

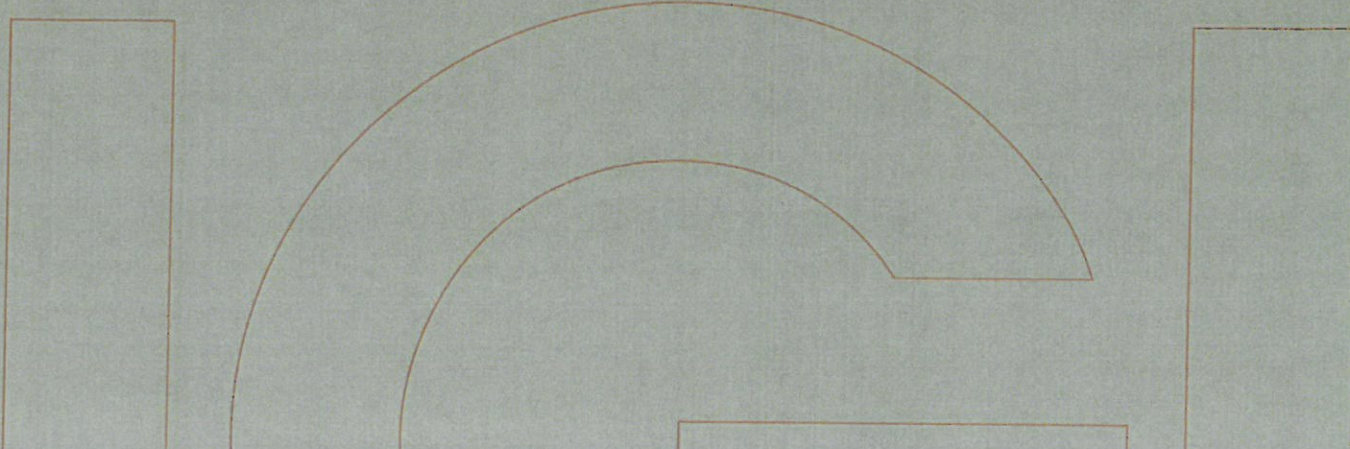


Rapport / Report

Risavika Eiendom - Fjellhallene på Sola

**Søknad om å utnytte fjellhallene
til deponi for borekaks/boreslam.
Stedsspesifikk risikovurdering**

20081857-00-3-R
10. desember 2009





Prosjekt

Prosjekt: Risavika Eiendom - Fjellhallene på Sola
Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dokumenttittel: Søknad om å utnytte fjellhallene til deponi for borekaks/boreslam.
Stedsspesifikk risikovurdering
Dato: 10. desember 2009

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Risavika Eiendom AS
Oppdragsgivers
kontaktperson: Edvard Hagman, Dimensjon Prosjektledelse
Kontraktreferanse:

For NGI

Prosjektleder: Jan Erik Sørli
Utarbeidet av: Jan Erik Sørli
Edvard Hagman
Terje Torsvik, UiB
Kvalitetskontroll: Gudny Okkenhaug

Sammendrag og konklusjon

Risavika Eiendom kjøpte den tidligere raffineritomten på Sola fra A/S Norske Shell i 2005, etter at alle avviklingsarbeider og miljøtiltak som startet i 2000 var utført og avsluttet i henhold til krav fra SFT. Med på kjøpet fulgte 4 fjellhaller, som tidligere ble brukt til råoljelagring. Tomteområdet ble regulert til industriområde, og Risavika Eiendom har utviklet området til bl.a. containerhavnen Risavika Havn.

Fjellhallene og forholdene omkring har vært miljørisikovurdert tre ganger og vært kontinuerlig miljøovervåket i nærmere 10 år. Først var hallene tomme med risiko for bl.a. å eksplodere. Norske Shells avvikling av fjellhallene medførte at de ble

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20081857-00-3-R

Dato: 2009-12-10

Side: 4

tettet og fylt med ferskvann slik at miljørisikoen ble minimal og kontrollerbar. Overvåking i 3 år viste at forurensningsspredningen til både luft og vann (Risavika) var vesentlig mindre enn beregnet. Fjellet er kompetent og tett.

Utbyggingen krevde at fjellpartiet over fjellhallene ble sprengt ned fra kote 20 m til 2 m. Dette utfordret stabiliteten av fjellhenget over fjellhallene som nå ble kun 7 m tykke. Det viste seg imidlertid at horisontalspenningene i fjellet var så høye at det innspente henget kan alene bære alle lastene de blir utsatt for med god sikkerhet. Som en ektraforsikring er taket i fjellhallene og siden mot Vågen sikret med fastgyste bolter. I tillegg er henget inne i fjellhallene også sikret med bolter fra byggetiden (1966). Nedsprengningen gav også en gevinst miljømessig sett, da det reduserte det store overtrykket i grunnvannet over fjellhallene, og bidro til at muligheten for spredningen av det forurensede vannet i fjellhallene ble nærmest eliminert. Utsprengningen av Vågen, kun 15 m fra nærmeste fjellhall, åpnet imidlertid muligheten for nye og korte spredningsveier for både forurenset vann og fri fase olje fra fjellhallen og direkte til resipient. Det medførte en mindre oljelekkasje (ca. 100 l), sannsynligvis gammel olje fra spekker, som stoppet av seg selv. Dette området ble ettertettet med trykkinjisering av sement/vann mellom fjellhallen og fjellveggen. Forurenset vann fra fjellhallen ble ikke registrert bortsett fra noe "diffus svetting" fra grunnvann i fjellveggen. Den nedsprengte fjellveggen har vært en tilfredsstillende bekreftelse på hvor tett og lite oppsprukket fjellet er. Det er ingen risiko for utlekking av forurensning til resipient.

Gassproduksjon i fjellhallene skyldes mikrobiell aktivitet som dreier seg om metan og H₂S. H₂S produksjon skyldes sulfatreduserende bakterier (SRB) som vokser på hydrokarboner og som bruker sulfat i respirasjonsprosessen. I fravær av sulfat kan hydrokarboner omsettes til metan av et konsortium av bakterier der metanogene mikroorganismer spiller en nøkkelrolle. Sulfatreduksjon gir høyere energiutbytte enn metanproduksjon, og metan vil derfor først produseres når all sulfat er brukt opp. H₂S produksjonen har avtatt kontinuerlig og gassen som produseres er ikke målbar i luft. Gassen får diffundere fritt til luft gjennom belegningssteinene.

Program for miljøovervåking av fjellhallene og overvåkingsbrønner, for driften av Risavika Havn er under utarbeidelse. Alle installasjoner og fasilitetene for hver av fjellhallene og sentral for automatisert styring blir fortiden installert og blir en del av driftingen av deponeringen i fjellhallene.

Fjellhallenes volum er ca. 220.000 m³ og er fylt med ferskvann som er forurenset med oppløste hydrokarboner. I tillegg er det voks og små mengder med råolje. Det søkes om å utnytte dette vannvolumet, 215.000 m³, til deponering, ca 20.000 m³ i året, av oljeholdig boreslam/borkaks som er klassifisert som farlig avfall. Borekaks er fysisk stabilt og vil ikke blande seg med vannet og er tett som en leire. Kjemisk så viser utlekkingstester at noen salter, hydrokarboner og små mengder med tungmetaller kan løse seg opp i vann. Vannet er fra før av i likevekt med hydrokarboner fra voks og råolje. Biologisk er borekaks stabilt og forsøk

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dato: 2009-12-10
Side: 5

viser at det ikke produserer, selv under gunstige forhold, verken H₂S eller metan. Rent teknisk så vil borekaksen pumpes ned i fjellhallene og fortrenge (deponiets "sigevannvann") som blir pumpet. Fjellet er tett og utslipp via grunnvann er ikke målbart. Når vannet blir fjernet vil sulfat bli betraktelig mindre tilgjengelig og gassproduksjonen av H₂S vil forsvinne mens produksjon av metangass vil fortsette som tidligere i begrenset omfang.

Det utpumpede vannet med 10 til 15 mg/l med hydrokarbonforbindelser (BTEX, PAH og alifater) er planlagt å rense i henhold til tillatte utslippskonsentrasjoner. Dette tilsvarer i snitt 312,5 kg/år hydrokarboner eller 0,86 kg/dag. Tidligere studier viser at det foregår kraftig fortykning i Risavika og at grunnvannsamfunnet er artsfattig med lav artsforekomst. Sedimentundersøkelser utenfor fjellhallene viste moderat forurensning av PAH og BTEX ble ikke detektert selv etter 35 år med raffineridrift med utslippstillatelse på inntil 15 kg/dag. Dette stemmer godt med at BTEX forsvinner hurtig i vann pga nedbrytning og fordampning. Den planlagte rensingen med aktivt kull er først og fremst for å fjerne PAH. Disse forholdene må tas i betraktning når man skal bestemme krav til utslipp.

Når deponeringen er avsluttet og nødvendige avstengningstiltak utført, vil Risavika Havn fortsette driften av fjellhallene som er sammenfallende med etterdrift, miljøovervåking og vedlikehold av deponiene. Overvåkingen vil omfatte, gassituasjonen og kontroll og prøvetaking av vann i eller over fjellhallene samt overvåkingsbrønner og kuminspeksjon.

Avhengig av hvilken form SFT vil kreve av finansiell garanti bør det vel sees i sammenheng med Risavika Havn's fortsatte overvåking og ansvar for driften og vedlikehold av fjellhallene (underforstått deponiet).

Dette deponiprojektet har flere klare miljøgevinster:

- Oljeholdig boreslam/borekaks, som farlig avfall, vil bli deponert i lukkede haller som allerede har forurensning tilsvarende et deponi for farlig avfall og vil derfor ikke båndlegge nye områder.
- Boreslam/borekaks vil erstatte og fjerne det forurensede vannet i fjellhallene. På lang sikt er det miljømessig vesentlig tryggere å ha dette stabile slammet i fjellhallene fremfor det sterkt forurensede vannet.
- Tilgang på sulfid forsvinner med vannet og H₂S gassproduksjonen vil bli eliminert.
- Risavika Havns overvåking og drift av fjellhallene er sammenfallende med krav til driften av deponiaktivitetene.
- Etterdrift og miljøovervåking av deponiene vil være sammenfallende med driften av havnen og vil være sikret så lenge Risavika Havn eksisterer.

Denne stedsspesifikk utredningen viser at dette deponiprojektet tilfredsstiller kravene i henhold til avfallsforskriften og kravene til underjordisk deponering av farlig avfall.

Innhold (forts.)



Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dato: 2009-12-10
Side: 6

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn	9
2	Søknadens innhold	10
3	Informasjon om eier, driftsansvarlig, avfall, mengder og deponivolum	11
3.1	Type og årlig mengde avfall	11
3.2	Søker, grunneier og driftsansvarlig	11
3.3	Fyllingsvolum og fjellhallenes utforming	11
4	Tidligere utførte miljørisikovurderinger av fjellhallene	13
4.1	Kort historikk om fjellhallene og raffineritomten	13
4.2	Miljørisikovurdering av fjellhallene etter avvikling av råoljelagring og når fjellhallene er tomme (Fase 1)	14
4.3	Sammendrag, fase 1.	15
4.4	Valg av tiltak for å avslutte fjellhallene	15
4.5	Tiltaksbasert miljørisikovurdering av fjellhallene i sin opprinnelige tilstand og fylt med ferskvann	16
4.6	Sammendrag, tiltaksbasert risikovurdering	17
4.7	Tillatelse til utslipp fra SFT	18
4.8	Utførte tiltak for de tomme råoljehallene	18
4.9	Overvåkning av fjellhallene i 2 +1 år	18
4.10	Sammendrag fase 2	20
5	Risavika Havn, 2006 til 2010: Miljørisikovurdering og ingeniørgeologisk vurdering av full nedspregning over fjellhallene.	21
5.1	Miljørisikovurdering	21
5.2	Sammendrag fase 3	23
5.3	Drifting av vanntrykket inne i fjellhallene	24
5.3.1	Ingeniørgeologisk vurdering	24
6	Konklusjoner om fjellhallenes tilstand og egenskaper etter 10 års arbeider	24
7	Beskrivelse av borekaks/boreslam, innhold og egenskaper	25
7.1	Boreslam	26
7.2	Innhold av borekaks	26
8	Drifting av fjellhallene som deponi	27
9	Stedsspesifikk risikovurdering	29
9.1	Innledning	29
9.2	Geologisk vurdering	29
9.2.1	Geologi	29
9.2.2	Sprekkesystemer.....	29
9.2.3	Bergspenninger.....	30
9.3	Modellering og sikring	31
9.4	Vurdering av hydrogeologiske forhold og og forurensningsspredning	33
9.5	Geokjemisk vurdering av fjellhallene	33

9.6	Miljøpåvirkning i fjellhallene med deponering av boreslam/borekaks	34
9.7	Mikrobiologisk undersøkelse av borekaks	35
9.7.1	Mikrobiologiske problemstillinger.....	36
9.7.2	Konklusjon etter de mikrobiologiske forsøkene	37
10	Vurdere virkningen av forurensningsspredning på økosystemet nå og i fremtiden	37
10.1	Forurensningsspredning under deponidriften	37
10.1.1	Utslipp til resipient, Risavika	38
10.2	Forurensningsspredning etter deponiavslutning	38
11	Miljøovervåking under drift av havnen og deponiet	39
12	Avslutningsplan og etterdriftsplan med finansiell garanti for deponiet	39
13	Langsiktig vurdering – ”worst case” scenarier	40
13.1	Ukontrollert lekkasje av olje og gass	40
14	Supplerende undersøkelser	40
15	Konklusjon	40
16	Referanser	41

Figurer:

Figur 1	Shell raffineriet og beliggenhet av fjellhallene
Figur 2	Risavika Havn, Sola – oktober 2009
Figur 3	Utforming av fjellhallene (fra 1966)
Figur 4	Historikk over fjellhallene fra 1966 til 2010
Figur 5	Konseptskisse av fjellhallene etter avvikling av råoljelagring
Figur 6	Forurensningsmuligheter og spredningsveier når fjellhallene er fylt med ferskvann.
Figur 7	Beliggenhet av overvåkingspunktene under fase 2
Figur 8	Prinsippet for overvåkingen av grunnvannsstrømningen fra fjellhall (kilde) til resipient
Figur 9	Konseptskisse av fjellhallene etter nedspregning
Figur 10	Plan av fjellhallene og snitt ut mot Vågen med potensielle spredningsveier
Figur 11	Resultat fra elastisk kontinuum modell fra Phase2 hvor totaldeformasjonene vises. NB! Målestokken er økt 1000 ganger. Beregnet deformasjoner er størst i toppen mot ny kai, omkring 5 mm.
Figur 12	Fjellhallenes innhold av hydrokarboner og tungmetaller.
Figur 13	Fjellhallene som deponi for borekaks

Vedlegg:

Vedlegg A	Karter over Risavika (2 karter)
	1. Situasjonsplan

Innhold (forts.)



Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dato: 2009-12-10
Side: 8

	2. Overvåkingsinstallasjoner
Vedlegg B	Fjellveggen i Vågen mot fjellhallene
Vedlegg C	Mikrobiologisk undersøkelse av borekaks, UiB v/Dr. Terje Torsvik.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Risavika Eiendom ønsker, som eier av de fire fjellhallene, å utnytte de fire hallene til deponi for borekaks og boreslam. Fjellhallene er i dag oppfylt med forurenset ferskvann, og hensikten er å erstatte vannet med avfall.

Fjellhallene har siden 1966 vært brukt til råoljelagring. Siden 2000 har fjellhallene vært undersøkt og overvåket som et ledd i Norske Shells avslutning av raffineriet frem til 2005. Figur 1 viser fotografi av selve raffineriet under drift og plasseringen av fjellhallene som ligger dypt nede i fjellet og under havnivå.



Figur 1 Shell raffineriet med beliggenheten av fjellhallene, år 2000

Risavika Eiendom overtok og utviklet tomten videre til containerhavnen Risavika Havn. Området og beliggenheten i dag er vist på Situasjonsplanen, se Vedlegg A og Figur 2 viser Risavika Havn, oktober 2009.



Figur 2 Risavika Havn, Sola november 2009

2 Søknadens innhold

Det er tatt utgangspunkt i Avfallsforskriften, paragraf 9 som omhandler deponering av avfall og hvilke krav og innhold som stilles til søknaden.

I tillegg er det spesifikke krav til underjordisk deponering av farlig avfall i henhold til § 2.6 i vedlegg II til kap. 11 i Avfallsforskriften hvor følgende avfallskriterier er spesifisert:

”Et underjordisk deponi kan bare motta avfall som oppfyller stedsspesifikke mottakskriterier som er fastsatt av forurensningsmyndigheten på bakgrunn av en stedsspesifikk risikovurdering. Ved underjordiske deponier for farlig avfall gjelder kun de stedsspesifikke mottakskriterier”.

Forskriften lister forøvrig opp hvilke tekniske redegjørelser som må inngå i den stedsspesifikke risikovurderingen.

3 Informasjon om eier, driftsansvarlig, avfall, mengder og deponivolum

3.1 Type og årlig mengde avfall

Det legges opp til å deponer oljeholdig boreslam og borekaks som er klassifisert med avfallsstoffnummer 1741 og EAL-kode (den europeiske avfallslisten) 175071 og 72, og er definert som farlig avfall og omfattes av kap. 11 i Avfallsforskriften.

Mottak av total årlig mengde avfall er estimert til å være mellom 20.000 og 30.000 m³. En fjellhall vil bli fylt opp av gangen.

Avfallet er mer detaljert beskrevet i kap.7.

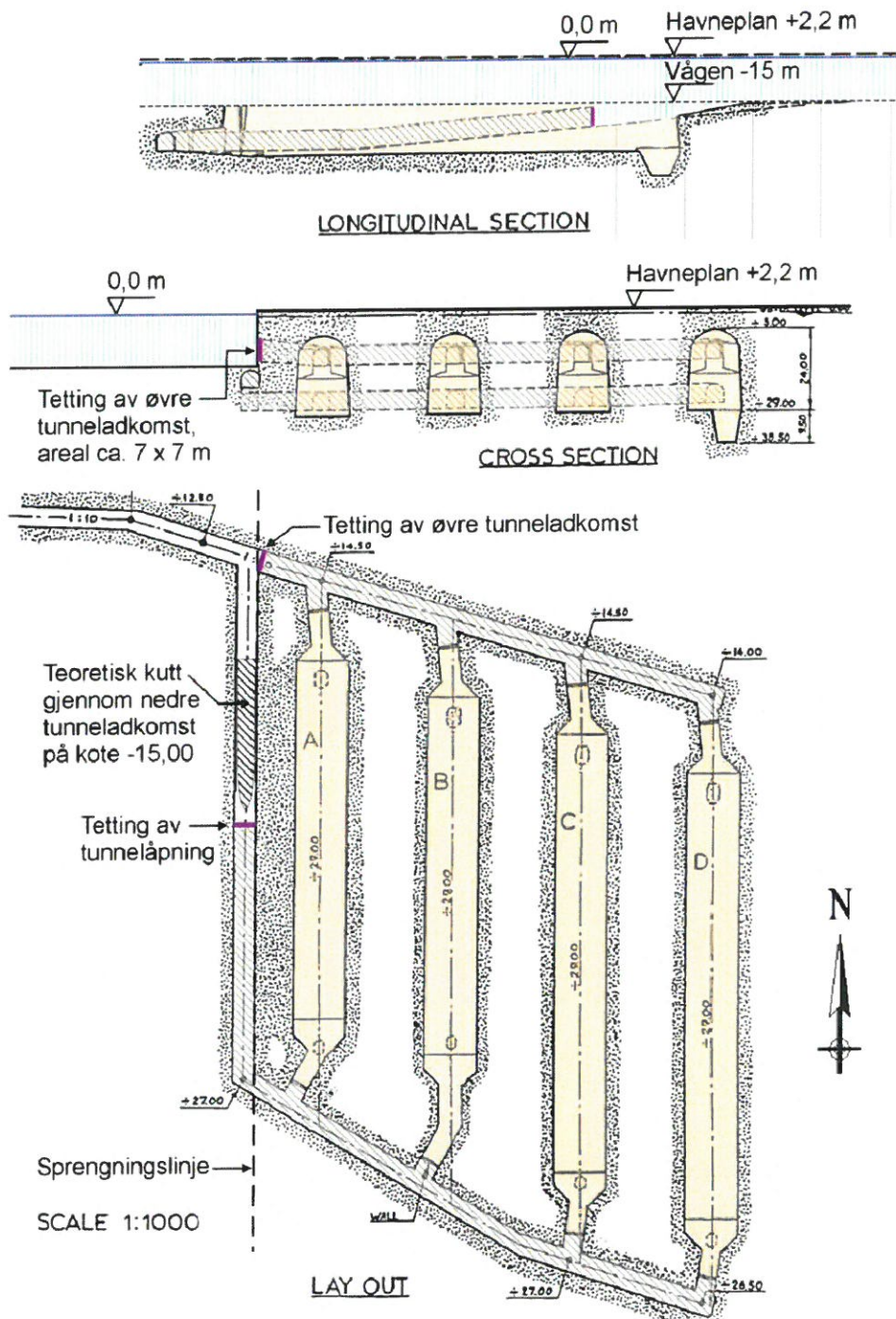
3.2 Søker, grunneier og driftsansvarlig

Søker og eier av fjellhallene er Risavika Eiendom. Grunneier av tomtearealet, gnr. 10, bnr. 180, Sola Kommun, er Risavika Havn AS.

Det vil bli stiftet et eget selskap hvor T.Stangeland Maskin AS vil delta og være ansvarlig for driften av avfallsdeponiet.

3.3 Fyllingsvolum og fjellhallenes utforming

Fjellhallene er vist i Figur 3. De er 17 m brede i bunnen og 15 m i toppen hvor det U-formede hengeet begynner. Toppen ligger på kote -5 og bunnen på -29 og en pumpejakt i den ene enden på kote -39. Hallene hadde en overdekning på 20 til 25 m. Per i dag er overdekningen med fjell på kote 2,2 m. To av hallene er 135 m lange og de to andre er 165 m. Totalt volum er 220.000 m³, hvor de to korte hallene mot øst og Vågen er på 50.000 m³ og de to lengre hallene er på 60.000 m³. Fyllingsvolumet må korrigeres for innhold av voks i hallene som utgjør ca. 5000 m³, dvs. totalt fyllingsvolum er ca 215.000 m³.



Figur 3 Utforming av fjellhallene (fra 1966)

4 Tidligere utførte miljørisikovurderinger av fjellhallene

Det er nødvendig å ta et historisk tilbakeblikk for å dokumentere og beskrive det som har foregått frem til nå da dette danner grunnlaget for den stedsspesifikke risikovurderingen som legges frem her. (NGI-2002)

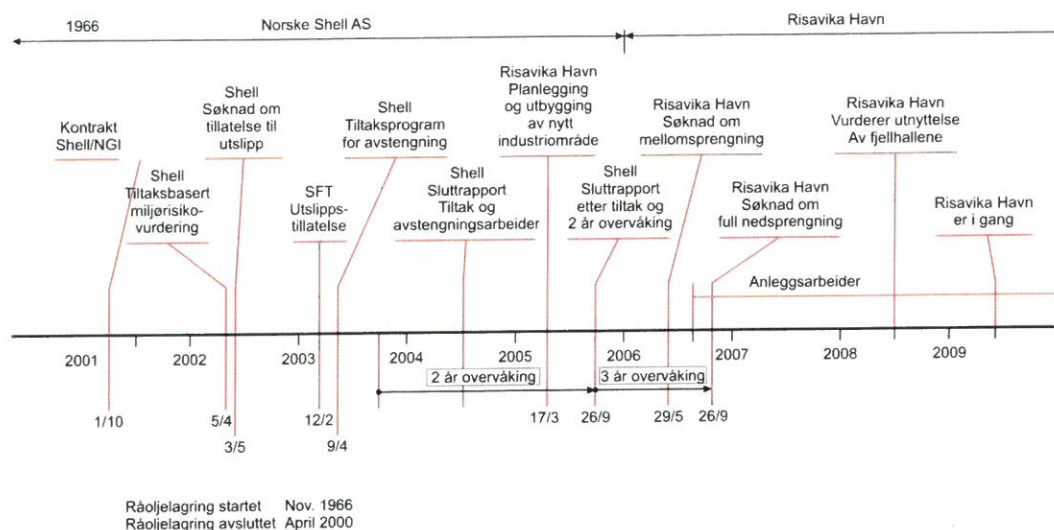
Det er utført 3 miljørisikovurderinger for fjellhallene som vil bli beskrevet mer i detalj:

1. Miljørisikovurdering av fjellhallene etter avvikling av råoljelagring og fjellhallene var tomme i to år (Norske Shell).
2. Tiltaksbasert miljørisikovurdering av fjellhallene i oppfylt tilstand (Norske Shell).
3. Miljørisiko og ingeniørgeologisk vurdering av fjellhallene ved full nedspregning (Risavika Eiendom).

Disse tre tidligere arbeidene er referert til som henholdsvis fase 1, 2, og 3. Det denne rapporten omhandler, å søke om å utnytte fjellhallene til deponi for boreslam/borekaks, er fase 4.

4.1 Kort historikk om fjellhallene og raffineritomten

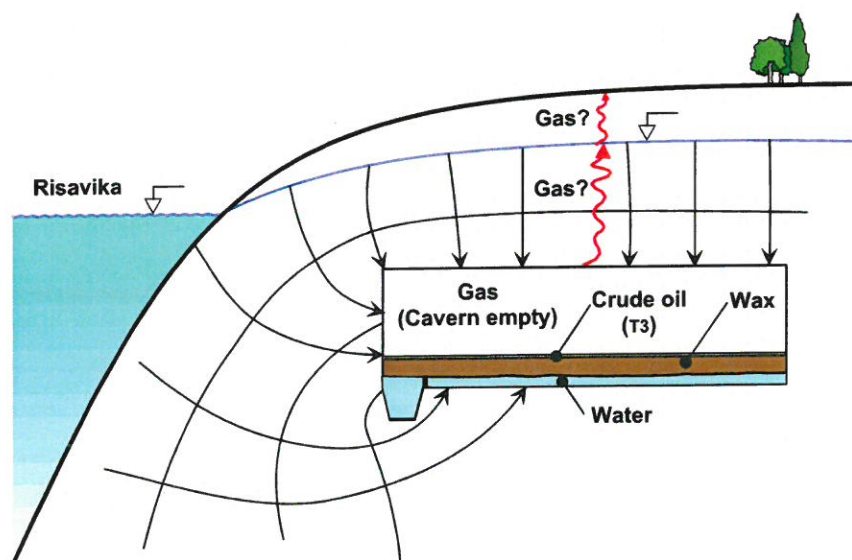
Etter 35 års virksomhet av Norske Shells Raffineri på Sola ble driften avsluttet i år 2000. I løpet av en 5 års periode ble hele raffineriet med fjellhallene avviklet med tiltaksbasert miljørisikovurdering, tiltak og miljøovervåking. Sola Kommune regulerte raffineritomten til industri og næringsvirksomhet som vist på Figur 4. Risavika Eiendom kjøpte området og startet planleggingen av en stor containerhavn, Risavika Havn. Utbyggingen medførte et kraftig inngrep i området og en ny miljørisikovurdering med ingeniørgeologisk vurdering var nødvendig for å ivareta fjellhallenes sikkerhet. Anleggsarbeidene ble satt i gang høsten 2007 og det nærmer seg nå avslutningen, og havnen er for tiden i drift med redusert kapasitet. Fjellhallene har vært overvåket kontinuerlig siden 2002, bortsett fra perioder under havneutbyggingen da det ikke var mulig pga anleggsarbeidene.



Figur 4 Historikk over fjellhallene fra 1966 til 2010

4.2 Miljørisikovurdering av fjellhallene etter avvikling av råoljelagring og når fjellhallene er tomme (Fase 1)

Fjellhallene er omgitt av innadrettet grunnvann og fra sjøsiden innadrettet strømning mot fjellhallene som vist på Figur 5. Naturlig innlekkasje til de forskjellige hallene i år 2000 viser i snitt 0,3 - 6,8 til 0,3 m³/dag som hovedsakelig er ferskvann.



Figur 5 Konseptskisse av fjellhallene etter avvikling av råoljelagring

Den meget lave permeabilitet i fjellet og tette sprekkesystem bidrar til å opprettholde grunnvannstanden over fjellhallene, selv om fjellhallene var tomme i to år.

Tabell 1 Observerte grunnvannsstrømning og modellert utstrømning, m³/dag

Fjellhall	Innstrømning til fjellhallene			
	Etter bygging 1967	Etter avvikling April, 2000*	Målt* 23.10.01 til 12.03.02	Målt* 16.09.02 til 18.11.02
A (T3)	9	0	0,9	1,1
B (T4)	20	3	0,3	2,9
C (T5)	11	2	6,4	5,1
D (T6)	23	8	6,8	8,7

* Mulig feil pga barymetriske forandringer: +/- 1.0 m³/dag

4.3 Sammendrag, fase 1.

Den observerte grunnvannsstrømningen viser at fjellhallene er blitt vesentlig tettere etter 35 år med råoljelagring, ved å sammenligne målingene fra 1967 og 2000/2002. Dette er sannsynligvis forårsaket av at råolje og voks har presset seg inn i sprekke og til dels lukket sprekke når oljetrykket inne i fjellhallene til tider har vært høyt. Sprekkestudier viste et stort antall sprekker som gikk gjennom eller over fjellhallene og ut til sjøen, se figur 10.

Boringer og overvåkingsbrønner rundt fjellhallene viste ingen spredning av olje fra fjellhallene og ut til det omkringliggende fjellet og sjøen. Det var heller ikke ventet pga den innadrettede strømningen. Permeabilitetstestene viste at eksisterende sprekker var små og til dels lukket.

4.4 Valg av tiltak for å avslutte fjellhallene

I forbindelse med avslutningen og avviklingen av fjellhallene permanent engasjerte Norske Shell, Shell Global Solutions til å vurdere et mindre antall mulige teoretiske tiltaksmuligheter. NGI fikk i oppdrag av Norske Shell å se på miljørisikoen og et omfattende undersøkelsesprogram ble satt i gang rundt fjellhallene som omfattet boringer, felttester, geofysikk og analyser av vann og fjell.

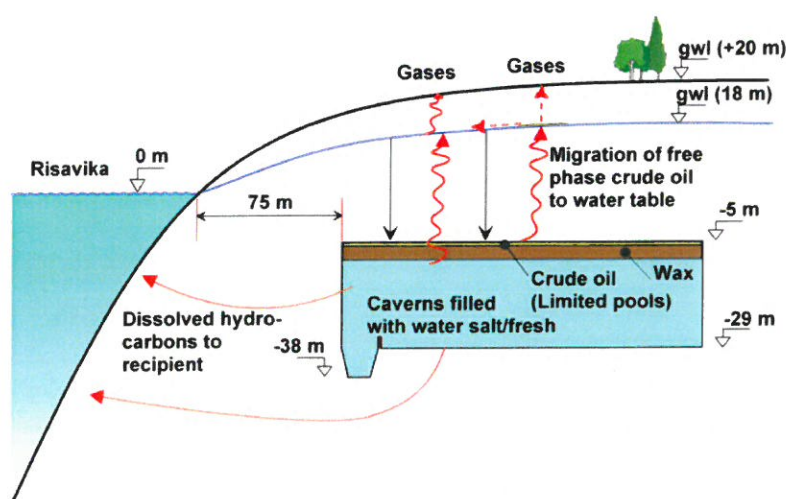
Da den tiltaksbaserte miljørisikovurderingen, som er beskrevet nedenfor, viste at alternativet med å fylle opp fjellhallene med ferskvann ikke medførte noen miljørisiko ble dette alternativet akseptert av Shell Global Solutions og Norske Shell bestemte seg for å fremme dette for SFT som løsningen på å avvikle fjellhallene.

På dette tidspunktet var hallene fylt med ca. 1 m vann og 2 til 3 m voks som flyter på vannet og mindre mengder fri fase olje på voksen. Ellers var hallene tomme og fylt med en gassblanding som kunne være som brann- og eksplosjonsfarlig pga. oksygeninntrengning. Dette medførte at det var et sikkerhetsproblem som også måtte ivaretas i tillegg til forholdene rundt miljørisiko fra eventuell forurensning.

4.5 Tiltaksbasert miljørisikovurdering av fjellhallene i sin opprinnelige tilstand og fylt med ferskvann

(Ref. NGI-2002b)

Når fjellhallene fylles og det blir hydraulisk kontakt mellom vannet i fjellhallene og grunnvannet utenfor, vil strømmingen snu og det blir en utadrettet strømming fra hallene ut mot Risavika som vist i Figur 6. Dette medfører at oppløste hydrokarboner i vannet vil kunne bli transportert ut av fjellhallene. Det vil fortsette og dannes sulfidgasser ved sulfatreduserende bakterier som vi diffunderer gjennom fjellet og stige opp til luft. Muligheten for fri fase spredning pga oppdrift er en teoretisk mulighet men som er meget lite sannsynlig.



Figur 6 Forurensningsmuligheter og spredningsveier når fjellhallene er fylt med ferskvann.

Tabell 2 viser hvordan de oppløste hydrokarbonforbindelsene fortynnes og brytes ned fra fjellhallene og til Risavika. Dette er basert på grunnvannsmodellering og fortynningsmodellering i resipient.

Tabell 2 Fortynnede konsentrasjoner og akseptverdier ($\mu\text{g/l}$)

Hydrokarboner	I fjellhallen C_i	I grunnvannet $C_{gw} = C_i/4$	Strandsonen 1 m fra $C_{gw} = C_{gw}/100$	10 m fra strandsonen $C_{gw} = C_{gw}/1000$	Akseptverdier*, strandsonen
Bensen	2900	725	7,25	0,73	80
Toluen	1700	425	4,25	0,43	74
Etylbensen	580	145	1,45	0,15	48.5
Xylen	2500	630	6,3	0,6	95
Naftalen	250	62,5	0,63	0,06	40
$C_{10}-C_{40}$	2160	525	5,25	0,53	10-300

*EU direktiv 93/67/EEC og 1488/94(Technical Guidance Document)

Tabell 3 viser at når alle fire fjellhallene er fylt opp vil det strømme i gjennomsnitt 0,3 m³/dag og i det verste tilfellet 0,6 m³/dag.

Tabell 3 Grunnvannstrømning fra fjellhallene til Risavika

Fjellhall	Volum utstrømning, l/dag			
	A	B	C	D
Median	27.35	10.28	139.73	90.38
Gjennomsnitt	30.26	13.70	148.74	111.37
Maks volum	72.21	36.18	285.12	194.43
Min volum	1.52	0.87	52.72	111.37
Standard avvik.	26.01	14.71	94.76	54.54

Tabell 4 viser hva dette medfører av totale mengder forurensning hvor grunnvannskonsentrasjonen er multiplisert med volumet av utstrømning.

Tabell 4 Mengde forurensning til sjøen pr. år

Hydrokarboner	Grunnvannskonsentrasjon C _{gw} , ug/l	Gjennomsnitt g/år	Maksimal g/år
Bensen	725	79	153
Toluen	425	47	90
Etylbensen	145	16	31
Xylen	630	68	133
Sum BTEX	1900	207	407
Naftalen	62,5	7	13
C ₁₀ -C ₄₀	525	57	108

4.6 Sammendrag, tiltaksbasert risikovurdering

Det som særpreger forurensningstransporten fra fjellhallene til Risavika er forholdsvis høye grunnvannskonsentrasjoner og meget lave mengde av grunnvann som strømmer ut.

Med utgangspunkt i de oppløste hydrokarbonforbindelser i vannet i fjellhallene og fortykning på vei ut til Risavika, er mengden av BTEX-forbindelser beregnet for det verste tilfelle til ca. 407 g/år, som kan karakteriseres som meget lavt. I forhold til akseptkriterier basert på EUs retningslinjer, ligger de forskjellige utslippskonsentrasjonene i strandsonen 11 til 60 ganger under disse verdiene.

Sjøen og sjøbunnen i Risavika ved raffineriet kan karakteriseres som lite til moderat forurenset, og utenfor råoljehallene tilsvarende. Nylig marin kartlegging i år viser at samfunnet er artsfattig og med lav artsforekomst.

Risikovurderingen viste at tiltaket med å la voksen være igjen og fylle opp med ferskvann er den beste løsningen med henblikk på sikkerhet, miljø og økonomi.

4.7 Tillatelse til utslipp fra SFT

SFT aksepterte den tiltaksbaserte miljørisikovurderingen, med å fylle opp fjellhallene med ferskvann, under visse forutsetninger som bl.a. omfattet overvåking av forurensningsspredning i 2 år og maksimalt utslipp til resipient (Risavika) av BTEX til 400 g/år og andre hydrokarbonforbindelser til 100 g/år. Utslipp til luft skal ikke være til ulempe for omgivelsene eller medfører uønsket forurensning (SFT-2003).

4.8 Utførte tiltak for de tomme råoljehallene

Det ble utarbeidet en egen rapport med detaljert tiltaksprogram og arbeidsutførelse for avstengning og overvåking (NGI- 2003). Det ble lagt vekt på å benytte løsninger som lar seg gjennomføre både med tanke på operatørens sikkerhet, på miljø, energi, ressursbruk og økonomi. Metodene er godt dokumentert, og resultatet vil være kontrollerbart.

Avviklingen av fjellhallene omfattet følgende spesifikke tiltak:

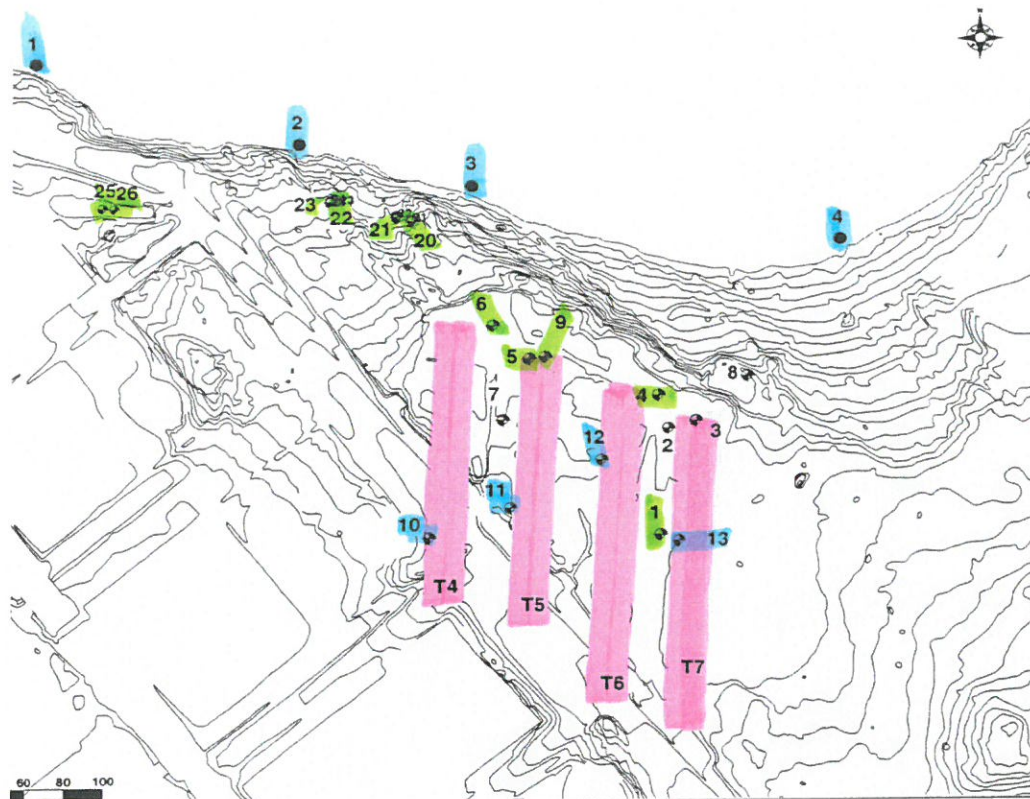
1. La voks og råolje (som ikke kunne pumpes ut) ligge tilbake i hallene
2. Fylle hallene med ferskvann (fra kommunal vannforsyning)
3. Utskifting av atmosfæren inne i fjellhallene med kontroll av utslip til luft
4. Forsegle tunnelinngang med sprengstein og løsmasser
5. Forsegle nåværende brønnsjakter (brukt til fylling og tømning av råolje) i begge ender av fjellhallene
6. Etablere brønner for overvåking, kontroll og eventuelt etterfylling og utpumping av vann

Utlufting av hallene ved ferskvannsfylling skjedde over en lang periode (9 mnd), og i størrelsesorden 40-60 m³ i timen. Innhold av H₂S i gassen var <1 ppm. I forhold til utlufting under drift var dette svært beskjedent, og ikke til sjenanse for nærområdet (NGI-2004).

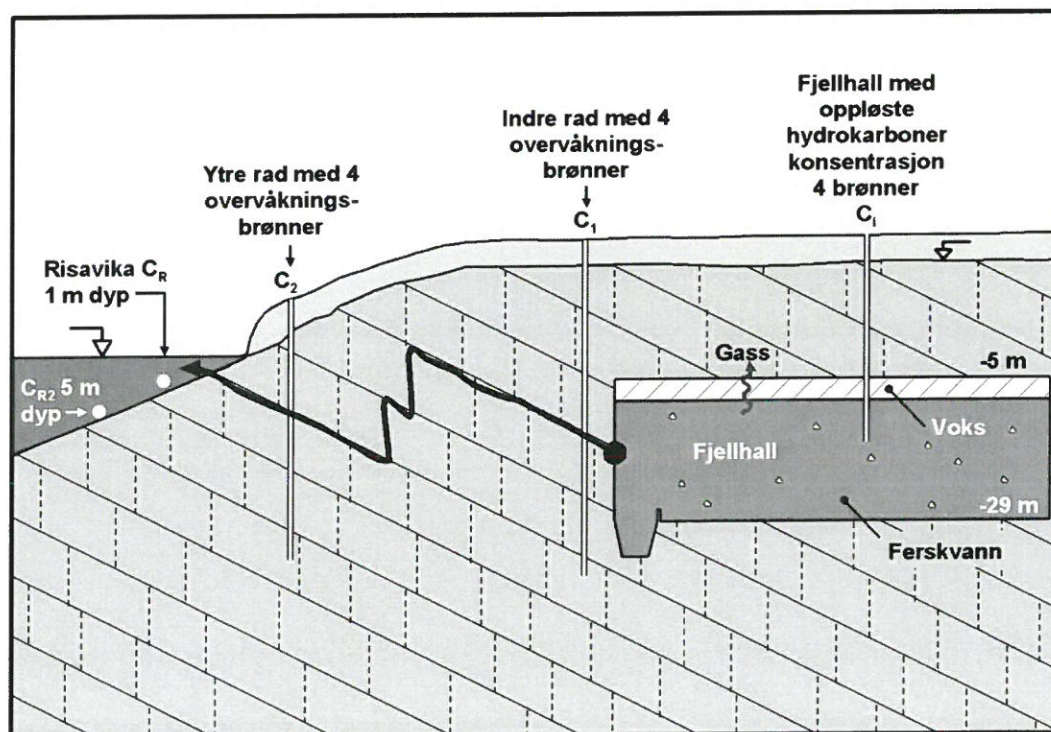
4.9 Overvåking av fjellhallene i 2 +1 år

(Ref. NGI-2005)

Totalt 19 overvåkingspunkter ble etablert i og rundt fjellhallene, se Figur 7. Prinsippet for overvåkingen er vist i Figur 8 hvor man har mulighet til å måle spredning av oppløste hydrokarboner i grunnvannet mot resipient, dvs. Risavika. De fleste av overvåkingsbrønnene var lokalisert med sikte på å treffe de større sprekkesonene som ligger mellom fjellhallene og resipient og i nordvestlig retning.



Figur 7 Beliggenhet av overvåkingspunktene under fase 2



Figur 8 Prinsippet for overvåkingen av grunnvannsstrømningen fra fjellhall til resipient

Den opprinnelige grunnvannsmodelleringen som var basert på en stokastisk geologisk sprekkemodell viste stor variasjon mellom mulig min. og maks grunnvannshastighet (0,1 til 25 m/dag). Den gangen ble det valgt å bruke den hurtigere gjennomstrømningen for å være på den konservative siden og transporttiden til Risavika, ble beregnet til kun 3 til 4 mnd.

De siste korrigerte gjennombruddsverdier, se tabell 5, var det aldri mulig å kontrollere pga nedspengningen som samtidig fjernet trykkgradienten og brønnen måtte avsluttes pga anleggsvirksomheten.

Tabell 5 *Gjennombruddsdata ved brønn nærmest Risavika og beregnet tid frem til Risavika*

	C₀, kons. i fjellhall, T4 ug/l	C_{100 %} kons. i B6, ug/l. % viser reduksjon i kons.	Første gjennombrudd, måneder	100 % gjennombrudd måneder	Beregnet gjennombrudd Risavika, måneder
Bensen	7600	2000 (74 %)	5	18	35+5= 41
Toluen	770	500 (35 %)	7	18	49+7= 56
Etyl bensen	510	150 (70 %)	10	24	70+10= 80
Xylen	1000	450 (55 %)	8	24	56+8= 64
Naftalen	150	70 (53 %)	14	>24	98+14= 112
C10-12	620	200 (68 %)	15	>24	105+15=120

4.10 Sammen drag fase 2

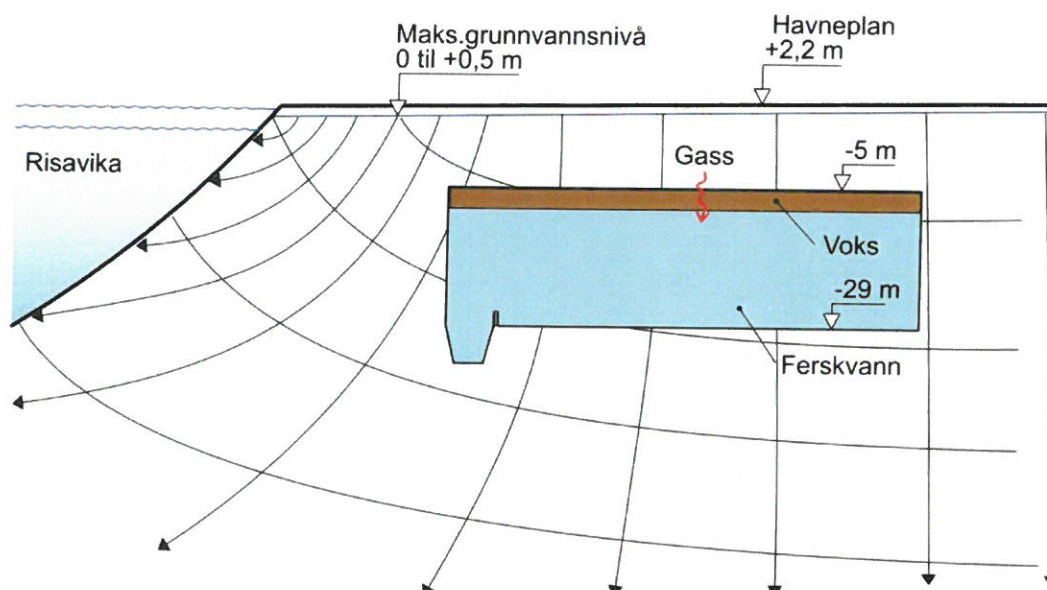
Etter 2 års overvåkingsdata, viser det seg at de raskeste hastighetene brukt i tiltaksrisikoen er for konservative og den reelle utstrømningen til Risavika vil bli vesentlig mer forsinket som vist i tabell 3. Tre år etter full oppfylling med ferskvann har utslipp av hydrokarboner til vann ikke blitt registrert i resipient og utslipp til luft er blitt betraktelig redusert.

Det foregår metan og hydrogensulfid produksjon i fjellhallene ved sulfatreduserende bakterier som lever på oljeprodukter og sulfat (fra sjøvann som fulgte med råoljen) under anaerobe forhold (ikke oksygen til stede). H₂Sproduksjonen i fjellhallene har, pga stadig mindre sulfat, vært synkende over flere år og når sulfatmengden i fjellhallene er brukt opp vil H₂S-produksjonen opphøre. Produksjonen av metan vil opphøre når tilførsel av lett nedbrytbare hydrokarboner forsvinner. Gassen lekker ut av fjellhallene og siver opp gjennom sprekker til luft. Utslipp av gass til luft er vurdert å være akseptabel, og det er mest gunstig å opprettholde den diffuse utlekkingen med åpen belegningsstein for å unngå oppsamling av gassen som i så fall måtte ledes vekk og eventuelt renses.

5 Risavika Havn, 2006 til 2010: Miljørisikovurdering og ingeniørgeologisk vurdering av full nedspregning over fjellhallene.

5.1 Miljørisikovurdering

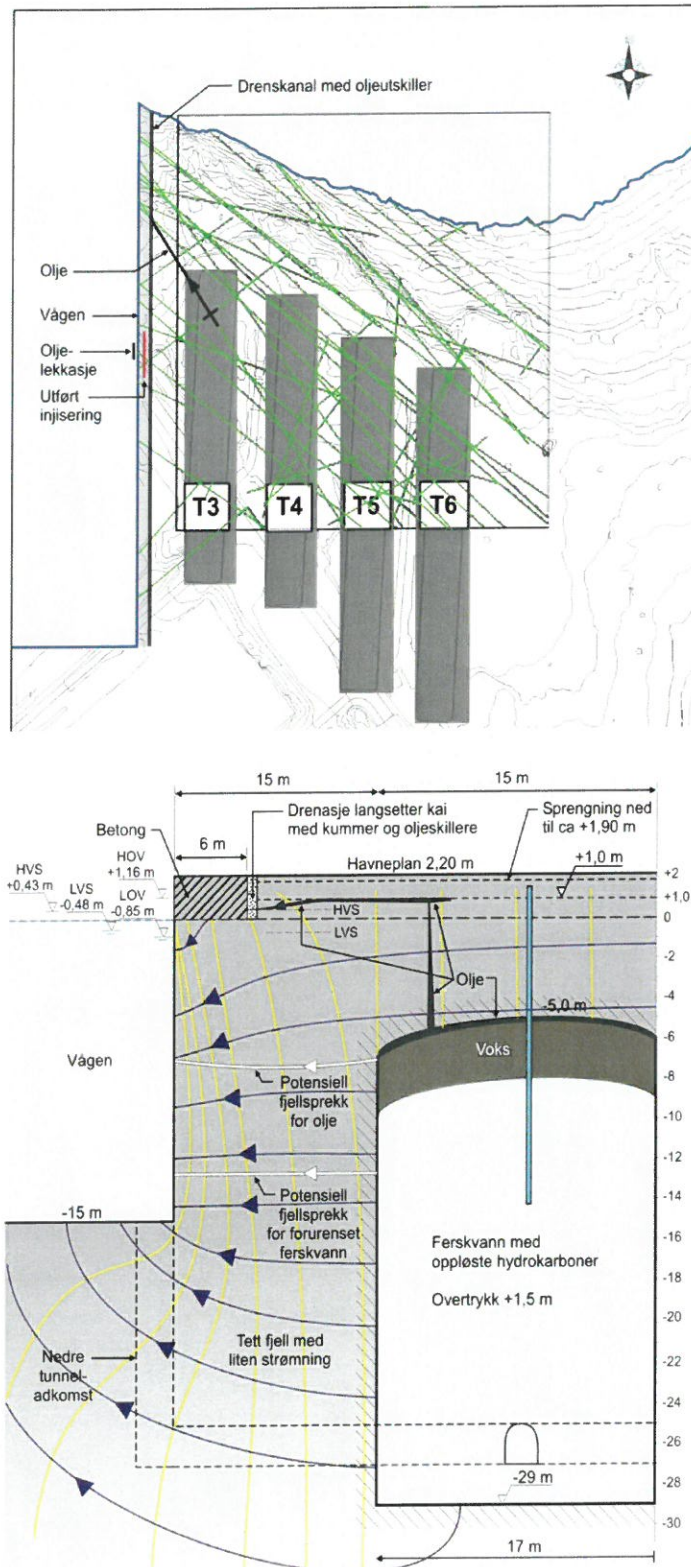
Planene for Risavika Havn var omfattende og krevde full nedspregning, se Figur 9, av hele området og utsprengning av det store havnebassenget, kun 15 m fra nærmeste fjellhall, se Figur 10 (NGI-2005b). Miljørisikovurderingen (NGI-2006) ved full nedspregning er basert på den tidligere miljørisikovurderingen og 3 års overvåkingsresultater, etter avsluttet tiltak Effekten av full nedspregning på de faktorer og forhold som er avgjørende for miljørisikoen er vurdert.



Figur 9 Konseptskisse av fjellhallene etter nedspregning

Med full nedspregning ned til ca +1,5 fjernes det overliggende fjellet og det tilhørende grunnvannet som påførte den store trykkgradienten på vannet i fjellhallene og var drivkraften bak mulig forurensningsspredning til Risavika. Med en trykkforskjell på ca 0,5 m vil det forurensede vannet stort sett forbli stasjonært i fjellhallene. Nedspregningen kan betraktes som et viktig tiltak som har eliminert denne miljørisikoen.

Imidlertid har utsprengningen av Vågen ned til kote -15 medført en ny spredningsvei hvor det er kun 15 m til Vågen og resipient.



Figur 10 Plan av fjellhallene og snitt ut mot Vågen med potensielle spredningsveier

Figur 10 viser plan av fjellhallene og snitt av fjellhallen nærmest Vågen. Her er de mulige forurensningsmuligheter vist som er følgende:

- Fri fase råolje som ligger i lommer mellom voksen og fjellet har mulighet til å spre seg oppover i grunnvannet på grunn av oppdrift (olje er lettere enn vann) og kan teoretisk sett finne sprekker og lekkje, dvs. flyte på grunnvannsspeilet og ut i Vågen.
- Fri fase olje kan også teoretisk sett bevege seg mer sideveis pga oppdriften å nå ut i veggen i Vågen.
- Selv om overtrykket i fjellhallen er beskjedent er det mulighet for at forurenset vann i fjellhallen kan bevege seg i retning av Vågen å komme ut i fjellveggen.

Det er etablert en drenerende grøft langs kaien som vil avskjære mulig fri fase råolje og føre det hen til kum med oljeutskiller.

Under og etter avsluttet sprengning i Vågen var fjellveggen jevnlig under observasjon i 9 mnd. Veggen er fotografert og vist i vedlegg B. Denne enestående fullskala direkte observasjon i nærmere ett år av mulig lekkasje ga følgende resultater:

- Oljelekkasje viste seg i en 5 m lang horisontal sprekk (se vedlegg B) etter ca 1 mnd. og gav seg etter ca 6 uker. Ca. 100 l lekket ut og området ble tettet med injisering av sementmørtel i borehull fra oversiden (NGI - 2008). Ut over dette var det ingen annen oljelekkasje i fjellveggen. Det antas at det er mest sannsynlig at denne begrensede mengde oljen var gammel råolje fra driften som lå i en sprekk som ble kuttet i forbindelse med sprengningen.
- Ingen lekkasje av forurenset vann fra fjellhallen ble observert/registrert i fjellveggen.

5.2 Sammenheng fase 3

Basert på disse observasjoner fra fjellveggen i Vågen kan fjellet mellom fjellhallen og Vågen karakteriseres som en tett og sikker barriere mot forurensning fra fjellhallen.

Vedrørende den teoretiske muligheten for spredning av fri fase olje opp til grunnvannsspeilet er det ingen observasjoner som tyder på at dette kan skje. Det er imidlertid etablert drenasje langs kaikanten, se Figur 9, hvor mulig olje kan samles opp i drenggrøften og skilles ut i kummer med oljeavskillere. Det er per i dag, etter 6mnd, ikke observert frifase olje i denne grøften.

Det er fortsatt diffus gasslekkasje av metan og hydrogensulfid fra fjellhallene gjennom små fjellsprekker og åpen belegningsstein til luft som produseres av sulfatreduserende og metanogene bakterier.. Gassproduksjonen avtar hele tiden så

lenge det ikke kommer nytt sjøvann eller nye lett nedbrytbare karbonkilder inn i fjellhallene.

5.3 Drifting av vanntrykket inne i fjellhallene

Vanntrykket i fjellhallene vil alltid være høyere enn høyeste vannstand ute i sjøen. Grunnen til dette er at man da unngår at sjøvann (sulfat) å penetrere inn i fjellhallene og derved evt. produksjon av H₂S.

Med høyeste astronomiske vannstand (HVS) og laveste astronomiske vannstand (LVS) på henholdsvis kote +0,43 og - 0,48 har man valgt å opprettholde en vanntrykk på ca. + 0,50, se Figur 8. Samtidig antar man at grunnvannstanden over fjellhallene vil være rundt + 1,0. Høyeste og laveste observerte vannstander (HOV og LOV) er sjeldne og kortvarige og man har valgt å se bort i fra disse ekstremverdier.

Styringen av vanntrykket i fjellhallene vil foregå automatisk og det vil være mulig å pumpe vann inn og ut avhengig av hva som er nødvendig i forhold til infiltrasjon av nedbør og sjøvannstanden i Risavika.

5.3.1 *Ingeniørgeologisk vurdering*

Nedsprengningen over fjellhallene vil redusere overdekningen fra 18 - 25 m ned til 7 m som tilsvarer ca halve bredden av hallene. Det er utført spenningsmålinger i felt som viser høye horisontalspenninger i fjellet. Numerisk modellering viser små deformasjoner ved full nedsprengning. På dette grunnlaget konkluderte den ingeniørgeologiske vurderingen med at det er forsvarlig å utføre den planlagte utsprengningen. Det er anbefalt systematisk sikring med bolter over hallene og ut mot havnebassenget samt krav til sprengningsarbeidene.

Det er utført en sprengningsteknisk spesifisering av arbeidene over fjellhallene (Multiconsult 2006) For mer detaljer om geologien, se kap.9.2.

6 **Konklusjoner om fjellhallenes tilstand og egenskaper etter 10 års arbeider**

Det er viktig å oppsummere status på kunnskaper og erfaring om fjellhallenes tilstand etter 10 års virksomhet. Dette danner grunnlaget for videre utvikling av fjellhallene og gir føringer for hvilke muligheter man har.

- Siden råoljelagringen sluttet og frem til nå har fjellhallene gått igjennom flere faser. Først var fjellhallene fulle med olje eller til dels tomme, deretter fulle med ferskvann og til slutt nedsprengning fra kote +20 til kote + 2. Alle tiltakene har redusert risiko for spredning av forurensning til resipient.

- Utslipp til Risavika er ikke registrert i de 3 årene overvåkingen pågikk og fjellhallene oppfattes som tette selv om oppfyllingen med vann økte grunnvannstrykket med 2,5 bar. Den fysiokjemiske tilstanden i fjellhallene er stabil og det er likevekt mellom oppløste hydrokarboner i vannet og hydrokarboner i voksen.
- Oppfyllingen med ferskvann stoppet tilførsel av sjøvann (sulfat). Dannelsen av H₂S-gass avtar derfor kontinuerlig. Dannelsen av metan forventes også å avta pga redusert tilgang til karbonkilde (hydrokarboner). Oppfyllingen med vann stoppet også faren for eksplosjon nede i fjellhallene. God løsning på diffus gasslekkasje over fjellhallene er ivaretatt.
- Nedsprengningen over fjellhallene fjernet grunnvannstrykket og grunnvannsgradienten er praktisk talt nær null og derfor blir det heller ingen spredning av vannet i fjellhallene til Risavika eller Vågen.
- Fjellhallene er fysisk stabile. Beregninger og feltmålinger viser at de horisontale strekkspenningene holder den tynne overdekningen intakt og faktum er at overdekningen hever seg noen mm. Som en ekstra sikring er overdekningen forankret med strekkstag.
- Nedsprengt fjellvegg i Vågen 15 m fra fjellhallen viste meget kompetent fjellkvalitet. Beskjeden oljelekkasje i vegg stoppet av seg selv. Som en sikring ble denne delen injisert, se kap.5.1 og vedlegg B.

En vesentlig fordel med henbikk på å ivareta fjellhallene for fremtiden er at Risavika Havn som eiere vil være ansvarlig for framtidig miljøovervåkingen av fjellhallene uavhengig av bruk.

En oppfylling av fjellhallene som vil fjerne 200 000 m³ med sterkt forurenset vann vil øke stabiliteten av fjellhallene og eliminere muligheten for forureningsspredning til luft og vann i et svært langt tidsperspektiv.

7 Beskrivelse av borekaks/boreslam, innhold og egenskaper

Dette er en kort beskrivelse av de avfallstypene som genereres i Nordsjøen og som denne søknaden omfatter mht. deponering i fjellhallene. Oljeboringsavfall genereres gjennom boreoperasjoner. Oljeboringsavfall består i all hovedsak av forurenset boreslam, forurenset kompletteringsvæske, borekaks og eventuelt slop. En boreoperasjon kan inndeles i to hovedfaser; borefase og kompletteringsfase. Boreslam benyttes under borefasen, mens kompletteringsvæsker benyttes under kompletteringsfasen. Det har vært forbud mot å slippe ut borekaks med rester av oljebasert borevæske siden 1992 (Oljedirektoratet-2008).

For fjellhallene søkes det om å deponere oljeholdig boremod/slamm og borekaks som er karakterisert som fast stoff.

7.1 Boreslam

Som en hovedinndeling kan en si at det finnes to typer boreslam. De som er basert på olje og de som er basert på vann. I denne søknaden dreier det seg i hovedsak om oljebasert boreslam som inneholder olje. Denne typen boreslam utgjør hovedparten av det boreslammet som fraktes til land for destruksjon i dag.

En av hovedoppgavene til et boreslam er å frakte utboret masse, borekaks, opp til overflaten under en boreoperasjon. Borekakset skilles fra boreslammet på boreplattformen. Borekaks består da av formasjonsmasse (den geologiske formasjonen man borer i) og boreslam som følger med fra separasjonsprosessen.

7.2 Innhold av borekaks

Borekaks fra Sleipnerfeltet (fra Haliburton) består av oljebasert mud og stein/mineraler fra reservoaret det bores i, samt noe råolje. Dette er det samme borekakset som det er utført mikrobiologiske forsøk på (Se Vedlegg C). Annen borekaks fra Nordsjøen er lite forskjellig fra Sleipnerfeltet når det gjelder både innhold og egenskaper.

Forbindelser og mineraler fra oljebasert mud XP-07 med tilsetninger:

- Kalsiumklorid CaCl_2
- Bentonitt
- Barytt, (BaSO_4)
- Krystallinsk kvarts
- Kalsiumhydroksid
- Isoparafinisk løsning
- N-parafin (C10-C13)
- Diverse polymerer og emulsjonsdannere, tynnere og fortykkere (avhengig av behov og lokalitet)
- Muligens noe Bitumen (tunge oljeforbindelser), avhengig av behov, lokalitet

Fra Reservoar:

- Leirskifer
- Sandstein
- Råolje
- Andre salter og mineraler i mindre mengder

Innholdet av Barytt blir variert med dybde man enhver tid borer på, (behov for mottrykk), og polymerer, og emulsjonsdannere vil også variere sterkt. Bitumen blir tilsatt hvis dette er nødvendig å oppnå rette karakteristikk/seighet for borevæsken.

Innholdet av leirskifer og sandstein og tilstanden til disse vil variere. Leirskifer finnes det meste av i lagene over reservoaret, som man borer gjennom. Sandstein er det mest av i selve reservoaret. Kaksen som inneholder sandstein inneholder også mer vann. Kvaliteten på leirskiferen vil variere med trykk den er blitt utsatt for, samt tid, og andre ytre påvirkninger. Fastheten vil variere fra myk leire til hard stein. Sandsteinen er porøs, og en del av den vil malt ned til sand i boreprosessen.

Barytt vil inneholde barium og tungmetaller som cadmium, bly og sink. Barytt som brukes til boring i Norge, har lavt innhold av tungmetaller, sammenliknet med barytt generelt. Borekaks' konsentrasjoner og variasjon er vist i tabell 6.

Tabell 6 *Analysen av borekaks fra Nordsjøen: Olje og tungmetaller*

PARAMETER	GJENNOMSNIITT	VARIASJON
Totalt oljeinnhold C5-C35	11 %	7-14%
Sammensetning av olje		
C12-C16	70%	60-80 %
C5-C16	17%	10-30%
C16-C35	13%	5-35 %
PAH	15 mg/kg	10 – 20 mg/kg
Tungmetaller, mg/kg		
Barium	800	150-3000
Sink	95	60-150
Kadmium	<0,4	0,1-<0,4
Nikkel	40	30-50
Molybden	<1,3	
Tinn	<0,6	
Vanadium	25	19-31
Krom	29	21-42
Kobber	50	30-80
Kvikksølv	0,05	0-0,1
Arsen	11	9-13
Bly	28	20-40

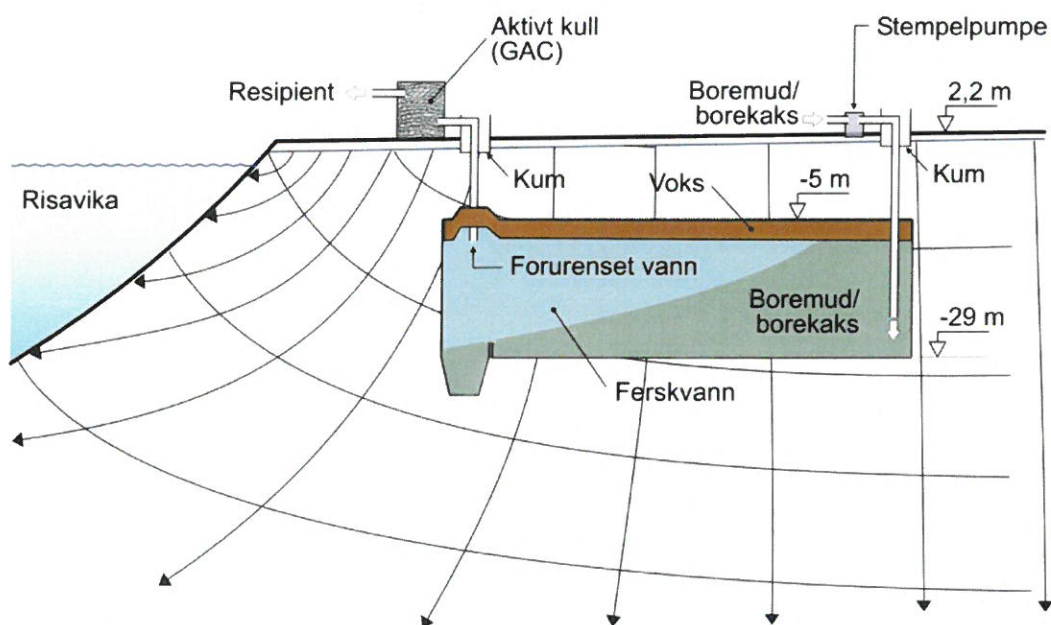
8 Drifting av fjellhallene som deponi

Fjellhallene er fulle med vann, noe voks og mindre mengder råolje som er presset opp i hengt, se figur 12. Øverst under hengt ligger et tynt lag med fri fase olje og under der ligger fra 1,5 til 3 m tykk voks. Å utnytte fjellhallene til deponi vil foregå på den måten at vannvolumet blir erstattet med boreslam/borekaks. Vannet som er forurenset med oppløste hydrokarboner vil bli pumpet ut samtidig som avfallet fortrenger vannet nede i fjellhallene, se figur 12. Vannet som er forurenset med de fleste hydrokarbonforbindelsene som vist i figur 11, vil bli renset med aktivt kullfilter før utslipp til Risavika.

Boreslam/borekaks har spesielt gode pumpeegenskaper som vil bli utnyttet. Avfallet vil bli pumpet med kraftig stempelpumpe ned i fjellhallene. Pumpen og det lett bevegelige boreslammet forventes å kunne bli presset helt frem til den andre enden av hallen og fylle alle hulrom og åpninger. Det har vært utført pumpeforsøk med boreslam som bekrefter at dette skal være mulig.

Risavika Havn planlegger fortiden miljøovervåkingen og driftingen av fjellhallene som inngår som en del av å styre og kontrollere alle aktivitetene på havna. Når deponeringen starter opp vil alle aktivitetene som angår fjellhallene slås sammen og styres fra en sentral.

Driftingen av fjellhallene vil bl.a. omfatte styring vannstand/vanntrykk inne i fjellhallene slik at man oppnår de nødvendige stabile tilstander. Foreløpig ser det ut til at de kan være fornuftig å legge seg på et nivå rundt høyeste astronomiske tidevann 0,43 m. Det legges opp til automatisk kontroll av vannstanden (trykket) i fjellhallene som skal styre tilførsel og tapping av vann for å opprettholde riktig vanntrykk til enhver tid inne i fjellhallene. Styringen av rensingen av vann til utslipp vil også kunne inngå som en del av den automatiske kontrollen.



Figur 11 Fjellhallene som deponi for borekaks

9 Stedsspesifikk risikovurdering

9.1 Innledning

Alle de faglige krav til dokumentasjon som er gitt i avfallsforskriften, er beskrevet i de følgende kapitler og forøvrig refereres det til tidligere utførte arbeider.

9.2 Geologisk vurdering

9.2.1 *Geologi*

Området som skal sprenges ut ligger på halvøya Hamraberget sør for Risavika ved Sola i Stavanger.

Bergmassen tilhører Jærdekke-komplekset som er fra Prekambriumtiden. Hovedbergarten er granittisk til granodiorittisk gneis, hovedsakelig bestående av kvarts og feltspat. I den nordøstre delen av halvøya er bergmassen betydelig lagdelt. I tillegg til lagene med granittisk gneis er det observert amfibolitt, kvartsitt, glimmerskifer, glimmergneis og marmor. Lagene stryker hovedsakelig NV-SØ og faller 30° mot sørvest. De forskjellige lagene har vanligvis en tykkelse på 1-2 m. Amfibolitten opptrer også i tykkere lag. Bergmassen er relativt forvitret og oppsprukket nær terrengoverflaten. Dette avtar med dybden.

9.2.2 *Sprekkesystemer*

Hovedstrukturen i området hvor fjellhallene ligger er foliasjonen, som vanligvis er parallell til lagdelingen. Foliasjonen stryker NV-SØ og faller 25-50° mot sørvest. Den mest forekommende fallvinkelen er 30°. De to andre hovedsprekkesettene er nesten vertikale og stryker N40-60°Ø samt N170°Ø. Et mindre sprekkese sett stryker Ø-V.

En nærmere beskrivelse av sprekkese tte listet opp og figur 9 viser en sammenstilling av sprekkene.

Sprekkese tt 1

Foliasjonssprekker som stryker NV-SØ og faller 25-50° mot sørvest. Sprekkene er gjennomtrengende og har antakelig lengde på flere titals meter. I den granittiske gneisen er sprekkese avstanden vanligvis 0,5-2 m. I den lagdelte sonen varierer avstanden fra noen få dm til 1 m. Sprekkene har normalt en ru flate.

Sprekkese tt 2

Vertikale sprekker som stryker omkring N40-60°Ø og som har varierende avstand, vanligvis 0,2-1,0 m. Langs sprekkese oner er avstanden betydelig mindre, omkring noen cm. Sprekkene er vanligvis ru og er belagt med rust og kalkspat de øverste 5-10 m fra terrengoverflaten.

Sprekkesett 3

Vertikale sprekker som stryker Ø-V, stedvis opptrедende som sprekkesoner med tykkelse 0,1-0,2 m. Vanligvis er sprekkeavstanden mer enn 1 m.

Sprekkesett 4

Vertikalt sprekkeseтт som stryker N170°Ø. Sprekkene er gjennomtrengende og krysser flere lag, dvs. sprekkens lengde er vanligvis større enn 10 m. De har ru flate, opptrer med en avstand omkring 0,5-2 m og fører kalsitt på sprekkeflaten. I sprekkesonene er avstanden mindre.

Generelt på sprekkeflatene er det målt en JCS på ca 120 MPa.

Basert på ruhetsmålinger på sprekkeflater i sprengningsfronten, sør for hallene i slutten av oktober 2004, er følgende verdier av JRC estimert:

Sprekkesett	Bergart	JRC
2	Amfibolitt	1
2	Dioritt	15
4	Amfibolitt	14
4	Granittisk gneis	17

På subhorisontale plan (antatt benkningsplan) er det estimert følgende verdier på ruhet:

Bergart	Bergart
Amfibolitt	2
Amfibolitt	13
Dioritt	9
Granittisk gneis	14

9.2.3 *Bergspenninger*

Det er totalt boret 5 hull, to over hall B (nr. 5 og 6) og tre over hall C (nr. 1, 2 og 7) for spenningsmåling. Det er av NGI utført spenningsmålinger i borehull nr. 1, merket av på skisse 4, vedlegg 5.. Det ble utført forsøk på to dybder; 9,65 m og 12,65 m under terreng. Dette tilsvarer ca. halve avstanden fra terrengoverflaten og ned til hengt på fjellhallene.

Målingene er utført ved hydraulisk splitting hvor en del av et borehull blir avgrenset med to pakkere. Delen mellom pakkene blir deretter trykksatt med vann, og dersom det viser seg at bergmassen er tett, økes trykket inntil en sprekk opptrer. Deretter åpnes og lukkes sprekkene noen ganger, og det trykket som sprekkene lukker seg ved vurderes å representere minste hovedspenning.

Etter avsluttet spenningsmåling, ble retningen på de induserte sprekkene målt. Resultatene fra forsøkene vises i tabell 7.

Tabell 7 Resultat fra in-situ hydraulisk splitteforsøk

BH 1 Dybde	Splittetrykk MPa	Lukketrykk MPa				Sprekkeretning	
						Fall- vinkel	Strøkvinkel
12,65	20,0	7,2	4,0	3,2	2,8	85°	320°
9,65	24,0	13,6	3,2	2,8	3,2	85°	018°
11,15	Pakkeren ødelagt ved 22,5 MPa						

Retningen på de to induerte sprekkene er nær parallell med de respektive tidligere registrerte knusningssonene, se kap. 2.2.

Metoden bygger på at den minste hovedspenningen er vinkelrett den induerte sprekkeretningen. Dette gir at minste målte spenning (horisontalt) er rettet 50° NØ og 288° NV. Retningene er nesten vinkelrett mot tidligere oppmålte knusningssoner.

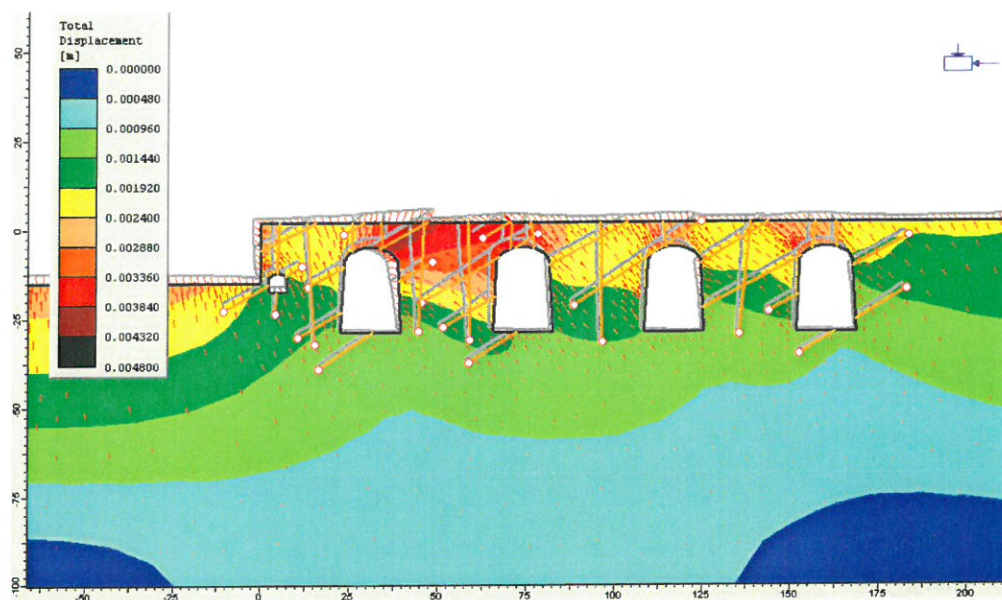
Gjennomsnittlig har de induerte sprekkene i borehullet en retning omkring N-S, og det er antatt at minste hovedspenning har en retning omkring Ø-V.

Dette betyr at minste målte horisontale hovedspenning er rettet noe på tvers av fjellhallene. Det antas da at største horisontale hovedspenning er nesten på langs av lengderetningen vinkelrett fjellhallene.

9.3 Modellering og sikring

Eksisterende fjellhaller stod klare omkring 1967 og ifølge konstruksjonsrapporten (as built) er det installert ca 20.000 bolter. Boltelengdene varierte fra 1,6 m til 3 m og det er brukt boltediameter 22 og 26 mm. Hoveddelen av boltene er installert i hengt og resten i veggene. Etter ca 30 års drift antas det at eksisterende sikring kan være korrodert og svekket.

For dimensjonering av fjellsikring er det utført bergspenningsmålinger i bergmassen over eksisterende fjellhaller i form av hydraulisk splitting. Denne type måling gir minste horisontale hovedspenning. Målingene viste på relativt høye spenninger, hvor den minste horisontale hovedspenningen er rettet ca tvers av fjellhallene, mens det antas at største horisontale hovedspenning er rettet nesten på langs med lengderetningen av fjellhallene.



Figur 12 Resultat fra modell med sprekker fra Phase² hvor totaldeformasjonene vises. NB! Målestokken er økt 1000 ganger. Beregnet deformasjoner er størst i toppen mot ny kai, omkring 5 mm.

Ettersom det ikke er mulig å komme inn i fjellhallene for å supplere fjellsikringen, må all sikring skje fra nedsprenget terreng. For å vurdere oppførelsen av bergmassen ved fjerning av masser over hallene er det utført flere numeriske modelleringer og beregninger. Beregningene viser generelt en mindre heving av hengt pga. avlastning samt noen millimeter deformasjon av veggene inn i hallene, se figur 12. Ved sprengning av kaien vil det bli noe større heving av hengt og noe større deformasjon i veggene samt noen millimeter bevegelse mot kaikanten.

Med bakgrunn i utført analyser samt Q-klassifisering er det anbefalt sikring i form av bolter fra nedsprenget terreng. Det er gitt restriksjoner på sprengning i form av flere pallnivåer samt seksjonsvis sprengning langs fjellhallene. Den nederste pallhøyden bør være lavere enn den øverste og ifølge sprengningsteknisk spesifisering den satt til 3 m (Multiconsult-2006). Salvelengden bør ikke være lenger enn ½ bredden av hallene, dvs. ca 7-8 m. Etter hver pall skal det sikres med bolter. Sikringen skal utføres med varmforstøpde kamstålsbolter med diameter 32 mm som skal være fullt innstøpde med gysemasse av type sinkbolt eller liknende. Alternativt kan epoksybelagt bolter brukes kombinert med vanlig gysemasse. For utsprengning og pigging av havnebasseng og kai anbefales det noen ekstra bolterekker i bergstappen mellom fjellhall mot vest og kaia. Totalt 1800 bolter er installert.

Det er satt krav til rystelser. Det er bunnladningen i den nedre pallen som gir de største vibrasjonene i hengt av hallene. Ettersom det ikke er mulig å måle rystelser i hallene så er det lagt opp til måling i byggegroppen.

9.4 Vurdering av hydrogeologiske forhold og og forurensningsspredning

Full nedspregning over fjellhallene og hele den store havnetomten, har forandret de hydrogeologiske forholdene totalt. Det øvre oppsprukne dagfjellet til 4 til 8 m dybde er dermed fjernet og friskt og vesentlig tettere og mer kompetent fjell gjenstår nå som "dagfjell". Grunnvannsstanden er redusert fra kote 15 og 20 til 1 til 0,5 m og det nye terrenget, havneplanet, ligger på kote 2,2 ved fjellhallene. I tillegg blir en god del av nedbøren samlet opp i drenerør og ledes direkte til sjøen. Det planlegges slik at en 10 til 30 % nedbør vil fortsette å infiltrere ned i grunnen som et ledd i å opprettholde en grunnvannstand og et vanntrykk på minimum 0 til 0,50 m. Dette har medført at grunnvannsspredningen av hydrokarboner fra fjellhallene har blitt redusert betydelig.

Fylles fjellhallene med borekaks/boremud, vil forurenset vann som befinner seg i hallene bli fjernet og forurensningsspredning med grunnvann til Risavika bli ytterligere redusert. Utlekking av hydrokarboner fra borekaks/boremud er beskjedent.

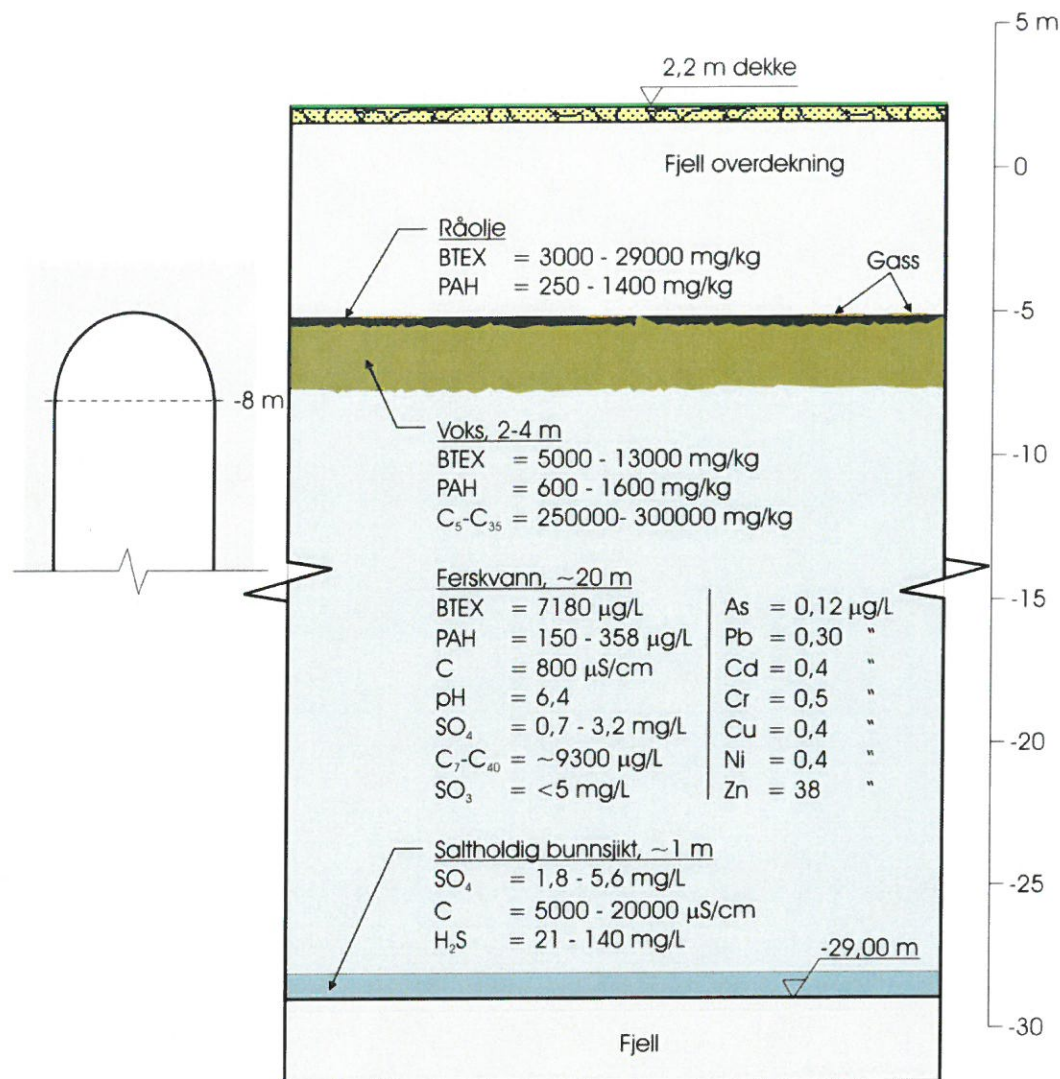
Boreslam/borekaks er et tett materiale og består av hovedsakelig silt/leire partikler og en forventet permeabilitetskoeffisient kan være mellom 10^{-8} til 10^{-10} m/s. Mulig transport gjennom slammet vil være minimal da det ikke vil være noen gradient (trykkforskjell) tilstede og permeabiliteten er som nevnt som en tett leire.

Det er etablert overvåkingsbrønner mellom resipient og fjellhallene for å kunne kontrollere mulig spredning. Det gjelder så vel sjøvann inn mot fjellhallene og forurenset vann fra fjellhallene ut til resipient.

9.5 Geokjemisk vurdering av fjellhallene

Selve geologien av selve fjellhallene som består i hovedsak av granittisk gneis, bidrar ikke miljøkjemisk til noen form til forurensning eller reaksjoner av betydning i fjellhallene.

I fjellhallene er det fra toppen i hengt sporadisk med den råoljen som ikke nådde frem til pumpesjakten under den siste tømmingen. Under ligger et 1 til 3 m vokslag som flyter på ferskvannet, og pga et lite overtrykk presses voksen og råoljen opp mot fjellet i hengt. Ferskvannet er i likevekt med hydrokarboner som er oppløselig i vann. Figur 12 viser konsentrasjonene på de viktigste parametrene i fjellhallene. Målingene har foregått midt nede i fjellhallene i perioden 2004 til 2008. Det er først og fremst BTEX som opptrer i de høyeste konsentrasjonene. Innholdet av tungmetaller er lavt med unntak av sink. Bunnslaget i vannmassene i fjellhallen på 0,5 til 1 m (over bunnen) inneholder mer saltholdig vann. pH varierer mellom 6,5 til 7,0, ledningsevnen er forholdsvis stabil rundt 1100 uS/cm og temperaturen er 11 grader C.



Figur 13 Fjellhallenes innhold av hydrokarboner og tungmetaller

9.6 Miljøpåvirkning i fjellhallene med deponering av boreslam/borekaks

Det foreligger en del dokumentasjon på kjemiske forholdene rundt borekaks og oppløselighet i vann i faglitteraturen, samt som informasjon fra de som leverer og avhender brukt borekaks fra Nordsjøen. (Halliburton -2009, Oljedirektoratet 2008 og Akvaplan NIVA 2003).

Basisgrunnlaget for borekaks er at det er et materiale som er kjemisk sammensatt med sikte på å være mest mulig bestandig både fysisk og kjemisk ovenfor forhold som trykk, temperatur og i kontakt med fjell, olje gass og vann. Boreslam/borekaks er beskrevet i mer detalj i kap. 7.

Utlekkingstester på boreslam/borekaks viser at det generelt lekker ut beskjedne mengder av salter, kalk, tungmetaller og oljekomponenter. Av tungmetaller er det

generelt først og fremst kadmium som lekker ut da barytten inneholder en del tungmetaller. Dette er ikke tilfelle for barytten som blir brukt i Norge (Oljedirektoratet 2008, Halliburton 2009, Clements-2007). Hydrokarbonene i borekaksen forventes ikke å lekker ut da hydrokarbonene i vannet er allerede i likevekt med oljen og voksen, se figur 11.

Man forventer at det kan ta 1 til 2 år å fylle en fjellhall og da har borekaket erstattet vannvolumet. Dette medfører at det er forholdsvis kort kontakttid mellom borekaket og vannet.

Da dokumentasjonen på utlekking av borekaks/boreslam ansees som tilstrekkelig, er det ikke utført utlekkingsstester av spesifikk borekaksen. Borekaksens innhold vil variere noe og kontinuerlig overvåking av vannet som blir fortrent vil avgjøre om man skal foreta noen rensing ut over aktivt kull filterbehandling.

Det som det imidlertid ikke har vært testet var om deponering av borekaks i fjellhallene vil kunne stimulere mikrobiell aktivitet som fører til produksjon av metan og H₂S. Dette er ikke ønskelig da det allerede er aktive sulfat reduserende bakterier som produserer gass. For å avklare dette ble det satt i gang forsøk for å utrede om dette er mulig.

9.7 Mikrobiologisk undersøkelse av borekaks

Dette arbeidet er utført av Dr. Terje Torsvik ved Unifob petroleum, UIB som har studert og har vært involvert i gassforholdene i fjellhallene siden 2003.

Fjellhallene er nå fylt med ferskvann og inneholder et lag med voks (både lav- og høymolekylære hydrokarboner) og et bunnsjikt med tyngre saltvann. Bunnsjiktet inneholder noe sulfat. Vannet er antatt å være oksygenfritt.

Borekaks inneholder fast stoff som er oppmalte reservoarbergarter samt rester av boreslam. Boreslammet antas å være oljebasert, men inneholder en del vann som er emulgert i oljen. I boreslammet benyttes salter (hovedsakelig Ca- og Na-klorid) for bl.a. å øke egenvekten på slammet. Som en følge av dette er vannfasen salt, og kan inneholde 15-30 % salter (nær mettet saltlake). Gassproduksjon som skyldes mikrobiell aktivitet vil i første rekke dreie seg om metan og H₂S. H₂S produksjon skyldes sulfatreduserende bakterier (SRB) som vokser på hydrokarboner og som bruker sulfat i respirasjonsprosessen. Sulfat reduseres da til H₂S mens hydrokarboner brytes ned til CO₂. I fravær av sulfat kan hydrokarboner omsettes til metan av et konsortium av bakterier der metanogene mikroorganismer spiller en nøkkelrolle. Sulfatreduksjon gir høyere energiutbytte enn metanproduksjon, og metan vil derfor først produseres når all sulfat er brukt opp. Den primære prosessen i fjellhallene vil derfor mest sannsynlig være produksjon av H₂S.

9.7.1 Mikrobiologiske problemstillinger

Bakterieaktivitet vil finne sted i en vannfase på grenseflaten mellom olje og vann. Aktiviteten vil være påvirket av saltinnholdet i vannet. Ved høy saltholdighet reduseres aktiviteten betydelig. Dette vil gjelde både for SRB og metanogene mikroorganismer. I denne sammenheng er det derfor en fordel at boreslammet inneholder mye salt. Det vil være viktig å ha kontroll med saltinnholdet i vannfraksjonen i det deponerte materialet.

H₂S produksjon.

Løst sulfat i vannfasen vil være tilgjengelig for SRB og kan omsettes til H₂S. Det er derfor ønskelig å måle mengden løst sulfat i vannet. Sulfat antas å være tilstede i boreslammet i lave konsentrasjoner. Den totale mengden sulfat vil bestemme potensialet for H₂S produksjonen. Sulfatinnholdet i vannfasen bør derfor bestemmes. Sulfat fra bunnsjiktet som allerede finnes i fjellhallene vil fortrenkes under deponering av kaksen, men vil være tilgjengelig for SRB på overflaten av det deponerte materialet. I deponeringsfasen må en derfor regne med en viss H₂S produksjon. Denne bør overvåkes i vannfasen i hallene og i det fortrenkte vannet. H₂S produksjonen fra kaks kan måles i laboratorietester.

Utfelling av metallsulfider.

Jern og tungmetaller i borekaksen vil reagere med H₂S og felles ut som metallsulfider. Viktigst er jern som vanligvis finnes i største mengder. I første rekke dannes FeS. Over tid omdannes FeS til FeS₂ (pyritt) noe som er en relativt langsom prosess. Fritt jern vil virke som en sulfidbuffer. Mye av jernet er imidlertid bundet opp i mineraler i kaksen og vil liten grad være tilgjengelig for å reagere med H₂S. H₂S løses også i olje. Det vil derfor være gunstig å bestemme kaksens totale sulfidbindingsevne. Sammenholdt med målinger av sulfidproduksjon og målinger av sulfatinnholdet i kaksen vil en da kunne bestemme den totale H₂S produksjon fra kaksen.

Metanproduksjon.

Når en fjellhall er helt fylt opp med kaks vil praktisk talt all mikrobiell aktivitet finne sted på overflaten. Ettersom hallen da fylles opp med (anaerobt) ferskvann, uten sulfat, vil den mikrobielle aktiviteten domineres av metanogene bakterier. I tillegg til metanproduksjon fra overflaten til det deponerte materialet vil en kunne få en viss produksjon fra vokslaget, slik en allerede har i dag. Ettersom den totale vann/olje overflaten dobles, må en også regne med en fordobling av metanproduksjonen.

Utførte forsøk

Vedlegg C beskriver de utførte undersøkelsene. Forsøkene har omfattet å måle metan og H₂S fra borekaks, bestemme bindingskapasitet og måle forskjellige parametere.

9.7.2 Konklusjon etter de mikrobiologiske forsøkene

Resultatene av forsøkene er beskrevet i Vedlegg C.

Det er ikke påvist metanogene mikroorganismer i kaksen, og har ingen metanproduksjon i kulturer med kaks og ferskvann. Dette gjelder også i flasker der vi har tilsatt metanogene arker, i form av en aktiv kultur fra Oseberg, en prøve med produsert vann.

På dette grunnlaget konkluderes det med at boreslam/borekaks vil oppføre seg biologisk stabilt i fjellhallene.

10 Vurdere virkningen av forurensningsspredning på økosystemet nå og i fremtiden

Spredning på økosystemet nå forutsettes å mene under driften av å deponere borekaks/boreslam i fjellhallene og fremtiden er etter at deponiene i fjellhallene er fylt opp og avsluttet. Det er tre forhold som inngår i denne vurderingen:

- Ukontrollert forurensningsspredning fra den forurensningen som var til stede før deponeringen, dvs. råolje, voks, forurenset vann og gass
- Forurensningsspredning fra det fortrenget vannet i fjellhallene under deponidriften
- Forurensningsspredning fra boreslam/borekaks

10.1 Forurensningsspredning under deponidriften

Forurensningsspredning til resipient fra den forurensningen som var til stede før deponering er det kun råolje som har en teoretisk mulighet til nå ut av fjellhallene (ref. kap.51, 5,2 og 8,4) men ikke til resipient pga av avskjærende grøft med oljeutskiller. Det har aldri vært noen direkte spredning fra voksen som har en fasthet lik smør. Voksen har imidlertid bidratt med hydrokarbonene som har blitt oppløst i vannet til det er likevekt mellom voksen og vannet. Utlekking av forurenset vann fra fjellhallen til Vågen ble ikke observert mens veggen var åpen og denne spredningsmuligheten er derfor antatt å være ubetydelig. Det ble heller aldri detektert spredning av hydrokarboner i nordvestlig retning, selv med full grunnvannsgradient, ref. kap. 4.6.

Spredning av diffus gass, metan og hydrogensulfid, foregår fortsatt men har avtatt kontinuerlig siden fjellhallene ble lukket og fylt med vann i år 2004. Hydrogensulfid (H₂S) har avtatt mest etter som mengden av sulfat SO₄ er betraktelig redusert. Forsøk på å måle gassene har for det meste gitt ikke målbare verdier.

10.1.1 *Utslipp til resipient, Risavika*

Det forurensede vannet som pumpes opp for å gi plass til borekaks inneholder ca 10 til 15 mg/l hydrokarbonkonsentrasjoner, se figur 11. Det er planlagt å rense dette vannet med aktivt kull i henhold til tillatt utslippkonsentrasjoner, før det slippes ut i Risavika. Dette anlegget er allerede prosjektert og bestilt fra leverandør, se figur 12, da det inngår i Risavika Havn's ansvar å drifte fjellhallene da man av og til må avlaste (som krever rensing) eller tilføre vann for å opprettholde det rette vanntrykket i fjellhallen.

Med en deponikapasitet på ca 25.000 m³ boreslam/borekaks, tilsvarer dette et utslipp på 25.000 m³ vann. Vannet i fjellhallene inneholder ca 10 til 15 mg/l hydrokarboner, se figur 13. Hydrokarboner som BTEX, PAH og tyngre alifater er tilstede. Det deponerte boreslammet/borekaks forventes ikke å avgi ny forurensning av betydning til det allerede forurensede vannet i fjellhallene. Dette tilsvarer i snitt 312,5 kg hydrokarboner per år (ca. 2 barrels) eller 0,86 kg/dag.

Under risikovurderingen for Shell (NGI-2002) ble det utført et fortynningsstudie med modellering (NIVA-2001) som viste at fortynningen utenfor fjellhallene er i størrelsesorden 100 og 1000 ganger henholdsvis 1 og 10 m fra land. Det ble samtidig utført undersøkelser (NIVA-2002) av gruntvannssamfunnet utenfor fjellhallene som viste at sammfunnet var artsfattig med lav artsforekomst. Andre men nære områder viste forholdsvis god tilstand.

En sedimentundersøkelse i Risavika i 2000 for Shell (Berger-2000) viste at BTEX forbindelsene var under deteksjonsgrensen i alle prøver og PAH viste moderat forurensning. Dette tyder på at de BTEX-utslippene som har vært ved raffineriet i løpet av de 35 årene det var i drift, med utslippstillatelse på inntil 15 kg/døgn, ikke har gitt noen merkbar akkumulasjon av disse forbindelsene i sedimentene i resipienten. Dette stemmer godt med at oppløste BTEX forbindelser i sjøvann forventes å forsvinne forholdsvis hurtig på grunn av mikrobiologisk nedbrytning og i tillegg ved fotolyse og fordampning til luft (Howard-1991). Den planlagte rensingen av det oppumpede vannet er først og fremst for å fjerne PAH forbindelsene som er mest hydrofobe og skadelige og er særlig godt egnet for aktiv kullrensing.

Disse forholdene må tas i betraktning når man skal bestemme krav til utslipp.

10.2 Forurensningsspredning etter deponiavslutning

Man forventer at metanproduksjonen vil kunne fortsett og vil spres diffust i beskjedne mengder gjennom sprekker i fjelloverdekkingen og overflatedekke (belegningsstein) til luft.

Meget lite med vann forventes å være til stede i fjellhallen. Man venter ikke å kunne fortrenge alle hulrom med vann ben det blir mest sannsynlig innelukket.

Spredning av forurenset vann ut fra fjellhallene forventes nå å ikke være mulig. Det vannet som forblir må kunne prøvetas for å kontrollere om det skjer noe kjemisk eller biologisk med vannet over tid.

Risavika Havn vil fortsette overvåkingen og driftingen av vanntrykket i fjellhallene slik at sjøvannet.

11 Miljøovervåking under drift av havnen og deponiet

Alle overvåkingspunkter for Risavika Havn er vist på kartet i vedlegg A og de er godt i gang med overvåkingsinstallasjonene. Alle de fire fjellhallene er utstyrt med beskyttet brønn ned til midten av fjellhallen hvor vannprøver kan prøvetas og vannstanden måles. Analysene skal omfatte SO_4 og O_2 samt C og pH. Brønnene er også utstyrt for å kunne måle gasstrykk og ta gassprøver.

Overvåkingsbrønnene, se kart i vedlegg A, rundt fjellhallene skal overvåke eventuell saltvannsinntrengning fra sjøen og eventuelt spredning av olje eller forurenset vann fra fjellhallene og ut mot sjøen. Brønnene mellom fjellhallen mot vest og Vågen er de viktigste da det her er kortest avstand til resipient (15 m). Overvåkingsbrønnene prøvetas for analyse av hydrokarboner og sulfat i tillegg til ledningsevne og salinitet.

Den første runden som skal tas fra brønnene inne i fjellhallene (B3, B4, B5 og B6), skal inkludere full analyse av alle tungmetaller, alle hydrokarbon forbindelsene, T, pH, H_2S , O_2 og SO_4 . Overvåkingskummene i drenasjegrøften for mulig fri fase olje skal inspiseres rutinemessig.

I tillegg må det aktive kullet analyseres for hydrokarboner når det nærmer seg utskifting. Deponeringen vil i tillegg kreve oftere prøvetaking og en mer omfattende overvåking av vannet i fjellhallene for å kunne kontrollere om borekaksset påvirker forurensningen i vannet. Analysene vil omfatte analyser for både hydrokarboner, tungmetaller, salter samt pH og C. Det er også viktig å kontrollere det rensede vannet før utslipp til Risavika.

Hver ny last med borekaks skal analyseres for kjemisk klassifisering, som vist i kapittel 7.2. I tillegg skal prøve lagres.

12 Avslutningsplan og etterdriftsplan med finansiell garanti for deponiet

Avslutning av dette deponiet blir noe spesielt da det har hatt sin permanente tillukking (lukket fjellhall) fra starten av deponeringen. Brønnen for innpumping av boreslam vil bli lukket og forseglet. Brønnen for utpumping av vann vil

sannsynligvis bli bygget om slik at man fortsatt kan overvåke vanntrykket over fjellhallene.

Når deponeringen er avsluttet og nødvendige avstengningstiltak utført, se kap. 10.2, vil Risavika Havn fortsette å drifte fjellhallene. Dette vil omfatte kontroll av vanntrykk, overvåking av gassituasjonen og kontroll og prøvetaking av vann i eller over fjellhallen.

Avhengig av hvilken form SFT vil kreve av finansiell garanti bør det vel sees i sammenheng med Risavika Havn's fortsatte overvåking og ansvar for drifting og vedlikehold av fjellhallene (underforstått deponiet).

13 Langsiktig vurdering – "worst case" scenarier

13.1 Ukontrollert lekkasje av olje og gass

Det er en teoretisk mulighet, som tidligere nevnt i rapporten, at olje kan presses ut via sprekker i fjelloverdekning. Oljen kan da komme opp på overflaten eller lekke ut i fjellvegg. Da det er små mengder råolje tilgjengelig kan dette i verste fall kunne dreie seg om maksimalt 2 til 4 m³ råolje. Dette kan ikke skje dersom trykket i fjellhallene kontrolleres som planlagt. Eneste mulighet for at dette kan skje, er dersom utstyret som overvåker vannstanden i fjellhallene svikter. Det vil lages en beredskapsplan for dette der de nødvendige HMS -tiltakene blir beskrevet i detalj. Under anleggsdriften har det foreligget en lignende beredskapsplan.

14 Supplerende undersøkelser

Langtidslagring av boreslam/borekaks i en lukket fjellhall forventes å være en trygg og sikker deponeringsmetode. Boreslam/borekaket vil fortrenge det forurensede vannet og fylle opp alle vannfylte hulrom og sprekker. Som nevnt tidligere er det liten sannsynlighet for noen forurensningstransport og utlekking under slike forhold hvor slammet er tett som en leire og nærmest ingen gradient til stede.

Dersom det skulle være ønskelig å se på mulige kjemiske langtidseffekter kan dette simuleres i laboratoriet.

15 Konklusjon

Fjellhallene, som allerede er en lukket og tett lagerplass for farlig avfall, er et samfunnsmessig og miljømessig fornuftig sted å lagre annet farlig avfall som oljeholdig boreslam/borekaks. Det forutsetter i henhold til avfallsforskriften at det ikke forgår ukontrollerte reaksjoner og blandinger. Boreslam/borekaks er i så henseende det ideelle avfallet som er nærmest fysisk, kjemisk og biologisk stabilt materiale som ikke vil reagere med det oljeholdige miljøet i fjellhallene.

Muligheten for utlekking av salter fra avfallet kan skje, noe som vil være positivt da det bidrar til å hemme de sulfatreduserende bakteriene's produksjon av gass.

Basert på vurderinger av avfallet både på kort og lang sikt samt de rådende geologiske og hydrogeologiske forhold, ansees deponering av borekaks/boreslam i fjellhallene på Sola å være en fullt ut akseptabel løsning som tilfredsstillende avfallsforskriftens krav også med hensyn til underjordisk deponering av farlig avfall.

16 Referanser

NGI 2002. A/S Norske Shell, Shell Refinery, Sola, RB ESA I & II Crude Oil Caverns. Risk Assessment and risk - based corrective action. NGI rapport 20001424-4, datert 05.04.2002.

NGI 2002b, A/S Norske Shell. Raffineriets avviklingsprosjekt, Sola. Søknad om tillatelse til utslipp fra fjellhallene etter stengning og forsegling. NGI rapport 200011424.5, datert 03.05.2002.

NGI 2003, Råoljefjellhallene på Sola. Tiltaksprogram for avstengning og overvåking. NGI rapport 20031001-TN, datert 09.04.2003.

NGI 2004. Råoljefjellhallene på Sola. Sluttrapport for avstengningsarbeider og kontrollmålinger. NGI rapport 20031001-1, datert 12.05.2004.

NGI 2005. Råoljefjellhallene på Sola. Sluttrapport etter tiltak og overvåking", NGI rapport 20051210-1, datert 26.09.2005.

NGI 2005b. Risavika Eiendom. "Fjellhallene på Sola. Planlegging og utbygging av nytt industriområde: Vurdering av ingeniørgeologiske og miljømessige forhold". NGI rapport 20041191-2, datert 17.03.2005.

NGI 2006. Risavika Havn, Sola. Nedsprengning ved fjellhallene. Miljørisiko og ingeniørgeologisk vurdering, sikkerhetsanalyse og beredskapsplan. NGI rapport 20051208-1, datert 17.10.2006.

Multiconsult 2006. Risavika Havn, Sprengning over fjellhaller. Sprengningsteknisk spesifikasjon. Teknisk notat, ref. 212584/ør, datert 11.09.2006.

Clements 2007, Clements K. et al. Development of Standardized Test to Determine Leachability of Mineral and Chemical Components in Drill Cuttings. 14th International Petroleum Environmental Conference Houston, Texas, November 6-9, 2007.

Oljedirektoratet 2008. Oljedirektoratet, Statens Strålevern og SFT. Kostnader og nytte for miljø og samfunn ved å stille krav om injeksjon/reinjeksjon av produsert vann, nullutslipp av borekaks og borevæske og inkludere radioaktivitet i nullutslippsmålet. TA-2468/2008-ISBN 978-82-7655-555-4.

Akvaplan NIVA 2003. Muligheter for og konsekvenser ved deponering av borekaks på land og konsekvenser ved reinjisering. ULB studie nr.6.

Haliburton 2009. Notat om Borekaks/boreslam fra Nordsjøen.

SFT 2003. Tillatelse til utslipp fra fjellhaller tidligere benyttet til råoljelager for A/S Norske Shell. SFT ref. 02/553, datert 12.02.2003.

NIVA - 2001. Vurdering av BTEX-forurenset grunnvann fra fjellhallene til Risavika, Sola, Notat til NGI datert 20.12.2001.

NIVA – 2002. Undersøkelse av gruntvannssamfunn utenfor fjellhaller i Risavika, Sola. Notat til NGI, datert 14.03.2002.

Howard-1991. Howard, P.H., R.S.Boethling, R.S. Jarvis, W.Meyland. Handbook of Environmental Degradation Rates. Lewis Publishers Inc.

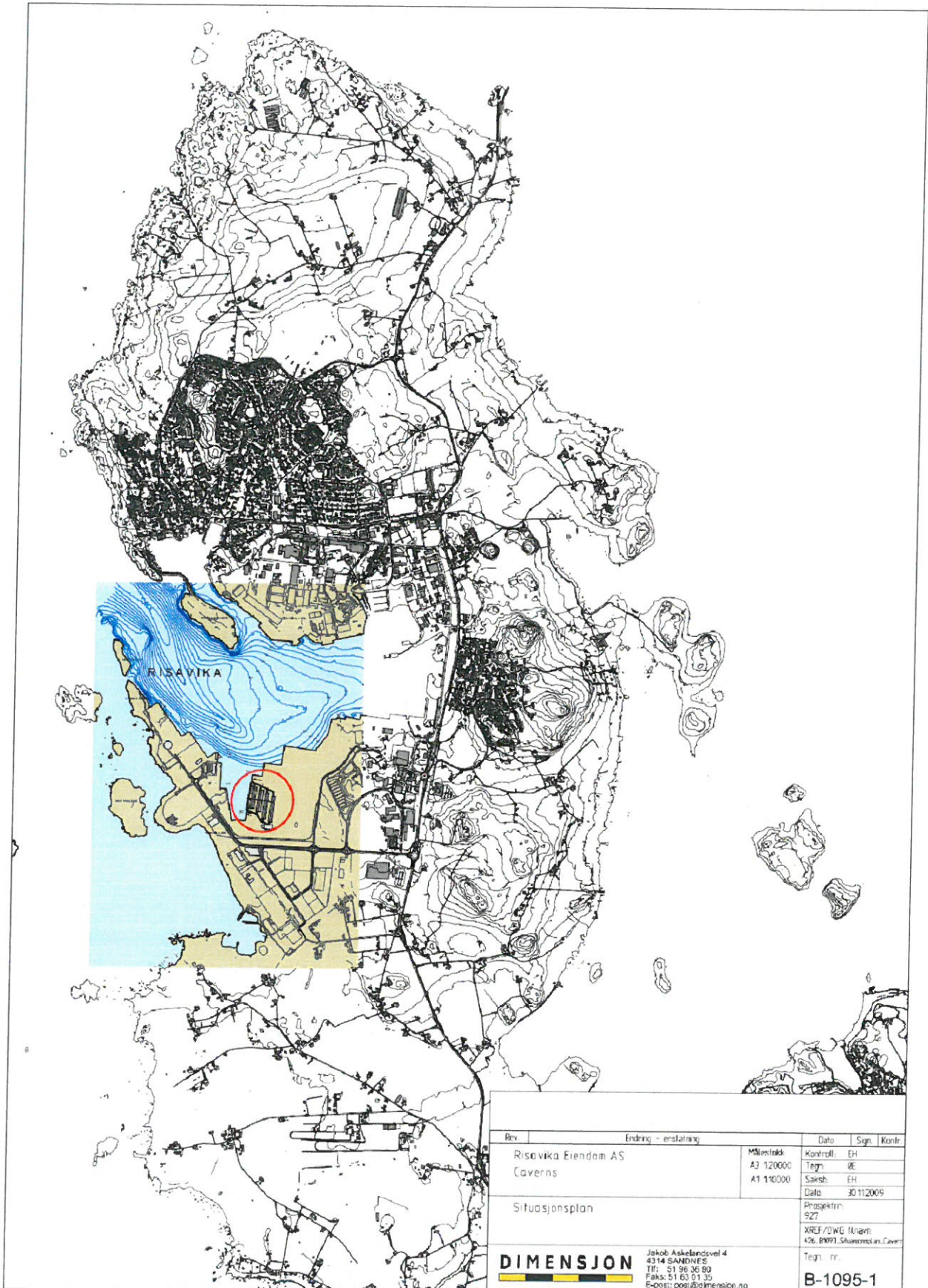
Miljøverndepartementet (2002)

FOR 2002-03-21 nr 375: Forskrift om deponering av avfall (Avfallsforskriften)



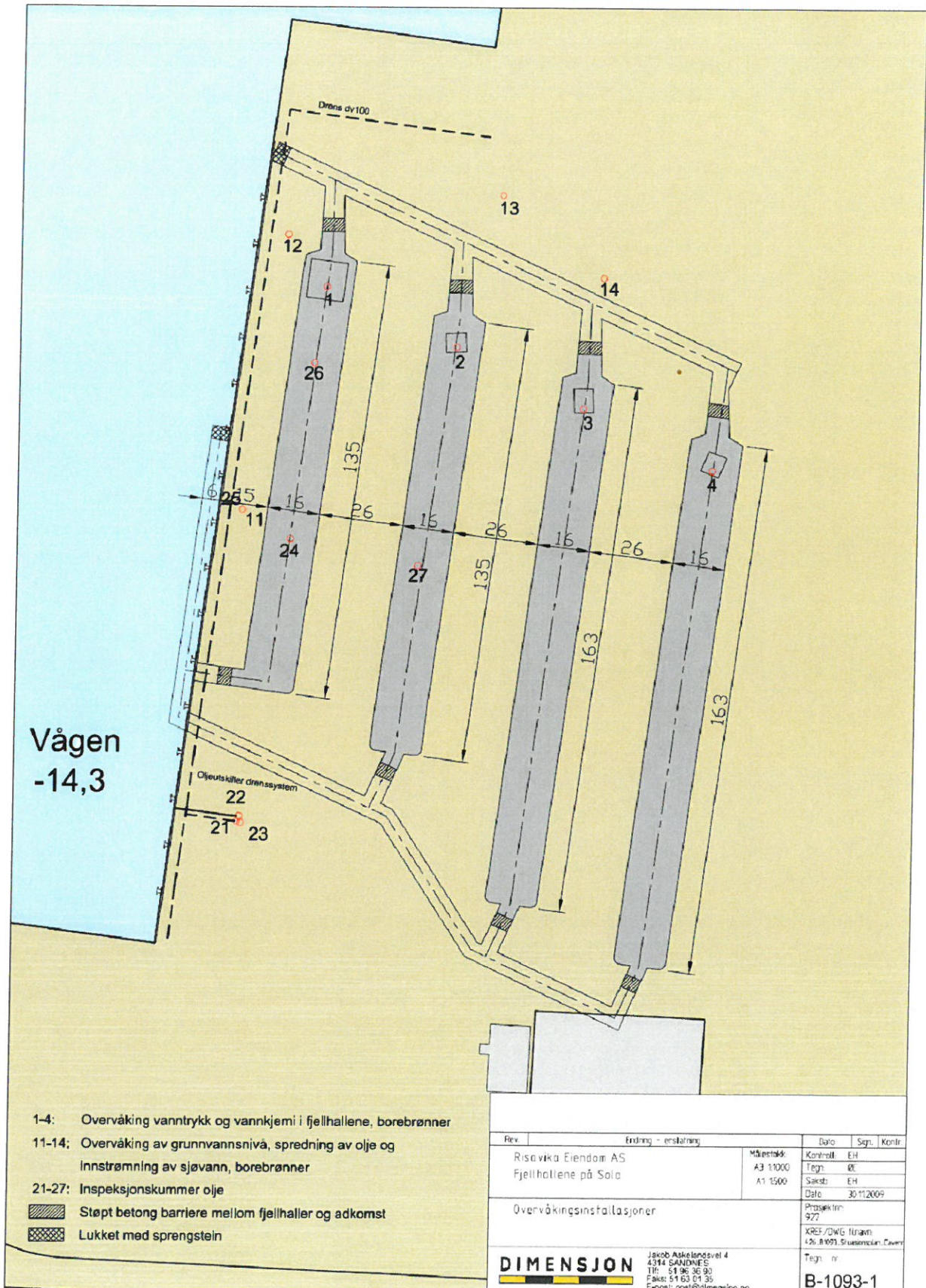
Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dato: 2009-12-10
Side: 1
Vedlegg: A

Vedlegg A - Karter over Risavika



Rev.	Endring - endring	Dato	Sign.	Kontroll
	Risavika Eiendom AS Caverns	Målestokk: A3 120000 A1 110000	Kontroll: EH	
	Situasjonsplan		Tegn: ØE	
			Saksb: EH	
			Dato: 30.11.2009	
			Prosjekt nr: 927	
			XREF/DWG Miniam: 476.80001_Situasjonsplan_Caverns	
			Tegn. nr.:	
			B-1095-1	

DIMENSJON
 Jakob Askelandsvel 4
 4314 SANDNES
 Tlf: 51 96 96 89
 Faks: 51 63 01 35
 E-post: post@dimensjon.no





Dokumentnr.: 20081857-00-3-R
Dato: 2009-12-10
Side: 1
Vedlegg: B

Vedlegg B - Fjellveggen i Vågen mot fjellhallene

PCL XL error
Error: IllegalOperatorSequence
Operator: ReadImage
Position: 34960

Møtereferat

Møte angående fremtidig bruk av fjellhaller Risavika

Oppdragsgiver: Risavika Eiendom AS,
T. Stangeland Maskin AS

Referatdato: 1.6.2010

Oppdrag: Prosjektledelse Caverner

Oppdragsnr: 1262

Tilstede:

Harald Sørby	Klima- og forurensningsdirektoratet
Bente Rikheim	Klima- og forurensningsdirektoratet
Lars Haug Andersen	Klima- og forurensningsdirektoratet
May Britt Jensen	Fylkesmannen i Rogaland, Miljøvern avdelingen.
Ståle Undheim	Sola Kommune
Tom Brueland	Sola Kommune
Tore Voster	T. Stangeland Maskin AS
Jan Erik Sørli	Norges Geotekniske Institutt
Njål Erland	Dimensjon Rådgivning AS
Edvard Hagman	Dimensjon Prosjektledelse AS

Kopi til:

Per Åge Hauge	Risavika Eiendom AS
John Lunde	Risavika Havn AS

Møtested og tid: Dimensjon Prosjektledelse AS sine lokaler, 4 etasje utenriksterminalen
Risavika. Kl 10:00 – 12:00.

1. FORMÅL MED MØTE OG BEFARING

Møtet ble initiert av Klima og forurensningsdirektoratet som ønsket en befaring for å se på lokalitet og å høre mer om foreslått bruk av de gamle fjellhallene på Risavika Havn sitt område.

2. GJENNOMGANG AV OVERVÅKINGSSYSTEM FOR FJELLHALLENE

Fjellhallene i Risavika er i dag stengt og forseglet og inneholder forurenset vann, voks og litt olje med gasslommer på toppen. Det er totalt 4 stk fjellhaller som ligger parallelt med kailinjen, den nærmeste 15 meter fra kaikanten. De to innerste fjellhallene er 165 meter lange, 16 meter brede og 25 meter dype. De to ytterste ut mot kailinjen er 135 meter lange, 16 meter brede og 25 meter dype. Overdekningen fra topp heng i hallene til topp terreng på havna er ca 7 meter. Fjellhallene er beregnet til å tåle minimum 100 kN/m² flatelast og 750 kN/m² punktlast. Grunnen til at hallene kan tåle så mye med så lite overdekning er naturlige spenninger i fjellet. I tillegg til naturlig styrke i

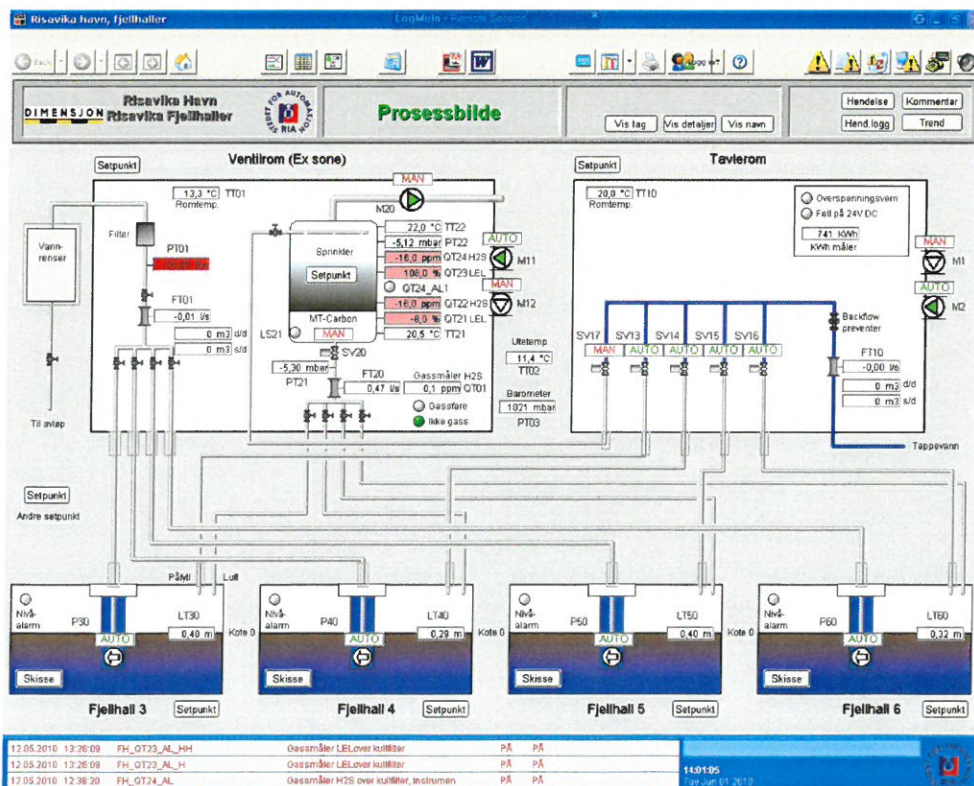
fjellet, er fjellhallene sikret med bolter slik at en ikke risikerer nedfall av store steinblokker som svekker overhengen.

Det er designet et overvåkingsanlegg for disse fjellhallene for å monitorere og styre totaltrykket i hallene, målt som vannstand i rør med kontakt ned til væskefasen i fjellhallene. Grunnen til at trykket må styres er at fjellhallene påvirkes av flere faktorer. Disse faktorene er:

- **Barometrisk trykk.** Barometrisk trykk påvirker trykket i fjellhallene. Ekstreme lavtrykk gir høyere trykk i fjellhallene med fare for at oljerester kan presses opp i fjellsprekker og inspeksjonskummer. Ved lavt barometrisk trykk styres trykket ved at det pumpes ut vann fra fjellhallene. Ved høyt barometrisk trykk styres nivået ved at det kan slippes ferskvann inn i fjellhallene.
- **Grunnvannsnivå i området.** Grunnvannsnivået påvirker fjellhallene ved at dersom dette er høyt infiltrerer grunnvann mot fjellhallene, og dette resulterer i høyt trykk. Dette motvirkes nå med å pumpe ut vann fra hallene, eller tappe inn vann ved lavt grunnvannsnivå.
- **Gassproduksjon i fjellhallene.** I fjellhallene produseres det både H₂S (hydrogensulfid) gass og CH₄ (metan) gass. Dersom gassen ikke får slippe ut jevnlig vil dette føre til større trykk i fjellhallene og dermed høyere vannivå. For å motvirke dette slippes nå produsert gass ut kontinuerlig via et kullfilter med en rate på ca 0,5 l/s totalt for de 4 fjellhallene.

Fjellhallene styres mot et konstant overtrykk/vannivå i fjellhallene i forhold til sjøen. Vannivået i fjellhallene skal i snitt være noe høyere enn i sjøen slik at sjøvann ikke trenger inn i fjellhallene. Sjøvann inneholder SO₄, sulfat som er mat for bakterier som produserer H₂S gass. Dette er en giftig gass som er lite ønskelig i store mengder. Dette er selve hovedpoenget med hele anlegget. I tillegg til dette er det viktig å slippe ut gassen hele tiden slik vi unngår stor opphoping av gass.

Overvåkingsystemet som er laget er svært avansert og kan styres fjernt fra hele verden via internett. Det inneholder alarmer og rapporteringsutstyr som gjør det svært fleksibelt. Systemet lagrer data i lang tid. Dette systemet vil kunne brukes direkte mot en eventuell bruk av fjellhallene som lager for borekaks.



3 REGULERING OG KRAV TIL KU

Kravet fremsatt av Sola kommune om ny regulering av fjellhallene som deponi ble diskutert i møtet. Sola kommune ved Ståle Undheim fastholder at det kreves ny regulering for fjellhallene dersom de skal brukes som deponi for borekaks, eller oljeholdig avfall.

Sola kommune har i skriftlig tilbakemelding til Dimensjon Prosjektledelse AS sagt at de ønsker å sjekke med politikerne i utvalg for plansaker om de ønsker en slik bruk av fjellhallene i Risavika.

Det ble understreket at det er svært viktig med rett, tidlig og åpen dialog med beboerne i Tananger området, jfr LNG saken. Det bør tidlig lages en strategi på informasjon til involverte parter.

Klima og forurensingsdirektoratet og Fylkesmannen i Rogaland er positive til tiltaket men understreker at prosessen må gå i henhold til kravene Sola kommune setter i dette tilfellet.

Klif. er positive til å oversende eksempel for KU og planprogram for tilsvarende saker, ved en henvendelse fra oss om det.

4 FAGLIG VURDERING AV FJELLHALLER SOM DEPONI

Det er laget en søknad til Klima og forurensingsdirektoratet om å utnytte fjellhallene som deponi for borekaks/boreslam med en stedsspesifikk risikovurdering, NGI rapport 20081857-00-3-R. rapporten er utarbeidet av Norges Geotekniske Institutt, ved Jan Erik Sørli, Dimensjon Prosjektledelse AS ved Edvard Hagman og Terje Torsvik, Universitetet i Bergen. Denne rapporten ble utarbeidet i forkant av at Sola kommune krever en ny reguleringsplan for å bruke fjellhallene som deponi.

Rapporten konkluderer med at fjellhallene egner seg svært godt til lagring av borekaks/boreslam.

- Oljeholdig avfall deponeres i allerede forurensede volum og vil derfor ikke båndlegge eller forurense nye områder.
- Boreslam/borekaks vil erstatte og fjerne det forurensede vannet i fjellhallene. På lang sikt er vesentlig tryggere med stabilt boreslam/borekaks i fjellhallene sammenlignet med det sterkt forurensede vannet.
- Tilgang på sulfat forvinner med det sterkt forurensede vannet slik at H₂S gassproduksjonen vil opphøre, eller bli sterkt redusert.
- Risavika havn sitt overvåkingsanlegg kan brukes direkte og uten endringer til drift av deponiet.
- Etterdrift og miljøovervåkingen vil være sammenfallende med driften av Risavika havn. Risavika havn overvåker og drifter fjellhallene kontinuerlig.
- Plasseringen av deponi er i området der det meste av borekaks/boreslam kommer i land fra Nordsjøen. Miljøet vil spares for tungtransport på veinettet fra vestlandet til Langøya på østlandet for deponering.

6 KONKLUSJON OG FREMDRIFT FOR VIDERE ARBEID

Risavika Eiendom AS og T. Stangeland Maskin AS tar sikte på å fremme en reguleringsplan for Sola kommune. Det tas forbehold om en vurdering av kostnader forbundet med dette og risiko for avslag på fremlagt reguleringsplan. Denne vurderingen vil gjøres i løpet av nærmeste fremtid.

Det tas sikte på følgende fremdrift for prosjektet:

- Beslutning om å gå videre med prosjektet: 15. Juni 2010
- Oppstartsmøte med Sola kommune: Innen 9.juli 2010.06.02.
- Ferdig godkjent reguleringsplan med KU: Innen 15.9.2011.
- Oppstart deponering borekaks/boreslam: Innen 1.1.2012.

Vennligst ta kontakt ved eventuelle kommentarer til referatet.

Prosjektleder/referent

Edvard Hagman

Dimensjon Prosjektledelse AS