

Bergmesteren Raudsand

Vurdering av eksplosjonsfare i nedlagte gruver på Raudsand

- Hydrogendannelse fra deponert avfall
- Gassmengde moderat
- Sikring av fremtidig utlufting viktig

Prosjektrapport

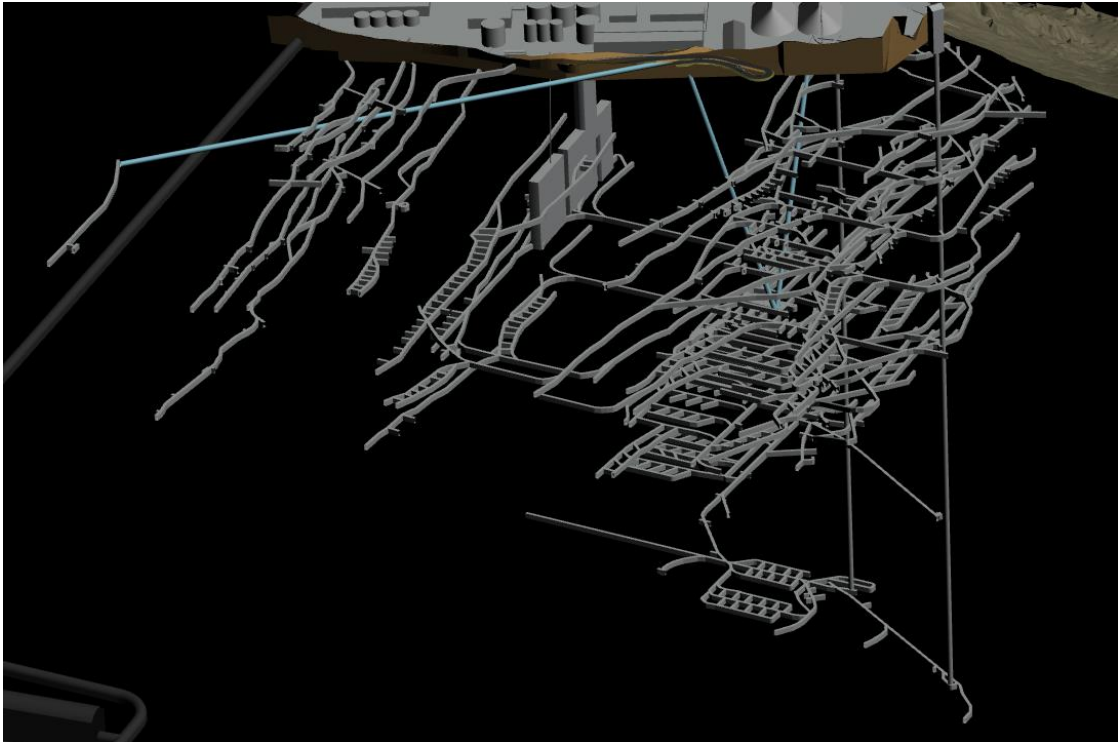
Prosjekt/Project no:	1223	Rapportdato/Report date:	6. juli 2018
		Distribution/Distribution:	Kunde
Tittel/Title:	Vurdering av eksplosjonsfare i nedlagte gruver på Raudsand		
Forfatter(e)/Autor(s):	Geir A Sørensen	Antall sider/Number of pages:	14
		Antall vedlegg/Attachments:	
Oppdragsgiver/Client:	Stena Recycling AS	Kontaktperson/Contact person:	Max Trandem
Utdrag: <p>Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap har stilt spørsmål til Bergmesteren Raudsand om mulighet for fremtidige eksplosjoner i de nedlagte gruvene på Raudsand.</p> <p>Det er i perioden 1990 til 2003 deponert ca. 100.000 tonn delvis aluminiumholdig avfall fra sekundærmelteværk for aluminium i gruvesjakter og tunneller fra nivå ved havoverflate og ned til -600 meter under havet. Det var en betydelig eksplosjon i toppen av den ene sjakten i 1994, antagelig grunnet dannelse av hydrogengass med noe metan i tillegg.</p> <p>Massene har stått under vann i mer enn 20 år og har vært i kontakt med mer enn 2.500 ganger så mye vann som skal til for å reagere ferdig. Når det fortsatt kommer gass opp fra sjaktene, antas dette å komme fra enkelte større aluminiumbiter i massene, der det er vanskelig å si når disse er ferdig reagert med vannet da vi ikke kjenner opprinnelig partikkelfordeling. Den produserte gassmengden vil derfor avta gradvis mot null etter som resterende aluminium oksiderer.</p> <p>Eventuelle gasslommer nede i gruvegangene vil ikke ha tilgang til gnist for tenning.</p> <p>Utlufting i topp av de to sjaktene er tilstrekkelig til at gasskonsentrasjonen ligger langt under nedre eksplosjonsgrense.</p> <p>Etablering av industriområdet for nytt behandlingsanlegg for farlig uorganisk avfall vil sikre fortsatt god, naturlig trekk fra sjakt-topp til utlufting i friskluft.</p> <p>Før Veidekke og Stena iverksetter utbygging, vil man foreta fysisk måling av faktisk gassmengde i sjaktene ved oppsamling av gass over en tidsperiode</p> <p>Så konklusjonen vi kan trekke, er at sannsynligheten for en ny hydrogeneksplosjon fra de nedlagte gruvene, er svært liten, i prinsippet ikke eksisterende så lenge man har naturlig avtrekk fra toppen av sjaktene.</p>			
Emneord/Keywords:		Geografi/Geography:	Raudsand, Møre og Romsdal
Prosjektleder/Project manager:	Geir A Sørensen		

Innhold

Innhold

1.	Beskrivelse av de gamle gruvene	1
2.	Sammensetning av deponerte masser.....	2
2.1.	Aluminiumoksid	2
2.2.	Saltslagg	4
2.3.	Aluminium	6
2.4.	Filterstøv	6
2.5.	Reaksjoner i massene.....	7
2.6.	Gasser som kan dannes.....	10
2.6.1.	Ammoniakk:	10
2.6.2.	Metan	10
2.6.3.	Fosfin	10
2.6.4.	Hydrogensulfid	10
2.6.5.	Hydrogen.....	10
2.7.	Dimensjonering av reaksjoner	10

1. Beskrivelse av de gamle gruvene



Figur 1 viser konglomeratet av gamle sjakter og gruveganger på Raudsand ned til ca.-600 meter under havoverflaten. Det planlagte deponiet fremkommer i figurens nedre venstre hjørne, på nivå med havoverflaten.

I perioden 1970 til 1975 var det betydelige ras grunnet uttak av for mye stein, i området fra -200 til +150 meter. For å stabilisere dette ble det fylt inn ca.500.000 m³ inerte masser i magasiner og stoller i dette området.

Etter denne stabiliseringen ble driften tatt opp og man arbeidet seg nedover til -600 meter, I denne perioden ble tilsvarende stabilisering gjennomført ved at tunneller og ganger som var «ferdige», ble fylt igjen med løsmasser fra malmseparasjonen. Dette fremkommer av rapporten til Sjefsgeolog Parr fra 2017 (vedlegg 65 på Bergmesteren.no sin hjemmeside). De fylte gangene ble så sprengt for tetting i 1982-84 som ledd i avslutningen av driften.

Gruvedriften ble stengt i 1984. Sjefsgeolog Parr har i notat av april 1986 (bilag nr 58a) beskrevet hvilke aktiviteter som ble utført for rassikring i gruvene ved avslutning.

Fra 1990 ble avfallsmasser fra Aluvest, lagt i gruvene, som nå var under vann. I hht tillatelser fra miljømyndighetene, den gang Statens Forurensningstilsyn, er det lagt 100.000 tonn med masser i gruvegangene. Slik vi tolker informasjonen, er dette fylt inn som masser oppløst i vann / slurry, slik at massene har kommet til områder utover selve sjaktene de er fylt i. Samtidig er tilgjengelig areal for disse, kraftig redusert av igjenfyllingen av de avsluttede magasiner og tunneler.

I 1994 var det en meget kraftig eksplosjon i personsjakten, der sannsynlig årsak er opphopning av hydrogengass fra det deponerte avfallet i sjakten og antennelse av gnist fra elektrisk utstyr i heishuset som sannsynligvis havnet i fjorden ved eksplosjonen.

Det har ikke vært tillatt å deponere saltslagg i gruvene etter eksplosjonen i 1994, mens annet avfall fra aluminiumsindustrien har vært deponert frem til 2003.

Det er i dag staten ved Nærings og fiskeridepartementet som eier de aktuelle sjakter med deponert avfall. Bergmesteren har i egen regi monitorert utslipp i vann de siste 5 årene samt foretatt en kontrollmåling av gassnivå.

Pr i dag måles det moderate mengder brannfarlig gass i tilknytning til sjakten, men på oppfordring fra Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap, har vi i det videre utredet mulighet for ytterligere eksplosjoner.

2. Sammensetning av deponerte masser

I følge Parr er avfallet som er fylt i sjakten avfall fra behandling av saltbadkaker. Dette er lagt på flere nivåer fra +4 meter og nedover. Videre forefinnes en tillatelse fra SFT fra 1989 med tillatelse til å deponere 8.000 tonn per år av saltslagg, aluminiumoksid og filterstøv. 10 år senere får man tillatelse til å deponere 5.000 tonn aluminiumoksid og 200 tonn slam. Vi antar dette er lagt i sjaktene. I 2001 ber man om tillatelse til en årlig deponering av 10.000 tonn oksid, men går konkurs før tillatelse er gitt. Basert på dette, finner vi det sannsynlig at i underkant av 100.000 tonn er deponert i gruvesjaktene.

I og med at man ikke fikk lagre saltslagg i gruvene etter eksplosjonen og som man i det videre ser, det er den massen som gir størst dannelse av hydrogengass, vil en kalkyle basert på at alt er saltslagg gi et betydelig for høyt svar mhp potensiell gassproduksjon.

Basert på tillatelser har vi ikke full klarhet i fordeling av de deponerte massene på saltslagg, aluminiumoksid og møllestøv. I det videre gir vi en forventet kjemisk sammensetning av disse 3 fraksjonene, dette basert på analyser foretatt av tilsvarende masser ved Storøy deponi, Karmøy. Her ble det lagret ca.540.000 tonn masser med samme opprinnelse, i åpent deponi frem til for 13 år siden.

2.1. Aluminiumoksid

Fraksjonen aluminiumsoksid fremkommer etter renseprosessen der massene er knust, vasket, metallisk aluminium er fjernet ved virvelstrømseparasjon og overskytende vann er fjernet i filterpresse. Fraksjonen består av følgende hovedkomponenter Aluminiumoksid (Al_2O_3), noe rester av naturlige salter (NaCl og KCl) samt spor av metallisk aluminium. Sammensetning basert på 5 analyser utført av ALS Scandinavia følger i tabell nedenfor

komponent	Snitt
SiO ₂	7,98 %
Al ₂ O ₃	64,28 %
CaO Kalsiumoksid	1,22 %
Fe ₂ O ₃	0,84 %
K ₂ O	0,28 %
MgO	3,89 %
MnO	0,21 %
Na ₂ O	2,91 %
P ₂ O ₅	0,08 %
TiO ₂	0,36 %
Glødetap	9,80 %

Tabell 1 sammensetning av aluminiumoksid

Her vil noen av saltene forefinnes som klorider og i mindre grad, fluorider i stedet for oksider. Dette basert på tilsats av salt i smeltene. Glødetapet forventes være salter da analysene har benyttet en uheldig høy temperatur på ca.1.000 grader.

I tillegg til hovedkomponentene, vil det forefinnes en del salter og andre forbindelser med lavere konsentrasjoner. I tabell nedenfor er disse oppgitt på atombasis, mens de vil forefinne som oksyder, klorider og sulfater i massene. Samlet forekomst av disse er på ca.0.3% av totalen.

<u>komponent</u>	<u>Snitt</u>
As (Arsen)	3,18 mg/kg
Ba (Barium)	659,40 mg/kg
Be (Beryllium)	7,19 mg/kg
Cd (Kadmium)	0,28 mg/kg
Co (Kobolt)	3,61 mg/kg
Cr (Krom)	145,00 mg/kg
Cu (Kopper)	228,60 mg/kg
Hg (Kvikksølv)	0,01 mg/kg
Mo (Molybden)	2,56 mg/kg
Nb (Niob)	4,00 mg/kg
Ni (Nikkel)	44,52 mg/kg
Pb (Bly)	25,10 mg/kg
S (Svovel)	292,00 mg/kg
Sc (Scandium)	1,91 mg/kg
Sn (Tinn)	10,41 mg/kg
Sr (Strontium)	646,00 mg/kg
V (Vanadium)	165,20 mg/kg
W (Wolfram)	1,70 mg/kg
Y (Yttrium)	3,86 mg/kg
Zn (Sink)	395,00 mg/kg
Zr (Zirkonium)	196,60 mg/kg
<u>Sum lave konsentrasjoner</u>	<u>2 836,14 mg/kg</u>

Tabell 2 Sammensetning av sporstoffer i aluminiumoksid

Yttrium, Zirkonium, Barium og Strontium forventes være fra aluminiumslegeringer og feilsorteringer inn til sekundærsmelteverket og felt ut i smelteverket ut fra forskjellige smeltepunkter fra aluminiumets smeltepunkt.

2.2. Saltslagg

Saltslagg er ikke behandler slagg fra sekundærsmelteverk (smelteverk for aluminium fra gjenvinningsindustrien). Fraksjonen har 3 hovedbestanddeler, salt (natrium og kaliumklorid), aluminiumoksid og aluminium metall. I følge litteraturen er sammensetningen typisk 65% salt (kalium og natrium), 25% aluminiumoksid og **5-6% aluminium**. Norske anlegg har hatt noe lavere andel salt. I forhold til gassdannelse i de nedlagte gruvene, vil det være konservativt å benytte samme sammensetning på Raudsand som på Karmøy med ca. 40% salt (jevnt fordelt mellom natrium og kalium salt), 54% oksid, hydroksid, nitrid, Karbid, fosfat og sulfat og 6% metallisk aluminium. Andelen fosfor baserte legeringer og salter her er den laveste, mens Karbid vil normalt ha den høyeste andelen av legeringene. I tillegg vil man ha de samme forurensingene som er beskrevet i kapittelet om aluminiumoksid over.

I analysedataene er all aluminium oppgitt som oksid, men her vil det være feil da hele prosessen er basert på å ta ut rent aluminium fra blandingen.

Saltet vil vaskes ut og dette er en sentral del av renseprosessen for å få frem rent oksid og metall som salgbar fraksjoner. Sammensetning av saltslagget benyttet i denne analysen er

som følger (vektprosent). En større del av aluminium antas å forefinne som metallisk aluminium og ikke som oksid.

komponent	
SiO ₂	4,03
Al ₂ O ₃	73,80
CaO Kalsiumoksid	0,97
Fe ₂ O ₃	0,30
K ₂ O	0,11
MgO	5,70
MnO	0,28
Na ₂ O	1,12
P ₂ O ₅	0,04
TiO ₂	0,23
Glødetap	11,70

Tabell 3 Sammensetning av Saltslagg

Tilsvarende er sammensetningen av sporstoff i saltslagget som følger per i dag:

komponent	mg/kg
As (Arsen)	
Ba (Barium)	185,00
Be (Beryllium)	7,02
Cd (Kadmium)	0,10
Co (Kobolt)	1,77
Cr (Krom)	131,00
Cu (Kopper)	236,00
Hg (Kvikksølv)	0,01
Mo (Molybden)	2,15
Nb (Niob)	4,00
Ni (Nikkel)	26,20
Pb (Bly)	19,60
S (Svovel)	94,80
Sc (Scandium)	1,91
Sn (Tinn)	3,75
Sr (Strontium)	1 000,00
V (Vanadium)	285,00
W (Wolfram)	
Y (Yttrium)	
Zn (Sink)	550,00
Zr (Zirkonium)	274,00
Sum lave konsentrasjoner	2 822,31

Tabell 4 Sammensetning av sporstoff i Saltslagg

ALS Scandinavia har indikert at en betydelig del av glødetapet her består av salt da det har vært kjørt glødetapsanalyse på 1.000 grader. Komponenter med blank verdi har lavere innhold enn analyseinstrumentenes laveste målepunkt.

2.3. Aluminium

Ved innførsel til deponiet inneholdt saltslaggfraksjonen ca. 6% aluminium, hovedsakelig som metalldråper som ikke har sluppet saltlaget i smelteovnen. Ved tilgang på vann oksyderer aluminiumet til aluminiumoksid eller hydroksid, avhengig av pH ved reaksjonen. En av to hovedprosesser i rensingen av slagget (i tillegg til utvasking av salt), har opprinnelig vært å ekstrahere rent aluminium ved virvelstrømseparasjon (Eddy Current magnet separasjon). Aluminium som utskilles i dag, oppgraderes til rent aluminium i Real Alloys anlegg i nabobygda, Rød. Tallmessig inngår denne i analysen for saltslagg.

2.4. Filterstøv

Luften fra smelteovner og forbehandlingsanlegg har gått igjennom filtre før utslipp til luft. I dag ville disse vært coated med kalk for optimal funksjon, hva som skjedde på sent åttital og nittitallet kjenner vi ikke til. Tilsvarende masser er også deponert i dagbruddene i bigbags.

Eventuell kalk vil være i form av kalsiumhydroksid (lesket kalk - $\text{Ca}(\text{OH})_2$) og kalsiumoksid (ubrent kalk – CaO) avhengig av vannmengder. Siden dette er satt under vann antar vi 100% som lesket kalk og med opptil 40% av massen. Massene har også et betydelig innslag av aluminiumoksid (ca.30%). I tillegg finnes noe kalsiumfluoritt (CaF_2) som antas være avdampet fra saltblandingen mange benytter for å redusere oksidasjonen i aluminiumsmeltene, Montanal (97% bordsalt og kaliumsalt og 3% kalsiumfluorid). Noe CO_2 kan i utgangspunktet ha reagert til kalsiumkarbonat som vi anser for stabilt selv i langvarig oppbevaring i vann.

Glødetap opp mot 20% antar vi kommer fra salt grunnet for høy temperatur (1.000 C mot anbefalt 650 grader C) i analysen. Dette kan også forklare ubalansen mellom klor og natrium/ kalium mengdene fra salt.

Aluminium vil kun trekkes med i luftstrømmene til filteret som små partikler, det antas at det aller meste av dette forefinnes som oksid og ikke i metallisk form.

Sammensetning av filterkaker

komponent	vekt%
SiO ₂	3,86
Al ₂ O ₃	30,00
CaO Kalsiumoksid	32,20
Fe ₂ O ₃	0,99
K ₂ O	0,40
MgO	1,72
MnO	0,05
Na ₂ O	0,80
P ₂ O ₅	0,13
TiO ₂	0,17
Glødetap	19,20

Tabell 5 Sammensetning av filterstøv

Sammensetning filterkaker, sporstoffer

komponent	mg/kg
As (Arsen)	3,00
Ba (Barium)	447,00
Be (Beryllium)	6,80
Cd (Kadmium)	0,67
Co (Kobolt)	3,70
Cr (Krom)	51,00
Cu (Kopper)	105,00
Hg (Kvikksølv)	0,01
Mo (Molybden)	0,85
Nb (Niob)	4,00
Ni (Nikkel)	33,00
Pb (Bly)	70,40
S (Svovel)	1 000,00
Sc (Scandium)	2,07
Sn (Tinn)	7,19
Sr (Strontium)	431,00
V (Vanadium)	92,40
W (Wolfram)	
Y (Yttrium)	2,70
Zn (Sink)	196,00
Zr (Zirkonium)	57,40
Sum lave konsentrasjoner	2 514,19

Tabell 6 Sammensetning av sporstoff i filterstøv

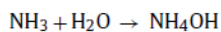
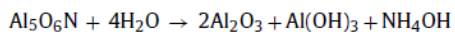
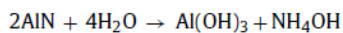
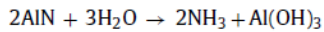
2.5. Reaksjoner i massene

De deponerte massene har vært omsluttet av vann i 25 til 30 år.

Det forventes at reaktiviteten i den delen av massen som er rensset, aluminiumsoksidet, er kraftig redusert. Dette både fordi det metalliske aluminiumet (partikkelstørrelse > 4 mm) er fjernet, massene har vært vasket og man forventer at en stor andel av svovel, fosfor og

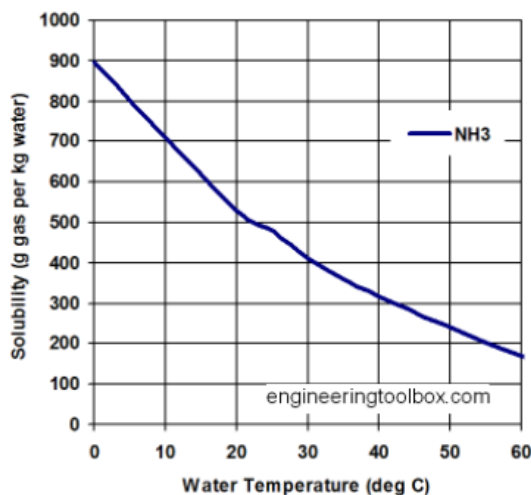
nitrider er vasket ut som salt eller fordampet som ammoniakk, fosfin og hydrogensulfid i renseprosessen før deponering i de gamle gruvene.

De reaksjoner som vil forekomme, er i det vesentlige basert på tilgang til vann og oksygen. Aluminium vil gradvis oksidere, en eksoterm reaksjon. De andre reaksjonene som kan forefinnes, baserer seg på hvilke forurensinger og legeringer som har vært i innfeed til sekundærsmelteverket. Dette varierer fra charge til charge. I slagget vil en del av aluminiumet være aluminiumnitrid (AlN) som reagerer via flere mekanismer med vann og danner ammoniakk gass og aluminiumsoksid. Gassen vil da løses i vann og følge sigevannet ut.



NH₃ er da ammoniakk i gassfase, mens NH₄OH er den samme løst i vann.

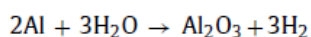
Løselighet av ammoniakk i vann er gitt av nedenstående graf:



Figur 2 Løselighet av ammoniakk i vann

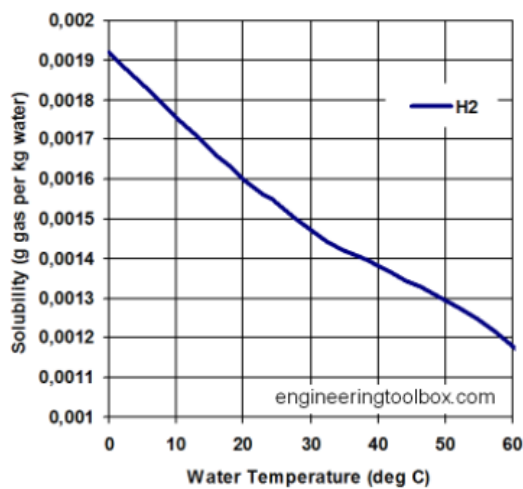
Vi ser at ved T= 10 °C (normal temperatur på vannet) er oppløseligheten betydelig, 0.7 kg/kg vann, slik at det ikke dannes ammoniakk gass i gruvene.

Reaksjonen ved å danne ammoniakk øker pH i vannet, og andre aluminiumspartikler får rensed overflaten for oksyd og kan reagere videre der hydrogengass frigis.



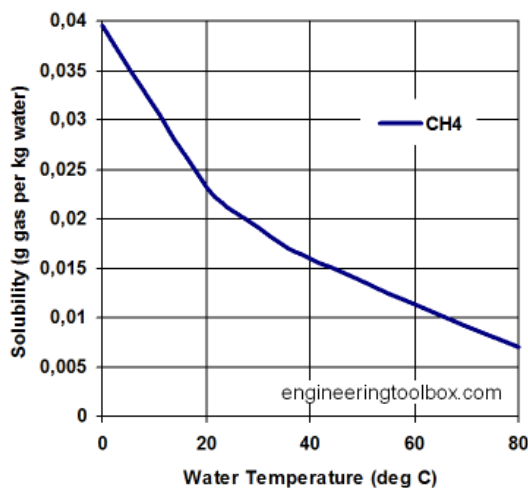
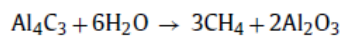
Løseligheten av hydrogen i vann er svært lav, og ligger på et nivå på 0.0017 gram/kg vann. Sett i forhold til mengden vann som strømmer forbi massene nærmest hovedsjaktene, kan det tenkes at hydrogengassen (som veier svært lite i forhold til aluminiumet som inngår i reaksjonen) løses i vann, men som konservativ grunnholdning sier vi at all Hydrogen som har mulighet for å slippe ut, bobler opp motstrøms vannet som strømmer nedover sjakten. Masser som er strømmet inn i sideganger, kan teoretisk sett få en hydrogendannelse som

legger seg i lommer over vannet. Her kommer løseligheten inn, noe vi kommer tilbake til under tallmessig beregning.



Figur 3 Løselighet av Hydrogen i vann

Aluminiumkarbid (Al_4C_3) i avfallet vil også kunne reagere med vann med positiv reaksjonsenergi, der metangass dannes.



Figur 4 Løselighet av metan i vann

Løselighet av metan i vann er gitt av ovenstående graf, med ca.0.025 gram gass/kg vann, dvs på molekylær basis, omtrent samme nivå som for Hydrogen gass.

Det samme bildet kommer med fosfor, der mindre mengder fosfingass dannes (PH_3).

2.6. Gasser som kan dannes

I det følgende er det gitt bakgrunnsmateriale for hvilke gasser som forventes dannes i deponimassene, og hvilke av disse som forventes slippe ut til luft og hvilke som hovedsakelig forventes å følge vannfasen ut.

I motsetning til det åpne deponiet på Karmøy, vil det ikke være en konkurranse mellom nitrid, Karbid, fosfater og aluminium om mengder tilgjengelig vann. Ut fra reaksjonsvarmene, forventer vi at oksidasjonsreaksjonen med dannelse av hydrogengass vil «prioriteres».

2.6.1. Ammoniakk:

Ammoniakk dannes i reaksjonene mellom nitrøse komponenter fra smelterestene og vann, i en eksoterm reaksjon. Beregning av hvor mye ammoniakk som vil dannes er krevende. Vi kan bare indikere hvor mye AlN det fantes i deponiet. Grunnet vannet i gruvene, vil dette følge vannstrømmen og ikke danne lukt i sjaktene ut.

2.6.2. Metan

Råvaren for metanproduksjon er hva som finnes av Karbid igjen i deponiet. Aluminiumkarbid (Al_4C_3) har molekylvekt 144, der 1 kg danner 155 liter Metangass. Denne har to utfordringer, slippes den ut har den en klimagasseffekt på ca. 20 ganger CO_2 . I tillegg vil den være en mulig brannforsterker om det skulle eksplodere.

2.6.3. Fosfin

Fosfin (PH_3) er en giftig gass, dannet av reaksjonen mellom AlP og vann. I og med at denne er spontan, antas den ikke å finne i deponiet lengre. Molekylvekt på 58 gir en gasdannelse på 380 liter fosfin. Gassen er moderat løselig i polare væsker (vann) og må derfor forventes å slippes til luft.

2.6.4. Hydrogensulfid

H_2S dannes fra aluminiumssulfid (Al_2S_3) og vann, og er tilsvarende fosfins reaksjonsmønster momentan. Molekylvekt 150 gir et potensiale for H_2S på 430 liter per kg sulfid, støkiometrisk forhold 1:3. Gassen har en meget karakteristisk lukt selv i små konsentrasjoner, og er svært giftig. Løses lett i vann og det aller meste om ikke alt, vil være vasket ut sammen med salt hittil.

2.6.5. Hydrogen

Det vil dannes betydelige mengder hydrogengass under hydrolyse av aluminium ($Al + 3 H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$). Også denne reaksjonen er eksoterm, og den av delreaksjonene som utvikler sterkest varme. Gassen er brennbar og eksplosiv. De 6.000 tonn med aluminium som vi har estimert igjen (egentlig lagt inn), vil kunne utvikle opp til 600 liter hydrogengass per kg som oksyderes i reaksjon med vann ved $pH > 9$. Denne er lite vannløselig og må sammen med metan og fosfin regnes primært å slippes ut til luft.

2.7. Dimensjonering av reaksjoner

Vi har beregnet reaksjonsvarme for de forskjellige reaksjonene, der alle er klart eksoterme, og reaksjonsvarmen varierer fra 1.5 MJ/kg (aluminiumskomponent) for ammoniakk

dannelsen til 17 for oksidasjonsprosessen. Dette betyr at reaksjonene vil fortsette så lenge det er reaktanter tilstede.

Som det fremkommer av foregående kapittel, er det fraksjoner som inneholder metall, ikke salt eller oksid fraksjoner, som danner de reaktive og brannfarlige gassene i de gamle gruvene i dag. For å gjøre et konservativt anslag på eksplosjonsfaren, benytter vi en sammensetning på disse 100.000 tonnene masse som om alt skulle være ubehandlet saltslagg, som har den høyeste andelen metall, på ca.6% aluminium og kanskje 4% samlet for nitrid, Karbid, fosfat og sulfat komponentene til aluminium. De resterende 90% var så salt (NaCl og KCl) med samlet ca. 40% og aluminiumoksid /aluminiumhydroksid med samlet ca. 50%.

Omregnet i tonn har det da anslagsvis vært 6.000 tonn metallisk aluminium. 2.000 tonn nitrid, 750 tonn hver av Karbid og fosfat komponenter og 500 tonn sulfatkomponent i gruvene.

Molekylvekter for de viktigste reaktantene er:

Al metallisk:	27 g/mol
AlN:	41 g/mol
Al ₂ O ₃ :	102 g/mol
H ₂ :	2 g/mol
CH ₄ :	16 g/mol
H ₂ O:	18 g/mol

Sjaktene er beregnet å ha et tverrsnitt på 4x5 meter = 20 m². Med en høyde på ca. 600 meter og en tetthet på saltslagget på 1.3 kg/liter, vil det ha vært deponert ca. 30.000 tonn i sjaktene og 70.000 tonn i gruvegangene. For dannelse av hydrogengass er det kun det metalliske aluminiumet som reagerer.

Med 30% eller 1.800 tonn aluminium i sjaktene og en vanngjennomstrømning på godt over 100.000 tonn per år, vil støkiometrisk forhold for reaksjonen beregnes av: 1.800.000 kg/27 kg/kmol = 66.667 kmol aluminium som så danner hydrogengass: 66.667 * 2kg/kmol = 133,3 tonn hydrogengass. Vannmengde som behøves for reaksjonen er 1.200 tonn vann. I løpet av perioden fra avfall ble startet deponert, har gjennomstrømningen vært 3 millioner tonn eller 2.500 ganger så mye som skal til for å reagere ferdig.

Når det fortsatt bobler moderate mengder gass ut av de gamle gruvene, kan det da enten komme fra materiale som er plassert i gruvegangene eller at aluminiumsreaksjonen går langsomt.

For å få progresjon i reaksjonen $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$ i det metalliske aluminiumet, må det nydannede aluminiumoksidet fysisk fjernes for at nytt vannmolekyl skal komme inn på aluminiumsoverflaten og reagere. I deponiet på Storøy, er reaksjonen kommet langt etter 13 ganger gjennomstrømning av støkiometrisk mengde vann, ved at det bare er 1/3 av det opprinnelige aluminiumet igjen der. Det antas derfor at det kun er større aluminiumklumper som fortsatt reagerer i sjaktene og at de mindre klumpene er ferdig reagert til oksid.

Reaksjonsmønsteret inne i gruvegangene vil være moderat annerledes, da vanngjennomstrømningen forventes være noe mindre enn i sjaktene, men fortsatt betydelig. De 4.200 tonnene med aluminium vil danne 310 tonn hydrogengass. Ved normalt trykk og temperatur danner 1 mol H₂ 24,1 liter gass. Det samlede gassvolumet som da kan dannes av aluminiumen er 3.75 million m³ hydrogen. Hvis vi i prinsippet sier at maksimalt halvdel av avfallet er saltslagg, vil vi ha i underkant av 2 millioner m³ hydrogengass dannet. Det ville utgjort en betydelig del av de samlede gruvegangene hvis det lå der fortsatt, hvilket er fysisk umulig da det vil bobles ut i sjaktene.

Dersom alt dette har reagert og strømmet ut av gruvesjaktene, tilsvarer det en gasstrøm på 7-8 m³ i timen i snitt jevnt over 25 år, fordelt på to sjakter, anslagsvis en halvdel i hver.

Utluftingsmuligheten fra Personheissjakten ut i dagen ved toppen av sjakten, vil plomberes når industriområdet bygges og gassen vil trekke gjennom to tunneller til Malmsjakt og ventilasjonssjakt opp til området ved FV 666. I dag er den naturlige trekken fra Personheissjakten også inn i fjellet og opp Malmsjakten og ventilasjonssjakten, der det er en betydelig trekk. «Pipehøyde» på disse to ventilasjonskanalene er 60 til 70 meter i forhold til høyde +4 der sjaktene kommer opp i dag. Lufthastigheten er i dag estimert til 2 meter/sekund i en korridor med et tverrsnitt på 3*4 = 12 m². Samlet utlufting er da 2(sjakter) * 2(m/s) * 3.600 (s/h) * 12 m² = 172 m³/h. Gasskonsentrasjonen skulle da i gjennomsnitt bli 8/172 = 4.6% som er litt inne i det eksplosive området (mer enn 4% volum Hydrogen).

Når man nå måler konsentrasjoner på inntil 200 ppm (0.02 volumprosent) H₂ rett over åpningen og null i nærliggende kanaler (< 10 m borte), tilsier det at veldig mye er ferdig reagert, reaksjonen går svært langsomt eller at gjennomstrømningen av luft er vesentlig større enn anslag. For metan har man en nedre grense på 5%, og sett i forhold til mengden karbon i råmassene i forhold til aluminium, vil det ikke være metan tilsted i dag.

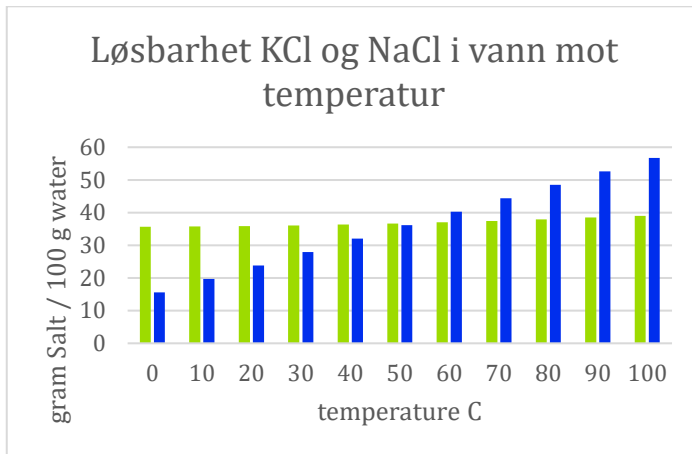
Her kan man teoretisk tenke seg at mye av hydrogengassen er dannet i gruvegangene og ligger fanget i luftlommer over vannmassene. Tidligere har vi sett at hydrogengass har en evne til å løse 0.017 gram per liter vann. Dersom utgående vannstrøm er mettet med hydrogengass, tilsier det maksimalt 170 kg fanget gass per år slipper ut, hvilket er for ingen ting å regne i forhold til samlet produsert gass i gangene på 310 tonn. 170 kg i 30 år tilsvarer 5 tonn eller 1,7% av dannet gass. Så gass dannet i gangen vil enten ha boblet opp eller vil finnes i luftlommer over vannet.

Skulle sistnevnte være tilfelle, vil man ikke ha gnistdannelse under vann eller betydelige mengder oksygen til å underholde eksplosjonen. I tillegg ligger det en flere hundre meter søyle av vann og masser i veien for en eksplosjon. Ved eksplosjonen i 1994 var det ingen antydning til at eksplosjonen startet under bakken, men at årsaken lå i oppsamlet gass på overflaten.

Før Veidekke og Stena iverksetter utbygging, vil man foreta fysisk måling av faktisk gassmengde i sjaktene ved oppsamling av gass over en tidsperiode.

En videre indikasjon på hvor langt reaksjonene har kommet, er utslipp av salt på kote 4. I løpet av de siste 5 årene har det vært en samlet vannstrøm på 650.000 m³, med et samlet

innhold av natrium, kalium og kalsium salter på 1.147 tonn (basert på vannanalyser Bergmesteren gjennomfører systematisk). Disse saltene er lettløselige, og ut ifra et opprinnelig innhold av 40.000 tonn (40%) tilsier et årlig utslipp av 225 tonn at massene er ferdig utvasket. Løseligheten av saltene er gitt i neste graf, ved 20 gram oppløst per 100 gram vann, tilsier det en årlig løselighet ved 10 °C på 20.000 tonn salt, dvs alt saltet er i hovedsak vasket ut allerede i 1994 og etterfylt med nye masser som igjen er vasket ut.



Figur 5 Løselighet av salter i vann