



O-94085

Dumping
av sprengstein
ved Trengereid

Vurdering av
slamspredning

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-94085	Undemr.:
Løpenr.: 3099	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: DUMPING AV SPRENGSTEIN VED TRENGEREID VURDERING AV SLAMSPREDNING	Dato: 4. juli 94	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Hydrologi/ oceanogr. modeller	
Forfatter(e): Lars G. Golmen	Geografisk område: Hordaland	
	Antall sider: 20	Opplag: 1. ste

Oppdragsgiver: Bergen Lysverker, Postboks 565, 5002 Bergen	Oppdragsg. ref.: S. Moe
--	-----------------------------------

Ekstrakt:
I samband med anleggsarbeid skal Bergen Lysverker dumpe ca. 18,000 m³ sprengstein i Sørfjorden ved Trengereid. Dette arbeidet medfører også spredning av partikler i fjorden. NIVA har foretatt en forhåndsvurdering av strøm og spredningsforhold, samt framtidig gassovermetningsrisiko. Strømmen i området er oftest sørgående, men fluktuierer både i styrke og retning. Partikler vil spres i et smalt belte parallelt med land. Detekterbare konsentrasjoner vil kunne spores inntil 350 m sørover fra dumpstedet. Framtidig drift av kraftverket vil kunne medføre inntil 5% gassovermetning i avstand 200 m fra utslippet.

4 emneord, norske

1. Sørfjorden
2. Partikler
3. Strøm
4. Gassovermetning

4 emneord, engelske

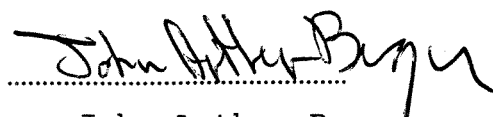
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder



Lars G. Golmen

For administrasjonen



John Arthur Berge

ISBN 82-577-2576-5

Prosjekt O-94085

DUMPING AV

SPRENGSTEIN

VED TRENGEREID

VURDERING AV SLAMSPREDNING

Bergen, 4 juli 1994

Lars G. Golmen prosjektleder

Torbjørn M. Johnsen medarbeider

Jarle Molvær ---"---

Vilhelm Bjerknes ---"---

Forord

Bergen Lysverker skal gjennomføre anleggsarbeider ved Trengereid i samband med ombygging av Trengereid kraftverk. Anleggsarbeid vil for det meste foregå i fjell. Overskytende sprengmasse vil bli søkt dumpet i fjorden utenfor.

Bergen Lysverker v/ Stein Moe har i den sammenheng bedt NIVA om å beskrive hydrofysiske forhold i fjorden og ved dumpestedet, samt risiko for gassovermetning ved framtidig drift av kraftverket.

Vurderingene er gjort kun på teoretisk basis. Torbjørn Johnsen og Lars G. Golmen ved NIVAs Vestlandsavdeling har hatt hovedansvaret for utredningene. Forsker Jarle Molvær ved NIVA i Oslo har bistått på modelleringsdelen. Forsker Vilhelm Bjerknes har lest gjennom rapporten og kommentert utkastet.

Bergen, juli 1994



*Lars G. Golmen
prosj. leder*

INNHold

SAMMENDRAG	4
1. INNLEDNING	5
1.1. Bakgrunn.....	5
1.2. Formål med rapporten.....	5
1.3. Beskrivelse av kraftverket	5
1.4. Beskrivelse av sjøresipienten.....	8
1.4.1. Bunnforholdene.....	8
1.5. Mulige problemer knyttet til dumping av sprengstein	9
2. STRØMFORHOLDENE	9
2.1. Generelt.....	9
2.2. Forholdene ved Trengereid	10
3. PARTIKKELSKYENS INFLUENSOMRÅDE	12
3.1. Generelt.....	12
3.2. Spredningsmodellen	12
3.3. Resultater	13
4. GASOVERMETNING	14
4.1. Generelt.....	14
4.2. Vurdering av overmetning	15
4.2.1 Effekt av trykk- og temperaturendringer i sjakta	16
4.2.2. Prosesser ved og etter trykkfall.....	17
4.2.3. Prosesser i tunnelen etter kraftverket	17
4.2.4. Prosesser i fjorden.....	17
LITTERATUR.....	19

SAMMENDRAG

Bergen Lysverker skal bygge om Trengereid kraftstasjon. Arbeidet vil medføre dumping av ca. 18,000 m³ sprengstein over en 6-7 måneders periode. I den sammenheng har Bergen Lysverker bedt NIVA om å forhåndsvurdere følgende faktorer:

1. Strømforholdene i fjorden ved dumpestedet.
2. Influensområdet for partikkelskyen med og uten spyling av sprengstein.
3. Risiko for gassovermetning ved framtidig drift av kraftverket.

Det er ikke foretatt konkrete målinger i samband med vurderingene.

Strømmen i det aktuelle området er variabel. I brakkvannslaget dominerer sørgående (utgående) strøm, men periodevis går strømmen nordover. Midlere strømstyrke i dette laget er av størrelsesorden 3 cm/s. Også i dypere sjikt dominerer sørgående strøm, men strømstyrken er langt lavere enn i øvre lag.

Uten spyling av sprengsteinen antas det at små partikler kan spres i et relativt smalt belte parallelt med land. Rester av slam vil kunne spores inntil 350 m sørover. Ved nordgående strøm vil influensområdet strekke seg nordover i om lag tilsvarende avstand. Ved effektiv spyling av sprengsteinen antas det at 80% av slam og partikler fjernes. Dette vil redusere influensområdet for partikler (målbare/skadelige mengder) til ca 1/4 av utstrekningen uten spyling.

Gassovermetning i fjorden vil særlig kunne oppstå om våren og sommeren, ved store temperaturkontraster mellom utslippsvann og vann i fjorden. Overmetning fra utslippet på inntil 5% vil kunne påvises i avstand inntil 200 m fra utslippsstedet. Dette kan adderes til naturlig forekommende overmetning, med ennå høyere totalovermetning som resultat.

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Bergen Lysverker skal bygge om tidligere A/S Trengereid Fabrikkers kraftverk på Trengereid i Vaksdal kommune, Hordaland (fig. 1). Kraftverket ved Sørfjorden (10 m.o.h.) tar vann fra Skulstadvatn (380 m.o.h.).

Ombyggingen består i utviding av eksisterende hall, samt utsprengring av trykksjakt og avløps- og adkomsttunnel til kraftverket.

Anleggsarbeidet vil medføre dumping av sprengsteinmasser tilsvarende ca 18,000 m³ over en 6-7 måneders periode fra sommeren 1994 (tentativt).

Dumpingen antas å medføre tilførsler av slam/partikler og sementvann til fjorden. Disse tilførslene vil etter det erfaring fra andre steder tilsier kunne ha negativ effekt på organismer i utslippsområdet. Dette inkluderer fisk i nærliggende oppdrettsanlegg på Trengereid.

Bergen Lysverker presenterte anleggsplanene for Fylkesmannens Miljøveravdeling i 1993. Miljøvern-avdelinga fant på grunnlag av arbeidets art ikke å kreve konsesjonsbehandling etter forurensingsloven. Dette begrunnes bl.a. i at arbeidet er midlertidig, d.v.s. av kortere varighet enn 2-3 år.

Bergen Lysverker har imidlertid bedt NIVA om å vurdere ulike mulige konsekvenser ved arbeidet, bl.a. for å kunne etablere eventuelle effekt-begrensende tiltak.

1.2. Formål med rapporten

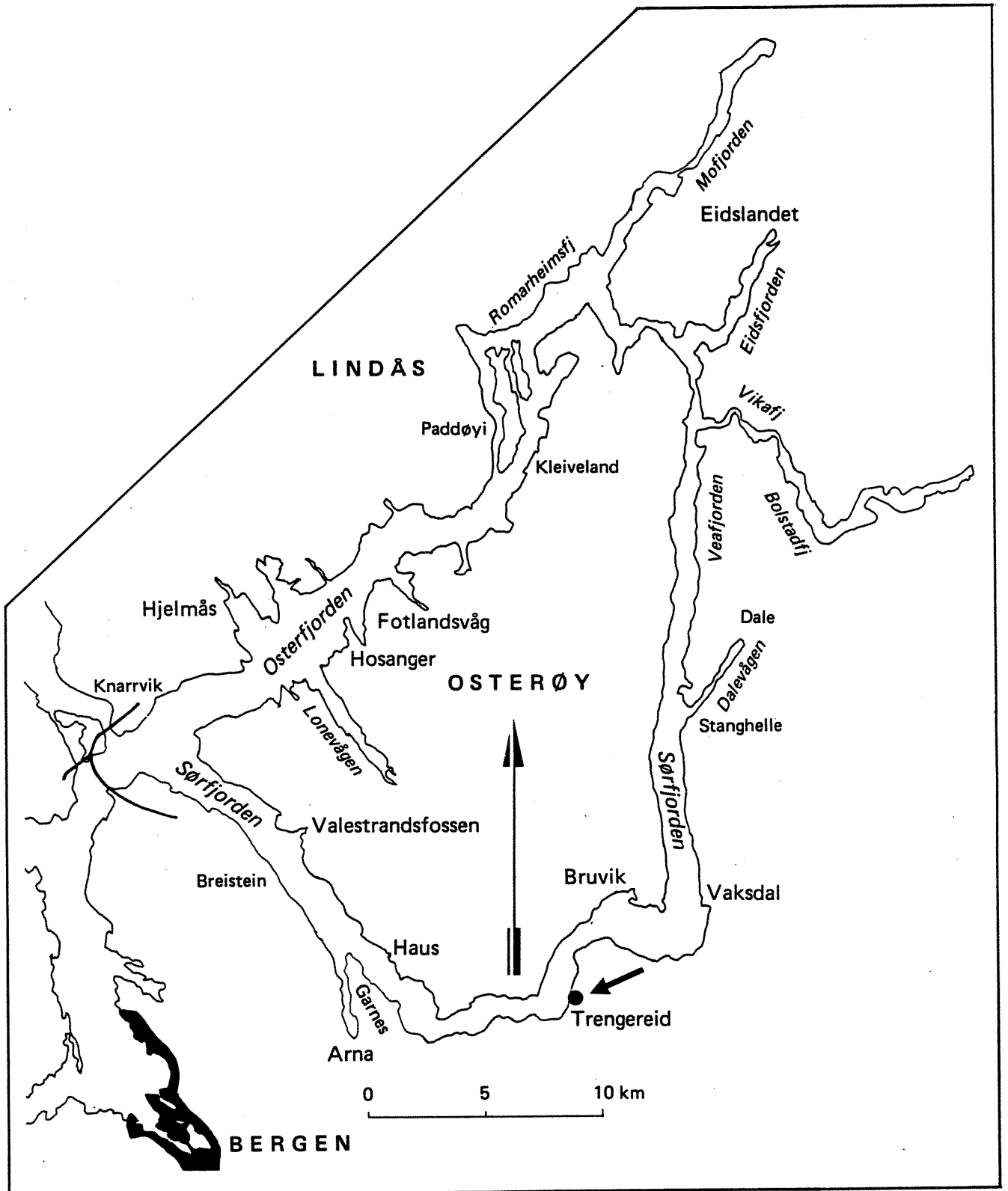
NIVA er spesifikt bedt om å behandle følgende:

1. Fastslå strømforhold på det omtalte dumpingssted.
2. Forhåndskartlegge influensområde for partikkelsky med hensyn til retning og utstrekning under følgende forutsetninger:
 - a) ved spyling av sprengstein,
 - b) uten spyling.
3. Vurdere risiko for gassovermetning ved framtidig drift av kraftverket.

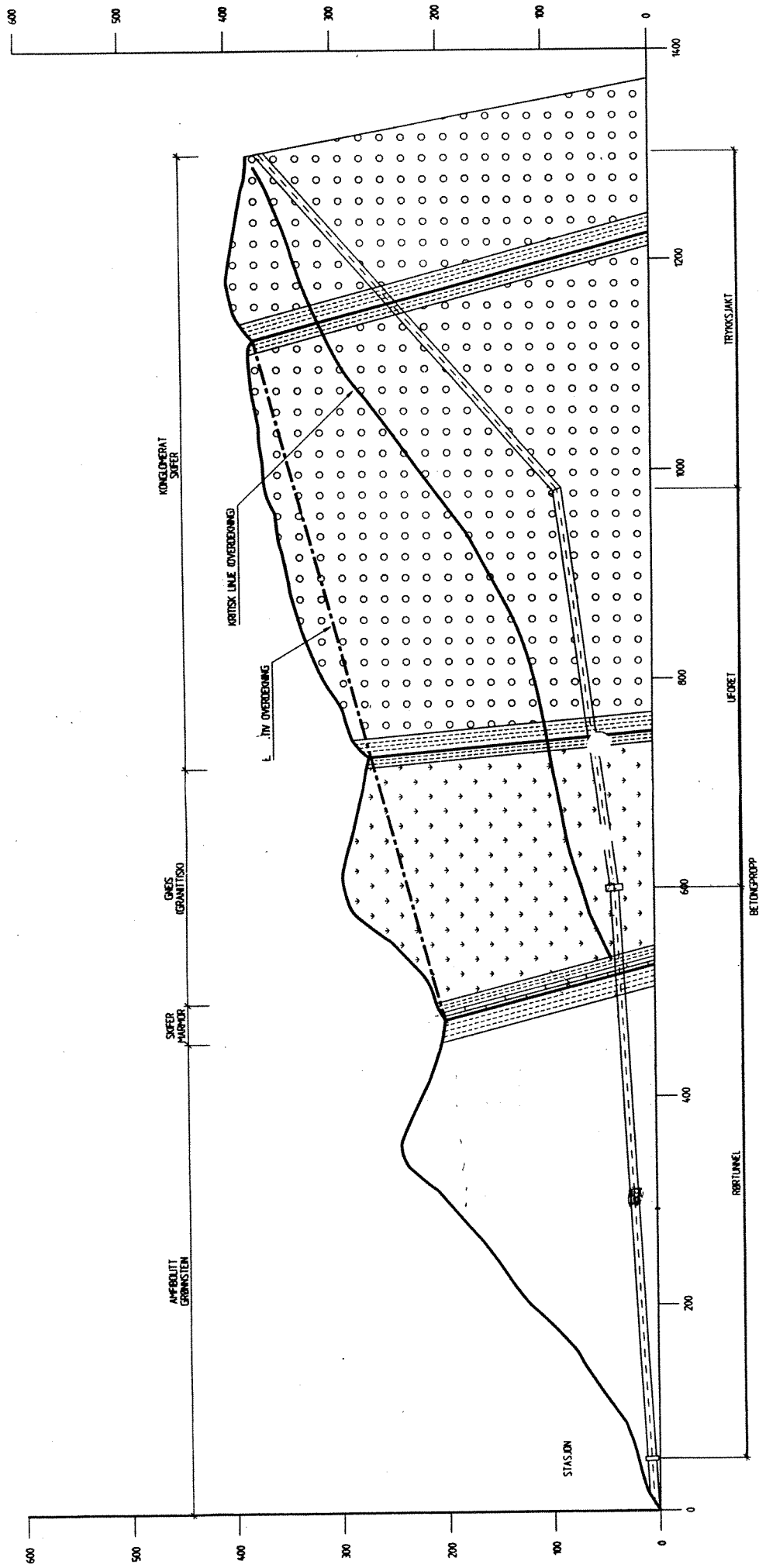
1.3. Beskrivelse av kraftverket

Figur 2 syner et geologisk tverrsnitt fra Skulstadvatn (380 m.o.h.) til Sørfjorden. Det framgår at tunnel og trykksjakt går igjennom flere berggrunnstyper, som grønnstein, marmor, gneiss og konglomerat.

Selve kraftstasjonen ligger nær fjorden.



Figur 1. Kart over fjordene rundt Osterøy. Beliggenhet til Trengereid kraftverk er markert med pil.



Figur 2. Berggrunnsprofil i traseen for trykksjakt og rørgate fra Skulstadvatn til kraftverket.

Noen tekniske opplysninger for kraftverket:

Fallhøyde:	370 m
Tunnellengde:	ca. 1,400 m, herav 700 m trykksjakt
Trykksjakt:	700 m, 14 m ² tverrsnitt
Turbin:	Pelton, 2-strålet, 750 omdr/minutt
Vannfluks:	1.3 m ³ /s

1.4. Beskrivelse av sjøresipienten

Stedet der masse vil bli dumpet, ligger vendt mot vest eller nordvest i nordre del av Trengereid. Stranda er bratt med hellningsgrad ca 1:2.

Det tilstøtende fjordområdet (fig. 1) tilhører Sørfjorden. Fjordbredden er ca 1.2 km på stedet. Tvers over fjorden ligger Osterøy. Fjorddypet er ca. 350 m.

Ved innsnevringen like nord for Stammeshella i nordenden av Veafjorden er bunndypet bare ca 15 meter. Dette begrenser sirkulasjonen i dypere sjikt av vannsøylen, mens vann grunnere enn 10-15 meter beveger seg mer fritt.

Fjordene rundt Osterøy har vært gjenstand for omfattende miljøundersøkelser i samband med planleggingen av Salhusbrua. Disse målingene danner grunnlag for miljømessige konsekvensvurderinger (f.eks. Gjerp og Rye 1979, Bjerknes m.fl. 1985).

I fjordene har undersøkelsene konsentrert seg om hydrografi og sjiktningforhold, samt biologi. Typisk ligger brakkvannslagets tykkelse ved Trengereid rundt 2-3 meter, med salinitetsverdier fra 4 til 7-8 promille om sommeren, avhengig av forhold som tilrenning og vind. Om vinteren og sporadisk om sommeren minker brakkvannslagets tykkelse til under 1 m, og saliniteten i 2-3 m dyp kan komme over 25 ppt ved Trengereid.

Inne ved Trengereid forårsaker bl. a. vinden store hydrografiske variasjoner over tid (Bjerknes 1986). I følge modellsimuleringer kan brakkvannslagets tykkelse raskt endres fra 2-3 m til 4-5 m under vindepisoder (Rye 1990).

Systematisk kartlegging av strømforholdene har kun vært utført ute i Salhusfjorden, i nærheten av der hvor flytebrua blir plassert. Sporadiske strømmålinger foreligger fra noen av oppdrettsanleggene lenger inne i fjordsystemet. NIVA har kjennskap til noen få av disse målingene.

1.4.1. Bunnforholdene

Det har ikke blitt utført detaljerte bunnopploddingar på dumpstedet. Ut fra generelle kartopplysninger kan en anta en hellningsgrad på bunnen fra 1:3 til 1:2 (33% - 50%). Avsatser o.l. kan eksistere slik at masse kan bli liggende midlertidig på relativt grunt vann, før de raser ut.

1.5. Mulige problemer knyttet til dumping av sprengstein

Steinmasser som kommer fra utboring og sprengning av tunneler, inneholder ofte store mengder steinpartikler. Hvis slike sprengningsmasser dumpes i sjøen, vaskes de finkomete steinpartiklene ut. Disse partiklene er små og har derfor lav synkehastighet slik at de blir svevende lenge i vannmassene. Hvor stort influensområdet vil være, anghenger av flere faktorer slik som strømhastighet, dumpingsfrekvens osv.

Partikler fra sprengstein er nydannede og er derfor spisse og skarpkantede. Slike partikler representerer derfor en fare for at fisk som kommer inn i influensområdet, kan få gjelleskader. Det uorganiske partikkelinnholdet i elver og vann må være relativt høyt (>80 mg/l) for at det skal gi effekter på fisk (Alabaster & Lloyd 1982), men dette skyldes at slike partikler som i hovedsak stammer fra breslam og erosjonsmateriale, har avrundede kanter. Partikkeltoleransen er artsavhengig, og laksefisk har relativ lav toleransegrense (Grande 1986).

Ulike bergarter gir forskjellige former på partiklene. En del bløte bergarter gir nåleformede, fiberlignende partikler som kan penetrere gjellevev, og av disse skal det lave konsentrasjoner (<5 mg/l) til for at fiskedød kan oppstå (Jacobsen m.fl. 1987). Tunnelen gjennom fjellet fra Skulstadvatn og ned til havoverflaten går imidlertid gjennom bergartene konglomerat, gneis, skifer, marmor og amfibolitt som ikke danner fibrige partikler.

Dumping av sprengte steinmasser i sjøen fører ofte til en økning av nitratkonsentrasjonen innen influensområdet (Johnsen & Golmen 1992). Årsaken er at det i slike steinmasser ofte finnes rester av nitrogen fra sprengstoffet som inneholder nitrat og nitratderivater. Ved detonering omdannes disse til nitrose gasser, men noe av sprengstoffet forblir udetonert og vaskes ut ved dumping. Nitrat er et nærings salt som i nitrogenbegrensede områder kan ha en eutrofierende effekt.

Sedimenteringen av partikler innen influensområdet vil føre til nedslamming av flora og fauna. Den bratte helningen av bunnen ved Trengereid vil imidlertid medføre at et relativt lite areal vil bli påvirket.

For å redusere partikkelspredningen kan forebyggende tiltak som spyling av sprengstein og/eller utplassering av "skjørt" rundt dumpestedet foretas. Dette vil få partiklene til å sedimentere innen et avgrenset område og redusere influensområdet betraktelig.

2. STRØMFORHOLDENE

2.1. Generelt

Strømforholdene på og rundt dumpestedet er avgjørende for hvordan en eventuell partikkelsky spres og fortyknes i fjorden, og dermed også for hvilke miljøkonsekvenser som kan forventes.

I første rekke er det strømmen i "øvre lag" som er avgjørende. Dette dels fordi en kan anta at mesteparten av partiklene vil spres i sjikt nær overflaten, og dels fordi lysavhengig biologisk produksjon er størst der. I tillegg er også dybdesjiktet for oppdrettsfisk i åpne merder begrenset til de øverste 10 metre av vannsøylen.

Det er viktig å ha klart for seg at strømmen i en fjord ikke er konstant og ensretta, men varierer både i styrke og retning. Endringer i forhold til middeltilstanden kan være kortvarige (minutter til timer) eller langvarige (dager eller uker).

Strømmen kan bevege seg både med og mot klokka rundt Osterøy, avhengig av hvilke drivkrefter som er til stede.

Sørfjorden er del av et større sirkulasjonssystem som i tillegg består av Veafjorden øst for Osterøy, Osterfjorden på nordsida og Salhusfjorden på vestsida. Se fig. 1. I og med at fjordene danner en ring, er teoretiske betraktninger for vanlige fjorder (med én åpning) ikke direkte anvendbare her.

Strømmen har sjelden samme retning i alle dyp. I dypere sjikt er gjerne strømmen motsatt rettet strømmen i overflatelaget.

2.2. Forholdene ved Trengereid

Ut fra teoretiske betraktninger er det rimelig å anta at strømmen av brakkvann for det meste går sørover (ut fjorden) ved dumpestedet. I sjikt fra 10-15 m til 30 m eller dypere kan det være nordgående kompensasjonsstrøm. Siden dette prosjektet ikke har gitt rom for faktiske målinger, danner denne antakelsen et viktig utgangspunkt for videre vurderinger. Det er i første rekke sørgående strøm som vil medføre problemer, f.eks. i form av påvirkning på oppdrettsfisk ved Trengereid.

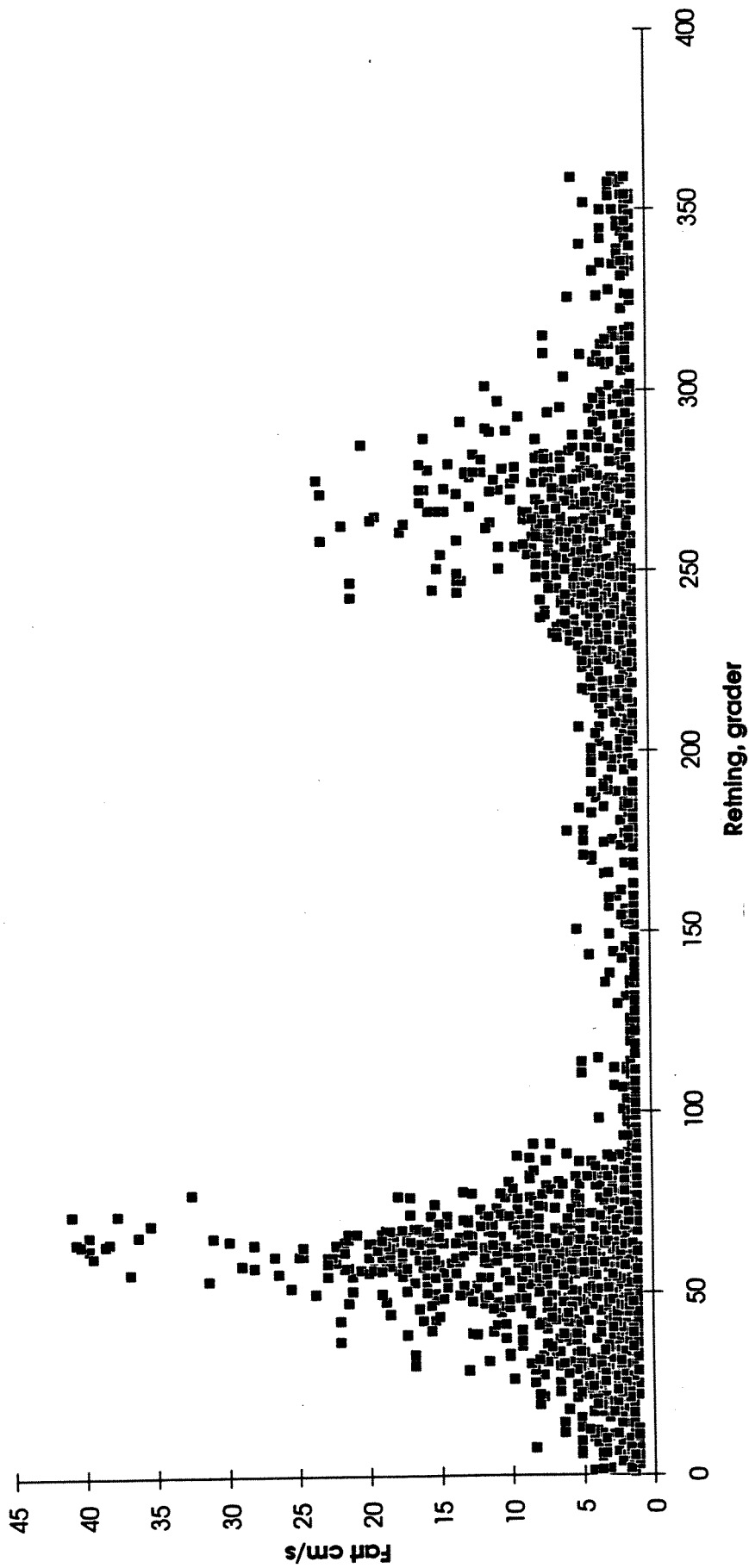
Store ferskvannskilder som Vosso og Daleelva bidrar til tilførsler til fjorden innafor Trengereid. Beregninger av Gjerp m.fl. (1982) viste at 53 % av samlet tilrenning til fjordene rundt Osterøya kom på strekningen Vaksdal-Stamnes. Dette vannet finner helst "lettete" og korteste vei ut mot kysten, d.v.s. i stor grad via Sørfjorden.

Målinger som NIVA utførte i 3 m dyp ved oppdrettsanlegget på Trengereid i mai 1993 (Hobæk og Golmen 1993) viste et vesentlig innslag av nordgående strøm (inn fjorden i ca 40% av tiden). Det er uklart om dette skyldes en lokal virvel på stedet. I så fall er målingene mindre relevante for foreliggende problemstilling.

Middelstrømmen i 3 m dyp var svak, ca 3 cm/s. Der var episoder av noen timers varighet med strøm av styrke 30-40 cm/s i 3 m dyp. Disse episodene var oftest assosiert med strøm av retning 50-70^o, d.v.s. inn fjorden (fig. 3). Men også utgående strøm hadde styrke på over 20 cm/s.

Målinger i 15 og 53 m dyp samme sted synte at sørgående strøm (ut fjorden) var dominerende. I 15 og 53 m dyp var middel strømstyrke av størrelsesorden 0.5-0.7 cm/s.

Trengereid 15/5 - 28/5 1993
Strømfart Strømreining



Figur 3. Resultat fra strømmålinger i 3 m dyp ved Trengereid i mai 1993.

3. PARTIKKELSKYENS INFLUENSOMRÅDE

3.1. Generelt

Partikkelskyens fasong og utbredelse vil avhenge av en rekke faktorer, slik som:

Strømforholdene
 Sjiktningsforholdene i sjøen
 Utgangskonsentrasjoner
 Hyppighet av dumping
 Partiklenes synkehastighet og assosiering/dissosiering
 Partiklenes sammenklumping og tilknytning til stein.

Ingen av faktorene er kvantitativt gitt i utgangspunktet. Videre er det klart at de ulike faktorene varierer over tid, og at en fullstendig modellering av alle tenkelige kombinasjoner ville kreve vesentlig større ressurser enn det foreliggende utredning gir rom for.

Vurderingene her må derfor baseres på erfaringsmateriale, kvalifisert skjønn og utvalg av scenarier (situasjoner) som sannsynligvis er representative for situasjoner som vil oppstå.

3.2. Spredningsmodellen

Som utgangspunkt for å vurdere sannsynlige konsentrasjoner nær dumpstedet, har vi benyttet en todimensjonal punktkilde adveksjon-diffusjon modell. Den matematiske formuleringen er basert på klassiske arbeider innen hydrodynamikk. Modellen har i liknende situasjoner vist seg å gi tilfredsstillende samsvar med observerte verdier, forutsatt at startverdiene for bl.a. strøm er realistiske.

Den matematiske formuleringen for modellen er,

$$\partial C/\partial t = -U\partial C/\partial x + K\partial^2 C/\partial x^2 + K\partial^2 C/\partial y^2 + kC + S,$$

der $C(x,y)$ er partikkelkonsentrasjonen, t er tid, U er strømstyrke, K er horisontal eddy diffusjonskoeffisient, k er svekningskonstant (decay; satt lik null her), og S er kildetilførselen (utgangskonsentrasjonen) av partikler. Partiklene (og evt. andre stoff) antas spredt ut fra en konsentrert kilde nær overflaten. Her vil det dannes en "pute" av utslippsvann. Herfra spres skyen gradvis utover; mest i nedstrøms retning, men også noe lateralt p.g.a. diffusjon.

Modelleringsresultatene er mye avhengige av valgt turbulensfaktor K (eddy diffusivitet). Denne er en funksjon mest av bølger og strømskjær og derav generert turbulens. Ut fra erfaringsmateriale har vi valgt verdier på h.h.v. 1 og 4 m²/s, som kan antas å representere rolige "sommerforhold".

Modellen slik den er formulert ovenfor, har null vertikal diffusjon. Dette er sannsynligvis ikke helt realistisk i og med at en kan anta det vil foregå en langsom utsynking av partikler.

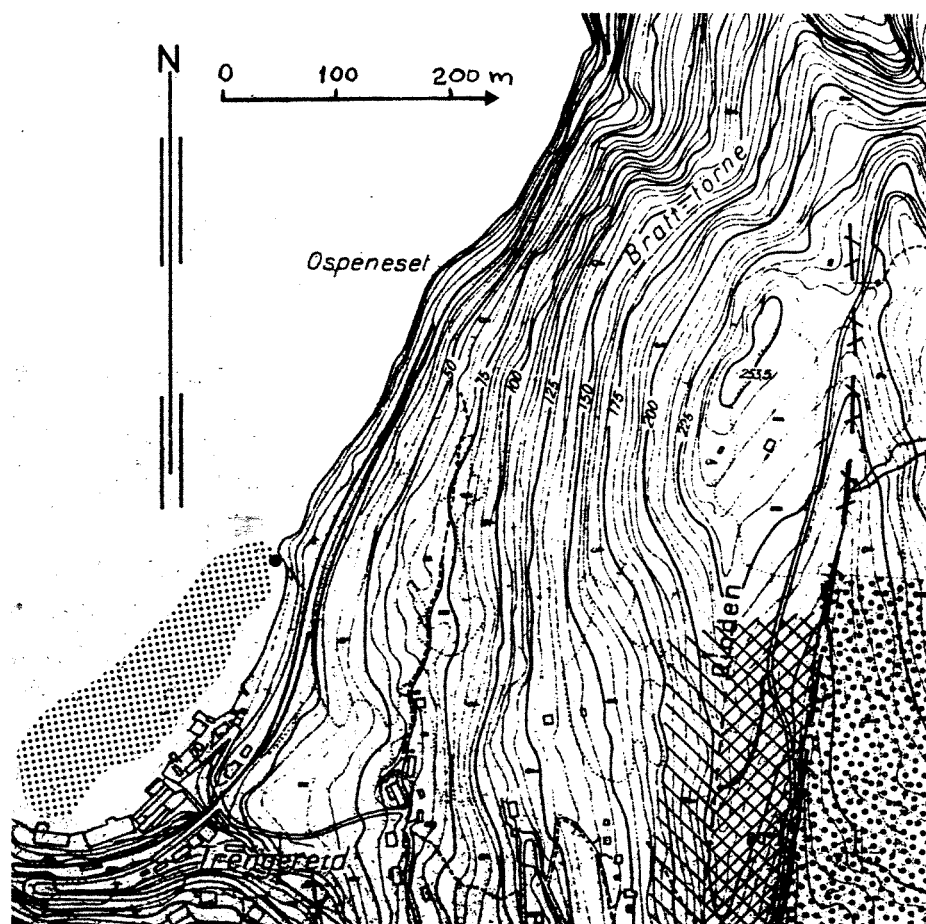
For strøm har vi gjort beregninger for 20 cm/s, som antas å være ofte forekommende strømhastighet på stedet. Det er gjort beregninger for spredning i et 4 m tykt lag (start-situasjonen).

3.3. Resultater

Uten spyling av sprengstein.

Fig. 4 viser resultat for en simulering. Vi har antatt en partikkelkonsentrasjon på 1 mg/l i utgangspunktet, og tilførsler tilsvarende 10 mg/s (ca 40 g slam/time). Dette er moderate mengder, men kan være et realistisk utgangspunkt for en situasjon der dumping ikke foregår kontinuerlig, men med pauser innimelom.

En ser at en partikkelsky med inntil 1000 gangers fortykning i forhold til konsentrasjoner ved dumpestedet, strekker seg nedstrøms inn i Trengereidbukta. Det dreier seg om et relativt smalt belte med maksimal bredde på ca 75 meter som følger fjorden noenlunde parallelt med land. Det er antydning av en viss avbøyende effekt av Trengereidelva. Denne effekten vil variere i forhold til nedbørmengdene. Modellen er ikke i stand til å oppløse detalj-effekter.



Figur 4. Resultat av en modellsimulering for partikkelutslipp ved sørgående strøm lik 20 cm/s. Partikkelskyen spres langs land i relativt smalt belte fra angitte utslippspunkt. Horisontal diffusjonskoeffisient er satt lik $1.0 \text{ m}^2/\text{s}$.

Modellresultatet stemmer rimelig godt overens med det en ofte ser ved utslipp, d.v.s. at det dannes en langstakt stripe nedstrøms, og ikke en vifteformet sky.

Utsynking av partikler vil bidra noe til å redusere influensområdet utstrekning, men vil øke dybden på påvirket sjikt. Med utsynking på 10 cm/time, vil denne effekten bidra til å redusere utstrekningen med 10-20 %.

Uansett vil en i følge beregningene kunne spore rester av slammet i alle fall 350 m nedstrøms utslippsstedet i perioder med relativt sterk strøm. Slike episoder kan sannsynligvis inntreffe ukentlig.

Med spyling av sprengstein.

Effektiv spyling av steinen på land før dumping vil redusere slammengdene til fjorden vesentlig, forutsatt at spylevann filtreres før avgang til fjorden. Effekten vil avhenge av hvilke rutiner som blir fulgt.

Vi antar at det er realistisk å fjerne 80% av slam og partikler ved spyling. I så fall vil influensområdet for målbare eller skadelige konsentrasjoner reduseres til ca 1/4 av tilfellet uten spyling.

4. GASOVERMETNING

4.1. Generelt

Utslipp av vann fra kraftverk kan medføre gassovermetning, som igjen kan forårsake skader på fisk og andre organismer i nærheten. Vi nevner her kortfattet de viktigste faktorene som bestemmer gassinnholdet i vann, før vi går videre på den konkrete problemstillingen for utløpet ved Trengereid.

Luft oppløst i vann kan i vår sammenheng betraktes som å bestå i molekylær form. Der vil være en glidende overgang fra denne fasetilstanden til gassfasen i form av mikroskopiske bobler og over til større, synlige bobler (Berg. m.fl. 1983). Luft ved vanlig atmosfæretrykk består av ca. 21% oksygen, 78% nitrogen, 0,9% argon (edelgass), samt mindre mengder andre gasser, bl.a. CO₂ (0,03%).

En vannoverflate i ro vil innstille seg i en dynamisk likevekt med atmosfæren med hensyn til utveksling av gass. En slik likevekt innebærer en kontinuerlig vandring av luftmolekyler gjennom grensesjiktet luft-vann. En "utskifting" av oppløst luft vil dermed skje, selv om mengden oppløst luft er konstant. Likevektstilstanden er betinget av luftens temperatur, dampinnhold og trykk, samt vannets temperatur. Gasskonsentrasjonen i vann følger Henrys lov: Samme gasspartialtrykk i væsken som i luften ved likevekt.

Selve transporten av gass gjennom grenseflaten luft-vann styres av mange fysiske prosesser. I åpent vann spiller grad av turbulens en viktig rolle. Vannets regulering tilbake til likevektstilstand skjer vanligvis svært langsomt, enten det er fra tilstand med over- eller undermetning. Dette selv om turbulens er tilstede (Gulliver og Halverson 1989).

I likevektstilstanden er innholdet av hver gass i vann proporsjonal med gassens partialtrykk i lufta, samt med gassens spesifikke oppløsningssevne. Ulike gasser vil ha ulik evne til å løse seg i vann. Dersom en

tenker seg atmosfæren som bestående av kun en gass (med 1 atm. trykk), vil mengden oppløst gass i vann være forskjellig, alt etter hvilken gass det er tale om. Mens volumforholdet N_2/O_2 i luft normalt er $0.78/0.21 = 3.71$, vil tilsvarende volumforhold for oppløst gass være om lag 1.8 (i ferskvann ved $10^{\circ}C$). Oksygen har m.a.o. større relativ oppløselighet i vann enn nitrogen.

I gassovermetningssammenheng betraktes vanligvis effekter for oksygen- og nitrogen. Det er nitrogengassen som i første rekke medfører negative biologiske effekter.

I sjøvann rapporteres ofte oksygenovermetning i overflatevannet (øverste 1-10 meter). Dette har dels sammenheng med at det nær overflaten foregår fotosyntese, med produksjon av oksygen (i dagslys). I tillegg forgår det en kontinuerlig tvungen nedblanding av luft på grunn av bølgeturbulens. Om en ser bort fra midlertidige eller lokale variasjoner, bidrar den siste effekten, sammen med ordinær diffusjon mye mer enn fotosyntesen til den observerte overmetningen (Sharp 1978).

Oksygen i vann forbrukes gjennom respirasjon og organisk nedbrytning. Nitrogen derimot kan, som argon, stort sett betraktes som en inert gass i vann. En viss omdannelse til og fra fiksert (kjemisk/organisk bundet) nitrogen kan skje via mikroorganisk aktivitet (Sündermann 1986), men dette sees bort fra i vår sammenheng.

I vann er metningskonsentrasjon av oksygen og nitrogen proporsjonal med (det hydrostatiske) trykket og omvendt proporsjonal med temperatur. Kaldt ferskvann under trykk vil altså kunne oppløse størst mengde gass.

Hvis atmosfæretrykket avtar, minker også metningsverdien for oksygen og nitrogen. Reduksjonen er av størrelsesorden 0.1 ml/l (1.3% av metn. verdi) pr 10 millibar trykkreduksjon. Lufttrykkssendringer medfører endringer i metningsverdi for nitrogen av samme størrelsesorden som for oksygen; ca 1.3% reduksjon pr 10 millibar trykkreduksjon.

Vann under stort trykk kan oppta ekstra mengder gass i forhold til ved 1 atmosfæres trykk. Forutsetningen er at det er luft til stede som under økt trykk kan være i kontakt med vann. Ved kraftverk med åpent inntak (bekkeinntak) skjer dette hyppig i øvre og midtre deler av rørgater, i den såkalte boblesonen. Ved kraftverket på Trengereid vil dette ikke være noe problem, siden der ikke er bekeinntak.

4.2. Vurdering av overmetning

Inntaksvannet. Naturlige variasjoner i gassinnhold.

Kraftverksinntaket i Skulstadvatn ligger under vannflaten slik at luft ikke suges direkte inn der.

Vi antar at variasjoner i gasskonsentrasjon i inntaksvannet i hovedmagasinet er en funksjon av temperatur og trykk. Vi ser bort fra eutrofi-effekter med f.eks. oksygenreduksjon i Skulstadvatn som følge av organisk belastning. Vi antar at årlig temperaturvariasjon følger et typisk mønster for innsjøer. Dette innebærer at hele vannsøylen avkjøles til $4^{\circ}C$ høst og vår, og at Skulstadvatn da gjennomgår en vertikal omrøring. I hvor stor grad dypvannet faktisk avkjøles om vinteren er uklart. Islag og snø demper avkjølingen. Det er imidlertid rimelig å tro at temperaturen ved inntaket kan komme ned i mellom 0 og $2^{\circ}C$ om vinteren.

Ved beregning av inntaksvannets gassinnhold i et gitt tidspunkt må en dermed vurdere effekt av

variasjon i vanntemperatur, og aktuelt lufttrykk på innsjøens høydenivå. Midlere lufttrykk P i høyden h kan beregnes av den forenklete formelen

$$\log_{10} P \text{ (mm Hg)} = 2.880814 - h/19748.2$$

Med $h = 380$ m gir dette $P = 727$ mm Hg, eller 969 mbar.

Dette gir en omregningsfaktor omlag lik 0.96 for metningsverdier relativt til havoverflaten. Som utgangspunkt antar vi at inntaksvannet er 100% mettet med luft til en hver tid. I første omgang må vi da ta omsyn til vanntemperaturen i inntaket, og dens årsvariasjon.

Sjakta - prosesser i vannet før turbin.

Vannet gjennomgår endringer både i trykk og temperatur ved sitt fall ned mot kraftstasjonen på Trengereid. I det følgende avsnittet forsøker vi å kvantifisere denne endringen m.h.t. konsekvens for gassmetningsgrad.

4.2.1 Effekt av trykk- og temperaturendringer i sjakta

Trykk.

Vannet inne i sjakta vil utsettes for et betydelig trykk som øker på veien nedover. Dette trykket vil være mindre enn det hydrostatiske trykket for vannsøylen over, på grunn av at vannet "faller" kontinuerlig. Dersom kraftuttaket stoppes med full sjakt, vil trykket nederst tilsvare hydrostatisk trykk for den totale vannhøyde opp til magasinet. Når vannet strømmer som vanlig, er noe av den potensielle energien omdannet til kinetisk energi, og noe energi går tapt i form av friksjon, slik at det statiske trykket er redusert.

Dersom luft ikke suges inn i vannstrømmen i sjakta på veg nedover, er selve trykkendringen inne i sjakten uten betydning for gassovermetning. Vannet vil hele veien være mettet i forhold til inntaksvannets trykk. Siden trykket nedover kontinuerlig øker, vil en ikke få gassovermetning eller frigjort gass. Faktisk kan en liten overmetning (av størrelsesorden 4-5%) i inntaksvannet tolereres, på grunn av forskjell i lufttrykk mellom inntaksmagasin og kraftverk (969 mbar mot 1013 mbar i middel).

Temperatur.

Vi antar at det tar knapt en 1/2 time for vannet å strømme gjennom hele sjakta ned til kraftverket (1.4 km lengde, og $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ fluks). Teoretisk vil vanntemperaturen undervegs kunne endres (økes) som følge av

- 1: trykkøkningen i sjakta,
- 2: friksjon,
- 3: varmeledning til eller fra omgivelsene.

Ad. 1: En trykkøkning fra omkring 1 bar til i størrelsesorden 50 bar forårsaker en viss kompresjon av vannet, med tilsvarende egenoppvarming. Selve kompresjonen medfører en økning i vannets tetthet av størrelsesorden 3 til 4 kg/m^3 , m.a.o. lite. Temperaturendring som følge av trykkøkningen vil maksimalt være tilsvarende den adiabatisk endringen (ingen varmeutveksling med omgivelsene). I nevnte sammenheng vil denne økningen være liten og av størrelsesorden $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, og vil dermed ikke bidra signifikant til endring i gassmetningsgrad (max 1%).

Ad. 2: Friksjonstapet vil være avhengig av strømningshastighet og turbulensnivå. Friksjonstapet kan regnes å bli omdannet til varme. Noe av varmen ledes vekk gjennom sjaktvegg, og resten fører til

temperaturøkning. Resulterende teoretisk økning i temperatur vil gjøre vannet potensielt overmettet (ingen bobledannelse p.g.a. det høye trykket inne i nedre deler av sjakta). Vi har ikke grunnlagsdata nok til å kunne fastslå størrelsen på dette bidraget (til det trengs bl. a. opplysninger om effektiv ruhet for rør og sjakt, samt varmeledningsevne for sjaktvegg). Som utgangspunkt har vi antatt at en temperaturøkning lik $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan skje. Dette representerer i så fall et overmetningspotensiale på rundt 3%.

Ad. 3: En viss varmeutveksling vil kunne skje på grunn av temperaturforskjell mellom sjaktvegg (omgivelser) og det strømmende vannet. Om vinteren/våren vil omgivelsene kunne være betydelig varmere enn vannet, med oppvarming undervegs som resultat. Også i dette tilfellet reduseres gassopløsningssevnen.

Om sommeren vil trolig en viss avkjøling kunne skje, etter at inntaksvannet i Skulstadvatn har blitt oppvarmet til rundt 8°C eller mer. I dette tilfellet kan vannet bli potensielt undermettet. Størrelsesordenen for temperaturendringen kan estimeres ved å anta en konstant varmetransport gjennom sjaktveggen. Med en slik transport lik $100\text{W}/\text{m}^2$, vil vannet ved 0.5 m/s gjennomsnittsfart i sjakta kunne bli oppvarmet / avkjølt av størrelsesorden 0.1°C på vegen ned. Den oppgitte varmetransport gjennom sjaktveggen er kun et estimat. Dette bidraget representerer imidlertid et gassovermetningspotensiale på rundt 0.2 mg/l N_2 , eller 1 - 2%, avhengig av aktuelt N_2 nivå.

De ovennevnte effektene summerer seg opp til 5-6 % overmetning i ugunstige tilfeller. Disse skriver seg kun fra prosesser i sjakta ned til kraftverket. Effekt av at inntaksvannet i magasinet er overmettet i utgangspunktet (p.g.a. sommeroppvarming) kommer i tillegg.

4.2.2. Prosesser ved og etter trykkfall.

Prosesser ved turbinen.

Ved turbinen er den mest dramatiske effekten den plutselige trykkreduksjonen, og støtet mot turbinskovlene som vannet utsettes for. Om en regner med reversible prosesser, vil trykkreduksjonen bringe vannet tilbake til tilnærmet samme tilstand som ved inntaket, ca. 370 meter lenger oppe. Forskjellen er at det omgivende lufttrykket er øket med ca 4-5%, og at temperaturen vil være noe endret i forhold til inntaksnivået.

Pelton turbinen regnes som effektiv for avlufting av evt. gassovermettet vann. Det er imidlertid sannsynlig at en viss overmetning består etter turbinpassasje.

Gass i mettet vann under høyt trykk avgis svært langsomt under en langsom trykkreduksjon. Laboratorieeksperimenter har vist at mettet vann ved svært høye trykk må ha minst 100 bar trykkreduksjon før synlige bobler oppstår. Rystelser o.l. (fall mot turbinskovler) vil imidlertid påskynde bobledannelse og frigivelse av overskuddsgass.

4.2.3. Prosesser i tunnelen etter kraftverket

En viss avlufting i avløpstunnelen etter passasje av turbinen vil kunne skje. Som tidligere nevnt er imidlertid en slik utlufting, selv ved turbulens, en relativt langsom prosess. Sannsynligvis vil det dreie seg om flere timer (selv under turbulens) før all eventuell overskuddsgass er borte.

4.2.4. Prosesser i fjorden

Kaldt ferskvann har større løsningssevne for gass enn varmt brakkvann/saltvann. Ferskvann med $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatur har ca 50% høyere metningsnivå enn brakkvann med temperatur $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ og 20 ppt salinitet. Når mettet eller sogar svakt overmettet ferskvann strømmer ut i en varm fjord om sommeren, er det

dermed en fare for overmetning. 10 graders temperaturforskjell mellom utslippsvannet og brakkvannet representerer en overmetningsrisiko på ca 20%.

Utslippsvannet vil bli fortynnet og spredd. Overskuddsgass vil imidlertid ikke bli utblandet eller frigjort umiddelbart. En kan dermed ikke regne med samme gradvise reduksjon i overmetningen med økende avstand fra utslippet, slik ovenstående modellberegninger for slam tilsa.

Ved 5 gangers vannfortynning vil blandingsvannet representere en overmetning på 12-13 %. Vann med denne fortynningen vil eksistere nær utslippet, og spres nedstrøms. Overmetning på inntil 5% vil sannsynligvis kunne påvises 100-200 m fra utslippet, og 2-3% overmetning i avstand på ca 300 meter.

Gassovermetning av størrelsesorden 105 % kan gi negative effekter på fisk ved lengre tids eksponering. Slike effekter kan derfor ikke utelukkes i nærheten av det framtidige utslippsstedet.

Det bemerkes at gassovermetning til tider oppstår naturlig i fjordene. Bidraget fra kraftverket vil adderes til eksisterende overmetning i fjorden, slik at total overmetning tidvis vil kunne bli ennå høyere enn angitte verdi.

LITTERATUR

Alabaster, J.S. og R. Loyd 1982: Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London.

Berg, A., T. McClimans, H. Rye, T. Tekle, M. Wathne 1983: Overmetning av oppløst luft i vann fra kraftverk - Årsaksforhold, skadevirkninger og mottiltak. Rapport 2-83005 NHL, Trondheim.

Bjerknes, V., L.A. Kirkerud og J. Magnusson 1985: Flytebro over Salhusfjorden. Konsekvensanalyse vedrørende miljøendringer og akvakultur. NIVA raport nr 1723, 68 s.

Bjerknes, V. 1986: Variasjoner i brakkvasslaget og verknader for fiskeoppdrett kring Osterøy våren 1986. Notat nr. 86014/86640, NIVA, Bergen, 27 s.

Gjerp, S. A. og H. Rye 1979: Vurdering av fare for økt isdannelse ved bygging av flytebro over Salhusfjorden. Rapp. nr. STF60 A79073, HNL, Trondheim, 111 s.

Gjerp, S. A., Eidnes, G. og F. S. Berge 1982: Flytebru over Salhusfjorden. Vurdering av bruas innvirkning på det marinfysiske miljøet i fjordene innafor. Rapp. nr. STF 282083, NHL, Trondheim, 147 s.

Grande, M. 1986: Virkning av partikler på fisk. Norsk limnologforening. Seminar på Dombås, s. 71-91. ISBN 82-990973-9-8.

Gulliver, J.S. og M.J. Halverson 1989: Air-Water Gas Transfer in Open Channels. Water Resources Research 25 nr 8.

Hobæk, A. og L.G. Golmen 1993: Anlegging av ny vegtrase ved Tengereid. Mulige effekter på matfiskanlegg og forslag til tiltak. Rapp. nr. 2907, NIVA, Oslo, 34 s.

Jacobsen, P., M. Grande, K.J. Aanes, H. Kristiansen og S. Andersen 1987: Vurdering av årsaker til fiskedød ved G.P. Jægtvik A/S, Langstein. Rapp. nr. O-87114, NIVA, Oslo.

Johnsen, T.M. og L.G. Golmen 1992: Konsekvensanalyse av dumping av tunnelmasse i sjøen i Lærdalsområdet. Rapp. nr. 2814, NIVA, Oslo.

Rye, H. 1990: Beregninger av endringer i brakkvannslaget som følge av flytebru over Salhusfjorden ved hjelp av den hydrodynamiske modellen "Mike-12". Prosj. nr. P87-516, Veritas Miljøplan AS, Høvik/Trondheim.

Sündermann, J. 1986 (ed.): Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Landholt-Börnstein Ny Serie, Bind V/3a. Springer-Verlag, Berlin.



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2576-5