

Hydrologiske
undersøkelser i
Bolstadfjorden
våren 2005



R
A
P
P
O
R
T

Rådgivende Biologer AS

857



Rådgivende Biologer AS

RAPPORTENS TITTEL:

Hydrologiske undersøkelser i Bolstadfjorden våren 2005

FORFATTERE:

Geir Helge Johnsen, Bjart Are Hellen, Steinar Kålås & Harald Sægrov

OPPDRAKSGIVER:

BKK Produksjon AS, Postboks 7050, 5020 Bergen

OPPDRAGET GITT:

12. april 2005

ARBEIDET UTFØRT:

Våren 2005

RAPPORT DATO:

21. november 2005

RAPPORT NR:

857

ANTALL SIDER:

34

ISBN NR:

ISBN 82-7658-451-9

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen
Foretaksnummer 843667082-MVA

Internett : www.radgivende-biologer.no

E-post: post@radgivende-biologer.no

Telefon: 55 31 02 78

Telefax: 55 31 62 75

Framsidedfoto: Tegning på fjell på laks utenfor Trollkona ved terskelen midt i Bolstadfjorden.

FORORD

Laksebestanden i Vosso er blitt sterkt redusert siden midt på 1980-tallet, og det er nedlagt betydelig innsats knyttet til undersøkelser omkring dette. Det er sannsynliggjort at hovedårsakene til nedgangen er å finne i sjøen. Prosjektet har som hovedproblemstilling å vurdere hvorvidt kraftutbyggingen med økte vintertilførsel av ferskvann til fjorden, har endret miljøforholdene slik at det øker dødeligheten på den utvandrende smolten. Dette kan enten skje i selve Bolstadfjorden, eller forhold her kan medføre økt dødelighet på fiskens videre vandring ut mot havet.

Rådgivende Biologer AS takker BKK produksjon for oppdraget.

Bergen, 21. november 2005.

INNHold

Forord	2
Innhold	2
Sammendrag	3
Innledning om Vossolaksen	4
Bolstadfjorden	9
Fjorddynamikk	12
Historisk utvikling i reguleringene	14
Metodebeskrivelse	16
Resultater	17
Vannføringen i Vosso	17
Tidevannsvariasjon (Bergen)	17
Strømhastighet ved Trollkona	18
Temperaturprofiler	21
Oksygenprofiler	22
Saltholdighetsprofiler	23
Sjiktning i Bolstadfjorden våren 2005	24
Hydrogensulfid	25
Siktedyp	26
Temperaturmålinger i Bolstadfjorden	27
Diskusjon	29
Overflatevannhastighet i Bolstadfjorden	29
Sjiktningforhold i Bolstadfjorden	30
Dødelighetsårsaker i Bolstadfjorden	32
Konklusjon	33
Rereferanser	34

SAMMENDRAG

Johnsen, G.H., B.A. Hellen, S. Kålås & H. Sægvog 2005.

Hydrologiske undersøkelser i Bolstadfjorden våren 2005.

Rådgivende Biologer AS, rapport 857, 34 sider, ISBN 82-7658-451-9.

Bestanden av voksen laks i Vosso er blitt sterkt redusert siden midten på 1980-tallet. Det er blitt konkludert at hovedårsakene til nedgangen er å finne i sjøen, for det er gjennom ulike undersøkelser sannsynliggjort at det har gått ut relativt mye smolt fra Vosso også i årene etter at gytebestanden er blitt redusert.

Det er stilt spørsmål om vannkraftreguleringene i Vossovassdraget har ført til endrete miljøforhold i Bolstadfjorden, med et økende innhold av hydrogensulfid (H₂S) i dypvannet, som kunne medføre problemer for den utvandrende laksesmolten i større og større grad nå enn tidligere. De her foretatte undersøkelsene tyder ikke på at det har skjedd noen økning i forekomst av hydrogensulfid.

Av reguleringer er det først og fremst utbyggingen av Evanger kraftverk som har påvirket forholdene i Bolstadfjorden, og da spesielt ved økte ferskvannstilførsler om vinteren. Dette kan medføre at utskiftingen av dypvannet i Bolstadfjorden skjer sjeldnere nå enn tidligere. Denne kraftutbyggingen var i hovedsak ferdig med igangsetting av aggregat 3 i Evanger i 1977, omtrent ti år før bestanden av laks i Vosso for alvor begynte å gå tilbake.

De vannkjemiske undersøkelsene i Bolstadfjorden våren 2005 viste at det er et anoksisk dypvannslag med giftig hydrogensulfid fra rundt 50 meters dyp og nedover i det innerste bassenget, og fra rundt 60 meters dyp i det ytterste bassenget. Forholdene i 2005 er nesten helt samsvarende med det som ble målt i 1994/95. Ved tidligere målinger har det anoksiske laget vært noe dypere i det ytre bassenget. I det indre bassenget er forholdene bare undersøkt en gang før, i 1971/72, og var da omtrent på nivå som nå.

Kontinuerlige temperaturlogginger på ulike dyp våren 2005 viste at giftig bunnvann ikke blander seg inn i overflatelagene, verken ved indre bølger eller ved at bunnvann blir dradd opp som følge av "upwelling" ved Bolstad. Siden bunnvannet i Bolstadfjorden også har vært anoksisk før reguleringene, kan en anta at det over lang tid har vært en sterk seleksjon hos laksesmolt for å unngå å komme i kontakt med hydrogensulfidholdig vann. Det er derfor ikke sannsynlig at fisken dykker ned i de oksygenfrie og etter hvert også giftige vannmassene.

Beregninger av sjøoverlevelsen til laksesmolt i perioden 1998 til 2002, viser at smolten fra Loneelva og Arnaelven overlevde ca 10 ganger bedre enn laksesmolt fra Vosso. Sammenlignet med referansebestander rundt Osterøy har laksesmolten fra Vosso altså overlevd betydelig dårligere i sjøen siden 1998. Bestanden av voksen sjøaure har imidlertid økt i Vossovassdraget, og denne utviklingen tilsier at det ikke er forhold i Bolstadfjorden som utgjør problemet for smolten fra Vosso.

I havbeiteprosjektet på Selstø overlevde laks av Vossostammen langt dårligere i sjøen enn laks av Lone- og Dalestamme. Dette kan indikere at smolt fra Vosso oppfører seg annerledes i sjøen enn laks fra de andre stammene og dermed er utsatt for større dødelighet. I forsøk er det også vist at Vossolaksen har mindre motstand mot angrep av lakselus enn for eksempel laksen i Daleelva.

Ut fra de gjennomførte undersøkelsene er det vanskelig å fastslå sikkert om forholdene har endret seg pga. reguleringene, men ut fra en generell betraktning om fjorddynamikk og dypvannsutskifting kan en forvente at det nå kan gå lenger tid mellom totalutskifting av bunnvannet i Bolstadfjorden, sammenlignet med slik det var før utbyggingene av Evanger kraftverk og andre kraftverk i fjordsystemet til Osterfjordsystemet. Dette dypvannet i Bolstadfjorden forventes imidlertid ikke å ha betydning for laksesmolten overlevelse under utvandring.

INNLEDNING OM VOSSOLAKSEN

Bestanden av voksen laks i Vosso er blitt sterkt redusert siden midten på 1980-tallet. Det er blitt konkludert at hovedårsakene til nedgangen er å finne i sjøen, for det er gjennom ulike undersøkelser sannsynliggjort at det har gått ut relativt mye smolt fra Vosso, både villsmolt og smolt som stammer fra utsettinger på ulike stadium. I tillegg har det blitt slept laksesmolt ut til kysten (Barlaup 2004).

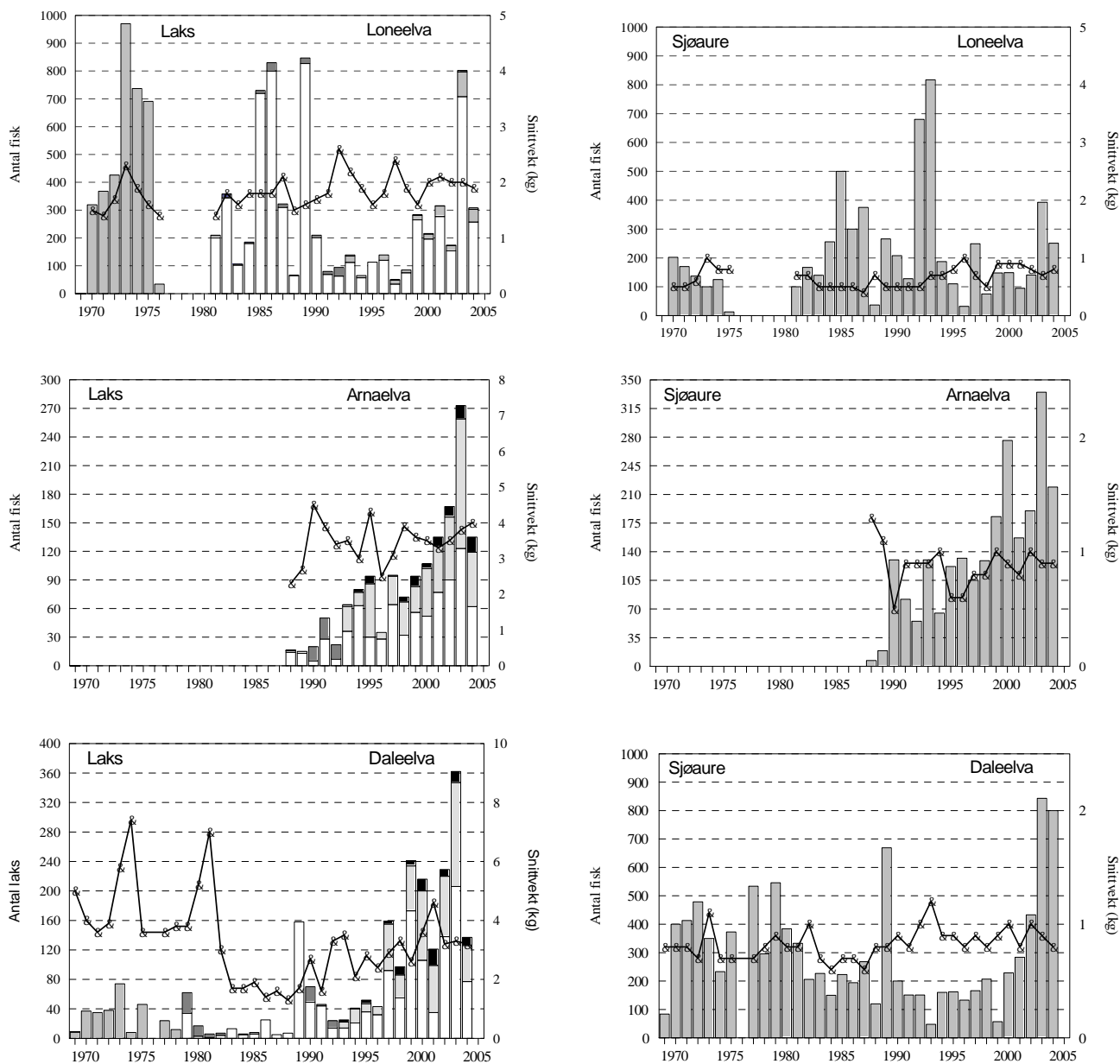
På tross av et omfattende kultiveringsarbeid i form av utsettinger og betydelig utvandring av villsmolt har tilbakevandringen av voksne laks til Vosso likevel vært svært lav de siste årene (Barlaup 2004). Innsiget til Vosso har altså vært svært lavt i en periode når innsiget av laks har økt til de fleste lakseelvene ellers på Vestlandet (unntatt er innsiget til noen elver i Nordfjord, til alle lakseelvene i Hardanger og til Suldalslågen, Urdal mfl. 2004). Unntaket for Vosso er laksesmolt som ble slept ut til kysten i 2003, og av disse er det fanget igjen nær fem ganger så mange av de som ble behandlet mot lakselus som fra den ubehandlede kontrollgruppen (Barlaup 2004). Også smoltgrupper fra Daleelva er blitt behandlet mot angrep av lakselus, også disse forsøkene viser at lakselus framdeles kan medføre stor ekstra dødelighet på laksesmolt fra elvene rundt Osterøy (Barlaup 2004). Påslag av lakselus kan skje på kysten og trenger ikke være et problem inne i Osterfjorden. Det er blitt fanget sjøaure med store påslag av lakselus i ruse innenfor Straume i Bolstadfjorden, men det er uvisst hvor auren har oppholdt seg i infeksjonsperioden.

Dersom påslag av lakselus skjer etter at laksesmolten har forlatt Osterfjorden burde en forvente den same infeksjonsnivået på laks fra alle lakseelvene rundt Osterfjorden, under forutsetning av at de vandrer ut på samtidig. Fare for infeksjon av lakseluslarver øker utover i slutten av mai og juni (Kålås og Urdal 2004), og sent utvandrende smolt vil være mer utsatt for lusepåslag ved kysten enn laksesmolt som vandrer ut tidlig. Laksesmolten fra Vosso forlater sannsynligvis Bolstadelven like tidlig som smolt fra de andre elvene i området, men det er usikkert om Vossosmolten når kysten like tidlig som molten fra de andre bestandene. Vandringsdistansen fra Vosso til kysten er litt lenger enn for de andre, men ikke lenger enn det som tilsvarer et døgns ekstra vandring sammenlignet med f.eks. smolt fra Daleelva. Vandringsfarten er anslått til 20 km i døgnet (J.C. Holst, i Barlaup 2004).

Laksebestandene rundt Osterøya har vært utsatt for ulike påvirkninger, dette gjør en direkte sammenligning av bestandsutvikling litt vanskelig for noen av bestandene. Dette kan skyldes ulike påvirkninger i de enkelte vassdragene som forsuring og reguleringsinngrep. I noen av bestandene finnes det heller ikke oversikt over innsiget av laks de siste årene på grunn av stans i fiske etter villaks, og for noen er det lite eller mangelfull informasjon om ungfiskbestandene.

Laksebestanden i Modalselva har en litt usikker status på grunn av lite informasjon om smoltproduksjonen i elven. I Ekso har det vært dominans av rømt oppdrettslaks og lite villaks i gytebestanden, og elven har som Modalselva og Vosso ikke vært åpnet for fiske etter villaks de siste årene. Det er forventet økende innsig av villaks i Ekso de kommende årene på grunn av økt tetthet av eldre lakseunger i elven siden 1999 (DN Notat 2004 – 2). I Romarheimselva og Eikefetelva er laksebestandene tapt på grunn av dårlig vannkvalitet, og her er vannkvaliteten fremdeles for dårlig til at det er etablert nye bestander etter gyting av rømt oppdrettslaks og feilvandret villaks.

I Daleelva har fangsten av laks økt kraftig f.o.m. 1997 på grunn av stans i lokal forurensing og store utsetninger av lakseunger. En del av de utsette lakseungene har fått behandling mot påslag av lakselus, og dette har nok vært et vesentlig bidrag til økt overlevelse, for det er for denne bestanden dokumentert stor ekstra dødelighet i sjøfasen på enkelte smoltårganger på grunn av påslag av lakselus. Det generelle bildet for Vestlandet er at lakselusproblemet i de fleste områder var betydelig større i perioden tidlig på 1990-tallet og fram til 1997 sammenlignet med perioden etter 1997 (Heuch og Mo 2001, Kålsås og Urdal 2004). Hardangerfjorden er et unntak fra dette bildet, og sannsynligvis gjelder unntaket også for Sogn og enkelte bestander i Nordfjord og Ryfylke (Urdal mfl. 2004). Så langt er det smoltårgangene fra 1998, 2001 og 2002 som er fanget i størst antall i Daleelva, med maks fangst på 290 voksne laks av smoltårgangen fra 2001 (figur 1).



Figur 1. Fangst av laks og sjøaure i Loneelva, Arnaelven og Daleelva i perioden 1969 til 2004. Fra 1979 til 1992 er laksefangstene skilt som tert (<3 kg, hvit søyle) og laks (>3 kg, grå søyle), fra 1993 er det skilt mellom smålaks (<3 kg, hvit søyle), mellomlaks (3-7 kg, grå søyle) og storlaks (>7 kg, svart søyle). Disse tre vektkategoriene svarer grovt sett til laks som har vært henholdsvis 1, 2 og 3 eller flere vintre i sjøen.

Laksebestanden i Arnaelven har inntil nylig vært påvirket av lokal forurensing, og i den offisielle fangststatistikken er det ikke oppgitt fangst av laks eller sjøaure i perioden fra 1969 til 1987. Etter 1990 har fangsten av laks økt jevnt i Arnaelven, med en topp i 2003 som i Daleelva og Loneelva. Smoltårgangene fra 2000 til 2002 har blitt fanget i størst antall, og av den fra 2001 er det fanget 242 voksne laks i Arnaelven (figur 1). Gjennomsnittlig fangst av voksne laks av smoltårgangene fra 1998 til 2002 var 161 laks. Innslaget av rømt laks har vært i snitt 33 % i denne perioden (Urdal 2004), og fangsten av villaks har dermed vært ca 110 laks. Dersom en antar en beskatning i elven på 50 – 60 % kom det i gjennomsnitt ca 200 voksne villaks tilbake til elven fra disse smoltårgangene (Urdal 2004).

I Loneelva var det høy fangst av laksemolten som gikk ut våren 1988, men de etterfølgende smoltårgangene var utsatt for stor dødelighet. Smoltårgangene fra og med 1998 overlevde bedre enn de foregående, og maksimum fangst av voksne laks siden 1989 var i 2003 med 802 laks. Av smoltårgangene fra 1998 til 2002 er det i gjennomsnitt blitt fanget 364 voksne laks i Loneelva, med variasjon fra 236 til 754, det siste av smoltårgangen fra 2002. Det er vanligvis større beskatning på smålaks enn på flersjøvinterlaks. Dersom en antar en beskatning på 60 % i Loneelva, har det i gjennomsnitt kommet tilbake 600 voksen laks fra smoltårgangene fra 1998 til 2002. Dersom en holder den uvanlig tallrike 2002-årgangen utenfor, var gjennomsnittlig tilbakevandring ca 450 laks. Fangsten av laks var i 2003 på nivå med historisk maksimum, og det meste av dette er villaks, for innslaget av rømt laks har vært lavt i Loneelva.

Utviklingen i laksebestandene i Arnaelven og Loneelva er gode referanser til utviklingen i laksebestanden i Vosso. Dette er også tilfelle for Daleelva, på grunn av undersøkelsene og eksperimentene som er gjort der, og den nøyaktige informasjonen som er om forekomsten av voksen laks og sjøaure i elva. Bestandsstørrelsen av laks er påvirket av store utsetninger av smolt og også betydelig innslag av rømt oppdrettslaks (Urdal 2004), og det er relativt lite informasjon om produksjonen av vill laksesmolt i elva.

I Arnaelven og Daleelva har fangstene av sjøaure økt de siste årene, og omtrent like mye som fangstene av laks sammenlignet med perioden før 1998 (figur 1). Dette indikerer at forhold som har påvirket laksen også har påvirket sjøauren, den parallelle utviklingen tilsier at denne endringen skyldes forhold i sjøen og den mest sannsynlige faktoren er lakselus. I perioden før 1990 var bestandene av anadrom fisk i disse vassdragene påvirket av lokal forureining.

Tabell 1. *Produksjonspotensiale for laksesmolt i Loneelva, Arnaelven og Vossovassdraget basert på en generell sammenheng mellom tetthet av presmolt og vannføring gjennom året (Sægrov og Hellen 2004). Det er beregnet at 80 % av den totale smoltproduksjonen er laksesmolt, resten er auresmolt i alle elvene. Det er også beregnet gjennomsnittlig innsig av voksen villaks til de tre elvene for smoltårgangene som gikk ut i årene 1998 til 2002, både i antall og som prosent av anslag for utvandrende smolt.*

Vassdrag	Areal, m ²	Laksesmolt		Snitt innsig av smoltårg. 98 -02	% tilbake	Referanse
		pr. 100 m ²	Totalt			
Loneelva	50.000	20,1	10.000	450	4,5	Skurdal mfl. 2001
Arnaelven	15.000	22,5	3.500	200	5,7	Skurdal mfl. 2001
Vossovassdr.	1 mill	3,7	37.000	150	0,4	Barlaup 2004

De smoltproduserende arealene i Arnaelven og Loneelva er små sammenlignet med Vosso, selv om produksjonen i de to elvene er høyere enn i Vosso per areal. Et grovt anslag for produksjonspotensialet for laksesmolt er satt opp i tabell 1, sammen med anslag for antall vill laks som i gjennomsnitt er kommet tilbake til elvene fra smoltårgangene som forlot elvene i perioden 1998 – 2002. Anslagene er grove, men ikke urealistiske.

Beregningene tilsier at 4,5 % av smolten som forlot Loneelva disse årene kom tilbake som voksne laks, av smoltårgangen fra 2002 kom sannsynligvis ca. 12 % tilbake til elven. Et snitt på 4,5 % tilbake til elven er på samme nivå som det som kom tilbake til Orkla av de samme smoltårgangene (Hvidsten mfl. 2004). Andelen av smolten som kom tilbake til Arnaelven var med 5,7 % noe høyere enn tilbakevandringen til Loneelva, men tilbakevandringsprosenten til Arnaelven kan være litt for høy på grunn av sannsynlig feilvandring av Dalelaks. Smoltanslaget kan også være for lavt dersom det har vandret ut smolt fra øvre deler av Arnaelven.

Tilbakevandringen av vill laks til Vosso ble i samme periode anslått til 0,4 % og dette anslaget kan være for høyt på grunn av at utsatt smolt ikke er tatt med i smoltanslaget, mens voksen laks som var utsatt som smolt inngår i anslaget for innsig på 150 voksne laks (tabell 1). Anslagene er uansett grove, men er sikre nok til å anslå at smolt fra Loneelva og Arnaelven overlever nær 10 ganger bedre i sjøfasen enn smolt fra Vosso. Anslaget på 37.000 laksesmolt for Vosso kan være litt for høyt, men er på nivå med det som er estimert på grunnlag av merking og gjenfangst av laksesmolt i Vosso (Barlaup 2004). Til sameligning har det vandret ut mellom 30.000 og 50.000 laksesmolt fra Suldalslågen årlig de siste 10 åra (Saltveit 2004). Av disse smoltårgangene er det blitt fanget ca. 1 % under fisket i elva, og når en legger til en gytebestand som sannsynligvis er nær like talrik som fangsten blir tilbakevandringa til vassdraget ca. 2 % i snitt og tallene indikerer dermed 4 til 5 ganger større overlevelse enn det som er beregnet for laksesmolten fra Vosso. Fangstene av voksne laks i Daleelva tilsier at overlevelse av smolt fra denne elva de siste årene har vært på nivå med laksesmolt fra Arnaelven og Loneelva.

Sammenlignet med referansebestander rundt Osterøy har laksesmolten fra Vosso overlevd betydelig dårligere i sjøen siden 1998. Bestanden av voksen sjøaure har økt i Vosso-vassdraget, noe som også har skjedd i Daleelva og Arnaelven i den samme perioden, og dette indikerer en generell økning i overlevelse til sjøauresmolt fra disse bestandene. Det er sannsynlig at sjøauren fra de ulike elvene rundt Osterfjorden bruker Osterfjorden og Sørfjorden som oppvekstområde det første året, at de seinere kan gå lenger ut mot kysten og få påslag av lakselus, men at de tåler denne belastningen bedre fordi de da er større. Utviklingen i sjøaurebestanden i Vosso tilsier at det ikke er forhold i Bolstadfjorden som er dødelig for smolt. Dersom H₂S var et problem kunne en regne med at også sjøauresmolten var negativt påvirket av denne faktoren. Det er videre lite som tyder på ekstra dødelighet i fjordsystemet rundt Osterøy for laksesmolt etter 1997 siden smolten fra Daleelva, Arnaelven og Loneelva har relativt god overlevelse, i forhold til bestander i andre områder, og siden sjøauren også synes å greie seg bra.

Laksesmolt fra Vosso er utsatt for en ekstra dødelighetsfaktor som medfører nær 10 ganger ekstra dødelighet sammenlignet med referansebestandene. Det er lite sannsynlig at denne forskjellen i overlevelse skyldes dødelighetsfaktorer i Bolstadfjorden fordi en burde forvente at dette også ville gi utslag på sjøauresmolt. En mulig hypotese som kan forklare disse tilsynelatende motsetningene kan være at laksesmolten fra Vosso oppholder seg 2-3 uker i fjordsystemet i Bolstadfjorden/Vikafjorden før den vandrer ut i Osterfjorden. En forsinket utvandring kan medføre ekstra store påslag av lakselus når denne smolten kommer ut til

kysten, mens de andre kan unngå lusepåslag dersom de går rett til kysten umiddelbart etter at de forlater elven. Fra smoltutvandring midt i mai til midt i juni er det en betydelig økning i infeksjonsfaren fra lakseluslarver langs kysten (Kålås og Urdal 2004).

I havbeiteprosjektet på Selstø overlevde laks av Vossostammen langt dårligere i sjøen enn laks av Lone- og Dalestamme. Smolten var produsert under de samme forholdene (Skilbrei m.fl. 1998). Dette kan indikere at smolt fra Vosso oppfører seg annerledes i sjøen enn laks fra de andre stammene og dermed er utsatt for større dødelighet. I forsøk er det også vist at Vossolaksen har mindre motstand mot angrep av lakselus enn for eksempel laksen i Daleelva (Glover mfl. 2004).

Denne gjennomgangen har sannsynliggjort at det er ca. 10 ganger større dødelighet på laksesmolt fra Vosso sammenlignet med smolt fra Loneelva og Arnaelven, mens tilsvarende forskjell ikke er tilfellet for sjøaure. Ekstra dødelighet på laksesmolten fra Vosso kan oppstå dersom laksesmolten de seinere årene i større grad har opplevd giftige forhold med endrete konsentrasjoner av for eksempel hydrogensulfid (H_2S) i Bolstadfjorden. Det er blitt trålt etter smolt i Osterfjorden, men fangstene har vært svært små sammenlignet med i andre område der det er gjort trålinger. En forklaring kan være at det faktisk er få smolt som forlater Bolstadfjorden (J.C. Holst s. 133 i Barlaup 2004).

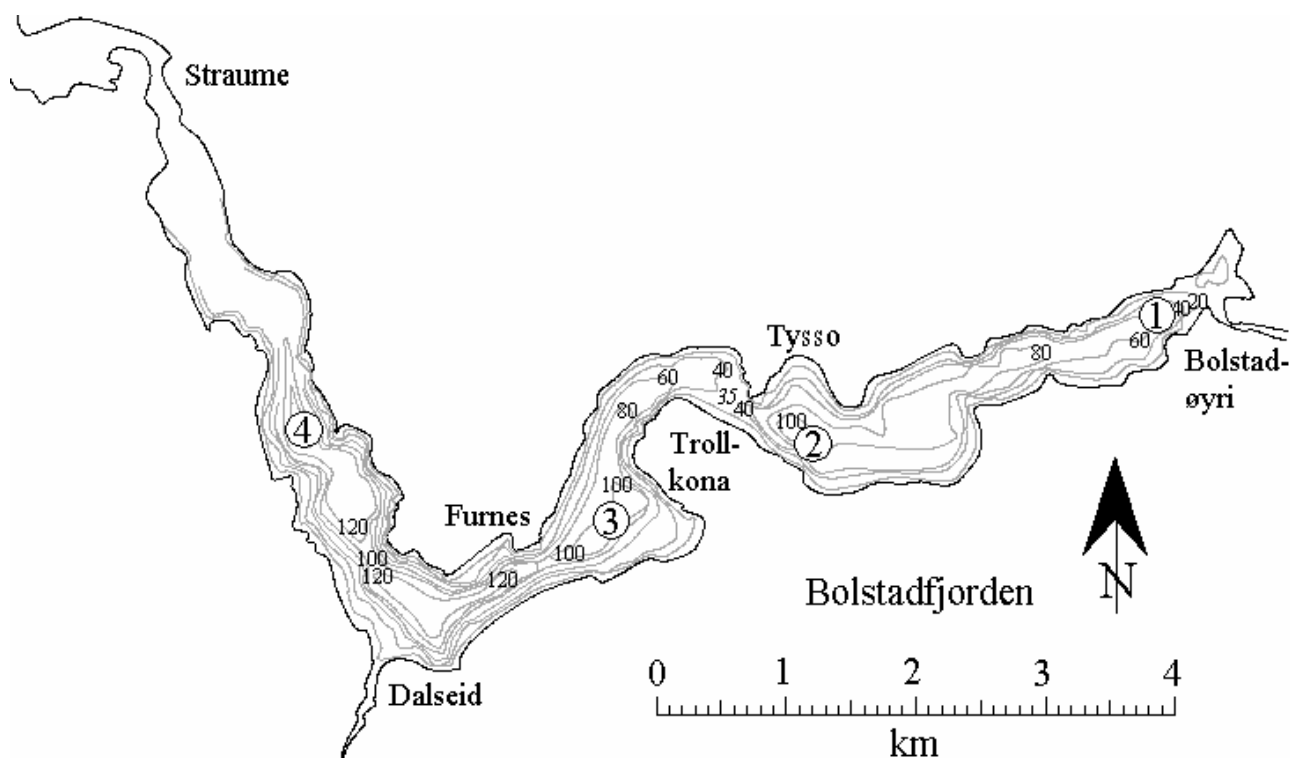
Dette prosjektet skal undersøke miljøforholdene i Bolstadfjorden i forbindelse med smoltutvandringen, med hovedfokus på forekomst og utbredelse av giftig hydrogensulfid (H_2S) i Bolstadfjordens dyvannslag.

BOLSTADFJORDEN

Bolstadfjorden har et naturlig nedbørfelt på 1492 km². Dette er endret gjennom vassdragsreguleringer, der 195 km² er overført fra Eksingedalen via Evanger kraftverk, mens 47 km² er fraført ved at Torfinnsvatn er regulert til Bergsdalsvassdraget. Samlet nedbørfelt er i dag etter reguleringer på 1641 km² (Barlaup 2004).

Bolstadfjorden har et areal på 7,1 km² og et volum på omtrent 440 millioner m³. Bolstadfjorden er delt i to hovedbasseng ved en terskel på omtrent 35 meters dyp nordøst for Trollkona. Det indre bassenget har et overflateareal på 2,5 km² mens det ytterste har et areal på 4,6 km². Dette er det dypeste med maksdybder nær 160 meter i det ytterste bassenget og 120 meter ved Tyssen i det indre bassenget. Dybdeforholdene i Bolstadfjorden ble grovkartlagt ved befaringene, og resultatet er vist under (**figur 2**). Volumet av det ytterste bassenget er på minst 320 millioner m³, og det innerste bassenget har et volum på omtrent 120 millioner m³ (tabell 3 -5).

Bunnen i det innerste bassenget er relativt flat og skrår jevnt nedover fra rundt 50 meters dyp like utenfor utløpet av Bolstadelven til nesten 120 meter utenfor Tyssen, før det skrår bratt opp mot den grunne terskelen på omtrent 35 meter ved Trollkona. Bunnen i det ytterste bassenget skrår også jevnt nedover fra Terskelen ved Trollkona, men det er sannsynligvis en moderat terskel på oppunder 100 meter sør for Furnes og utover, hvoretter det gradvis blir dypere til ned mot 160 meters dyp omtrent midtveis videre ut om Straume.



Figur 2. Grovt dybdekart over de undersøkte deler av Bolstadfjorden, med de fire prøvetakingsstasjonene 1-4. Opploddingene er utført med Olex-systemets integrerte ekkolodd, digitalt sjøkart og GPS. Kartet er "rentegnet" for hånd også basert på sjøkartets oppgitte dybder.

Tabell 2. Morfologiske nøkkeltall for de to undersøkte bassengene i Bolstadfjorden. Tallene er beregnet ut fra det grove dybdekartet (**figur 2**), og må ansees å være veiledende.

Basseng	Areal (km ²)	Max-dyp (m)	Volum (mill. m ³)	Middel-dyp (m)
Indre	2,5	119	120	47
Ytre	4,6	159	320	70

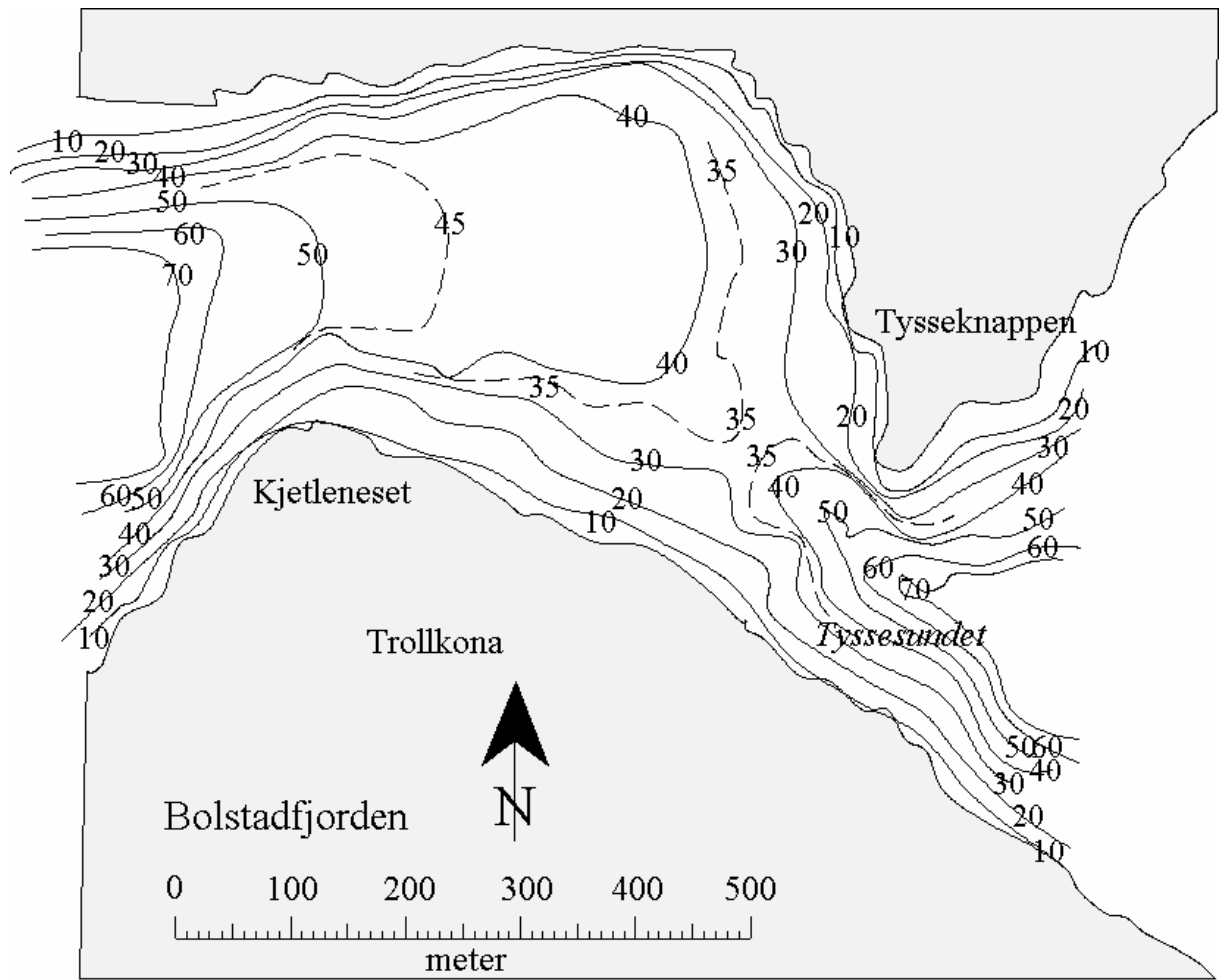
Tabell 3. Areal og dybdeforhold i Bolstadfjordens innerste basseng. Arealer er av 20-meterskotene i **figur 2**.

Dyp / sjikt Meter	Areal på dyp km ²	Volum av sjikt millioner m ³	Volum under dyp millioner m ³
0 / 0-20	2,5	43,5	120
20 / 20-40	1,8	31,2	16
40 / 40-60	1,3	22,5	45
60 / 60-80	0,9	15,2	22
80 / 80-100	0,6	6,5	7
100 / 100-119	0,1	0,7	1
119	0	0	0

Tabell 4. Areal og dybdeforhold i Bolstadfjordens ytterste basseng. Arealer er av 20-meterskotene i **figur 2**.

Dyp / sjikt Meter	Areal på dyp km ²	Volum av sjikt millioner m ³	Volum under dyp millioner m ³
0 / 0-20	4,6	86,0	320
20 / 20-40	4,0	72,6	234
40 / 40-60	3,3	58,8	162
60 / 60-80	2,6	46,1	103
80 / 80-100	2,0	30,8	57
100 / 100-120	1,1	17,1	26
120 / 120-140	0,6	7,6	9
140 / 140-159	0,1	1,5	1,5
159	0	0	0

Det er en relativt grunn terskel på ca 35 meters dyp mellom de to bassengene i Bolstadfjorden. Sjøkartet opererer med 34 meter i Tyssesundet nordøst for Trollkona og like utenfor Tysseknappen ved Tyssen. Strøm (1936) viser til en 50 meters terskel ved Trollkona, mens Hamilton-Taylor (1974) viser til 25 meters terskel ved Trollkona og en 50 meters terskel i sundet ved Furnes lenger ute i det ytterste bassenget. Hovedterskelen mellom de to bassengene ligger ved Trollkona og er, avhengig av vannstand, på rundt 34-35 meters dyp. Detaljert opplødding med integrert GPS posisjonering og digitalt sjøkart er vist i **figur 3**.



Figur 3. Detaljert dybdekart over terskelen ved Trollekona mellom de to bassengene i Bolstadfjorden. Kartet er basert på detaljert opplodding.

FJORDDYNAMIKK

Fjorder og poller er pr. definisjon atskilt fra de tilgrensende utenforliggende sjøområder med en terskel i munningen/utløpet. Dette gjør at vannmassene innenfor ofte er sjiktet, der dypvannet som er innestengt bak terskelen kan være stagnerende, mens overflatevannet hyppig skiftes ut fordi tidevannet to ganger daglig strømmer inn og ut.

Samtidig vil “overflatelaget” ofte kunne være preget av ferskvannstilrenning slik at det utgjør et varierende tykt brakkvannslag på toppen. Under dette finner vi “tidevannslaget” som er påvirket av det to ganger daglige inn- og utstrømmende tidevannet. Fra noen meter under terskelnivået finner vi “dypvannet”, som også ofte kan være sjiktet i et “øvre- og nedre-dypvannslag” grunnet forskjeller i temperatur, saltholdighet og oksygenforbruk. Tykkelsen på overflatelaget vil bl.a. være avhengig av ferskvannstilførselen og tidevannet.

I det stabile dypvannet innenfor tersklene i slike sjøbasseng, er tettheten vanligvis større enn i det daglig innstrømmende tidevannet, og her foregår det to viktige prosesser. For det første forbrukes oksygenet i vannmassene jevnt på grunn av biologisk aktivitet knyttet til nedbryting av organisk materiale. For det andre skjer det en jevn tetthetsreduksjon i dypvannet på grunn av daglig påvirkning av det inn- og utstrømmende tidevannet. Dersom munningen er kanalformet, vil det inn- og utstrømmende tidevannet kunne få en betydelig fart, og påvirkningen på de underliggende vannmassene vil kunne bli stor. Når tettheten i dypvannet er blitt så lav at den tilsvarer tidevannets tetthet, kan dypvannet skiftes ut med tilførsel av friskt vann helt til bunns i bassenget.

Vinterstid kan også tyngre og saltre vannmasser komme nærmere overflaten i sjøområdene langs kysten, fordi ferskvannspåvirkningen til kystområdene da er liten og brakkvannslaget blir tynnere. Dersom dette tyngre vannet kommer opp over terskelnivå, vil en kunne få en fullstendig utskifting av dypvannet innenfor terskelen. Hyppigheten av slike utskiftinger avhenger i stor grad av terskelens dyp,- jo grunnere terskel jo sjeldnere har en utskiftinger av denne typen. I Bolstadfjorden er terskelen svært grunn ved Straume.

I innestengte dypvannsområder, som altså finnes naturlig i alle fjorder under fjordens terskelnivå, vil balansen mellom disse to nevnte prosessene avgjøre miljøtilstanden i dypvannet. Dersom oksygenforbruket er stort, slik at oksygenet blir brukt opp raskere enn tidsintervallet mellom dypvannsutskifting, vil det oppstå oksygenfrie forhold med dannelse av hydrogensulfid i dypvannet. Under slike forhold er den biologiske aktiviteten mye lavere, slik at nedbryting av organisk materiale blir sterkt redusert. Motsatt vil en hele tiden ha oksygen i dypvannet dersom oksygenforbruket i dypvannet enten er lavt eller tidsintervallet mellom dypvannsutskiftingene er kort.

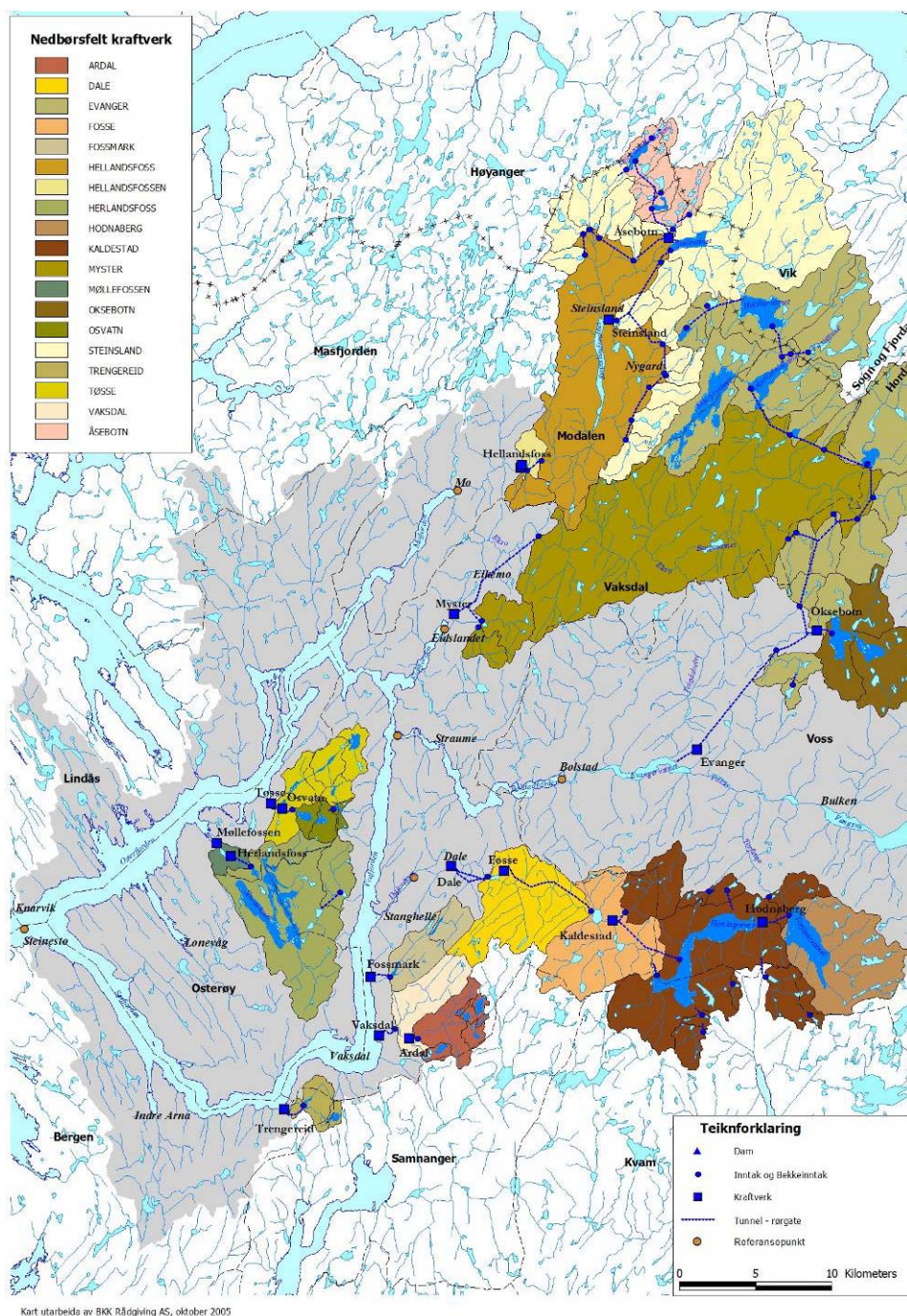
Alt organisk materiale som blir tilført et sjøområde, enten fra de omkringliggende landområder, fra det daglig innstrømmende tidevannet, eller fra sjøområdets egen produksjon av alger og dyr i vannmassene, bidrar til en sedimentasjon av dødt organisk materiale ned i dypvannet som legger seg på bunnen. Dette er en naturlig prosess, som kan øke i omfang dersom store mengder organisk materiale tilføres. Viktige kilder kan være kloakk eller for eksempel spillfôr fra fiskeoppdrettsanlegg. Store eksterne tilførsler av organisk nedbrytbart materiale til dypvannet i sjøområdene vil øke oksygenforbruket i dypvannet.

Dersom oksygenet i dypet brukes opp, vil sulfatreduserende bakterier fortsette nedbrytingen, og den giftige gassen hydrogensulfid (H_2S) dannes. Dyreliv vil ikke forekomme under slike betingelser. Mange basseng vil også fra naturens side ha en balanse som gjør at slike situasjoner vil opptre uten kunstig påvirkning. Det behøver derfor ikke være et tegn på "overbelastning" at det forekommer hydrogensulfid i dypvannet og i sedimentene. Slik er det i Bolstadfjorden, der det fra naturens side vil være lengre perioder med oksygenfrie forhold i dypvannet innenfor terskelen.

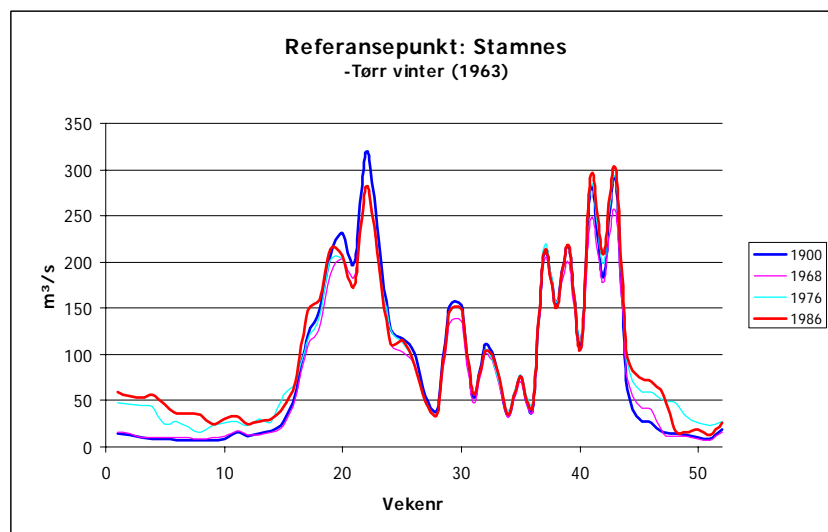
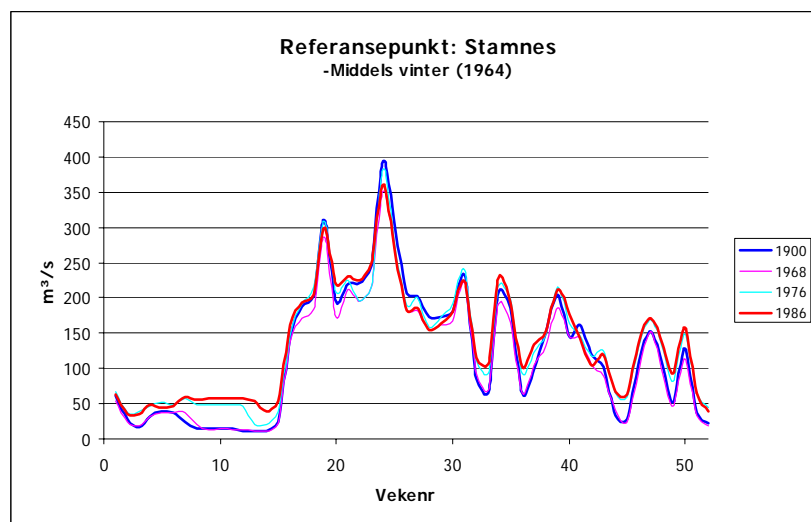
HISTORISK UTVIKLING I REGULERINGENE

Reguleringene til Bolstadfjorden er først og fremst dominert av utbyggingen av Evanger kraftverk. Utbyggingen startet i 1963 og det første aggregatet kom i drift i 1969. Del to av utbyggingen inkluderte overføringen av vann fra Eksingedalen, og det andre aggregatet ble satt i drift i 1973. Det tredje og siste aggregatet i Evanger kraftverk ble startet i 1977 og det ble i den forbindelse overført en del vann fra Modalen, for mer detaljer om reguleringene vises det til Barlaup (2004).

Figur 4. Kart over nedbør-feltet til Osterfjordsystemet helt ut til Nordhordlandsbroen ved Steinestø/ Knarvik, der regulerte delfelt er vist med ulike farger. Dette danner grunnlag for simuleringene av vannføring til fjordsystemet som er vist til i teksten. Kartet og simuleringene er utarbeidet av BKK Rådgiving ved Sigve Næss og Torbjørn Kirkhorn.



Overføringen av vann fra andre nedbørfelt og etablering av reguleringsmagasin har ført til en liten økning i den gjennomsnittlige vannføring i Bolstadelven, mens vintervannføringen i et år med ”middels vinter” er økt i flere trinn med nesten 400% fra før reguleringene. Dette baserer seg på BKK Rådgiving sine simuleringer av vannføring både i Bolstadelven og ved utløpet av Bolstadjorden ved Straume, både før og etter de ulike reguleringene (**figur 5**). Dette har ført til at det etter reguleringen vil være et betydelig tykkere ferskvannslag i Bolstadjorden gjennom hele vinteren, samtidig som overflatesaltholdigheten er lavere i fjorden utenfor. Sannsynligheten for utskiftning av bunnvannet ved at tungt saltvann kommer over terskelen ved Straume vinterstid er dermed redusert.



Figur 5. Simulert tilrenning til Stamnes i en middels vinter (øverst) og en tørr vinter (nederst), ved fem ulike tidspunkt, fra før alle reguleringer (blå=1900) til etter alle reguleringene (rød=1996). Simuleringene er utarbeidet av BKK Rådgiving ved Sigve Næss og Torbjørn Kirkhorn.

Tilsvarende simuleringer er gjort også for de øvrige reguleringer til Osterfjordsystemet (se kartet i **figur 4**), og mønstret er det samme. Alle reguleringene har ført til en betydelig økning i ferskvannstilstrømming til fjordsystemet rundt Osterøy om vinteren, noe som i likhet med reguleringen til Evanger kraftverk har ført til redusert sannsynlighet for utskiftning av bunnvannet i Bolstadjorden vinterstid.

METODEBESKRIVELSE

Miljøforholdene i Bolstadfjorden

Det ble etablert fire prøvestasjoner i Bolstadfjorden, to av stasjonene ble også benyttet av NIVA i 1994/1995, i tillegg til de to stasjonene ble det etablert en stasjon lenger inn mot Bolstadøyri og en stasjon bassenget lenger ut mot Straume. Det ble målt hydrografiske profiler hver annen uke fra medio april til medio juni (5 ganger). Profilene omfatter:

- Temperatur (sammenhengende profil)
- Saltinnhold (sammenhengende profil)
- Oksygen (sammenhengende profil)
- Hydrogensulfid (fra vannprøver)

Profilene ble målt med et YSI-instrument som ved nedsenking logger trykk (dyp) temperatur, saltinnhold og oksygen hvert 30. sekund. Dette instrumentet ble brukt ned til 100 meter, eller ned til oksygenfritt nivå. Under dette ble vannhenter brukt for å hente opp prøver som også ble analysert for hydrogensulfid. Hydrogensulfidprøvene ble fiksert i glasslipflasker og titrert i laboratoriet. Prøver av hydrogensulfid ble tatt på 40 og 50 meters dyp på stasjon 1 (Bolstadøyri), 40, 50 og 70 meter på stasjon 2. På stasjon 3 og 4 ble det samlet inn hydrogensulfidprøver på 50, 60 og 70 meters dyp, samt på 100 meters dyp på stasjon 4 (**figur 2**, side 9).

I hele undersøkelsesperioden sto det en strømmåler (Gyttre rotormåler av typen SD 6000) på 2 meters dyp ved stasjon Bolstad 2, som målte strømhastighet og retning hvert 5 minutt og integrerte dette til halvtimesregistreringer.

Ved stasjon Bolstad 2 ble temperatur målt kontinuerlig med halvtimesintervall på 10, 20, 30, 40 og 50 meters dyp i perioden 15. april til 24. juni. Ved stasjon Bolstad 1 ble temperaturen målt med halvtimesintervall på dypene 10, 20, 30 og 40 meter fra 29. april til 24. juni. Målingene ble utført med Dickson HT 100 loggere som hang i en rekke nedover i vannsøylen.

Tabell 5. Posisjon og dyp på de fire valgte prøvestasjonene i Bolstadfjorden våren 2005.

Stasjon:	Bolstad 1	Bolstad 2	Bolstad 3	Bolstad 4
Sted:	Innerst i indre basseng	Ytterst i indre basseng	Innerst i ytre basseng	Midt i ytre basseng
Posisjon N	60° 38,395'	60° 37,790'	60° 37,501'	60° 37,9760'
Posisjon Ø	5° 56,668'	5° 53,619'	5° 51,951'	5° 49,383'
Dyp	52 m	83 m	103 m	144 m

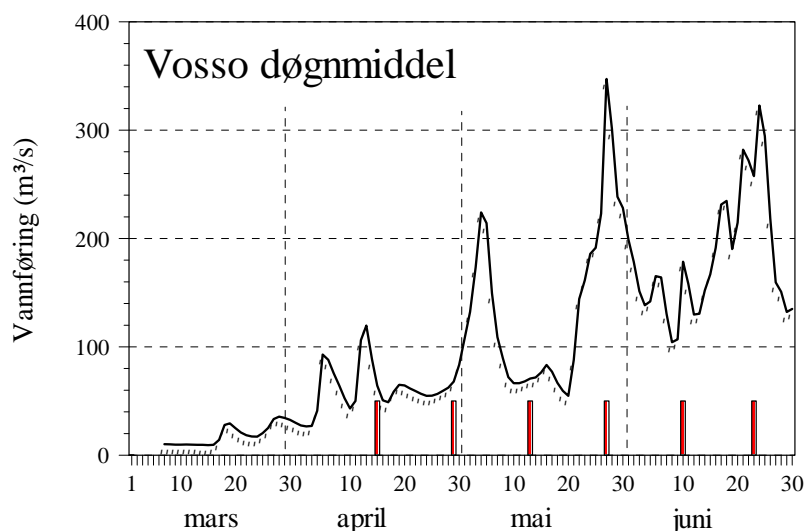
I tidligere undersøkelser som denne undersøkelsen sammenlignes med er det ett målepunkt i det indre og ytre bassenget i Bolstadfjorden, disse er da kalt BO1 og BO2. I denne undersøkelsen er det to målepunkt i hvert basseng, og Bolstad 1 og 2 ligger i det innerste bassenget og Bolstad 3 og 4 ligger i det ytterste bassenget.

RESULTATER

Vannføringen i Vosso

Vannføring i Vosso registreres av NVE ved Bulken. Våren og forsommeren 2005 var relativt kald, med langsom snøsmelting i fjellet. Det ble derfor ikke registrert høye vannføringer i Vosso gjennom hele perioden, bortsett fra korte perioder i begynnelsen av mai, i slutten av mai og fra midten av juni (**figur 6**).

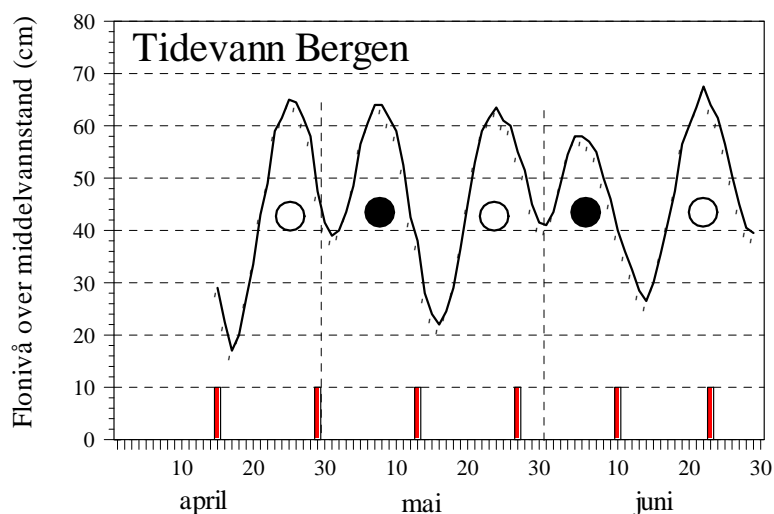
Figur 6. Vannføring i Vosso ved Bulken (døgnmiddel) for perioden mars og ut juni 2005 (fra NVE). Prøvetakingstidspunktene er vist med røde søyler.



Tidevannsvariasjon (Bergen)

Tidevannsinstrømmingen til Bolstadfjorden varierer i mengde avhengig av tidevannsforskjellen. Denne avhenger av månefasene, men også av vær og vind. Beregnet tidevannsamplitude for Bergen, basert på månefasene er vist i **figur 7** under, og viser at flonivået varierte mellom nesten 70 cm over middelvannstand ved fullmånen i slutten av juni og under 20 cm over middelvannstand før fullmånen i slutten av april. I Bolstadfjorden vil utslagene kunne være noe avdempet, men variasjonen over tid vil være den samme.

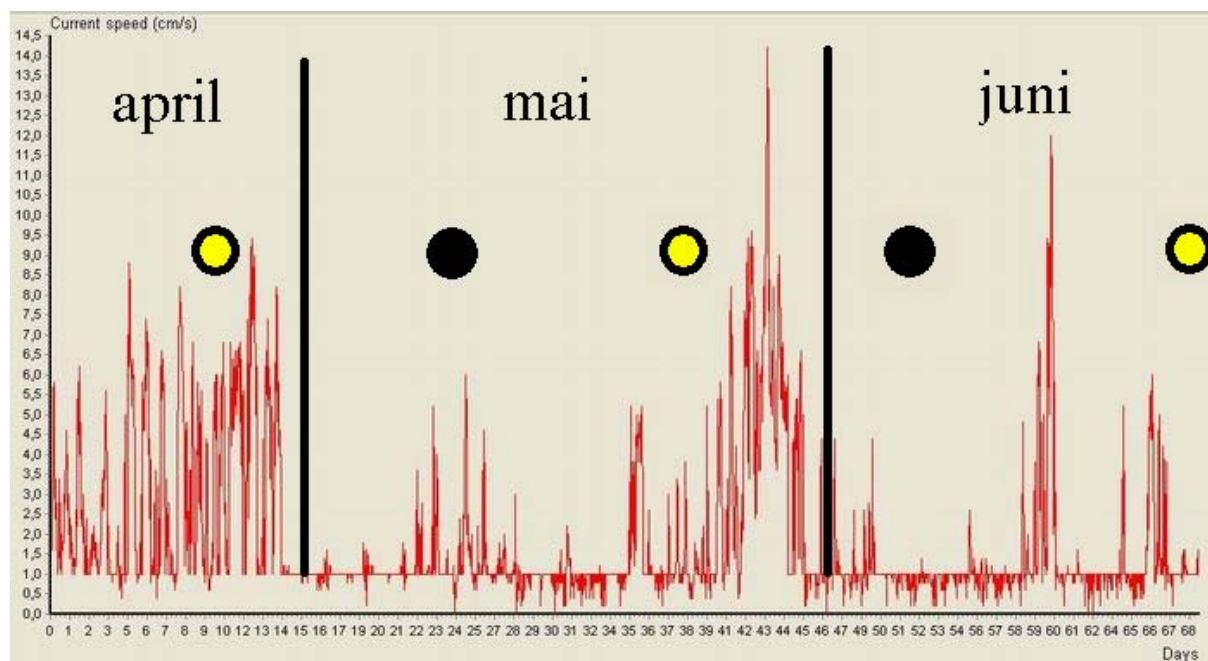
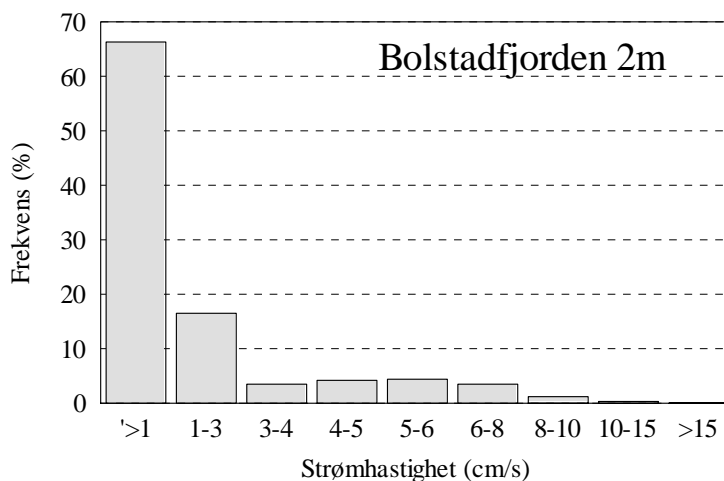
Figur 7. Varslet flonivå over middelvannstand i Bergen, basert på månefasene. Fra Universitetet i Oslo: <http://www.math.uio.no/tidepred> Prøvetakingstidspunktene er vist med røde søyler. Fullmåne (hvit), nymåne (svart).



Strømhastighet ved Trollkona

Strømmålingene på 2 meters dyp ved stasjon Bolstad 2 viste en stor variasjon i strømhastighet (**figur 9**), med en gjennomsnittlig hastighet på 1,9 cm/s, største registrerte hastighet på 14,2 cm/s og med over to tredeler av målingene med hastigheter under 1 cm/s (**figur 8**).

Figur 8. Fordeling av strømhastighet på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005.



Figur 9. Enkeltmålingene av strømfart på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005. Fullmåne (gul) og nymåne (svart).

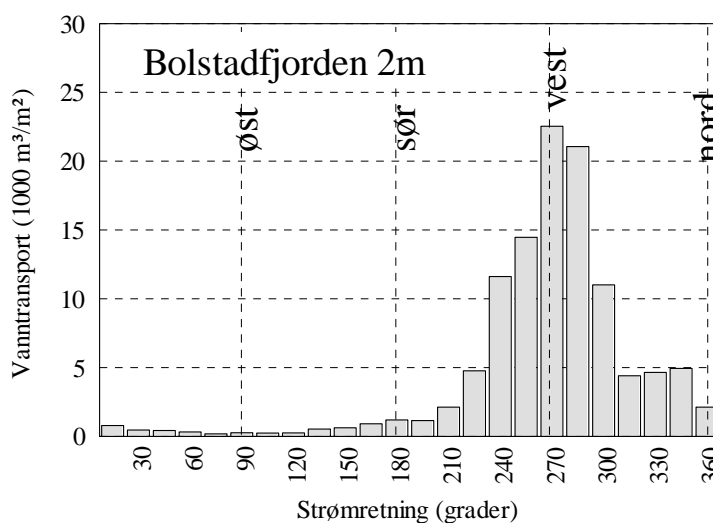
Ser en på enkeltmålingene, var det i løpet av måleperioden til sammen 60 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømsstille definert til under 2 cm/s. De korte periodene på opp mot ett døgn med "strømsstille" dominerte, men det ble også registrert 6 "strømsstille" perioder på over tre døgn, der de to lengste periodene var på 136 og 185 timer (**tabell 6**). Til sammen ble det i måleperioden registrert "strømsstille" i 73,3 % av tiden.

Tabell 6. Beskrivelse av strømstille på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005, oppgitt som antall observerte perioder av en gitt varighet med strømstyrke mindre enn 2 cm/s. Lengste strømstille periode er også angitt.

0,5-2 t	2,5-6 t	6,5-12 t	12,5-24 t	24,5-36 t	36,5-48 t	48,5-60 t	60,5-72 t	Over 72 t	Maks
56	26	14	8	5	1	0	0	6	185t

Overflatestrømmen går naturligvis ut Bolstadfjorden fra utløpet av Bolstadelven mot Straume, i vestlig retning (**figur 10**). Stabiliteten uttrykkes ved Neumann parameter, som med en verdi på 0,77 forteller at dette er en svært stabil strøm som har en resultantretning på (267 °) eller nokså rett vestlig retning. Vanntransporten (relativ fluks) er en funksjon av både strømstyrke og strømretning, der en beregner hvor mye vann som til sammen renner gjennom en rute på 1 m² i hver 15 graders sektor i løpet av måleperioden. Denne viste en enda sterkere konsentrering om den vestlige retningen.

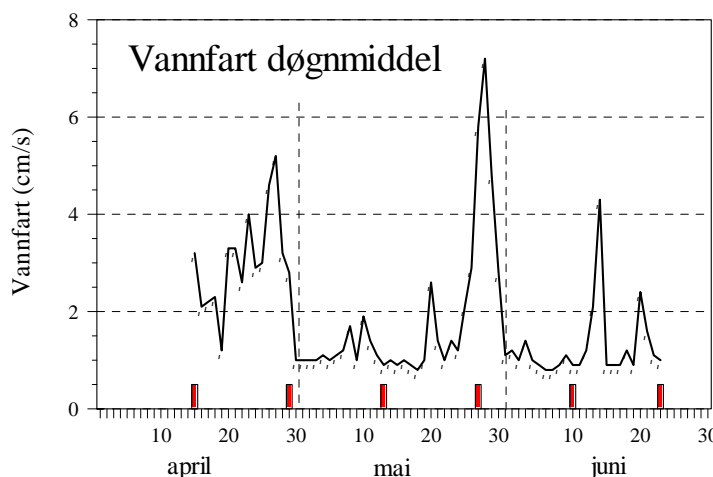
Figur 10. Vanntransport (relativ fluks) på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005.



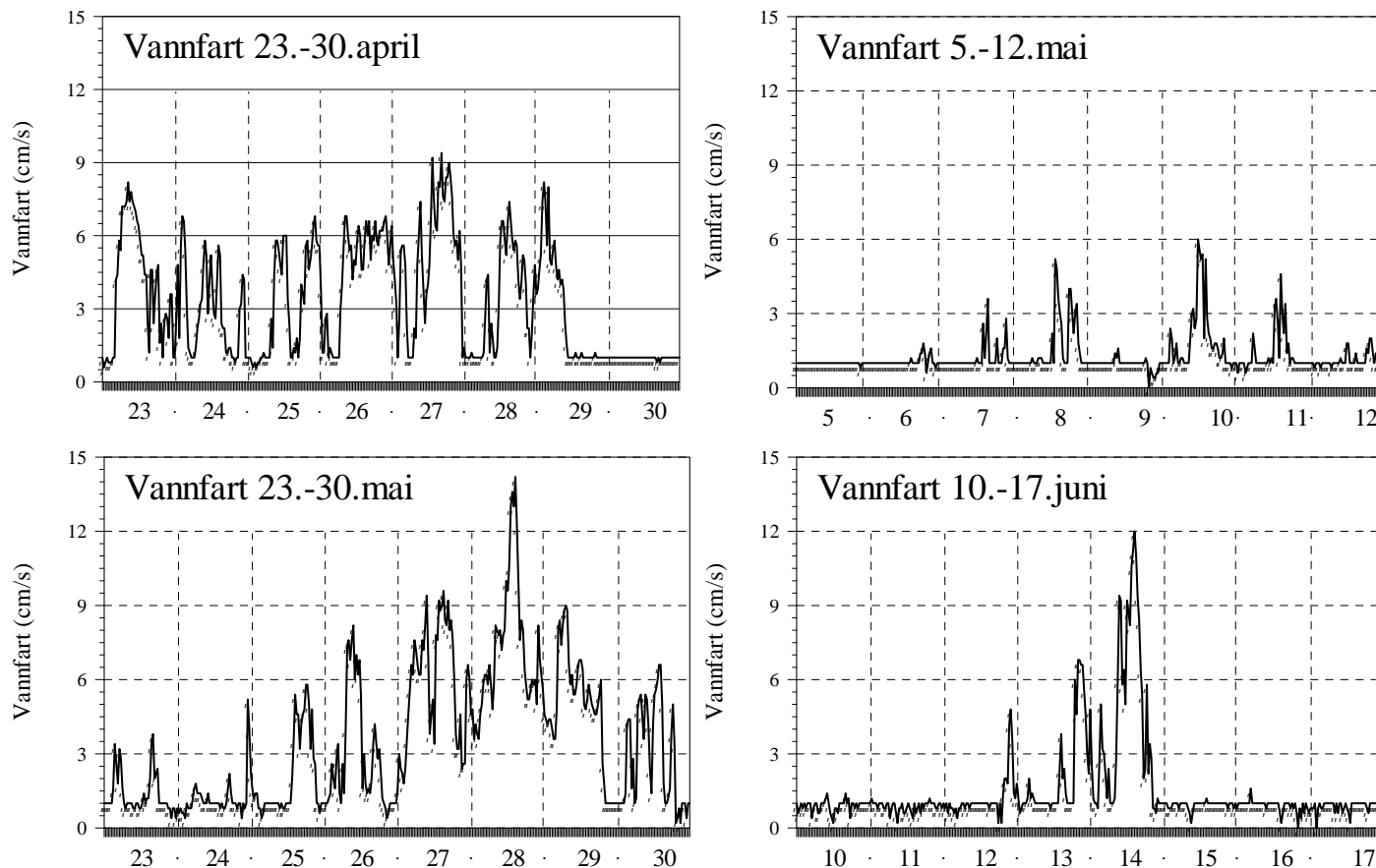
Tabell 7. Beskriving av strømmens retningsstabilitet, hastighet og retning på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005.

Måledyp	Neumannparameter	Gjennomsnitt hastighet	Resultant retning
2 meter	0,77	1,9 cm/s ± 1,88	267 grader

Figur 11. Døgnmiddel for vannfart på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden i perioden 15. april til 23. juni 2005.



Strømhastigheten varierte også mye gjennom døgnet. Figurene under viser enkeltmålingene for de fire "toppene" i strømhastighet. De store forskjellene gjennom døgnet kan sannsynligvis forklares ved tidevannet, som trenger helt inn i Bolstadfjorden, og effekten registreres av strømmåleren på 2 meters dyp i det ferskvannet presses ut. Det var imidlertid ingen klare to-toppede økninger i vannfart gjennom døgnet, slik en tidevannsstyrt strøm skulle tilsi.

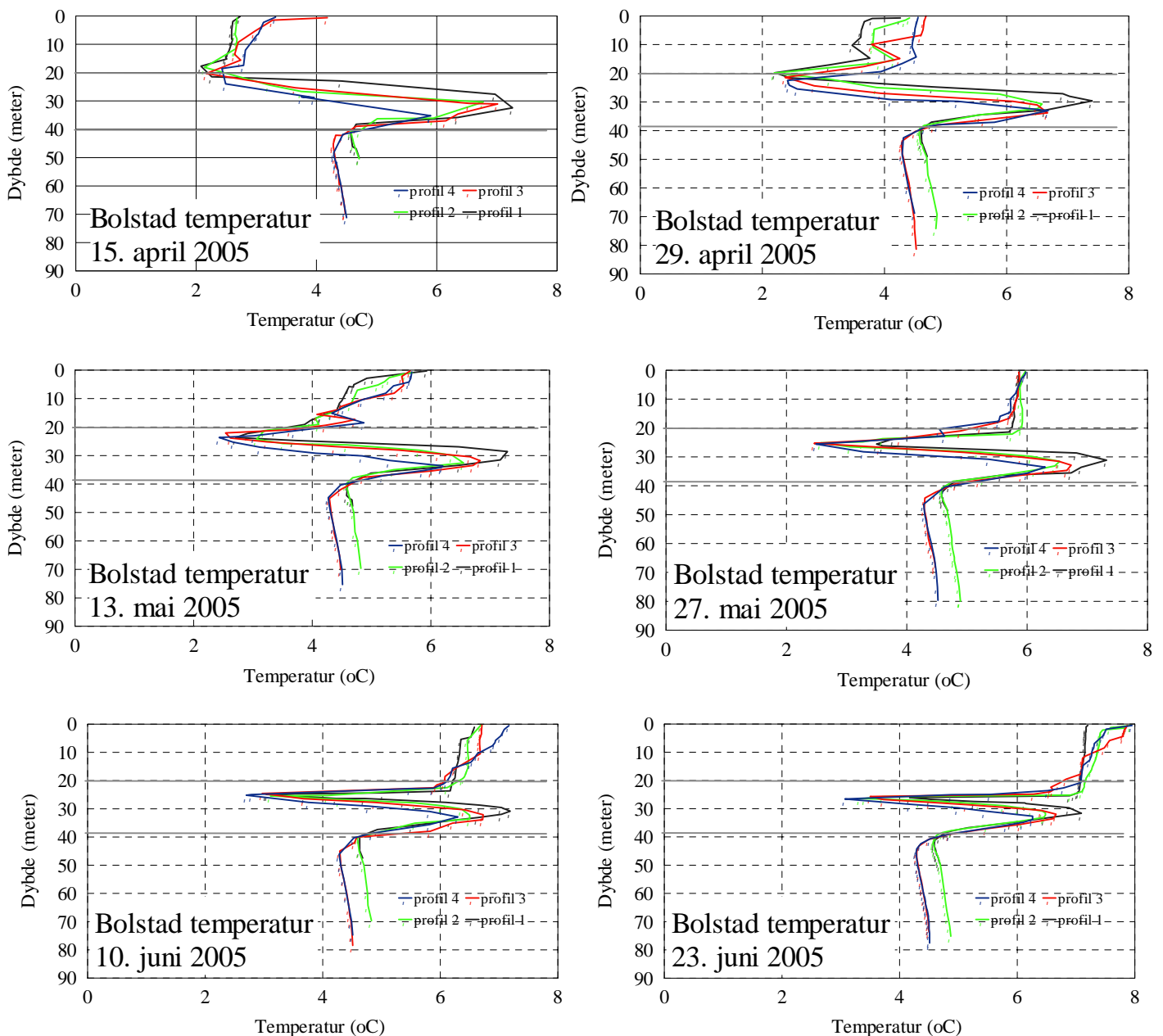


Figur 12. Enkeltmålinger av strømfart på 2 meters dyp ved Trollkona i Bolstadfjorden for fire perioder med gjennomsnittlig høyere døgnmiddelfart. Målingene er integrert for 30-minutters intervaller.

Vannfarten ved Bolstad 2 viste en lite tydelig døgnvariasjon, som ikke synes å være koblet til tidevannets to daglige topper, men sannsynligvis styrt av vind, ferskvannstilrenning og tidevann i en kombinasjon.

Temperaturprofiler

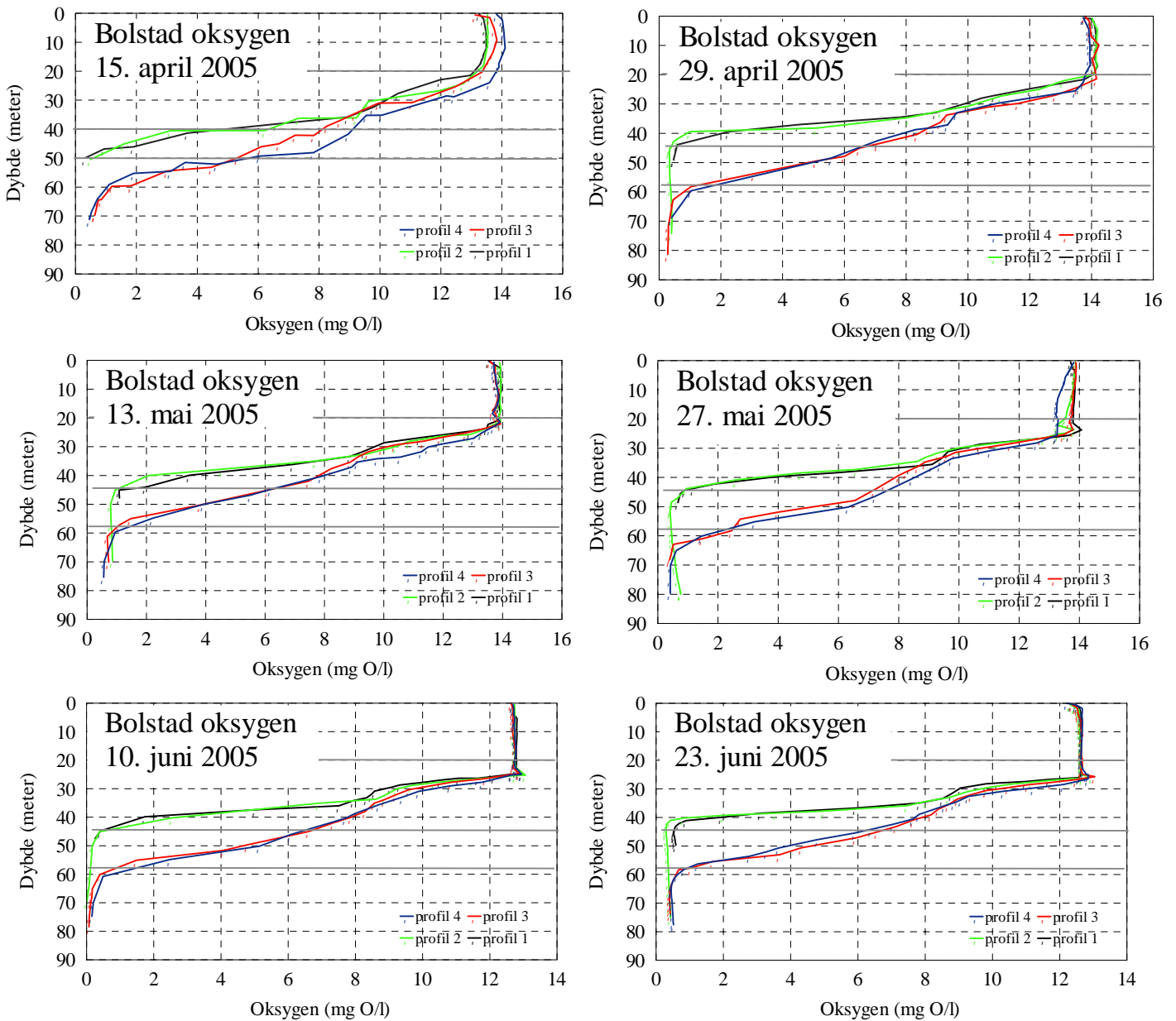
Det ble målt hydrografiske profiler både manuelt og med automatisk logger ved alle undersøkelsestidspunktene. Overflatetemperaturen økte for alle måletidspunktene utover sommeren. Økende vannføringer i Vosso i mai førte til at ferskvannslaget øverst ble tykkere og mer ensartet og temperaturen på de øverste 20 -25 meterne var omtrent lik i begge bassengene i Bolstadfjorden. Under ferskvannslaget var det tynt sjikt med temperaturer på 2-3 °C. Dette laget bestod i hele måleperioden, men ble gradvis trykket sammen og presset ned mot rundt 25. Under dette laget var det et nytt tynt sjikt med temperaturer fra 6-7 °C. Dette laget så også ut til å bli noe tynnere, men lå stabilt rundt 30 m. I dypvannet, under 40 m, var temperaturen stabil i hele perioden (**figur 13**).



Figur 13. Temperatur (°C) i de fire profilene i Bolstadfjorden på de seks måletidspunktene fra 15. april til 23. juni 2005. Profil 1 (sort) og 2 (grønn) er i innerste bassenget, mens profil 3 (rød) og 4 (blå) er i det ytterste bassenget.

Oksygenprofiler

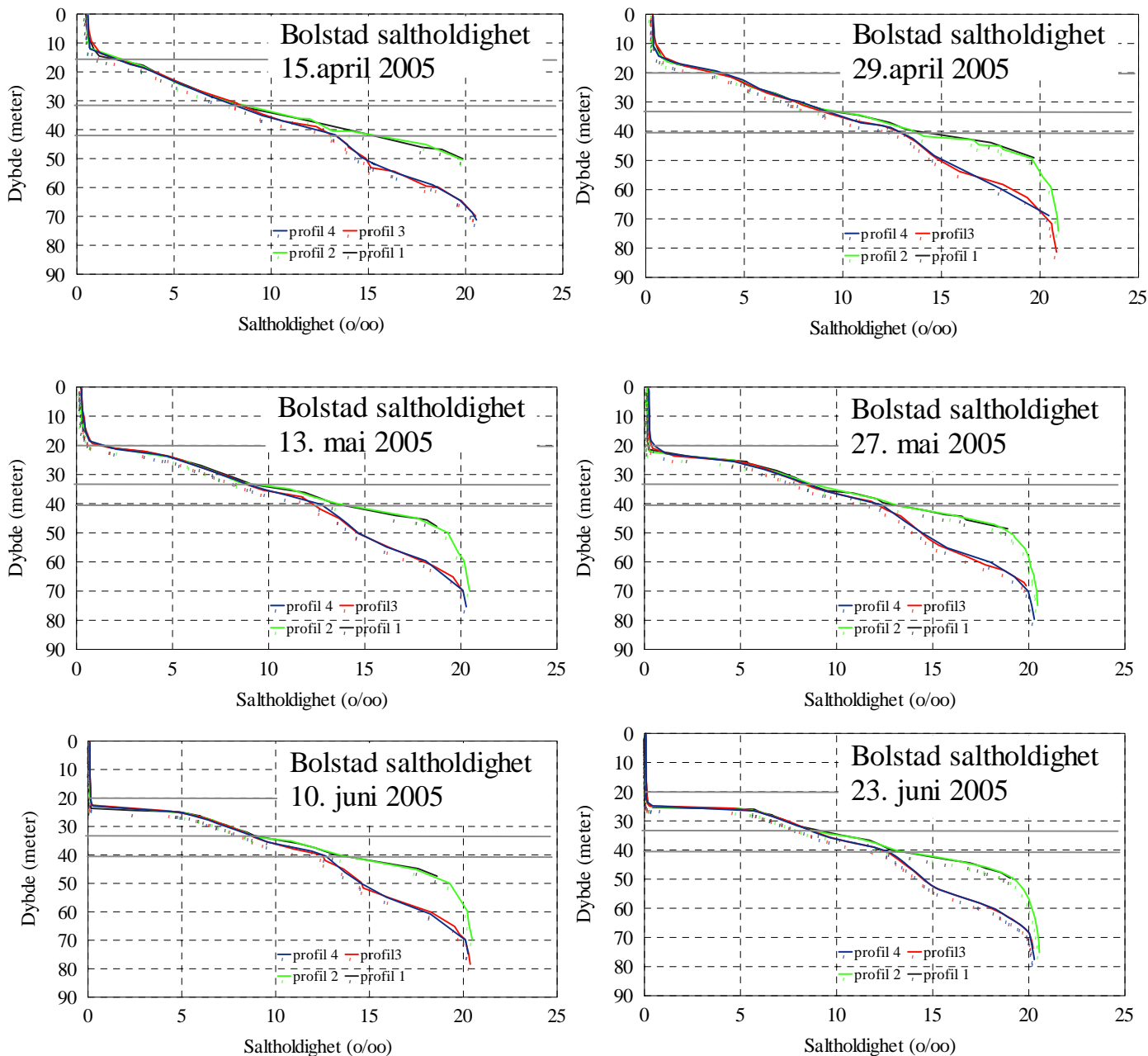
Det var kun små endringer i oksygenprofilene i løpet av det 10 ukene undersøkelsen varte. I overflatevannet ble oksygeninnholdet redusert fra rundt 14 mg/l i april og mai til 13 mg/l i juni, i dypvannet var det lite oksygen i det innerste bassenget under 40 meter og tilsvarende under 50 meter i det ytre bassenget (**figur 14**).



Figur 14. Oksygen (mg O/l) i de fire profilene i Bolstadfjorden på de åtte måletidspunktene fra 15. april til 23. juni 2005. Profil 1 (sort) og 2 (grønn) er i innerste bassenget, mens profil 3 (rød) og 4 (blå) er i det ytterste bassenget.

Saltholdighetsprofiler

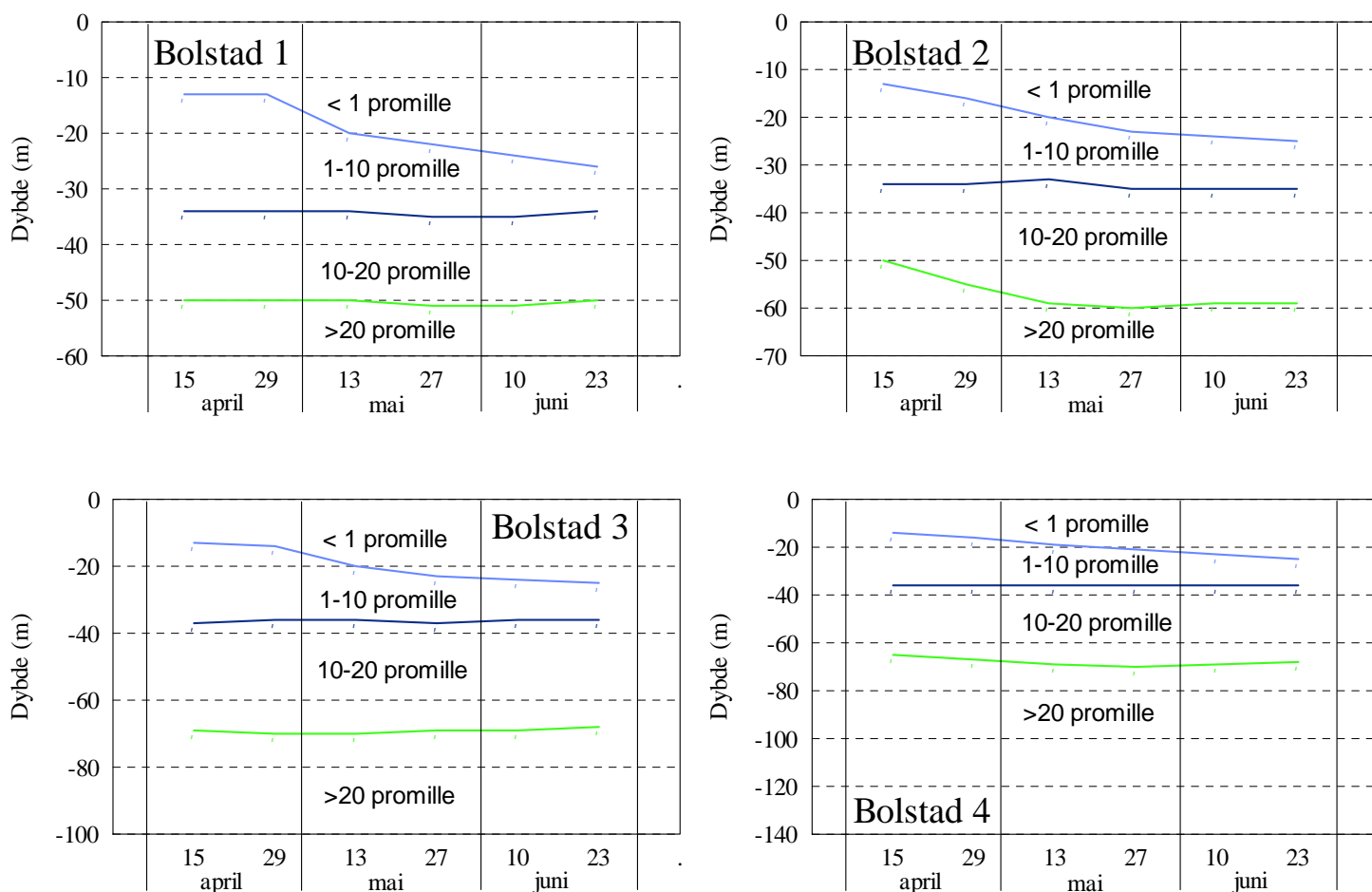
Saltholdighetsprofilene endret seg også svært lite fra 15. april til 23. juni i 2005. Den eneste endringen var at ferskvannslaget på toppen ble tykkere utover perioden og var henimot 25 meter tykt på slutten av måleperioden, mot omtrent 13 meter ved starten (figur 15).



Figur 15. Saltholdighet (%) i de fire profilene i Bolstadfjorden på de seks måletidspunktene fra 15. april til 23. juni 2005. Profil 1 (sort) og 2 (grønn) er i innerste bassenget, mens profil 3 (rød) og 4 (blå) er i det ytterste bassenget.

Sjiktning i Bolstadfjorden våren 2005

Vannsøylen i Bolstadfjorden besto våren 2005 av i hovedsak tre atskilte sjikt, der de øverste meterne var dominert av ferskvann med lave og stigende temperaturer utover våren og med rikelig oksygen. I begge bassengene økte dette ferskvannslaget i tykkelse utover våren ettersom vannføringen i Bolstadelven også økte. Grensen for 1 ‰ lå i april på rundt 13 meters dybde både innerst og ytterst i dette bassenget, og økte til hele 25 meters dybde i slutten av juni. Temperaturene i dette laget økte jevnt fra rundt 3 °C i april til vel 7 °C i slutten av juni. Oksygenmetningen var rundt 100 % i hele perioden (**figur 16**).



Figur 16. Dybde for saltholdighetsgrensen på 1, 10 og 20 promille på fire steder og seks tidspunkt i Bolstadfjorden våren 2005.

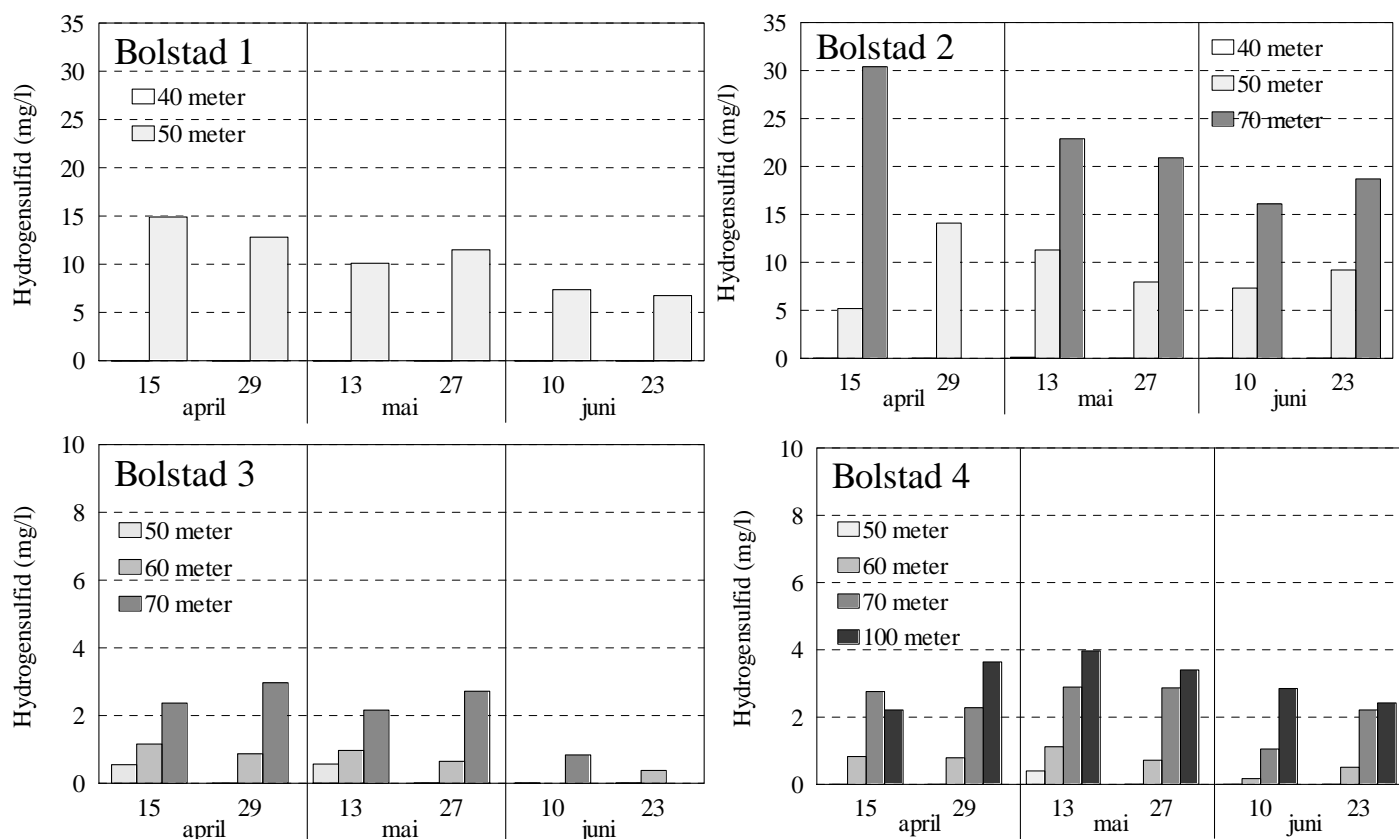
Under ferskvannssjiktet lå et brakkvannssjikt, øverst oppe preget av det daglig innstrømmende tidevannet. Dette var mest markert atskilt fra vannmassene over og under ved sin høyere og stabile temperatur på rundt 7 °C på 30 meters dyp i hele måleperioden. Saltholdigheten her økte med dybde fra det ovenforliggende ferskvannslaget til 10 ‰ på rundt 34-35 meters dyp i det innerste bassenget og 36-37 meters dyp i det ytterste bassenget. Oksygenkonsentrasjonene avtok jevnt nedover i dette laget, og nedre grense for laget utgjøres av et temperatursprangsjikt på rundt 40 meters dybde i begge bassengene i hele perioden. Under dette var det stabilt ca 5 °C og saltere og oksygenfritt vann (**figur 16**).

I overkant av dette mellomsjiktet lå det et tynt sjikt med kaldt 2-3 °C vann, som var kaldere enn både det ovenforliggende ferskvannet og det nedenforliggende brakkvannslaget. Dette lå på rundt 20 meters dyp i begge basseng i april, og ned mot 27 meters dyp utover i juni. Tykkelsen på laget avtok utover i perioden og var bare 3-4 meter tykt i slutten av juni på stasjon 2.

Nederst i vannsøylen var det et sjikt med saltare dypvann med over 20 ‰, uten oksygen og med temperaturer under 5 °C. Det var noe lavere temperaturer i det ytterste bassengets dypvann, og skillett lå også noe dypere i dette bassenget. 20 ‰ grensen lå på rundt 50 meters dyp (ved bunnen ved målested Bolstad 1) og sank ned mot 60 meters dyp ytterst i det innerste bassenget, mens det lå på ned mot 70 meters dyp i det ytterste bassenget. I dette dypvannet var det også betydelige mengder hydrogen sulfid.

Hydrogensulfid

Det ble observert hydrogen sulfid fra 50 meters dyp og nedover i det innerste bassenget i Bolstadfjorden. Det ble ikke observert noe på 40 meters dyp, utenom en enkeltmåling med lave konsentrasjoner den 13. mai ytterst i dette bassenget. Konsentrasjonene på 50 meters dyp var noenlunde samsvarende innerst og ytterst i dette bassenget, med avtagende konsentrasjoner fra rundt 15 mg/l i begynnelsen av undersøkelsesperioden til under 10 mg/l mot slutten. Det var klart høyere konsentrasjoner dypere nede i dette bassenget og på 70 meters dyp avtok konsentrasjonene fra over 30 mg til ned mot 15 mg/l i slutten av perioden (**figur 15**).



Figur 17. Konsentrasjon av hydrogen sulfid (H₂S) på ulike dyp, på fire steder og seks tidspunkt i Bolstadfjorden våren 2005.

Konsentrasjonene av hydrogensulfid var mye lavere i det ytterste bassenget, med svært lave konsentrasjoner på 50 meters dyp og økende nedover i dypet. Både innerst og ytterst var det omtrent 3 mg/l på 70 meter, mens det var opp mot 4 mg/l på 100 meters dyp ytterst. Det er ikke noe som tyder på at det er særlige forskjeller innerst og ytterst i det ytre bassenget, og målingene viser også her en avtagende konsentrasjon utover i måleperioden (**figur 17, tabell 9**).

Tabell 9. Konsentrasjon av hydrogensulfid (H_2S) i vannprøver tatt seks ganger på fire steder og ulike dyp i Bolstadfjorden våren 2005. Konsentrasjonene er i mg/l. * avvikende verdier som kan forklares med at vannhenteren har løst ut lenger opp enn det dypet som er oppgitt

Sted Dyp	Bolstad 1		Bolstad 2			Bolstad 3			Bolstad 4			
	40 m	50 m	40 m	50 m	70 m	50 m	60 m	70 m	50 m	60 m	70 m	100 m
15.04	<0,1	14,9	<0,1	5,19	30,4	0,55	1,16	2,37	<0,1	0,83	2,76	2,21
29.04	<0,1	12,8	<0,1	14,1	11,9*	<0,1	0,87	2,97	<0,1	0,79	2,28	3,64
13.05	<0,1	10,1	0,11	11,3	22,2	0,57	0,97	2,16	0,40	1,12	2,89	3,97
27.05	<0,1	11,5	<0,1	7,96	20,9	<0,1	0,65	2,72	<0,1	0,72	2,87	3,40
10.06	<0,1	7,37	<0,1	7,33	16,1	<0,1	<0,1	0,84	<0,1	0,17	1,05	2,85
24.06	<0,1	6,75	<0,1	9,21	18,7	<0,1	0,38	<0,1	<0,1	0,51	2,21	2,42

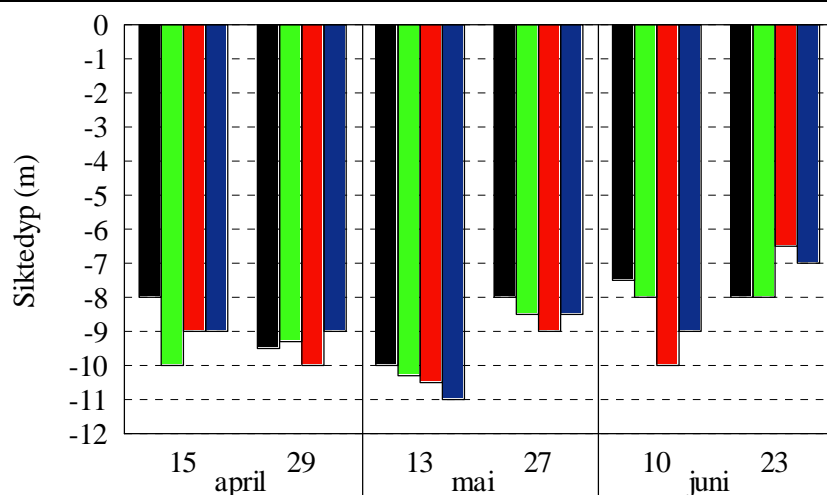
Siktedyp

Siktedyp er et mål på hvor klart vannet er og hvor langt sollyset trenger ned i vannmassene. Redusert siktedyp skyldes ofte partikler som alger eller også økt farge på vannet. Ved de fleste måletidspunktene våren 2005 var det lavest siktedyp nær utløpet av Bolstadelven i det innerste bassenget i Bolstadfjorden. Best sikt var det ved befaringen 13. mai med over 10 meter alle steder, mens siktedypet avtok utover mot slutten av måleperioden ettersom ferskvannslaget økte i tykkelse (**figur 18, tabell 10**).

Tabell 10. Siktedyp målt seks ganger på fire steder i Bolstadfjorden våren 2005.

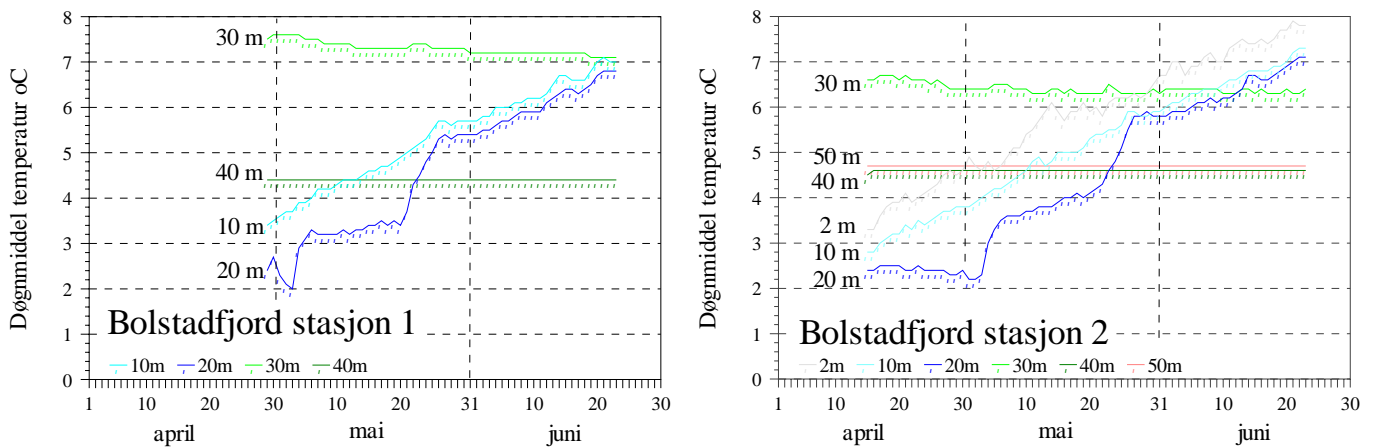
Dato	Bolstad 1	Bolstad 2	Bolstad 3	Bolstad 4
15.04	8 m	10 m	9 m	9 m
29.04	9,5 m	9,3 m	10 m	9 m
13.05	10 m	10,3 m	10,5 m	11 m
27.05	8,0 m	8,5 m	9 m	8,5 m
10.06	7,5 m	8 m	10 m	9 m
24.06	8 m	8 m	6,5 m	7 m

Figur 18. Siktedyp på seks tidspunkt våren 2005 på de fire målestasjonene i Bolstadfjorden. Svart er innerst (1) og grønt er ytterst (2) i det innerste bassenget, mens rødt er innerst (3) og blått er ytterst (4) i det ytterste bassenget i Bolstadfjorden.



Temperaturmålinger i Bolstadfjorden

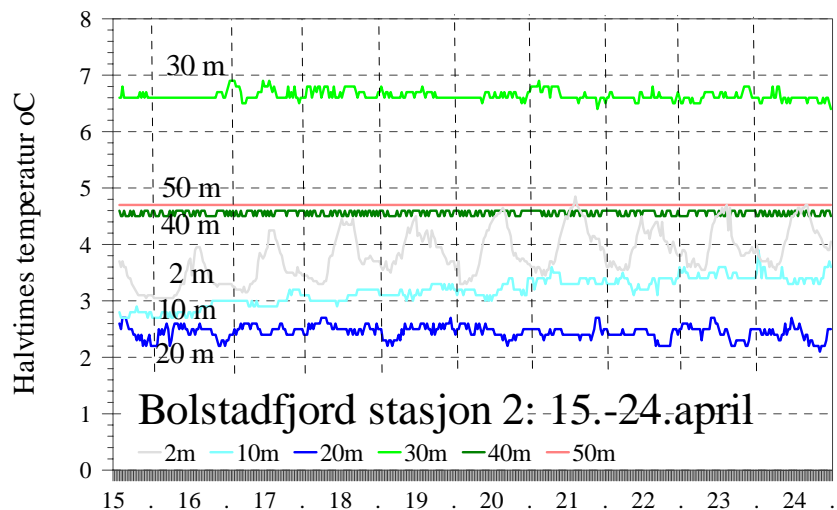
Det ble målt temperatur på ulike dyp ytterst og innerst i det indre bassenget for å vurdere om det forekommer eventuelle indre bølger (seicher) her. Temperaturloggerne ble lagt på aktuelle dyp og logget temperatur hver halve time, og profilene viste klare endringer i temperatur nedover i vannsøylen. På 10 meters dyp økte temperaturen i perioden fra vel 3 °C til 7 °C på begge steder. På 20 meters dyp var det ned mot 2 °C i starten, men her økte det også til 7 °C mot slutten, da dette dypet på dette tidspunktet inngikk i ferskvannslaget. Temperaturen på 30 meters dyp holdt seg relativt konstant mellom 7,5 °C og 7 °C innerst i bassenget, og rundt 6,5 °C ytterst i bassenget i hele måleperioden. Temperaturen var også helt stabil på både 40 og 50 meters dyp, med 4,5 °C på 40 meters dyp og noe varmere på 50 meters dyp ytterst i bassenget (**figur 19**).



Figur 19. Temperaturlogging på ulike dyp innerst i (til venstre) og ytterst (til høyre) i innerste basseng i Bolstadfjorden. Temperaturen ble logget hver halve time, mens det i figuren er presentert døgngjennomsnittsverdier for å vise utviklingen.

Det var betydelig temperaturvariasjon gjennom døgnet i overflatevannet i Bolstadfjorden i det meste av måleperioden. På 2 meters dyp varierte temperaturen mellom 3 til 3,5 °C om natten og 4-4,6 °C om dagen. Det var mye mindre og mer usystematisk variasjon i temperaturen på 10 meters dyp, uten noen systematisk døgnavariasjon. Variasjonen var tilsvarende stor, men ikke samvarierende på 20 meter, mindre på 30 meters dyp, og på 40 og 50 meters dyp var det ingen variasjon i enkeltmålingene (**figur 20**).

Figur 20.
Halvtimesmålinger av temperatur på ulike dyp ved målepunktet ytterst i innerste basseng i Bolstadfjorden for perioden 15.-24. april 2005.



Figur 20 viser enkeltmålingene for perioden 15.-24. april som eksempel, og de øvrige målingene viser det samme bilde. Temperaturloggerne ble hengt ut akkurat på grensen mellom ulike sjikt i vannmassene, og siden det ikke er noe variasjon i temperatur på dyp under 20 meter, er det altså heller ingen ”indre bølger” eller vipping i vannmassene. De dypere lagene ligger helt i ro

DISKUSJON

Prosjektets utgangspunkt var å vurdere om vannkraftreguleringene i Vossovassdraget har ført til endringer i de fysiske miljøforhold i Bolstadfjorden. Det er tidligere påvist giftig hydrogensulfid i dypvannet i Bolstadfjorden (oppsummert i Bjerknes mfl 1995), og det kunne derfor tenkes at laget med hydrogensulfid hadde øket i tykkelse som følge av økt ferskvannstilførsel om vinteren. Dette ville kunne medføre at den utvandrende laksesmolten var utsatt for høyere dødelighet enn tidligere dersom den dykket ned i disse giftige vannmassene.

Det her rapporterte prosjektet undersøkte fysiske forhold i Bolstadfjorden i perioden medio april til ultimo juni 2005. Resultatene fra prosjektet er vurdert i forhold til eventuelle endringer over tid mot reguleringene både i vassdraget og de tilstøtende fjordsystemene. Ulike muligheter for økt skadeomfang / dødelighet på laksesmolt i Bolstadfjorden er så vurdert i forhold til eventuelle endringer i de fysiske miljøforholdene i fjorden.

Overflatevannhastighet i Bolstadfjorden

Strømmålingene i 1994/95 viste at det to ganger daglig strømmet inn tidevatn i Bolstadfjorden ved Straume. Ferskvannet har en betydelig fart ut over terskelen når det er fjære sjø, mens det var en betydelig svakere strøm inn når det var flo (Bjerknes mfl. 1995).

Vannfarten i overflatelaget i Bolstadfjorden gjenspeiler både mengden tilstrømmende ferskvann fra nedbørfeltet og mengden innstrømmende tidevann ved Straume. Tidevannet strømmer inn og ut av Bolstadfjorden omtrent to ganger i døgnet, men mengdene kan variere betraktelig. Den er avhengig av tidevannsforskjellen, som langs kysten varierer mye med vær og vind (stormflo) og med månefasene (springflo). Ved full- og nymåne er forskjellene vanligvis størst, samtidig som pålandsvind langs kysten kan stuve opp vannmassene og dermed forsterke tidevannsforskjellene. I Bolstadfjorden vil en således regne med at vannfarten ved målepunktet like ved Trollkona representerer det utgående overflatevannet fra det indre bassenget.

Vannfarten på 2 meters dyp ved Trollkona målt som døgngjennomsnitt, var mellom 4 og 5 cm/s i slutten av april i en periode etter fullmånen 24. april, men med liten vannføring fra Bolstadelven. I begynnelsen av mai steg vannføringen i vassdraget kraftig, uten at dette gjenspeilet seg i noen økning i vannhastigheten ved målepunktet, som tvert imot var svært liten på denne tiden. Nymånen 8. mai gav heller ingen særlig økning i vannhastighet i overflatelaget i Bolstadfjorden. Den største gjennomsnittlige døgnfarten på vannet ble registrert mot slutten av mai, da den største vannføringen i vassdraget ble registrert, og etter fullmånen 23. mai. Utover i juni var vannføringen i vassdraget høy, med en ny topp i siste halvdel av måneden. Dette gav ingen særlige økninger i vannfarten, som riktig nok steg til over 4 cm/s i døgngjennomsnitt rundt midten av måneden. Dette samsvarte verken med noen vannføringstopp eller månefasene. Nymåne var 6. juni og fullmåne var 22. juni. Strømbanen fra ellevannet er imidlertid relativt smal og målepunktet vil i varierende grad ligg midt i eller på siden av hovedstrømmen fra elven.

De høyeste vannføringene i Vosso våren 2005 var på 300 m³/s og utgjør 26 millioner m³ tilført ferskvann per døgn. Bolstadfjorden har et samlet areal på 7,11 km², slik at tidevannsinnstrømming to ganger hvert døgn, som resulterer i gjennomsnitt omtrent 30 cm heving av vannstanden innerst i Bolstadfjorden, betyr en inn- og utstrømming av over 4 millioner m³ vann daglig. Dette tilsvarer tilførte vannmengder oppunder 50 m³/s fordelt over døgnet.

Ved smoltutvandringen på våren dominerer de naturlige vannutskiftingsforholdene i Bolstadfjorden med flomvannføringer og tidevannsutskifting. Av det naturlige nedbørfeltet til Vosso er ca 7 % fraført eller regulert, i tillegg er det tilført et areal som utgjør ca 15 % av naturlig nedbørfelt. Vann fra de regulerte feltene vil i stor grad bli holdt igjen i magasinene om våren, noe som gjør at vårflommene i Bolstadfjorden kan ha blitt noe mindre enn det som var tilfellet tidligere. Men siden regulert felt utgjør en så liten del av det naturlige feltet og at det normalt er produksjon i Evanger kraftverk også i flomperioder om våren er forskjellen sammenlignet med før reguleringen høyst sannsynlig mindre enn 5 %. Det er derfor sannsynlig at fysiske forhold knyttet til vannhastighet og vannutskifting i overflatevannet om våren i liten grad er påvirket av vassdragsreguleringene.

Sjikttingsforhold i Bolstadfjorden

Tykkelsen på ferskvannslaget økte utover undersøkelsesperioden ettersom vannføringen i vassdraget økte. Dybdegrensen for vann med 1 ‰ lå i midten av april på rundt 12 meter innerst i Bolstadfjorden og et par meter dypere på de tre målestasjonene utover i fjorden. I løpet av mai økte tykkelsen på laget med under 1 ‰ til mer enn 20 meter, og endte i juni opp på vel 25 meter i hele fjordens lengde. Samtidig holdt grensen for vann med 10 ‰ seg nokså stabilt på omtrent 35 meters dyp i hele undersøkelsesperioden og i hele Bolstadfjorden.

Nederst i vannsøylen var det et sjikt med saltere dypvann med over 20 ‰, uten oksygen og med temperaturer under 5 °C. Det var noe lavere temperaturer i det ytterste bassengets dypvann, og skillet lå også noe dypere i dette bassenget. 20 ‰ grensen lå på rundt 50 meters dyp (ved bunnen ved målested Bolstad 1) og sank ned mot 60 meters dyp ytterst i det innerste bassenget, mens det lå på ned mot 70 meters dyp i det ytterste bassenget. I dette dypvannet var det også betydelige mengder hydrogensulfid.

Mengden hydrogensulfid var klart høyest i det indre bassenget i Bolstadfjorden, og høyest i de dypere delene av vannsøylen med omtrent 30 mg/l på 70 meters dyp i det innerste i bassenget. Dette viser at det er sjeldnere dypvannsutskifting inn i det innerste bassenget over den ca 35 meter dype terskelen utenfor Trollkona, enn i det dypere og større ytre bassenget, der konsentrasjonene ikke oversteg 4 mg/l på de dypeste prøvestedene. Konsentrasjonene avtok jevnt utover måleperioden på alle prøvesteder og alle prøvedyp.

Sammenlignet med andre tilsvarende avsnørte brakkvannsområder, som for eksempel i Sælenvatnet i Bergen, var konsentrasjonene av hydrogensulfid i Bolstadfjorden lave. I Sælenvatnet var det ved undersøkelser midt på 1990-tallet oksygenfritt under 3 meters dyp og konsentrasjoner av hydrogensulfid på 60 mg/l allerede på 10 meters dyp og over 70 mg/l på 20 meters dyp i innsjøen (Johnsen 1994; Kambestad & Johnsen 1994). Tilstedeværelse av betydelige konsentrasjoner av hydrogensulfid i dypvannet i Bolstadfjorden gjør like fullt dette dypvannet til akutt giftig for fisk.

Det er kun foretatt sporadiske målinger av hydrogensulfid i Bolstadfjorden tidligere, og sammenlignet med disse målingene var konsentrasjonene av hydrogensulfid litt lavere i det indre bassenget i 2005 sammenlignet med i 1995, men betydelig høyere enn i 1971. Grenseflaten mellom oksisk og anoksisk vann var noe grunnere i 2005 sammenlignet med i 1971 og 1972, mens den var omtrent som i 1994 og 1995 (**tabell 11**). Både målingene fra 2005 og 1994/95 viser at konsentrasjonen av H₂S varierer en del i løpet av sesongen. I 1994/1995 var det høyest konsentrasjon i april og lavest konsentrasjon i september. Målingene fra 2005 viste også en avtagende konsentrasjon av H₂S i perioden fra april til juni i det innerste bassenget.

I det ytterste bassenget er grenseflaten noe dypere enn i det innerste bassenget og lå på det grunneste rundt 50 meter i 1995 og 2005. I 1971 var det oksygen helt ned til bunnen, mens det i 1932 var H₂S under 80 meter i det ytterste bassenget (**tabell 11**).

Tabell 11. Omtrentlig grenseflate mellom oksisk og anoksisk vann i det indre og det ytre bassenget i Bolstadfjorden og største målte konsentrasjon i den samme perioden.

År	Indre basseng		Ytre basseng		Referanse
	Grensedyp (m)	max verdier mg/l	Grensedyp (m)	max verdier (mg/l)	
1932	-	-	80	1,5	Strøm 1936
1971	55-60	6,5	140	2,7	Hamilton-
1972	51				Taylor 1974
1994	45-60	45	~50	1,5	Bjerknes mfl.
1995	40-45	-	-	2,6	1995
2005	40-50	30	~50	4	Denne unders.

Forholdene i dypvannet i 2005 er nokså samsvarende med det en hadde i 1994/1995 (Bjerknes mfl 1995). Om dette skyldes at en nå har en stabil situasjon eller at begge disse prøveperiodene er omtrent like langt fra siste utskiftning av dypvann, er ikke mulig å fastslå. Likeledes er det ikke mulig å si noe om hvor ofte en vil få utskiftning av bunnvannet nå sammenlignet med det en hadde tidligere. Prøvene fra 1971/72 (Hamilton-Taylor 1974, fra Bjerknes mfl 1995) hadde lavere konsentrasjoner av H₂S i bunnvannet enn det som ble påvist i 1932, uten at dette generelt betyr at det var mindre H₂S i bunnvannet på 1970 tallet sammenlignet med på 1930-tallet (Strøm 1936, fra Bjerknes mfl. 1995). Forskjellen kan utelukkende være et resultat av tid siden siste dypvannsutskiftning. Uansett viser målingen fra både 1931 og 1972 at det var hydrogensulfid i dypvannet også før reguleringene av Evanger og i fjordområdene rundt Osterøy.

Modellberegningene, basert på naturlige forhold uten tilførsler eller reguleringer, tilsier at det normalt vil ta 4-5 år før dypvannet i Bolstadfjorden er tomt for oksygen, mens det ved normal tidevannsutskiftning og innblanding i dypvannet vil ta over 8 år før dypvannet skiftes ut grunnet reduserte tetthetsforskjeller. Dette betyr at det naturlig vil være oksygenfritt bunnvann i Bolstadfjorden dersom det går mer enn 4-5 år mellom hver gang tungt saltvann kommer inn over terskelen i Straume og skifter ut alt bunnvannet. Målingene fra 1932 viser at det også før reguleringen gikk relativt lang tid mellom hver totalutskiftning av bunnvannet.

Dødelighetsårsaker i Bolstadfjorden

Følgeforsøk med merket smolt fra Vosso gjennomført i 2003 indikerte at det var unormalt stor dødelighet på utvandrende smolt i Bolstadfjorden, og da spesielt i det innerste bassenget (pers. medd. Jens Christian Holst, Havforskningsinstituttet). Det ble da antatt at fisken ble liggende på bunnen i Bolstadfjorden. Ved filming av bunnen i Bolstadfjorden etter smoltutvandringsperioden i 2005 ble det imidlertid ikke påvist død fisk på bunnen. Dette kan tolkes som at forholdene i 2003 og 2005 har vært forskjellige, og at den overdødeligheten som fant sted innerst i Bolstadfjorden i 2003 skyldes forholdene dette året, men at det ikke var tilsvarende forhold i 2005. En alternativ forklaring kan være at det var overdødelighet pga merking på smolten i 2003, og at det bare var merket fisk som døde og ble liggende på bunnen i Bolstadfjorden. De aller fleste merkene ble i 2003 registrert liggende på bunnen umiddelbart utenfor munningen av Bolstadelven.

Det har vært spekulert i om det i området ved Bolstad kan oppstå oppveilingseffekt, som gjør at bunnvann med hydrogensulfid (H_2S) blir dradd opp mot overflaten og skaper giftige forhold for fisk nær utløpet av Bolstadelven. I forbindelse med denne undersøkelsen ble konsentrasjonene av H_2S undersøkt inn mot utløpet av Bolstadfjorden under til dels svært varierende vannføring i Bolstadelven (**figur 6** på side 17). Det ble her påvist H_2S på 50 meters dyp, men aldri på 40 meters dyp. Ut fra dette må en kunne anta at det er lite sannsynlig at bunnvann blir dradd opp mot overflaten nær Bolstadelven. Bjerknes mfl. (1995) konkluderte også med at det var lite sannsynlig at akutte episoder med oppstrømmende H_2S -holdig vann skulle gjøre overflatevannet giftig.

Innblanding eller vipping av bunnvannet opp mot overflaten ved indre bølger, har også vært framsatt som hypotese på hvordan utvandrende smolt kan komme i kontakt med H_2S holdig bunnvann. Temperaturmålingen i indre og ytre deler av det innerste bassenget i Bolstadfjorden viste at temperaturen på 40 og 50 meters dyp var helt stabil. Dersom det hadde forekommet indre bølger i dette bassenget, måtte det være det H_2S -holdige bunnvannet som ble vippet opp. En slik vipping ville samtidig føre til at vann fra høyereliggende lag ville komme tilsvarende langt ned i den andre enden av bassenget. Dette ville en i så fall kunne avlese som en markert temperaturøkning på 40 og 50 meters dyp. En slik endring ble ikke registrert, og indre bølger eller vipping kan utelukkes som forklaring.

Følgeforsøk med merket smolt har også vist at smolt i løpet av utvandringen gjør dypdykk (pers. medd. Jens Christian Holst, havforskningsinstituttet). Dette er tolket som navigasjon, men kan også være en antipredatoratferd. Dypdykk i Bolstadfjorden kan ikke utelukkes, og dette vil eventuelt kunne bringe fisk i kontakt med det giftige H_2S -holdige bunnvannet. Dessuten var vannet allerede under 30 meters dyp preget av oksygenvinn, med svært lave oksygenkonsentrasjoner under 40 meters dyp. For at fisken skulle dykke ned i det H_2S -holdige bunnvannet, måtte de først ha passert 20 meter vannsøyle med oksygenvinn. Fisk har imidlertid et svært godt utviklet smaks og luktorgan og det virker lite sannsynlig at fisk frivillig skal svømme ned og passere så ugunstige vannmasser før de til slutt eventuelt kom til det sterkt luktende og meget giftige dypvannet.

Med tanke på at giftig dypvann også forekom i periodene før reduksjonen i bestanden av Vossolaks midt på 1980-tallet, kan en forvente at naturlig utvalg har ført til at utvandrende smolt unngår H_2S holdig vann.

I Havforskningsinstituttets havbeiteprosjekt på Selstø overlevde laks av Vossostammen langt dårligere i sjøen enn laks av Lone- og Dalestamme. Dette kan indikere at smolt fra Vosso oppfører seg andreledes i sjøen enn laks fra de andre stammene og dermed er utsatt for større dødelighet. I forsøk er det også vist at Vossolaksen har mindre motstand mot angrep av lakselus enn for eksempel laksen i Daleelva (Skilbrei mfl 1998).

Konklusjon

Det er stilt spørsmål om vannkraftreguleringene i Vossovassdraget har ført til endrete miljøforhold i Bolstadfjorden, med et økende innhold av hydrogensulfid i dypvannet, som kunne medføre problemer for den utvandrende laksesmolten i større og større nå enn tidligere. De foretatte undersøkelsene tyder ikke på det.

Det er ikke sannsynlig at reguleringene av Vossovassdraget har medført endringer i sjikttingsforholdene i Bolstadfjorden i selve smoltutvandringsperioden. Da er tykkelsen på ferskvannslaget i hovedsak styrt av de høye flomvannføringene, og tidevannets to ganger daglig inntrengning i sjiktet under ferskvannslaget. Det er derfor ikke trolig at isosmotiske forhold og sjøvannstoleransen til laksesmolten skal ha endret seg fra før reguleringen til i dag.

Den store vårflomvannføringen fører til at ferskvannslaget (< 1 ‰) i Bolstadfjorden øker i tykkelse utover våren, men dypet hvor vannet har et saltinnhold på over 10 ‰ er derimot rimelig stabilt og ligger rundt 34-35 meter i det innerste bassenget og rundt 36-37 meter i det ytterste bassenget. Dette synes ikke endret fra tidligere undersøkelser.

Det er imidlertid høyst sannsynlig at den kraftige økningen i ferskvannstilrenningen vinterstid til både Bolstadfjorden og de tilstøtende fjordsystemer, medfører tykkere brakkvannslag i hele fjordsystemet rundt Osterøy. Dette medfører betydelig lavere saltholdigheter i overflatevannet vinterstid, og dermed mindre mulighet for dypvannsutskifting i Bolstadfjorden. Dette har antagelig skjedd tidligere på vinteren da ferskvannstilrenningene var minst, og fjordene var mest salte i overflaten grunnet innstrømmende tidevann fra kystområdene utenfor.

Dette har igjen resultert i at periodene med oppbygging av hydrogensulfid i dypvannet kan ha blitt forlenget, og at konsentrasjonene har blitt noe høyere. Det er imidlertid ikke noe som tilsier at dette er endret de siste 10 årene, siden forrige undersøkelse i 1994/95 (Bjerknes mfl 1995). Og slik forholdene i fjorden er i dag, er det ikke noe som tilsier at dette skulle medføre problemer for den utvandrende molten.

Økt fangst av sjøaure i Vossovassdraget de siste årene kan tyde på at det ikke er forhold i Bolstadfjorden/Vikafjorden som medfører ekstra dødelighet for laksesmolten, for dette burde også gi tilsvarende negativt utslag også for sjøauren. Forskjell i overlevelse for Vosso-smolt i forhold til andre bestander i regionen, kan kanskje være at molten blir værende noe lenger i Bolstadfjorden/Vikafjorden, mens de øvrige raskere går mot kysten. Dette kan medføre at postsmolt får store påslag av lakselus i det den når kysten seinere enn postsmolten fra de andre bestandene i regionen. Dette kan også forklare at Havforskningen i sine tråltokt fikk få Vosso-smolt, fordi fisken da ennå ikke har kommet ut i Osterfjorden før trålingene er avsluttet (J.C. Holst s. 133 i Barlaup 2004).

REREFERANSER

- BARLAUP, B.T (redaktør) 2004. Vossolaksen – bestandsutvikling, trusselfaktorer og tiltak. DN – utredning 2004 – 7, 156 sider.
- BJERKNES; V., L.G.GOLMEN & Å.ÅTLAND 1995. Undersøkelser av vannkvalitet og overleving av laksesmolt i Bolstadfjorden. NIVA-rapport 3282, ISBN 82-577-2805-5, 47 sider
- DIREKTORATET FOR NATURFORVALTNING, 2003. Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2003. NOTAT 2004 - 2.
- GLOVER, K.A., L.A. HAMRE, Ø. SKAALA & F. NILSEN. 2004. A comparison of sea louse (*Lepeoptheirus salmonis*) infection levels in farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks. *Aquaculture* 232: 41 – 52.
- HEUCH, P. A. & T. A. MO. 2001. A model of louse production in Norway: effects of increasing salmon production and public management measures. *Diseases of Aquatic Organisms*, 45: 145-152.
- HVIDSTEN, N.A., B.O. JOHNSEN, A.J. JENSEN, P. FISKE, O. UGEDAL, E.B. THORSTAD, J.G. JENSÅS, Ø. BAKKE & T. FORSETH. 2004. Orkla – et nasjonalt referansevassdrag for studier av bestandsregulerende faktorer av laks. - NINA fagrapport 079, 96 sider.
- JOHNSEN, G.H. 1994. Tilstandsbeskrivelse av Sælenvatnet i Bergen høsten 1994. Rådgivende Biologer, rapport nr. 127, 8 sider, ISBN 82-7658-033-5.
- KAMBESTAD, A. & G.H.JOHNSEN 1994. Tilstandsbeskrivelse av Sælenvatnet i Bergen vinteren 1994. Rådgivende Biologer, rapport nr. 117, 16 sider.
- KÅLÅS, S. & K. URDAL 2004. Overvaking av lakselusinfeksjonar på tilbakevandrande sjøaure i Rogaland, Hordaland og Sogn & Fjordane sommaren 2003. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 694, 38 sider.
- SALTVEIT, S.J. 2004. Smoltutvandring og smoltproduksjon hos laks i Suldalslågen i perioden 1998 - 2003. Delrapport. Suldalslågen - Miljørapport, 35.
- SKILBREI, O.T., B.O. JOHNSEN, T.G. HEGGBERGET, P.S. KROKAN, B. AARSET, T. SAGEN & M. HOLM. 1998. Havbeite med laks – artsrapport. Norges forskningsråd, 72 sider.
- SKURDAL, J., L.P. HANSEN, Ø. SKAALA, H. SÆGROV & H. LURA 2001. Elvevis vurdering av bestandsstatus og årsaker til bestandsutviklingen av laks i Hordaland og Sogn og Fjordane. Utredning for DN 2001-2.
- SÆGROV, H. & B.A. HELLEN 2004. Bestandsutvikling og produksjonspotensiale for laks i Suldalslågen. Sluttrapport for undersøkingar i perioden 1995 – 2004. Suldalslågen – Miljørapport nr. 43, 25 sider.
- URDAL, K. 2004b. Analysar av skjellprøver frå sportsfiske i 17 elvar i Hordaland i 2003. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 720, 33 sider.
- URDAL, K., SÆGROV, H. og KÅLÅS, S. 2004. Fiskeundersøkingar i Oldenelva i 2003. Suldalslågen - Miljørapport nr. 37, 55 sider.