

Påvirkning fra gassovermetning på bunndyr i Otra nedstrøms Brokke



Gaute Velle, Godtfred A. Halvorsen, Ulrich Pulg, Espen Olsen

Uni Research Miljø
Nygårdsgaten 112
5008 Bergen
Telefon 55 58 22 28

Tittel: Påvirkning fra gassovermetning på bunndyr i Otra nedstrøms Brokke

Forfattere: Gaute Velle, Godtfred A. Halvorsen, Ulrich Pulg, Espen Olsen

LFI-rapport: 283

ISSN nr: ISSN-1892-889

Dato: 22.12.2016 (utkast forelagt oppdragsgiver), 03.01.2017 (endelig versjon)

Geografisk område: Otra, fra Valle kommune til Bygland kommune i Aust Agder

Oppdragsgiver: Otra kraft

Antall sider: 26

Emneord: Gassblæresyke, bunndyrsamfunn, forsuring, biologisk mangfold, absolutt antall

Sammendrag:

Tidligere forsøk har vist at vannlevende organismer kan skades av gassovermetning i vannet. For laks og ørret antar man at skadelige effekter oppstår ved ca 110 % gassmetning. For bunndyr er man mer usikker på nivåene der skadelige effekter oppstår, men forsøk i lab indikerer at verdier fra 115 til 135 % gassmetning kan være skadelige. Feltstudier som undersøker nivåer og effekter har frem til nå manglet.

I denne studien har vi undersøkt bunndyr ved flere lokaliteter fra 8 km oppstrøms Brokke til 25 km nedstrøms Brokke i elven Otra. Det er tidligere kjent at vannet som slippes ut fra Brokke vannkraftverk tidvis har opp mot 170 % gassmetning. Bunndyrsamfunnene i studien er dermed tatt i en gradient av habitater med høy gassovermetning til ingen gassovermetning. Vi har undersøkt tetthet, mangfold og artssammensetning av bunndyr langs gradienten. Videre har vi undersøkt hvilke miljøfaktorer som sannsynlig forårsaker effektene på bunndyrsamfunnet. Mulige påvirkningsfaktorer i studien inkluderer substrat, temperatur, surt vann, organisk belastning og gassovermetning.

Bunndyrsamfunnet rett nedstrøms Brokke har signifikant lavere tetthet og mangfold enn samfunnet et par hundre meter oppstrøms Brokke. Artssammensetningen er også forskjellig fra 31 andre stasjoner i Otra og sidevassdrag som Uni Research Miljø har prøvetatt jevnlig mellom 2010 og 2015. Artssammensetningen skiller seg ved at arter som lever oppå substratet er sjeldne, mens arter som graver i substratet (rundorm og fåbørstemark) er tallrike. Det er bemerkelsesverdig lav forekomst av fjærmygg (145 individer/ m² tilsvarende 4 % av samfunnet) rett nedstrøms Brokke, og svært lave konsentrasjoner av arter som er sensitive for forsuring, samt arter som er sensitive for organisk belastning. Samtidig mangler også arter som er typiske i surt vann.

Vi konkluderer med at gassovermetning er den mest sannsynlige påvirkningsfaktoren som forårsaker effektene på bunndyrsamfunnet. Dyr som lever oppå substratet under høye konsentrasjoner av gassmetning mangler siden de sannsynligvis har utviklet bobler på overflaten og i vevet, og dermed skades og / eller flyter opp og spyles ut. Gravende dyr er i mindre grad eksponert for gassovermetning, og er lite påvirket. Resultatene tyder på at forsuringssensitive arter og arter som er sensitive mot organisk belastning, også er sensitive for gassovermetning. Vi kan likevel ikke utelukke andre betydelige påvirkningsfaktorer, spesielt kombinasjonen av gassovermetning og forsuring.

Mulige effekter på økosystemet diskuteres i rapporten, samt kunnskapsstatus for biologiske effekter på fisk og bunndyr som følge av gassovermetning.

Innhold

1	Introduksjon	5
2	Metoder	6
	Bunndyr	6
	Fysisk-kjemiske målinger	8
	Numeriske analyser.....	9
3	Resultater	10
	Bunndyr	10
	Kjemisk-fysiske parametere.....	14
4	Vurderinger	18
	Mulige påvirkningsfaktorer.....	18
	Effekter på økosystemet	20
5	Kunnskapsstatus for biologiske effekter av gassovermetning	21
6	Konklusjoner	23
7	Referanser	24

1 Introduksjon

Metningen av gass i vann er naturlig rundt 100 % i elver. Under visse omstendigheter kan det likevel oppstå naturlig gassovermetning, det vil si vann som er mettet med mer enn 100 % atmosfærisk luft. Dette kan for eksempel skje under flomtopper og høy vannføring dersom luftbobler trekkes med ned i dype kulper og løses under trykk, og det kan oppstå under algeoppblomstring og økt fotosyntese eller ved rask oppvarming av vannet (Blindheim m.fl. 1984; Harvey 1975; Weitkamp 2008).

I vannkraftverk kan gassovermetning dannes når luft trekkes inn i fallrøret og løses i vann under høyt trykk i tunnelsystemet, og deretter slippes videre ut i elven under lavere trykk. Overmetningen kan også oppstå i selve utløpskanalen dersom innpiskete luftbobler dras med i dypet der vannet står under hydrostatisk trykk. Erfaringer viser at en gassovermetning ofte kan oppstå under slike forhold i kraftverk. Dersom det er mer enn 120 % gassovermetning vil gassovermetningen kunne observeres ved at vannet er blakket av mange små gassbobler.

Nedstrøms Brokke kraftverk i Otra ble det i 2011-2015 påvist gassovermetningsbølger opp mot 172 % (Pulg m.fl. 2016). I mer enn 45 % av tiden fra 2013-2015 var gassovermetningen over 110 %. Dette er en grenseverdi som er satt for gassovermetning i Canada og USA (Canadian Council of Ministers of the Environment 1999; Weitkamp 2008) siden verdier over 110 % som regel vil være dødelig for fisk. Gassovermetningsbølger fra Brokke kan i perioder registreres 30 kilometer nedenfor Brokke kraftverk, men er kun unntaksvis over 110 % 21 km nedstrøms Brokke (Pulg m.fl. 2016). Mellom Brokke og Rysstadbassenget 4 km nedstrøms Brokke har el-fiske påvist svært lave tettheter av fisk. Her blir sannsynligvis fisken drept av gassovermetning. Det er i midlertid ukjent om gassovermetningen nedstrøms Brokke også har effekter på bunndyrsamfunnet. I denne studien har vi undersøkt potensielle effekter av gassovermetning på bunndyrsamfunnet nedstrøms Brokke, og gir samtidig en oversikt over andre studier som har undersøkt effekter av gassovermetning på bunndyr



Figur 1. Vårfluen *Atrypodes aterrisimus*. Foto G.Velle.

2 Metoder

Bunndyr

Bunndyr (makroinvertebrater) er smådyr uten ryggvirvel som finnes i rennende og i stillestående ferskvann (Figur 1). Bunndyrene har enten hele livssyklusen i vann eller de har larvestadiet i vann og det voksne stadiet på land. Bunndyr utgjør en sentral komponent i økosystemene siden de ulike artene finnes i mange trofiske nivåer og innehar en rekke funksjoner. Noen bunndyr er rovdyr, mens andre er nedbrytere eller vannfiltrerere, og de fleste kan potensielt være føde for fisk. Man kan forvente at flere av økosystemenes funksjoner opprettholdes og er robuste ved høy diversitet av bunndyr. Ulike grupper av bunndyr har svært ulike krav til miljøet, og brukes derfor i effektvurdering av forurensninger/økologisk tilstand siden de integrerer forandring over tid.

I denne studien ble bunndyr undersøkt i et område med påvirkning fra gassovermettet vann nedstrøms utløpet av Brokke (Figur 2 og Figur 3), og et område som ikke er påvirket i restfeltet oppstrøms Brokke (Figur 4 og Figur 5). Bunndyrene ble analysert for å finne evt.: a. forskjeller i artsdiversiteten målt i antall taksa, b. forskjeller i tettheter av bunndyr, c. forskjeller i bunndyrsamfunn, og d. forskjeller i indikatorarter. Prøvene ble tatt ved bruk av Surber-samplere (Hynes 1970). Surberprøver er en ramme på 30x30 cm med tilhørende håvpose med 250 µm maskevidde som settes ned i elvebunnen der alle dyrene innenfor rammen og ca. 10-15 cm ned i substratet samles inn (Figur 3). Surberprøver ble tatt ca. 200 meter oppstrøms Brokke i en gradient på tvers av elven, samt 700 meter nedstrøms Brokke på vestsiden av elven. Fire prøver ble samlet for hver lokalitet 24. Juni 2014 og fem prøver ble samlet for hver lokalitet 24. September 2015. Prøvene ble konserverte på alkohol og sortert og artsbestemt i sin helhet i lab for å finne absolutte tettheter av bunndyr. En del planktoniske krepsdyr ble sortert og artsbestemt, men utelatt fra videre analyser. Disse dyrene kommer drivende fra stillestående vann.

I tillegg har vi sammenliknet resultater fra prøvene nevnt ovenfor med fem bunndyrprøver tatt 2014 ved hjelp av Surber ved Heistad ca 25 km nedstrøms Brokke (Figur 6 – del av prosjekt utført for Krypsivprosjektet på Sørlandet), samt prøver tatt med rotehåv (maskevidde 250 µm) i forbindelse med Blekeprosjektet i Otra. Sparkeprøvene inkluderer 7 lokaliteter som er prøvetatt to ganger per år mellom 2010 og 2015 i en gradient fra 8 km oppstrøms Brokke til 21 km nedstrøms Brokke. Hver bunndyrprøve/sparkeprøve ble tatt ved å rote i substratet i 3 min i et gitt habitat. I laboratoriet ble standard metode fulgt der bunndyr sorteres under lupe i en time før de ble artsbestemt. Metodikken følger NS-ISO 7828 og veilederen for Vanndirektivet (Direktoratsgruppa-vanndirektivet 2009). Som metode kan man forvente et mer nøyaktig resultat fra Surberprøver enn fra sparkeprøver. Det er fordi arealet som prøvetas er helt likt når man bruker Surber, og fordi alle dyr i prøvene sorteres ut. I sparkeprøver sorterer man normalt ikke ut alle dyrene. Basert på prøvene har vi funnet graden av påvirkning fra forurensning (Indeks 2: Raddum 1999) og organisk belastning (ASPT-indeks: Armitage m.fl. 1983)



Figur 2. Bunndyrstasjon ca. 700 m nedstrøms Brokke.



Figur 3. Substratet i bunndyrstasjon nedstrøms Brokke, sammen med surbersamplere. Dyrene innenfor metallrammen blir rotet opp og vannstrømmen fører dyrene inn i håvposen.



Figur 4. Bunndyrstasjon ca 200 oppstrøms Brokke.



Figur 5. Substratet i bunndyrstasjon oppstrøms Brokke, sammen med surbersamplere.



Figur 6. Surberprøver tatt i grus ved Heistad ca 25 km nedstrøms Brokke er inkludert for sammenlikning.

Fysisk-kjemiske målinger

Habitat inklusiv fysisk-kjemiske forhold kjemiske er avgjørende for å kunne sammenlikne eventuelle effekter av gassovermetning. Vannet fra kraftverket på Brokke kan til tider variere i temperatur og kjemi sammenliknet med vannet i restfeltet. Resultatene ble vurdert mot vannkjemi, gassmetning og temperatur, men det kan likevel være svært vanskelig å skille effekter forårsaket av gassovermetning fra effekter forårsaket av forskjeller i habitat, kjemi- og temperatur. Data for gassmetning, temperatur og vannkjemi er hentet fra andre prosjekter, og spesielt fra Blekeprosjektet.

Numeriske analyser

For å kunne finne likheter og ulikheter i bunndyrsamfunnet nedstrøms og oppstrøms Brokke ble prøvene analysert ved hjelp av ordinasjon. Her klassifiseres prøvene basert på sammensetningen av bunndyr slik at prøver med lik fauna plasseres nærme hverandre i et ordinasjonsdiagram. Klassifiseringen kan enten gjøres ved hjelp av lineære modeller (principal component analyse; PCA) eller ved hjelp av klokkeformede modeller (correspondence analyse). Valg av modell er avhengig av datasettets gradientlengde, målt i standardavvik. I dette tilfelle hadde prøvene en gradientlengde (rundt 2,0) som tilsier at lineære modeller med PCA bør brukes.

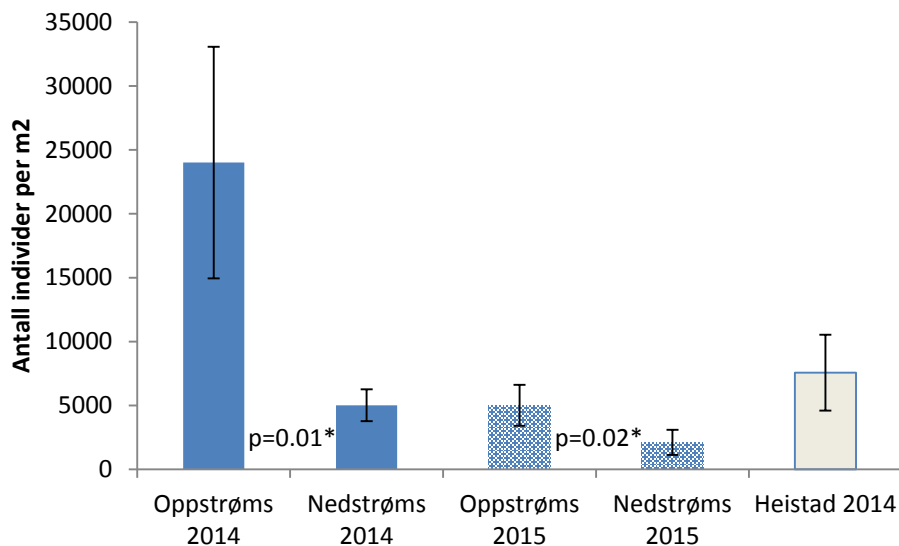
For å finne om det var en signifikant forskjell i antall individer mellom prøvelokalitetene og antall arter mellom prøvelokalitetene brukte vi en en-veis student t-test. Signifikans er angitt dersom $p < 0,05$. Biologisk mangfold er angitt som antall taksa, samt ved hjelp av akkumuleringskurver. Når man tar bunndyrprøver kan man forvente at antallet arter øker dess flere prøver man tar. En akkumuleringskurve beregner det forventede totale antallet arter på en lokalitet basert på prøver som allerede er tatt. Denne analysen ble utført i programmet EstimateS. Det forventede antallet arter er definert som antallet der man i snitt finner under en ny art per nye prøve.

3 Resultater

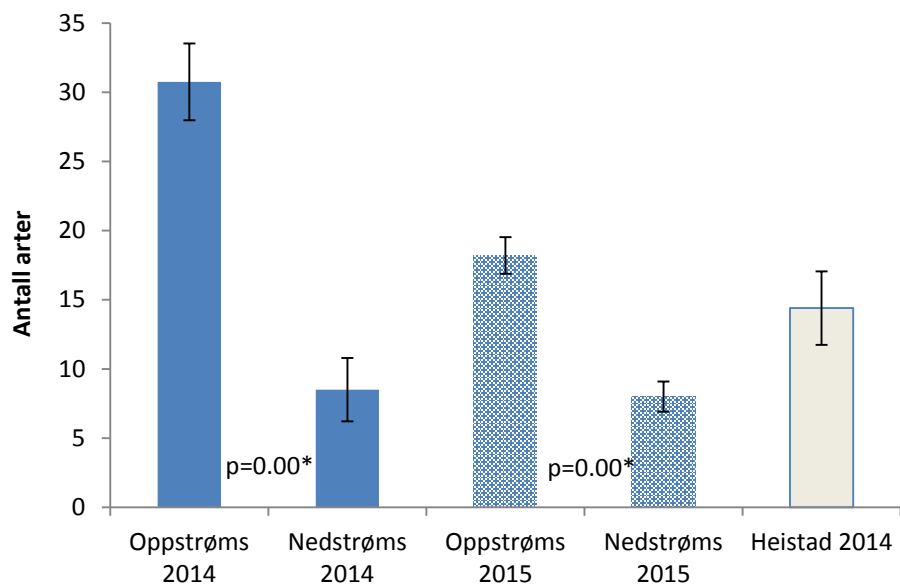
Bunndyr

Begge bunndyrstasjoner som ble prøvetatt med Surber hadde vandyp mellom 25 til 60 cm. Mesohabitattypen var glattstryk, substratet var dominert av rullestein med fin grus og sand i hulrommene og med noe mose (Figur 2 til Figur 6). Overflaten nedstrøms Brokke var noe mer kompakt enn oppstrøms Brokke. Prøvene fra Heistad er tatt i grus omgitt av krypsiv (Figur 6).

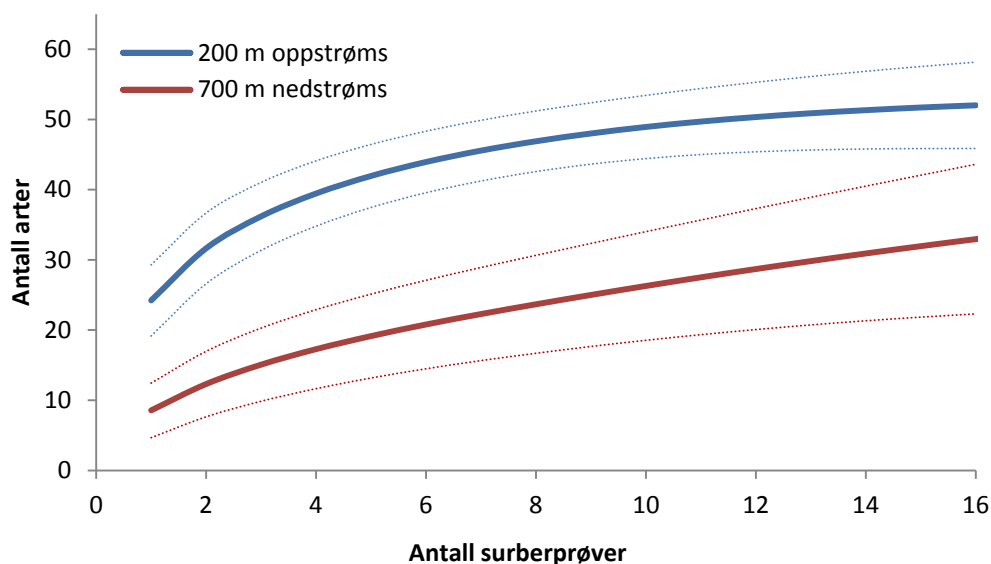
Både når det gjelder biologisk mangfold av bunndyr og når det gjelder tetthet, var det signifikant høyere antall oppstrøms Brokke både i 2014 og 2015 (Figur 7 og Figur 8). Tetthet og antall arter ved Heistad er høyere enn nedstrøms Brokke og lavere enn oppstrøms Brokke. Det ble funnet betydelig lavere tettheter og antall arter i 2015 enn i 2014. Dette skyldes mest sannsynlig at prøvene fra 2014 ble tatt i juni, mens prøvene fra 2015 ble tatt i september. Det kan være mer dyr i elven juni dersom insektene fremdeles ikke har klekket. Når det gjelder antall arter viser akkumuleringskurven at man kan forvente å finne 33 arter nedstrøms Brokke og 51 arter oppstrøms Brokke (Figur 9). For å finne alle disse artene må man ta 13 Surberprøver og ca. 15 700 individer oppstrøms Brokke og 16 prøver og 4800 individer nedstrøms Brokke. I denne studien tok vi totalt ni prøver på hver lokalitet.



Figur 7. Tetthet av bunndyr oppstrøms- og nedstrøms Brokke målt som gjennomsnittlig antall individer funnet i en surberprøve. Prøver fra Heistad ca 25 km nedstrøms Surberprøver fra Heistad ca 25 km nedstrøms Brokke er inkludert for sammenlikning. Figuren angir også standardavviket mellom prøver tatt innenfor samme år og lokalitet, samt p-verdien for en t-test som sammenlikner prøver tatt nedstrøms og oppstrøms Brokke samme år. * statistisk signifikant



Figur 8. Biologisk mangfold av bunndyr oppstrøms- og nedstrøms Brokke målt som gjennomsnittlig antall taksa (de fleste er arter) funnet i en surberprøve. Surberprøver fra Heistad ca 25 km nedstrøms Brokke er inkludert for sammenlikning. Figuren angir også standardavviket mellom prøver tatt innenfor samme år og lokalitet, samt p-verdien for en t-test som sammenlikner prøver tatt nedstrøms og oppstrøms Brokke samme år. * statistisk signifikant.



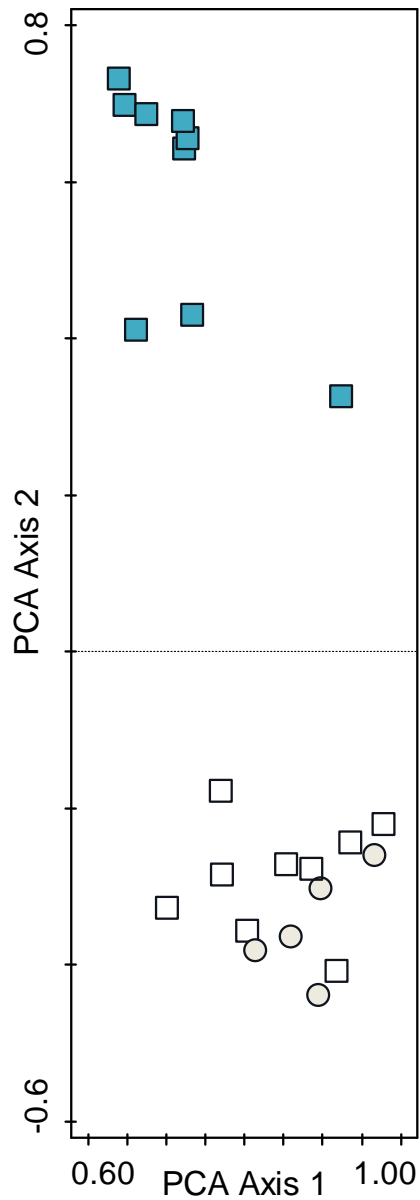
Figur 9. Akkumuleringskurver over biologisk mangfold som viser antallet nye arter man kan forvente å finne hver gang man tar en bunndyrprøve. Kurvene er basert på totalt 9 Surberprøver fra hver lokalitet tatt i 2014 og 2015. Kurven flater ut ved 51 arter oppstrøms Brokke og 33 arter nedstrøms Brokke. Stiplede kurver angir feilmarginene. Usikkerhetene er større nedstrøms Brokke på grunn av færre dyr. Surberprøver fra Heistad er ikke inkludert til sammenlikning siden disse er basert på færre prøver.

Ordinasjonsanalysen indikerer at samfunnet fra nedstrøms Brokke skiller seg ut fra prøvene oppstrøms Brokke og prøvene ved Heistad (Figur 10). Samfunnet oppstrøms Brokke likner relativt mye på samfunnet ved Heistad. Et tilsvarende resultat er tydelig når vi inkluderer prøver tatt med sparkehåv fra andre lokaliteter i Otra (Figur 11). Bunndyrsamfunnet som lever 200 meter oppstrøms Brokke likner mer på bunndyrsamfunnet 8 km oppover i elven eller 19 km nedover i elven enn på det nærmeste samfunnet som er 900 meter unna. I begge ordinasjonene er det dermed tydelig at samfunnet rett nedstrøms Brokke skiller seg fra de andre samfunnene.

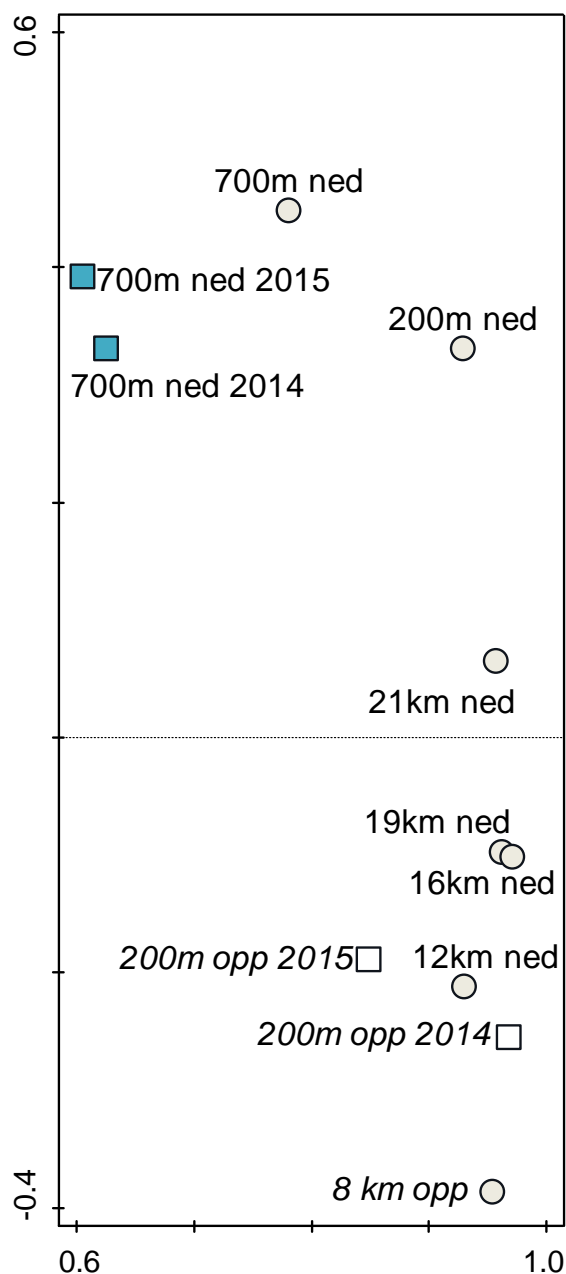
Når det gjelder artssammensetning viser Tabell 1 de vanligste artene for hver lokalitet. Her kan man igjen se at samfunnet nedstrøms Brokke skiller seg ut. Oppstrøms og ved Heistad domineres samfunnet av Chironomidae (fjærmygg) og med mye Oligochaeta (fåbørstemark) og Acari (midd), og med en lang hale av arter som forekommer sjeldnere. Nedstrøms Brokke domineres samfunnet av Nematoda (rundorm), Oligochaeta (fåbørstemark) og Acari (midd), og med en hale av dyr som forekommer sjeldnere. De to gruppene som dominerer nedstrøms Brokke er typiske gravende markformede dyr. Samfunnet oppstrøms Brokke og ved Heistad domineres av Chironomidae. Denne gruppen opptreer svært fåtallig nedstrøms Brokke. Forsuringsfølsomme arter, f.eks *Baetis rhodani* og *Ephemerella aroni*, er tilstede rett oppstrøms Brokke og ved Heistad, men de mangler rett nedstrøms Brokke. Når det gjelder forsurening, indikerer bunndyrene (Forsuringsindeks 2) at det kan være en gradient av påvirkning gjennom Otra (Figur 12) Påvirkning fra organisk belastning på bunndyrsamfunnet likner tilsynelatende påvirkningen fra forsurening (Figur 13). Mulige påvirkningsfaktorer er diskutert i Kapittel 4.

Tabell 1. De vanligste artene angitt som gjennomsnittlig antall individer per m² 200 m oppstrøms brokke, 700 nedstrøms Brokke og ved Heistad 25 km nedstrøms Brokke.

Oppstrøms Brokke	Dyr/ m²	Nedstrøms Brokke	Dyr/ m²	Heistad	Dyr/ m²
Takson		Takson		Takson	
Chironomidae	6896	Nematoda	1513	Chironomidae	6299
Oligochaeta	1407	Oligochaeta	1299	Oligochaeta	842
Acari	1103	Acari	235	Nematoda	188
<i>Oxyethira</i> sp.	776	Chironomidae	145	Acari	168
Nematoda	458	<i>Apatania</i> sp.	51	<i>Oxyethira</i> sp.	84
Simuliidae	318	<i>Amphinemura borealis</i>	23	Ostracoda	64
<i>Oecetis testacea</i>	305	Simuliidae	13	<i>Leptophlebia marginata</i>	23
<i>Lepidostoma hirtum</i>	302	<i>Tipula</i> sp.	8	<i>Pisidium</i> sp.	22
<i>Leuctra fusca/digitata</i>	283	<i>Nemoura cinerea</i>	7	Empididae indet.	19
<i>Pisidium</i> sp.	240	Collembola	7	Simuliidae	15
<i>Radix balthica</i>	220	Empididae indet.	6	<i>Apatania</i> sp.	14
<i>Amphinemura borealis</i>	199	<i>Pisidium</i> sp.	6	<i>Leuctra hippopus</i>	13



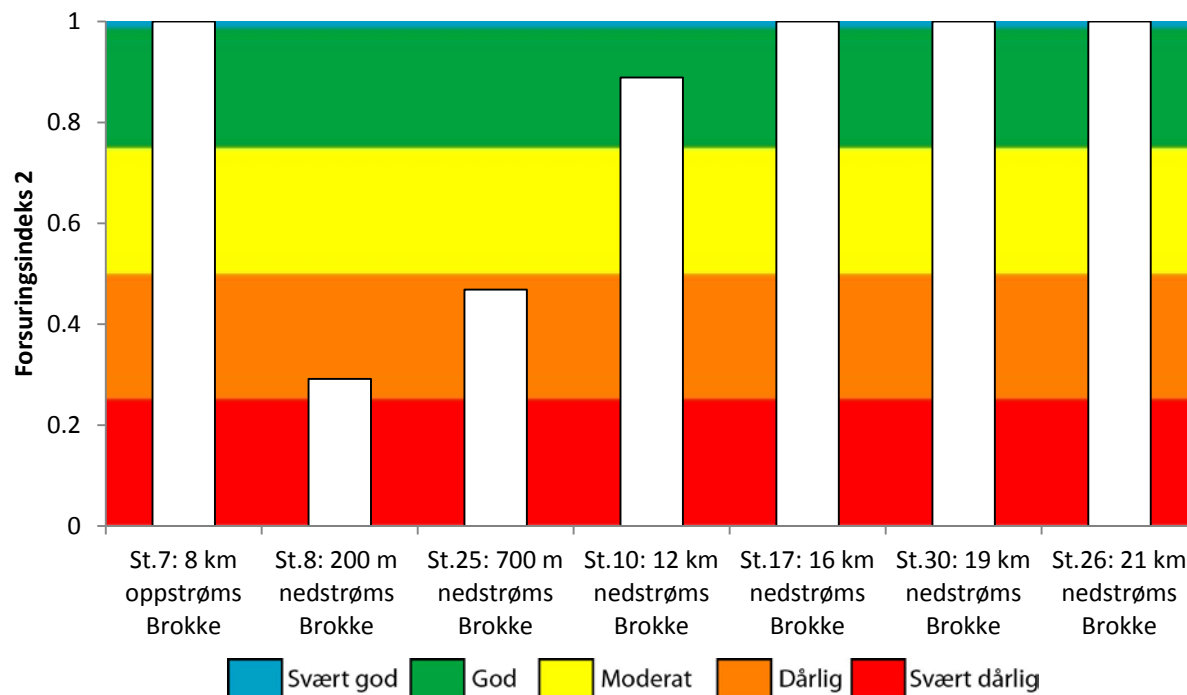
Figur 10. Diagram som viser resultatene etter ordinasjonen (PCA) av bunndyrsamfunnet tatt med Surber oppstrøms Brokke (hule firkanter) og nedstrøms Brokke (blå firkanter) og ved Heistad 25 km nedstrøms Brokke (sirkler). Eigenvalue var 0,71 for akse 1 og 0,1 for akse 2, noe som viser at analysen er godt egnet til å skille mellom prøvene.



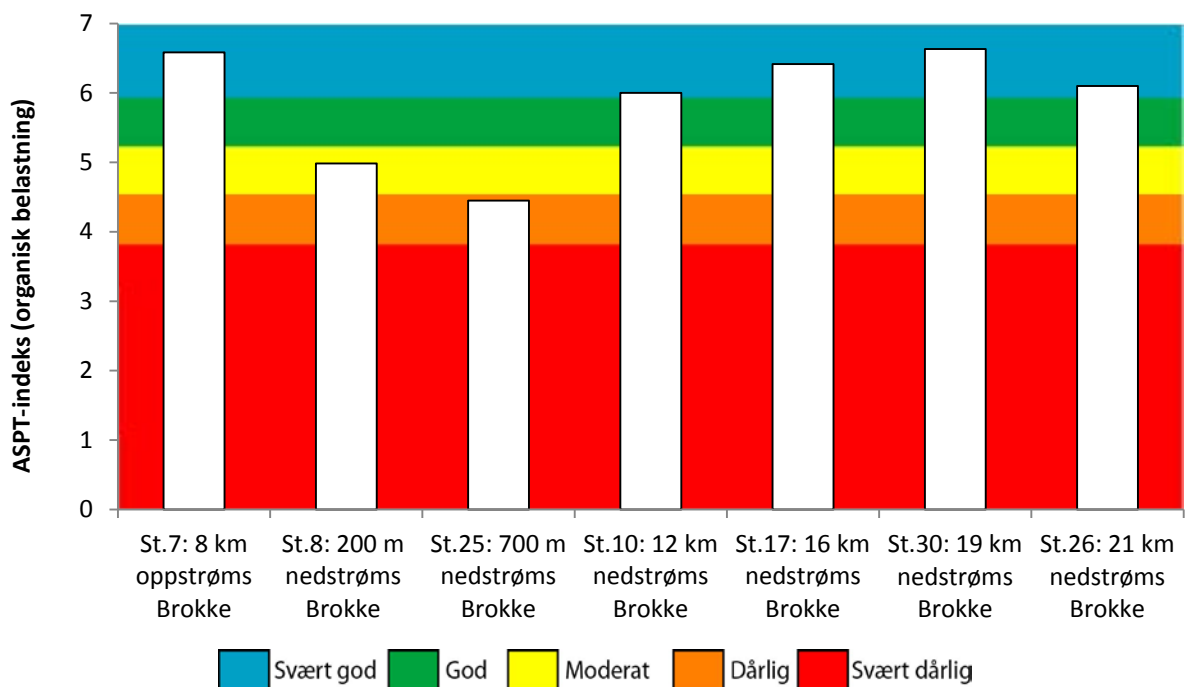
Figur 11. Diagram som viser resultatene etter ordinasjonen (PCA) av bunndyrsamfunnet oppstrøms Brokke (hule firkanter) og nedstrøms Brokke (blå firkanter) tatt med surber i 2014 og 2015, samt ulike bunndyrprøver tatt med sparkehåv oppstrøms og nedstrøms Brokke i Blekeprosjektet (sirkler). Punktene for sparkeprøver består av vår- og høstprøver tatt mellom 2010 og 2015 og er lagt sammen for hver lokalitet før analysen. Eigenvalue var 0,77 for akse 1 og 0,08 for akse 2, noe som viser at analysen er godt egnet til å skille mellom prøvene.

Kjemisk-fysiske parametere

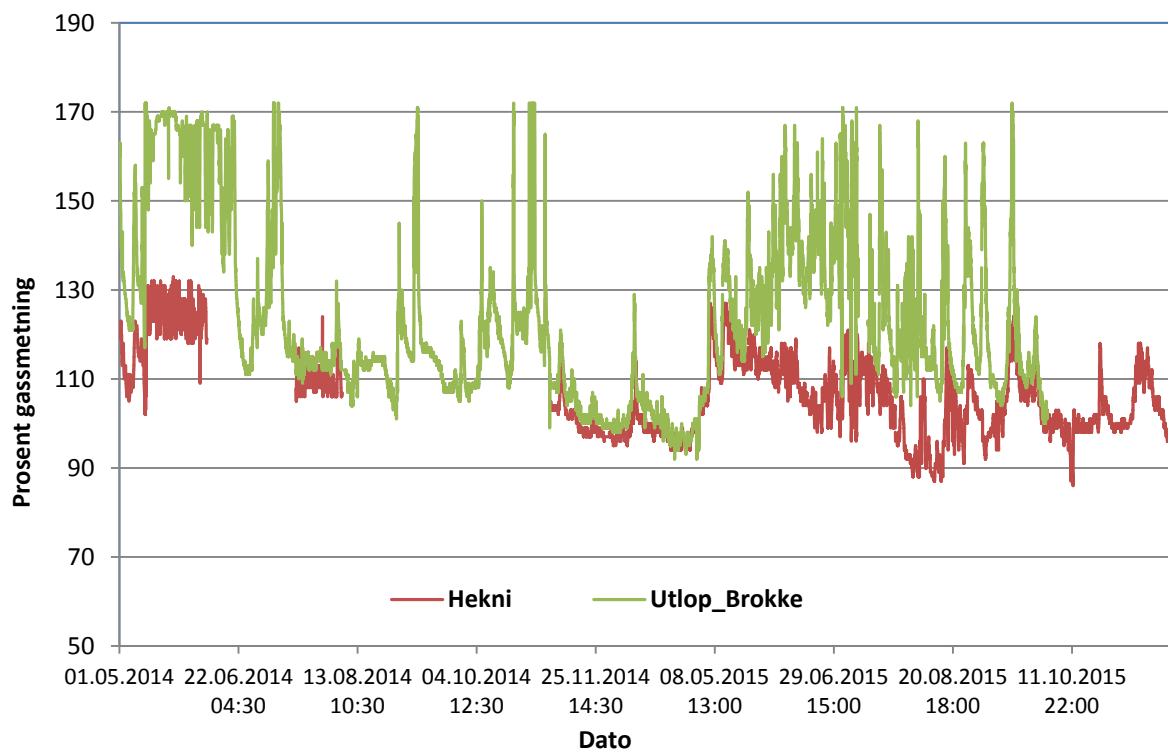
Gassmetningen i utløpet fra Brokke kraftverk nådde 170 % flere ganger mellom mai 2014 til oktober 2014 (Figur 14). Metningen var noe lavere ved Hekni, men ofte over 120 %. Det var høyest verdier om våren, og lavere mer kortvarige gassovermetningstopper utover høsten (Pulg m. fl. 2016). Månedlige analyser av vannkjemi viser at det kan være litt høyere pH og noe lavere labilt aluminium 8 km oppstrøms Brokke enn ved Brokke (Figur 15, data fra NIVA). Forskjellene er små og ikke statistisk signifikante. Målingene representerer uansett øyeblikksbilder av vannkjemien. pH-logging viser at det kan være hyppigere innslag av sure støt nedstrøms Brokke enn oppstrøms Brokke om våren (Barlaup m.fl. 2015; R. Høgberget (NIVA) pers. komm.).



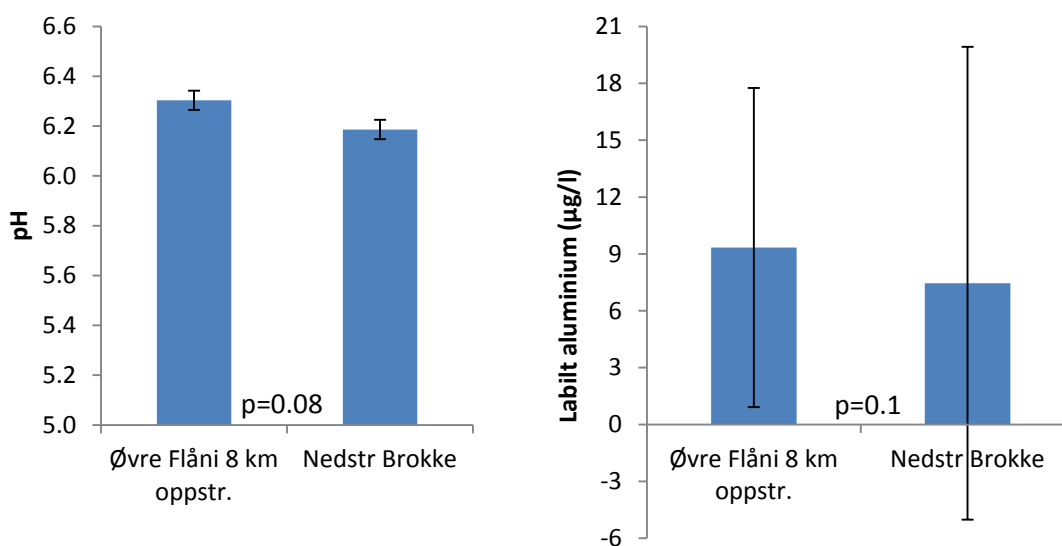
Figur 12. Forsuringsindeks 2 i en gradient fra oppstrøms- til nedstrøms Brokke. Indeksen representerer gjennomsnittet av bunndyrprøver tatt mellom 2010 og 2015 for hver lokalitet. Økologisk status er angitt fra Svært god til Svært dårlig.



Figur 13. ASPT-indeks basert på bunndyr som viser graden av organisk belastning i en gradient fra oppstrøms- til nedstrøms Brokke. Indeksen representerer gjennomsnittet av bunndyrprøver tatt mellom 2010 og 2015 for hver lokalitet. Økologisk status er angitt fra Svært god til Svært dårlig.

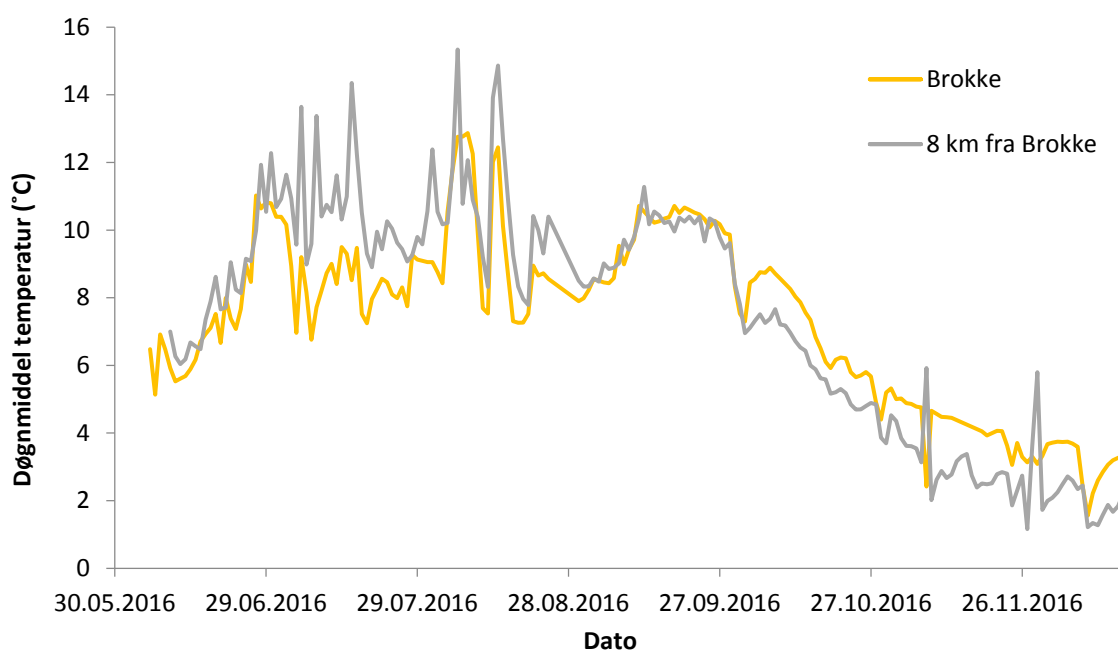


Figur 14. Gassovermetning målt mellom mai 2014 og oktober 2015 ved utløpet av Brokke og ved Heknidammen (Tjurrmodammen) ca 11 km nedstrøms Brokke.



Figur 15. pH og labilt aluminium rett nedstrøms Brokke og 8 km oppstrøms Brokke ved Øvre Flåni målt 14 ganger i løpet av 2014 og 2015. P-verdien er etter en t-test som sammenlikner prøver tatt ved de to stasjonene. Verken pH eller labilt aluminium var signifikant forskjellige.

Vi mangler foreløpig temperaturer fra oppstrøms Brokke og for perioden da dyrene ble prøvetatt, men målinger fra 2016 ved Brokke og i restfeltet ved Hækni er også relevante siden de viser hvilke trender man kan forvente ved lokalitetene. Temperaturkurvene (Figur 16) viser at man kan forvente at temperaturen i utløpet ved Brokke er rundt 1 °C kaldere enn oppstrøms og lengre nedstrøms Brokke, og vinterhalvåret kan man forvente at det motsatte vil være tilfelle med rundt 1 °C varmere temperaturer ved Brokke. Generelt er også temperaturene mer stabile ved Brokke.



Figur 16. Døgnmiddeltemperaturer ved utløpet av Brokke kraftstasjon og ved Hækni ca 11 km nedstrøms Brokke. Temperaturene er målt i forbindelse med logging av gassmetning.

4 Vurderinger

Bunndyrsamfunnet som lever rett nedstrøms Brokke har helt tydelig forskjellig artssammensetning fra samfunnet et par hundre meter oppstrøms Brokke og fra samfunnet noen km nedstrøms Brokke. Det er også forskjellig fra alle andre stasjoner vi har prøvetatt i Otra mellom 2010 og 2015. Samfunnet skiller seg også ut ved at det har lavere biologisk mangfold og lavere tettheter av dyr. To sentrale spørsmål er da: 1. Hva det er som forårsaker denne forskjellen, og 2. Hvilke effekter har denne forskjellen på økosystemet.

Mulige påvirkningsfaktorer

Det er flere miljøfaktorer som kan påvirke bunndyrsamfunn, og føre til endringer i artssammensetning, biologisk mangfold og produksjon. I lokalitetene som er prøvetatt i Otra er det minst fem ulike påvirkningsfaktorer som potensielt kan forklare forskjellene i bunndyrsamfunnene: 1. substrat, 2. temperatur, 3. surt vann, 4. organisk belastning og 5. gassovermetning.

1. Substrat. Nedstrøms utslippspunkt fra kraftproduksjon kan det ofte danne et såkalt armeringslag bestående av mer hardpakke sedimenter. Ved Brokke er substratet rett nedstrøms Brokke mer hardpakket enn substratet ovenfor Brokke. Dette burde i så fall tilsi at dyrene nedstrøms Brokke har problemer med å grave, og at det derfor er flere gravende arter oppstrøms Brokke. Dette er ikke tilfelle. Bunndyrene som dominerer nedstrøms Brokke er typiske gravende, men dominans av rundorm og fåbørstemark. Andre forskjeller i artssammensetningen, for eksempel mangel på forsuringssensitive arter rett nedstrøms Brokke, kan heller ikke forklares av substrat. Vi har ikke tidligere observert tilsvarende effekter i regulerte elver, for eksempel ved sammenlikning i Kvina (Halvorsen og Fjellheim 2010).

2. Temperatur. Vanntemperatur kan i prinsippet også påvirke artssammensetning av bunndyr og ved kalde temperaturer føre til redusert biologisk mangfold og redusert produktivitet. Likevel er det for små endringer i temperatur fra Brokke og de neste kilometerne av Otra til å utgjøre en særlig forskjell, og basert på artssammensetningen av bunndyr er det lite som tyder på at temperaturen spiller en sentral rolle. For eksempel er antallet fjærmygg svært lavt rett nedstrøms Brokke, og dette er en gruppe insekter som vanligvis trives godt i slike kalde omgivelser (Velle m.fl. 2005).

3. Surt vann. Etter forsuringindeksen å dømme, kan det se ut til at dyrene rett nedstrøms Brokke er påvirket av forsuring og at forsuringen minker i en gradient 21 km videre i Otra. Sure støt kan i så fall tilføres via vannet fra Brokke kraftverk og føres videre slik at bunndyrsamfunnet på vestsiden av elven der prøvene ble tatt er mest påvirket, og at samfunnene nedstrøms i minkende grad blir påvirket. Dette er lite sannsynlig. Selv om vannet fra restfeltet oppstrøms

Otra er noe mindre surt enn vannet fra Brokke kraftverk, så dominerer vannet fra Brokke vannføringen også videre nedover i Otra. Basert på bunndyrindeksen minker forsuringen nedover i Otra, men det er lite sannsynlig at vannet fra restfeltet kan bufre vannet tilstrekkelig til å påvirke graden av forsuring videre nedover i Otra. Vann fra innløpsbekker kan i utgangspunkt bufre vannet fra Brokke gitt nok bufferkapasitet og vannføring, men vannet i innløpsbekkene de neste kilometerne nedstrøms Brokke (Faråna, Fjellskardåna, Kvernåni) er i all hovedsak fraført og brukes i kraftproduksjon i Brokke kraftverk. Dessuten indikerer indeks 2 at dette vannet også kan være surt (Barlaup m.fl. 2015). Det er derfor lite sannsynlig at det er en reel gradient av forsuring fra Brokke og nedover i Otra. Det er mer sannsynlig at den dominerende påvirkningen på bunndyrene ikke kommer fra forsuring, men av andre faktorer som slår ut noen av de samme artene som en forsuring normalt ville gjøre. Samtidig skiller faunaen rett nedstrøms Brokke seg ut i forhold til andre lokaliteter som er påvirket av forsuring ved at arter som normalt ikke er sensitive ovenfor forsuring også mangler, for eksempel var det svært høye tettheter av fjærmygg både før og etter kalking av det forsuredede Tovdalsvassdraget (Brandrud m.fl. 2000).

4. Organisk belastning. Ifølge ASPT-indeksen er dyrene negativt påvirket av gjødselende stoffer i en gradient fra Brokke og nedover i Otra. I likhet med forsuring er det lite i ytre forhold som tilsier at den faktiske konsentrasjonen av gjødselende stoffer varierer tilsvarende langs denne gradienten. Ved Brokke er artsmangfoldet lavt og domineres av fåbørstemark. Fåbørstemark er tallrike under næringsrike forhold og påvirker indeksen negativt. Andre arter som normalt er tilstede under forhold uten gjødsel mangler, og dermed blir indeksen lav ved Brokke. I tillegg kan man forvente at produksjonen øker som følge av økt organisk belastning, mens effekten ved Brokke er redusert antall dyr. Dette tyder på at det er andre ytre påvirkningsfaktorer som utradierer sensitive arter.

5. Gassovermetning. Gassmetningen varierer i en tilsvarende gradient som bunndyrindeks 2 fra oppstrøms Brokke og videre nedover i Otra. Det er ingen kjent overmetning av gass (>100 %) oppstrøms Brokke, svært høye nivåer (170 %) av gassovermetning ved Brokke, og minkende grad av overmetning i en gradient nedstrøms fra Brokke (Pulg m.fl. 2016). Kunnskapsnivået er lavt når det gjelder påvirkning fra gassovermetning på bunndyr, men det er noen elementer som sannsynliggjør en påvirkning fra gassovermetning. For det første regner man med at bunndyr blir påvirket negativt fra 120- 130 % gassovermetning, avhengig av art (se kapittel 5 som omhandler kunnskapsstatus for effekter av gassovermetning). Det er derfor sannsynlig at bunndyrene ved Brokke blir påvirket. Det er også verdt å merke seg at artssammensetningen av bunndyr ved Brokke er svært spesiell sammenliknet med andre lokaliteter i Otra og de aller fleste andre steder LFI har tatt prøver av de siste 45 årene. Hovedforskjellen er mangelen på fjærmygg og dominansen av rundorm. Fjærmygg er en gruppe insekter som normalt dominerer både i antall individer og i antall arter i ferskvann (Armitage m.fl. 1995), uavhengig av forsuring eller organisk belastning. Artene som dominerer ved Brokke er regnet som svært robuste mot ulike kjemiske og fysiske påvirkninger, spesielt rundorm og fåbørstemark, og disse er i tillegg gravende. Arter som normalt lever oppå substratet, slik som fjærmygg eller steinfluer, er sjeldne eller fraværende ved

Brokke. Det er klart at dyr som lever oppå substratet blir eksponert for gassovermetning i større grad enn gravende dyr. Dyr oppå substratet kan for eksempel utvikle bobler på ekstremiteter eller i indre organer og flyte opp og transporteres bort av vannstrømmen.

Det er derfor sannsynlig at bunndyrene nedstrøms Brokke er negativt påvirket av gassovermetning. Resultatene tyder på at forsuringssensitive arter og arter som er sensitive mot organisk belastning, også er sensitive for gassovermetning. Antallet av disse artene er lavt nedstrøms Brokke. I tillegg vil den samvirkende effekten av flere påvirkningsfaktorer i blanding ofte være større enn summen av påvirkningsfaktorene. Dermed kan effekten av forsuring forsterkes som følge av gassovermetning.

Effekter på økosystemet

Effekten av gassovermetning på bunndyr ved Brokke er endret artssammensetning, minsket biologisk mangfold og redusert produksjon. Det er usikkert hvordan dette spesifikt påvirker økosystemet i den berørte elvestrekningen, men vi kan trekke en del generelle konklusjoner.

For det første påvirker gassovermetningen økosystemet bestående av bunndyr. Her har bunndyrsamfunnet mer eller mindre kollapset. En konsekvens av redusert biologisk mangfold kan være redusert motstandsdyktighet mot ytre påvirkningsfaktorer, dvs. at det skal mindre til før en ny effekt slår ut resten av bunndyrsamfunnet. Reduserte tetthet av bunndyr vil påvirke andre deler av økosystemet i elven. For eksempel er det mange arter bunndyr som beiter på vegetasjon, og et redusert antall individer av bunndyr derfor kunne føre til økt begroing av påvekstalger og makrovegetasjon. En økt begroing kan derfor forventes nedstrøms Brokke siden dyrene som beiter på planter nødvendigvis kryper oppå substratet, og slike dyr mangler. Bunndyr er også føde for fisk og for fugl og kan derfor påvirke produksjon av disse. Det er allerede svært lave tettheter av fisk nedstrøms Otra, men dette skyldes mest sannsynlig at fisken også påvirkes av gassblæresyke som følge av gassovermetning (Pulg m.fl. 2016). Bunndyr utfører normalt også andre økosystemtjenester som sannsynlig er redusert som følge av gassovermetning, slik som filtrering av vann, energiflyt i næringskjeden og resirkulering av næringsstoffer (se for eksempel Covich m.fl. 1999).

5 Kunnskapsstatus for biologiske effekter av gassovermetning

Gassovermetning kan forårsake trykkfallsyke (gassblæresyke), analogt til dykkersyke hos mennesker, og føre til økt dødelighet hos fisk og hos bunndyr (Goldberg 1978; Heggberget 1984; Johnson 1976; Nebeker m.fl. 1981). Ved konsentrasjoner over 120 % gassovermetning kan man forvente akutt gassblæresyke og høy dødelighet hos fisk. Mindre gassmetningskonsentrasjoner (< 120 %) kan også forårsake lave fisketettheter siden verdier over 110 % kan være dødelig over tid (Heggberget 1984). Også lavere verdier mellom 103 % og 110 % kan skade fisk, særlig i grunne habitater eller bassenger der fiskene ikke kan unngå til større vanddyp for å kompensere for overmetningen. Når det gjelder aure (*Salmo trutta*) og laks (*Salmo salar*), inklusiv Bleke, er det langt mindre kunnskap enn for Stillehavslaks (*Oncorhynchus* sp.), men erfaringer med aure og laks tyder på at nivåene ovenfor gjelder også for disse artene (Heggberget 1984).

Generelt vil det være nitrogen og nivået av totalgassmetning i gassovermettet vann som er skadelig for biota (Nebeker m.fl. 1976a). Graden av skade er avhengig av overmetning (dose) og eksponeringstid. I fisk vil gassovermetning kunne skade indre organer, gjeller og sanseapparat, og også indirekte være skadelig i form av økt grad av infeksjon, redusert toleranse for salinitet og minsket mobilitet (Colt m.fl. 1984; Elston 1983). Man har registrert forsinket dødelighet med opptil 1 til 2 måneder hos fisk som følge av eksponering for gassovermettet vann (1986). I tillegg er effekter på fisk avhengig av livsstadier der stadier som gjennomgår store morfologiske og fysiologiske endringer, slik som klekking og smoltifisering, er mest utsatt. Embryo er som regel mer tolerant enn senere stadier (Alderdice og Jensen 1985). Fisk vil til en viss grad kunne kompensere for gassovermetning ved å svømme til dypere vann siden metningen reduseres med 10 % for hver meter økning i dyp (Henry 1803; Weitkamp 2000). Dersom gassovermetningen er 130 % og potensielt dødelig i overflaten vil fisk som svømmer ned til 3 meters dyp oppleve 100 % metning og unngå skade. I naturen antar man at verdier opp til 110 % kan forekomme kortvarig ved flom. Slike situasjoner betraktes likevel ikke som skadelige på fisk og bunndyr siden toppene er små og kortvarige, og siden fisk kan kompensere for høyre trykk ved å gå dypere, noe som er mulig ved høy vannføring. For at fisken ikke skal skades må den kunne sanse gassovermetning og ha en unnvikelsesadferd ved å svømme nedover eller til områder uten gassovermetning. En slik unnvikelsesadferd er registrert hos en del fiskearter, særlig regnbueørret (Lund og Heggberget 1985; Weitkamp 2000), men det er uklart om alle har dette. Enten fisken dør eller migrerer bort fra grunne områder, så vil en effekt av gassovermetning være endret habitatbruk og minsket produktivt areal i elven.

Det er få studier som har undersøkt effekter av gassovermetning på bunndyr. Tålegrensen er testet i lab for enkelte arter, men få, om noen, feltstudier eksisterer. Det er antatt at insekter har høyere tålegrense for gassovermetning enn de fleste fiskearter (1981). I lab fant Nebeker m.fl. (1981) 50 % dødelighet for døgnfluen *Timpanoga hecuba* eksponert for 129 % gassovermetning i 96

timer. De testet også tilsvarende dødelighetsgrense for en del andre bunndyr (en art vårflue, en myggart og en fjærmygg) uten å konkludere med grenseverdier annet enn at disse insektene mest sannsynlig tåler høyere verdier enn *Timpanoga hecuba* (Nebeker m.fl. 1981). I en annen studie eksponerte man dyr for ulike konsentrasjoner av gassovermettet vann over ti dager. Der fant man 50 % dødelighet ved 118 % gassovermetning for vannloppe (*Daphnia magna*), 133 % for kreps (*Pacifastacus leniusculus*), og fra 125 til 135 % for tre steinfluearter (*Acronuria californica*, *A. pacifica*, *Pteronarys californica*) (Nebeker 1976; Nebeker m.fl. 1976b). De skadelige effektene oppsto ved at det ble dannet bobler i kroppsvæske og i indre organer. Forfatterne rapporterte også subletale effekter ved lavere verdier, for eksempel oppsto det bobler som blokkerte tarmen og forårsaket sult ved 115 % overmetning hos vannloppen (Nebeker m.fl. 1976b). Man har også funnet at indre og ytre bobler som oppstår hos små dyr ved gassovermetning fører til at dyr lettere flyter opp i vannsøylen (Montgomery og Fickeisen 1979; Nebeker 1976).

Dødelighetstestene nevnt ovenfor er utført i lab på arter som ikke forekommer i Norge, og gir begrenset informasjon om kombinasjonseffekter og subletale effekter i naturlige omgivelser. I elven kan man anta at effekten av gassovermetning vil endres dersom det skjer samtidige endringer i det fysiske miljøet, slik som store endringer i vannføring, temperatur og surhet, eller med endringer i biologiske faktorer, slik som økt konkurranse og predasjon. Spesielt vil man kunne forvente at bunndyr som er avhengig av gå på bunnen og klore seg fast i sterk strøm vil kunne flyte opp og føres bort. De blir da mer utsatt for predasjon av fisk og fugl og klarer heller ikke å ta til seg næring. Vi har ikke funnet noen forsøk som har sett på unnvikelsesadferd mot gassovermetning hos bunndyr.

6 Konklusjoner

Denne studien har vist at gassovermetningen nedstrøms Brokke sannsynligvis har en stor effekt på bunndyrsamfunnet. Effekter inkluderer endret artssammensetning, minsket biologisk mangfold og redusert produksjon. Vi kan likevel ikke utelukke andre påvirkningsfaktorer, spesielt kombinasjonen av gassovermetning og forsurening. For å kunne gjøre en fullgod vurdering av effektene som følge av gassovermetning og samvirkende effekter, inklusiv subletale effekter, behøver man gjøre mer utfyllende forsøk i felt og i lab. Slike forsøk bør inkludere observasjoner av bunndyr under ulike forhold med gassovermetning, og systematiske innsamlinger av samfunn med- og uten gassovermetning. Slik informasjon mangler i dag. I Otra kan man for eksempel gjøre systematiske studier av bunndyr i en gradient nedstrøms fra Brokke. Uten mer presis kunnskap om nivåene der dødelige eller subletale effekter av gassovermetning inntreffer, kan man vanskelig bedømme om det trengs avbøtende tiltak for å redusere gassovermetningen og dens virkning.

Det er usikkert hvordan økosystemet blir påvirket av endringene i bunndyrsamfunnet, men sannsynlige effekter inkluderer økt produksjon av alger og vegetasjon, redusert føde for fisk og for fugl, redusert grad av vannfiltrering og endret energiflyt- og resirkulering av næringsstoffer.

7 Referanser

Alderdice DF, Jensen JOT (1985) An Explanation for the High-Resistance of Incubating Salmonid Eggs to Atmospheric Gas Supersaturation of Water. *Aquaculture* 49: 85-88

Armitage PD, Cranston PS, Pinder LCV (1995) *The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall, London

Armitage PD, Moss D, Wright JF, Furse MT (1983) The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17: 333-347

Barlaup BT, Skoglund H, Skår B, S.E. G, Halvorsen GA, Isaksen TE, Haraldstad T, Hobæk A, Høgberget R, Kroglund F, Lehmann GB, Martinsen BO, Normann ES, Kaste Ø, Kile NB, Kleiven E, Pulg U, Skancke LB, Velle G, Vollseth KW, Vethe A, Wiers T (2015) *Blekeprosjektet. Status og tiltak 2010-2014*. Uni Research, LFI-rapport nr. 249, Bergen

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). *Vassdragsregulantenenes forening*, Oslo

Brandrud TE, P. B, Dolmen D, Halvorsen G, Halvorsen GA, Lindstrøm E-A, Romstad R, Schnell ØA (2000) Effekter av kalking på biologisk mangfold. *Undersøkelser i Tovdalsvassdraget 1997-98, de to første årene etter kalkingsstart*.

Colt J (1986) Gas supersaturation — Impact on the design and operation of aquatic systems. *Aquacultural Engineering* 5: 49-85

Colt J, Orwicz K, Brooks D (1984) Gas Bubble Disease in the African Clawed Frog, *Xenopus laevis*. *Journal of Herpetology* 18: 131-137

Covich AP, Palmer MA, Crowl TA (1999) The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *Bioscience* 49: 119-127

Direktoratsgruppa-vanndirektivet (2009) *Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, innsjøer og elver i henhold til vannforskriften. Veileder 01:2009*. Direktoratet for Naturforvaltning, Trondheim (in Norwegian)

Elston R (1983) Histopathology of oxygen intoxication in the juvenile red abalone, *Haliotis rufescens* Swainson. *Journal of Fish Diseases* 6: 101-110

Environment CCoMot (1999) *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved gas supersaturation*. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg

Goldberg R (1978) Some effects of gas-supersaturated seawater on *Spisula solidissima* and *Argopecten irradians*. *Aquaculture* 14: 281-287

Halvorsen GA, Fjellheim A (2010) Effekter på bunndyr i Kvina etter regulering – en sammenligning med den uregulerte Lygna. Uni Research, LFI-rapport 179, Bergen

Harvey HH (1975) Gas Disease in Fishes - a review. In: W. A. Adams (ed.), *Chemistry and physics of aqueous gas solutions*. Journal of the Electrochemical Society, Princeton, New Jersey, s. 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

Hynes HBN (1970) *The ecology of running waters*. Liverpool University Press, Liverpool

Johnson PT (1976) Gas-bubble disease in the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Journal of Invertebrate Pathology* 27: 247-253

Lund M, Heggberget TG (1985) Avoidance response of two-year-old rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, to air-supersaturated water: hydrostatic compensation. *Journal of Fish Biology* 26: 193-200

Montgomery JC, Fickeisen DH (1979) Tolerance and Buoyancy of Aquatic Insect Larvae Exposed to Gas Supersaturated Water. *Environmental Entomology* 8: 655-657

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

Nebeker AV, Bouck GR, Stevens DG (1976a) Carbon Dioxide and Oxygen-Nitrogen Ratios as Factors Affecting Salmon Survival in Air-Supersaturated Water. *Transactions of the American Fisheries Society* 105: 425-429

Nebeker AV, Stevens DG, Brett JR (1976b) Effects of gas supersaturated water on freshwater aquatic invertebrates. In: D. H. Fickeisen og M. J. Schneider (eds.), *Gas Bubble Disease*. CONF-741033. Technical Information Center, Oak Ridge, Tennessee, s. 51-65

Pulg U, Stranzl S, Vollset KW, Barlaup BT, Olsen E, Skår B, Velle: G (2016) Gassmetning i Otra nedenfor Brokke kraftverk. Uni Researc, LFI-rapport 271, Bergen, 43 s.

Raddum GG (1999) Large scale monitoring of invertebrates: Aims, possibilities and acidification indexes. – S. 7-16 i: Raddum, G.G., Rosseland, B.O. & Bowman, J. (red.). *Workshop on biological assessment and monitoring; evaluation of models*. - ICP-Waters Rapp. 50/99. NIVA, Oslo.

Velle G, Brooks SJ, Birks HJB, Willassen E (2005) Chironomids as a tool for inferring Holocene climate: an assessment based on six sites in southern Scandinavia. *Quaternary Science Reviews* 24: 1429-1462

Weitkamp DE (2000) *Total dissolved gas supersaturation in the natural river environment*. PARAMETRIX, INC., Kirkland, Washington, 19 s.

Weitkamp DE (2008) *Total dissolved gas supersaturation biological effects, review of literature 1980-2007*. Parametrix, Bellevue, Washington, 65 s.

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
- Biotopjusteringer
- Effekter av klimaendringer

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

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