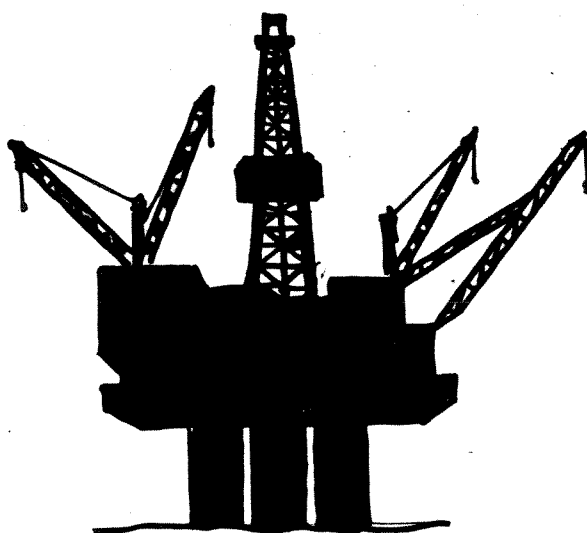


Vurdering av risiko for
dannelse av hydrogensulfid
i sjøvannskaffet på
Troll-plattformen



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-91131	Underrn:
Løpenr.: 3080	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: Vurdering av risiko for dannelse av hydrogensulfid i sjøvannsskift på Troll-plattformen.	Dato: 2/6-94	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Marin økologi	
Forfatter(e): Morten T. Schaanning	Geografisk område: Trollfeltet, Nordsjøen	
	Antall sider: 12	Opplag:

Oppdragsgiver: Norwegian Contractors a.s., Stabekk.	Oppdragsg. ref.:
--	------------------

Ekstrakt:

Nedbrytning av organisk materiale er antatt årsak til dannelse av H₂S i bunnen av et innestengt volum sjøvann i et av skiftene på Troll-feltet i Nordsjøen. Frigivelse av toksisk gass til luften representerer en helsefare under tørrlegging og inspeksjon i skiftet. Miljøet inne i skiftet kan forbedres ved ulike tiltak som ventilasjon av luften i skiftet, periodisk fornyelse av det innestengte vannet og tilsetning av kjemikalier. I denne utredningen vurderes potensialet for dannelse av H₂S, hydrodynamiske forhold i det innestengte vannet og behovet for utskifting. Videre gis en vurdering av virkemåte, miljøeffekter og alternative strategier for reduksjon av luktproblemene ved tilsetning av salpeter.

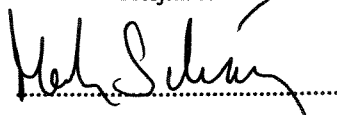
4 emneord, norske

1. Oljevirkosomhet
2. Nedbrytning
3. Anoksiske forhold
4. Arbeidsmiljø

4 emneord, engelske

1. Offshore activity
2. Biodegradation
3. Anoxic conditions
4. Working environment

Prosjektleder


Morten T. Schaanning

For administrasjonen


Torgeir Bakke

ISBN82-577-2546-3

Forord

Denne rapporten ble skrevet på oppdrag for Norwegian Contractors i henhold til brev DIV-1124 VAB/rgo datert Stabekk 27.mai 1994. Rapporten ble ført i penn av undertegnede. Forskningsjef Torgeir Bakke var ansvarlig for kvalitetsikring.

Oslo, 2. juni 1994

Morten T. Schaanning

Innhold

1. Situasjonsbeskrivelse	1
2. Problembeskrivelse	1
3. Potensial for dannelse av H ₂ S uten vannutskifting.	2
4. Vurdering av behov for vannutskifting.	3
5. Risiko for frigivelse av H ₂ S til luft i skaftet som følge av suboptimale hydrodynamiske forhold i skaftet.	4
5. Effekter av eventuell tilsetning av salpeter til sjøvannet i skaftet.	6
Miljøeffekter ved bruk av salpeter.	6
6. Risiko for frigjøring av H ₂ S ved tømning av sjøvannskaft og mulige mottiltak.	6
Ventilasjon	7
Vasking med sjøvann	7
Kjemikaliebehandling	7
7. Referenser	8

Vurdering av risiko for dannelselse av hydrogensulfid i sjøvannsskaft på Troll-plattformen

1. Situasjonsbeskrivelse

Nedre del av sjøvannsskaft på betongplattformen på Troll-feltet i Nordsjøen (figur 1), inneholder et avstengt volum sjøvann. Volumet reguleres ved hjelp av pumpe til normalnivå 7 m over gulvet i plattform-skaftet. Ved inspeksjon pumpes vann ut av skaftet slik at gulvet blottlegges for direkte kontakt med lufta i skaftet. Dette består av porøs lettbetong og har jevnt fall mot sump. Sjøvann pumpes ut og inn via denne sumpen. Skaftet har en innvendig diameter på 30 m. Dette gir et areal, A_b , på 710 m^2 og et vannvolum ved normal vannstand, V_2 , på 5000 m^3 . Veggarealet, A_w , vil til sammenligning utgjøre 660 m^2 .

Volumet av den porøse bunnen i skaftet, V_1 , er anslått til 100 m^3 . Dette tilsvarer en gjennomsnittlig tykkelse, z , på 15 cm. Utskifting av vannet i skaftet medfører i liten grad fornyelse av porevannet i V_1 .

Vann tilføres gjennom rør fra vanninntak plassert 100 m oppe i skaftet. Ved åpning av ventil strømmes vannet ut gjennom rørmunning plassert like over gulvet. Maksimal innstrømningshastighet er $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Vannstanden i skaftet stiger under påfylling. Ved ønsket nivå stenges ventilen og vannstanden senkes tilbake til nivå 7 m over bunnen ved utpumping via sump i gulvet.

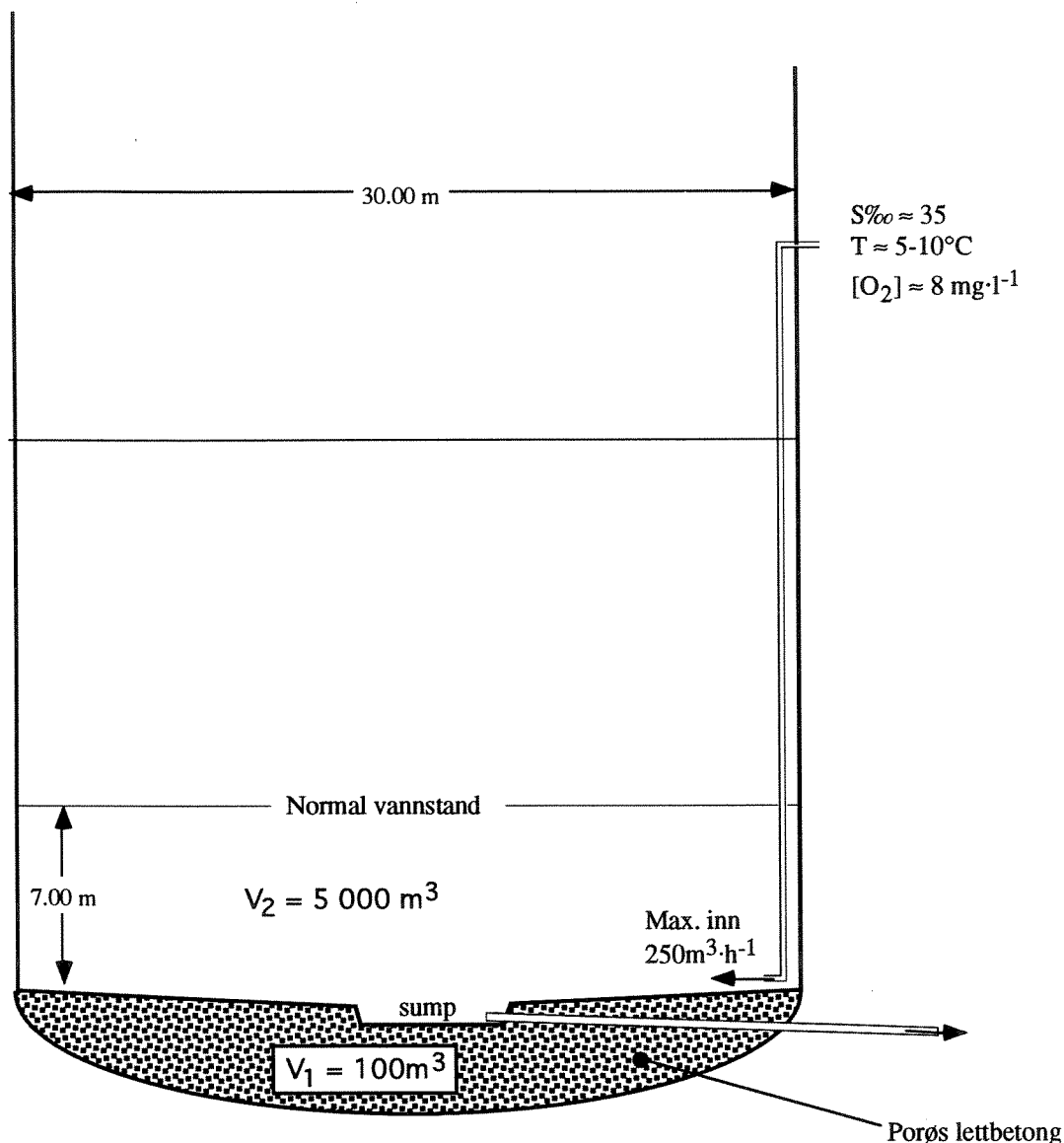
Luftvolumet i skaftet er oppgitt å være $75\,000 \text{ m}^3$.

Eneste oppgitte kilde til organisk karbon i skaftet er, i tillegg til det som tilføres med sjøvannet, et mindre søl av spilloljer i forbindelse med vedlikeholdsarbeider i skaftet. Siden organisk karbon er en forutsetning for mikrobiell dannelselse av H_2S antas her at det er et tilgjengelig reservoar av slikt materiale i skaftet. Bunnen av skaftet tjener som akkumulasjonsbunn for partikler fra et relativt stort volum. Det antas derfor at det organiske materialet i hovedsak er å finne på denne bunnen.

Det foreligger ingen data om vannmiljøet i skaftet (O_2 , H_2S , slamlag, organisk stoff).

2. Problembeskrivelse

Forråtnelsesprosesser i skaftet kan medføre dannelselse av giftig H_2S gass. Dersom denne avgis til lufta i skaftet kan det forårsake skader på mennesker som oppholder seg inne i skaftet. Dette problemet er særlig aktuelt når gulvet blottlegges ved inspeksjon.



Figur 1. Skjematisk tegning av bunnen av sjøvannsskiftet.

3. Potensial for dannelse av H_2S uten vannutskifting.

Forråtnelsesprosessene er mikrobielle prosesser der bakterier utnytter energi fra oksydasjon av organisk materiale (rev. Zehnder and Stumm, 1988). Prosessene krever et overskudd av nedbrytbart organisk materiale og en elektronakseptor. I naturlige, vandige, miljø vil i rekkefølge for avtagende energiutbytte: 1) oppløst oksygen (O_2), 2) nitrat-ioner (NO_3^-) og 3) sulfat-ioner (SO_4^{2-}) være de mest aktuelle elektronakseptorer. Prosessene ekskluderer hverandre slik at i en innestengt og gjennomblandet vannmasse vil reservoarene av oksygen, nitrat og sulfat forbrukes suksessivt.

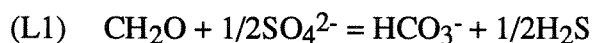
Oksydasjonsmidelets teoretiske evne til nedbrytning av organisk karbon vil variere med type organisk materiale. Tabell 1 viser at i $5\,000 \text{ m}^3$ sjøvann fra det aktuelle området vil det være nok oksygen til å omdanne 8-13 kg organisk karbon til uorganisk

karbondioksyd (CO₂). Bidraget fra nitrat blir kvantitativt uvesentlig, men det store sulfatinholdet i sjøvann gir en teoretisk nedbrytningskapasitet på 1700 til 2800 kgC.

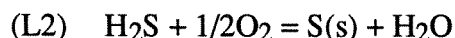
Tabell 1. Reservoarer av dominerende elektron-akseptorer i 5000 m³ sjøvann med saltholdighet 35‰, temperatur 10°C og med en oksygenmetning på 90%. Høyre kolonne viser reservoarenes teoretiske evne, K, til å omdanne aktuelle typer av organisk karbon til CO₂.

	Reservoar (kg)	K _{hydrokarboner} (kg C)	K _{alger, bakterier} (kg C)
Oksygen	40	8	13
Nitrat-N	1	0.8	1.3
Sulfat-S	4 500	1 700	2 800

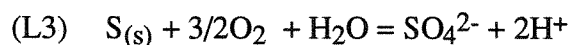
Ved nedbrytning via sulfatreduksjon som for en karbohydratforbindelse kan beskrives støkiometrisk ved ligningen:



omdannes sulfat til hydrogensulfid slik at for hvert molekyl SO₄²⁻ som forbrukes dannes et molekyl H₂S. Tabell 1 viser dermed at det teoretisk vil kunne dannes 4 500 kg tilsvarende 140 000 mol H₂S i skaftet. Luftvolumet i skaftet er oppgitt å være 75 000 m³. Med et oksygeninnhold på 21% wght inneholder luften i utgangspunktet 19 300 kg tilsvarende 603 000 mol O₂. Oksygen vil reagere hurtig med sulfid. I sjøvann dannes sulfat med elementært svovel som ustabil intermediat:



og



Det fremgår av L2 og L3 at ved fullstendig oksydasjon, forbrukes 2 mol O₂ for hvert mol H₂S som omdannes til sulfat. Ved ufullstendig oksydasjon forbrukes mindre oksygen. Totalt for vann og luft i skaftet vil det være ca 4 mol O₂ for hvert mol sulfid som teoretisk kan dannes fra en vannmengde på 5000 m³.

Selv om denne massebalansen viser at det i utgangspunktet er nok O₂ tilstede til å omdanne all H₂S til sulfat, så vil det alltid være organismer tilstede som forbruker oksygen. Dessuten vil eventuell sulfat som gjenvinnes ved oksydasjon av H₂S etter L.2 og 3, danne nytt grunnlag for aktivitet av sulfatreducerende bakterier, slik at det teoretiske endepunktet for et totalt isolert skaft vil bli oksygenfritt (og nitratfritt) med et innhold på 4 500 kg redusert svovel.

4. Vurdering av behov for vannutskifting.

Under punkt 3 ble skaftet vurdert som et lukket system med en engangs tilførsel av vann og luft. Dersom vannvolumet V₂ skal skiftes ut med en gitt hastighet, vil hastigheten av nedbrytningsprosessene i skaftet avgjøre behovet for utskiftingshastighet.

Oksygen vil forbrukes av mikroorganismer tilstede i vannmassen, på veggene i skaftet og i det porøse betonggulvet. Forbruket i vannmassen antas lite sammenlignet med

forbruket på de faste overflatene. Veggarealet A_w var av samme størrelse som bunnarealet A_b . Siden muligheten for akkumulasjon av organisk materiale på veggene er lite sammenlignet med bunnarealet antas at oksygenforbruket i skaftet er dominert av prosesser i det porøse betonggulvet.

Situasjonen i skaftet kan sammenlignes med situasjonen i såkalte bentiske kammer som benyttes ved eksperimentell undersøkelse av nedbrytning av organisk materiale ved NIVA's laboratorier på Solbergstrand. Bunnen i disse kamrene består av marint sediment med lavt innhold av organisk materiale. Nedbrytningen av ulike typer organisk materiale så som naturlig plankton, avfall fra fiskeoppdrettsanlegg og borekaks fra Nordsjøen, har vært testet ved å la avfallet sedimentere på sedimentoverflaten og måle oksygenforbruket i kamrene.

Selv om oksygenkonsentrasjonen i kamrene holdes over $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, er porevannet normalt oksygenfritt og stedvis sulfidholdig få mm under sedimentoverflaten. Sulfid diffunderer mot sedimentoverflaten, men vil oksyderes før frigjøring til vannmassen. Sameksistens av hydrogensulfid og oksygen i vannet i kamrene har bare vært observert i korte perioder etter ekstremt høye belastninger. Dersom sulfid dannes og reagerer med O_2 i kammeret vil det observerte oksygenforbruket over tid gi et mål på summen av aktiviteten til sulfatreduserende og oksygenrespirerende organismer i bunn, vegger og vannmasse i kammeret.

Tabell 2. Behov for utskifting av vannvolumet V_2 for å opprettholde en oksygenkonsentrasjon på $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$ i vannet i skaftet. Beregningene er basert på et oksygeninnhold i vanninntaket på $8 \text{ mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$, og observerte variasjoner i oksygenforbruk i sedimenter belastet med hydrokarboner. Forutsetter til enhver tid gjennomblandet vannmasse.

	Oksygenforbruk ($\text{mgO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	Utskiftingshastighet ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)
Lav belastning	80	14
Middels "	400	71
Høy "	1 000	178

Dersom mikrobiell nedbrytning av små tilførsler av hydrokarboner er den primære årsaken til oksygenforbruket i skaftet, viser tabell 2 at ved en utskiftingshastighet på $71 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ vil det sannsynligvis kunne opprettholdes en oksygenkonsentrasjon på minst $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ i skaftet forutsatt at vannet som tilføres inneholder $8 \text{ mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$.

Ved beregningene i dette avsnittet (tab. 2) er det sett bort fra opptak av oksygen fra lufta til vannmassen i skaftet. Opptaket vil kunne redusere behovet for utskifting av V_2 . Opptaket vil være avhengig av forholdene i overflatehinnen og partialtrykkene i vannet og lufta. Opptaket kan få en viss betydning ved lave oksygen-nivåer i vannet.

5. Risiko for frigivelse av H_2S til luft i skaftet som følge av suboptimale hydrodynamiske forhold i skaftet.

Beregningene under pkt. 4 er gjort under forutsetning av

- kontinuerlig vannutskifting og
- fullstendig omblending av vannmassen før utpumping.

Hvis vannutskiftingen foretas periodisk forventes oksygeninnholdet i vannmassen å svinge rundt den ønskede verdien fra et maksimum umiddelbart etter utskifting til et minimum like før utskifting. Hvis periodene blir for lange (jfr. tab.3) vil sulfid kunne akkumulere i vannmassen og avgis til lufta i skaftet. Denne risikoen er størst i perioden like før vannutskiftingen settes igang.

Tabell 3. Oksygen turn-over (den tiden det tar før alt oksygen er forbrukt) ved forskjellige nedbrytningsrater og startkonsentrasjon $8 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ i et volum på 5000 m^3 . Forutsetter til enhver tid gjennomblandet vannmasse.

	Oksygenforbruk ($\text{mgO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	Turnover (døgn)
Lav belastning	80	700
Middels "	400	140
Høy "	1 000	55

Oksygen forbrukes primært i grenseflaten ved gulvet. Stagnasjon i vannmassen (d.v.s. svak vertikalblanding) i periodene mellom vannutskifting vil derfor kunne medføre vertikale konsentrasjonsgradienter av oksygen. Dersom H_2S akkumuleres i vannskiktet like over gulvet vil en plutselig omrøring som følge av vannutskifting kunne medføre frigivelse av H_2S til lufta i skaftet. Denne risikoen er størst under selve vannutskiftingen.

100% effektiv vannutskifting oppnås bare dersom vannmassen er gjennomblandet før utpumping. Hvis konsentrasjonsgradienter av O_2 er tilstede i vannmassen under utpumping, vil noe av oksygenforbruket fra foregående periode kunne tas med over i neste periode og gi et lavere startreservoar av oksygen. Dermed vil utskiftingshastigheten måtte økes for å opprettholde det ønskete oksygennivå i skaftet.

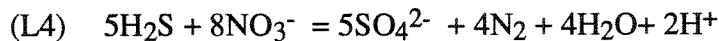
Med den aktuelle konfigurasjon av ut- og inntak, kan det for eksempel, tenkes at tilførselsvannet under gitte hydrografiske forhold, innlagres i nedre del av skaftet uten fullstendig blanding med vannet i øvre del av V_2 . Bunnskiktet med lavt oksygeninnhold vil under vanntilførselen løftes til et høyere nivå og ved utpumping vil dette laget i prinsipp kunne senkes ned mot gulvet igjen. I såfall vil en i hovedsak ha pumpet ut friskt sjøvann med høyt oksygeninnhold.

Dersom det lar seg gjøre å flytte inntaket til nivå 7 m over gulvet vil eventuell påfylling med vann som har så lav tetthet at nedblanding ikke finner sted medføre at det eldre vannet nær gulvet pumpes ut. Eventuelle konsentrasjonsgradienter vil isåfall ha positiv effekt i forhold til opprettholdelsen av oksygenregimet i skaftet. Dersom inntaksvannet har høyere tetthet vil nedsynking sannsynligvis gi tilnærmet 100% effektiv blanding, som forutsatt ved beregning av utskiftingshastighet.

Teoretiske beregninger av innlagringsdyp i skaftet kan gjøres under et utvalg realistiske betingelser. NIVA har en EDB basert modell som benyttes ved beregning av innlagringsdyp for utslipp. Beregninger ved bruk av slike modeller vil kunne avklare risikoen for ufullstendig omblanding under vannutskiftingen, og gi et bedre grunnlag for å vurdere alternative konfigurasjoner på inn- og utslipp eller strategier for vannutskifting.

5. Effekter av eventuell tilsetning av salpeter til sjøvannet i skaftet.

Tilsetning av salpeter har gitt gode resultater m.h.t. reduksjon av sulfidinnhold i ulike problem-miljø som f.eks. kloakkrenseanlegg, ballastvann og sedimenter både i ferskvann og marine resipienter. I prinsippet økes da reservoaret av nitrat (jf tab.1). Antatt virkemåte er kjemoautotrof denitrifikasjon som vil kunne fjerne allerede dannet sulfid ved:



eller heterotrof denitrifikasjon:



som vil kunne fortrengte sulfatreduksjon i et område med lite oksygen og et egnet organisk substrat.

Dersom det benyttes granulert kalsiumnitrat med et nitrogeninnhold på 2.5% vil en tilsetning av 400 kg til vannvolumet på 5 000 m³ tilføre en teoretisk nedbrytningskapasitet (tilsvarende K_{alger} , bakterier i tabell 1) på 13 kg karbon. En slik tilsetning vil m a o fordoble vannmassens teoretiske levetid frem til sulfid-dannelse.

Hvis det velges en løsning basert på minst mulig vannutskifting, og nitratbehandling viser seg å fungere tilfredstillende, vil doseringsmengde og tidsintervall avhenge av denitrifikasjonshastigheten. Litteraturverdier for denitrifikasjonshastighet i marine sedimenter varierer fra $<0.1 \text{ mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (Oren and Blackburn, 1979) opp til $15 \text{ mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (Seitzinger, 1988). Den høyeste av disse ratene tilsvarer et forbruk av nitrogen på $0.25 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ ved gulvet i skaftet. En dose på 400 kg salpeter med et nitrogeninnhold på 2.5%, tilsvarende 10 kg nitrat-N, vil under disse forholdene kunne hindre sulfiddannelse i vannmassen V_2 i 40 døgn.

Miljøeffekter ved bruk av salpeter.

Produktene fra denitrifikasjonsprosessene i L4 og L5 er harmløse. Nitrogen (N_2) er en lite reaktiv gass og en betydelig naturlig komponent i sjøvann så vel som i atmosfæren. Likeledes er saltioner som tilsettes sammen med nitrat (Ca^{2+} eller K^+) naturlige bestandeler i sjøvann. Ved 35‰ inneholder sjøvannet $0.4 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ av hver av disse ionene og eventuell økning av innholdet ved tilsetning av salpeter anses uproblematisk. Nitrat er et gjødselstoff som kan gi økt algevekst dersom det tilføres overflatevann. Under de forhold og i de mengder det her er snakk om vil eventuelle utslipp av overskuddsmengder av nitrat være ytterst marginale. Tilsetning av nitrat skulle derfor ikke representere noe problem verken i forhold til det indre miljø i skaftet eller havet utenfor.

6. Risiko for frigjøring av H_2S ved tømning av sjøvannskaft og mulige mottiltak.

Selv om vannmassen V_2 holdes fri for hydrogensulfid ved regelmessig vannutskifting eller bruk av salpeter vil det kunne avgis H_2S til lufta ved tørrlegging av skaftet. Problemet antas å ligge i sulfid akkumulert i slam og porevann i volumet V_1 og som ikke lar seg skifte ut sammen med volumet V_2 .

Tilgjengelig informasjon om forholdene i sump og porevann er meget begrenset. Tiltakene skissert nedenfor er basert på en del subjektive antagelser som kan være utilstrekkelige eller direkte feilaktige. Forslagene er ment å være ideer til tiltak som kan tenkes å bedre forholdene under inspeksjon. En prosedyre for rasjonell gjennomføring av et eller en kombinasjon av flere av tiltakene bør utvikles gjennom utprøving og observasjoner av miljøet i skaftet.

Mulige tiltak vil først og fremst være å opprettholde et miljø i V_2 med høyest mulig oksygeninnhold. Et høyere oksygeninnhold i vannet vil øke diffusjonstransporten av oksygen nedover i bunnslam/porevannsmiljøet og føre til en forflytning av grenseskiktet mellom oksisk og anoksisk miljø nedover i forhold til den flaten som kommer i kontakt med luft.

Ventilasjon

God ventilasjon under tømning og inspeksjon vil redusere sulfidinnhold i lufta ved fortykning, men vil ikke kunne hindre at det avgis H_2S fra gulvet.

Vasking med sjøvann

Vasking av gulvet ved at det etter første tømning fylles på med et mindre volum friskt vann som så pumpes ut igjen, vil kunne virvle opp eventuelt bunnslam i sumpen og fjerne H_2S både ved oksydasjon (L2 og L3) og utvasking av eventuelt løstsittende sulfidholdig materiale. Halveringstiden for H_2S under de aktuelle forholdene mht temperatur, saltholdighet og konsentrasjon av O_2 , ligger i størrelsesorden $1/2$ døgn (Millero et al, 1988). Hvor fort H_2S fjernes ved oksydasjon er avhengig av hvor store mengder sulfid som er tilstede i utgangspunktet. Med den aktuelle halveringstid vil det være en fordel om vaskeprosessen strekker seg over et tidsrom på flere dager. Det anbefales to til tre ganger vasking med et volum tilstrekkelig til å sette hele gulvet under vann.

Kjemikaliebehandling

Bruk av salpeter vil også kunne være en gunstig måte å redusere risiko for dannelse av H_2S under tørrlegging og inspeksjon. Problemet ved kjemisk fjerning av H_2S både når det gjelder sjøvannsvasking, lufting og eventuell bruk av salpeter vil være å bringe oksydasjonsmiddelet i kontakt med sulfid-kilden.

Salpeter kan tilføres som væske med meget høy tetthet (brine) som vil kunne legge seg tett ned på gulvet og til en viss grad trenge ned i stagnerte porevannsmiljøer. En kan også tenke seg at en tilførsel via rør som munner ut så dypt som mulig i sumpen vil kunne ha god effekt.

Granulert kalsiumnitrat synker raskt og løses hurtig i sjøvann. Tilførsel av fast nitrat til vann-overflaten, f.eks. under utpumping like før vannspeilet når gulvet, kan være en god løsning dersom forholdene er slik at partiklene når ned til bunnen og aller helst trenger gjennom eventuelle slamlag.

Mangel på kvantitativ informasjon om forholdene i sump og porevann gjør at alle doseberegninger blir å oppfatte som kvalifisert gjetning. Forsøk med nitratbehandling ved injeksjon av $14 \text{ gNO}_3\text{-N}\cdot\text{m}^{-2}$ i sterkt sulfidholdig sediment ved NIVA's Forskningsstasjon på Solbergstrand, viste betydelig reduksjon av sulfidinnholdet etter to dager og fullstendig fjerning av H_2S etter 11 dager. Doser på $3 \text{ gNO}_3\text{-N}\cdot\text{m}^{-2}$ ga også betydelig effekt men prosessen gikk noe langsommere. Forsøksvis anbefales

doseringsnivå på $10 \text{ gNO}_3\text{-N}\cdot\text{m}^{-2}$, tilsvarende 300 kg granulert kalsiumnitrat jevnt fordelt over skaftets areal.

7. Referenser

- Millero, F.J., T.Plese and M. Fernandez, 1988. The dissociation of hydrogen sulfide in seawater. *Limnol. Oceanogr.* 33, 269-274.
- Oren, A and T.H. Blackburn, 1979. Estimation of sediment denitrification rates at *in situ* nitrate concentrations. *Appl. Environ. Microbiol.* 37:174-176.
- Seitzinger, S.P. 1988. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: Ecological and geochemical significance. *Limnol. Oceanogr.* 33: 702-724.
- Zehnder, A.J.B. and W. Stumm, 1988. Geochemistry and biogeochemistry of anaerobic habitats. *In* A.J.B. Zehnder (Ed.), *Biology of Anaerobic Microorganisms*, John Wiley and Sons, Inc.. pp.1-35.

NIVA



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2546-3