

NIVA



RAPPORT LNR 4718-2003

Forprosjekt ny Loftesnesbru, Sogndal

Konsekvensvurdering for
vasskvalitet i Barsnesfjorden ved
endra utfylling i fjordmunningen



Sognafoto 2002

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Forprosjekt ny Loftesnesbru, Sogndal. Konsekvensvurdering for vasskvalitet i Barsnesfjorden ved endra utfylling i fjordmunningen	Løpenr. (for bestilling) 4718-2003	Dato 22. august 2003
	Prosjektnr. Undernr. 23504	Sider Pris 46
Forfattarar Lars G Golmen, Jarle Molvær, Vilhelm Bjerknes	Fagområde Oseanografi	Distribusjon open
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykt hos NIVA

Oppdragsgjevar Statens vegvesen, region Vest, Askedalen 4, 6863 Leikanger	Oppdragsreferanse Dina Lefdal
--	----------------------------------

Samandrag

Statens vegvesen vurderer å starte planlegging av ny bru over munningen av Barsnesfjorden ved Sogndal. Alternativa inkluderer ny steinfylling frå aust, evt også frå vest, kombinert med bruspenn. Barsnesfjorden er ein terskelfjord med dårleg utskifting av djupvatnet. Tidvis oksygenvinn inneber at fjorden kan vere sårbar for nye tilførsler eller andre inngrep. Eksisterande marine data for Barsnesfjorden er gjennomgått og miljøstatusen omtalt. På bakgrunn av dette er det så utført modellsimuleringar for nokre skisserte fyllingslengder. Ved lengste fyllingsalternativ vil strømfarten i munningen på det sterkaste bli rundt 2 m/s. Ei lang fylling frå Loftesnes-sida vil skape bakevjer på begge sider nær fyllinga som til tider kan strekkje seg fleire 100 m nedstrøms. Oksygentilhøva i djupvatnet kan bli betre ved auka utfylling og innsnevring av munningen. Opphaldstida for det øvste laget kan kome til å auke markert med redusert munningstverrsnitt, til dobling ved lengste fyllingsalternativ i høve til i dag. Lenger fylling enn i dag vil kunne føre til auka islegging i Barsnesfjorden, men er ikkje forventa å gje merkbar negative effekter i Årøyelvdeltaet.

Fire norske emneord 1. Barsnesfjorden 2. Årøyelva 3. Vegfylling 4. Miljøkonsekvensutgreiing	Fire engelske emneord 1. The Barsnesfjord 2. Aaroy river 3. Road fill 4. Environmental impact assessment
---	--

Lars G Golmen
Prosjektleder

Jens Skei
Forskningsleder
ISBN 82-577-4388-7

Jens Skei
Forskningsdirektør

Forprosjekt ny Loftesnesbru, Sogndal

Konsekvensvurdering for vasskvalitet

i Barsnesfjorden

ved endra utfylling i fjordmunningen

Forord

Prosjektet kom i stand etter at Statens vegvesen, Region Vest v/Dina Lefdal, kontakta NIVA i januar 2003 med ønske om å få gjennomført ein innleiande miljøkonsekvensanalyse for eventuell ny Loftesnesbru i Sogndal. Avtale om prosjekt blei gjort i februar 2003, og feltarbeidet tok til i april.

Problemstillingane har vore relativt komplekse og det har vore naudsynt å involvere fleire fagpersonar hos NIVA i arbeidet. Vilhelm Bjerknes stod for synfaring til Årøyelva og elvedeltaet der og har formulert kapittelet om moglege effekter for fisk. Jarle Molvær har stått for simulering av vasstransport i Barsnesfjorden og har skreve kapittelet som omhandlar dette.

Arild Sundfjord og Inge Døskeland bistod med databearbeiding og grafikk, og Henny Knutsen bistod med analyser av vassprøver og diverse praktisk oppfølging. Tor Gammelsrød ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen stilte nye hydrografiske data frå Sogndalsfjorden til rådvelde for prosjektet.

Lars G. Golmen har vore prosjektleiar. Han foretok synfaring ved fjorden i april og har hatt hovedansvar for skriving av rapporten.

Kontaktperson hos vegvesenet var Dina Lefdal, som velvillig bistod under synfaring og bidrog med kart og opplysningar undervegs. Bonde Erik Roar Loftesnes frå Loftesnes deltok velvilligst med båten sin på prøvetakinga i mai.

Takk til alle involverte!

Bergen/Oslo, 22. august 2003

Lars G Golmen

Innhald

Samandrag	6
Summary	7
1. Innleiing	8
1.1 Bakgrunn for- og formål med rapporten	8
1.2 Brua og bruplanane	8
1.3 Aktuelle problemstillingar	9
1.3.1 Endring av vassutskiftinga	9
1.3.2 Moglege effekter i elvedeltaet og for laksen i Årøyelva	11
1.3.3 Effekter for ferdsle på sjøen og næringsverksemd	11
2. Miljøtilstanden i Barsnesfjorden	12
2.1 Topografi	12
2.2 Forureining	12
2.2.1 Spreiing frå kommunalt utslepp U2	13
2.3 Hydrografi og vassutskifting	15
2.3.1 Nye hydrografimålingar i 2003	15
2.4 Oksygentilhøve og vasskvalitet	19
2.4.1 Vassprøver frå mai, 2003	19
2.5 Botnfauna og sediment	20
2.6 Istilhøve	20
3. Årøyelva	21
3.1 Årøydeltaet	21
3.2 Vassdragsregulering	23
3.3 Fiske og kultivering	23
4. Hydrodynamisk simulering	25
4.1 Inngangsdata til modellen	27
4.1.1 Utbyggingsalternativ og modellscenariar	28
4.2 Resultat for scenario S1: noverande utfylling m/ 2 pilarar	28
4.3 Resultat for scenario S2: Ny fylling, uten pilarar	31
4.4 Scenario S3: Ny fylling, med ein gjenstående pilar	32
4.4.1 Låg vassføring	34
4.5 Årøydeltaet	35
5. Berekningar med bassengmodell for oksygen	36
5.1 Simuleringar for forskjellig munningstopografi	36
5.2 Resultat	37
6. Islegging	38
6.1 Modellen	39
6.2 Data og simulering for islegging	40
6.3 Resultat for islegging	40

7. Oppsummering	43
7.1 Effekter for vasskvalitet	43
7.2 Islegging	43
7.3 Effekter for Årøydeltaet/Årøyelva	43
7.4 Næringsverksemd	43
7.5 Forslag til oppfølging	44
8. Litteraturreferansar	45
Vedlegg A. Hydrografisk profil i Sogndalsfjorden 7/2 2003	46

Samandrag

Statens vegvesen, Region Vest, vurderer å starte planlegging av ny bru over munningen av Barsnesfjorden ved Loftesnes i Sogndal. Det er aktuelt å vurdere bru kombinert med fylling der det vil bli nytta sprengstein/overskotsmasse frå tunneldriving. Nokre skisserte fyllingsalternativ vil medføre innsnevring av fjordmunninga og vil dermed kunne få konsekvensar for vassutskiftinga i Barsnesfjorden og for vasskvalitet og økologi der. På bakgrunn av dette har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjort eit forstudium av moglege konsekvensar og oppsummert dette i rapportens form.

Barsnesfjorden har ein terskel i munningen på 9 m djup, mens største djup innafor er 80 m. Denne topografien medfører dårleg utskifting av djupvatnet og kan innebere at fjorden er sårbar for nye tilførsler eller andre inngrep. Årøyelva med middelvassføring på 30 m³/s representerer største ferskvasskjelda til fjorden. Elva har ei verna laksestamme. Inne i Barsnesfjorden er det utslepp frå kloakk tilsvarande 500 pe. Like utanfor munningen (ca 100 m i retn. sentrum) ligg utslepp U2 frå Sogndal på 425 pe. Berekningar tyder på at ved visse høve kan forureining frå U2 bli tilført Barsnesfjorden.

Det er utført modellsimuleringar for ulike fyllingslengder frå “naturtilstanden” utan fylling til ei fylling som dekkjer over 50% av dagens tverrsnittsareal. Ved lengste fyllingsalternativ blir strømfarten i munningen på det sterkaste rundt 2 m/s (4 knop) noko som kan medføre at småbåttrafikken i visse høve bør tilpasse seg flo/fjøre. Ei lang fylling frå Loftesnes-sida vil skape bakevjer på begge sider nær fyllinga som til tider kan strekkje seg fleire 100 m nedstrøms. Ein evt. gjenstående pilar har markert innverknad på gjennomstrøyminga ved at strømfarten aukar sterkt på begge sider av tverrsnittet.

Simuleringar med boksmodellen “Fjordmiljø” med ulike fyllingsalternativ syner forbetring for O₂-minimum i djupvatnet proporsjonalt med auka utfylling og innsnevring av munningen som følgje av sterkare turbulens og vertikalblanding. Opphaldstida for det intermediære vasslaget aukar moderat med redusert tverrsnitt. Opphaldstida for det øvste laget vil auke markert med redusert tverrsnitt, til dobling ved lengste fylling i høve til i dag.

Barsnesfjorden blir islagt kvar vinter, men det finst oftast råker både i området ved brua og lenger inne. Det er utført modellsimuleringar for islegging for ulike fyllingsalternativ med regulert Årøyelv og nåtilstanden i fjorden som utgangspunkt. Det er konkludert med at utfylling, sjølv for lengste alternativ, ikkje vil påveke lokalmeteorologien merkbart slik at denne heller ikkje kan gje noko feedback til isdanninga. Lenger fylling kan imidlertid medføre auka islegging i Barsnesfjorden p.g.a. auka opphaldstid og dermed endra sjikting i overflatelaget. Lenger fylling vil auke risikoen for kortvarig isoppstuving ved brua, men p.g.a. kraftigare straum der er dette ikkje ansett å ville skape større problem enn i dag.

Forlenga fylling er ikkje forventa å gje negative effekter for vasskvalitet eller strømningsforhold i Årøyelvdeltaet. Mindre endringar i hydrografiske frontar kan endre litt på fiskens vandringsmønster inne mot deltaet. Laks/smolt som vandrar inn/ut gjennom fjorden vil kunne respondere på endra brakkvasskaraktistikk med å endre litt på vandringsdjupet, men dette vil neppe vere målbart. Tradisjonelt fiske av saltvassfisk i fjorden vil kunne få eit oppsving dersom vasskvaliteten i djupvatnet blir betre. Simuleringane antydar at det kan bli betre djupvasskvalitet ved forlenga bru-fylling.

Forstudiet har reist ein del spørsmål m.a. omkring manglande data og det er tilrådd ein viss oppfølging med vidare analyser for å få betre fakta- og datagrunnlag for dei endelege konklusjonane.

Summary

Title: A prestudy for the proposed new Loftesnes bridge in Sogndal. Year: 2003 Authors: L. G. Golmen, J. Molvær and V. Bjerknæs Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4388-7

The Western District highway authorities are considering to rebuild the bridge across the mouth of the Barsnesfjord at Loftesnes, near Sogndal. A suspension bridge combined with causeways extending from one or both shores is presently under consideration. The suggested causeways (rock fills) imply a reduction in the cross section of the mouth which may lead to a change for the water exchange and thus also for water quality and marine ecology inside the Barsnesfjord. On this background the Norwegian Institute for Water Research, NIVA, was asked to perform a preliminary pre-assessment of possible consequences for various lengths of fill.

The fjord has a sill depth of 9 m, and a maximum depth of 80 m. Such topography already implies restricted deepwater exchange, probably making the fjord waters sensitive to altered mouth characteristics. The fjord receives fresh water mainly from the Aarøy river at the head, with annual average of 30 m³/s. This river has a protected salmon stock. Municipal discharges to the fjord totals 500 PE. Right outside the fjord there is another discharge of 425 PE which according to numerical simulations at times may be transported into the Barsnesfjord.

The present study includes numerical simulations of surface water flow for various lengths of the roadfills, including the no-fill situation and a extended fills reducing the cross section to 50% from present. The longest alternative implies currents exceeding 2 m/s at peak tides in the open entrance, possibly affecting navigation intermittently. A long causeway from the Loftesnes side will create small eddies on the leeward side. Any remaining pillar from the existing bridge increases water currents significantly on either side.

Simulations of the oxygen level in the deepwater show an improvement with increased fill length, due to enhanced turbulence and vertical exchange, while the residence time for intermediate water increases moderately. The residence time for surface water increases markedly with decreased cross section at the mouth, exceeding 2 times the present average for the longest alternative.

The Barsnesfjord is ice covered during wintertime, although open rifts often prevail at the mouth and also further in. Numerical simulations for ice formation under varying fill lengths show that while local meteorological conditions are not expected to change, ice formation is projected to increase due to increased surface water residence time and lower salinity with altered stratification. Longer fills will increase the risk of intermittent pile-up of ice floes at the bridge, but with stronger currents than today this is not expected to pose any larger problem.

Water quality or circulation at the Aarøy river delta is not expected to be affected negatively to any measurable extent. Minor changes in hydrographic fronts and stratification may slightly affect the migration pattern of salmon and smolt, but probably not to any measurable extent. Improved deepwater quality with extended rockfills as shown by the simulations may increase the natural whitefish stock in the fjord.

The present pre-assessment raises a few questions related to lacking data on the fjord, thus suggesting a follow-up study to improve the baseline data before making final conclusions.

1. Innleiing

1.1 Bakgrunn for- og for mål med rapporten

Statens vegvesen, Region Vest, har etablert eit forprosjekt for ny bru ved Loftesnes over munningen av Barsnesfjorden (**Figur 1**) i Sogndal. Det er aktuelt å vurdere bru kombinert med fylling med sprengstein/overskotsmasse frå tunneldriving.

Større utfylling som innsnevrar munninga, vil kunne få konsekvensar for vassutskiftinga i Barsnesfjorden og for vasskvaliteten der evt. også for områda sør for fyllinga. Trangare munning enn i dag vil også kunne medføre problem for båttrafikken p.g.a. sterk straum.

På bakgrunn av desse og andre problemstillingar kontakta Statens vegvesen Region Vest Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vinteren 2003 for å få eit forslag til utgreiingsprogram omkring ny utfylling og eventuelle miljøverknader. Dette forslaget vart akseptert i februar 2003, og arbeidet med konsekvensutgreinga tok til like etter dette.

Foreliggende rapport tar for seg aktuelle vassfaglege aspekt i tilknytting til bruplanene og dei konsekvensar dette kan tenkjast å få. Vi har gått relativt breitt ut for å femne om både sannsynlege og mindre sannsynlege effekter (sjå avsnitt 1.3). Nokre problemstillingar vil såleis vere meir av hypotetisk karakter, mens andre er meir openberre. Konsekvensane vil kunne avhenge av kva utfyllingsalternativ som blir valt. Dette blir også vurdert i rapporten.

Det må presiserast at foreliggende prosjekt ikkje inneber ei resipientgransking i vanleg forstand og heller ikkje ein fullstendig miljø-KU. Vi har basert oss på eksisterande opplysningar for å få verifisert dagens tilstand og dominerande utskiftingsmekanismer. Dette som bakgrunn for å vurdere både ”naturtilstanden” i Barsnesfjorden (d.v.s. utan brufylling) og mogleg endring for framtidig vasskvalitet m.m. ved eventuell endring av fyllingslengder.

Det er sannsynleg at reguleringane av Årøyelva (første gong i 1942, seinast i 1983) i seg sjølv bidro til å endre vassutskiftinga og evt vasskvaliteten i fjorden. Effekter av desse reguleringane er imidlertid ikkje noko tema i denne rapporten.

1.2 Brua og bruplanane

Dagens bru vart bygd på midten av 1950-talet. Den er bygd av stål på to bru-kar (pilarar) plassert sentralt i utløpet av fjorden og forankra i steinfyllingar på begge sider (**Figur 2**). Brua er relativt smal - to større køyrety kan knapt passere kvarandre, og brua er mogen for utbetring eller evt full utskifting. Siste alternativet er det som synes vere mest aktuelt.

Figur 3 syner traseen for eksisterande bru og fylling. Figuren syner også ulike alternative fyllingslengder som blir vurdert seinare i rapporten:

- Alternativ 1: ”Naturtilstanden” (ingen utfylling som innsnevrar munningen)
- Alternativ 2: Noverande bru/fylling
- Alternativ 3: Utfylling til næraste brupilar
- Alternativ 4: Utfylling ut forbi næraste brupilar
- Alternativ 5: Lengste utfylling med fyllingsfot ved ca 9 meter djup

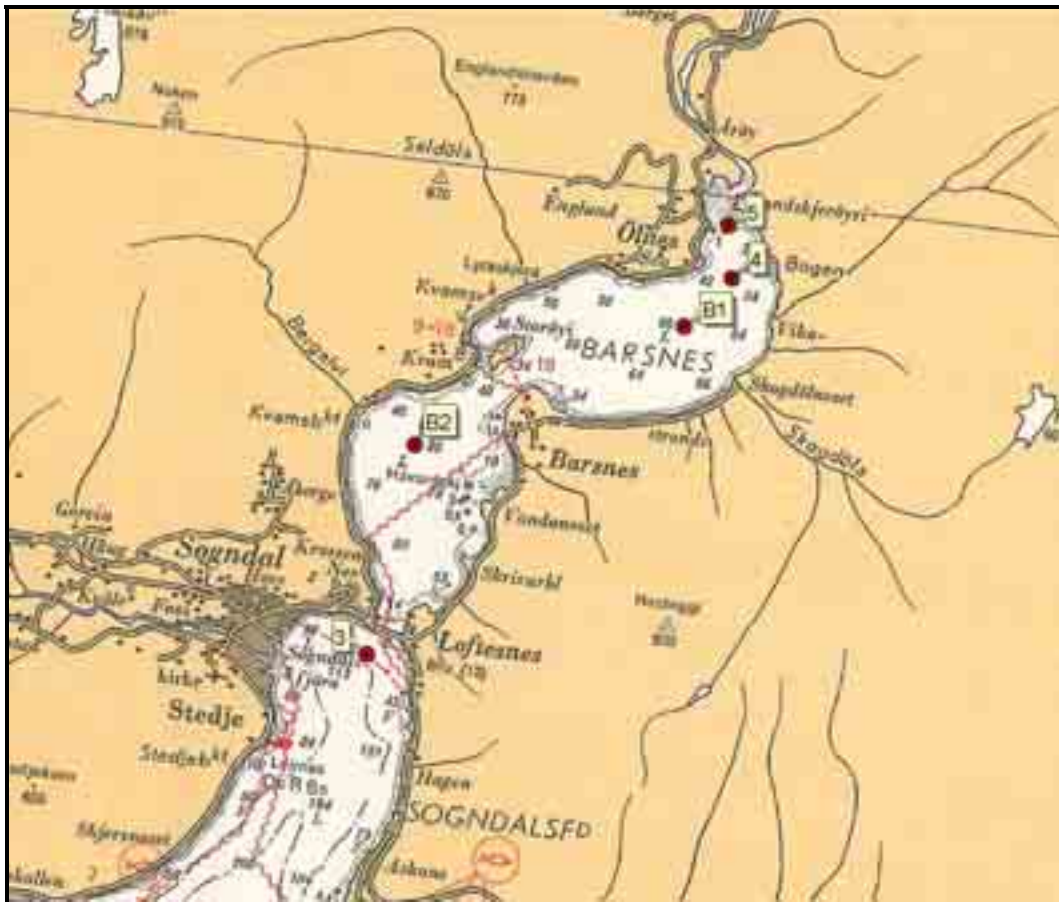
Dei to siste fyllingsalternativa vil tangere det djupaste partiet på fjordterskelen, men er tenkt lagt slik at det meste av den djupaste renna blir bevart og terskeldjupet ikkje blir redusert.

1.3 Aktuelle problemstillinger

1.3.1 Endring av vassutskiftinga

Innlaupet til Barsnesfjorden er relativt grunt og smalt, noko som avgrensar vassutskiftinga i fjorden og gjev opphav til m.a. lågt oksygeninnhald i djupvatnet (Myrseth m. fl. 2000). Sjå kapittel 2 for fleire opplysningar omkring miljøtilstanden i Barsnesfjorden. Problema med vasskvaliteten kan teoretisk ha årsak i eksisterande fyllingar med innsnevring av innlaupet til fjorden, men kan også ha anna evt. naturleg forklaring. Endra brufyllingar i sbm. nye planer kan imidlertid påvirke denne tilstanden, og problemstillingar kring dette er bakgrunnen for foreliggende vurdering/rapport.

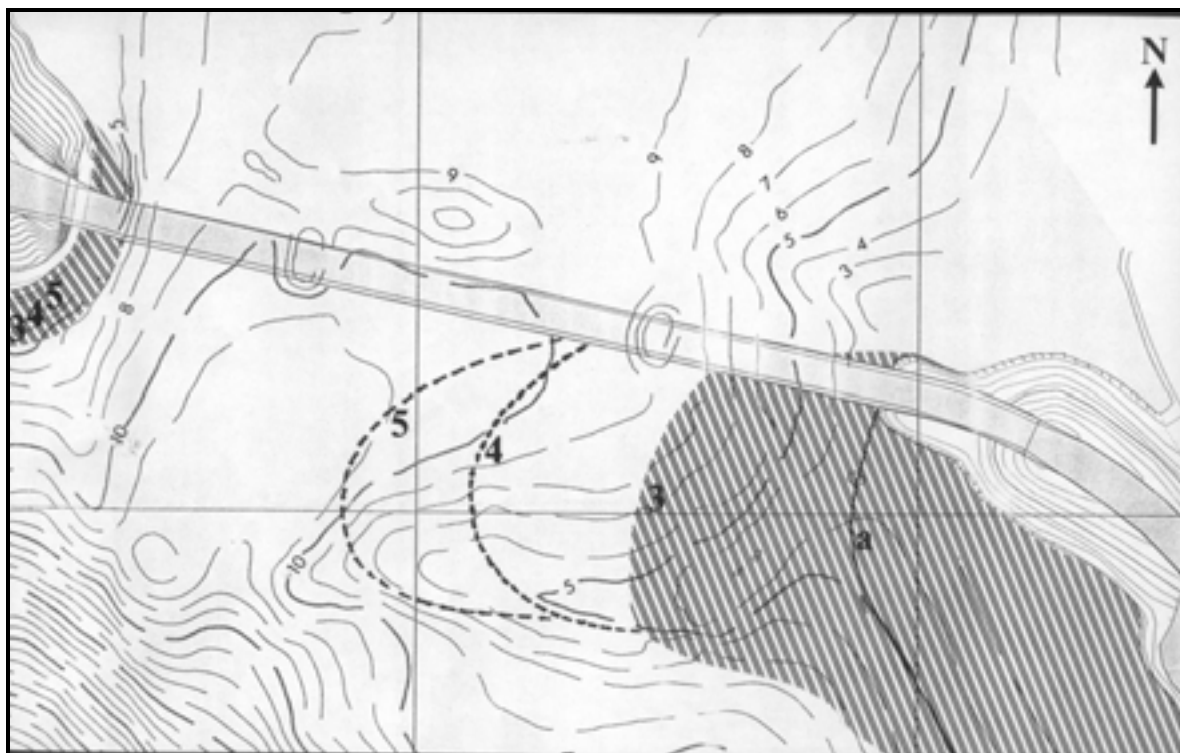
Innsnevra fjordmunning vil automatisk medføre sterkare tidevasstraum så lenge der ikkje oppstår hydraulisk blokkering (ved særsmal opning). Dersom sjøen er tydeleg lagdelt inne i fjorden, vil endra munningskarakteristikk kunne endre tilhøva for indre bølger (vertikale svingingar i grensesjiktet mellom lett og tyngre vatn) og kanskje generere hydraulisk blokkering av desse under særskilte tilhøve. Indre bølger saman med turbulens bak terskelen ved innstrøymande vatn er truleg dei viktigaste mekanismene for nedblanding og vassutskifting i Barsnesfjorden. Desse faktorane vil bli endra dersom fyllingane blir endra og vil dermed påvirke djupvasskvaliteten. Evt. nye bakevjer eller auka opphaldstid generelt i øvre lag av fjorden vil kunne medføre auka algevekst og evt. endra eller forringa vasskvalitet. Dale og Hovgaard (1993) påpeika i sin rapport (side 76) at dumping av steinmasser i Loftnessundet, slik Sogndal kommune alt hadde gjeve løyve til, ville kunne medføre endringar i utskiftingstilhøva. Faktiske endringar ville vere avhengig av storleik og form på fyllinga.



Figur 1. Sjøkart over Barsnesfjorden. Posisjonar for NIVAs STD-målingar og prøvetaking den 12. mai 2003 er også markert.



Figur 2. Loftesnesbrua, april 2003. Øvst: Sett frå Sogndals-sida. Nedst: Sett frå innfartsvegen på aust-sida (Loftenes-sida).



Figur 3. Kartskisse med botntopografien i fjordmunningen. Målestokk: 1 cm = 15 m. Små tal syner botndjup. Eksisterande bru og fylling er innteikna. Skravert felt indikerer utstrekning av simulert fyllingsalternativ 3. Stipla liner illustrerer alternativa 4 og 5. Heiltrekt line t.h. merka "a" er for eit fyllingsalternativ som Vegvesenet har indikert som medfører endra brutrase men ikkje noka innsnevring av munningen i høve til dagens tilstand.

1.3.2 Moglege effekter i elvedeltaet og for laksen i Årøyelva

Årøyelva er regulert for kraftføremål. Elvedeltaet inne ved utlaupet av elva har eit rikt dyre- og planteliv. Innsnevring av munningen kan teoretisk endre på sirkulasjon evt salinitet og vasstand der og såleis påverke flora/fauna både i vatnet og i strandsona og kanskje endre vilkår for oppgang/utvandring av fisk.

Årøyelva har ei verdfull laksestamme, og ei årsavkastning av fisket på opptil 1 tonn. I samband med foreliggende undersøking vurderer NIVA kva effekter ei innsnevra fjordmunning og evt. auka oppstuving av ferskvatn i elvedeltaet kan tenkjast å få, særleg på utvandrande laksesmolt. Dette er gjort ved gjennomgang av eksisterande data og ved synfaring/intervju lokalt.

1.3.3 Effekter for ferdsle på sjøen og næringsverksemd

Barsnesfjorden har potensiale for næring av av ulikt slag, t.d. oppdrett av blåskjell, for fjordturisme og fritidsfiske, samt for tradisjonelt fiske, inkludert sild/brisling. Fyllingane bør difor ikkje bli så dominerande at dei hemmar båtferdsle eller set grenser for framtidig næringsutnytting av fjorden i høve til naturleg potensiale. Dette er delvis "politiske" tema, men som krev naturfagleg basiskunnskap basert på faglege analyser for å kunne handsamast forsvarleg.

2. Miljøtilstanden i Barsnesfjorden

I dette kapittelet gjev vi ein kort omtale av tilstanden i fjorden. Dette er for det meste basert på opplysningar frå tidlegare granskingar særleg Myrseth m. fl. (2000) og Dale og Hovgaard (1993). Vi har føya til ein del ny informasjon frå våren 2003 innsamla i samband med synfaringane då.

2.1 Topografi

Barsnesfjorden er delt i to basseng. Det ytre har største djup rundt 80 m, og det indre ca 66 m i følgje sjøkartet. Terskeldjupet for ryggen mellom desse to bassenga er om lag 34 m. Minste djup i innlaupet til fjorden er 8 m i flg. sjøkartet. Desse verdiane frå sjøkartet gjeld for spring lågvatn ved vårjamdøger. Ved middelasstand kan ein legge på ca 1 m for desse djupa. Ein del topografiske data for Barsnesfjorden er gjevne i **Tabell 1. Figur 3** syner botntopografien på terskelen. Der er eit langsgåande, relativt flatt botnparti til ca 100 m innafør brua med djupner på 9-10 m.

Tabell 1. Nokre topografiske data for Barsnesfjorden. Dei fleste storleikane er henta frå Dale og Hovgaard (1993).

Lengd:	4,5 km	Max breidde:	1,4 km
Terskeldjup v/middelasstand*:	9 m	Største djup:	ca 80 m
Terskelbreidde i dag:	200 m	Overflateareal:	4,5 km ²
Volum over terskeldjup:	0,029 km ³	Volum under terskeldjup:	0,136 km ³
Ferskvasstilførsle**:	1 km ³ /år		

*) Sjøkartet syner 8 m, som refererer til lågaste lågvatn ved vårjamdøger. For Bergen (referansehamn) er forskjellen mellom dette nivået og middelasstanden lik 84 cm. Høgdekorreksjonsfaktoren for midtre deler av Sognefjorden er rundt 1,15. Dermed er aktuell forskjell mellom sjøkartets djupner og middelasstanden i Sogndal-området om lag 97 cm.

***) Bidraget frå Årøyelva som dominerer biletet.

2.2 Forureining

Inne i Barsnesfjorden er det utslepp frå kloakk tilsvarende 500 "gamle" pe (1 "ny" PE = 1,52 pe). 75 pe går ut gjennom utslepp U3 på ca 5 m djup nær Loftesnessundet. Like utanfor munningen (ca 100 m i retn. sentrum) ligg utslepp U2 frå Sogndal med utsleppsløyve tilsvarende 425 pe. Lenger vest, på Stedjesida, ligg utslepp U1 med utsleppsløyve på 3,900 pe. Dei faktiske utsleppa kan vere forskjellige frå det løyva tilseier. Utslepp frå meieriet og slakteriet tilsvarte ca 3,000 pe i 1993, og dei samla tilførsleane til Sogndalsfjorden vart då rekna til 8,400 pe (Dale og Hovgaard 1993). **Figur 4** syner utsleppa U1 og U2 slik situasjonen var på byrjinga av 1990-talet.

Dei fleste kommunale utsleppa i Sogndalsfjorden ligg i god avstand frå munningen av Barsnesfjorden. Det må antakast at desse utsleppa blir fortynta i den lokale resipienten og deretter ført ut av Sogndalsfjorden. Men der er ein viss risiko for at noko av denne forureininga innlagrar seg i sjøen som tidvis blir ført inn i Barsnesfjorden med straumen under Loftesnesbrua. I så fall kan ein viss påverknad på Barsnesfjorden særleg frå U2 ikkje utelukkast, og endra brufylling kan i så fall få konsekvensar. I avsnitt 2.2.1 er det gjort nokre berekningar omkring dette.

Innafor Loftesnes, ved Skrivarholmen, er der ein avfallsplass tilsv. 3.000 m³ som i Fylkeskommunens database er avmerka som forureina grunn, og som sannsynlegvis medfører noko tilsig til fjorden. Andre kjende forureiningskjelder er spreidd avrenning frå gardsbruk og tilførslar med ferskvatnet i Årøyelva.



Figur 4. Kartskisse over utsleppssituasjonen i Sogndal rundt 1993 (frå Dale og Hovgaard 1993).

2.2.1 Spreiing frå kommunalt utslepp U2

Det er rimeleg å anta at det i munningen ved brua hovudsakleg er utoverretta straum i overflatelaget (ned til 2-3 m anslagsvis) og innoverretta straum djupare ned mot tersken på ca 9 m djup (estuarint sirkulasjonsmønster). Dersom dette er tilfelle og utsleppsvatnet frå U2 (eller andre nærliggande utslepp) innlagrar og spreier seg i sjikt grunnare enn terskeldjupet, er det ein sjanse for at noko av avlaupsvatnet kan bli trekt inn i Barsnesfjorden.

Utsleppsvatnet blandar seg med det omkringliggjande sjøvatnet mens det stig oppover. Dermed aukar både volumet og densiteten av denne "blandingsvannmassen". Dersom sjøvatnet i resipienten er lagdelt, dvs. der er lettare vatn over tyngre vatn, vil utsleppsvatnet kanskje ikkje nå heilt opp til overflata. Grunnen er at densiteten til blandingsvatnet (avløpsvatn+sjøvatn) etterkvart blir lik densiteten til sjøvatnet omkring. Då stoppar den vertikale rørsla og skya av fortynna avlaupsvatn vil byrje å breie seg horisontalt utover, mens den blir fortynna vidare. Ein seier då at avlaupsvatnet er innlagra.

For å sjå nærare på kva dette kan innebere for U2 har vi nytta modellen JETMIX for å simulere spreieing og fortynning av avlaupsvatnet derfrå. JETMIX er utvikla ved NIVA (Bjerkeng og Lesjø 1973). Modellen reknar ut fortynning og innlagringsdjup for ein enkelt stråle avlaupsvatn i ein sjikta resipient på basis av hydrografiske profilar i resipienten og data om utsleppet. Den reknar ut innlagringsdjupet, d.v.s. djupet der "blandingsvatnets" densitet er den same som for omgjevande vatn. Blandingsvatnets energi gjer imidlertid at det først stig litt forbi "likevektsdjupet", før det sekk tilbake og blir innlagra.

Modellen bereknar den teoretisk høgste opptrenginga på to måtar:

- ved fortsett fortynning etter at likevektsdjupet er "passert" (EQS).
- utan blanding eller friksjon etter at likevektsdjupet er "passert" (GRAV).

Dersom det finst tilstrekkelig med hydrografiske data frå resipienten vil det framkome eit tidsvariabelt bilete av resultatata (som følgje av tidsvariabel input til modellen).

Inngangsdata

Det aktuelle utsleppet ligg på 23 m djup i følgje Dale og Hovgaard (1993), ca 200 m nordvest for brua i retning Sogndal. Utsleppet skal tilsvare 425 pe i følgje same kjelde. Det har ikkje lukkast oss å få fram eksakte data for utsleppet, så vi har i modellsimuleringane antatt ein typisk verdi på 2 l/s (hushaldningsvatn samt noko overflateavrenning) samt ein verdi på 10 l/s som kan representere situasjonar ved ekstra påslepp, pumping e.l.. Vi har vidare anteke at rørdiameteren er 30 cm, og utslepp gjennom ei opning (ingen diffusor).

Densiteten for utsleppsvatnet har vi satt lik 1.0 (som for ferskvatn). Utsleppsvatnet er dermed noko lettare enn omgjevande sjøvatn slik at det er forventa at det stig oppover i sjøen eit stykke frå utsleppspunktet. For hydrografi har vi nytta nye måledata frå Sogndalsfjorden frå 7. februar 2003 (Kjelde: Geofysisk institutt, UiB- sjå Vedlegg A) samt frå NIVAs målingar 12. mai 2003 (kapittel 3). Dette er eit realtivt spinkelt materiale men det meste av tidlegare målingar har liten djupneoppløysing og eignar seg lite for slike tekniske berekningar.

Resultat

Resultat av simuleringane er synt i **Tabell 2**. Utsleppsvatnet innlagrar seg rundt 10-11 m. 10 l/s fluks gjev grunnare innlagring enn for 2 l/s. Februarsituasjonen ved 10 l/s gjev senter-innlagring i 9,6 m. Dei to kolumnene til høgre i tabellen gjev verdi for kor høgt opp utsleppsvatnet når før det "sig" tilbake til innlagringsdjupet. Det er to ulike formlar som er nytta, difor to kolumnar med resultat, som syner at vatnet kan nå opp til 2-4 m djup. Dette skjer imidlertid kun rett over utsleppet. Verdien WIDTH syner tjukkeleiken på den innlagra utsleppsskya. Verdiane ligg rundt 2,5 - 3 m. Ut frå dette er det rimeleg å anta at utsleppsvatnet tidvis påverkar vatn i grunnare sjikt enn terskeldjupet til Barsnesfjorden.

Simuleringane er bygd på eit lite datamateriale, kun hydrografimålingar i februar og mai, så vi kan ikkje sei noko om kor representative resultatata er for resten av året. Vi er heller ikkje kjende med korleis straumen i aktuelt sjikt rundt 10 m djup går i området ved U2 og på terskelen til Barsnesfjorden, men det er rimeleg å anta at den til tider har retning austover mot innlaupet og inn fjorden. Våre simuleringar i kapittel 4 tyder på at dette kan skje. Dersom slike straumtilhøve fell saman med grunn innlagring av utsleppsvatnet er det sannsynleg at noko avlaupsvatn frå Sogndal blir ført inn i Barsnesfjorden.

Tabell 2. Resultat av simuleringane av U2 for 2 l/s og 10 l/s utsleppsfluks. Verdier for innlagringsdjup (DEPTH) og tilhyrande blandingsfaktor (CENTER DILUT) er framheva.

					! PRO- !		NEUTRAL		POINT		EXTREMAL	
					! FILE !						DEPTHS	
	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE	!	!	WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH		
	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	!	!	(M)	DEG.	DILUT.	(M)	EQS.	GRAV.
					!	!					(M)	(M)
2 l/s	23.0	.30	.03	-5	! feb !	!	2.5	89	203	11.7	9.1	6.0
					! mai !	!	2.5	89	198	11.8	10.0	7.8
10 l/s	23.0	.30	.14	-5	! feb !	!	3.0	89	97	9.6	6.3	2.1
					! mai !	!	2.8	89	84	10.7	8.2	4.3

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT
 - GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

2.3 Hydrografi og vassutskifting

Vatnet i Barsnesfjorden er det meste av tida markert sjikta (lagdelt), med eit karakteristisk brakkvasslag på toppen, og saltare vatn under. Dette er mest markert i sommarhalvåret. Årøyelva er sannynlegvis viktigaste kjelda til dette brakkvatnet, men sidan også Sogndalsfjorden tidvis er tydeleg sjikta, vil periodevis transport av overflatevatn derfrå inn til Barsnesfjorden også vere ei kjelde til brakkare vatn på toppen. Målingar frå 1991-1993 (Dale og Hovgaard 1993) synte salinitet i overflatelaget (1 m djup) varierende mellom 25 i vinterhalvåret og ned mot null om sommaren, tydeleg negativt korrelert med tilrenninga. Overflatetemperaturen varierte mellom $< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ om vinteren, og $14\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ om sommaren.

Den grunne (9 m) terskelen i munningen skjermar djupvatnet innafor for regelmessig utskifting. Dette, saman med tilførsel av organisk stoff, medfører at oksygentilhøva i djupvatnet tidvis er kritisk låge (sjå avsnitt 2.4). I følgje Dale og Hovgaard (1993) skjer utskifting av djupvatnet i vinterhalvåret; delvis utskifting kvart år, mens fullstendig utskifting skjer "...med få års mellomrom". Utskiftinga kan enten foregå gradvis, over fleire månader, eller vere kortvarig og dekkje heile vassøyla, slik som i 1993. Målingane frå 1991-1993 synte at djupvassverdiane (djupare en 50 m) for salinitet og temperatur varierte innafor intervalla $7\text{-}8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $29\text{-}32$ (sistnemnde verdiar var rapportert å kunne vere litt for låge p.g.a. mogleg målefeil). Til samanlikning målte Myrseth m fl. (2000) i 1999 verdiar h.h.v. mellom $6,8\text{ -}7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $33,0\text{-}33,2$ i djupvatnet.

2.3.1 Nye hydrografimålingar i 2003

NIVAs målingar med CTD sonde (Seabird SBE-19) 12. mai 2003 er tilstrekkelig detaljerte til å få eit godt bilete av sjiktingstilhøva på det aktuelle tidspunktet. Sonden logga data 2 gonger pr sekund, slik at det med langsam nedfiring blei oppnådd relativt stor dataoppløysing (måling kvar 1/2 meter eller betre).

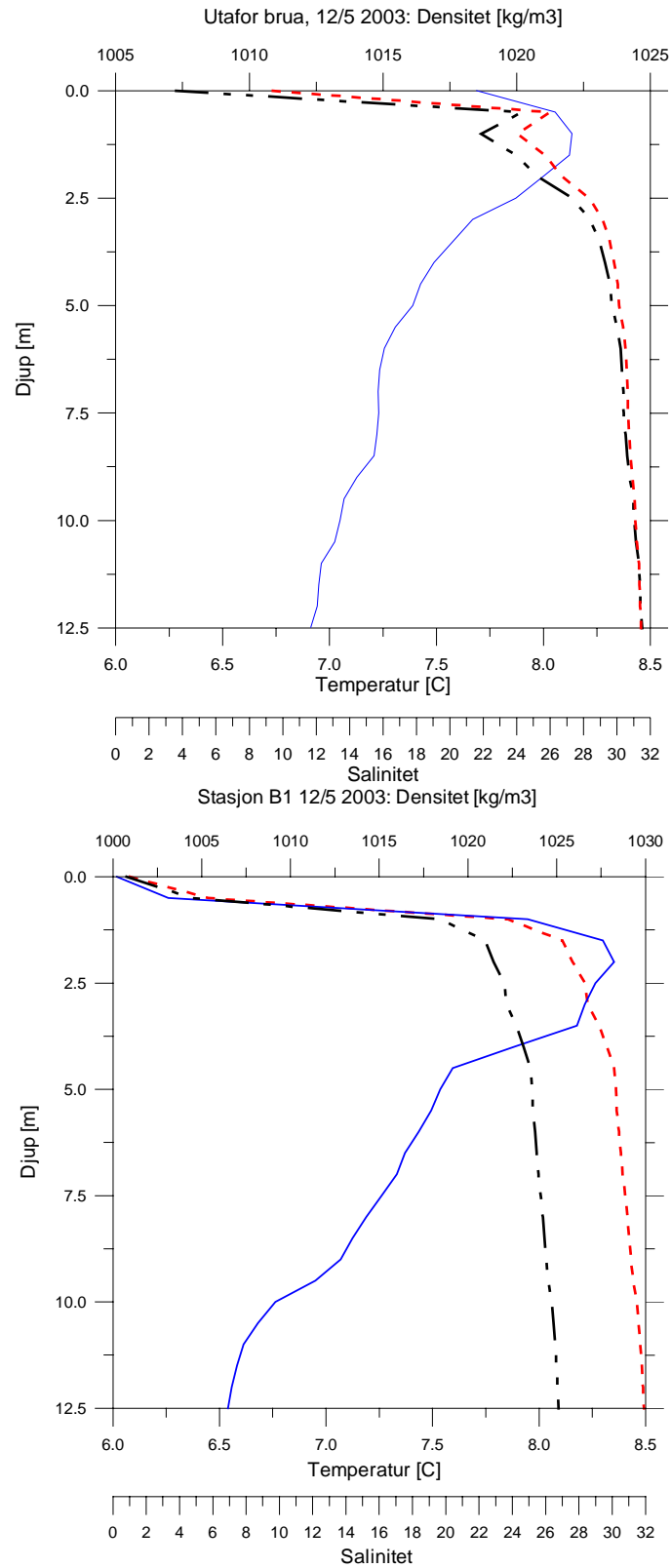
Figur 5 Syner målt profil av salinitet og temperatur samt utrekna densitet for sjøvatnet frå overflata ned til ca 12 m djup, målt den 12. mai 2003 i Sogndalsfjorden og på stasjon B1 i Barsnesfjorden. Det var eit temperaturmaksimum begge stader rundt 1-2 m djup. Det var mest karakteristisk brakkvasslag i Barsnesfjorden, med eit ca 1 m tjukt lag der temperaturen var $6\text{-}6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og saliniteten 0-4. Djupare nede var det små skilnader i tilhøva.

Sjiktingstilhøva i Barsnesfjorden, 0-12 m djup, er synt som eit snitt frå Årøyelva og sørover i **Figur 6**. Temperaturmaksimumet på opp mot $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 1-3 m djup framtrer tydeleg. Vertikalfordelinga indikerer at brakkvasslaget var tjukkast rundt stasjon B1 (i indre basseng), og at det kan vere ein form for oppstrøyming av vatn mot overflata inne ved elveosen. Også temperaturfordelinga syner same biletet, med varmt vatn nær oveflata både inst og ytst i fjorden.

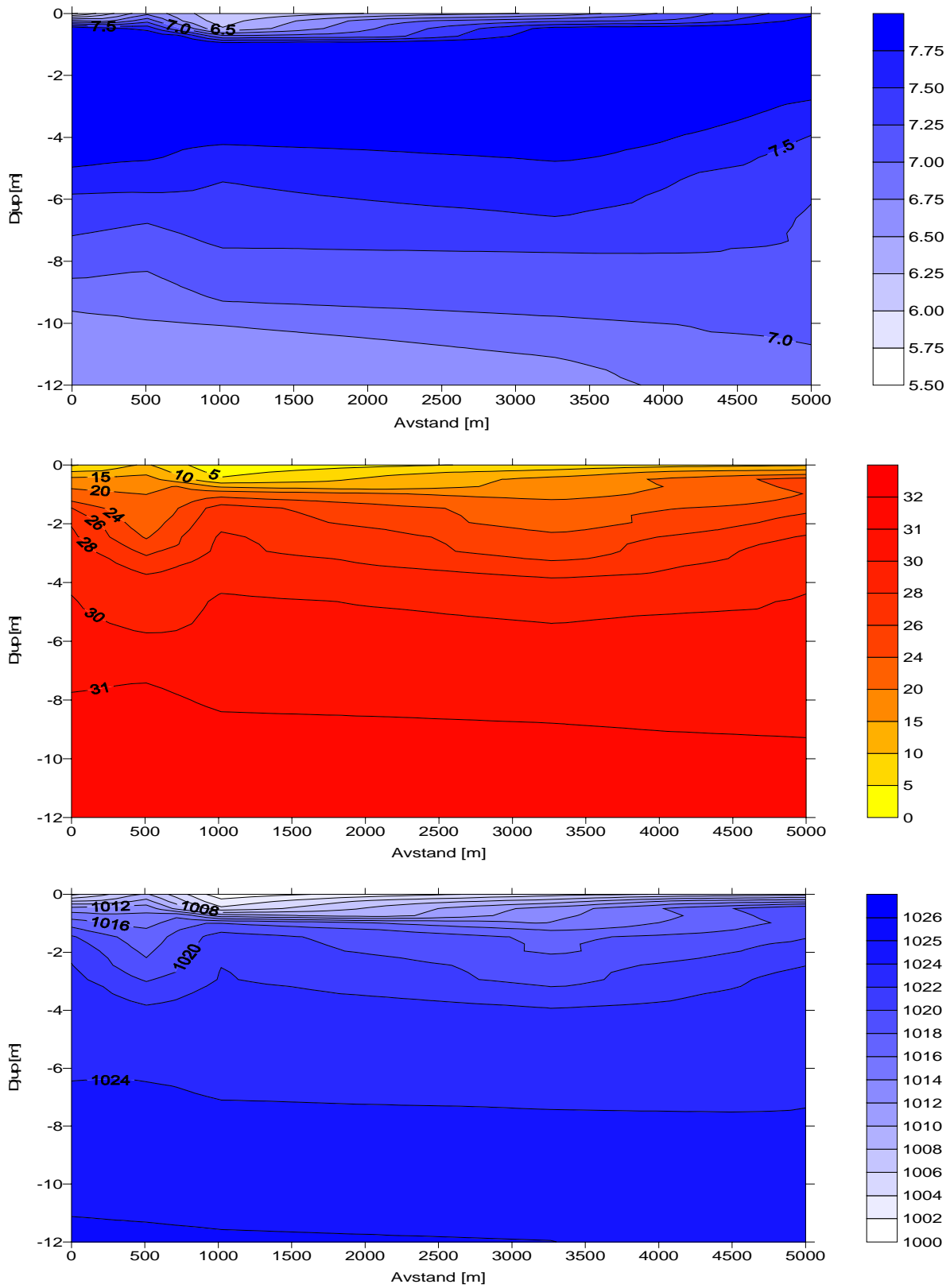
Profilar frå overflate til nær botn i dei to bassenga i Barsnesfjorden 12. mai 2003 er synt i **Figur 7**. Tilhøva i djupvatnet var temmeleg like på dei to stadane, men temperaturen nær botn var noko høgere i indre basseng (stasjon B1). **Tabell 3** syner målingane frå nokre utvalde djup.

Tabell 3. Målt temperatur utrekna salinitet (frå målt konduktivitet) og densitet (basert på T og S) på stasjon B1 og B2 i Barsnesfjorden 12. mai 2003. Målingane er gjort med Seabird SBE-19 STD sonde, med målenøyaktigheit betre enn på $0,005\text{ }^{\circ}\text{C}$ for temperatur og $0,01$ for konduktivitet (salinitet).

Djup ↓	Temperatur, $^{\circ}\text{C}$		Salinitet		Densitet, kg/m^3	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2
40 m	6,69	6,65	32,59	32,57	1025,75	1025,73
50 m	6,79	6,62	32,63	32,59	1025,81	1025,81
60 m	6,86	6,63	32,65	32,63	1025,85	1025,87
75 m	-	6,70	-	32,69	-	1025,99



Figur 5. Hydrografiske profiler i øvre lag målt 12. mai 2003. Øvst: I Sogndalsfjorden, nedst: i Barsnesfjorden, Stasjon B1. Temperatur: heiltrekt line, salinitet: - - -, densitet: —●— i 0-12,5 m djup.



Figur 6. Konturplott av målt sjøtemperatur (øverst), salinitet (midten) og densitet i Barsnesfjorden 12. mai 2003. Årøyelva til venstre, og fjordmunningen til høyre i figuren.

2.4 Oksygentilhøve og vasskvalitet

Det har foregått målingar av oksygeninnhald i djupvatnet i Barsnesfjorden heilt sidan 1916, med varierende intervall. Desse målingane syner oksygenfattig vatn frå ca 20 m og nedover, med tidvis oksygen svikt og H₂S nær botn. I nyare tid har ein målingar frå 1984 (Hovgaard 1985), 1991-1993 (Dale og Hovgaard 1993) og 1999 (Myrseth m fl. 2000). Desse målingane stadfester dette biletet av tilstanden. I februar 1993 blei det målt under 2 ml/l oksygen så grunt som i 25 m djup, på slutten av ein langvarig stagnasjonsperiode.

Gjennomsnittleg oksygenforbruk i stagnasjonsperioden i 1991 vart rekna til 0,25 ml/l/mnd i 25 m djup og 0,41 ml/l/mnd i 50 m djup.

Det er i tillegg registrert ein tendens til gradvis lågare oksygenverdiar dei siste ti-åra, ein tendens som kan ha byrja alt seint på 1970-talet (T. Dale, pers. medd). Myrseth m. fl. (2000) som fann H₂S ved botn i begge bassenga i oktober 1999, oppsummerte dei tre siste måleseriane, og konkluderer med at tilhøva har blitt forverra sidan 1984; "...Dette er foruroligende og det bør holdes øye med utviklingen videre". Tilsvarande tendens er for øvrig registrert i fjordar på Sørlandet t.o.m. Rogaland (Aure m. fl. 1997), mens fjordar lenger nord førebels ikkje har vore gjenstand for likande systematiske dataanalyser.

I oktober 1999 blei det registrert svært høgt innhald av fosfor i overflatelaget (tilsv. SFT tilstandsklasse V- "Meget dårlig"), mens nitratkonsentrasjonane var meir normale. Fosfatkonsentrasjonen i overflata synes ha auka dei siste åra, men nitrat har vore stabilt eller avtakande (Myrseth m. fl. 2000). Årsaken til dei høge fosfatverdiane er ikke avdekka i rapportane.

2.4.1 Vassprøver frå mai, 2003

Under synfaringa 12. mai 2003 blei det tatt vassprøver i Barsnesfjorden for analyse av oksygeninnhald (Winklers metode) og næringssaltinnhald. Resultata er synt i **Tabell 4**. Oksygenverdiane avtok med aukande djup så langt ned som prøver vart tekne (til 60 m). Frå 30 m og nedover hadde indre basseng lågare verdiar enn ytre basseng. Minimumsverdiar for oksygen i intervallet 2,5-3,5 ml/l tilsvarer SFTs tilstandsklasse III, "Mindre god" (SFT 1997). Verdien frå 60 m djup i indre basseng fell i denne klassen. Men denne prøveserien representerer neppe års-minimumet i 2003, og det blei heller ikkje tatt prøver heilt ned mot botn der verdiane sannsynlegvis var enno lågare. Tidlegare prøvetaking syner lågare verdiar og at djupvatnet hyppig kan klassifiserast i klasse V – "Meget dårlig" (< 1,5 ml/l).

Den enkle måleserien for fosfor/fosfat og nitrogen/nitrat (**Tabell 4**) gjev ikkje nok statistisk grunnlag for å kunne klassifisere vasskvaliteten i h.h.t. SFTs kriteriar, men kan nyttast i samanlikning med tidligare prøver og som referanse ved eventuell overvaking eller påfølgjande gransking.

Tabell 4. Resultat av analyser av vassprøver i Barsnesfjorden 12. mai 2003. Alle prøver analysert ved NIVA.

Djup ↓	B2	B1	Stasjon B1, Indre basseng			
	Oksygen, ml/l		Tot-P [$\mu\text{g/l}$]	PO ₄ -P [$\mu\text{g/l}$]	Tot-N [$\mu\text{g/l}$]	NO ₃ -N [$\mu\text{g/l}$]
0,5 m	-	-	4	2	220	95
20 m	5,69	5,07	-	-	-	-
30 m	4,20	3,98	-	-	-	-
40 m	4,24	3,83	-	-	-	-
50 m	4,16	3,72	35	33	290	185
60 m	4,13	2,79*	-	-	-	-

*) Prøven tatt i 56 m djup.

Tabell 5. Samanstilling av verdiar for næringssalt i Barsnesfjorden i 1984, 1993, 1999 og 2003. Det var forskjellig tidspunkt og djup for prøvetaking og prøver blei tatt delvis i ytre (B2) og delvis i indre (B1) basseng.

Djup	Parameter	okt. 1984, B2	apr. 1993 B2	okt. 1999, B1	mai. 2003, B1
Overflate	Tot-P [$\mu\text{g/l}$]	-	-	48	4
	PO ₄ -P [$\mu\text{g/l}$]	3,1	< 1,8	47	2
	Tot-N [$\mu\text{g/l}$]	-	-	204	220
	NO ₄ -N [$\mu\text{g/l}$]	103	30	106	95
50/60/ 75m	Tot-P [$\mu\text{g/l}$]	-	-	868	35
	PO ₄ -P [$\mu\text{g/l}$]	50	81	865	33
	Tot-N [$\mu\text{g/l}$]	-	-	536	290
	NO ₄ -N [$\mu\text{g/l}$]	368	35	204	185

Tabell 5 gir ein forsøksvis samanstilling av næringssaltprøver frå ulike år. Både prøvetakingstidspunkt, prøvedjup og aktuelt basseng for prøvetaking har variert, så ein må vere varsam med å samanlikne og trekke slutningar på grunnlag av dette materialet. Prøvene frå oktober 1999 framtrer imidlertid som langt høgere enn andre prøver, og er så høge (fosfor) at det kan vere mistanke om analysefeil.

2.5 Botnfauna og sediment

Tidlegare granskingar av botnfaunaen i djupbassenga i Barsnesfjorden (1984, 1993 og 1999) syner alle fråver av levande dyr, p.g.a. oksygensvikt. Sedimentprøvene har hatt markert lukt av H₂S, som stadfester årsaken. Botnprøver tekne på grunnare vatn (32 m) i 1999 avdekkja relativt gode tilhøve for dyreliv der, men framleis var det noko låg diversitet og jevnhet.

Sedimentprøvene i 1999 i indre basseng synte grått, finkorna sediment, med 99% leire og silt, samt 1 % sand, og 8,1 % glødetap (sistnemnde verdi representerer innhald av organisk materiale i sedimentet). I ytre basseng var sedimentet grå-svart og finkorna; 98 % leire-silt, og 2 % sand, og med 8,3 % glødetap (Myrseth m. fl. 2000). Om lag same låge glødetapsverdi blei observert i forrige gransking, i 1993.

2.6 Istilhøve

Sogndalsfjorden er oftast isfri, men kan vere kortvarig islagt nokre vintrar. Seinast skjedde dette vinteren 2002-2003 då isen i fleire veker var for tjukk til at snøggåten kunne anløpe Sogndal. Barsnesfjorden blir islagt kvar vinter. Det er gjort registreringar av istilhøva der m.a. i perioden 1982-1985, og i 1990-1993. Hovedtrekket er at isen byrjar legge seg i november/desember, og forsvinn omkring mars/april. Om hausten kan isen kome og gå i fleire korte bolkar, før den legg seg permanent.

Det dannar seg ofte/alltid ei råk i munningen av Barsnesfjorden (også når Sogndalsfjorden er islagt). Istjuckleiken kan bli 8-9 cm, med målt isdanningsrate i kuldeperioder på 1,8 cm/dag (Dale og Hovgaard 1993). I perioden 1990-1993 blei det observert ein lang open råk gjennom alle tre vintrane utanfor Årøyelva og ved Vetleøyne. Tendensen synes vere at råker i fjorden oppstår på grunne parti der det er sterkare straum enn ellers. NIVAs målingar frå 12. mai 2003 (**Figur 6**) synte innslag av varmt vatn nær overflata både inne ved Årøyelva og i fjordmunningen ved brua. Desse målingane kan forklare årsaken til råkdanning: Lokal oppstrøyming av varmare vatn frå under brakkvasslaget.

Om våren byrjar isen å gå først ute ved Loftesnes, og eit par veker seinare kan heile fjorden vere isfri. Isen i indre deler av fjorden blir gjerne broten opp og ført ut av fjorden med straumen før den smeltar heilt. Seinast i 2003 låg det isflak på fjorden til 1. april, mens det ikkje var spor av desse dagen etter (-dagen for NIVAs første synfaring).

3. Årøyelva



Figur 8. Kart over indre deler av Barsnesfjorden med utløpet av Årøyelva.

3.1 Årøydeltaet

Årøyelva har eit kort og bratt løp frå Hafslovatnet (169 mo.h.) Det er breelvavsettingar ovanfor deltaområdet, ellers er det sparsomt lausmassedekke i området. Elva har eit samla løp, og gjer ein stor sving på deltasletta før utløpet, der det er ein karakteristisk munningsbanke (**Figur 8**). Materialtransporten har vore dominert av botntransport.

På grunn av den låge saliniteten i brakkvasslaget i Barsnesfjorden har deltaet få saltvassartar. I tillegg til ei lita bord med strandrøyr finnast sumpmaure, sylblad og småvasshår i strandsona. Det er trevegetasjon langs nokre strekkingar i indre delar, ellers typisk strandeng og seminaturleg engvegetasjon langs elveløp og vasskantar (**Figur 9**). Området fungerer som rasteplass for våtmarksfugl, og laksand er vanleg om vinteren.

Figur 10 syner eit parti av den lakseførande strekkinga av Årøyelva.

Det ligg nokre få hus i tilknytning til gardsbruk på deltaflata, og den indre deltaflata er for det meste fulldyrka. Det finst nokre mindre traktorveggar og vegstumpar i deltaområdet. Utfylling av steinmassar vart gjort på vestsida tidleg på 1980-talet. Vassføringa og fordelinga av denne over tid er sterkt prega av reguleringa av Årøyelva. Gjennomgåande høg vassføring og moderat omfang av innmark og busetnad i nedbørfeltet gjer at ureiningspåverknaden er relativt liten.



Figur 9. Årøydeltaet fotografert 12. mai 2003, sett mot vest.



Figur 10. Årøyelva, øvre del av lakseførende strekning, fotografert 12. mai 2003.

3.2 Vassdragsregulering

Årøyvassdraget er regulert. Første regulering var i 1942, og siste regulering med oppstart av Årøy kraftverk var i mai 1983, der ein m.a. nyttar smeltevatn frå Jostedalsbreen. Årøy kraftverk har lite magasin i forhold til tilsig, og har ei installert effekt på 94 MW, fordelt på 3 aggregat på høvesvis 70, 20 og 4 MW. Middelproduksjonen er på 340 GWh.

Vassinntaket til Årøy kraftstasjon ligg i Osen på Hafslovatnet. Fallhøgda er på 147,7 m. Hafslovatnet sitt hovudtilsig kjem frå Veitastrondsvatnet, som strekkjer seg inn til Jostedalsbreen, og mykje av produksjonen ved kraftverket er basert på smeltevatn frå breen. Veitastrondsvatnet har eit magasin på 45 mill m³, medan magasinet til Hafslovatnet er på 7,8 mill m³.

Vassføringa i Årøyelva har eit årsmiddel på ca 30 m³/s (Dale og Hovgaard 1993). Den er i hovudsak styrt av kraftverksdrifta, og kan delast inn i nokre typiske situasjonar, sjå **Tabell 6**.

Tabell 6. Typiske vassføringssituasjonar i Årøyelva, etter opplysningar frå Kai-Vidar Myrhol i Sognekraft.

Vårsituasjon v/middels flom:	Opp til 80-100 m ³ /s
Sommar/haust:	Opp mot 70-80 m ³ /s (tilsv. slukeevna til kraftverket). Middelverdi er ca 50 m ³ /s for perioden april-september.
Vinter:	Ned mot 5-6 m ³ /s i perioder. Middelverdi for perioden okt.-mars ligg rundt 10 m ³ /s.

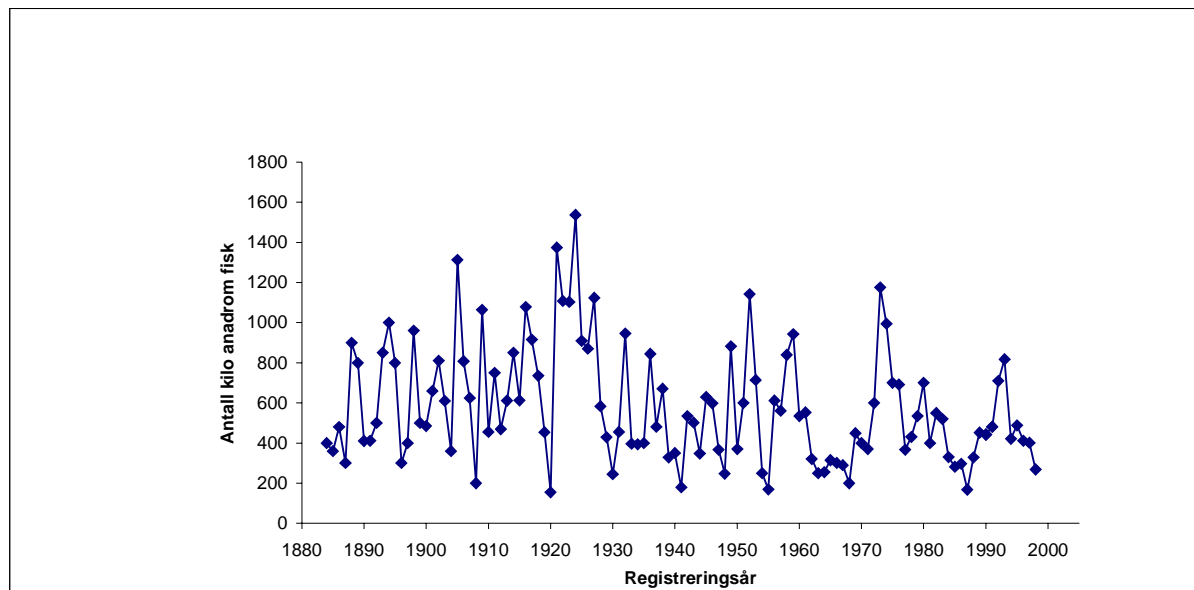
I tillegg førekjem meir kortvarige flaumsituasjonar med vassføringar frå 160 og opp til 200 m³ s⁻¹. Regulanten, Sognekraft A/S, er pålagt ei minstevassføring på 3 m³ s⁻¹. Ein slik situasjon vil representere vasstap for regulanten, og iflg. Jacob Hordnes, Sognekraft A/S (pers. komm.) har ein til no ikkje opplevd så låge vassføringar. Ved kontrollert nedtrapping av vassføringa skal reduksjonsraten ikke overstige 6 m³/s pr. time. Den totale ferskvasstilførsel er om lag 1 km³/år.

3.3 Fiske og kultivering

Fiskeretten i Årøyelva vert eigd av familien Hovland, som óg driv Nye Årøy Klekkeri. Det vert utsett 5.000 2 årig laksesmolt i vassdraget kvart år. Pålegget er endra frå 50.000 einsomrig setjefisk. Utsetjinga vert gjort som eit kompensasjonstiltak kosta av regulanten, Sognekraft A/S.

Naturleg fiskeproduksjon i vassdraget ligg idag truleg mellom 3.000 og 8.000 smolt, i hovudsak laks (Arnt Chr. Hovland, pers. komm.). Elvefangstane ligg på 60-100 laks pr år, dvs. frå 300-400 til 1.200 kg (sjå **Figur 11**). Andelen oppdrettsfisk ligg på 20-30%. I tillegg vert det fanga 50-100 sjøaure i vassdraget. Brislingfisket i Barsnesfjorden tek truleg bifangst av laks og sjøaure.

Maks. uttak av laks i elva er bestemt til å ligge på 30-40% av gyteinnsiget. Gytebestanden blir registrert ved dykking.



Figur 11. Fangststatistikk for Årøyelva (laks og sjøaure). Kjelde: Statistisk sentralbyrå.

4. Hydrodynamisk simulering

Simuleringane er utført i to delar. Først ein simulering av strømførholda ved den noverande brua, og deretter blir det vurdert korleis strømførholda kan bli endra ved utbygging av ny bru med ny utfylling og evt gjenstående pilarar. Simulert fyllingsalternativ samsvarar med "Alternativ 4", jamfør avsnitt 1.2 og **Figur 3**. Metodikken blir kortfatta omtalt nedanfor.

Sirkulasjonen i overflatelaget

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget har vi brukt modellen SMS/RMA-2. Forkortinga SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneheld den numeriske modellen RMA-2. Modellen er lagd ved Brigham Young University, Utah, U.S.A., i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, og U.S. Federal Highway Administration (ECGL, 1995). RMA-2 er ein dynamisk, todimensjonal, djupne-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen bereknar løysingar ved hjelp av endelig-element metoden. Likningane er synt i tekstboksen.

Likningar:

Gruntvasslikningane i RMA-2 er Navier-Stokes likningar for bevaring av rørslemengde og volum (volumkonservering).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial (uh)}{\partial x} + v \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\epsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\epsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

x = Distanse i x-retning (positiv mot aust)

y = Distanse i y-retning (positiv mot nord)

u = Horisontal strømfart i x-retning

v = Horisontal strømfart i y-retning

t = Tid

g = Tyngdens akselerasjon

h = Vassdjup

ρ = (Sjø)vatnets densitet

ϵ_{xx} = Normal turbulent utvekslingkoeffisient i x-retning

ϵ_{xy} = Tangensial turbulent utvekslingkoeffisient i x-retning

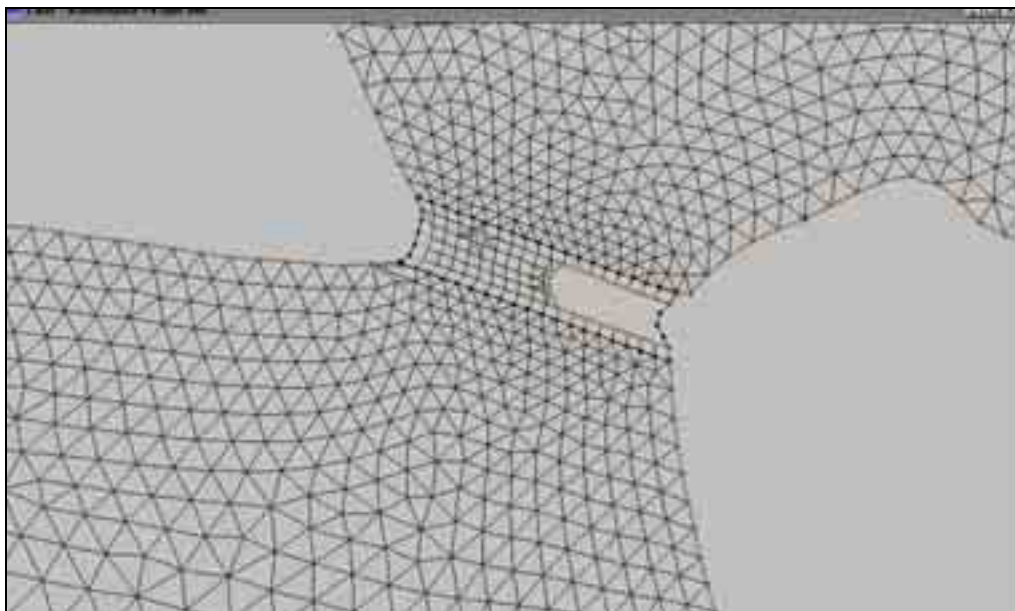
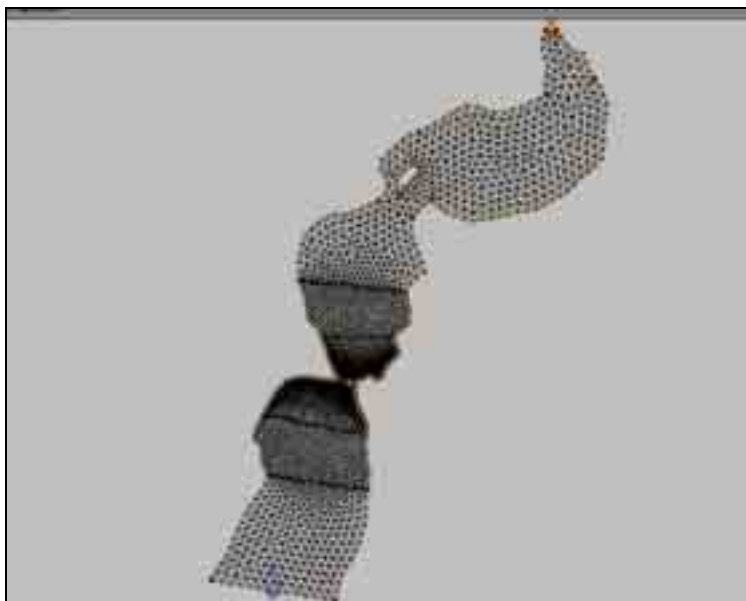
ϵ_{yx} = Tangensial turbulent utvekslingkoeffisient i y-retning

ϵ_{yy} = Normal turbulent utvekslingkoeffisient i y-retning

C = Chezy ruhetskoeffisient (Berekna ut frå Mannings n)

f = Coriolis parameter

Modelleringa byrjar med konstruksjon av eit numerisk nettverk (grid) med diskrete punkt (dvs. data over posisjon og djup for punkta i eit nettverk, som sidan blir interpolert til eit grid i SMS). **Figur 12** viser nettverket som var utgangspunktet for berekningane – utan pilarar eller andre konstruksjonar. Dei minste elementa er ca. 100 m² og dei største ca. 5.500 m², men ved simulering av pilarar vart det også brukt element med areal på 25 m².



Figur 12. Nettverket eller gridet for Barsnesfjorden som er utgangspunktet for simulering av overflatesirkulasjon med RMA-2 modellen. Øvste figur viser heile området. Nedste figur viser nettverket omkring brua. I kvart hjørne av elementa og midt på kvar side blir høgda over referansedjupet berekna for strømrøtning og strømfart. Ved brua er kvadrata ca. 10mx10m, men dei aller minste elementa er ca. 5mx5m.

Ein må tileigne nettverket ein initialtilstand. Dette blir gjort ved å legge ein horisontal, plan overflate over heile nettverket. Modellen treng så ein del tid ("spin up") på å finne representative løysingar.

Ved hjelp av topografiske data, grenseflatevilkår og initialvilkår bereknar RMA-2 løysingar for kvart tidssteg. Modellen bereknar verdiar for fart, retning og vannstand i kvart av punkta i gridet der det er lagt inn posisjon og djup.

Ein slik type modell eignar seg til å beskrive sirkulasjonen i overflatelaget i Barsnesfjorden, når ein betraktar dette som ein vertikalt homogen vassmasse over ein horisontal, flat botn. Spesielt vil modellen framheve område med bakevjer og svak strøm. Vidare vil berekningane gje grunnlag for å sammenlikne strømsstyrke og evt. bakevjedanning ved plassering av pilarar og steinfyllingar.

4.1 Inngangsdata til modellen

Det blir simulert strøm i eit ca. 2 meter tjukt overflatelag. Modellen får verdiar for dei turbulente utvekslingskoeffesientane og for botnfriksjons-koeffesienten Mannings n . Turbulens og friksjon varierer med strøm- og botntilhøva, og er samtidig ein eigenskap ved sjølve rørsla til vatnet slik at desse storleikane er vanskelege å bestemme nøyaktig. Oppgjevne storleikar på koeffesientane varierer med fleire størrelsesordenar (ECGL, 1995), men utan at berekningsresultata endrar seg tilsvarende mykje. Botnfriksjonen (Mannings n) er for Barsnesfjorden satt lik 0,020 (motsvarar moderat "friksjon" mot djupvatnet og sidene).

Strømforholda i overflatelaget vil oftast vere bestemt av ferskvasstilførselen frå Årøyelva og av tidevatn, vind og den topografiske utforminga av fjordmunningen. Ferskvatnet som blir tilført fjorden, blandar seg med sjøvatnet og dannar eit brakkvasslag som flyt ut fjorden. Karakteristikken for brakkvasslaget i Barsnesfjorden er ikkje godt kjent; NIVAs målingar i april og mai 2003 gjev ein indikasjon på tilhøva om våren. Målt salinitet på om lag 20 i 1 m djup ved brua tyder på at brakkvasstrømmen då kan ha vore om lag $100 \text{ m}^3/\text{s}$ i området ved Loftesnesbrua.

Vi kjenner ikkje til at det er utført måling av tidevatnet i Barsnesfjorden og nyttar difor beregningar for Lærdal. I følge Tidevanntabeller frå Norges Sjøkartverk er den gjennomsnittlege skilnaden mellom høgvatn og lågvatn ved Lærdal hamn ca. 104 cm. Tidevatnet er halvdagleg. Skilnaden mellom middel spring høgvatn og lågvatn er ca. 140 cm. Ved synkande vasstand vil utstrøyminga ved brua vere maksimal, mens ved stigande vasstand kan netto innstrøyming vere mindre fordi utstrøymande brakkvatn og innstrøymande tidevatn er motsatt retta.

Strømfarta og strømmens retning i sundet vil variere mykje som følge av varierende

- ferskvasstilførsle
- tidevassfase
- meteorologiske tilhøve (vind og lufttrykk)

Alle simuleringane er gjort ved "dynamisk" kjøring av modellen, dvs at overflatenivået blir endra med tidssteg på 1/2 time over to 12,5 timars tidvassperioder og elles med konstant utstrøyming av brakkvatn frå fjordens indre del. Kvar simulering gjev dermed ein serie på 50 bilete som syner korleis strømmen varierer i høve til flo/fjøre. I det etterfølgjande fokuserer vi på situasjonar der utstrøyming av brakkvatn fell saman med fallande sjø med utgåande tidevasstraum (sjå oversiktsbilete i **Figur 13**). Dette er ein situasjon då strømfarten normalt vil vere stor. Det blir også synt nokre døme på inngåande straum.

4.1.1 Utbyggingsalternativ og modellscenarier

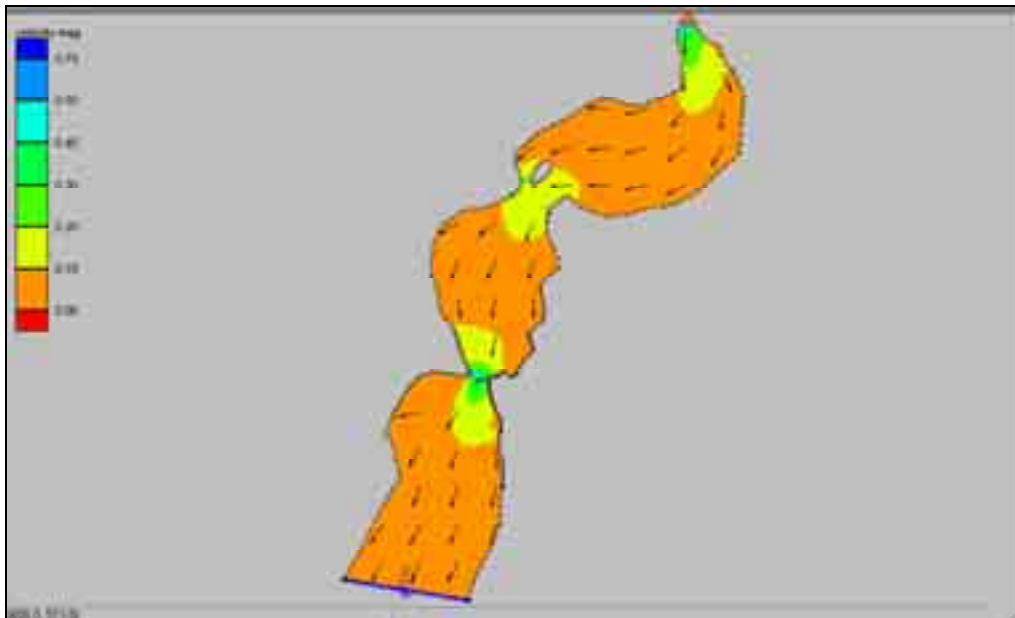
Dei forskjellige scenariene for munningstopografi og vassføring er samanfatta i **Tabell 7**.

Tabell 7. Hovedscenarier for berekning av straumen i dei øvste 2 m i fjorden (brakkvasslaget). Alle simuleringane er med 1/2-dagleg tidevatn.

Scenario	Situasjon	Utstrøyming i brakkvasslaget
S1	Noverande utfylling med 2 pilarar	100, 150 m ³ /s
S2	Ny fylling (tilsv. "Alternativ 4"), uten pilarar	50, 100, 150 m ³ /s
S3	Ny fylling, og 1 gjenstående pilar	50, 100, 150 m ³ /s

I tillegg er det gjort ei simulering med 20 m³/s utstrøyming, som motsvarar låg vintervassføring i Årøyelva.

Ferskvasstilførsle frå Sogndalselva er ikkje lagt inn i modellen.

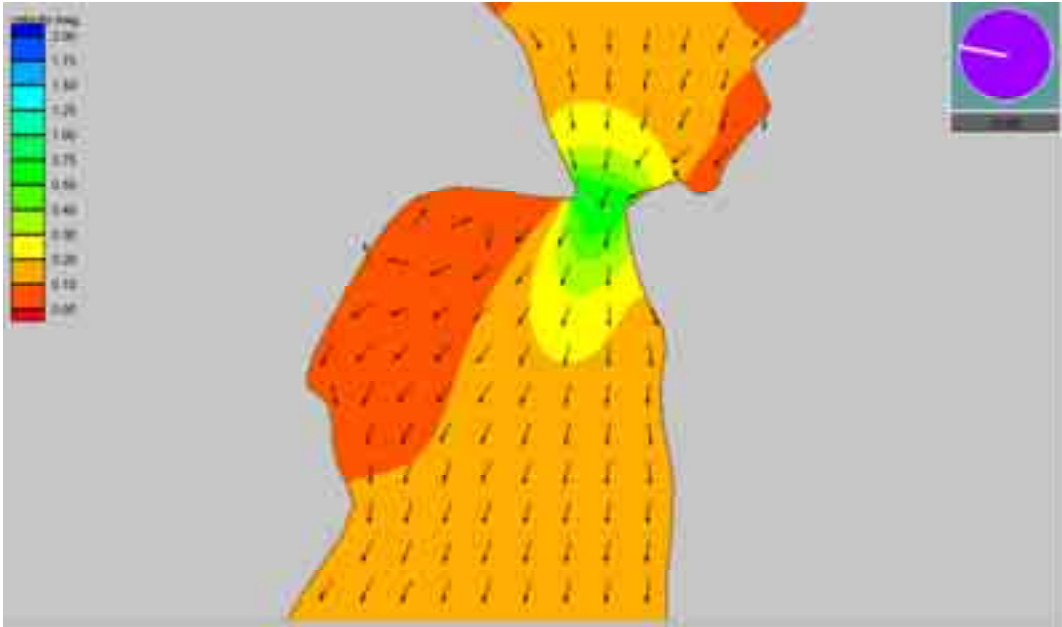


Figur 13. Oversiktsbilde, Barsnesfjorden og indre del av Sogndalsfjorden. Utstrøyming av 150 m³/s i 2 m tjukt brakkvasslag. Pilene syner strømmens retning og strømfarten er synt med fargeskala (sjå figurens øvre venstre hjørne – eininga er m/s).

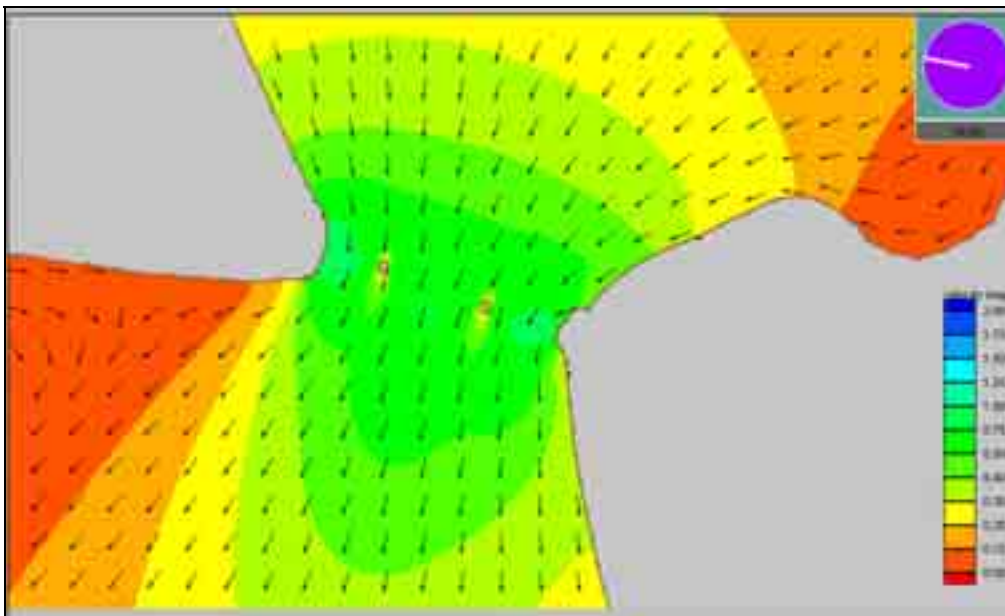
4.2 Resultat for scenario S1: noverande utfylling m/ 2 pilarar

Hovedtrekka er synt i **Figur 14** og **Figur 15** som begge illustrerer ein situasjon der brakkvassstrømmen utgjer ca. 100 m³/s samtidig som tidevatnet strøymar ut av fjorden. Strømfarten midt i sundet (fjordmunningen) er ca. 0.5 m/s.

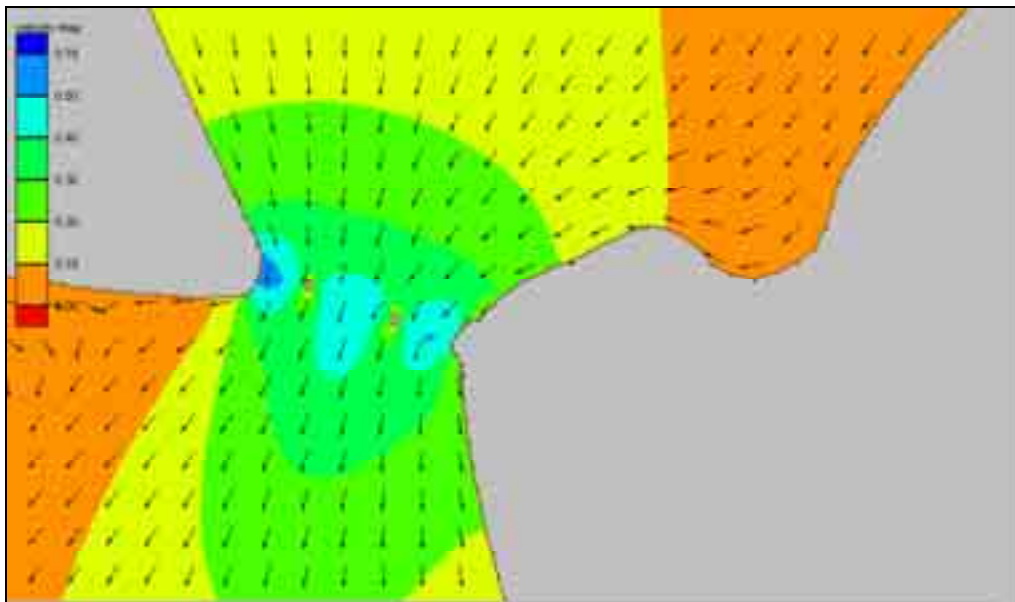
På utsida av brua i retning Sogndal sentrum opptrer ein stor og langsam virvel, mens det ikkje er motsvarande virvel på austsida, sør for dagens korte fylling. Dei to pilarane skaper horisontalt strømskjer og små og lokale virvlar. Dette ser ein tydelegare i **Figur 16** og **Figur 17** ved 150 m³/s utstrøyming.



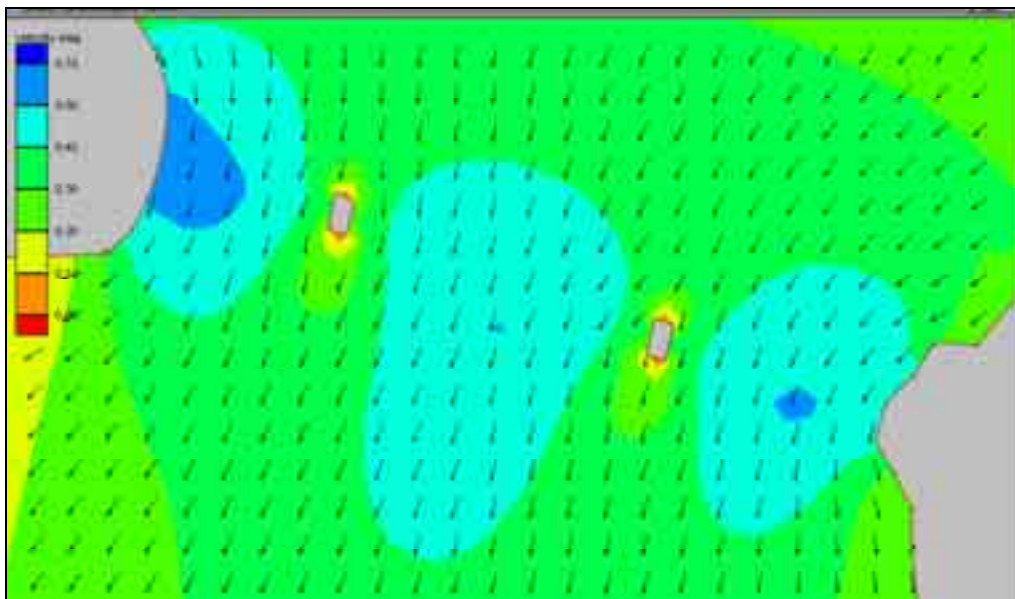
Figur 14. Oversiktsbilette med simulering av sirkulasjon i 0-2 m djup ved brua med noverande topografi, ustrøyming av $100 \text{ m}^3/\text{s}$ brakkvatn og fellande sjø. Merk tendens til virvel/bakevje og eit svakstraumsområde som strekker seg sørover langs Sogndalsfjora (Sogndalselva er ikkje lagt inn i modellen, noko som sannsynlegvis ville kunne modifisere biletet).



Figur 15. Simulering av sirkulasjon i 0-2 m djup ved brua med noverande topografi og utstrøyming av $100 \text{ m}^3/\text{s}$ i brakkvasslaget (fallande vasstand). Dei to pilarane er synlege som små rektangel.



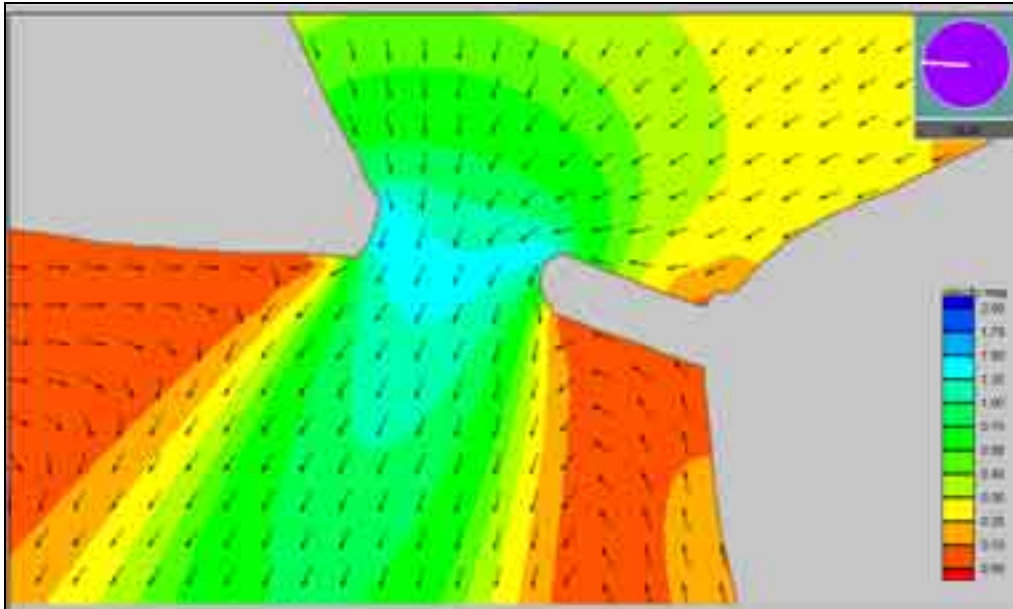
Figur 16. Ved brua, noverande fylling. To pilarar er synlege som to små rektangel. Utstrøyming av $150 \text{ m}^3/\text{s}$ i 2 m tjukt brakkvasslag. For forklaring, sjå tekst til forrige figur.



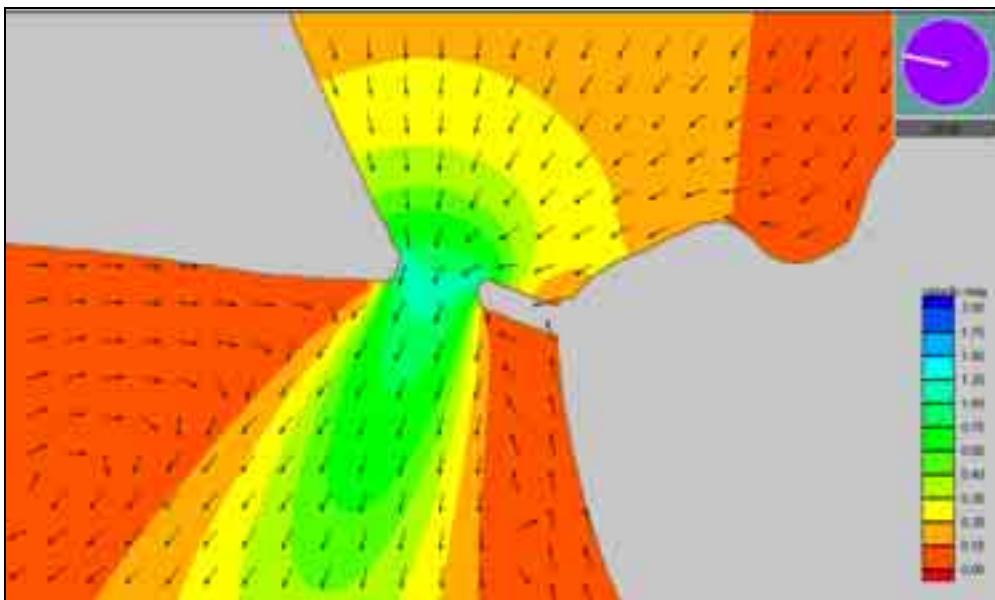
Figur 17. Nærbilete av situasjonen i **Figur 16** med 2 pilarar.

4.3 Resultat for scenario S2: Ny fylling, uten pilarar

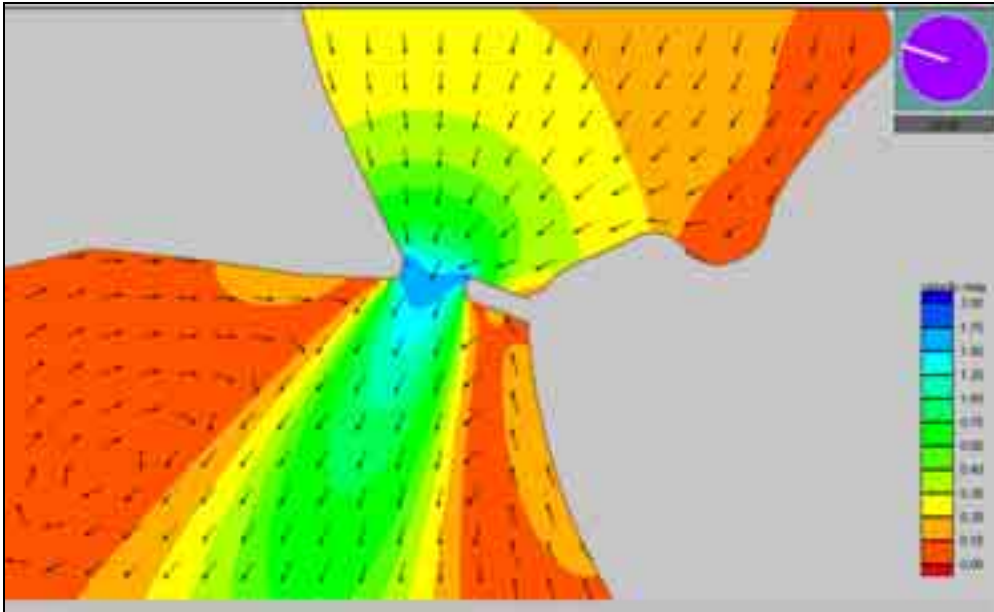
Den forventa sirkulasjonen i brakkvasslaget er illustrert i **Figur 18 - Figur 20**. Dette er bygd på sirkulasjonen ved ein brakkvasstrøm på h.h.v. 100 m³/s, 50 m³/s og 150 m³/s samt utstrøymande tidevatn. Strømfarten midt i sundet varierer med storleiken av brakkvasstrømmen og med tidevassfasen og på det sterkaste blir farten mellom 1-2 m/s.



Figur 18. Sirkulasjon med ny fylling, vassføring 100 m³/s og utstrøymande tidevatn.



Figur 19. Sirkulasjon med ny fylling, vassføring 50 m³/s og utstrøymande tidevatn.

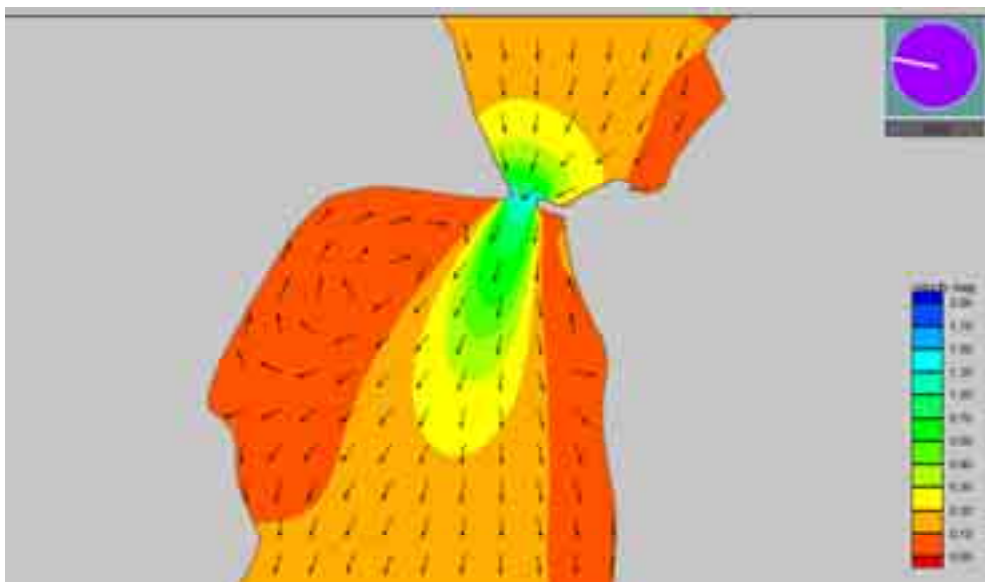


Figur 20. Sirkulasjon med ny fylling, vassføring 150 m³/s og utstrøymande tidevatn.

4.4 Scenario S3: Ny fylling, med ein gjenstående pilar

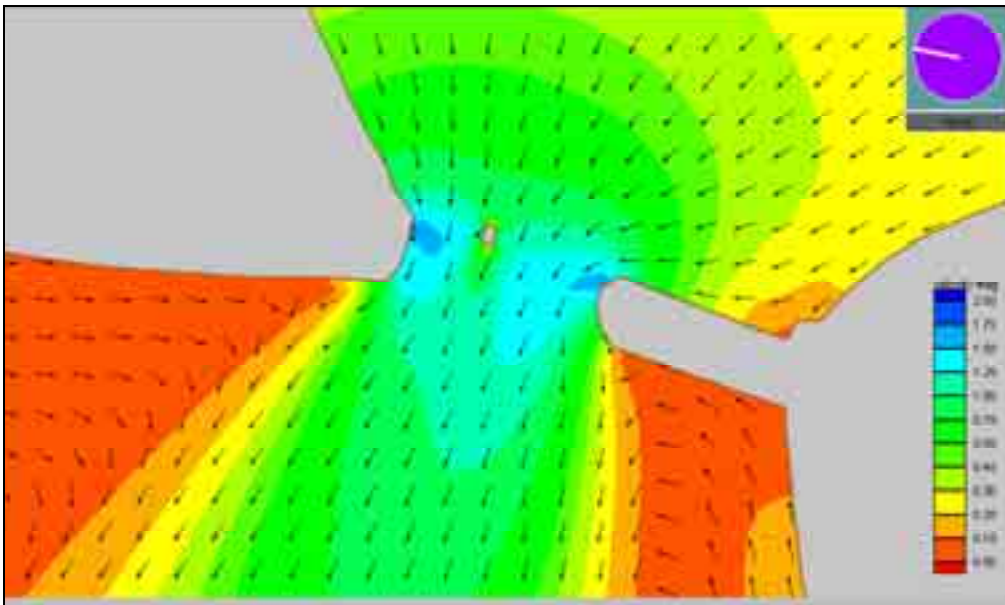
Den forventa sirkulasjonen i det utstrøymande overflatelaget er skissert ved fire figurar **Figur 21 - Figur 24**, med brakkvasstrøm på h.h.v. 100, 50 og 150 m³/s samtidig som tidvatnet strøymar ut av fjorden. Vi ser at utfyllinga på sundets austside (Loftesnes-sida) vil skape eit område med svak strøm/bakevje som strekkjer seg fleire 100 m nedstrøms.

Ved innstøyming synest det danne seg ei liknande bakevje på innsida av fyllinga (sjå **Figur 25**) noko som vil kunne berøre gruntvassområdet innover mot Skrivargarden på Loftesnes.

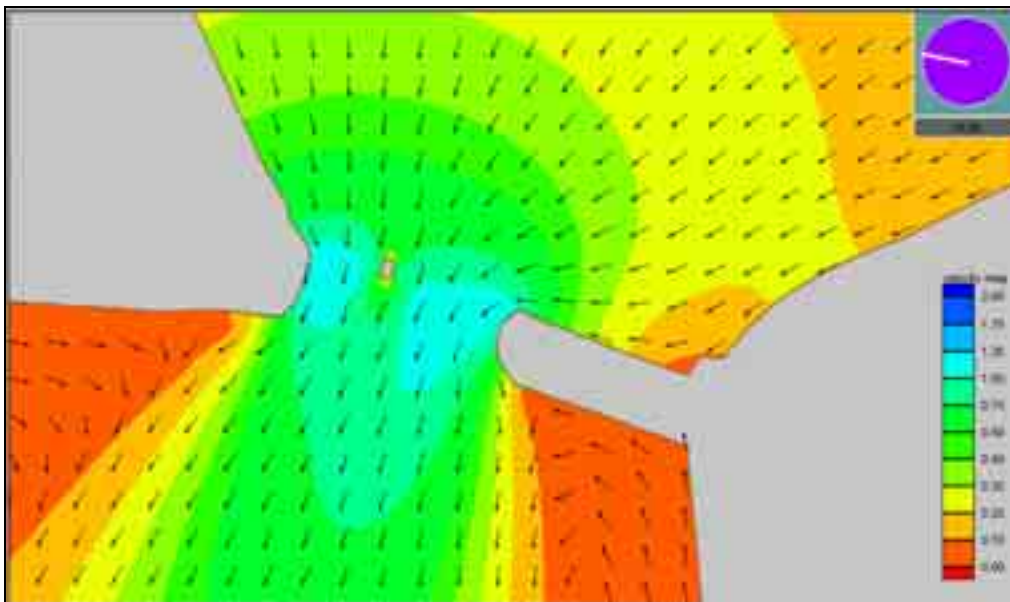


Figur 21. Oversiktsbiletete ved ny utfylling og ein gjenstående pilar. Merk bakevjeområder på begge sider i Sogndalsfjorden.

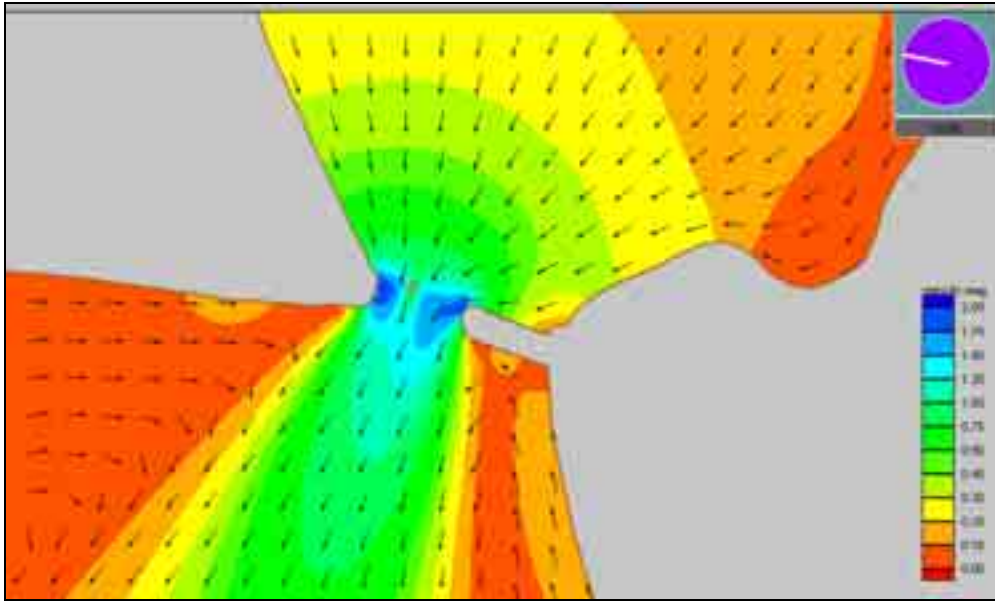
Den gjenstående pilaren har ein tydeleg innverknad på gjennomstrøyminga i opninga ved at strømfarten aukar sterkt på begge sider av tverrsnittet. Dette kan vere negativt både for båtferdsle og for den jamne vassutskiftinga i brakkvasslaget.



Figur 22. Utfylling og 1 gjenstående pilar. Sirkulasjon ved brakkvasstrøm $100 \text{ m}^3/\text{s}$ og utstrøymande tidevatn.



Figur 23. Utfylling og 1 gjenstående pilar. Sirkulasjon ved brakkvasstrøm $50 \text{ m}^3/\text{s}$ og utstrøymande tidevatn.

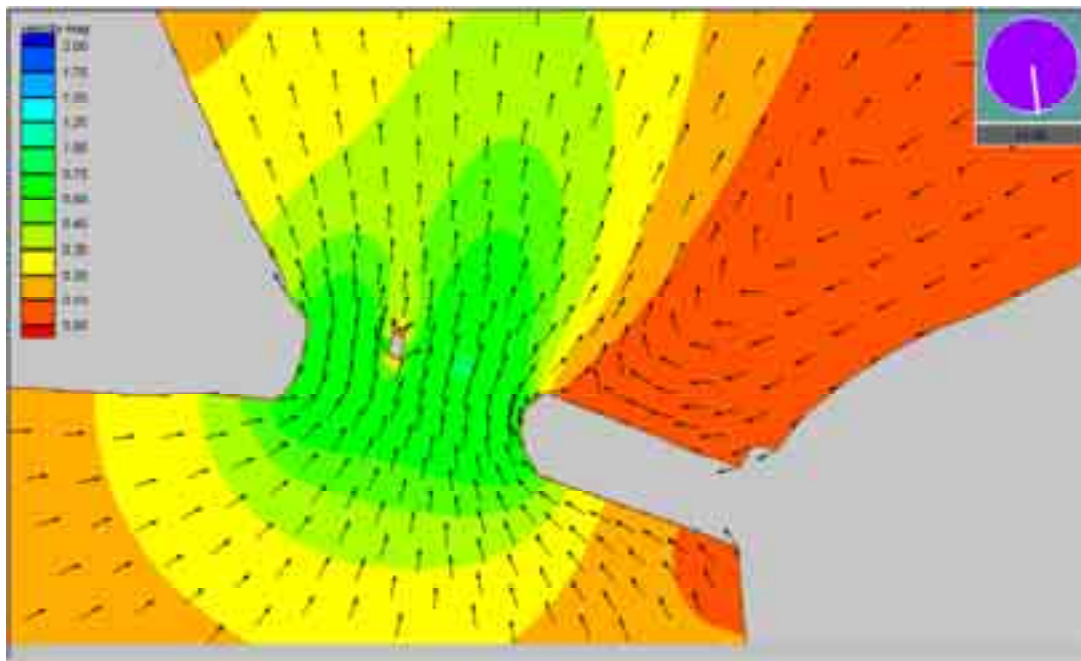


Figur 24. Utfylling og 1 gjenstående pilar. Sirkulasjon ved brakkvasstrøm $150 \text{ m}^3/\text{s}$ og utstrøymande tidvatn.

4.4.1 Låg vassføring

Vinterstid kan vassføringa i Årøyelva vere om lag $10 \text{ m}^3/\text{s}$ eller lågare, dvs. langt mindre enn i sommarhalvåret. Låg vassføring vil kunne endre utstrøyminga forbi brua og i fjorden utanfor.

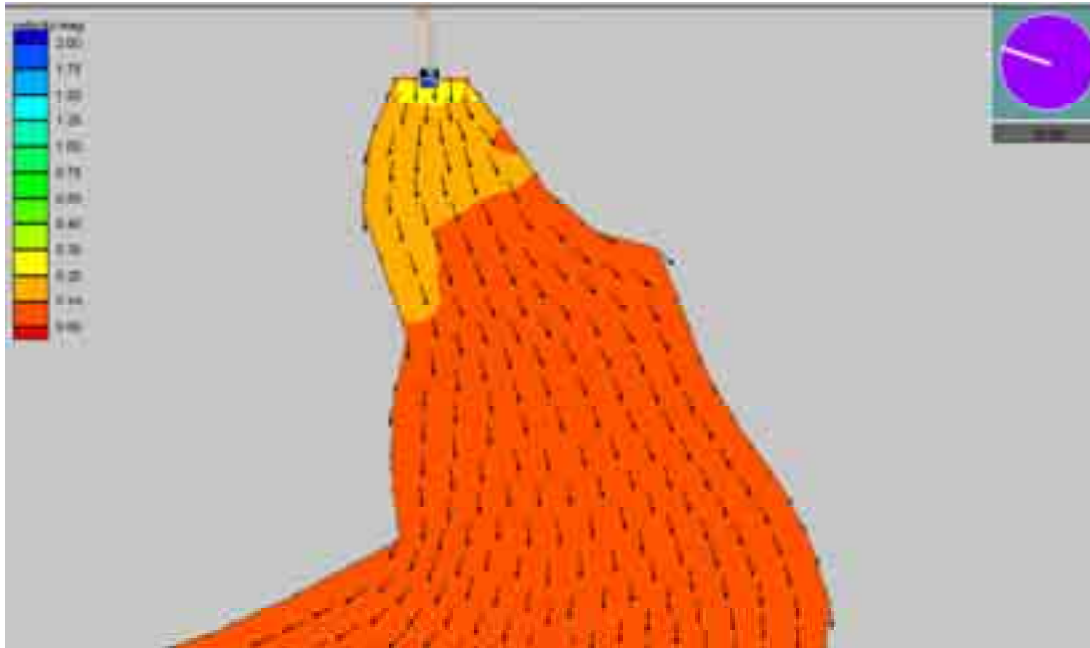
Figur 25 syner strømmen i munningsområdet ved svak elvetilførsel ved innstrøymande tidvatn, der tidvatnet dominerer over brakkvasstrømmen. Det framtrer tydeleg ei bakevje bak (innafor) fyllinga. Tilsvarende simulering med sterkare brakkvasstrøm ga mindre tydeleg bakevje.



Figur 25. Simulering av strømmen ved fløande sjø og liten tilrenning. Merk bakevja bak fyllinga.

4.5 Årøydeltaet

Som eit siste scenarie har vi tatt med utsnitt av utløpet av Årøyelva, d.v.s. utanfor det indre deltaet, ved middels vassføring og fallande sjø (**Figur 26**). Resultatet indikerer at der er relativt svak strøm i dette området, med tendens til litt sterkare strøm på vestsida av munningsområdet.



Figur 26. Utløpet av Årøyelva ved låg/moderat vassføring ($50 \text{ m}^3/\text{s}$ i brakkvatnet) og fallande sjø.

5. Berekingar med bassengmodell for oksygen

Vi har nytta modellen "Fjordmiljø" (Stigebrandt 1992) for å søke finne ut kva effekter endra munningstopografi ved brua kan medføre for djupvasskvaliteten (oksygen) i Barsnesfjorden. Dale og Hovgaard (1993) gjorde også simulering med Fjordmiljø, og deira resultat gjev såleis eit samanlikningsgrunnlag.

Det må innleiingsvis skytast inn at "Fjordmiljø" baserer seg på tidsseriar for hydrografi frå kyststasjonar (Sognesjøen ligg nærast Sogndal). Hydrografiske tilhøve inne i Sognefjorden er noko annleis enn ute ved kysten, slik at modellen neppe gjenspeglar tilhøva der fullstendig. Men den bør likevel vere ein god reiskap for å sjå på relative endringar i utskifting m.m.

Innleiingsvis har vi gjort tilsvarende simuleringar som Dale og Hovgaard for å verifisere at vi får same resultat. **Tabell 8** syner data for for topografi (munning og fjordbasseng), ferskvasstilførsle m.m. som blei nytta. Med samsvarande input til modellen får vi same resultat som Dale og Hovgaard, m.a.o. der er konsistens mellom desse modellkjøringane.

Tabell 8. Verdier for simuleringane med Fjordmiljø for Barsnesfjorden som vart nytta av Dale og Hovgaard (1993). Vi har nytta same talmaterialet, med unntak av verdiane for fjordmunningen som vi har variert i høve til fyllingslengder.

Fjordmunningen		Fjordbassenget	
Djup	Tverrsnitt	Djup	Horis. areal, km ²
0 m	200 m	0 m	4,5
7 m	150 m	20 m	3,1
		40 m	2,0
		60 m	0,8
		75 m	0,4
Bassengdjup, H _{max} :	75 m	Terskeldjup, H _t :	7 m
Midl. bass. djup, H _b :	33,5 m	Tot bass. vol:	0,164 km ³
Volum over terskel:	0,0298 km ³	Vol. under terskel:	0,1342 km ³
Tilførsler, N/år	152,5 tonn	Tilførsler, P/år	16,9 tonn
Midl. ferskvasstilr.	29,8 m ³ /s	O ₂ i "nytt" bassengvatn	5,3 ml/l

5.1 Simuleringar for forskjellig munningstopografi

Vi har tilgang på Vegvesenets nye oppmålingar (kart) på terskelen under/ved brua, og kan legge inn meir nøyaktige data for munningsområdet enn det Dale og Hovgaard hadde høve til. Vi har nytta reviderte verdier for h.h.v. dagens fyllingar, og for nokre framtidige moglege fyllingslengder.

Vi har nytta 9 m som terskeldjup sidan dette ser ut til å høve betre enn tidlegare nytta 7 m for "middeltstanden" (jamfør avsnitt 2.1). Ryggen som strekker seg mot vest frå Loftesnes-sida ut forbi fyllinga, medfører at djupare avsnitt av munningen får same breidda for Alternativ 3 og 4 (ville bli som for "Dagens" dersom pilarane blei fjerna). For øvrig representerer dei ulike alternativa (**Tabell 9**) gradvis redusert tverrsnitt i opningen.

Tabell 9. Ulike fyllingslengder og terskelteversnitt som er nytta i modellsimuleringane.

Djup	Munningsbreidder (m) i 4 ulike djup ved ulike utfyllingsalternativ				
	Alt. 1. Ingen*	Alt. 2. Dagens	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5
0 m	210	155**	110	85	65
3 m	145	115**	100	80	60
6 m	85	75**	80	80	55
9 m	25	25	25	25	20

*) D.v.s. fylling på Sogndalssida som i dag, begge pilarane fjerna

***) Fråtrekt breidde av 2 pilarar, 2x5 m

5.2 Resultat

Fjordmiljø gjev fleire tabellar med resultat for ulike storleikar knytt til opphaldstider, vassutskifting og oksygenforbruk for brakkvasslaget (ved estuarin sirkulasjon), mellomlaget over terskel, og djupvatnet. For å lette samanlikninga har vi konsentrert oss om eit utval parametrar som dels berører øvre lag, og dels djupvatnet. Resultata er synt i **Tabell 10**.

Alle simuleringane ga negative verdiar for O_2 -minimum, d.v.s. i realiteten H_2S i djupvatnet. Dette er knytt til eit relativt høgt kalkulert oksygenforbruk, dO_2/dt , lik 0,34 ml/l/mnd. Resultatet for O_2 -minimum for dagens situasjon ser til å gje noko konservativt anslag i høve til det som er observert med H_2S i nokre år, ikkje alltid. Men denne forskjellen er ikkje stor, og uansett vil modellen kunne sei noko om i kva retning vasskvaliteten endrar seg med endra munningstversnitt frå det breiaste Alternativ 1 ("naturtilstanden") til utfylling som reduserer tversnittet til ca det halve av dagens 840 m².

Det framgår av resultatata at innsnevring av munningen medfører auka verdi for O_2 -minimum, m.a.o. betre vasskvalitet i djupvatnet, som sannsynlegvis kjem av sterkare turbulens og vertikalblanding (jamfør med aukande verdi på dp/dt). Opphaldstid for vatnet over terskelen aukar moderat med redusert tversnitt (med 7,5% i høve til dagens situasjon for Alt. 5). Effekter av dette avspeglar seg delvis i resultatata for djupvatnet.

Vi har i desse berekningane sett på fjordbassenget som eitt basseng, sjølv om der i realiteten er to mindre basseng med ein djupare terskel mellom. Dette kan bidra til ein viss forskjel i oksygenforbruk mellom bassenga, men for middeltstanden bør berekningane gje eit bra estimat.

Opphaldstida for ferskvatn i det øvste laget aukar meir markert med redusert tversnitt; nesten dobling frå dagens situasjon til Alt. 5. Dette kan kvantitativt påverke fenomen som islegging og algeproduksjon, og blir nærare omtalt seinare.

Tabell 10. Nokre resultat av simuleringane med Fjordmiljø for dei ulike tversnittsalternativa. Alt. 1 er tversnitt utan fylling ("naturtilstanden"), og Alt. 2 er dagens situasjon.

Parameter, resultat Fjordmiljø, v/fyllingsalt.	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3.	Alt. 4	Alt. 5
Munningstversnitt, m ²	1042	840	742	645	472
Tf, Ferskvatnets opphaldstid (døger)	1,1	1,4	1,7	2,1	2,5
Tv, opphaldstid, over terskel, døgn	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3
dp/dt , reduksjon i densitet pr mnd	0,032	0,041	0,048	0,059	0,096
O_2 -minimum i bassengvatn, ml/l	-7	-5	-4	-3	-0

6. Islegging

Barsnesfjorden blir islagt kvar vinter, men det finst oftast råker både i området ved brua og lenger inne (sjå avsnitt 2.6). Tidvis er også Sogndalsfjorden islagt. Reguleringa av Årøyelva har sannsynlegvis medført endra istilhøve, men dette er ikkje tema for foreliggende rapport, m.a.o. vi tar regulert Årøyelv og nåtilstanden i fjorden som utgangspunkt.

Dei mest aktuelle spørsmåla i tilknytting til islegging er:

- 1. Vil endra brufylling kunne medføre endringar i lokal-meteorologiske tilhøve?**
- 2. Kan endra fylling medføre auka, evt redusert islegging, eller endra isleggingsmønster?**
- 3. Kan endra brufylling medføre auka risiko for isoppstuving?**

Islegging om vinteren er ein naturleg prosess, som nye inngrep/tiltak i utgangspunktet ikkje bør endre på, særleg dersom slike endringar kan medføre forverra vilkår for samfunn og økologi. Vi har ikke utført noka “nytte-analyse” for isen, t.d. om den er viktig i samband med isfiske, evt. om den er til hinder for næringsverksemd, men tar utgangspunkt i at meir is/lengre isleggingsperioder vil representere ei negativ utvikling og bør unngåast.

Ein faktor som auka opphaldstid for overflatevatn i fjorden som følge av lenger fylling kan teoretisk sett bidra til auka islegging, dels p.g.a. brakkare vatn, og dels p.g.a. betre vilkår for lenger avkjøling i roleg farvatn. Brua kan også medføre meir oppstuving av is mot fylling(ar) og evt. gjenstående brukar. Modellresultata for sirkulasjon og opphaldstider synte at det kan bli tale om auka opphaldstid for overflatelaget i Barsnesfjorden dersom brufyllinga blir forlengd. Ei dobling i høve til i dag vil medføre tilnærma dobling av opphaldstida, frå om lag 1 til over 2 døgn. Bakevjer vil bli danna på begge sider av brufyllinga/fyllingane der isflak kan samle seg i perioder med smelting/oppbryting.

Proessen som leier til isdanning i sjøoverflata under avkjøling blir styrt av fleire faktorar. Dersom saliniteten er over 25 ppt, vil avkjølinga ned mot frysepunktet bidra til å auke overflatevatnets densitet, og det vil oppstå ein begrensa vertikalkonveksjon i celler. Denne konveksjonen vil medføre at litt varmare vatn blir ført opp til overflata. Dermed blir avkjølinga halden i sjakk, og islegginga blir utsatt. Dersom saliniteten er under 25 ppt, vil vatnet ved avkjøling opptre på same måte som ferskvatn. D.v.s. at det når sin maksimale densitet ved ein temperatur som ligg over frysepunktet. For sjøvatn med 25 ppt salinitet vil frysepunktet og temperatur for max. densitet falle saman ($-1,33^{\circ}\text{C}$). For sjøvatn med 20 ppt i salinitet vil frysepunktet ligge rundt -1°C , og mens temperaturen for max. densitet vil ligge rundt 0°C .

Dersom overflatevatnet er ferskare enn 25 ppt, vil m.a.o. avkjølinga medføre at det blir danna eit sekundært, tynt sjikt i overflata, som lett lar seg avkjøle vidare til frysepunktet. Derfor er det viktig å fastslå på kva side av 25 ppt verdien overflatevatnet ligg, og i kva grad brua vil medføre endringar den eine eller den andre vegen.

I tillegg til overflatesaliniteten er sjiktingstilhøva viktige for kor raskt isdanning kan skje. Dersom det er et relativt tjukt og velblanda øvre lag, vil avkjølinga ta lenger tid enn for eit tynt sjikt.

Ad. spørsmål 1:

Spørsmål 1 blir diskutert her, mens spørsmål 2 og 3 blir diskutert på bakgrunn av modellsimuleringane. Islegging blir i første rekke styrt av meteorologi. Det er gjerne i stille og kalde verperioder det er gunstige vilkår for isdanning, forutsatt at dei hydrografiske tilhøva i sjøen også er gunstige. Netto strålingsbalanse og direkte varmetap vil styre avkjølinga av overflatelaget. Vind og

bølgjer vil oftest motverke isdanning, og bryte ned sjiktinga og evt. eksisterande is. Desse meteorologiske faktorane blir neppe målbart endra som følgje av eventuell ny bru-fylling, med atterhald om evt meir skjerming for bølgjer nær/bak fyllingane. Dette området er imidlertid oftast opent i dag (råker) slik at det ikkje er særskilt utsett for islegging. Forventa regionale klimaendringar på Vestlandet med mildare vintrar etc vil kunne bidra til mindre is/kortare isleggingsperioder. Men i høve til foreliggende problemstilling er spørsmål 1 neppe kritisk.

Ad. spørsmål 2 og 3:

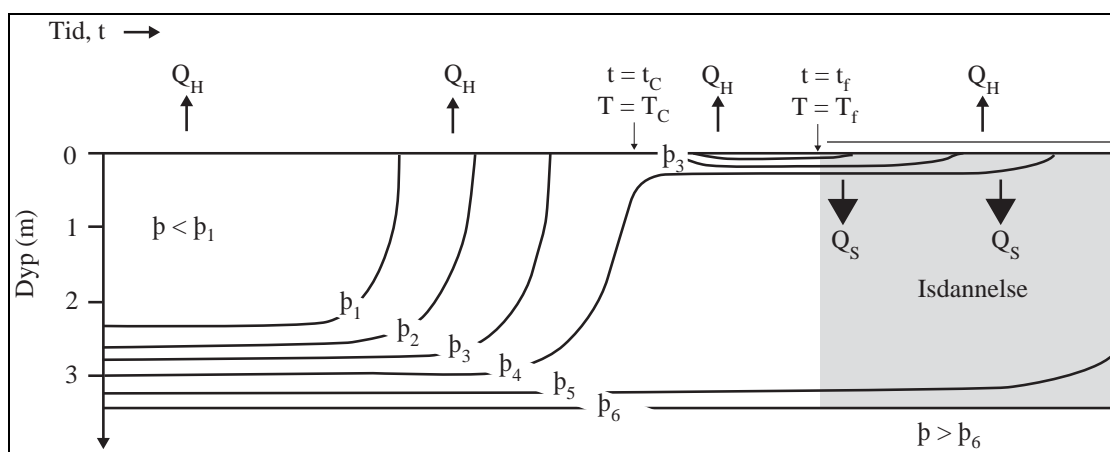
For å svare på desse spørsmåla gjer vi nokre simuleringar med ein is-modell, kopla opp mot resultatane for simuleringane med dei to andre modellane. Generelt kan seiast at dei hydrografiske tilhøva og vassutskiftingsdynamikken, og evt. endringar i desse faktorane som følgje av ny fylling er viktige for responsen på avkjølinga. Islegging får betre vilkår dess meir brakt overflatevatnet er, og dess kraftigare sjikting.

6.1 Modellen

Modellen er 1-dimensjonal, d.v.s. berre vertikale (z) konveksjonsprosessar er simulert i modellen. Varmetap frå overflata – mot lufta – driv modellen. In-situ densitet for sjøvatnet blir nytta i berekningane (betyr lite for grunn konveksjon som i Barsnesfjorden). Den s.k. High Pressure International Equation of State of Sea Water 1980 (EOS 89); er brukt for sjøvatnets densitet $\rho = \rho(P, T, S)$, der T og S er temperatur og salinitet ved trykket P . Vi har nytta måledata frå CTD sonder i våre simuleringar. CTD sonder måler trykk i staden for djup. Difor blir trykk nytta som vertikal koordinat, i staden for metrisk djup. Skilnadane er små; ein desibar (10^4Pa) i trykk motsvarar ein meter plus/minus, d.v.s. mindre enn 1 % skilnad.

Avkjøling er simulert ved gradvis å redusere temperaturen i det øvre gjennomblanda laget.

Avkjølinga medfører vertikal konveksjon, mens potensiell temperatur er konstant med djupet men får gradvis lågare verdi etterkvart som avkjølinga held fram (**Figur 27**). Når densiteten i underkant av det gjennomblanda laget M ; $\rho = \rho(T_M, S_M, H)$, har nådd den målte densiteten i djupet $H+dH$, der dH er eit lite trykk (djup) inkrement, blir det antekke at laget med tjukkeleik H blir blanda saman med laget under, slik at eit nytt lag med tjukkeleik $H+dH$ blir danna. Vertikalblendinga er ikkje-penetrerande, d.v.s. ein antar langsame prosessar.



Figur 27. Skisse som syner tidsforløpet for konveksjon i overflatelaget og danning av is under avkjøling.

Dersom avkjøling av blandingslaget tar temperaturen T_M til frysepunktet, og den nye densiteten ρ_M framleis er for låg til at vidare konveksjon når til det neste djupet $H+dH$, er frysing av is i overflata det neste steget i modellen. Dette blir simulert ved ein gradvis auke i saliniteten i det øvre blandingslaget (fordi salt blir skilt ut i fryseprosessen) medan overflatetemperaturen blir halden på aktuell frysepunktverdi. Til slutt vil ρ_M vere høg nok til at vidare konveksjon kan halde fram. Istjukklege som samsvarar med den aktuelle salinitetsauken blir utrekna, ved å anta at isen held tilbake salt motsvarande ein konsentrasjon på $5 \cdot 10^{-3}$ (for Barsnesfjorden og liknande fjordar kan denne verdien vere litt høgt satt, men dette påverkar ikkje resultatane nennoverdig). Varmetapet frå øvste laget til luft blir berekna ved å nytte $4.0 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$ som spesifikk varme for sjøvatn, og varmetapet til lufta som forårsaker isdanning er berekna ved å nytte verdien $2.9 \cdot 10^8 \text{ J/m}^3$.

Vilkår for at konveksjon i blandingslaget med tjukkeleik H når djupet $H+dH$:

$$\rho_M + d\rho_M = \rho(H+dH), \text{ eller}$$

$$\rho(S_M, T_M, H+dH) + d\rho(dS_M, dT_M, H) = \rho(S(H+dH), T(H+dH), (H+dH))$$

der $S(H+dH)$ og $T(H+dH)$ er målt salinitet og temperatur i djupet $H+dH$.

Verdiane for S_M , T_M og ρ_M for det nye gjennomblanda laget vil bli:

$$X_M = \frac{1}{H+dH} \{ (X_M + dX_M) \cdot H + X(H+dH) \cdot dH \},$$

der X angir vilkårleg parameter, og dX_M er den høvesvise endringa i blandingslaget som leier til konveksjon frå overflata og tid djupet $H+dH$. Når is er til stades, vil simulert avkjøling av overflatelaget ikkje resultere i noka ismelting p.g.a. eventuell oppblanding av varmare vatn.

6.2 Data og simulering for islegging

Vi har simulert isdanning basert på dei nye hydrografiske profilane frå 2003 sidan eldre data er mindre eigna til slike berekningar (for liten dataoppløysing/nøyaktigheit). Konkret har vi nytta UiBs profil frå Sogndalsfjorden 7. februar (ingen målingar i Barsnesfjorden då), og NIVAs profiler frå 2. april og 12. mai i Barsnesfjorden. Kun februarmålingane er frå årstida for is, og er tatt med sjølv om dei ikkje er frå Barsnesfjorden.

Modellen blir i vårt tilfelle driven av ein varmefluks tilsvarande 300 W/m^2 . Dette er eit moderat anslag for en vinter-situasjon med klårvêr i Vest-Norge, og fluksen tilsvarar eit varmetap på eitt døgn lik $2,5 \cdot 10^7 \text{ J/m}^2$. Til samanlikning kan nemmast at varmefluksen frå sjøen nær iskanten i Barentshavet lett kan overstige 1.000 W/m^2 . Modellen sjekkar m.a. kor djupt konveksjonen kan drivast som følgje av eit slikt varmetap over 1 døgn, og bereknar kor mykje is som evt. må dannast for å oppnå dette.

6.3 Resultat for islegging

Resultat av kjøring av modellen for april-målingane med oppgitte data og pådriv er synt i **Tabell 11**. Frysepunktet låg på $-1.08 \text{ }^\circ\text{C}$, mens sjøtemperaturen i overflata var $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Det framgår at i tillegg til nødvendig avkjøling for å bringe temperaturen ned til frysepunktet, skulle det kun $4,3 \text{ cm}$ is til, for å oppretthalde pådrivet (300 W/m^2) og i tillegg få i gang djuptgåande konveksjon. Vedvarande varmetap medførte danning av $4,6 \text{ cm}$ is etter 1 døgn. M.a.o. forholda i april representerte ein relativt følsam situasjon i forhold til isdanning. Den aktuelle storleiken for istjukklege, ca 5 cm , harmonerer rimeleg bra med den istjukklege som er observert (avsnitt 2.6), men er noko større enn den observerte isdanningsraten på ca 2 cm/dag .

Resultata for februar-målingane synte at det ikkje trengtes bli danna is i det heile tatt for å få vassøyla til å "kvitte seg med" den aktuelle varmemengda (varmetap over 1 døgn), mens målingane frå 12. mai tilsvara ca 1 m is. Den ekstreme tjukkeleiken for mai illustrerer effekten av at fjorden då hadde fått tilført mykje ferskvatn og samtidig var markert sjikta, slik at dersom ei kuldeperiode skulle oppstå, ville fjorden raskt kunne reagere med islegging. Same følsemd i forhold til sjiktinga er observert andre stader, m.a. i Lusterfjorden (Gjessing 1968). Naturen, d.v.s. hydrografi og sjikting synes vere ordna slik at isdanninga blir avgrensa om vinteren då risikoen for kuldeperioder er størst.

Modellsimuleringane med Fjordmiljø indikerte auka opphaldstid i overflatelaget frå ca 1 døger i dag til 2 døger ved vårt lengste fyllingsalternativ. For å simulere effekten dette måtte ha for islegging, har vi tatt utgangspunkt i april-profilen og redusert målt salinitet med 50% i intervallet 0-3 m djup. Dette kan illustrerere effekten av fyllingane, med eit djupare og mindre salt brakkvasslag. Temperaturfordelinga var som opprinneleg målt.

Resultat med samme pådriv som før syner at det blir danna 6,2 cm is etter eit døger, m.a.o. ein auke på 1,9 cm (44%) i høve til forrige verdi på 4 cm is. Utan å trekke for bastante slutningar særleg p.g.a. manglande vinterdata synes det vere ein om lag 1:1 relasjon mellom auke i fyllingslengde (eller reduksjon i tverrsnittsareal på terskelen) og istjukkleik.

Svar på spørsmål 2 synes difor bli at auka fyllingslengde kan gje noko meir is inne i fjorden.

Ad. spørsmål 3:

Vi har ikkje tilstrekkeleg data for is-statistikk for nåsituasjonen til å kunne kvantifisere evt. endringar, men vi kan indikere i kva retning endringane kan gå. Resultata for simuleringane med SMS modellen indikerer at det blir større bakevjer nær fyllingane i høve til i dag. Dette vil neppe medføre meir islegging i området, sidan sjøen blir halden i rørsle. Det vil imidlertid kunne bidra til litt større grad av oppstuving av isflak når isen går, i høve til i dag. Ved å fjerne den vestlegaste brupilaren så vil dette moglege problemet bli redusert. Strømmen vil bli sterkare i utløpet, noko som vil bidra til å rive bort isflak. Dette tyder på at nettoeffekten av forlenga fylling i høve til isoppstuving og islegging i fjordmunningen blir rundt null, i høve til dagens tilhøve.

Tabell 11. Resultat for ismodellen basert på STD profil i Barsnesfjorden (under brua) målt av NIVA 2. april, 2003.

Barsnesfjorden 2. april: INITIALVERDIAR FOR DET ØVERSTE LAGET FØR AVKJØLING:
 S: 19.999 (E-3), T: 4.965 (Deg-C) FRYSEPUNKT: -1.08 (Deg-C), SIGMA: 15.809

VERDIAR FOR ØVRE LAG SOM ETTER AVKJØLING/ISFRYSING GIR GJENNOMBLANDING TIL NESTE LAG:

DKONV (m)	T-MID (Deg-C)	S-MID (E-3)	DELTA-S (E-3)	QH (J/m2)	QF (J/m2)	DELTAICE (m)	HICETOT (m)	QTOT (J/m2)
0.	-1.083	23.099	3.100	.64E+07	.11E+08	.043	.043	.18E+08
1.	-1.263	24.374	1.100	.13E+08	.19E+08	.028	.071	.32E+08
1.	-1.335	24.870	.300	.28E+08	.23E+08	.015	.086	.50E+08
2.	-1.358	25.150	.150	.42E+08	.25E+08	.011	.097	.67E+08
2.	-1.372	25.554	.300	.56E+08	.33E+08	.029	.127	.89E+08
3.	-.009	25.636	.000	.56E+08	.33E+08	.000	.127	.89E+08
3.	-1.398	25.806	.100	.85E+08	.37E+08	.014	.141	.12E+09
4.	-1.407	26.270	.400	.10E+09	.54E+08	.066	.207	.15E+09
4.	-1.432	27.224	.900	.12E+09	.96E+08	.162	.369	.21E+09
5.	-1.485	28.028	.750	.13E+09	.13E+09	.147	.515	.27E+09
5.	-1.530	28.829	.750	.15E+09	.18E+09	.157	.673	.32E+09
6.	-1.575	29.728	.850	.16E+09	.22E+09	.189	.862	.39E+09
6.	-1.625	30.176	.400	.18E+09	.25E+09	.095	.957	.43E+09
7.	-1.650	30.573	.350	.20E+09	.27E+09	.089	1.046	.47E+09
7.	-1.673	30.916	.300	.21E+09	.29E+09	.081	1.127	.51E+09
8.	-1.692	31.108	.150	.23E+09	.31E+09	.043	1.170	.53E+09
8.	-1.210	31.149	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.782	31.188	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.402	31.224	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	-.061	31.259	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	.245	31.290	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09

ISTJUKKLEIK = .046m VED NÅDD QTEST= .250E+08 J/m2

7. Oppsummering

Rapporten tar for seg ulike vassfaglege aspekt i høve til evt. endringar av fjordmunningen, d.v.s. endringar i lengd av brufyllingane. Det var ikkje lagt inn særskilt måleprogram i samband med foreliggende analyser sjølv om vi fekk gjort litt ad-hoc prøvetaking i fjorden under synfaringane. Vurderingane er såleis stort sett basert på eldre/eksisterande data. Prosjektet har karakter av forstudium, og er ikkje nokon komplett KU.

7.1 Effekter for vasskvalitet

Modellsimuleringane tyder på at ei innsnevring av fjordmunningen med lenger fylling vil medføre betring i oksygentilhøva i djupvatnet i Barsnesfjorden. For overflatelaget vil det bli tale om noko lenger opphaldstid, som teoretisk sett kan medføre endringar i brakkvassøkologien, inkludert for alger.

Meir markerte bakevjer enn i dag nær fyllinga på austsida kan medføre noko større grad av lokal oppsamling av flytestoff. Dette kan særleg berøre gruntvassområdet langs stranda innover i retning skrivargarden på Loftesnes.

Det skisserte alternativet med ei mindre utfylling sør for dagens fylling ved Loftesnes (merka med "a" i **Figur 3**), men som ikkje innsnevrar fjordmunningen, ser ikkje ut til å ville skape bakevjer av betydning.

7.2 Islegging

Modellsimuleringane indikerer at ei forlenga utfylling i munningen vil kunne auke isdanningsraten, m.a.o. at det raskare vil kunne dannast relativt tjukk is i kuldeperioder, og at is-sesongen kan bli litt forlenga. Den pågåande klimaendringa med varmare vintrar etc på Veslandet vil kunne trekke i andre retninga, slik at det ikkje behøver bli noko målbar netto endring i negativ lei m.o.t. is.

Lenger fylling vil kunne auke isoppstuinga i fjordmunningen men som i dag forventast denne å bli kortvarig, sidan overflatestrømmen i munningen vil bli kraftigare enn i dag.

7.3 Effekter for Årøydeltaet/Årøyelva

Forlenga fylling vil neppe få negative effekter for vasskvalitet eller strømningsforhold i Årøyelva eller i deltaet. Større grad av oppstuing av ferskvatn/brakkvatn i fjorden kan medføre visse endringar i hydrografiske frontar, som igjen kan endre litt på fiskens vandringsmønster inne mot deltaet.

Laks/smolt som vandrar inn/ut gjennom fjorden vil kunne respondere på endra brakkvasskarakteristikk med å endre litt på vandringsdjupet men dette vil neppe påverke vandringsstidspunkt og omfang.

7.4 Næringsverksemd

Barsnesfjorden tilhøyrer eit område som ikkje tillet lakseoppdrett. Vurdering av endra vilkår for slikt oppdrett som følge av endra fyllingar er difor kun av teoretisk karakter. Men fjorden vil kunne nyttast til andre former for oppdrett. For skjeldyrking kan evt. forlenga fylling sannsynlegvis verke positivt p.g.a. meir fødetilgong (algar), men vi kan ikkje sjå bort frå at giftige alger også kan få betre kår.

Tradisjonelt fiske av saltvassfisk vil kunne få eit oppsving dersom vasskvaliteten i djupvatnet blir betre, noko som medfører ein betre/rikare djupvassfauna; her vil forlenga fylling kunne verke i positiv lei i følgje våre berekningar.

Tendens til auka islegging om vinteren forutsatt eit uendra klima vil kunne vere både positiv og negativt for næringsverksemd; betre for isfiske men dårlegare for ferdsle med båt.

For aktiviteten i Årøyelva og deltaet (sportsfiske) vil forlenga fylling og effekter av dette for laks og andre organismer sannsynlegvis bli marginal. Større grad av oppstuvning av ferskvatn/brakkvatn med endringar i hydrografiske frontar vil kunne endre litt på fiskens vandringsmønster, og kvar den plar stanse opp, men dette bør fiskarane kune tilpasse seg. Endra brakkvasskarakteristikk i fjorden vil kunne endre litt på vandringsdjupet for laks/smolt som går inn/ut, men neppe påverke vandringsstidspunkt og omfang.

7.5 Forslag til oppfølging

Den foreliggende forstudien reiser ein del spørsmål omkring data og datakvalitet når det gjeld Barsnesfjorden (og Sogndalsfjorden), noko som reduserer presisjonen i konklusjonane. Det er difor tilrådd ein viss form for oppfølging særleg for å få betre datagrunnlag. Lista nedanfor gjev eit oversyn over nokre aktuelle moment for oppfølging.

1. Sirkle inn det mest aktuelle utfyllingsalternativet og gå vidare med nærare modellsimuleringar for dette.
2. Foreta strømmålingar i fjordmunningen over ca 1 mnd for å verifisere vasstransport og tjukkeleiken på brakkvasslaget og på laget med "kompensasjonsstrøm". Dette er viktig for å kunne kalibrere modellresultata. Her kan ein nytte botnmontert dopplermålar midt i opningen som ikkje forstyrrar båttrafikk etc. Evt. også samtidig få målt i bakevjeområda.
3. Registrere hydrografien i Barsnesfjorden med moderne instrumentering kvar 14. dag over eit år for å få betre datagrunnlag for berekning av opphaldstider og isdanning.
4. Foreta prøvetaking i djupvatnet over eit år, for å få oppdatere data for tilstanden i Barsnesfjorden.
5. Verifisere korleis dei kommunale utsleppa frå Sogndal, særleg U1 og U2 spreier seg, evt om noko av denne forureininga går inn i Barsnesfjorden (nytte modellar, saman med sporstoff).
6. Foreta modellsimuleringar med basert på nye data.
7. Følgje opp i høvet til nye regulativ og reglar i samband med nye tiltak og miljøkonsekvensar, herunder krav som innføringa av "Vanddirektivet" vil medføre.
8. Overvaking i anleggsperioden og registrering av effekter, +/-, både ved evt. fjerning av fylling, eller forlenging.
9. Overvaking av vasskvaliteten i Barsnesfjorden etter at ny bru er etablert.

8. Litteraturreferansar

Aure, J., F. E. Dahl, T. Johannesen, L. G. Golmen, og J. Molvær 1997: Vurdering av oksygenutvikling og organisk belastning på kyststrekningen Jomfruland-Stavanger. Rapp. Nr 3555, Norsk institutt for vannforskning (NIVA); 1997; 36s.

Bjerkeng, B. og A. Lesjø 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. PRA 5.7. NIVA rapport O-126/73. Oslo.

Dale, T. og P. Hovgaard 1993: En undersøkelse av resipientforholdene i Sogndalsfjorden, Barsnesfjorden og Kaupangerfjorden i perioden 1991-1993. Rapp. Sogn og Fjordane DH, Skrifter nr 3/1993, 118s.

ECGL 1995: SMS Surface Water Modeling System. RMA2/RMA4 Primer. Hydrodynamic Modeling. Brigham Young Univ., Utah, USA.

Gjessing, Y. T. 1968: On the relation between the meteorological conditions and the freezing of Lusterfjord. Norsk Geografisk Tidsskrift, Bund 22, Hefte 3, 200-208.

Hovgaard, P. 1985: Resipientundersøkelse i Sogndal kommune. En vurdering. Rapp. Sogn og Fj. Distriktshøgskule, 39s.

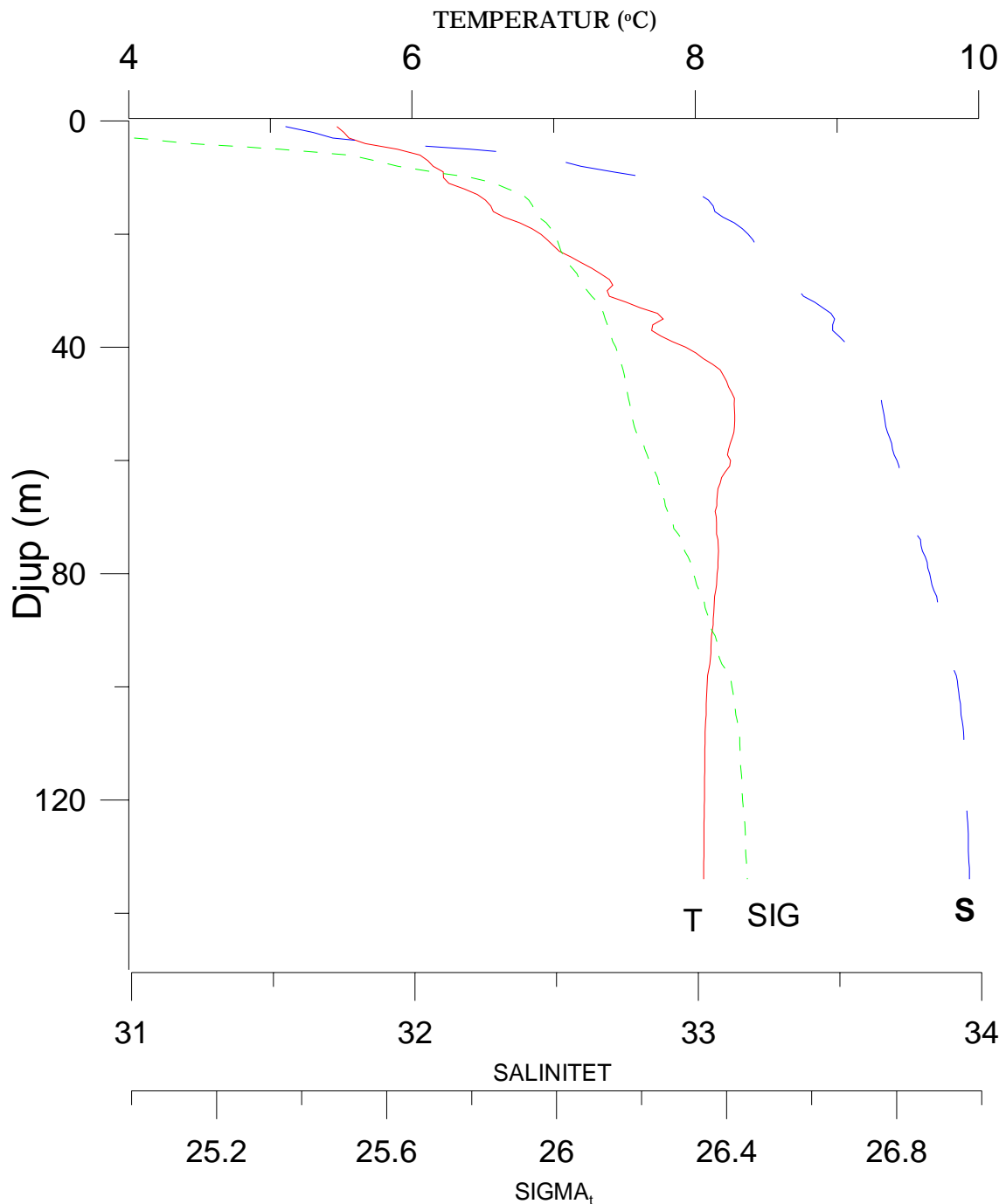
Myrseth, E., S. Hjøhlman, P-O. Johannessen, H. Botnen og P. Johannessen 2000: Marinbiologisk undersøkelse i Barsnesfjorden, Sogndalsfjorden og Amlabukta, Sogndal kommune. Rapp. nr. 4-2000, IFM, U i Bergen, 59s.

SFT 1997 (Molvær m. fl.): Klassifisering av miljøkvalitet i Fjorder og Kystfarvann. SFT Veiledning, Rapport TA 1467/1997. 36 s.

Stigebrandt, A. 1992: Fjordmiljø - versjon 2.0. Brukerveiledning. Ancylus, Gøteborg, 17 s.

Vedlegg A. Hydrografisk profil i Sogndalsfjorden 7/2 2003

Sogndalsfjorden 07 Feb 2003 v/GFI-UiB



Hydrografisk profil frå Sogndalsfjorden 7. februar 2003 kl 0900 norsk tid. Data frå Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen (Ref. prof. Tor Gammelsrød).