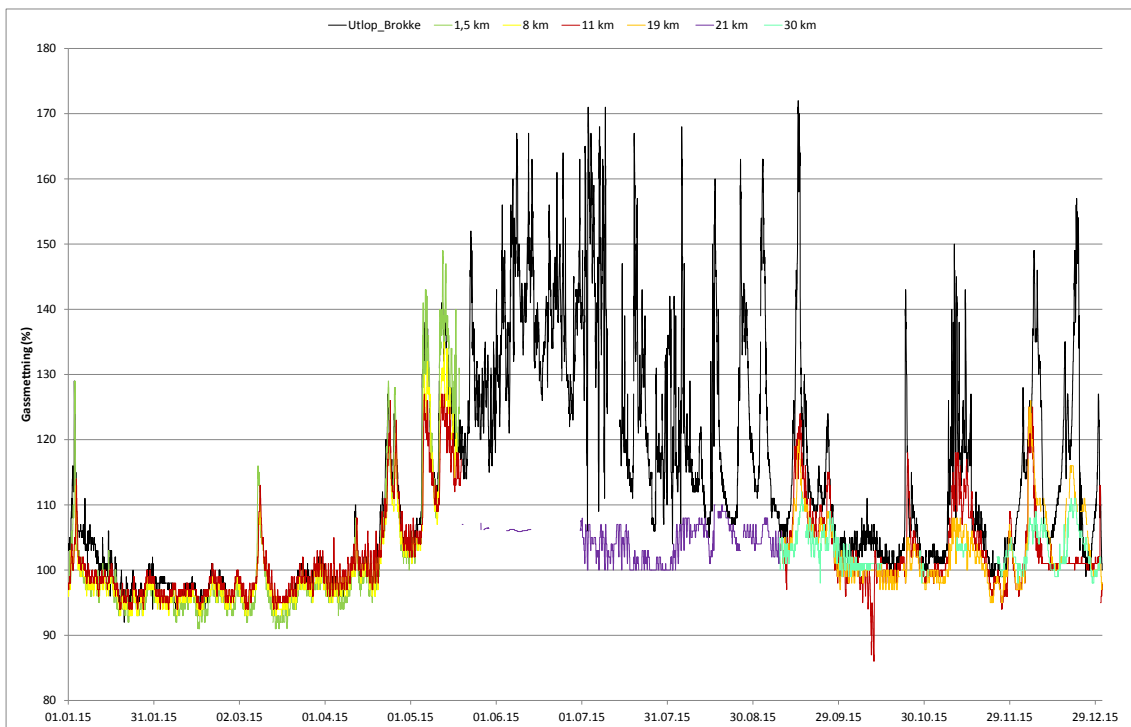


Fig. 13 Gassmetning fra alle målestasjoner i OTRAS hovedløp i 2015. Loggeren 11 km var i perioder om sommeren påvirket av mye råtnende krypsiv. Resten av loggerne ble brukt i minstevannføringsstrekning om sommeren (s. ndf.).

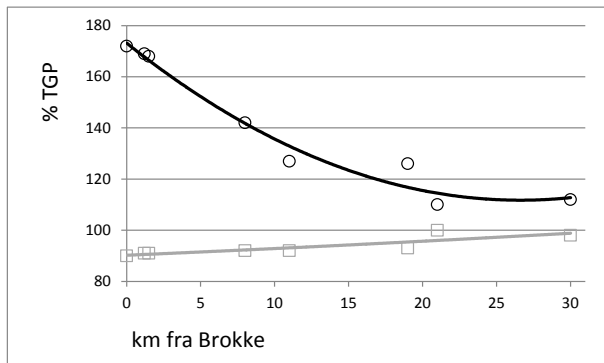


Fig. 14 Transport av gassmetningsbølger gjennom Otra, vist som maksverdier (svart), og minimumsverdier (grått, 2013-2015).

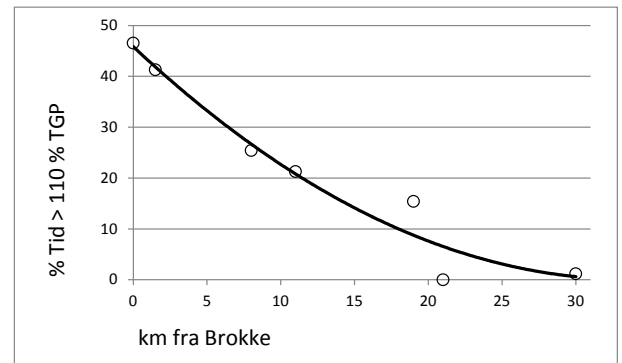


Fig. 15 Andel tid i prosent med TGP-verdier over 110 % i Otra nedenfor Brøkke (middel 2013-2015, korrigert for forskjellig loggingstid på lokalitetene).

3.2.2 Forløp og varighet av gassmetningsbølger

Gassmetningsbølgenes forløp kan fremstilles med maksimal- og minimalverdiene på loggelokalitetene (Fig. 14). Både maksimalverdiene og minimalverdiene går mot 100 % metning men flater av etter ca. 10-20 km. Maksimalverdiene reduseres nærmest lineært og flater så asymptotisk av. Det lineære fallet på de første 11 km tilsvarer ca. 6,4 % gassovermetningsreduksjon per km. Samlet tilsvarer reduksjon av gassovermetning 2,8 % per km elv. Maksimalverdiene rekker ikke 100 % men 110 % og 112 %.

I Fig. 15 vises andel tid med en gassovermetning over 110 %. Her ligger alle målte verdier 2013-2015 til grunn og det ble tatt høyde for forskjellige loggingstidsrom i årene. Ved Brøkke lå gassmetningsverdiene over 110 % i snitt i mer enn 46 % av tiden, ved inntak Hekni i mer enn 21 % av tiden og rett nedenfor Hekni i mer enn 15 % av tiden. Fra 21 km ndf. Brøkke ligger verdiene nesten alltid under 110 %.

3.2.3 Minstevannføringsstrekning ved kraftverk Hekni

I strekningen mellom Tjurrmoen demning og utløp kraftverk Hekni ved Langeid er vannføringen i Otra redusert og det er etablert en minstevannføring. I denne strekningen var maksimalverdien øverst (11,2 km) 125 %, 8 km nedenfor ved enden av strekningen var det maksimalt 111 %. Disse verdiene ble målt i slutten av august da kraftverk Hekni var stengt og hele vannføringen rant gjennom strekningen. I vanlige restvannssituasjoner var verdiene øverst 107 % og nederst 101 % (Tabell 1, Fig. 16).

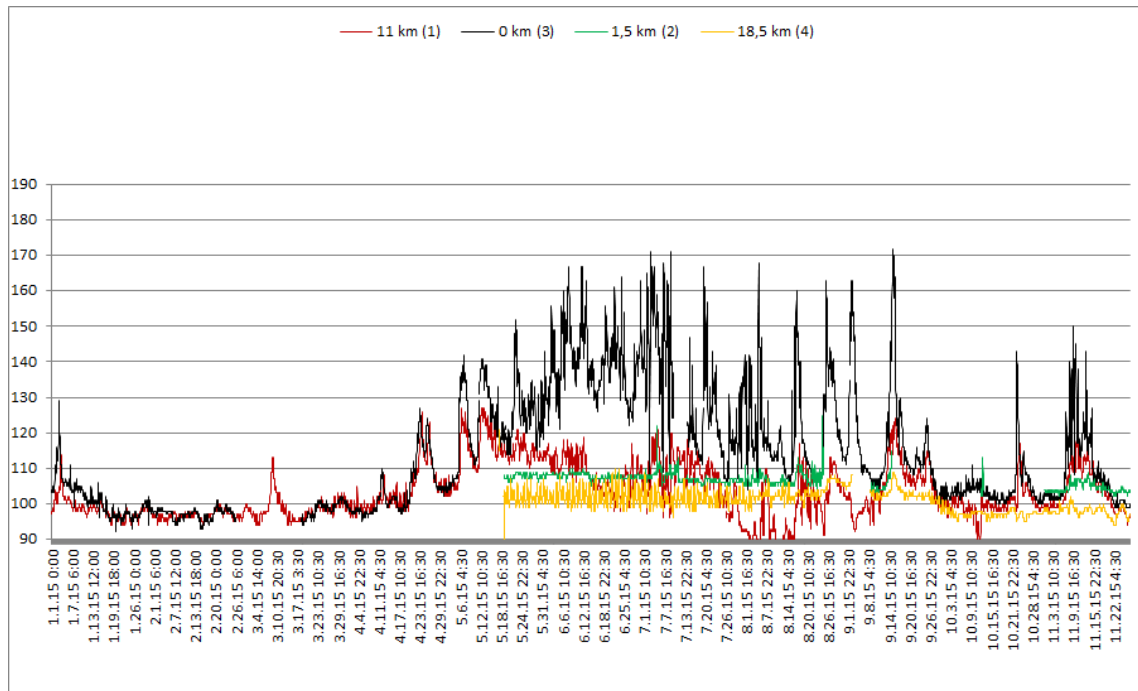


Fig. 16 Gassmetning fra stasjoner i strekning med minstevannføring nedenfor Tjurrmoen (stasjon 2) og ovenfor blekeløpet (stasjon 4), sammenstilt med data fra ovenfor Tjurrmoen (stasjon 1) og utløpet i Brokke (stasjon 3) i 2015.

3.3 El-fiske nedenfor Brokke

30.-31. oktober 2012 gjennomførte vi el-fiske i Otra ved og nedenfor Brokke. Vanntemperatur lå ved 5 grader, ledningsevne va $10 \mu\text{S}/\text{cm}$, i restfeltet ovenfor var det 0,8 grader og $8 \mu\text{S}/\text{cm}$. Vi fisket transekter med én gangs overfiske langs begge bredder, fangsten fra begge bredder er slått sammen. Vi begynte 400 m ovenfor Brokke og avsluttet i øvre enden av Rystadbassenget der vi igjen begynte å få fisk. Resultatene er vist i Fig. 17. Ovenfor Brokke, i restfeltet, fikk vi 16 aure per 100 m^2 mellom 5 og 23 cm samt ørekyte/ 100 m^2 mellom 4 og 7 cm, dette til tross for meget lave temperatur. Nedenfor Brokke fant vi knapt noe fisk og det gikk timesvis uten fangst. Ved tre transekter ble det fanget ørekyte men i svært lave tettheter ($1-3/100 \text{ m}^2$) og samtlige av disse ble funnet ved bekkemuninger. Først i øvre del av Rystadbassenget begynte vi å få fisk igjen, 11 aurer / 100 m^2 og 10 ørekyte/ 100 m^2 .

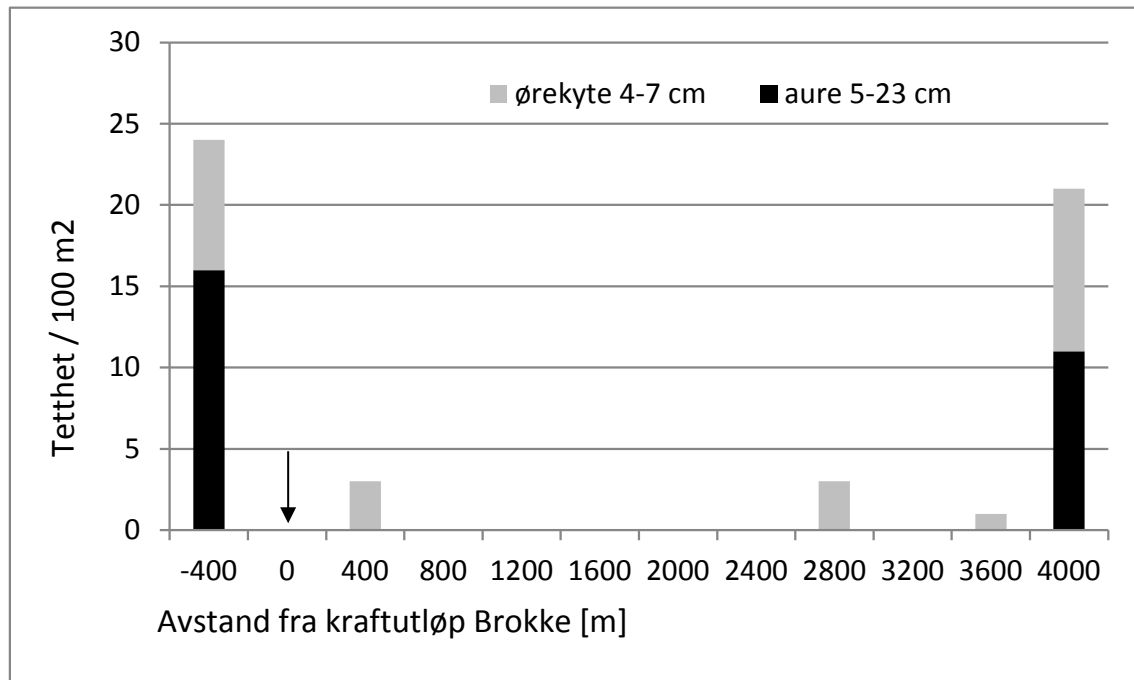


Fig. 17 Data fra el-fiske 30.-31. 10. 2012. Ørret ble bare funnet ovenfor kraftutløpet og i Rystadbassenget. Ørekyte fantes også innimellom men i svært lave tettheter og samtlige ble funnet ved bekkemunninger.

3.4 Et eksempel på en gassovermetningsbølge

Den 03.-04. oktober 2012 lastet vi ned data fra målestasjonene, el fisket og gjennomførte vedlikehold. Mens vi jobbet langs Otra ble vi øyevitne til en gassmetningstopp fra Brøkke (170 %) den 04.10. (etter mye nedbør den 03. 10.). Vi fulgte den sterke gassovermetningen fra Brøkke og nedover til den forsvant. Vi målte følgende verdier med en håndholdt måler og på varighetsloggerne (Tabell 2):

Gassovermetning var tydelig å se i utløp Brøkke og ned til Straume bro. Vannet var blakket og fult av små bobler (se Fig. 18 og flere følgende som ble tatt i utløp Brøkke i mai 2014). Vi fulgte gassovermetning i oktober 2012 til den nådde verdier under 110 %, ca. 12,5 km nedenfor Brøkke. Kontrollmålinger ovenfor Brøkke (restfelt) og i sidebekker resulterte i verdier mellom 100 % og 101%.

Tabell 2. Gassmetningsverdier i Otra nedenfor Brøkke 04.10.2012, * håndmåling

Stasjon	Gassmetning	Distanse fra Brøkke
Utløp Brøkke	170 %	0
pH Stasjon	141 %	1,2 km
Skagen bro	138 %	1,5 km
Straume Bro	129 %	8 km
Inntak Hekni, ovenfor demning*	107 %	11 km
Inntak Hekni, nedenfor demning* (minstevannføring)	105 %	11,2 km
Hekni, Besteland *	103 %	12,5 km
Hekni, ndf. Kvernåni*	101 %	12,7 km

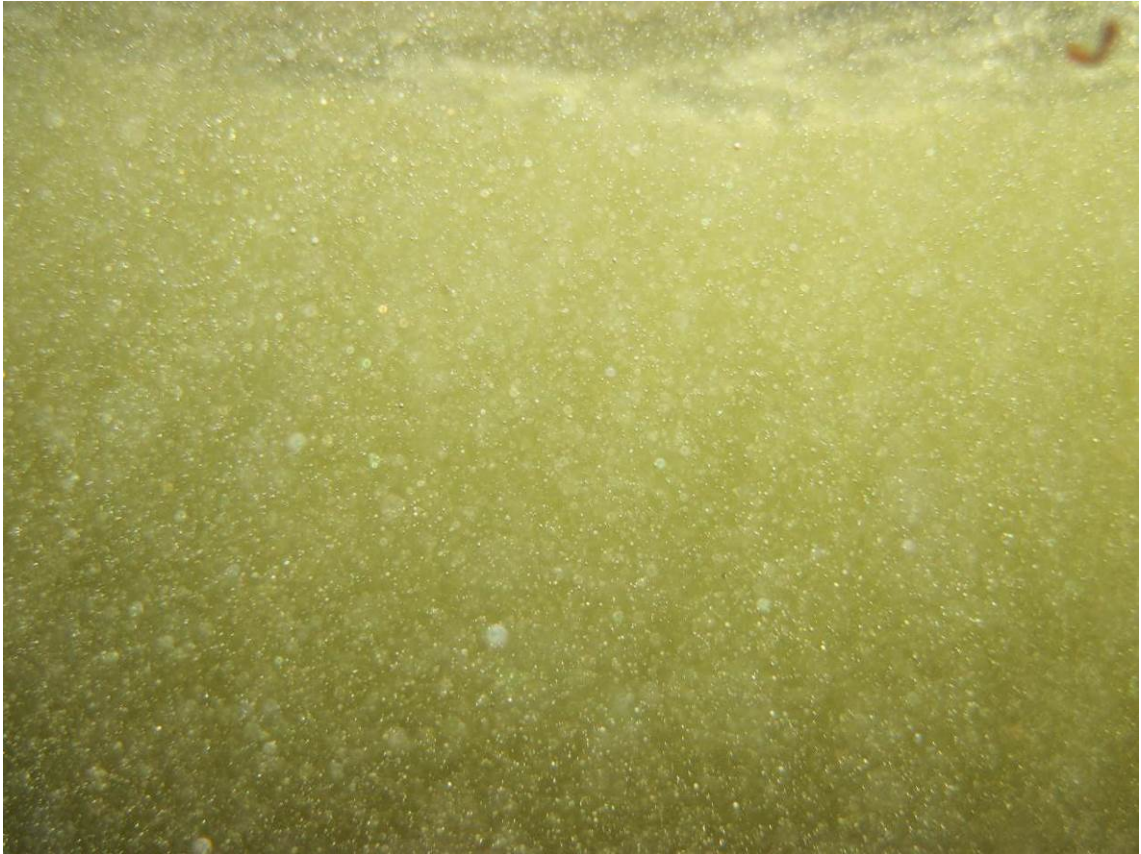


Fig. 18 Bildet er tatt under vann 1,2 km nedenfor utløp Brokke (04.10.2012) og viser masse små gassbobler i vann som hadde en gassmetning på 141 %.



Fig. 19 Gassovermettet vann (blakket hvit, 166 % TGP) i utløp Brokke kraftverk (28.5. 2014)



Fig. 20 Vannet fra restfeltet er ikke overmettet (100 % metning) og er klart og mørkt (pil) mens vannet fra kraftverket er overmettet (166 %) og blakket (gråhvitt).

3.5 Gassovermetning og kraftverksdrift

Dataene fra kraftverksdrift Brokke tyder på at gassovermetning sammenfaller med mye vann i bekkeinntakene (indikert gjennom målinger i Faråna 2012). Det er en signifikant korrelasjon mellom vannføring i Faråna og gassovermetning i kraftverksutløpet (Fig. 21 og Fig. 22, $R^2 = 0,6$, $p < 0,001$). Når det er mye vann fra magasinet (Botsvatnet) går overmetningen mot null. Jo mer vann fra Botsvatnet jo mindre overmetning. Også denne sammenhengen er signifikant (Fig. 23 og Fig. 24, $R^2 = 0,4$, $p < 0,001$).

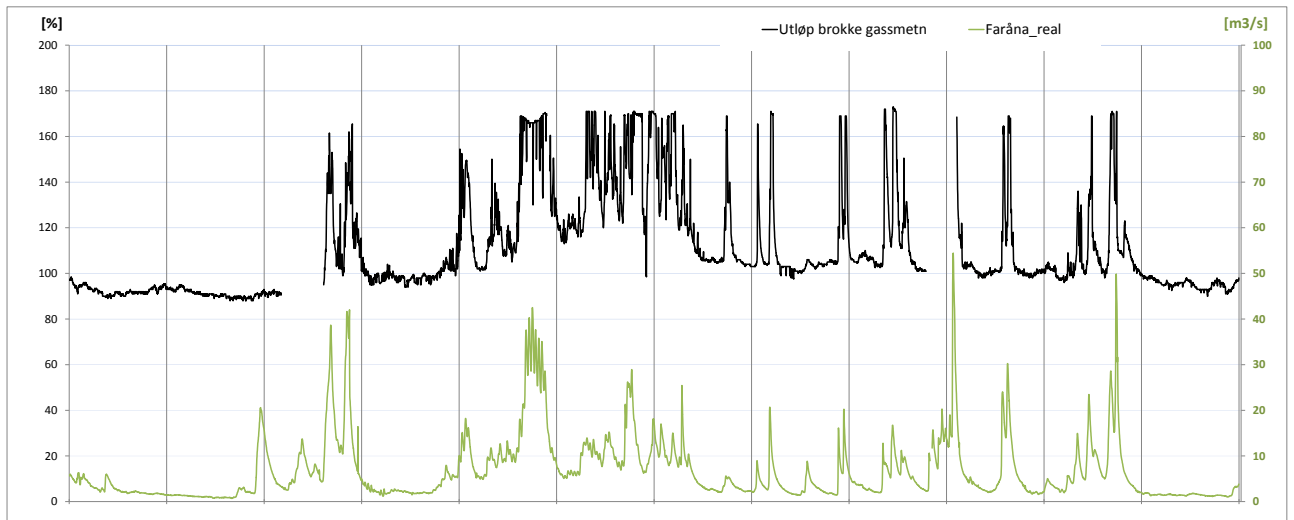


Fig. 21 Gassmetning (svart) i utløp Brokke og vannføring i Faråna (grønt) i 2012

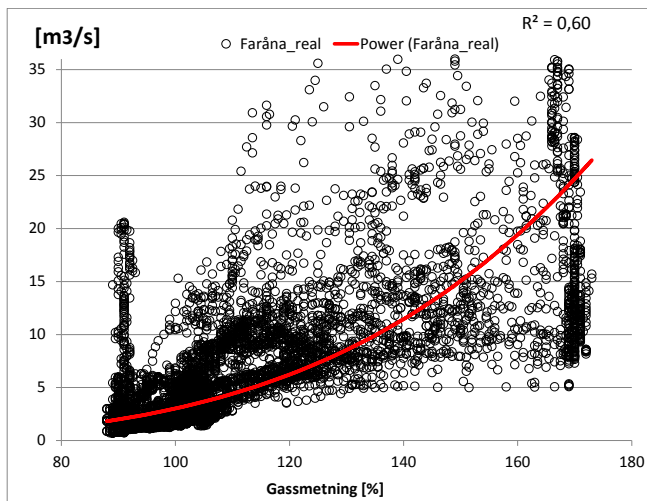


Fig. 22 Korrelasjon mellom gassmetning og vannføring Faråna

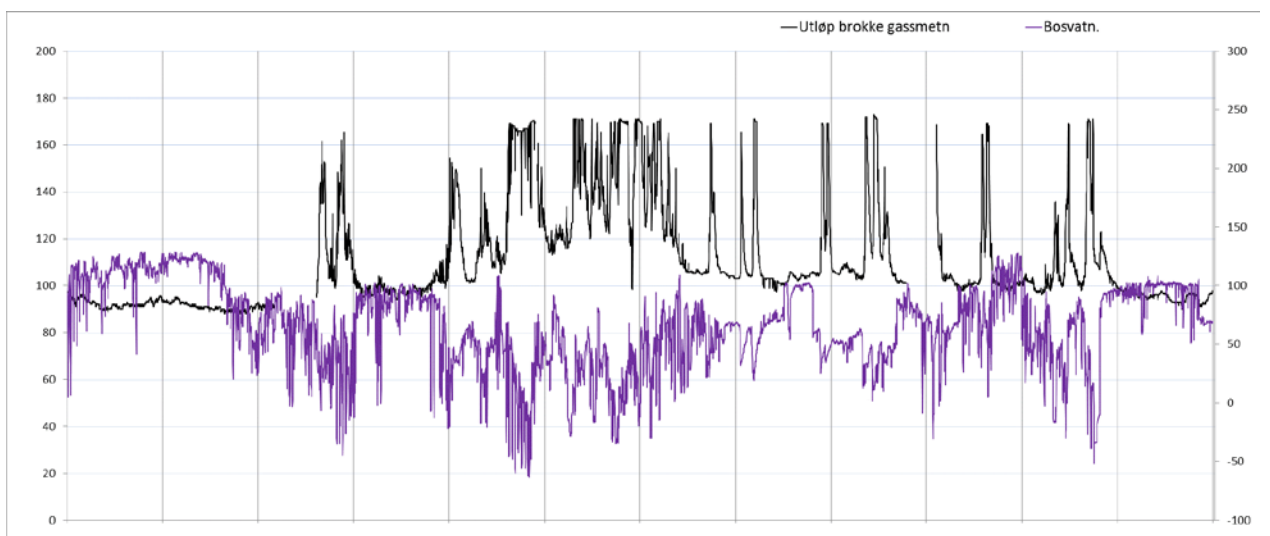


Fig. 23 Gassmetning (svart) i utløp Brokke og vannføring fra Botsvatnet (magasin, violett) i 2012

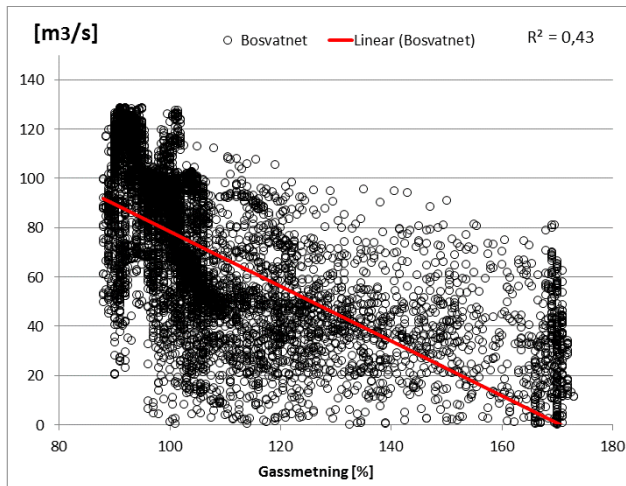


Fig. 24 Korrelasjon mellom gassmetning og vannføring fra Botsvatnet

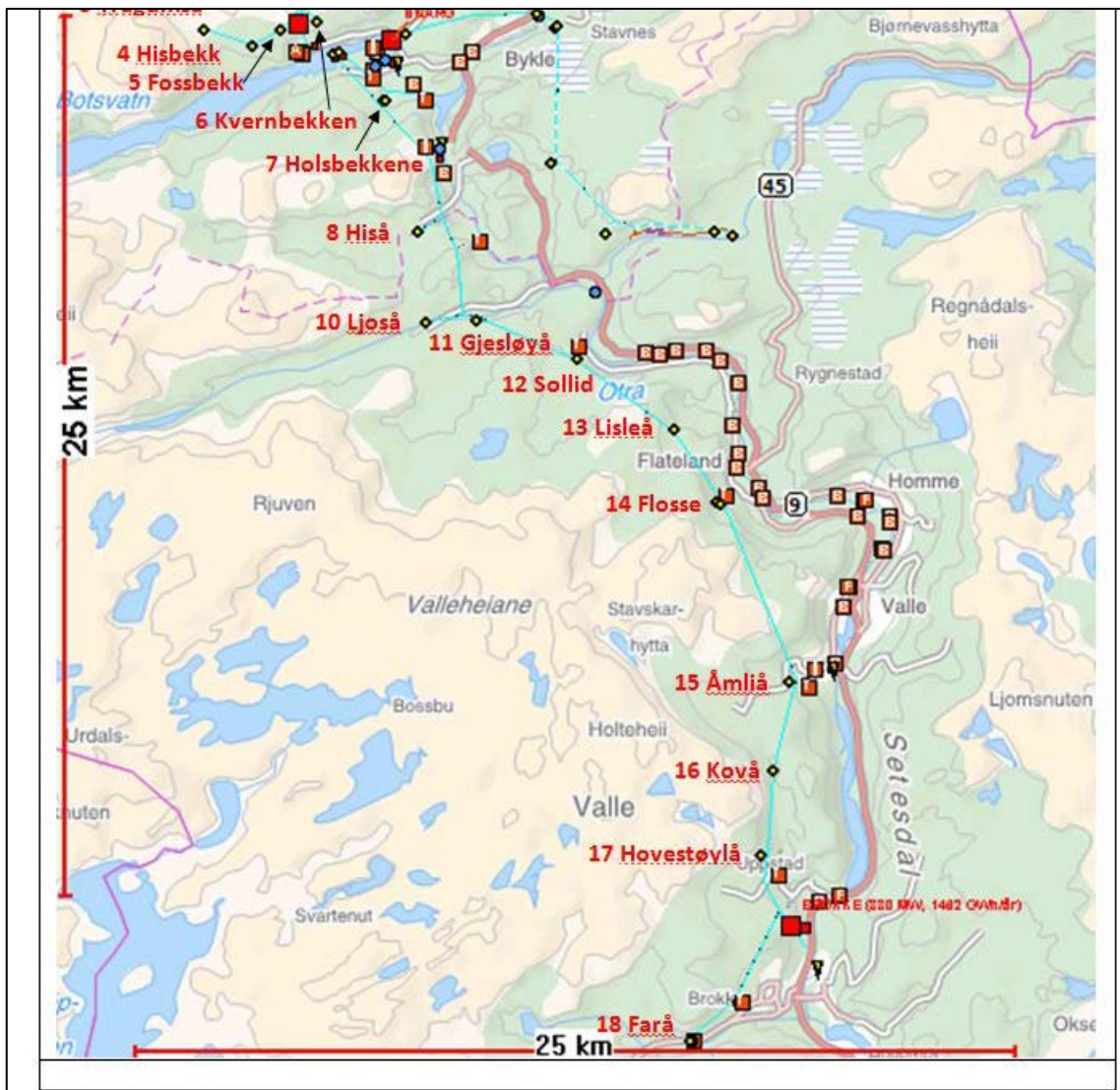


Fig. 25 Oversikt over bekkeinntakene nord for Farå til Botsvatnet (kilde: Otrå Kraft, egen nummerering)

3.6 Vannstand i bekkeinntakene og gassovermetning

Datanalysen er delt opp i to deler (1) en preliminær singelvariabel analyse med bruk av generalized additive modeller og lineære modeller og (2) en multivariat analyse ved bruk av lineære modeller.

Singelvariabel analyse

Generelt korrelerte alle vannstandsloggerne med gassovermetning målinger. Dette er logisk ettersom vannstanden vil øke og synke i takt med nedbør. Det er derfor ikke mulig å identifisere med hundre prosent sikkerhet hvilket bekkeinntak som bidrar mest til gassovermetning i kraftutløpet. Det er derimot mulig å objektivt evaluere hvilken bekkeinntaksdata som best beskriver mønsteret i gassovermetningsdata. Siden vi ikke vet den funksjonelle sammenhengen mellom bekkeinntaksdata og gassovermetningsdata bruker vi en Generalized Additive Model (GAM) og tilpasser værsammenheng mellom gassovermetningsdata og bekkeinntaksdata. En slik modell vil tilpasse kurvaturen til dataen basert på dataen selv. Modellen for hver enkel elv er som følger

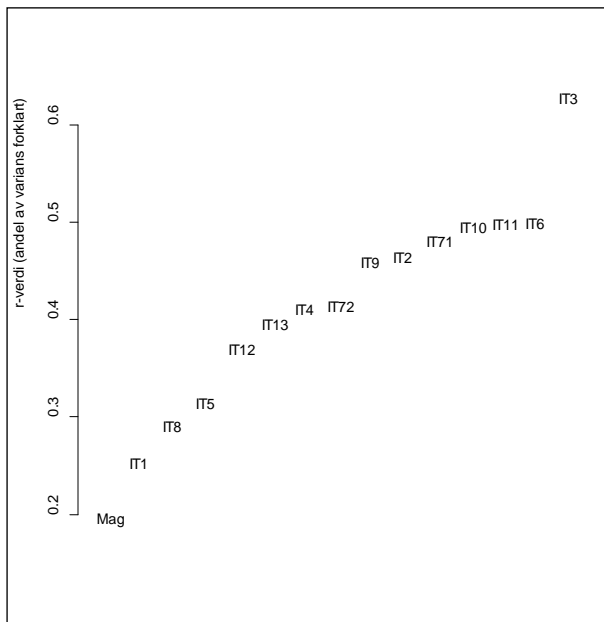
$$\text{Gass} \sim s(\text{vannnivå}_b)$$

Der gass er gassovermetning målt i utløpet og vannnivå er vannnivået målt ved bekkeinntak stasjon b .

For å bestemme hvilken stasjon som beskriver gassovermetningsdataen best tilpasser vi en modell for hver stasjon og sammenligner AIC kriteriet og R^2 verdier. Modellen er ikke korrigeret for autokorrelasjon (som åpenbar er sterk i et slikt datasett), men ettersom vi kun er interessert i hvilket datasett som passer best er dette ikke en problemstilling i denne analysen.

I selve analysen (Fig. 26-Fig. 29) har vi identifisert bekkeinntak 3 som den som forklarer dataene best ($R^2 > 0,6$). I tillegg viser vannstandsending i Botsvatnet (som er en indeks på vann som kommer fra Botsvannsmagasinet) en negativ korrelasjon med gassovermetning ($R^2 = 0.14$). Dataene viser også at man kan argumentere for at forholdet ikke er helt lineært, men den ekstra beskrivelsesgraden av gassovermetningsdataen er minimal. I tillegg virker ikke dataene å være normalfordelt, men til å ha noen høye datapunkter som ikke modellen kan beskrive. Dette ble forsøkt forbedret ved å bruke log-transformert data, men ga ikke noen bedre tilpasning til dataen.

Det virket også som det var en senere respons i gassovermetningen enn responsen i vannstand. Dette ble testet ved å variere lag i respons variabelen (det vil si at vi målte gassovermetningen 1 eller flere timer etter vannstandsmålingen). Den beste tilpassede responsen hadde en lag på 9 timer. Det vil si at gassovermetningen korrelerte best med bekkeinntak 3 hvis man måler gassovermetning 9 timer senere enn vannstanden i bekkeinntaket. Økningen i r^2 var derimot ikke større enn noen få prosent poeng, og det er dermed knyttet stor usikkerhet til om dette er en reell respons. Bruk av kalkulert transport tid fra de forskjellige bekkeinntakene ga ikke noe bedre forklaring.

Fig. 26 R² verdier for lineære modeller

Prioritet	Nr	
1	3	Ljoså
2	6	Lisleå
3	11	Farå
4	10	Havestøylå
5	71	Flosse
6	2	Hisa
7	9	Kovå
8	72	Flosse liten
9	4	Gjesløylå
10	13	Myklevatnet
11	12	Kvernå
12	5	Sollid
12	8	Åmliå
14	1	Holsbekkene

Tabell 3. Bekkeinntakene ordnet i rekkefølge etter sammenheng med gassovermetning

Multivariat analyse

Det er en rekke hypoteser knyttet til hvordan de forskjellige bekkeinntakene, luft i systemet og vann fra magasinet vekselvirker og påvirker gassovermetning i utløpet. I et forsøk på å teste noen av disse hypotesene forsøkte vi å bygge en mer kompleks multivariat analyse. Følgende hypoteser ble framlagt.

- Gassovermettet vann blander seg med vann fra magasinet slik at det er lavere nivåer av gassovermetning gitt høy vannføring i bekkeinntakene når det slippes mye vann fra magasinet
- Ved lave nivåer i magasinet blir det trukket inn luft i hovedinntak til magasinet
- Vannstanden i magasinet påvirker hvordan luft blir tatt inn i bekkeinntakene, særlig vann som kommer fra Faråna.
- Det oppbevares luft i systemet som fører til gassovermetning i lenger tid etter at luften er blitt trukket ned fra bekkeinntakene

Følgende fulle modell ble bygget for å teste hypotesene:

$Gass \sim \text{vannnivå}_b + \Delta\text{Magasin} + \text{vannnivå}_b : \Delta\text{Magasin} + \Delta\text{Magasin} : \text{VS_Botsvann} > 500\text{m}$
 der Gass er gassovermetning målt ved uttak, vannnivå_b er vannnivået målt ved bekkeinntak stasjon b, ΔMagasin endring i vannstand ved Botsvann, VS_Botsvann > 500m er en faktor som beskriver om vannstanden over eller under 500 meter og : beskriver at vi har modellert en interaksjon mellom variablene. I teorien kunne hver av parameterne beskrevet en større

del av variasjonen i gassovermetning. Det er derimot verdt å merke seg at R^2 kun steg til 0.62 for den mest komplekse modellen. Til sammenligning hadde en enkel modell med kun bekkeinntak 3 som forklaringsvariabel en R^2 på >0.6 . Det er derfor lite støtte for en kompleks modell, og vi kan ikke forklare dataen noe bedre om vi setter sammen variablene i en større og mer kompleks modell.

Vi har ikke en god modell for å beskrive hypotese 4 (om luft oppholder seg i systemet), men visuell inspeksjon av dataene virker til å vise at dette er tilfelle (figur xx). Topper i gassovermetning er etterfulgt av en hale av gassovermetning som ikke kan forklares av modellen. Dette kan kanskje forklare hvorfor det er bedre forklaring med en lag respons på opptil 9 timer.

Konklusjonene fra dette studiet er, at vi har klart å sannsynliggjøre noen bekkeinntak som virker til å ha høyere sannsynlighet for å være kilder til gassovermetning. Den som forklarte gassovermetningen best var bekkeinntak 3. I tillegg var det relativt god forklaringsverdi i følgende bekkeinntak : 2, 6, 71, 9 ,11.

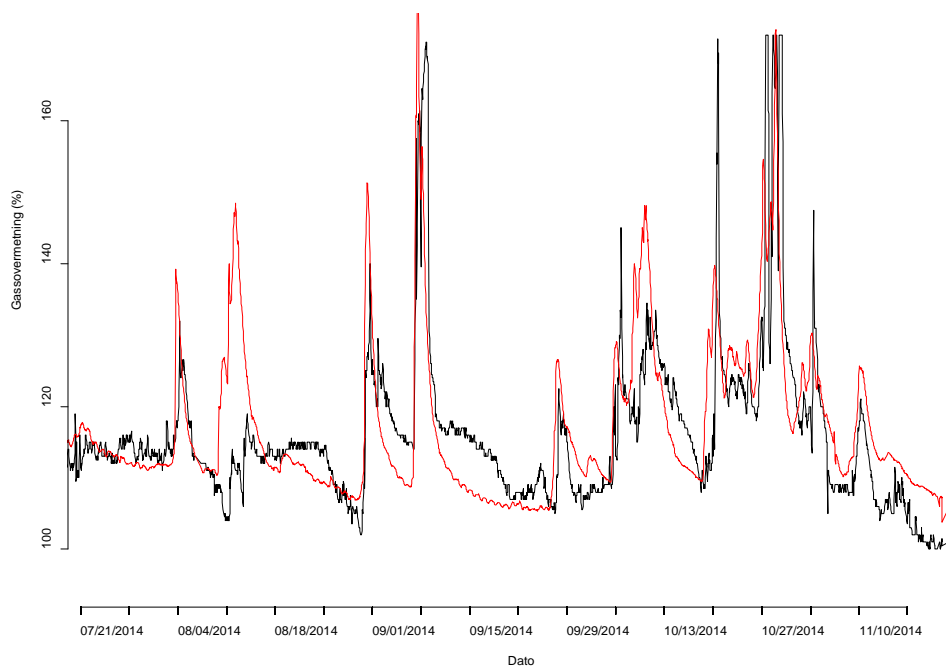


Fig. 27 Gassdata (svart) og vannstand i bekkeinntak (rødt) juli-november 2015

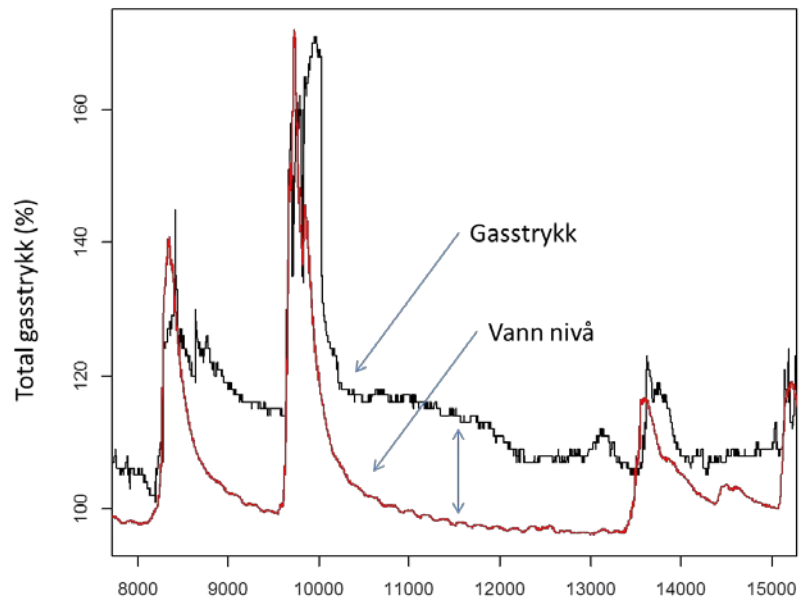
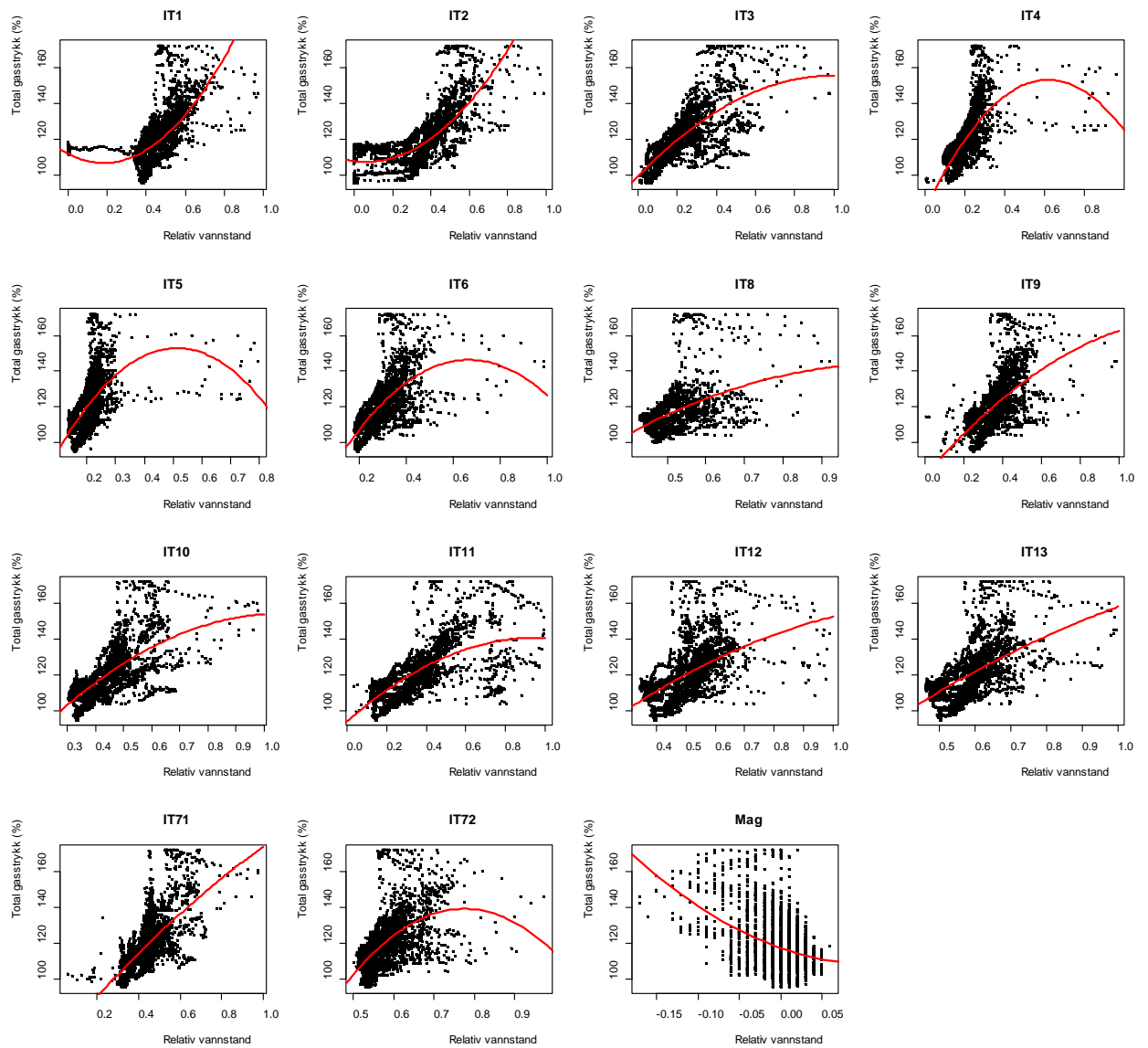


Fig. 28 Plot av gassovermetning (svart linje) og modell basert på vannstand i bekkeinntak 3 for en eksempel periode. Merk at topper i gassovermetning er etterfulgt av en hale av gassovermetning som ikke kan forklares av modellen.

Fig. 29 Figur A1 Individuelle plot for gassovermetning og bekkeinntaksdata. Rød linje er tilpasning til data med en enkel lineær modell



4 Diskusjon

Overvåking av gassovermetning i Otra nedenfor Brokke kraftverk viser at det fantes gassovermetning rett nedenfor kraftverksutløpet. Gassovermetningsbølger nådde regelmessig opptil 172 % TGP. I mer enn 45 % av tiden 2013-2015 var gassovermetningen over 110 %. Gassovermetningsbølger forekom sjeldent om vinteren, men var dominerende om våren (april – juni). Deretter forekom de periodisk inntil desember. Gassovermetningen sammenfaller med vannføring i bekkeinntakene – ikke med drift fra magasinet Botsvatnet. N₂- (68 %) og O₂- (32 %) andelene ved kraftutløpet er typisk for oppløst luft (Weiss 1970). Det er derfor overveiende sannsynlig at gassovermetning forårsakes av luft som rives med i bekkeinntak når bekkene fører mye vann, særlig i vårløsning og snøsmelting og ved regnværsepisoder ellers i året. Denne effekten er detaljert beskrevet i Stokkebø et al. (1986).

Overvåkingen av området som er rammet indikerer at gassovermetningsbølger kunne i perioder følges minst til Ose bro i Åraksfjorden 30 kilometer nedenfor Brokke kraftverk. Fra 21 km var verdiene imidlertid bare unntaksvis over 110 %. Maksimalverdiene i bølgene ble i snitt redusert med 2,8 % per km elv, størst var reduksjon i de øverste 11 km (Brokke-Tjurrmoen demning) med 6,4 % per km elv. Minst var reduksjonen av gassovermetning på transporten gjennom kraftanlegg Hekni (ca. 0,3 % per km).

I minstevannføringsstrekning Hekni (11,2 km) rett nedenfor Tjurrmoen demning var gassovermetning vanligvis lavere. Gassmetning var ofte ved 106-110 % øverst i strekningen når bare restvann ble sluppet. Rett ovenfor demningen ble det samtidig ofte målt verdier over 120 % (11 km). Vannet ble åpenbart luftet godt i fallet ved demningen og gassovermetning i fallet ble trolig redusert med 30-50 %. I nedre enden av strekningen var gassmetningsverdiene lavere og svingte rundt 100 og 105 % med tydelige døgnvariasjoner som kan tyde på varierende oksygenmetning fra fotosyntese eller totalgassvariasjoner grunnet temperaturgang. Dette tyder på at gassovermetning fra Brokke kunne nå øvre enden av strekningen Hekni (moderate-lave verdier) men ikke nedre delen i en vanlig situasjon med minstevannslipp.

Når mer vann ble ledet inn i strekningen sa verdiene (maks. 125 %) ut til å korrespondere mer direkte med gassverdiene rett ovenfor demningen (maks 127 %), for eksempel når kraftverk Hekni var stengt i slutten av august 2015. Nede i strekningen rekker maksimalverdiene 110 %.

Dette tyder på at midtre og nedre minstevannføringsstrekning ikke er utsatt for gassovermetning fra Brokke ved vanlig restvannføring, mens øvre del er utsatt for lave til moderate verdier. Når kraftverk Hekni stenges eller ved flom, når større mengder vann renner gjennom strekningen, vil også gassovermetningsbølger fra Brokke kunne transporteres gjennom. I en sån situasjon er fisk i den strekningen sannsynligvis utsatt for skadelige gassmetninger mellom 110 % og 125 %.

I følge flere nordamerikanske retningslinjer betraktes 110 % TGP overmetning som grenseverdi i mange elver over 1 m vanddyb (Canadian Council of Ministers of the Environment 1999, Weitkamp, 2008). Ved verdier mellom 110 % og 120 % over flere døgn må det regnes med akutt dødelighet hvis fisk ikke kan unnvike. Ved større verdier må det regnes med kortere kritisk eksponeringstid og større kompenseringdyb. Ved 160 % TGP overmetning, noe som fantes i Otra mellom Rysstadbassenget og Brokke der elven er mellom 0 og 2 m dyp, måtte en fisk ned til ca. 6 m dyp for å kompensere. I dette området fantes ikke noe ørret og bare enkelte ørekyter i bekkemunninger under el-fisket 2012. Det må gås ut i fra at fisk som kan vandre inn i den elvestrekningen i perioder uten overmetning blir drept i gassmetningsepisoder og at strekningen er nærmest fisketom etterpå. Ved siden av den direkte dødeligheten er habitatstørrelse og konektivitet redusert. I Rysstadbassenget finnes ørret og ørekyte – dette forklares med at fisk kan kompensere her ved å gå dypere. Maksverdier i Rysstadbassenget (142 %) kan kompenseres fullstendig ved 4,2 m dyp og Rysstadbassenget er dypere enn dette (dypere enn 7 m Olav Nomeland pers. meddeling).

Nedenfor kraftverk Hekni og i minstevannføringsstrekning Hekni finnes det ørret, bleke og ørekyte. Fisk kan observeres helt på bunn i kraftutløpet Hekni (> 5 m, egne snorkelobservasjoner 2014), når det er 120 % gassovermetning ved overflaten. Så lenge fiskene holder seg dypt (> 2-3 m) vil gassovermetningen ikke føre til bobledannelse. Forekomst av fisk kan forklares med dypet i utløpet og med kompensasjonsmuligheter dette medfører. Det er imidlertid sannsynlig at grunne habitater nedenfor Hekni er mindre brukt grunnet overmetning, dessuten må det regnes med effekter for fisk som befinner seg eller beveger seg grunnere.

I minstevannføringsstrekning kan det være indirekte effekter på fisk i øvre del når vanlig minstevannføring slippes. I nedre del er verdiene såpass lave og dominert av døgnvariasjoner, at det ikke regnes med akutte effekter. Når hovedvannmengde ledes gjennom strekningen oppnås imidlertid akutt kritiske verdier i øvre del. Vanddyb og med dette også kompensasjonsmulighetene vil da øke, men grunne områder vil være utsatt for kritiske verdier mellom 110 % nede og 125 % oppe. Lave fisketettheter (Barlaup et al. 2015) kan tyde på at gassovermetningsepisoder har en tynnende effekt i den strekningen.

Det er usikkerhet knyttet til biologiske effekter av moderate og subletale doser av gassovermetning. Vi vet at verdier mellom 103 % og 110 % kan ha effekter på fisk, for eksempel i klekkerier, og særlig dersom eksponeringen er langvarig og fisk ikke kan kompensere. I naturen er det sannsynlig at fisk kan endre habitatbruk i følge sanne doser, og at dette kan føre til at det er et mindre produktivt elveareal tilgjengelig siden grunne områder unngås. Økt følsomhet for sykdom og indirekte effekter i kombinasjon med annet (pH, predasjon) er andre sannsynlige konsekvenser. På andre siden forekommer det også

naturlig gassovermetning mellom 103 og 111 % i perioder i noen elver, samtidig som det er fisk til stede (Pulg et al. 2015). 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, biologisk produksjon og biodiversitet. Med dette kan det utvikles retningslinjer som er tilpasset norske forhold, og som skaper klarhet for forvaltning og industri.

Mulige tiltak for å unngå gassovermetning og dempe skadene

Det ble ikke utredet konkrete tiltak i rammen av denne studien siden det i første omgang var nødvendig å kartlegge årsaker. I det følgende diskuteres forskjellige muligheter som kan være egnet til å redusere gassovermetning i Brokke basert på årsakssammenhengene som ble funnet.

Luftinnblanding

Dersom målet er å unngå kunstig gassovermetning bør hovedprinsippet være å unngå innblanding av luft før vannet settes under trykk. Har overmetningen først oppstått er det vanskelig å bli kvitt den før den har rammet flere kilometer med elv. Dessuten er innblandet luft heller ikke ønskelig for selve kraftverksanlegget. Den kan bl. a. føre til utblåsninger og økt slitasje på turbiner, luker og ventiler (Stokkebø et al. 1986).

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

Våre målinger i bekkeinntakene tyder på at Ljosån bidrar mest til gassovermetning i Brokke, fulgt av Lisleå og Farå og så en rekke andre inntak (se Tabell 3). Denne analysen har sannsynliggjort hovedkildene til luften. For å kunne teste effektivitet av tiltak under reelle forhold og før kostbare ombyggingstiltak settes i verk, kan bekkeinntakene strupes. I så fall strupes inntakene en etter en i den beskrevne rekkefølgen inntil gassmetning er på et ønsket nivå. På denne måten kan det testes hvor mange bekkeinntak som må justeres for å få ned gassovermetning til et ønsket og akseptabelt nivå.

Et alternativ til dette er å måle løsløsing av luft i de enkelte inntakene. Målingene bør da gjøres i inntaksjaktene før vannet kommer i kontakt med hovedsjakten fra magasinet. Etter forskning på dette feltet betrakter vi det som teknisk mulig å konstruere et saturometer som er stabilt nok til å måle i ønsket vanddyb. Dette saturometeret bør inkludere en trykkmåler for å kunne sikre at den befinner seg i ønsket vanddyb samt differensialtrykkmåler i luften for å kunne si noe om det relative gassovertrykket. Med en slik løsning hadde det ikke vært nødvendig med en teststruping av inntakene. I stedetfor kunne luftløsløsing i hvert inntak kvantifiseres.

Fortynning

Basert på måledataene vår vil fortynning med vann fra Botsvannet virke reduserende på gassovermetning. Praktisk er dette imidlertid bare gjennomførbart i korte perioder siden vann fra bekkeinntakene vil dominere når bekkene har mye vann. Dette vannet lar seg ikke styre etter ønske i kraftverket.

Lufting

Lufting av allerede gassovermettet vann tar tid og plass, men det er mulig å redusere gasskonsentrasjonene. Jo større luftingen er under atmosfærisk trykk, jo større er reduksjonen. Dette skjer i grunne elvepartier med fossefall, høy gradient, turbulens, og stor ruhet i elvebunn. Utlufting kan være særlig relevant i strekninger der gassverdiene er i grenselandet med tanke på biologiske effekter. Reduseres f.eks. gassverdiene i minstevannføringsstrekning Hekni og rett nedenfor Hekni med bare 10 % vil gassverdiene i elvepartier med bleke ligge under 110 % og gi langt bedre forhold for denne fisken. En sånn reduksjon kan evt. bli oppnådd med steinutlegg i stryket nedenfor Brokke som sørger for bedre lufting i den 4 km lange strekningen. Steinutlegget kan utformes som et natur-lik elvemorfologisk element i Otra som er optimalisert for å skape hydraulisk ruhet og lufting av vannet. Tiltaket bør dimensjoneres med hjelp av hydraulisk modellering og også ta hensyn til hydraulisk kapasitet og vannstand.

Et tiltak som er relativt enkelt å gjennomføre og som kan ha stor effekt for bleke, er en tilpasset kjøring av Hekni kraftverk. Forutsigbare stenginger av kraftverket Hekni bør legges i tidsrom uten gassovermetning. Dette vil kunne forutsis ut i fra gassloggingen, vær, årstid og værmelding. Med dette kan gassmetningsepisoder med 125 % -110 % i restfeltet reduseres vesentlig. Kritiske verdier vil da bli sjeldnere og bare oppstå ved flom – når det samtidig er langt større muligheter til trykkompensasjon, altså mindre fare for fisk.

Fungerer disse to sistnevnte tiltakene (stenging av Hekni til rett tid samt bedre lufting av vann i Otra) vil det kunne være tilstrekkelige for å redusere potensielle gassovermetningseffekter på bleke i dagens utbredelsesområde til et akseptabelt nivå.

Videre fremgangsmåte og forskningsbehov

Gassovermetning bør fortsatt overvåkes helårlig i Otra nedenfor Brokke siden dette er en forutsetning for å vurdere biologiske effekter og for kunne styre og dimensjonere tiltak. Målingen bør suppleres med en varighetslogger i restfeltet ovenfor Brokke. Håndmålinger fra det stedet tyder ikke på overmetning, men nyere resultater i andre vassdrag har vist at det kan finnes relevante naturlige og kortvarige overmetningsepisoder, for eksempel ved flom. Døgnvariasjoner i Rystadbassenget, minstevannføringsstrekning og Åraksfjorden bør kartlegges nøye med totalgassloggere (N_2 , O_2 , CO_2 , TGP, T) for å kunne skille kunstige effekter fra naturlig overmetning samt å identifisere kilden til døgnvariasjoner. Det

betraktes som tilstrekkelig å måle ukentlig på flere lokaliteter med en flyttbar totalgasstasjon.

Nedre enden av gassmetningsbølger fra Brokke er fortsatt ikke funnet. Trolig er den biologiske påvirkningen liten så langt nede siden verdiene stort sett er under 110 % fra 21 km samtidig som vassdraget er dypt. Men loggerne var ikke på plass i vårløsningen når det er større og mer langvarige gassmetningsbølger. Dessuten er det av stor forskningsmessig interesse å finne ut hvor langt sånne gassmetningsbølger kan transporteres.

5 Appendix

Nedenfor finnes et utvalg av relevante gassmetningskurver fra samlefiguren ovenfor femstilt for hver enkelt logger.

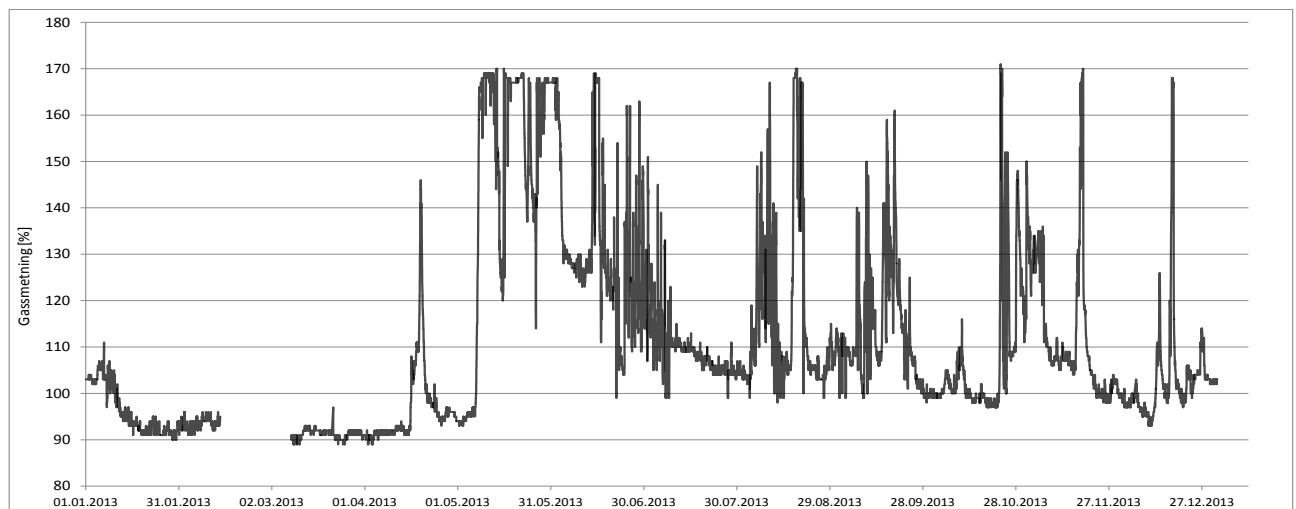


Fig. 1 Gassmetning i hele 2013 i utløp Brokke kraftverk

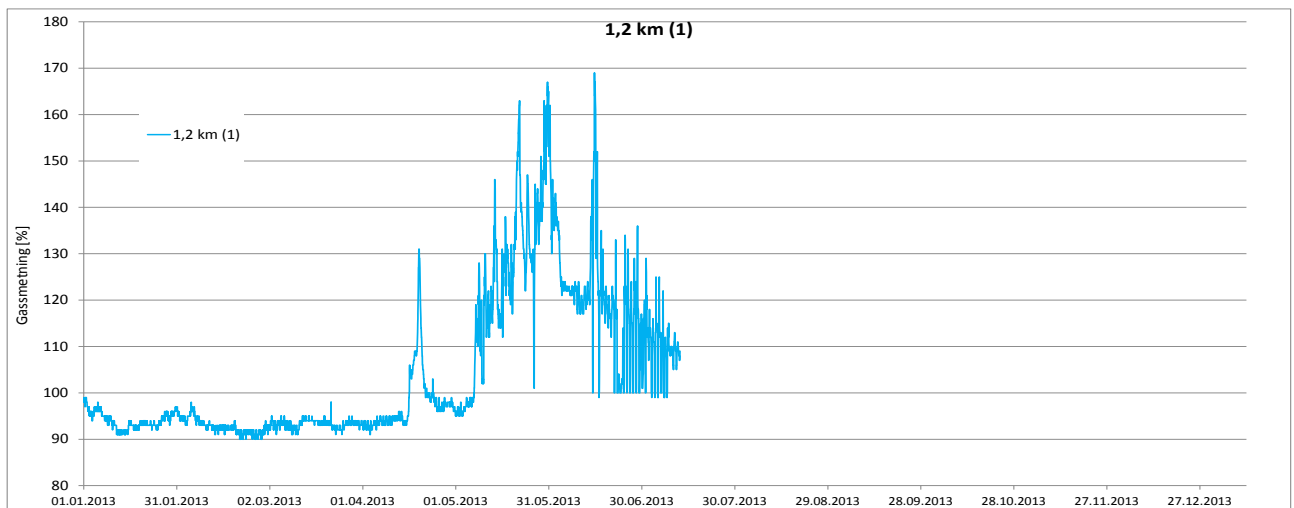


Fig. 2 Gassmetning i 2013 1,2 km nedenfor Brokke kraftverk, loggeren ble flyttet til Tjurrmodammen om sommeren.

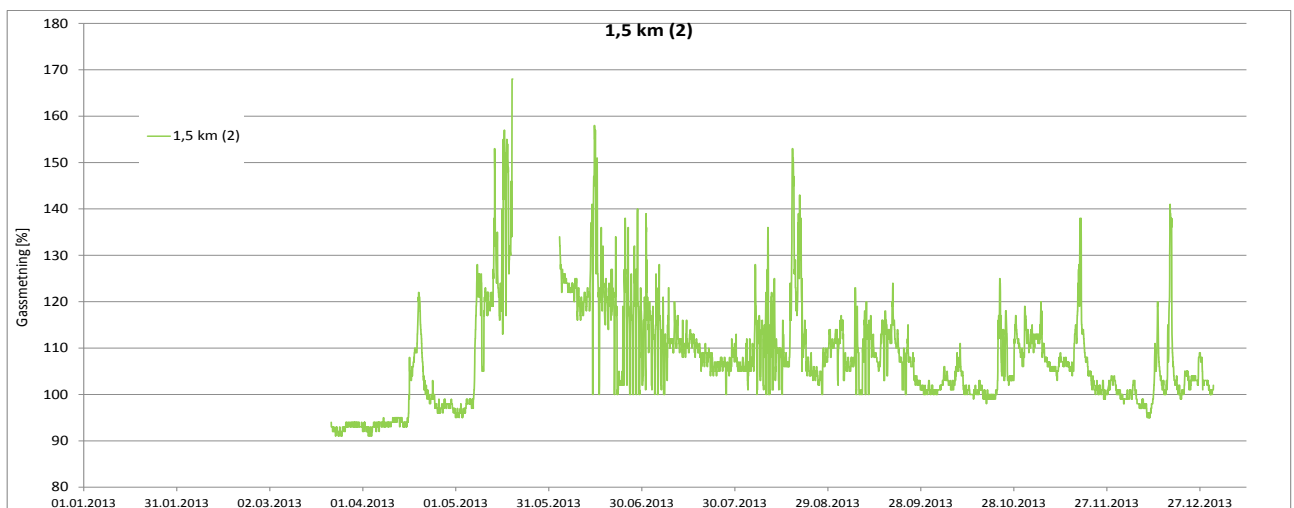


Fig. 3 Gassmetning i 2013 1,5 km nedenfor Brokke. Loggingspauser ble forårsaket av fysiske skader på sonden.

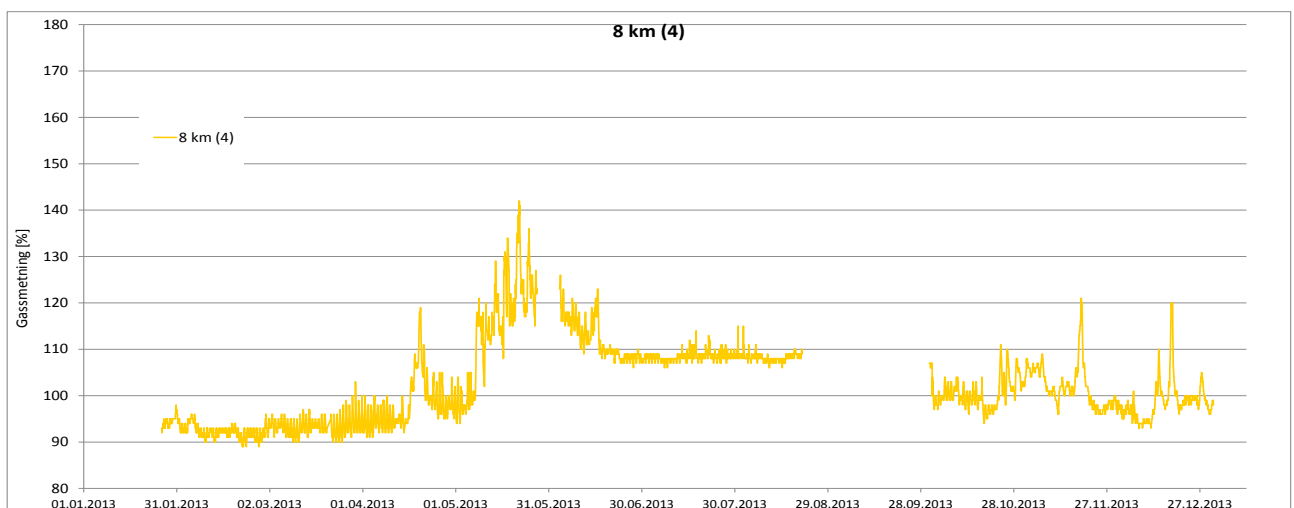


Fig. 4 Gassmetning i 2013 8 km nedenfor Brokke. Loggingspauser ble forårsaket av lynnedslag.

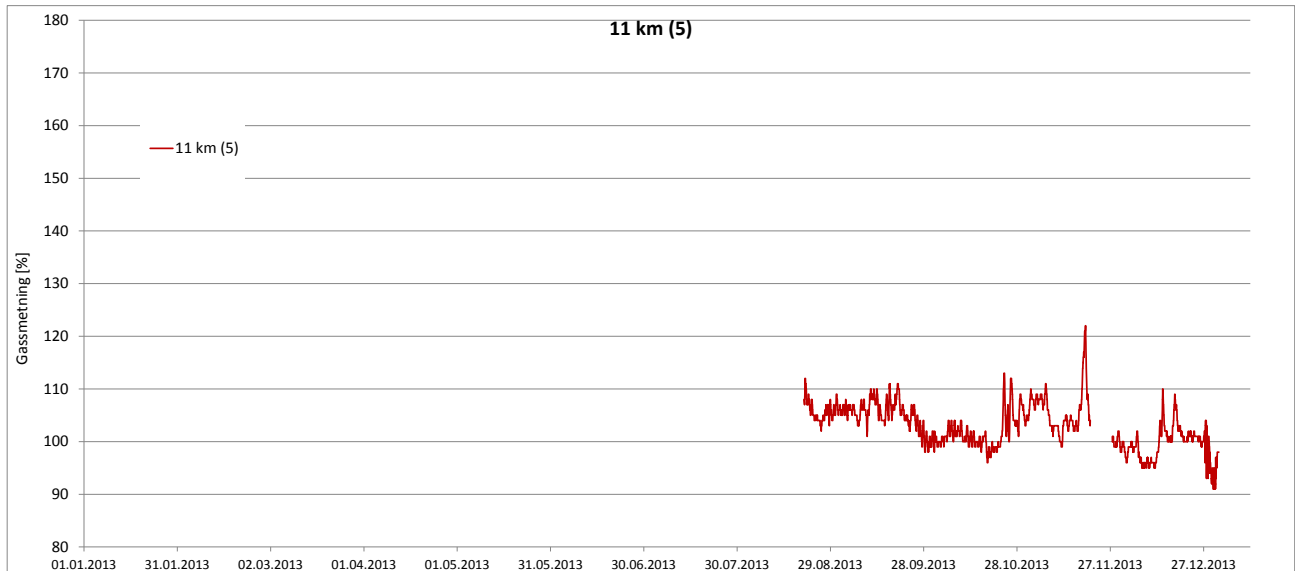


Fig. 5 Gassmetning i 2013 11 km nedenfor Brokke (Tjurrmodammen).

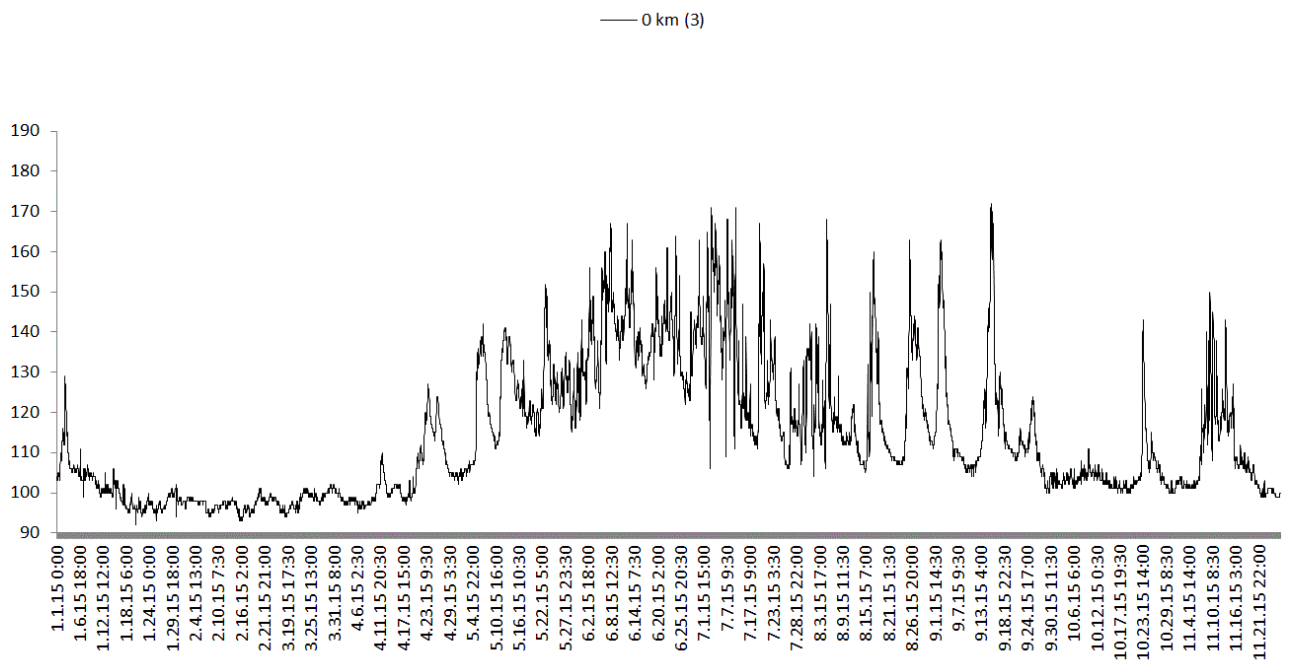


Fig. 6 Gassmetning fra utløp Brokke i perioden 1.1.2015 – 21.11.2015

1,2 km (2)

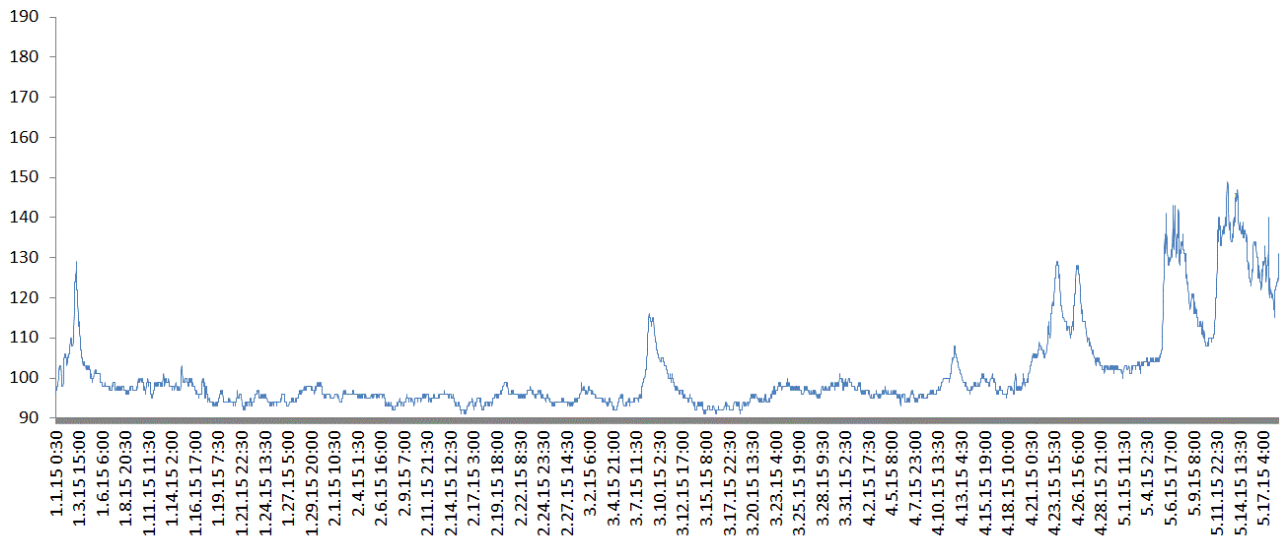


Fig. 7 Gassmetning fra målestasjon 1,2 km nedstrøms Brokke i perioden 1.1.2015 – 17.5.2015.

8 km (4)

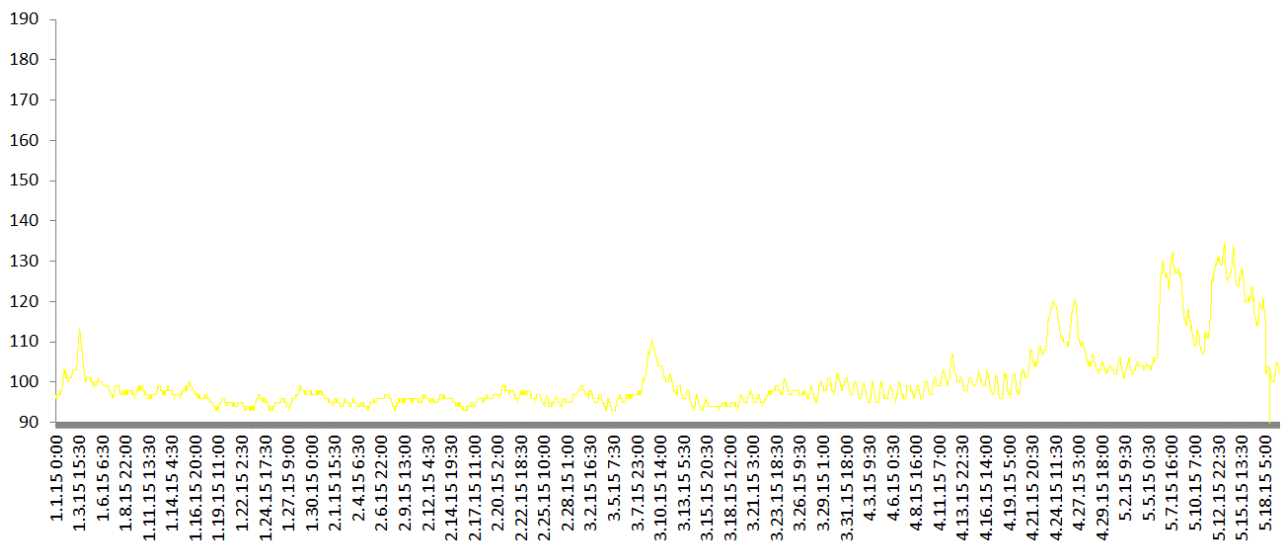


Fig. 8 Gassmetning fra målestasjon ved Straume bru i perioden 1.1.2015 – 18.5.2015

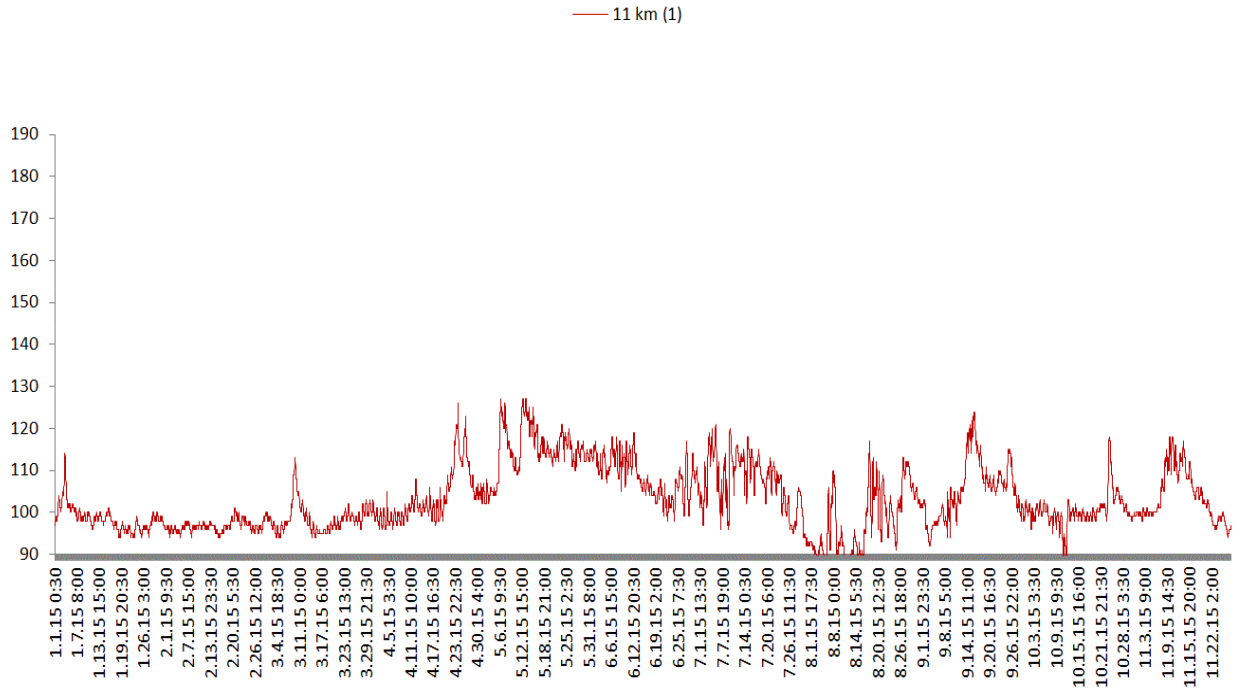


Fig. 9 Gassmetning fra ovenfor Tjurrmoen i perioden 1.1.2015 – 22.11.2015. Verdier juni til august er påvirket av råtneende krypsiv og viser for lave verdier.

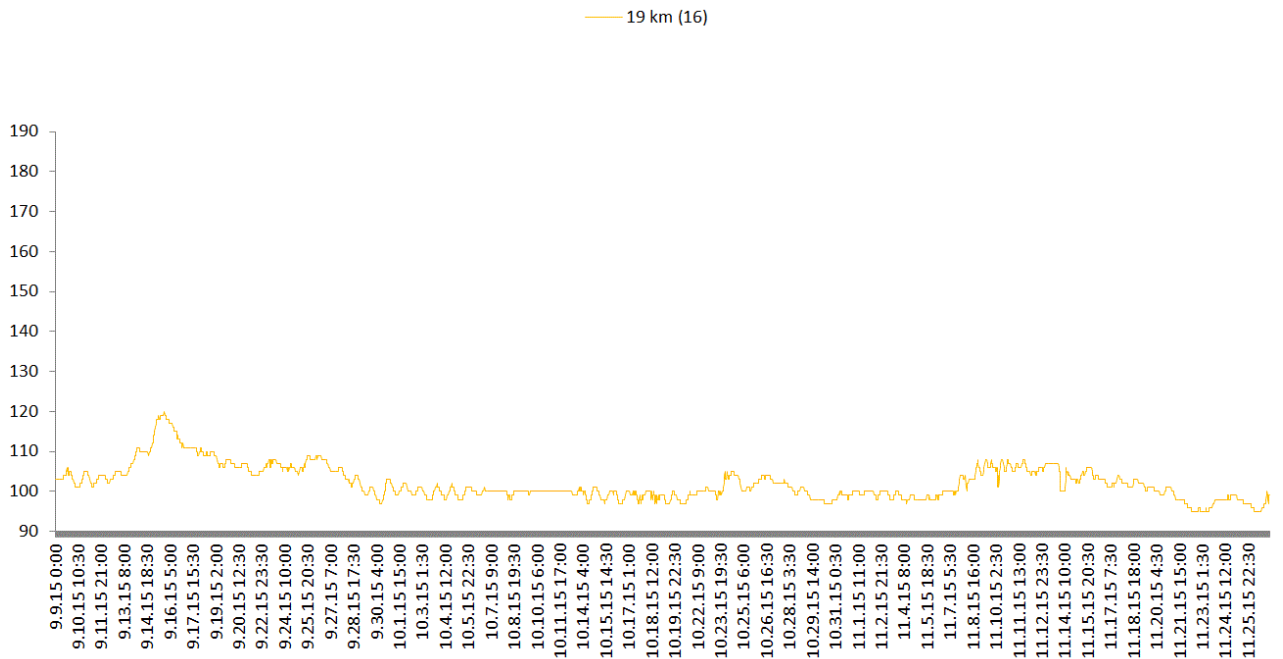


Fig. 10 Gassmetning ved utløp Hekni i perioden 9.9.2015 – 25.11.2015.

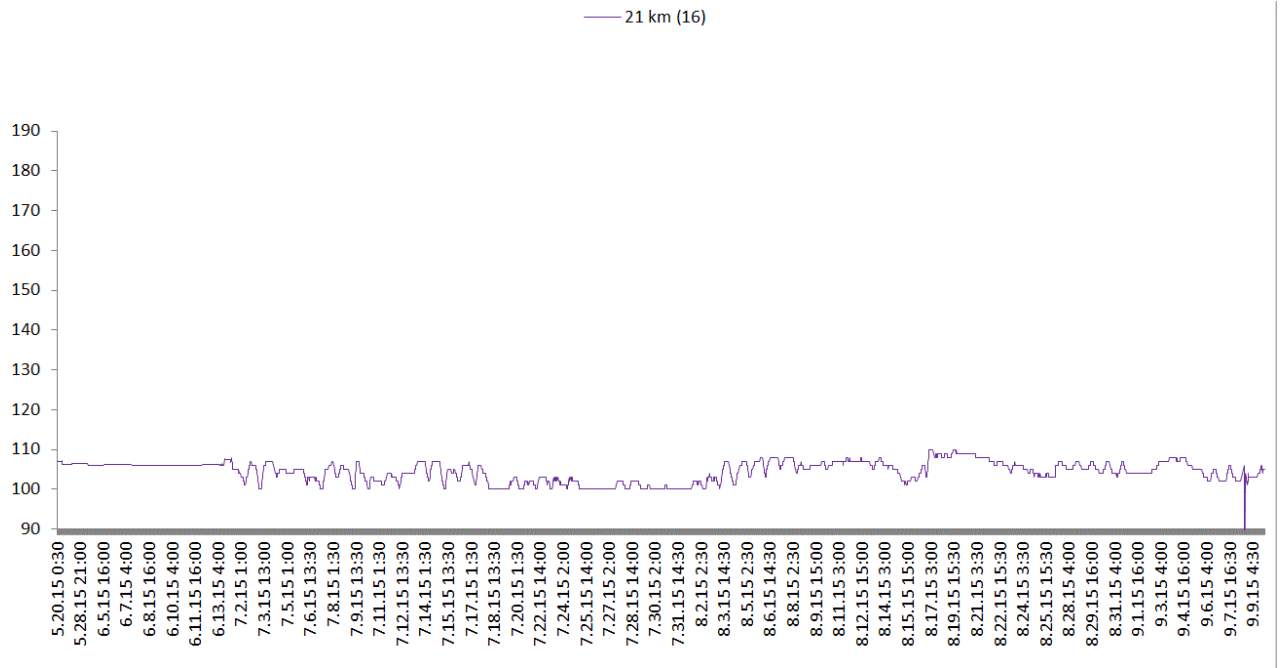


Fig. 11 Gassmetning fra stasjon ved sandtaket i Brokke i perioden 21.5.2015 – 9.9.2015.

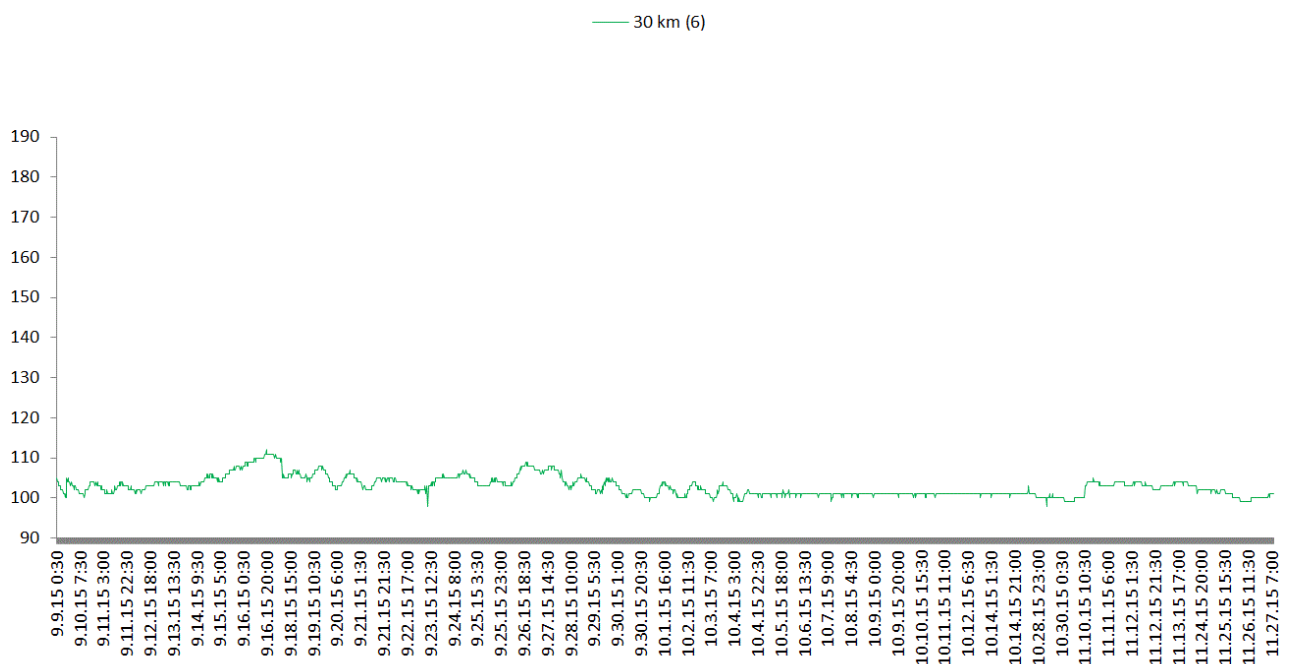


Fig. 12 Gassmetning fra stasjon ved Osebru i perioden 9.9.2015 – 27.11.2015.

3.3.1 Minstevannføringsstrekning Hekni

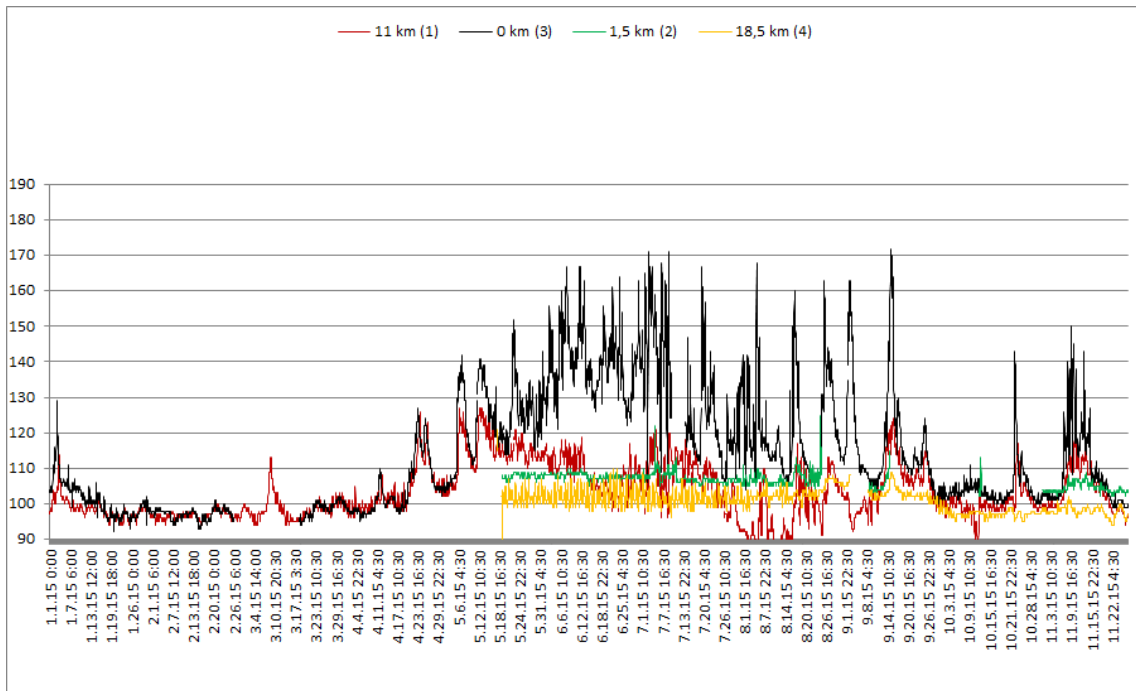


Fig. 13 Gassmetning fra stasjoner i strekning nedenfor Tjurrmoen (stasjon 2) og ovenfor blekeløpet (stasjon 4), sammenstilt med data fra ovenfor Tjurrmoen (stasjon 1) og utløpet i Brokke (stasjon 3) i 2015.

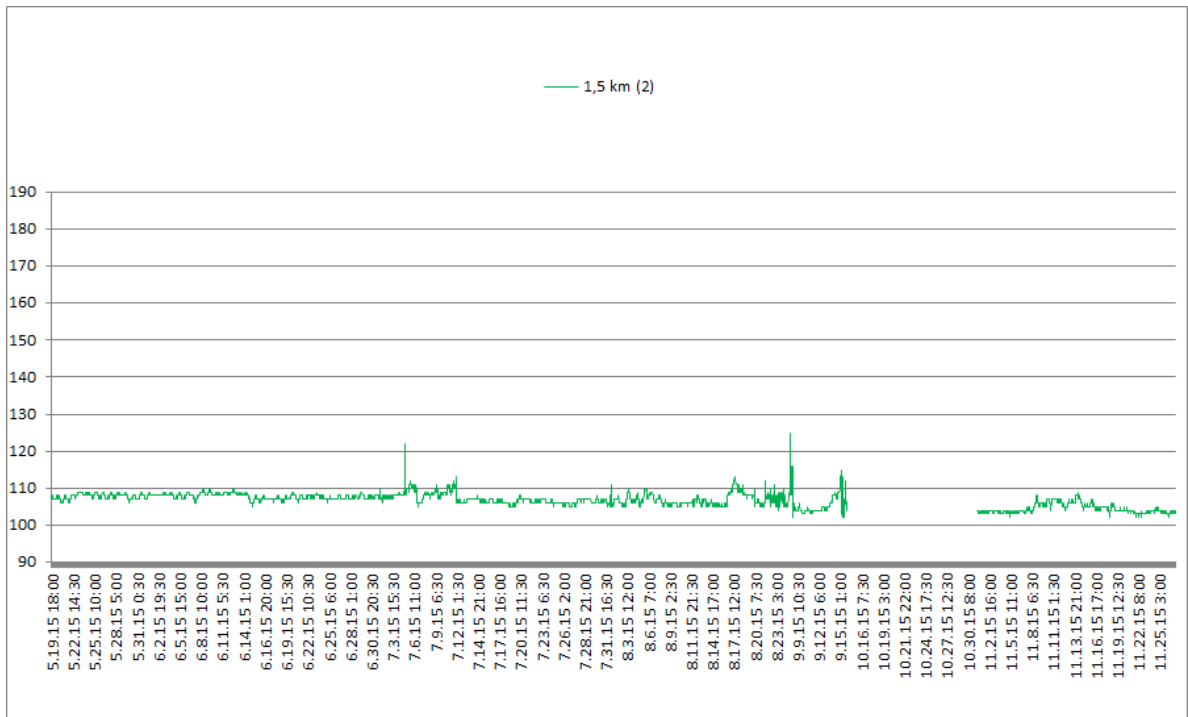


Fig. 14 Gassmetning fra stasjonen nedenfor Tjurrmoen i perioden 19.5.2015 – 25.11.2015. Data 24.8.-9.9. mangler grunnet erosjon av utstyr.

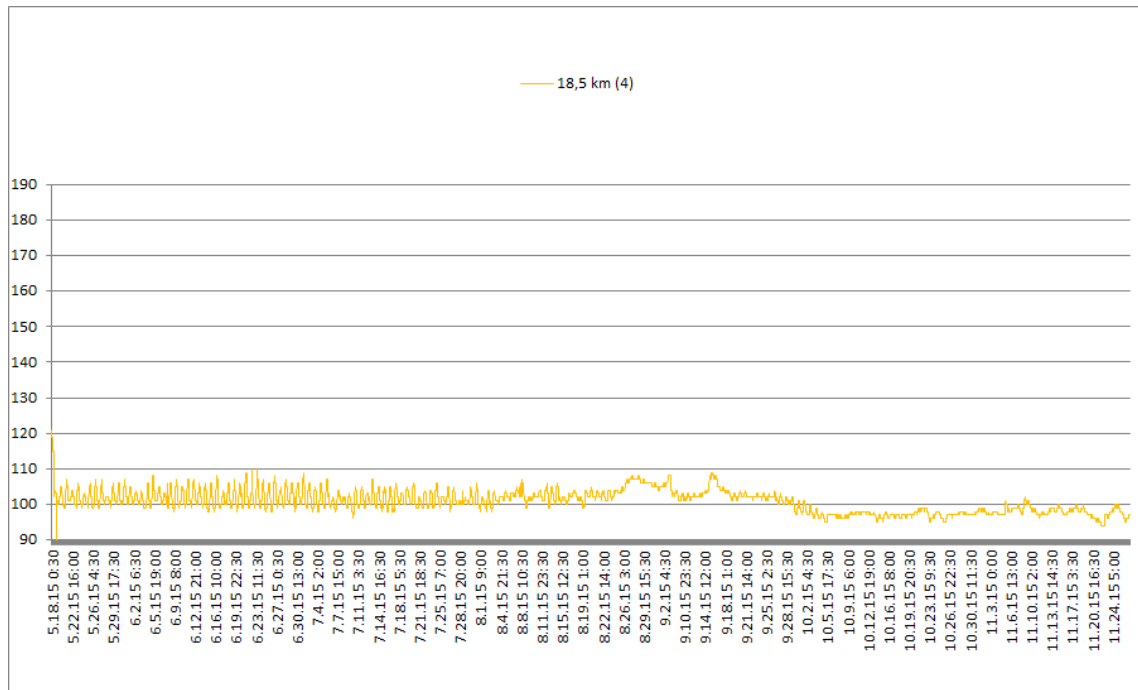


Fig. 15 Gassmetning fra stasjonen ovenfor blekeløpet i perioden 18.5.2015 – 24.11.2015.

6 Referanser

- Barlaup, B.T., Skoglund, H., Skår, B., Gabrielsen S.E., Halvorsen, G.A., Isaksen, T.E., Haraldstad, T., Hobæk, A., Høgberget, R., Kroglund, F., Lehmann, G.B., Martinsen, B.O., Normann, E.S., Kaste, Ø., Kile, N.B., Kleiven, E., Pulg, U., Skancke, L.B., Velle, G., Vollseth, K.W., Vethe, A. & Wiers, T. 2015: Blekeprosjektet. Status og tiltak 2010-2014. LFI-rapport nr. 249.
- 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.
- Henry, W. (1803). "Experiments on the quantity of gases absorbed by water, at different temperatures, and under different pressures". *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* **93**: 29–274. [doi:10.1098/rstl.1803.0004](https://doi.org/10.1098/rstl.1803.0004).

- 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.
- Pulg, U. Stranzl, S. 2015: Gassmetning nedstrøms småkraftverk med installert omløpsventil. LFI Rapport 255
- Stokkebø 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.
- Weiss, R.F. 1970: The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research*, 1970, Vol. 17, pp. 721 to 735. Pergamon Press. Great Britain.

Ferskvannsekologi - laksefisk - bunndyr

LFI ble opprettet i 1969, og er nå en seksjon ved Uni Research Miljø, en avdeling i Uni Research AS, et forskningsselskap eid av universitetet i Bergen og stiftelsen Universitetsforskning Bergen. LFI Uni Research Miljø 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
- Effekter av fiskeoppdrett, lakselus og rømming
- Forsuring og kalking
- Habitattanalyser
- Vassdragsrestaurering
- Miljødesign og habitattiltak
- Effekter av klimaendringer
- Fiskepassasjer
- Gassovermetning

Oppdragsgivere er offentlig forvaltning, kraftselskap, forskningsråd og andre. Viktige samarbeidspartnere er andre nasjonale og internasjonale forskningsinstitusjoner og FoU miljø hos oppdragsgivere.

Våre internettsider finnes på <http://uni.no/nb/uni-miljo/> eller ved søk på Uni Research Miljø.