



RAPPORT LNR 4127-99

Frierfjorden

Vurdering av miljømessige
konsekvenser ved utslipp av surt
avløpsvann til brakkvannslaget

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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Frierfjorden. Vurdering av miljømessige konsekvenser ved utslipp av surt avløpsvann til brakkvannslaget	Løpenr. (for bestilling) 4127-99	Dato 1.12 1999
	Prosjektnr. Undernr. 99180	Sider Pris 30
Forfatter(e) Jarle Molvær, John Arthur Berge, Jan Magnusson, Morten Th. Schaanning	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA


Oppdragsgiver(e) Hydro Agri Porsgrunn, Porsgrunn	Oppdragsreferanse
---	-------------------


Sammendrag

Det er gjort en vurdering av miljømessige konsekvenser ved utslipp av surt avløpsvann til Frierfjordens brakkvannslag, basert på en gjennomgang av tidligere målinger i Frierfjorden og tre måleserier sør og vest for Herøya i november 1999. Frierfjordens brakkvannslag består vanligvis til 80-90% av ferskvann og med en meget lav og varierende saltholdighet er denne vannmassen et ugunstig miljø både for marine og ferskvannsorganismer, med en pH som i stor grad bestemmes av en varierende vannkvalitet i Skienselva. I vannmasser med pH<7 vil marine organismer være negativt påvirket av syreutslippet og ved pH<6 vil også ferskvannsorganismer være påvirket. Da målingene i november 1999 ble utført var Frierfjordens brakkvannslag ca. 50.000.000 m³. Omfanget av vannmassen med pH<7 varierer, men syntes typisk å gjelde et overflateareal på ≤ 100.000 m² eller i størrelsesorden 300.000 m³, i Frierfjordens nordre del. Under målingene i november 1999 var ikke saltsyre fra Hydro Agri Porsgrunn tilført hovedkloakken, noe som ville ha senket avløpsvannets pH fra intervallet 2.4-2.7 til 2.2-2.4. Man anslår at denne pH-reduksjonen vil medføre at volumet av vannmassen med pH<7 øker med 30-50%. Samlet sett kan utslippet medføre at omkring 1% av Frierfjordens brakkvannslag periodevis får pH<7, men for de biologiske forholdene i Frierfjorden som helhet er denne lokale påvirkningen ubetydelig. Beregningene bør kontrolleres med fortynningsforsøk og feltmålinger.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Frierfjorden 2. pH-effekter 3. Vannkvalitet 4. Biologiske effekter 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Frierfjord 2. pH-effects 3. Water quality 4. Biological effects
---	--


Prosjektleder


Forskningsleder
ISBN 82-577-3737-2


Forskningssjef

99180

Frierfjorden

Vurdering av miljømessige konsekvenser ved utslipp av
surt avløpsvann til brakkvannslaget

Forord

Den foreliggende rapport er utarbeidet for Hydro Agri Porsgrunn etter bestilling datert 25.10 1999. Rapporten danner en del av grunnlaget for bedriftens utredning om de miljømessige konsekvensene av utslipp av surt avløpsvann til Frierfjorden.

HMS-sjef Karina Aas ved Hydro Agri Porsgrunn takkes for et greit og konstruktivt samarbeid. Kjetil Barland ved Miljølaboratoriet i Telemark, Rødmyr Miljøsender i Skien, hadde ansvaret for det lokale feltarbeidet og takkes for vel gjennomført jobb.

Ved NIVA har John Arthur Berge gjort vurderingene av utslippets virkning på de biologiske forholdene i Frierfjorden, Morten Th. Schaanning har bedømt endringer av pH ved økt syreutslipp, mens Jan Magnusson og Jarle Molvær har hatt ansvar for målingene av pH i vannmassene og vurderingene av dette materialet. Sistnevnte har også vært prosjektleder.

Oslo, 1.12 1999

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Kort omtale av Frierfjorden	7
2.1. Vannmasser og vannutskiftning	7
2.2. Generell vannkvalitet i brakkvannslaget	8
2.3. Tidligere målinger av pH i Frierfjorden	9
2.4. Biologiske forhold	10
3. Feltnålinger i Frierfjorden november 1999	12
3.1. Tilførsler fra utslippet.	12
3.2. Instrumenter	12
3.3. Feltarbeid	12
4. Resultater og vurderinger	16
4.1. Utslippets virkning på pH i Frierfjordens vannmasser	16
4.2. Utslippets påvirkning av biologiske forhold i Frierfjorden	19
4.2.1. Generelt vurderingsgrunnlag	19
4.2.2. Vurdering av virkninger i Frierfjordens brakkvannslag	20
5. Sammenfattende vurdering	21
6. Litteratur	23
Vedlegg A. Data fra feltnålinger i november 1999	24

Sammendrag

Hovedkloakk F14 ved Hydro Porsgrunn Industrier fører ca. 2.2 m³/s avløpsvann med pH 2.4-2.7 til Frierfjordens brakkvannslag. Hydro Agri Porsgrunn ønsker å tilføre kloakken saltsyre fra sin produksjon av KNO₃, som vil redusere pH til intervallet 2.2-2.4. Bedriften har henvendt seg til NIVA for å få vurdert miljøkonsekvensene av utslipp av surt avløpsvann til Frierfjordens brakkvannslag.

Frierfjordens brakkvannslag har oftest en saltholdighet på 3-5 og består derfor av 80-90% ferskvann og resten sjøvann. Dette er et blandingsforhold som er meget ugunstig både for de fleste ferskvanns- og marine organismer. En gjennomgang av pH-målinger i brakkvannslaget i Frierfjordens midtre del og i Herrebukta viste ingen klare tegn til redusert pH så langt unna utslippet, og feltundersøkelsene tok derfor utgangspunkt i nærområdet til utslippet.

Det ble utført målinger av pH, saltholdighet og temperatur på et stort antall målepunkt utenfor Herøya og i Frierfjordens nordre del den 10.11, 11.11 og 16.11 1999. HK F14 fikk ikke tilført saltsyre fra KNO₃-produksjonen ved noen av tidspunktene da målingene ble utført. Vannføringen i Skienselva var relativt stabil (ca. 260-280 m³/s) i denne perioden, og det var lite vind.

Målingene viste at avløpsvannet blander seg raskt inn i brakkvannslaget uten å påvirke pH i det underliggende sjøvannslaget. Alle tre dager beveget skyen med fortynnet avløpsvann seg langsomt vestover mot munningen av Skienselva, i samsvar med den generelle oppfatningen av sirkulasjonen i området.

Omfanget av vannmassen med pH<7 varierte en del fra måleserie til måleserie, men syntes typisk å gjelde et overflateareal på ≤ 100.000 m² eller i størrelsesorden 300.000 m³. Til sammenligning var Frierfjordens brakkvannslag innenfor Saltbua ved disse tre tidspunktene ca. 50.000.000 m³.

Vi har ikke noe fullgodt grunnlag for å bedømme størrelsen av området som påvirkes når saltsyre fra KNO₃-produksjonen slippes inn på HK F14 og pH reduseres til 2.2-2.4. Overslagsberegninger tyder på at vannmassene med hhv. pH<7, pH<6 og pH< 5 vil øke med 25- 50%, dvs. til et område med pH<7 som tilsvarer i størrelsesorden 1% av Frierfjordens brakkvannslag. Dette gjelder et område sør og sør-vest for Herøya, og for de biologiske forholdene i Frierfjorden som helhet er denne lokale påvirkningen ubetydelig.

Overslagsberegningene for vurdering av utslipp med pH 2.2-2.4 bør imidlertid etterprøves med målinger i Frierfjorden og fortynningsforsøk.

1. Innledning

I forbindelse med søknad om ny utslippstillatelse har Statens forurensningstilsyn (SFT) bedt Hydro Agri Porsgrunn (HAP) utrede de miljømessige konsekvensene av utslipp av surt avløpsvann til Frierfjordens overflatelag gjennom hovedkloakk F14. Utredningen skal omfatte situasjonen både med og uten tilførsel av saltsyre fra produksjon av KNO_3 .

Hydro Agri Porsgrunn oppgir at vannmengden i hovedkloakken er ca. $7500 \text{ m}^3/\text{time}$. Saltsyren fra KNO_3 -produksjonen produseres som 5%-ig og utgjør $1280 \text{ kg}/\text{time}$. Den fortynnes i sjøvann (1:10) fra ca. 30 m dyp i Frierfjorden før den ledes inn i hovedkloakken. Hovedkloakken mottar fra før saltsyre fra Mg-produksjonen som gir avløpsvannet en pH på 2.4-2.7. Med tilførsel av saltsyre fra KNO_3 -produksjonen blir pH 2.2-2.4.

Vannmengden i HK F14 er i alt vesentlig ferskvann og slippes ut til Frierfjordens overflatelag midt på hovedkaia (Figur 1).

NIVAs oppgave er å gjennomføre en undersøkelse og vurderinger som dekker bedriftens behov for kunnskap om miljøkonsekvensene av utslippet.

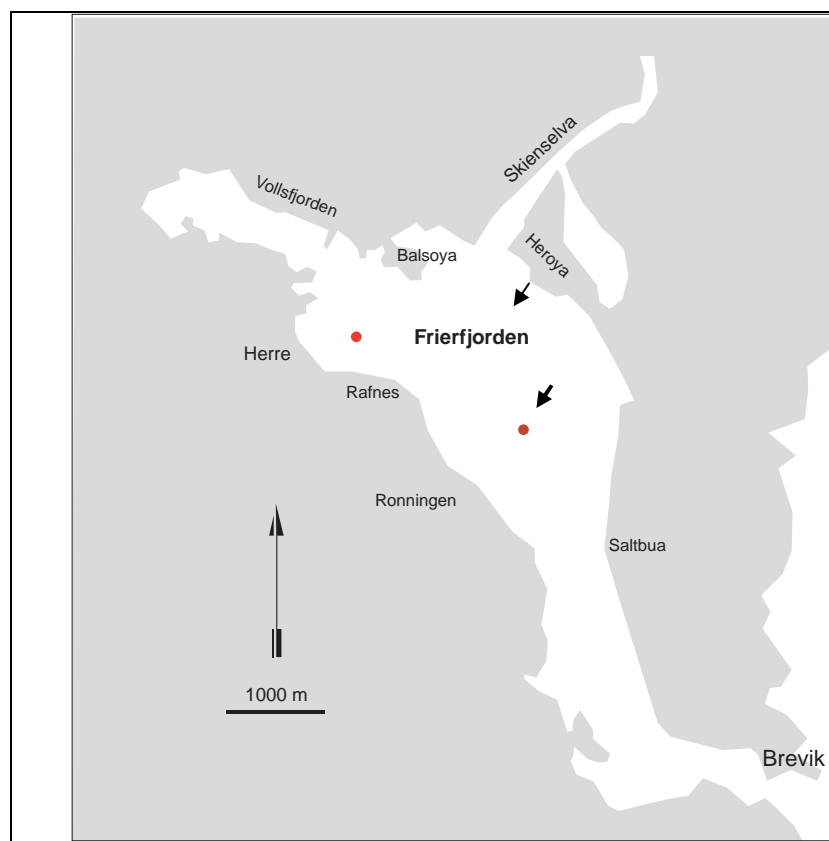


Fig. 1. Oversiktskart for Frierfjorden. Hovedkloakk F14 er antydnet med pil. Stasjoner for pH-målinger i tidsrommet 1993-97 er avmerket utenfor Herre og Rønningen.

2. Kort omtale av Frierfjorden

2.1. Vannmasser og vannutskiftning

Den store ferskvannstilførselen og terskelen gjør det naturlig å skjelne mellom tre hovedvannmasser i Frierfjorden (Figur 2):

- brakkvannslaget, som i dette prosjektet er den viktigste vannmassen.
- mellomlaget som strekker seg ned til omkring terskeldypet eller litt dypere, og
- bassengvannet

Overgangen fra brakkvannslag til sjøvannslaget mellom dette og bassengvannet (mellomlaget) er markert ved en sterk økning i saltholdighet, og omtales ofte som et sprangsjikt.

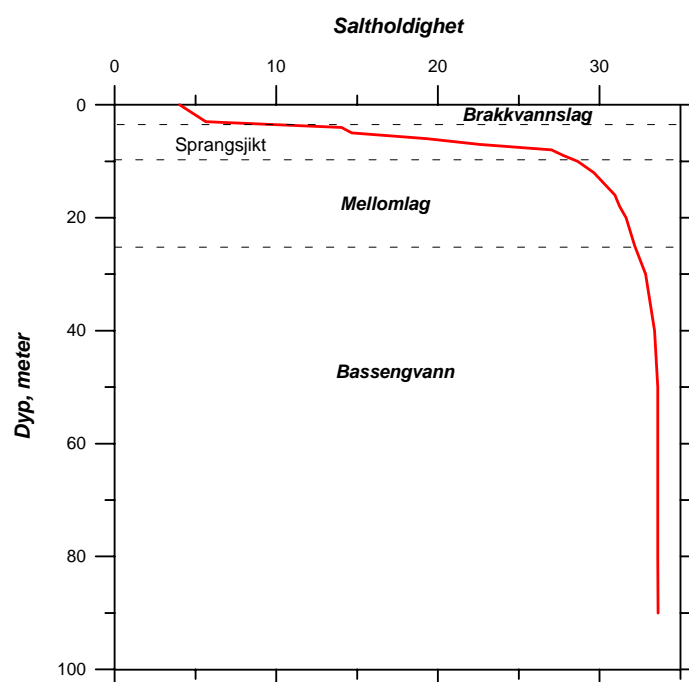


Fig. 2. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.

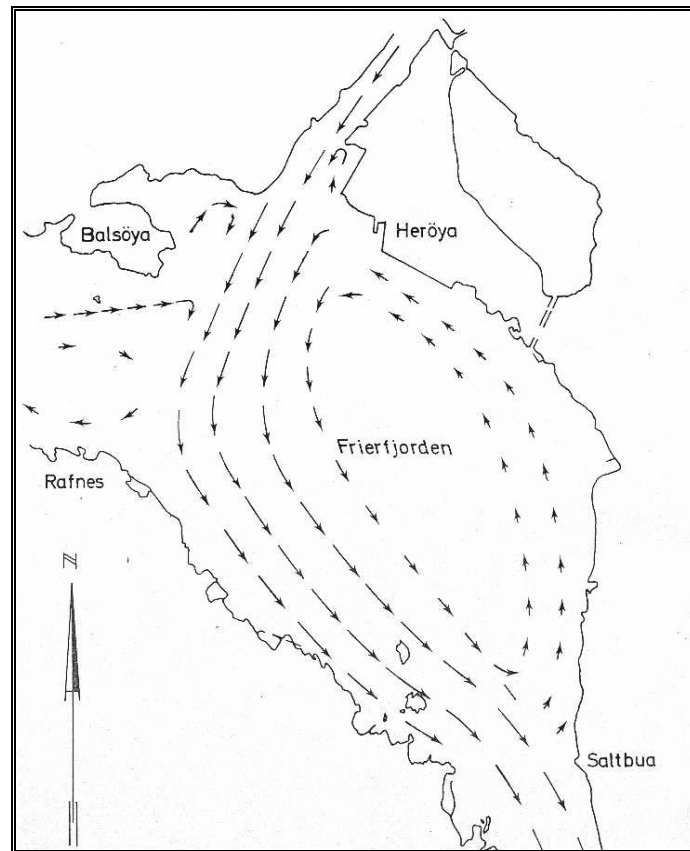
Sirkulasjonen i brakkvannslaget er forholdsvis godt kjent gjennom målinger som NIVA foretok på 1970-tallet (Figur 3). For dette prosjektet skal man legge merke til at strømrretningen utenfor Herøya oftest vil være vest-nordvest, inn mot munningsområdet for Skienselva. Det skal likevel understrekes at varierende vindforhold, tidevann og vannføring i Skienselva kan skape store variasjoner omkring et slikt generelt bilde.

Tykkelsen av brakkvannslaget varierer mellom 3 m og 8 m, avhengig av ferskvannstilførsel og vindforhold. Denne vannmassen strømmer raskt ut gjennom fjordområdet. Etersom tersklene mot Langesundsbukta ligger dypere enn tersklene innenfor, vil mellomlaget i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden ha fri forbindelse med kystvannet i Langesundsbukta. Vannutskiftningen i denne vannmassen styres av tidevann, mer langperiodiske tetthetsvariasjoner i kystvannet, den estuarine kompensasjonsstrømmen og lokal vind. Tabell 1 sammenfatter oppholdstiden for de tre hovedvannmassene i Frierfjorden.

Tabell 1. Typiske oppholdstider for vannmassene i Frierfjorden (etter Molvær og Stigebrandt, 1991).

Brakkvannslag	Mellomlag	Bassengvann
2-3 døgn ^{*)}	2-4 uker	1-3 år

^{*)} i selve den utgående brakkvannsstrømmen vil oppholdstiden være mye kortere, typisk 6-10 timer.



Figur 3. Generelt bilde av sirkulasjonen i Frierfjordens brakkvannslag. Lengden av strømpilene antyder den relative hastigheten (fra Molvær, 1976).

2.2. Generell vannkvalitet i brakkvannslaget

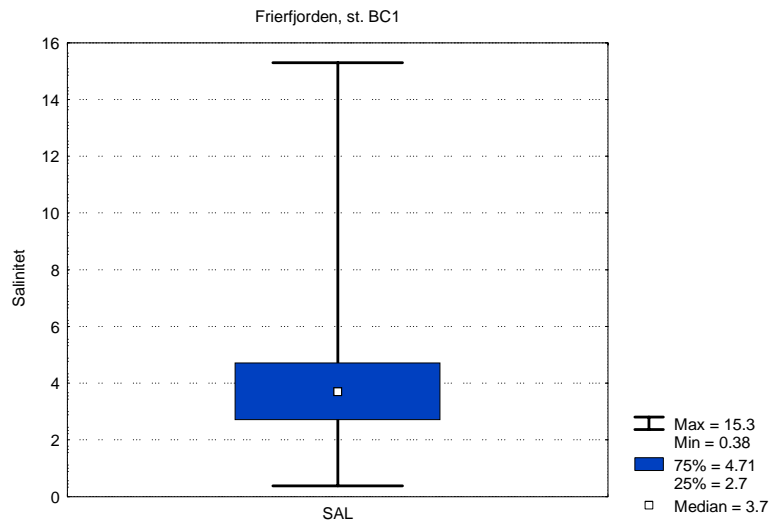
Det er hensiktsmessig å inndele vannmassene i tre lag (Figur 2) som har ulik vannkvalitet. Hovedtrekkene i tilstanden i disse tre vannmassene er beskrevet gjennom undersøkelsene i tidsrommet 1994-97 (Molvær 1999). Saltholdigheten i brakkvannslaget er lav og varierende med vanlig verdier mellom ca. 3 og 4.7 (Figur 4). For brakkvannslaget er vannkvaliteten forøvrig sammenfattet i Tabell 2. Tilstanden er bedre enn på 80-tallet, men fortsatt preges vannmassen av høyt innhold av næringssalter og relativt høy planteplanktonproduksjon.

Tabell 2. Klassifisering av tilstanden i brakkvannslaget (0-2 m dyp) i fjordområdet i sommerhalvåret i 1988-89 og 1996-97 (vannkvalitetsklasser er vist med "romertall"). Stjerner (*) etter verdien for 1996-97 angir om konsentrasjonen er lavere eller siktedypet er statistisk signifikant bedre sammenlignet med 1988-89 (fra Molvær, 1999).

	Tidsrom	Frierfjorden	Langesundsfjorden	Håøyfjorden	Langesundsbukta
Total nitrogen	1988-89	852 µgN/l (V)	560 µgN/l (IV)	430 µgN/l (III)	299 µgN/l (II)
	1996-97	635 µgN/l (IV)***	397 µgN/l (III)***	255 µgN/l (I-II)***	210 µgN/l (I)***
Total fosfor	1988-89	14 µgP/l (III)	13 µgP/l (II)	15 µgP/l (II-III)	12 µgP/l (I-II)
	1996-97	11 µgP/l (II)*	9.5 µgP/l (I-II)***	9 µgP/l (I-II)***	7 µgP/l (I)***
Klorofyll <i>a</i>	1988-89	2.9 µg/l (II)	3.9 µg/l (III)	3.9 µg/l (III)	1.4 µg/l (I)
	1996-97	4.6 µg/l (III)	3.0 µg/l (II)***	2.0 µg/l (I-II)***	1.0 µg/l (I)
Siktedyp	1988-89	2.9 m (II-III)	3.5 m (II-III)	3.8 m (II-III)	7.5 m (I-II)
	1996-97	4.1 m (I-II)***	5.0 m (I-II)***	5.8 m (I)***	8.5 m (I)

***) Det er minst 95% sannsynlighet for at konsentrasjonen er lavere/siktedypet er bedre enn i 1988-89.

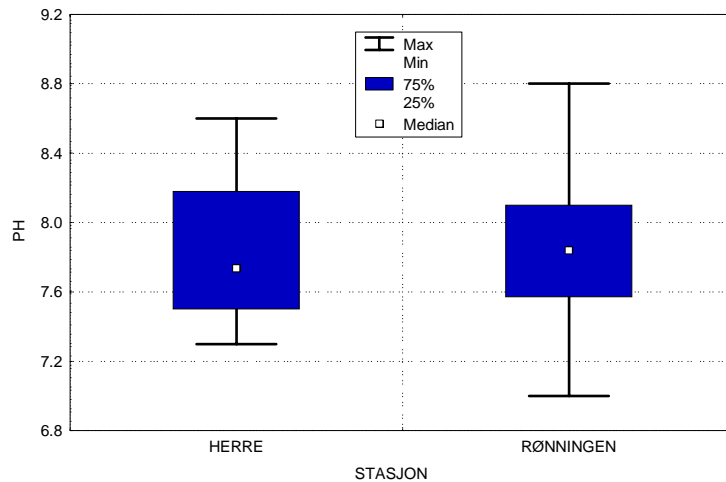
*) Det er 90-95% sannsynlighet for at konsentrasjonen er lavere enn i 1988-89.



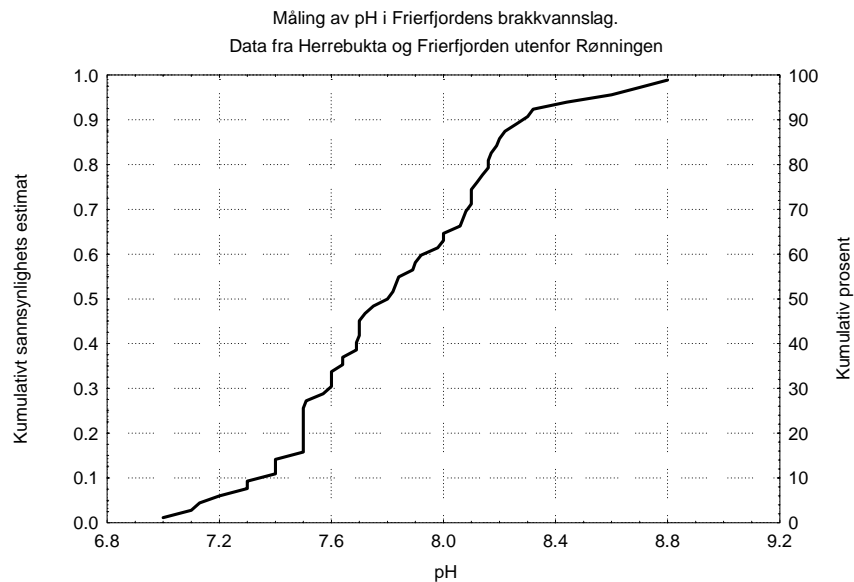
Figur 4. Statistikk over saltholdigheten i Frierfjordens brakkvannslag, basert på målinger over tidsrommet 1974-97 (n=197, data fra NIVA).

2.3. Tidligere målinger av pH i Frierfjorden

Som en del av overvåking av badevannskvaliteten i Grenlandsfjordene i regi av Fylkesmannen i Telemark ble det i tidsrommet 1993-1997 målt pH i Herrebukta og utenfor Rønningen i Frierfjorden (Figur 1). Miljøvern avdelingen hos Fylkesmannen har stilt målingene til rådighet for dette prosjektet og Figur 5-6 oppsummerer resultatene for brakkvannslaget. Verdiene for de to stasjonene er ganske like, selv om Rønningen viser noe mer spredning. Lavest målte pH-verdi er 7.0 utenfor Rønningen.



Figur 5. Oppsummerende statistikk for pH-målinger i Frierfjordens brakkvannslag i sommerhalvåret for tidsrommet 1993-97 (data fra Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen).



Figur 6. Oppsummerende statistikk for pH-målinger i Frierfjordens brakkvannslag i sommerhalvåret for tidsrommet 1993-97 (n=69, data fra Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen).

2.4. Biologiske forhold

Undersøkelser langt tilbake i tid har avklart at det i områder med brakkvann opptrer et lite antall arter sammenlignet med både marine områder og limniske områder (Remane, 1934). Det laveste antall arter opptrer ved en saltholdighet på 5-6. Dette er nettopp den saltholdighet som er typisk i brakkvannslaget i det potensielle influensområdet i Frierfjorden (Fig. 4). Dette betyr at en i brakkvannslaget (0-4/5 m) må forvente et lavt artsantall. I tillegg må en forvente at de ferskvannsorganismer som føres ut med Skienselva får en relativ kort levetid når de eksponeres for saltere vann i Frierfjorden. Tilsvarende må en også forvente kort levetid for marine organismer som kommer inn i Frierfjorden gjennom det underliggende sjøvannslaget og som deretter forflyttes opp i brakkvannslaget gjennom innblanding av

sjøvann.. Årsaken er at marine organismer til vanlig vil være tilpasset en høy og relativt stabil saltholdighet.

I Frierfjorden har brakkvannslaget vært særlig preget av store tilførsler av nitrogenforbindelser og av suspendert materiale (Källqvist 1991, Molvær 1999). Kortvarige sommeroppblomstringer av pelagiske alger forekommer (Källqvist, 1991). I tillegg til saltstress vil derfor både alger og dyr i fjorden være preget av at vannet jevnt over er belastet med næringssalter og en relativt stor grad av nedslamming. Dette bidrar også til at det er en fattig algeflora i gruntvannsområdene i fjorden og dypere enn ca 2 meter opptrer vanligvis ikke fastsittende alger (Molvær et al., 1976, Knutzen, 1990). Resultater fra det Statlige overvåkingsprogrammet i 1994-97 har imidlertid vist at utslippsreduksjoner har gitt vesentlige forbedringer av vannkvaliteten både i brakkvannslaget og i dypvannet (se Tabell 2).

I undersøkelser av fjæresonen i Frierfjorden i 1988-1988 ble det observert belegg av blågrønnalger (6 arter) og grønnalger (7 arter) men ingen rød eller brunalger (Knutzen, 1990). Også faunaen på grunt vann er relativt fattig. Dyrelivet på større dyp i fjorden vil i perioder med liten utskiftning av dypvannet være svært fattig (Rygg, 1995).

3. Feltnålinger i Frierfjorden november 1999

3.1. Tilførsler fra utslippet.

Utslipet fra Hydro ligger under hovedkaia og vannet tilføres fjorden i et rør som munner ut i overflaten. Utslipet er synlig og setter opp en overflatestrøm der avløpsvannet raskt fortynnes med omkringliggende brakkvann mens det strømmer ut fra nærområdet. Utslipet skaper sannsynligvis dermed reaksjonstrømmer som både horisontalt og vertikalt transporterer store mengder vann inn til utslippspunktet. Utslippsmengden er i gjennomsnitt ca. $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Hydro Agri Porsgrunn har opplyst at de tre dagene da det ble målt pH i Frierfjorden var vannmengden ca. $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ og pH 2.4-2.7. Det var ikke produksjon av saltsyre fra KNO_3 -produksjonen mens målingene foregikk.

3.2. Instrumenter

Feltarbeidet ble gjennomført av NIVA (1 tokt) og Miljølaboratoriet i Telemark (2 tokt). Ved første tokt ble det observert temperatur, saltholdighet med en CTD-sonde (Seacat (SBE 19)). På sonden ble et pH-meter montert, slik at sensoren kom på samme nivå som trykksensoren på CTD-sonden. pH ble målt med en sonde (ABB 7670 600) med en nøyaktighet på ca. 0.01. Ved Miljølaboratoriet ble det brukt en pH-sonde (Datasonde 3, Hydrolab) med en nøyaktighet på 0.2 og en oppløsning på 0.01.

For strømmålinger ble det brukt strømkors (flate ca. 1 m^2) på ca. 1 meters dyp, med overflatemarkør. Som supplement ble det også brukt driftmerker, små plastkonvolutter (ca. 20 cm lange og 10 cm brede) med en liten blyvekt i bunn og ekstra oppdrift i toppen. Driftmerkene vil stå opprett i vannet og følge selve overflatestrømmen.

3.3. Feltarbeid

I november 1999 ble det ved tre anledninger (10.11, 11.11 og 16.11) gjort målinger av pH med et nett av stasjoner fra utslippet fra HK F14 midt på HPIs hovedkai. Utslipet går til brakkvannslaget og målingene ble derfor konsentrert til denne vannmassen, men med enkelte kontrollmålinger ned til det underliggende sjøvannslaget. Første måleserie ble utført av NIVA og de to etterfølgende av Miljølaboratoriet i Telemark, Rødmyr Miljøseier, Skien.

Vannføringen i Skienselva (ved Klosterfoss) for det aktuelle tidsrommet er oppgitt av Norske Skog

Union bruk, Skien:

09.11.99 = $283 \text{ m}^3/\text{s}$

10.11.99 = $281 \text{ m}^3/\text{s}$

12.11.99 = $279 \text{ m}^3/\text{s}$

13.11.99 = $275 \text{ m}^3/\text{s}$

14.11.99 = $274 \text{ m}^3/\text{s}$

15.11.99 = $268 \text{ m}^3/\text{s}$

16.11.99 = $262 \text{ m}^3/\text{s}$

Dette er gjennomsnittlig vannføring pr. døgn. Vannføringen varierte lite og var nær langtidsgjennomsnittet for 1961-90, som er $272 \text{ m}^3/\text{s}$.

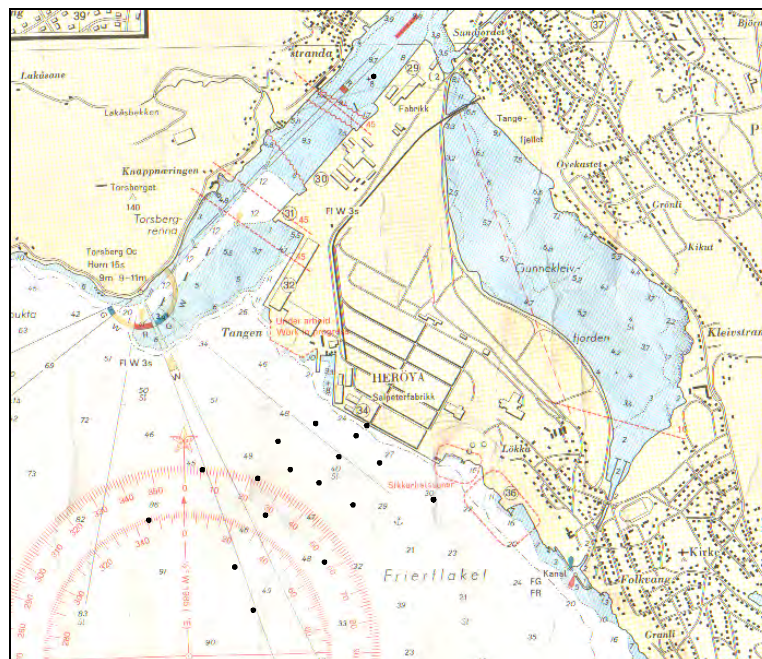
Målinger 10.11.99

Den 10.11 var oppgaven to-delt: først innarbeide målemetodikken og gjennomføre målinger for å få et inntrykk av hvordan avløpsvannet spredte seg i brakkvannslaget utenfor HPI. Deretter gjennomføre en serie målinger for mer presist beskrive området med redusert pH. Denne dagen var det lavvann ca.

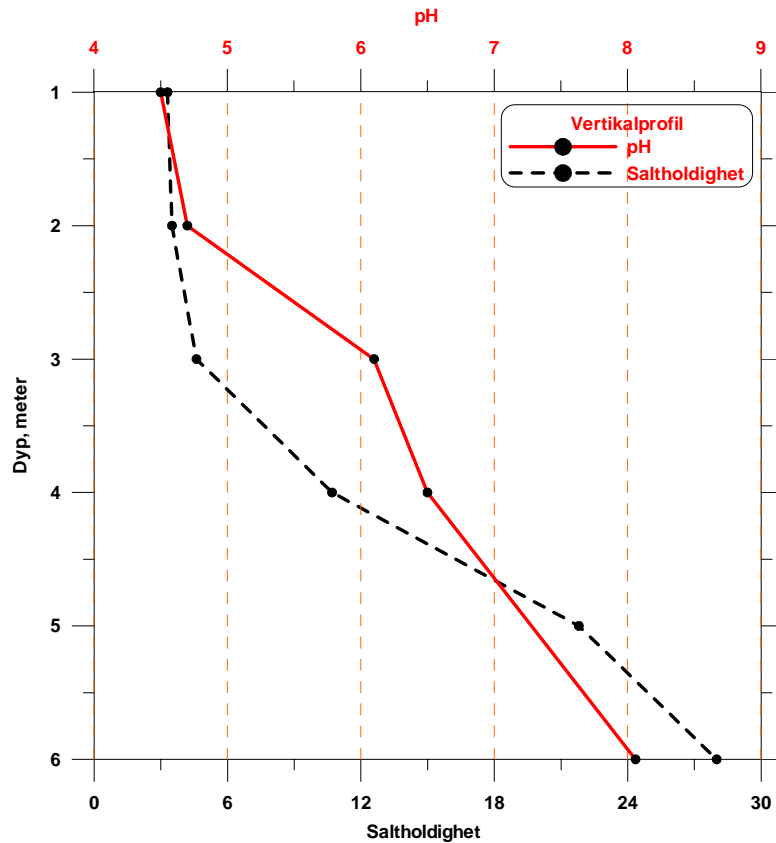
kl. 11. Målingene begynte kl. 09 og foregikk fram til kl. 1450, dvs. både ved synkende og ved stigende vannstand. Forskjellen mellom høyvann og lavvann i Frierfjorden er imidlertid bare 15-20 cm og man skal ikke vente at tidevannet skaper store forandringer i strømsystemet. Det var vindstille.

For å registrere hvilken vei ”skyen” med fortynnet avløpsvann beveget seg ble det plassert to strømkors i 1 m dyp henholdsvis ca. 5 m og 20 m avstand fra kaia, rett ved utslippet. Begge strømkorsene beveget seg først mot vest-nordvest, dvs. i retning munningen av Skienselva, men det innerste korset stoppet opp utenfor enden av hovedkaia. Under den andre måleserien snudde korset deretter og beveget seg tilbake mot utslippet. Samtidig ble det sluppet ut ca. 30 st driftmerker, som spredde seg nokså samlet i retning vest –nordvest. Målingene viser at det nærmest hovedkaia var en bakevje eller en hvirvel, mens strømmen i større avstand gikk i nordvestlig retning og stemte dermed med det generelle bildet (Figur 3). Stasjonsnettet er vist på Figur 7. Foruten pH ble det rutinemessig målt dyp, saltholdighet og temperatur. Alle data er gjengitt i Vedlegg A.

Saltholdigheten i brakkvannslaget var 3-3.5, dvs. omtrent som ventet ved denne vannføringen i Skienselva (Figur 8). Ned til ca. 3.5 m dyp bestod brakkvannet av omkring 90% ferskvann, for deretter å øke til en tilsvarende sjøvannsandel i 7-8 m dyp. Avløpsvannet slippes ut til brakkvannslaget og målingene ble derfor konsentrert om dette, men på enkelte stasjoner ble det målt ned til sjøvannslaget.



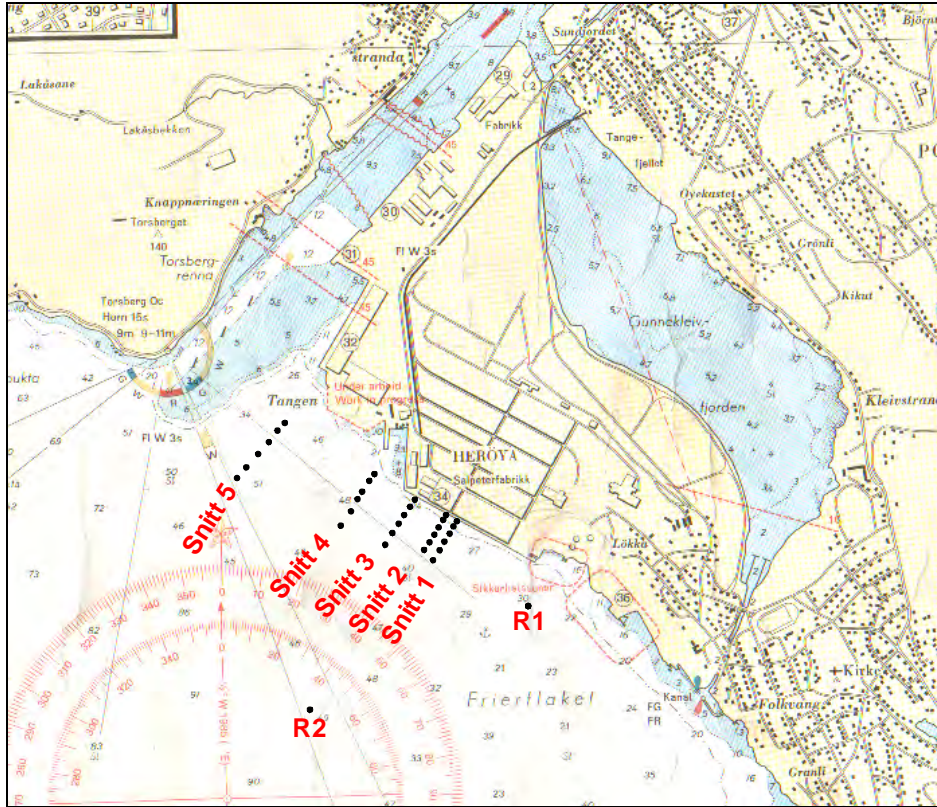
Figur 7. Stasjoner for måling av pH den 10.11.99. Stasjonen ovenfor Kulltangbrua ligger utenfor kartet (se også Figurene 10-11).



Figur 8. Vertikalprofil av saltholdighet og pH utenfor Hovedkaia den 10.11.99

Målinger 11.11.99 og 16.11.99

Disse to dagene ble det gjort målinger av pH samt saltholdighet og temperatur langs 5 snitt ut fra Herøya, på to stasjoner henholdsvis øst og sør for disse snittene og i Skienselva nord for Kulltangen bru (Figur 9). Målingene ble konsentrert om brakkvannslaget, men med enkelte profiler ned til sjøvannslaget. Da målingene begynte ble to strømkors plassert i 1 m dyp ved utløpet fra HK F14 for å beskrive hvilken vei skya med fortynt avløpsvann beveget seg.



Figur 9. Stasjoner for måling av pH den 11.11 og 16.11.99. I rapporten og i Vedlegg A er stasjonene nummerert etter snitt og beliggenhet i forhold til hovedkaia. Snitt 2 begynner ved utløpet av HK F14 og innerste stasjon har nr. 2.1 mens ytterste stasjon har nr. 2.6. Stasjonene R1 og R2 er "referansestasjoner" utenom de 5 langsgående snittene ut fra kaiområdet. Stasjon R3 ovenfor Kulltangen bru ligger utenfor kartet.

Den 11. og 16. november var det lavvann henholdsvis kl. 1145 og 1630. Første dagen begynte målingene kl. 1236, dvs. ved begynnende stigende vannstand, men andre dagen begynte målingene kl. 1030 og foregikk altså etter høyvann og ved synkende vannstand. Forskjellen mellom høyvann og lavvann i Frierfjorden er bare 15-20 cm og man skal ikke vente at tidevannet skaper store forandringer i strømsystemet. Den 11.11 var det praktisk talt vindstille mens den 16.11 blåste det svak bris fra N-NV.

Den 16.11 lå en stor båt ved kai utenfor HK F14 og med baugen vendt østover. Det var 20-30 m fra båtens baug og inn til utløpet og målepunkt 2.1 ble lagt på innsiden av båten ca. 10 m fra utslippet. De andre målepunktene i snitt 2 lå på utsiden av båten.

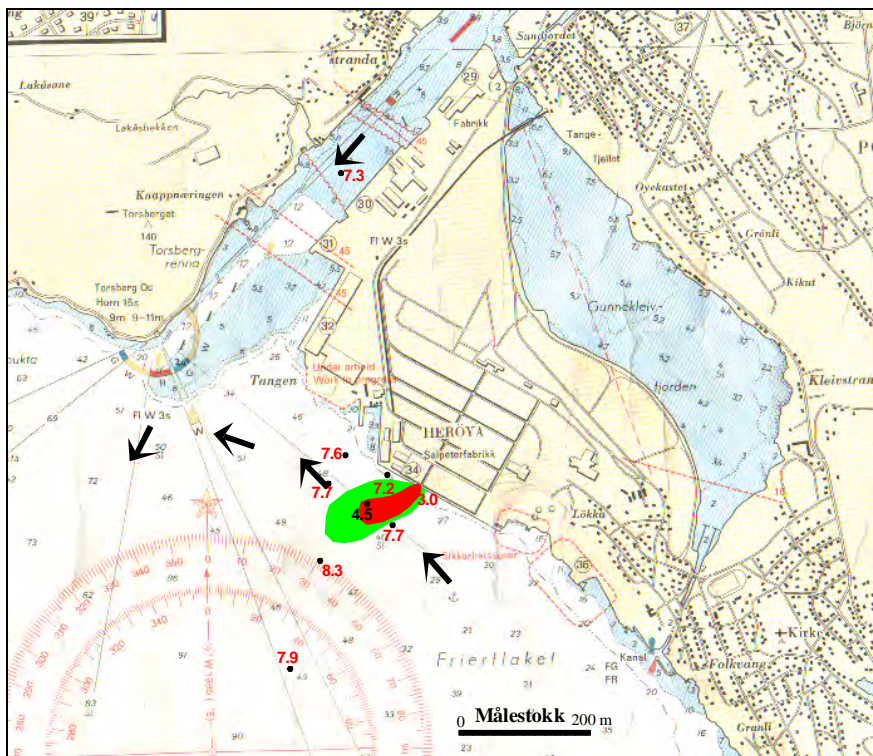
Saltholdigheten i 1 m dyp var 3.6-3.8 den første dagen og 3.8-4 andre dagen, dvs. forholdsvis konstant. Dette passer med at vannføringen i Skienselva varierte lite, men dog var litt lavere under de to siste målingene enn ved den første. Den vertikale saltholdighetsprofilen var i hovedsak lik den som ble målt 10.november (Figur 8). Resultatet av målingene er gjengitt i Vedlegg A.

4. Resultater og vurderinger

4.1. Utslippets virkning på pH i Frierfjordens vannmasser

Påvirkningen fra kloakk F14 på pH i Frierfjordens vannmasser vil i alt vesentlig være konsentrert om brakkvannslaget. Hovedgrunnen er at utslippet går til brakkvannslaget, men dertil kommer at den underliggende sjøvannsmassen i større grad enn brakkvannet er bufret mot endring av pH. Dette framgår også av Figur 8, og i det etterfølgende konsentrerer vi oss om brakkvannslaget.

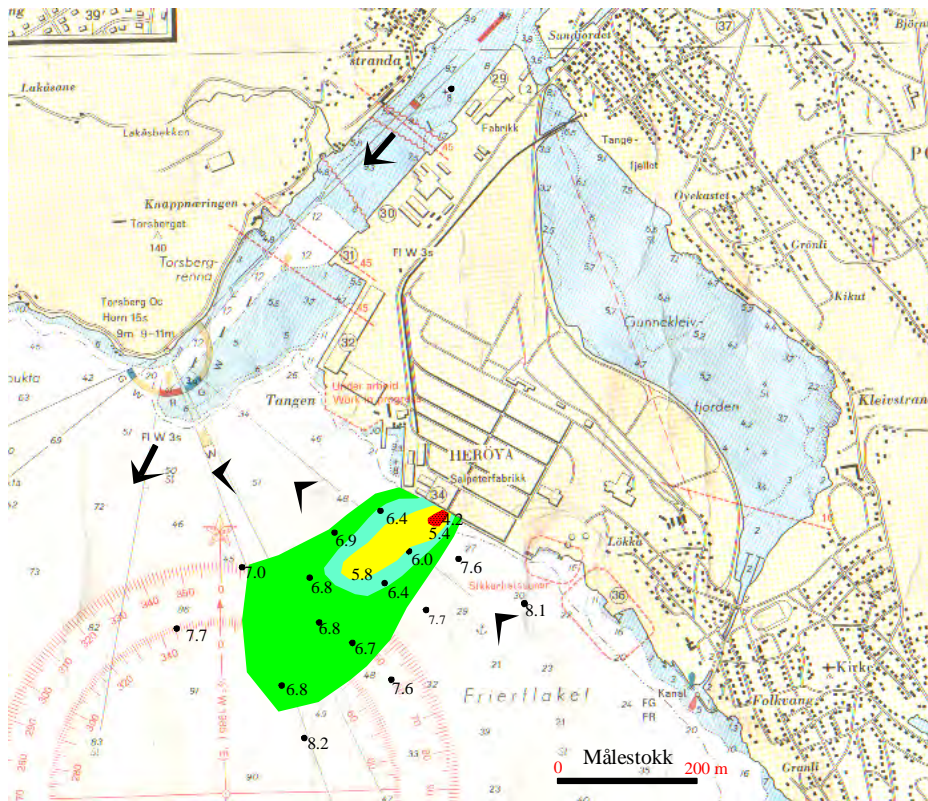
Resultatene fra pH-målingene den 10.november er vist i Figur 10-11. Omfanget av området med lav pH var ulik om formiddag (fallende vannstand) og ettermiddag (stigende vannstand).



Figur 10. Illustrasjon av pH i brakkvannslaget utenfor Herøya om formiddagen den 10.11.99. Strømretningen er antydnet med piler. Fargekode rødt: pH<5, gult: pH 5-6, turkis: pH 6-6.5, grønt: pH 6.5-7.

Det strømmønsteret som strømkorsene og driftmerkene viste er antydnet med piler. Om formiddagen – ved fallende vannstand – var bevegelsen mot Skienselvas munningsområde sterkere enn om ettermiddagen. Strømforholdene i dette området er ikke godt nok undersøkt til at det kan gis noen sikker forklaring på denne ulikheten, men en sannsynlig årsak er at strømmen ut fjorden akselereres ved fallende vannstand og at dette utenfor Herøya medfører økt hastighet inn mot Skienselvas utløp.

Målingene fra ettermiddagen 10. november omfatter flest stasjoner og gir best beskrivelse av situasjonen. I korthet viser Figur 11 at omlag 200 m ut fra utslippet og i en bredde av ca. 50 m var pH i brakkvannslaget mindre enn ca. 6. Arealet av vannmassen der pH var under 6.5 var omkring det dobbelte av dette.

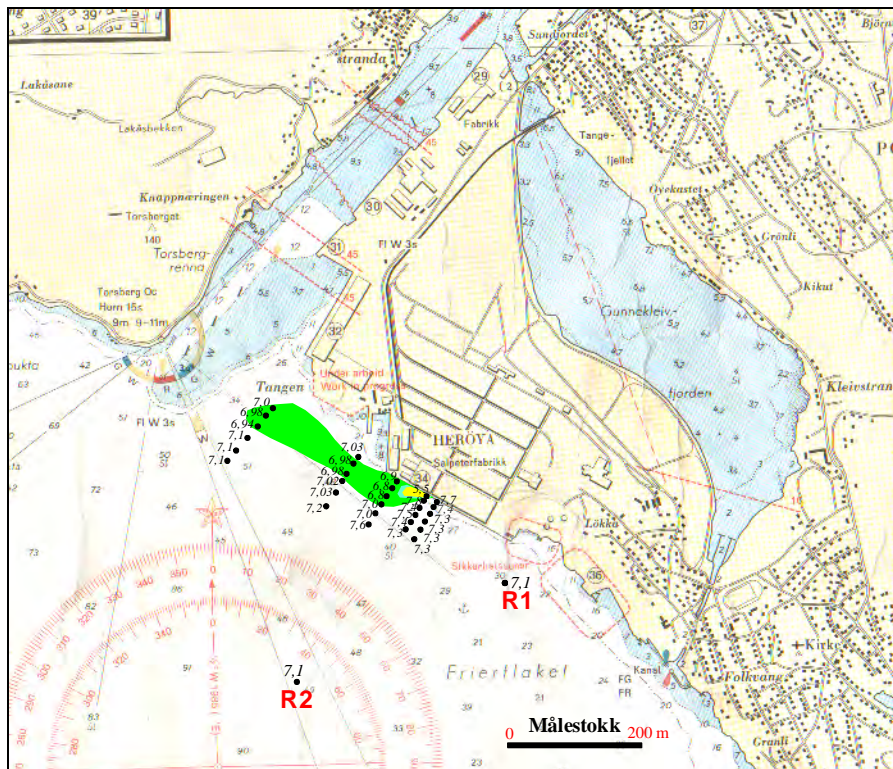
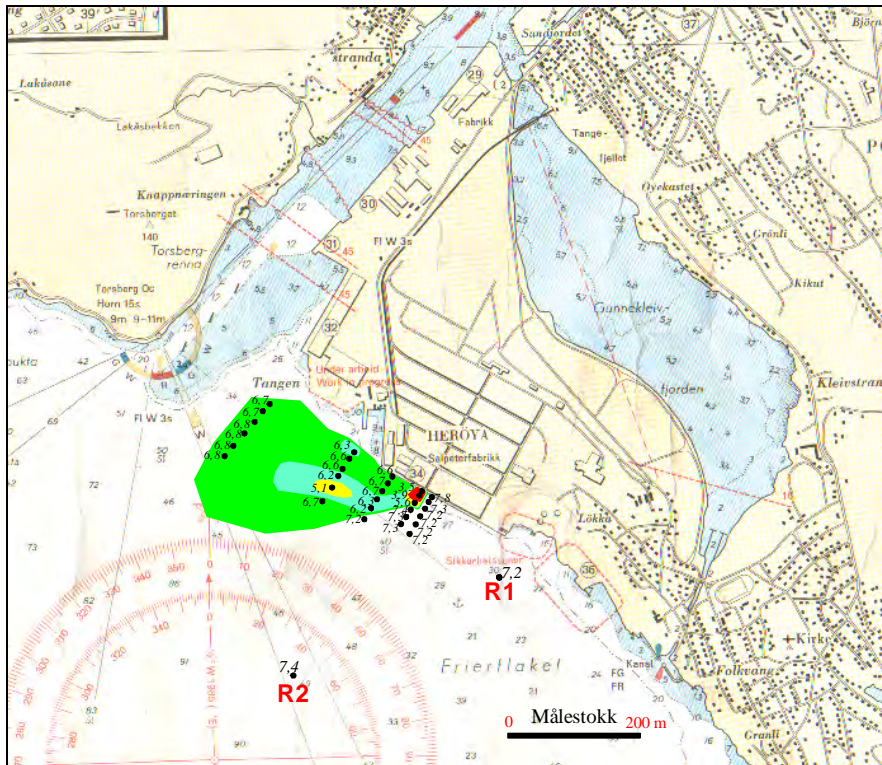


Figur 11. Illustrasjon av pH i brakkvannslaget utenfor Herøya om ettermiddagen 10.11.99. Strømretningen er antydnet med piler. Det var svak strøm utenfor Herøya. Fargekode rødt: pH<5, gult: pH 5-6, turkis: pH 6-6.5, grønt: pH 6.5-7.

I forhold til målingene om formiddagen viste ettermiddagens målinger en større påvirket vannmasse, men til gjengjeld med høyere pH nær utslippet.

Om ettermiddagen den 11. november ble målingene utført ved stigende vannstand og med svak strøm mot Skienselvas munningsområde. Hovedbildet (Figur 12, øverst) ligner det som ble registrert den foregående ettermiddagen, men med hovedutbredning mot vest i samsvar med strømkorsenes bevegelse. Med unntak for en enkelt måling (pH 5.1) på 4. snitt østfra var arealene av vannmassene med pH<6 og pH<6.5 mindre enn dagen før.

Den 16. november ble målingene utført ved synkende vannstand og stadig med strøm mot Skienselvas munningsområde. Hovedbildet (Figur 12, nederst) ligner det som ble registrert den 11. november, med utbredning av avløpsvannet mot vest i samsvar med strømkorsenes bevegelse. Arealene av vannmassene med pH<6 og pH<6.5 var mindre enn om ettermiddagen 10. november og den 11. november. Dette kan skyldes båten som lå ved kai der HK F14 munner ut. Rett utenfor kaikanten ble avløpsvannet stoppet av skutensida og måtte deretter strømme mellom skutensida og kaia i båtens lengderetning. Sannsynligvis har dette bidratt til økt blanding mellom avløpsvann og brakkvann, med raskere økning av pH som resultat.



Figur 12. Illustrasjon av pH i brakkvannslaget utenfor Herøya den 11.11.96 (øverst) og 16.11.99 (nederst). Fargekode rødt: pH < 5, gult: pH 5-6, turkis: pH 6-6.5, grønt: pH 6.5-7. Svak strøm mot Skienselvas munningsområde.

4.2. Utslippets påvirkning av biologiske forhold i Frierfjorden

4.2.1. Generelt vurderingsgrunnlag

Utslipet finner sted i et brakkvannsområde. Organismene som måtte befinne seg der er preget av dette. Desverre finnes det lite informasjon om effekter av pH på typiske brakkvannsorganismer. Det finnes imidlertid mye informasjon om effekter av pH på organismer i ferskvann og noe mindre på rent marine organismer. I det følgende har en derfor gitt en separat fremstilling av effekter i henholdsvis ferskvann og saltvann.

Effekter på ferskvannsorganismer

Ferskvann har langt dårligere bufferegenskaper enn sjøvann. Elver og vann uten punktutslipp av syre kan ha en pH fra ca. 5 til noe over 7 avhengig av en rekke faktorer (blant annet berggrunn, sur nedbør, eutrofigrad, snøsmelting).

I forbindelse med problemer rundt sur nedbør er det generert relativt mye informasjon om pH-toleranse hos organismer i ferskvann. De forskjellige arter har ulik toleranse for forsurening. Eksempelvis har forsuringfølsomme arter som stingsild, laks og regnbueørret normal forplantning ned til en pH på 6 mens lite forsuringfølsomme arter som ørret, abbor og gjedde har en tilsvarende pH grense på ca. 5.5 (NIVA upublisert). Ål kan forekomme i vann med pH ned til ca 4.3 (NIVA upublisert). Undersøkelser laget på bakgrunn av bunndyrenes forekomst og toleranse i forhold til forsuring (Bækken og Aanes, 1996) tyder på at en lokalitet med pH>5.5 ikke er forsuringsskadet. Også meget forsuringfølsomme arter av vanlig forekommende krepsdyrplankton forventes å opptre i vann med pH ned til ca. 5.5.

I vann med pH mindre enn 5.5 vil både antall bunndyrsarter og antall planktonarter bli redusert med synkende pH. SFT har også utgitt et klassifiseringsystem for ferskvann basert på surhetsgrad (Tabell 3.).

Tabell 3. Klassifisering av tilstand i ferskvann basert på surhetsgrad (etter Andersen et al. 1997)

	I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
pH	>6	6.0-6.5	5.5-6.0	5.0-5.5	<5

Effekter på marine organismer

Normalt vil pH i sjøvann (saltholdighet 35%) variere lite og ligger vanligvis i intervallet 7.8-8.2 (Bjerkeng og Knutzen, 1980, Knutzen, 1981). Sjøvann har gode bufferegenskaper. Disse egenskapene skyldes følgende likevektsreaksjon



Litteraturen viser at marine organismer også kan være følsomme overfor reduksjoner i pH. Hos dyr med kalkskall vil en reduksjon i pH kunne føre til oppløsning av skallet og gi øket dødelighet. Eksempelvis er det vist at unge stadier av enkelte skjell får en øket oppløsning av skallet ved lengere tids eksponering ved en pH på ca. 7.6 (Bamber, 1987). I en litteraturstudier fra 1981 ble det funnet få holdepunkter for at en pH reduksjon på 0.5-1 pH enheter skulle gi skadelige effekter (Knutzen, 1981).

I en senere studie ble det hevdet at en rekke bunndyr påvirkes ved pH opptil ca 7.7 (Magnesen og Wahl, 1993).

Ved langtidseksposering med en pH under 7.5-7.7 vil en forvente skadelige effekter på rent marine organismer. Eksempler på effekter kan være oppløsning av kalkskall, økt dødelighet, unormal larveutvikling, redusert ernæringsopptak (filtrering), redusert vekst, redusert svømmeaktivitet (Magnesen, 1993). Brakkvannsorganismers toleranse for pH er dårlig kjent. En totalvurdering tyder på at det er få effekter på marine organismer ved en pH-reduksjon ned mot 7.5-7.7. Fordi pH i overflatelaget ofte er lavere i fjorder og brakkvannsområder enn på det åpne hav antas at brakkvannsorganismer er mer tolerante overfor pH enn rent marine organismer.

SFT har ikke, slik som for ferskvann, utgitt et klassifiseringsystem for sjøvann basert på surhetsgrad.

4.2.2. Vurdering av virkninger i Frierfjordens brakkvannslag

Til grunn for vurderingen legges:

- ferskvannsorganismer kan påvirkes negativt av $\text{pH} < 6$
- marine organismer i fjorder kan påvirkes negativt av $\text{pH} < 7.5$
- nedre grense for pH i overflatevann i Frierfjorden er redusert i forhold til det som er normalt for sjøvann (7.8)
- eventuelle effekter på ferskvannsorganismer av $\text{pH} > 7.3$ (øvre grense for hva som er normalt for ferskvann) forårsaket av innblanding med sjøvann vurderes ikke da dette er et forhold som ville ha funnet sted uavhengig av syreutslippet,

Med unntak av 5 målinger, i hovedsak foretatt i brakkvannslaget og innenfor en avstand på 70-80 m fra utslippet, var $\text{pH} > 6$ ($\text{pH} = 5.13$ ble imidlertid i ett tilfelle målt ca. 250 m fra utslippet).

Dette betyr at pH i utslippet potensielt påvirket ferskvannsorganismer negativt innenfor en avstand på mindre enn ca 100 m og for organismer i enkelte "pakker med vann" ut til ca 250 m. En slik påvirkning vil i tilfelle kun finne sted i brakkvannslaget og kan være underordnet det faktum at ferskvannsorganismene etterhvert dør som følge av saltinnholdet i brakkvannet.

Den 11.11.99 ble det i brakkvannslaget på alle stasjoner målt $\text{pH} < 7.5$. Også på de øvrige dager viste en betydelig del av målingene $\text{pH} < 7.5$. (se fig. 9 og 10). Selv på stasjoner lengst borte fra utslippet ble det målt så lave verdier ($\text{pH} < 7.5$). I Frierfjorden vil en imidlertid ofte normalt kunne registrere $\text{pH} < 7.5$ (median verdi er 7.7 og minimumsverdi 7.0, se fig. 5). Når det gjelder intervallet pH 7.0-7.5 er det ikke mulig å skille mellom området som på et gitt tidspunkt "naturlig" har en pH lavere enn 7.5 pga. innvirkning av ferskvann fra Skienselva – og området som pga. syreutslippet har en $\text{pH} < 7.5$.

Sannsynligvis er stedegne brakkvannsorganismer i Frierfjorden bedre tilpasset det naturlige lave og varierende pH-regime i fjorden enn marine organismer. Tar en utgangspunkt i at marine organismer i fjorder kan påvirkes negativt når pH er under 7.5 så vil forholdene i Frierfjorden i perioder med naturlig lav pH være slik at disse påvirkes negativt. Det er imidlertid kun når pH er under ca. 7 at en med rimelig sikkerhet kan si at en slik påvirkning skyldes syreutslippet.

5. Sammenfattende vurdering

Avløpsvannet fra HK F14 slippes til brakkvannslaget i Frierfjorden. Dette har en typisk saltholdighet på 3-5 og består derfor av 80-90% ferskvann og resten sjøvann, og utgjør et blandingsforhold som er meget ugunstig for de fleste ferskvanns- og marine organismer.

Også det utstrømmende elvevannet i Skienselva inneholder sjøvann som er blandet inn fra det underliggende sjøvannslaget, og saltholdigheten i området mellom Kulltangen bru og Porsgrunn er saltholdigheten i brakkvannslaget varierende mellom 0 (flom) og 3—4. Målinger av pH ved Porsgrunn bybro er utført som en del av den lokale overvåkingen av badevannskvalitet i Grenlandsfjordene. Vi kjenner ikke alle verdiene, men pH 7.0-7.8 synes å være et vanlig intervall.

For fjordområdet bygger vurderingene på to datasett:

- målinger av pH i Herrebukta og midt i Frierfjorden i sommerhalvåret over tidsrommet 1993-97 (Figur 1).
- målinger av pH i Frierfjordens nordre del og Skienselvas nedre del den 10.11, 11.11 og 16.11 1999.

De første datasettet stammer fra stasjoner som ligger relativt langt unna Herøya. Laveste målte pH i brakkvannslaget er 7.0, og pH 7.6-8.0 har vært vanlig. Verdiene stemmer rimelig overens med det som er målt i Skienselva. Det er dermed usannsynlig at det sure avløpsvannet fra HK F14 i merkbar grad påvirker pH i brakkvannslaget i Frierfjorden som helhet, og en påvirkning må søkes i nærområdet for utslippet.

De tre måleseriene i november 1999 ble utført ved rolige vindforhold og med en ferskvannstilførsel forholdsvis nær årsgjennomsnittet for Skienselva. Selv om tidevannsvariasjonen i Frierfjorden er liten, kan man merke seg at målingene er utført både ved stigende og ved synkende vannstand. Det var uheldigvis ikke produksjon av saltsyre fra KNO_3 -produksjonen mens målingene foregikk, og pH i avløpsvannet er av Hydro Agri Porsgrunn oppgitt til 2.4-2.7.

Avløpsvannet fra HK F14 blander seg raskt med brakkvannet og målingene viste at virkningen på pH bare omfattet brakkvannslaget. Alle tre dager beveget det fortynnede avløpsvannet seg i retning munningen av Skienselva. Dette er i samsvar med det generelle strømbildet, men man må regne med at dette ofte endres pga. skiftende vindforhold.

Omfanget av vannmassen med $\text{pH} < 7$ varierte en del fra måleserie til måleserie, men både den 10.11 og 11.11 var utstrekningen opptil ca. 400 m i lengde målt fra utslippet - og 200-300 m i bredden. Omfanget av vannmassen med $\text{pH} < 6.5$ var typisk 10-20% av dette, mens tilsvarende for $\text{pH} < 6$ var 5-15%. Målingene den 16.11 viste et noe annet bilde, med relativt høy pH i nærsonen og et langtrukket område med $\text{pH} 6.5-7$ vestover mot Skienselva. Grunnen kan være at en større båt var fortøyd ved kaia utenfor HK F14 og dermed hindret avløpsvannet å strømme sørover fra kaiområdet. På den annen side er det sannsynlig at strømmen av avløpsvann rett mot skipssida medførte at blandingen mellom avløpsvann og brakkvann i nærsonen til utslippet var større en vanlig, og dermed ga en rask økning av pH.

De biologiske samfunnene i Frierfjordens brakkvannslag vil være preget av stress pga. et lavt og vekslende saltinnhold. Sannsynligvis er stedege brakkvannsorganismer i Frierfjorden bedre tilpasset det naturlige noe reduserte pH-regime i fjorden enn rent marine organismer. Tar en uten forbehold utgangspunkt i at marine organismer i fjorder kan påvirkes negativt når pH er under 7.5, vil forholdene i Frierfjordens brakkvannslag i perioder med naturlig lav pH være slik at marine organismer påvirkes

negativt. Det er imidlertid kun når pH er under ca. 7 at en med rimelig sikkerhet kan si at en slik påvirkning skyldes syreutslippet, og da for en relativt liten del av brakkvannslaget.

I ettertid viste det seg at saltsyre (opptil 1280 kg saltsyre/time) fra KNO_3 -produksjonen ikke var sluppet inn på HK F14 på tidspunktene da de tre måleseriene ble gjennomført. Avløpsvannet kan dermed antas å ha hatt pH 2.4-2.7. Vi har dermed svakt grunnlag for en nøyaktig beregning av utstrekningen av vannmasser og vannarealer som påvirkes av et utslipp med pH 2.2, men vil gjøre beregninger som kan vise en størrelsesorden. Forutsetter vi at:

- Styrken av saltsyra er 5%
- Brakkvannet som kloakken fortynnes i har saltholdighet 4, temperatur 10°C og pH 7.5

får vi at

- Fortynning i 7.000 m^3 brakkvann gir pH 5
- Fortynning i 10.000 m^3 brakkvann gir pH 6
- Fortynning i 55.000 m^3 brakkvann gir pH 7

Dette er et fortynningsbehov som kommer i tillegg til det som ble registrert ved de tre måleseriene. Antar vi at pH-effekten i hovedsak er konsentrert til de øverste 3 m av brakkvannslaget (jfr. Figur 8) tilsvarer dette overflatearealer på hhv. ca. 2500 m^2 , 3500 m^2 og 20.000 m^2 . Dette antyder en økning på størrelsesorden 25-30% for påvirkede vannmasser/arealer (jfr. Figurene 10-12, der Fig. 11-12 ansees som "de beste" måleseriene).

En annen tilnæringsmåte er å ta utgangspunkt i at pH-verdien er en negativ eksponent og betrakte forskjellen mellom $10^{-2.2}$ og $10^{-2.4}$ som et mål for fortynningsbehovet. Forholdet mellom disse to verdiene er 1.58, som antyder at avløpsvann med pH 2.2 krever fortynning i en vannmasse som er 50-60% større enn tilfellet er for avløpsvann med pH 2.4 – før samme pH nås (f.eks. pH 7.0).

Frierfjordens overflate ned til Saltbua (Vollsfjorden ikke medregnet, se Figur 1) er ca. 13 km^2 ($13.000.000 \text{ m}^2$), og med et brakkvannslag som vanligvis utgjør $50-60.000.000 \text{ m}^3$. Beregningene ovenfor tyder på at omkring 1% av fjordens brakkvannslag får redusert pH ($\text{pH} < 7$) som følge av utslippet i HK F14. For de biologiske forholdene i Frierfjorden som helhet er denne lokale påvirkningen ubetydelig.

Overslagsberegningene for vurdering av utslipp med pH 2.2-2.4 bør imidlertid etterprøves med pH-målinger i Frierfjorden og fortynningsforsøk.

6. Litteratur

- Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B. and Aanes, K.J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-rapport, TA 1468/1997. 31s.
- Bjerkeng, B. og Knutzen, J., 1980. Evaluation of ecological consequences of seawater scrubber effluent from Fläkt-Hydro sulfur dioxide removal process when applied to a 1200 MWe coal fired power plant. Rapport O-79086 fra Norsk institutt for vannforskning, 81s
- Bamber, R.N., 1987. The effects of acidic sea water on young carpet-shell clams *Venerupis decussata*. J.Exp. Mar. Biol. Ecol., 143, 181-191.
- Bækken, T. og Aanes, K.J., 1996. Bruk av vassdragets bunndyrfauna i vannkvalitetsklassifiseringen. Nr.2A. Forsuring (2. Opptrykk). NIVA-rapport nr. 2491, 38s.
- Källqvist, T., 1991. Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-1989. Delrapport 5: Planteplankton og næringssalter i overflatevannet, Overvåkingsrapport; 461/91, NIVA-rapport nr 2618, 43s.
- Knutzen, J., 1981. Effects of decreased pH on marine organisms. Mar. Pollut. Bull. 12, 25-29.
- Knutzen, J. 1990. Overvåking av gruntvannssamfunn i Grenlandsfjordene 1988-1989. NIVA-rapport nr. 2516, 43s.
- Magnesen, 1993. CO₂-injeksjon i havet, effekter på marint liv. Rapport nr 6/93 fra Universitetet i Bergen, Senter for miljø- og ressursstudier, 21s.
- Magnesen, T. og Wahl, T., 1993. Biological impact of deep sea disposal of carbon dioxide. The Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Technical Report no. 77A, 25s.
- Molvær, J., 1976. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 4. Fremdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen i fjordområdene mars 1974-desember 1975. NIVA-rapport O-70111. Oslo. 49s + figurer.
- Molvær, J., 1999. Grenlandsfjordene 1994-97. Undersøkelser av vannkjemiske forhold og vannutskiftning. Statlig program for forurensningsovervåking rapport nr. 756-99. NIVA-rapport nr. 3960-98. Oslo. 47 s.
- Molvær, J., Bokn, T., Knutzen, J. og Rygg, B., 1975. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 2. Fremdriftsrapport fra undersøkelsen mars 1974-desember 1975. NIVA-rapport O-70111. Oslo. 22s + figurer.
- Molvær, J. og Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. Overvåkingsrapport nr. 450/91. NIVA-rapport nr. 2588. Oslo/Gøteborg.
- Remane, A., 1934. Die Brakkwasserfauna. Verh. Dt. Zool. Ges., 36, 34-74.
- Rygg, 1995. Undersøkelser av bløtbunnsfauna i Grenlandsfjordene 1994. NIVA-rapport nr. 3320. 50s.

Vedlegg A. Data fra feltmålinger i november 1999

NIVA målinger 10.11.99

Date DDMMYY	Time HHMM	Lokalitet	Avstand fra kai og utslipp (meter)	Dyp meter	Temp °C	pH units	Sal ppt
101199	840	Oppstr. Kulltangbrua		0.5	8.4	7.25	1.3
101199	850	Utenfor PEA		0.5	8.2	7.26	1.8
101199	900	Utenfor utløp	10	0.5	10.7	5.34	3
			30	0.5	7.7		3.4
101199	900			1	7.7		3.4
101199	900			2	9.2		3.5
101199	900			3	10.0		7.5
101199	900			4	11.1		13.7
101199	900			5	12.6		18.8
101199	900			6	12.6		21.2
101199	900			7	12.7		29.5
101199	900			8	12.2		30.06
101199	900			9	12.36		30.39
101199	900			10	12.42		30.85
101199	1010	Ved utslipp	2	0.5	16.4	2.97	3
101199	1030	sv av utslipp	105/110	0.5	9.3		3.3
101199				1	9.2	7.2	3.3
101199				2	9.2	7.7	3.5
101199				3	9.2	8	4.5
101199				5	12.6	8	21.8
101199	1100	v av utslipp	16/50	0	9.7	6.5	
101199				1	8	7.2	

101199	1115	sv av utslipp	50/100	1	6.5	4.5	
101199				2	7.2	4.7	
101199				3	10.6	6.1	
101199				4	10.2	6.5	
101199				6	12.3	8	
101199	1130	sv av utslipp	200/243	1	8.6	8.3	3.4
101199	1135	sv av utslipp	343/347	1	9.3	7.88	3.2
101199	1140	sv av utslipp	200/front at amm.pir	1		7.7	
101199	1145	sv av utslipp	90/front av amm.pir	1	8.8	7.6	3.1
101199	1228	sø av utslipp	90/110	1	8.4	7.6	3.1
101199	1230	sø av utslipp	100/193	1	8.4	7.7	3.1
101199	1235	sø av utslipp	100/420	1	8.2	7.6	3.0
101199	1242	ved utslipp	30/30	1	10.6	4.2	3.1
101199	1244	ved utslipp	100/100	1	11.4	6	3.3
101199	1247	ved utslipp	180/180	1	8.3	6.4	3.2
101199	1252	ved utslipp	300/300	1	8.6	6.65	3.7
101199	1255	ved utslipp	465/470	1	8.2	6.8	3.1
101199	1305	ved utslipp	550/550	1	8.1	6.95	3.1
101199	1310	utenfor amm.pir	0/210	1	9.5	6.85	3.4

101199	1320	utenfor ø.kant av lagerbygn.	0/365	1	9.8	6.81	3.6
101199	1325	utenfor v.kant av lagerb	0/415	1	9.5	7	3.4
101199	1330	utenfor v.kant av h.kai	0/65	1	9.2	6.38	3.1
101199	1335	utenfor v.kant av h.kai	0/200	1	10.6	5.8	3.5
101199	1340	utenfor v.kant av h.kai	0/300	1	8.2	6.8	3.2
101199	1355	utenfor utslipp	60/70	1	10.8	5.4	3.3
101199				2	10.5	5.7	3.5
101199				3	10.5	6	4.3
101199				4	10.8	7.3	12.7
101199				5	12.4	8	23.6
101199				6	12.9	8.2	27.3
101199	1420	øst for hovedkai	0/300	1	7.8	8.1	3.2
101199	1430			1	7.6	7.86	3.3
101199	1435	utenfor v. kai	380/523	1	8.9	7.71	3.1
101199	1450	ovenfor Kulltangbrua		1	8.6	7.8	1.5

Miljølaboratoriet i Telemark målinger 11.11.99							
Date DDMMYY	Time HHMMSS	Lokalitet	Avstand fra kai, m (lok 4 og 5, tangent til kai med utslipp)	Dyp meter	Temp °C	pH units	Sal ppt
111199	120226	Nedstr. Kulltangbrua		1	8.74	7.17	1.8
111199	123606	1.1	31	1	9.66	7.81	3.3
111199	123935	1.2	65	1	8.3	7.31	3.7
111199	124052	1.3	85	0.9	8.27	7.23	3.7
111199	124222	1.4	120	1	8.25	7.21	3.6
111199	124342	1.5	153	0.9	8.25	7.2	3.6
111199	124449	1.6	184	0.9	8.27	7.2	3.6
111199	124846	2.1	10	1	11.56	3.52	3.8
111199	125015	2.2	39	0.9	10.71	3.94	3.8
111199	125115	2.3	74	0.9	9.41	5.65	3.7
111199	125148	2.3	74	2	9.05	6.05	3.7
111199	125223	2.3	74	3	8.35	6.53	3.7
111199	125302	2.3	74	3.9	10.68	8.45	11.5
111199	125345	2.3	74	5	11.89	7.98	19.5
111199	125427	2.3	74	6.1	13.46	7.98	29
111199	125514	2.3	74	7.3	13.87	7.91	30.6
111199	125551	2.3	74	8.1	13.74	7.91	30.8
111199	125723	2.4	132	1	8.86	7.45	3.5
111199	125844	2.5	182	1	8.3	7.31	3.6
111199	130018	2.6	235	1	8.32	7.28	3.6
111199	130610	3.1	29	1	9.18	6.62	3.9
111199	130825	3.2	64	1	9.2	6.74	3.8
111199	131028	3.3	90	1	9.2	6.73	3.9
111199	131123	3.3	90	2.1	9.74	6.26	4
111199	131319	3.3	90	3.1	9.71	7.3	5.9

NIVA 4127-99

111199	131425	3.3	90	4	10.07	8.21	8.7
111199	131517	3.3	90	5	11.36	8.08	19
111199	131610	3.3	90	6	13.08	8.12	27.5
111199	131703	3.3	90	7	13.79	7.94	30.4
111199	131750	3.3	90	8	13.77	7.92	30.8
111199	131952	3.4	155	1	9.59	6.34	3.9
111199	132323	3.5	210	1	9.2	6.22	3.8
111199	132629	3.6	279	0.9	8.48	7.16	3.6
111199	133347	4.1	37	1	9.86	6.34	3.6
111199	133515	4.2	77	0.9	9.51	6.62	3.7
111199	133658	4.3	119	1	9.54	6.55	3.8
111199	134014	4.4	192	1	9.36	6.15	3.8
111199	134327	4.5	249	1	10.09	5.13	3.9
111199	134550	4.6	308	1	8.74	6.71	3.7
111199	135315	5.1	25	1.1	9.63	6.67	3.7
111199	135536	5.2	60	1.1	9.58	6.72	3.7
111199	135659	5.3	90	1.1	9.5	6.76	3.7
111199	135927	5.4	150	1	9.58	6.77	3.7
111199	140216	5.5	211	1	9.41	6.81	3.7
111199	140447	5.6	260	0.9	9.5	6.83	3.6
111199	142314	Ref. 1		1	7.72	7.24	3.6
111199	142754	Ref. 2		0.9	6.97	7.44	3.5
111199	144113	Nedstr. Kulltangbrua		0.8	8.69	7.51	2

Miljølaboratoriet i Telemark målinger 16.11 1999.					
	Avstand fra kai m/utslipp	Dyp, Meter	Temp °C	PH Units	Sal ppt
Kulltangbrua		0.9	8.25	6.99	1.9
1.1	33	1	9.76	8.72	4.1
1.2	60	1	7.59	7.35	4
1.3	90	1	7.46	7.27	3.9
1.4	148	1	7.58	7.26	3.9
1.5	211	1	7.69	7.27	3.9
1.6	277	1	7.7	7.27	3.9
2.1	5	1	13.02	5.55	6.1
2.2	37	1	9.84	7.83	3.9
2.3	73	1.2	7.79	7.44	4
2.3	73	2	8.36	7.45	4.3
2.3	73	3	9.99	6.51	5.3
2.3	73	4	10.81	7.15	10.7
2.3	73	5	12.03	8.12	19.7
2.3	73	5.9	12.88	8.18	25.3
2.3	73	7	13.12	8.16	26.8
2.3	73	7.9	12.76	8.1	27.1
2.4	129	1.2	7.89	7.52	4
2.5	190	1.1	7.86	7.39	3.9
2.6	250	1	7.72	7.34	3.9
3.1	30	1.1	8.27	6.86	3.9
3.2	62	1.1	8.51	6.84	3.9
3.3	100	1.1	8.36	6.83	3.9
3.3	100	1.9	8	7.25	3.9
3.3	100	2.9	10.05	7.39	5.9
3.3	100	4	10.48	7.62	10.1
3.3	100	5	11.91	8.12	18.8
3.3	100	6.1	13.04	8.13	25.2
3.3	100	7.1	13.42	8.13	26.9
3.3	100	8.2	13.16	8.1	27.1
3.4	157	1.2	8.41	6.97	3.8
3.5	220	1.2	8.4	7.03	3.8
3.6	290	1.2	7.81	7.62	3.9
4.1	33	1.2	8.28	7.03	4
4.2	64	1.1	8.53	6.98	3.9
4.3	100	1.1	8.5	6.98	3.8
4.4	168	1.1	8.41	7.02	3.9
4.5	220	1.1	8.2	7.03	3.9
4.6	283	1.1	8.09	7.2	3.9
5.1	28	1	8.04	7	4
5.2	60	1	8.28	6.98	3.8
5.3	105	1	9.15	6.94	3.7
5.4	160	1	8.25	7.07	3.8
5.5	210	1	8.1	7.09	3.8
5.6	290	1	7.99	7.09	3.8

Ref. 2		1	6.95	7.06	3.9
Ref.1		1	7.76	7.14	3.8