Multiconsult

NOTAT

OPPDRAG	**Boliden Odda, Fjellhall 23 og 24**	DOKUMENTKODE	305 21 063 MUL 0004 / 10251822-01-RIGberg-NOT-004
EMNE	Utredning av ny Hg-hall	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	**Boliden Odda AS**	OPPDRAGSLEDER	Bård Steinsland
KONTAKTPERSON	Odd-Ivar Vik	SAKSBEHANDLER	Bård Steinsland/Sverre Kristian Hauge
KOPI		ANSVARLIG ENHET	10233013 Ingeniørgeologi Vest

SAMMENDRAG

Boliden ønsker å bygge en egen Hg-hall for støping av betongsarkofag for deponering av kvikksølvsulfid (HgS). Foreliggende notat gir en vurdering av ny Hg-hall og tilhørende betongsarkofag sett i et langtidsperspektiv.

Etter utbygging av GZO, er årlig produksjon av HgS anslått til å ligge mellom 500-700 tonn, noe som tilsvarer størrelsen på mellomlager gitt i Bolidens utslippstillatelse. En egen Hg-hall vil løse utfordringer med midlertidig lagerplass på Eitrheimsneset, samtidig som det medfører en sikrere og mer forutsigbar deponering av HgS da kontainerne kjøres direkte til fjellhall for plassering i sarkofag. Ved å etablere sarkofagen i flere lag, reduserer man også klimagassavtrykket pga. redusert forbruk av betong og armering.

Hg-hallen sikres fortløpende under driving med sprøytebetong og bolter for å ivareta stabilitet og arbeidssikkerhet i drive- og innfyllingsperioden. Nødvendig injeksjon utføres ved behov basert på sonderboring foran stuff for å begrense innlekkasjen i Hg-hallen og fjellhallsdeponiet sett under ett. Det fylles opp med geologisk bestandige masser i form av knuste masser mellom betongsarkofag og veggene i bergrom etter hvert som sarkofagen etableres i høyden. Når sarkofagen er ferdig støpt i alle fem nivåer, fylles også tomrommet mellom sarkofag og heng opp med steinmasser. Dette vil ivareta stabiliteten av bergrommets vegger og heng i et langtidsperspektiv, uavhengig av levetiden på installert bergsikring.

I et langtidsperspektiv vurderes bestandigheten til betongsarkofagen som god. Risikoen for innsig av surt og sulfatholdig lekkasjevann fra tilstøtende deponihall fylt med samresidue vurderes som liten, grunnet plassering av Hg-hall i vertikalplanet oppstrøms deponihaller med grunnvannsstrøm fra vest mot øst (dvs. fra Hg-hall mot deponihaller), samt god bergmassekvalitet med gunstig oppsprekking i området. Forholdene i Hg-hall vil være gunstige i form av jevn temperatur (ingen frost) og høy luftfuktighet. Naturlige lekkasjepunkter i berget vil medføre at sarkofagen i stor grad vil stå neddykket i permanent fase. Karbonatisering vil medføre nedbrytning av betongen over tid. Ved bruk av en betong med masseforhold 0,45 og 100 mm overdekning på armeringsjern, vil karbonatiseringsdybden etter 1000 år være ivaretatt i tørr og neddykket tilstand. Eventuelle lekkasjepunkter langs hallen vil kunne medføre dryppskader på betongskallet ved tomrom mellom betongsarkofag og heng. Dette elimineres ved å overfylle sarkofagen med knuste steinmasser når sarkofag er ferdigstilt. Anbefalte tiltak for sikre bestandigheten til betongsarkofagen i et langtidsperspektiv er gitt i kapittel 6.2.

00	08.11.2023	Klar til utsendelse	Bård Steinsland/Sverre Kristian Hauge	Frode S. Arnesen/ Sverre Kristian Hauge	Bård Steinsland
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Innholdsfortegnelse

1 Innledning 3
2 Bakgrunn for bygging av ny Hg-hall 3
2.1 Dagens praksis ved Boliden Odda As 3
2.2 Fremtidig behov for mellomlager etter utbygging av GZO 4
3 Planstatus 4
4 Plassering og utforming av Hg-hall og sarkofag 5
4.1 Hg-hall 5
4.2 Oppbygging av sarkofag 7
5 Vurdering av geologiske forhold ved Hg-hall 10
5.1 Tidligere geologiske og hydrogeologsiek undersøkelser og erfaringsmateriell 10
5.2 Bergart 10
5.3 Oppsprekkingsgrad og bergmassekvalitet 10
5.4 Ekstensometermålinger 15
5.5 Bergspenninger 15
5.6 Hydrogeologi og lekkasjeforhold 16
5.7 Sikringsomfang i Hg-hall 20
5.8 Stabilitetsvurdering av Hg-hall i et langtidsperspektiv 21
6 Bestandighetsvurdering av betongsarkofag 22
6.1 Vurdering av nedbrytningsmekanismer 22
6.2 Anbefalte tiltak for kvikksølvsarkofag i Hg-hall 23
7 Miljørisikovurdering av kvikksølvsarkofag i Hg-hall 24
8 Oppsummering 25
9 Referanser 26

1 Innledning

Boliden Odda vurderer å bygge en egen fjellhall for deponering av HgS. En ny Hg-hall skal godkjennes av Miljødirektoratet før den tas i bruk. En nærmere utredning av planlagt Hg-hall sett i et langtidsperspektiv er presentert i foreliggende notat.

Det henvises til notat 611113-03-RIGberg-NOT-016, datert 30.09.2022 for tidligere redegjørelse for bestandigheten til betong i kvikksølvsarkofag og tettematerialer i fjellhaller omfylt med surt og sulfatholdig samresidue [2][3].

2 Bakgrunn for bygging av ny Hg-hall

2.1 Dagens praksis ved Boliden Odda As

Kvikksølvavfallet ved Boliden Odda stammer enten fra røsteanlegg og svovelsyrefabrikk eller direktelutning av sinkkonsentrater. I fjellhallene har kvikksølvet blitt deponert som HgS i egne sarkofag eller sammen med samresiduet i fjellhallene. Kun mindre mengder vannløst kvikksølv deponeres med samresiduet i fjellhallene [2]. Deponeringsløsning av HgS fra røsteanlegg og svolvelfabrikk deponert i kvikksølvsarkofag er vurdert nærmere i foreliggende notat.

Årlig produksjon av HgS ligger i dag på rundt 170 tonn per år. Mellomlagring av kontainere med HgS skjer på inngjerdet område på Eitrheimsneset iht. gjeldene utslippstillatelse fra Miljødirektoratet. Det kan mellomlagres inntil 500 tonn kvikksølvresidue i inntil 5 år.

9.2 Håndtering av avfall

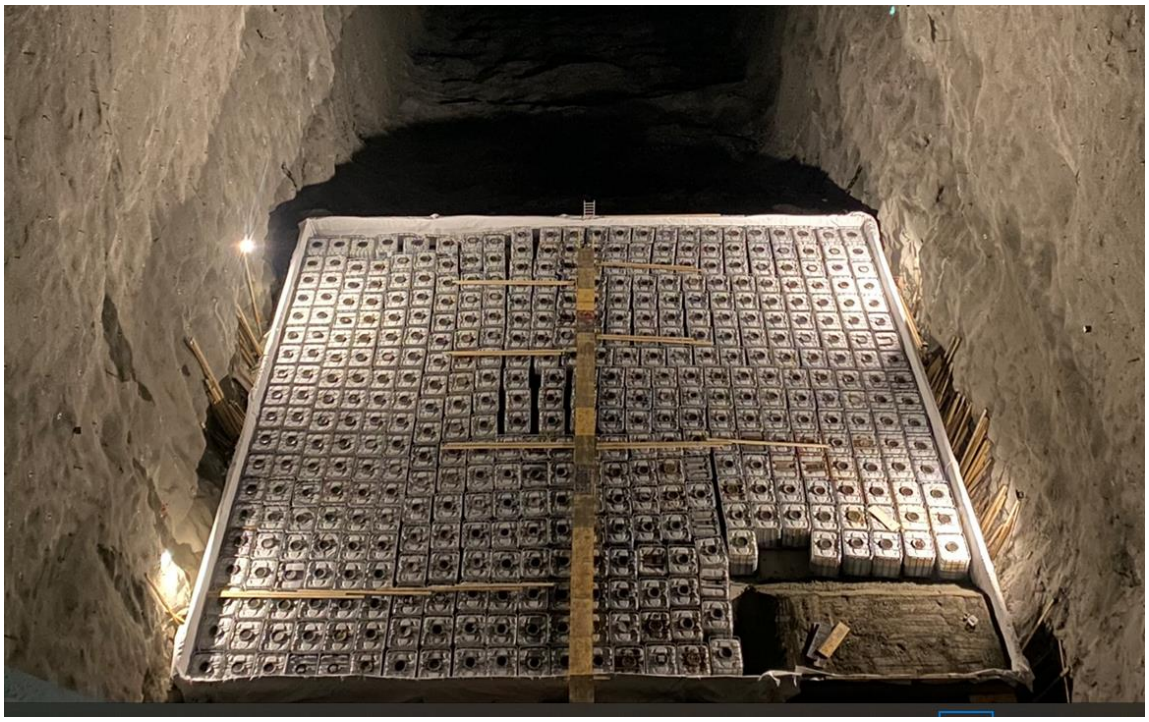
9.2.1 Generelle krav til håndtering

All håndtering av avfall skal foregå slik at det ikke medfører avrenning til grunn eller overflate-vann. Sjenerende støving skal unngås. Farlig avfall skal ikke lagres lenger enn 12 måneder. Unntak fra kravet om maksimalt 12 måneders lagring gjelder for:

Kvikksølvresidu:
- Avfallet skal oppbevares i lukket kontainer.
- Det kan mellomlagres inntil 500 tonn kvikksølvresidue.
- Avfallet kan mellomlagres i inntil 5 år.
- Det skal være et system for å merke den enkelte batch med dato for når det ble satt på lager.

Figur 1. Utdrag fra kapittel 9.2.1 i Bolidens utslippstillatelse [1].

Permanent deponering av kontainere med HgS i betongsarkofag skjer normalt ca. hvert fjerde år i forbindelse med bygging av nye fjellhaller for deponering av samresidue. I forbindelse med fjellhall 21 og 22, ble det deponert rundt 640 tonn HgS i betongsarkofag, noe som tilsvarer ca. 430 kontainere.



Figur 2. Betongsarkofag i fjellhall 21 under utførelse.

2.2 Fremtidig behov for mellomlager etter utbygging av GZO

Etter utbygging av GZO, er det forventet at årlig produksjon av HgS vil ligge mellom 500-700 tonn, dvs. ca. tilsvarende størrelse som mellomlager gitt i tillatelsen.

Nye fjellhaller for deponering av samresidue skal etter planen bli bygget ut for hvert fjerde år (to nye haller for hvert byggetrinn). Dette gir behov for større mellomlager enn dagens løsning på Eitrheimsneset. Større mellomlager på Eitrheimsneset er vanskelig å få til i praksis da det er begrenset med areal tilgjengelig. Større betongsarkofag vil også redusere tilgjengelig deponivolum i utsprengte fjellhaller som er tiltenkt samresidue.

Boliden ønsker derfor å bygge egen Hg-hall (-er) for håndtering av HgS. Man unngår da mellomlagring av kontainere på Eitrheimsneset. Kontainere med HgS kjøres da direkte til Hg-hall for deponering i betongsarkofag etablert i flere lag. Når en støpeseksjon er fylt opp, støpes kontainere inn, før neste støpeseksjon etableres.

3 Planstatus

Det foreligger en godkjent reguleringsplan for Bolidens fjellhallsdeponi ved Mulen:

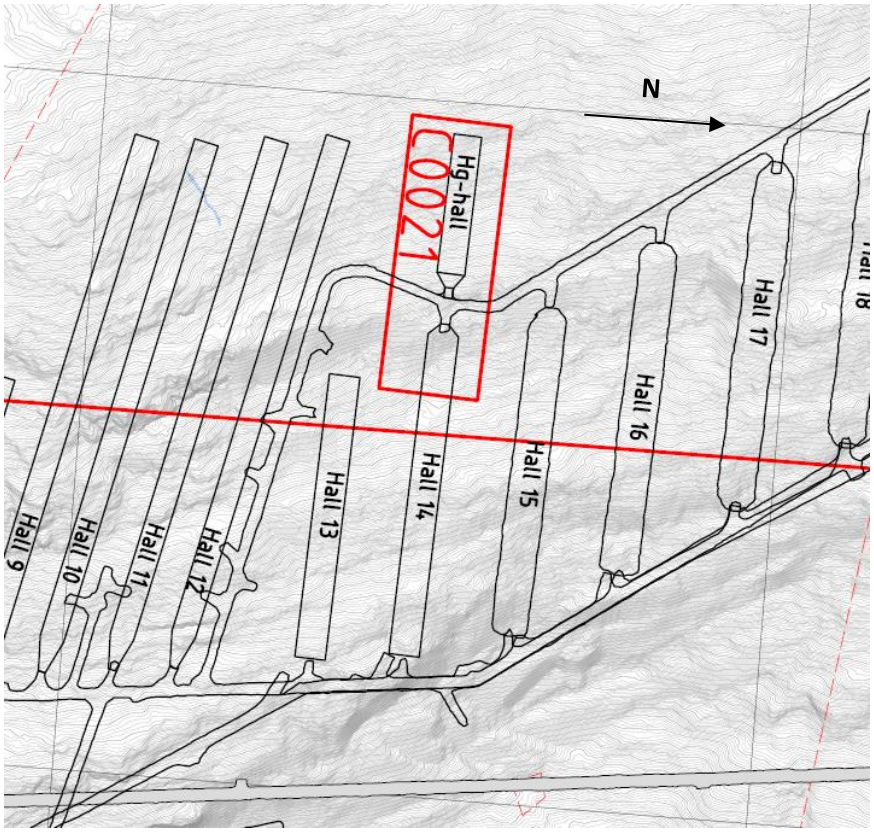
- Detaljreguleringsplan med konsekvensutredning for Boliden Odda AS. ID 2018001. Vedtatt 04.06.19.

Planlagte fjellhaller ligger i område som ifølge § 3.4 er regulert til: «Annen særskilt bebyggelse og anlegg» i vertikalnivå 1. Det er ikke angitt antall haller eller utnyttelsesgrad eller lignende for dette området, men vist til driftstillatelse fra Miljødirektoratet. Gjeldende driftstillatelse [1] omhandler fjellhall 1 – 30. Boliden vil sende inn søknad om tillatelse for bygging av ny Hg-hall til Miljødirektoratet. Dersom Miljødirektoratet gir tillatelse for bygging av egen Hg-hall, vil dette være i samsvar med gjeldene reguleringsplan.

4 Plassering og utforming av Hg-hall og sarkofag

4.1 Hg-hall

Ny Hg-hall er plassert på vestsiden av gipstunnel ved fjellhall 14, se Figur 3. Transport og innfylling i Hg-hall kommer da ikke i konflikt med driving av nye fjellhaller, som f. eks ved plassering av Hg-hall langs Faring nord. De geologiske forholdene i området er også kjente etter driving av gipstunnel og tilstøtende fjellhaller 12 til 17. Sør for Hg-hall ligger fjellhall 12 som er drevet tilnærmet like langt mot vest som Hg-hall.



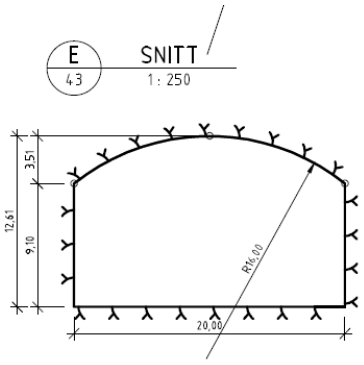
Figur 3. Utdrag tegning B0001. Ny Hg-hall er planlagt nord for fjellhall 14.

Boliden vil i første omgang etablere en ny Hg-hall som er tilpasset 9 års produksjon (tilpasset produksjonsrate av HgS-avfall etter utbygging av GZO). I den forbindelse er det vurdert som aktuelt å etablere en fjellhall med følgende dimensjoner: bredde 20 m, høyde ca. 13 m og lengde 100 m, se Figur 4 og Figur 5. Det benyttes samme radius på hengen som for fjellhall 13-22, noe som gir en pilhøyde på 3,51 m.

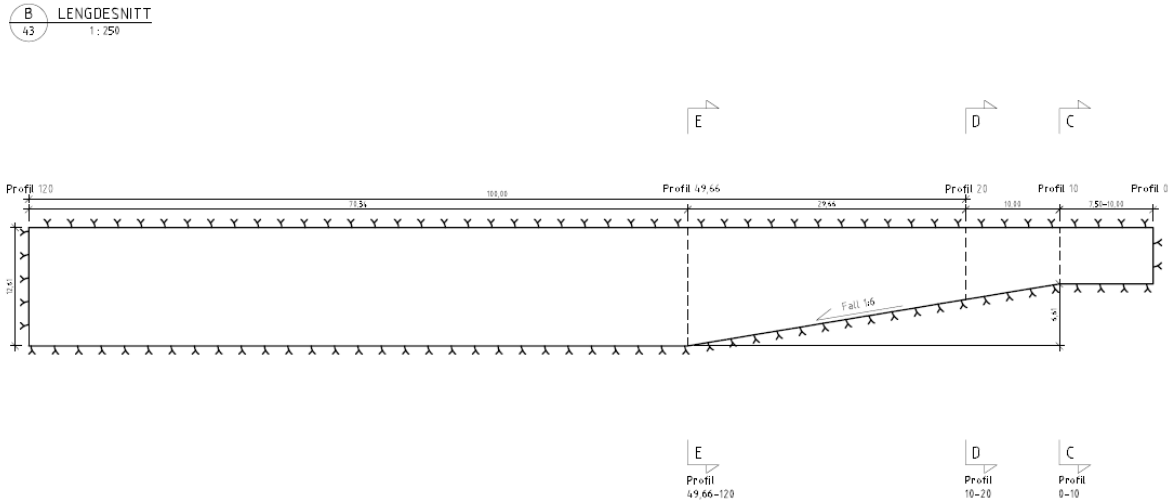
Nivået på Hg-hall er tilpasset innkjøring fra gipstunnel. Topp heng ligger på kote +32,7, mens bunn hall ligger på kote + 20, se Figur 6. Til sammenligning ligger endeveggen på fjellhall 14 ca. 22 m øst for innkjøringen til Hg-hall med topp heng på kote +26,4 og såle på kote -15,4.

Fra tilkomst i gipstunnel drives sålen i hallen på synk (med horisontal heng) for å oppnå ønsket høyde på hallen. Dette gir et større lagringsvolum (antall innstøpte kontainere) sammenlignet med å ha en horisontal såle og drive hengen på stigning.

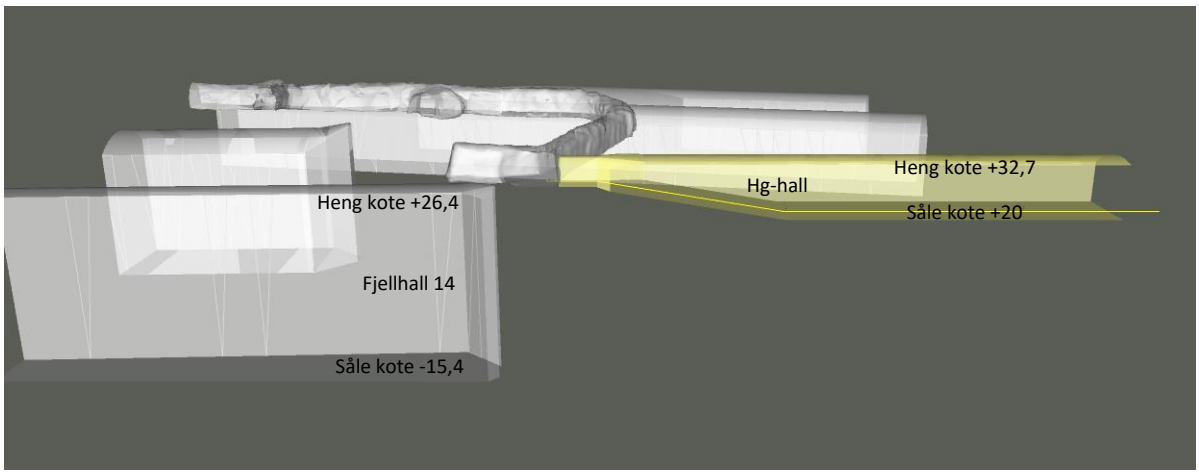
Ved å drive sålen på synk, vil det bli behov for pumping av eventuelt innlekkasjevann i drive- og innfyllingsfasen. I permanent fase vil eventuelt innlekkasjevann i fjellhall renne i overløp ut gjennom gipstunnel.



Figur 4. Utdrag tegning C0021 som viser typisk tverrsnitt av ny Hg-hall.



Figur 5. Utdrag tegning C0021 som viser typisk lengdesnitt av ny Hg-hall.



Figur 6. Utdrag fra 3D-modell og plassering av Hg-hall i vertikalplanet ift. fjellhall 14. Avstand fra endevegg fjellhall 14 til åpning Hg-hall er ca. 22 m.

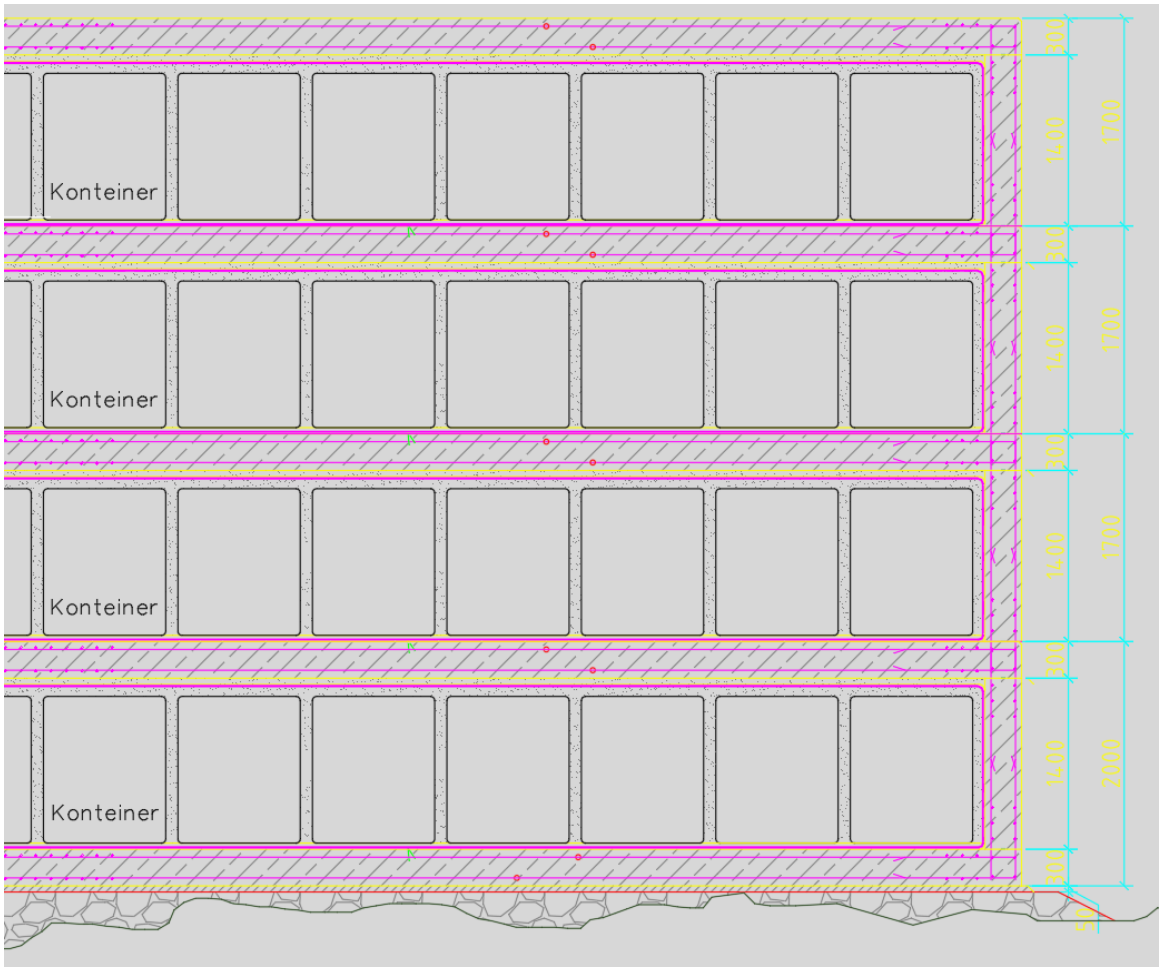
4.2 Oppbygging av sarkofag

I Hg-hallen støpes kontainere med HgS-avfall inn på tilsvarende måte som tidligere; omstøping, membran og armert betongskall, se Figur 7. Forskjellen er at sarkofagen etableres i flere nivåer i høyden. Toppdekke på lavere nivå fungerer da som bunnplate for nivået over. På denne måten reduseres forbruket av betong og armering sammenlignet med å etablere sarkofag i ett lag som ved dagens praksis.

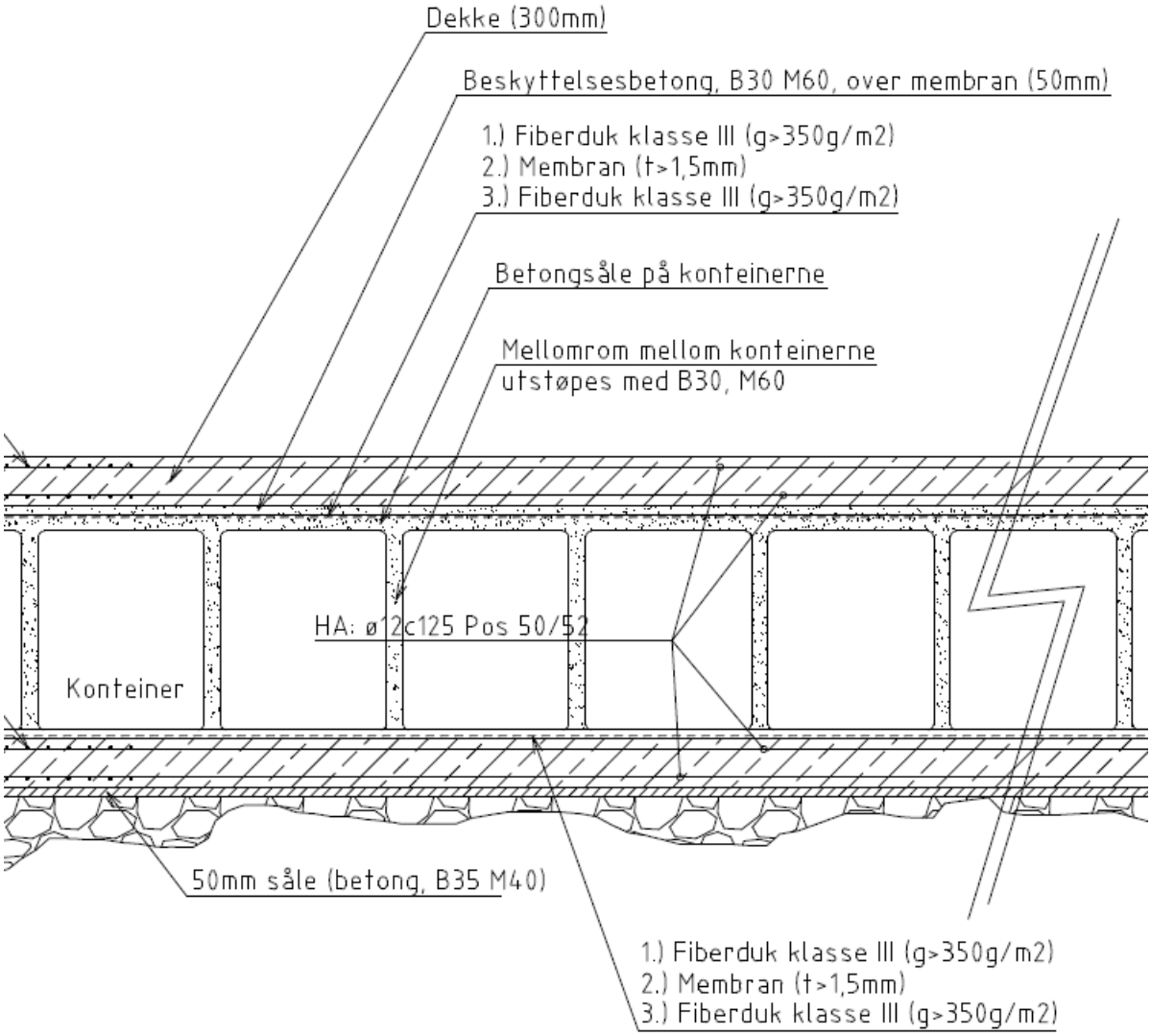
Sarkofagen er planlagt etablert i fem nivåer fordelt på 10 støpeskjøter som nummerert på Figur 9. Hver støpeseksjon begrenses til 50 m. Maks bredde på sarkofagen er 18,2 m og tilpasset bredden på hallen. Øverste støpeseksjon er redusert til 12,7 m pga. redusert takhøyde.

Hovedbarrierer i selve kvikksølvsarkofagen er en HDPE tetningsmembran, se Figur 8. I tillegg vil plastkontainerne, betongen som omslutter plastkontainerne og det ytre armerte betongskallet fungere som tilleggsbarrierer som bidrar til å redusere muligheten for utlekking ytterligere. Hovedhensikten med betongen er i første rekke å beskytte membranen i forbindelse med bygging og innfylling av sarkofagen.

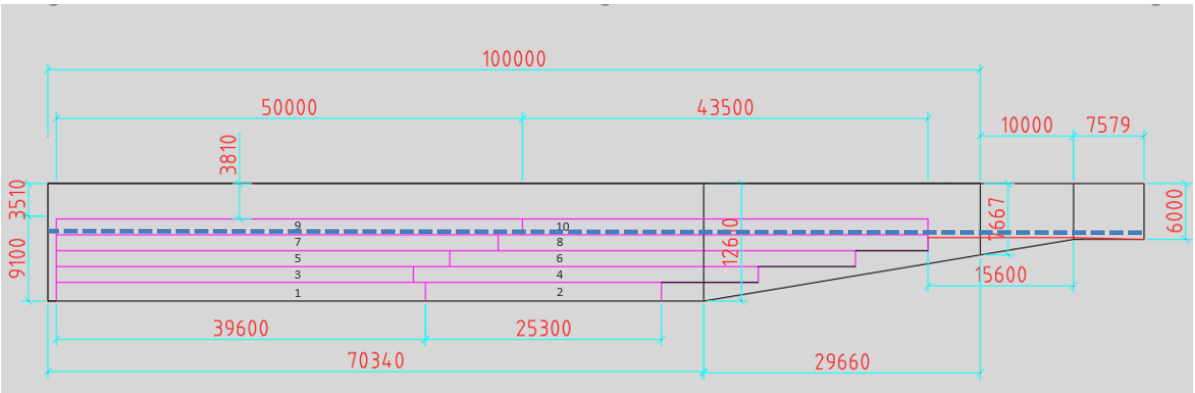
Hulrom mellom betongsarkofag og fjell er aktuelt å fylle opp med bestandige geologiske masser i form av knust stein etter hvert som sarkofagen etableres i høyden.



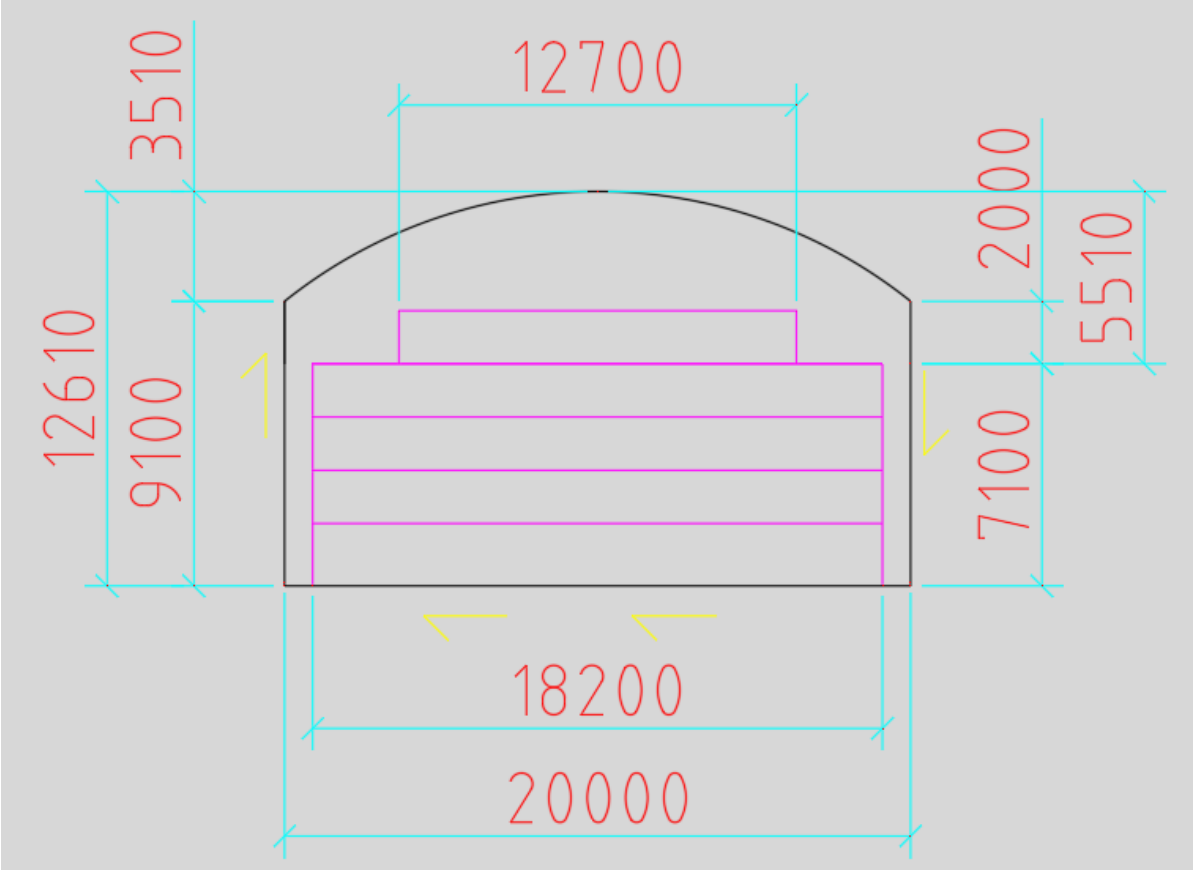
Figur 7. I Hg-hallen støpes kontainere med HgS-avfall inn på tilsvarende måte som tidligere; omstøping, membran og armert betongskall. Forskjellen er at sarkofagen etableres i flere lag. Toppdekke på lavere nivå fungerer da som bunnplate på nivå over.



Figur 8. Utklipp av tegning 30-122 fra fjellhall 21 og 22. Prinsipp oppbygging sarkofag i form av armert betongskall, HDPE-membran og utstøping mellom plastkontainere med HgS-avfall. HDPE-membran er hovedbarriere. Betongtype, armeringsdetaljer og membrantykkelse detaljeres nærmere for sarkofag i Hg-hall.



Figur 9. Planlagt oppbygging med betongsarkofag i fem nivåer fordelt på 10 støpeskjøter som nummerert over. Innlekkasjevann må pumpes ut i innfyllingsfasen av hallen. I permanent fase vil vannstanden i hallen stabilisere seg i høyde med utløpet i gipstunnelen hvor innlekkasjevann vil renne videre mot sør langs gipstunnelen.



Figur 10. Planlagt oppbygging av betongsarkofag i Hg-hall i fem nivåer.

5 Vurdering av geologiske forhold ved Hg-hall

5.1 Tidligere geologiske og hydrogeologsiek undersøkelser og erfaringsmateriell

Det foreligger omfattende dokumentasjon av de geologiske forholdene rundt Hg-hall fra planlegging og driving av tilstøtende deponihaller 12-14 og gipstunneler [3][4][5][6][7][8][10][11]. I tillegg til geologiske registreringer på stuff under driving er det tidligere utført kjerneboringer og spenningsmåling langs gipstunnel i kort avstand hvor Hg-hall skal etableres.

Hg-hall er plassert i samme område som det tidligere er gjort en omfattende mulighetsstudie for bygging av større deponeringshaller med høyder opp mot 70 m i området nord og vest for fjellhall 14 [11].

De hydrogeologiske forholdene rundt deponihallene i Odda er undersøkt over lang tid, sist i forbindelse med spesifikk usikkerhetsvurdering av fjellhall 21 og 30, hvor det fremgår at grunnvannsstrømmen går fra øst mot vest, dvs. fra Hg-hall mot fjellhall 14 og videre mot Sørfjorden [9].

Det geologiske erfaringsmaterialet fra driving av eksisterende anlegg er omfattende og kunnskaps-grunnlaget er derfor godt for å beskrive de geologiske forhold. I de videre vurderingene av Hg-hall er det tatt utgangspunkt i geologiske registreringer fra fjellhall 12, 13 og 14, samt gipstunnel, som også vurderes som gjeldene for området hvor ny Hg-hall er plassert.

5.2 Bergart

Bergarten i området er av prekambrisk alder og består i hovedsak av en massiv, noe foliert, grovkornet kvarts- og biotittrik gneisgranitt. Gneisgranitten er gjennomsatt av pegmatittsoner og middelskornig granitt, som begge er fast sammenvokst med gneisgranitten [4]. Dette er den samme bergarten som går igjen ellers i fjellhallsdeponiet. Utover dette forekommer det mørke årer/soner med biotitt som krysser nærmest på tvers av fjellhallene med fall ca. 60° mot nordøst, det vil si ut mot fjorden [4][7].

5.3 Oppsprekkingsgrad og bergmassekvalitet

I forbindelse med fjellhall 12, 13 og 14 er det registrert 2-3 gjennomgående sprekkesett. Det dominerende sprekkesettet har nordvestlig strøkretning parallelt med foliasjonen og steilt fall mot NØ (fjorden) og går på tvers av fjellhallene. Sprekkesett 2 som er mindre fremtredende enn sprekkesett 1, har øst-vestlig strøkretning med tilnærmet vertikalt fall parallelt med hallene. Sprekkesett 3 er nærmest et sporadisk sprekkesett med sørøstlig strøkretning og steilt fall mot sørvest [4][5][6].

Oppsprekkingsgraden er mest fremtredende i søndre del av fjellanlegget fra fjellhall 1-7. Antall sprekker avtar i retning nord fra fjellhall 8, noe som sammenfaller med økende overdekning over fjellanlegget. Registrerte sprekkesett i fjellhall 12, 13 og 14 sammenfaller i stor grad. Sprekkerose for registrerte sprekkesett ved de tre hallene er vist i Figur 11, Figur 12 og Figur 13 [4][5].

De fleste registrerte sprekker i hallene er gjennomgående enkeltsprekker, stort sett uten belegg. Stedvis forekommer ca. 5-30 cm brede biotittsoner parallelt med foliasjonen. Enkelte av disse biotittsonene inneholder leirmateriale (5-10 cm tykt).

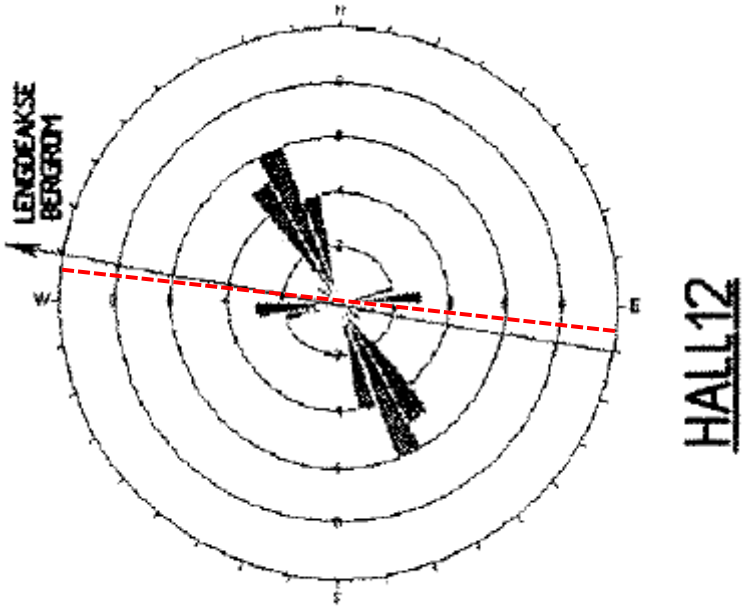
To markerte sprekkesoner krysser i østre del av fjellhall 12, gipstunnel og midtre del av fjellhall 13 og 14. Sonene har fall på ca. 70° NØ (parallelt med foliasjonen) og følger sprekkesett 1 [4][5][6]. De to sprekkesonene er synlig i østre del av gipstunnel. Den ene sonen har medført et større utfall i hengen på gipstunnel og er i stor grad tørr. Den andre sprekkesonen er vannførende og er vannsikret med tunnelduk hvor sprekkesonen krysser gipstunnelen [7].

I hall 13 er det et belte med oppsprukket berg mellom pel 65 og pel 90. Innenfor dette området var berget så å si tørt. Dette harmonerer også godt med det vi vet om spenninger i berget. Ved større overdekning vil større trykk i alle plan klemme sprekken i berget sammen og gi mindre vannledningsevne [5].

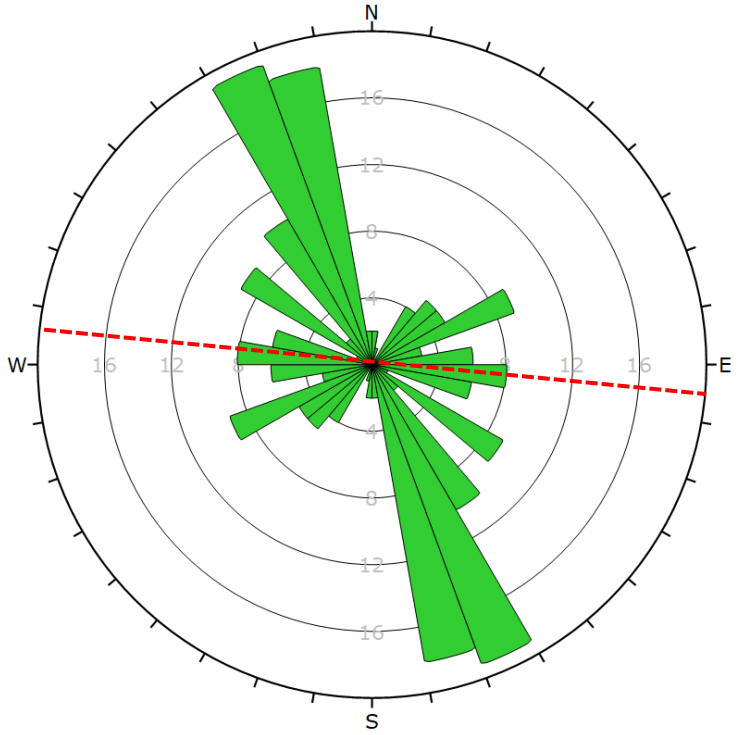
Tabell 1. Sprekkedata for registrerte sprekkesett i fjellhall 13. Aktuelle sprekkesett er også gjeldene i fjellhall 12 og 14 [6].

Sprekkesett	Strøk	Fall	Lengde	Sprekkeavstand	Sprekkeåpning	Ja	Jr
1 (foliasjon)	336°	62°NØ	50 m	5 m	2 mm	2,0	1,5
2	90°, 270°	90°	20 m	10 m	1 mm	1,0	1,0
3	123°	69° SV	10 m	20 m	1 mm	1,0	1,5

Variasjonen i strøk/fall er minst for sprekkesett 1 (strøk: 329-343°, fall 53-71 °), og noe større for sprekkesett 2 og 3. Sporadiske sprekker med varierende strøk og fall eksisterer i tillegg til de tre nevnte sprekkesettene.

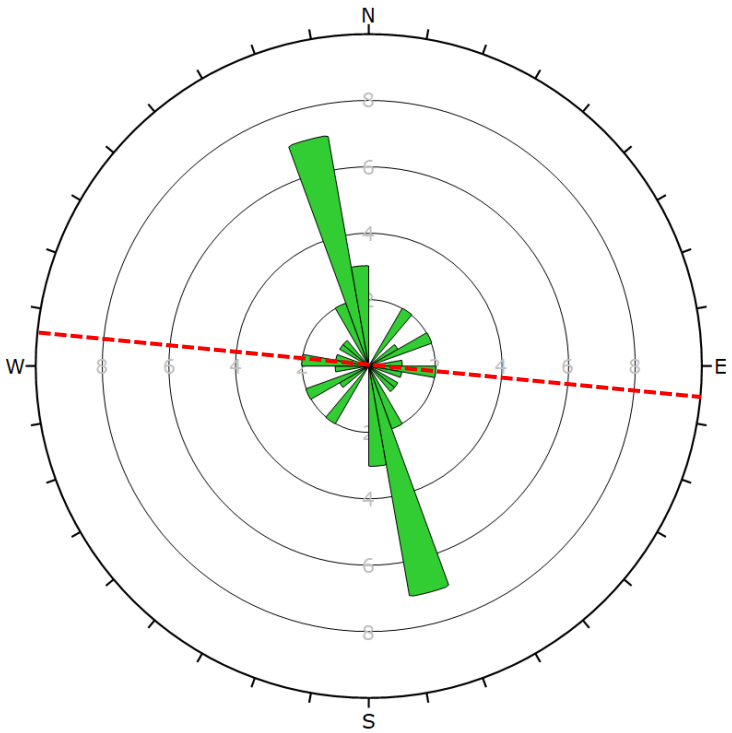


Figur 11. Sprekkerose av kartlagte sprekkesett i fjellhall 12. Retningen på Hg-hall er markert med rød stiplet linje [4].



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	20 planes per arc
Planes Plotted	110
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 12. Sprekkerose av kartlagte sprekkesett i fjellhall 13. Retningen på Hg-hall er markert med rød stiplet linje [6].



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	23
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 13. Sprekkerose av kartlagte sprekkesett i fjellhall 14. Retningen på Hg-hall er markert med rød stiplet linje [6].

En generell vurdering av bergmassekvaliteten i området basert på Q-verdi og registreringer i fjellhall 13 er som følger:

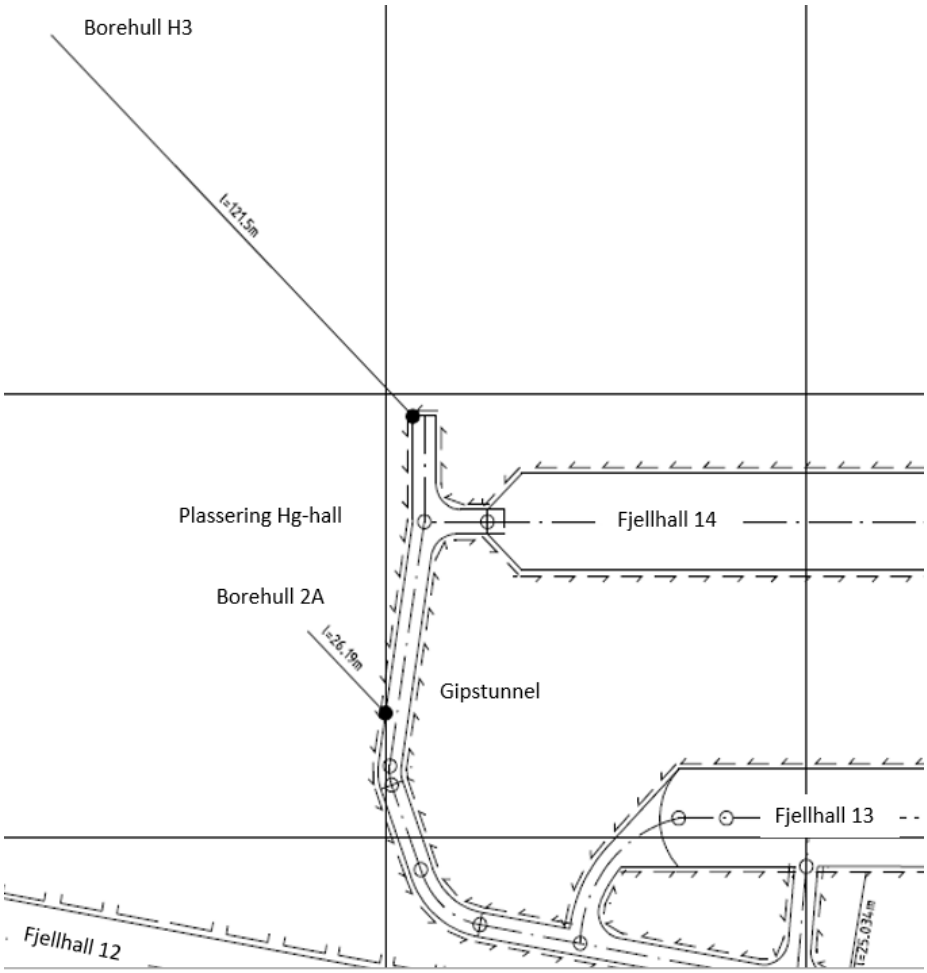
Tabell 2. Estimering av Q-verdier basert på geologiske registreringer i fjellhall 13 [6].

Parameter	Minimum	Maksimum
RQD	100	100
Jn	6	3
Jr	2	4
Ja	4	1
Jw	1	1
SRF	3	0,5
Q-verdi	2,8	267

Et estimat på fordeling av bergmassekvalitet i området basert på registreringer i fjellhall 13 er som følger [6]:

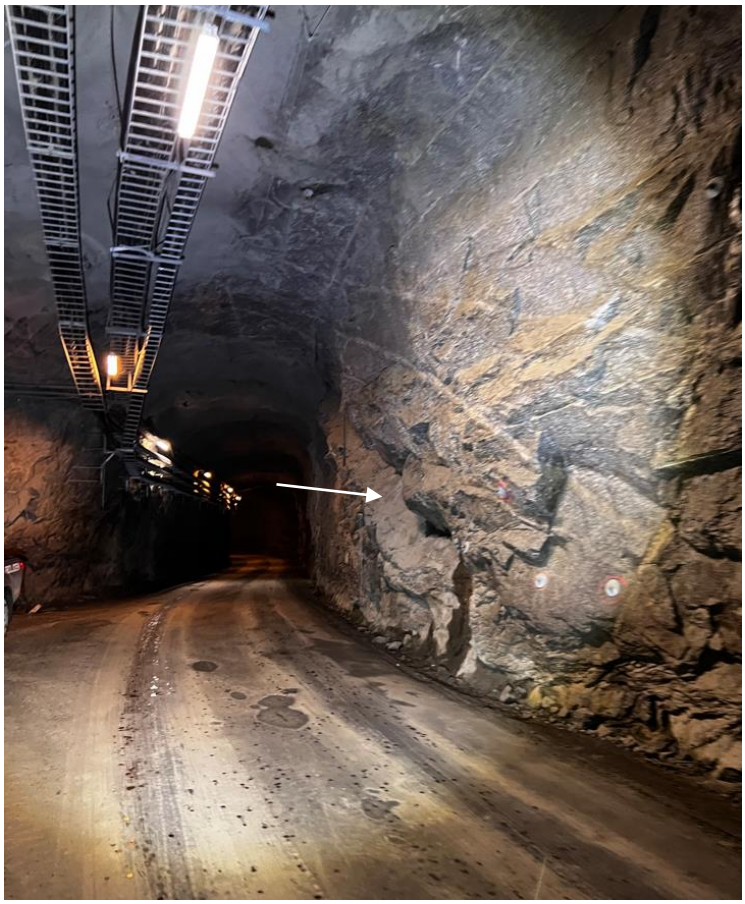
- Svært godt (100<Q<400): ca. 30 prosent
- Meget godt (40<Q<100): ca. 35 prosent
- Godt (10<Q<40): ca. 30 prosent
- Middels (4<Q<10): ca. 4 prosent
- Dårlig (1<Q<4): ca. 1 prosent
- Svært dårlig (0,1<Q<1): < 1 prosent

I en tidligere geologisk rapport fra Statkraft Grøner AS [4] er Klevaskreda blitt vurdert som en mulig knusningssone med fall mot sør som vil opptre i området nord for fjellhall 14. I forbindelse med bygging fjellhall 13 og 14 ble det boret to kjerneborehull fra gipstunnel henholdsvis sør og nord for hvor Hg-hall er plassert. Resultatene fra kjerneboringene viser ingen tegn til den aktuelle sonen som først antatt, og fjellet er generelt lite oppsprukket i hele lengden. Med unntak av mindre variasjoner kan en forventa å ha ensartet bergmasse i heile det området som ble gjennomboret [11]. Ved videre utbygging av fjellanlegget mot nord har det ikke vært påtruffet mektige knusningssoner med fall mot sør. Hall 22 ligger i dag nord for Klevaskreda, og erfaringene fra driving av fjellhall 15 til 22 tilsier at det er ingenting som tydet på at Klevaskreda representerte noen dårligere bergmassekvalitet i området [9].



Figur 14. Utklipp tegning E53891 og oversikt over tidligere utførte kjerneborehull vest for fjellhall 14. Det er også utført spenningsmålinger ved borehull 2A [11].

Registreringer av bergmassen langs gipstunnelen nord for fjellhall 14 hvor Hg-hall er planlagt, sammenfaller godt med registreringer og estimert bergmassekvalitet i fjellhall 13. Bergmassen er generelt massivt med få gjennomgående sprekker. Et gjennomgående sprekkeplan følger sprekkesett 1 og faller ut av vestre vegg langs gipstunnel i aktuelt område, se Bilde 1. Bergmassen er i hovedsak tørr, men det er registrert noe fuktutslag langs vestre vegg langs utgående sprekkeplan.



Bilde 1. Massiv bergmasse langs gipstunnel i området hvor Hg-hall skal etableres vest for fjellhall 14. Et gjennomgående sprekkeplan langs sprekkesett 1 er synlig i vestre vegg langs gipstunnel (pil). Bergmassen er i hovedsak tørr, med unntak av noe fuktutslag i foten av vestre vegg ved gjennomgående sprekkeplan.

5.4 Ekstensometermålinger

Det ble gjennomført ekstensometermålinger i to borhull fra gipstunnelen inn mot søndre vegg i hall 13 under driving. Resultatene fra ekstensometermålingene viser at fjellet oppfører seg tilnærmet elastisk. Det er målt opptil om lag 4 mm bevegelse nærmest hallveggen. Målingene underbygger at fjellkvaliteten i området er god [11]. For ytterligere detaljer henvises det til detaljerte resultat fra Outokumpu technology [10].

5.5 Bergspenninger

Vestre og bakre del av Hg-hall har tilnærmet samme overdekning som vestre og bakre del av fjellhall 11 og 12, samt vestre del av fjellhall 21 og 22. Det er tidligere utført spenningsmålinger blant annet langs gipstunnel mellom fjellhall 13 og 14 i området hvor Hg-hall skal etableres, se Tabell 3 [10][11].

Tabell 3. Resultat fra utførte spenningsmålinger langs gipstunnel vest for fjellhall 13 og 14 [11].

	Gipstunnel vest for fjellhall 13 og 14
Sub-vertikal spenning, fall mot aust	22-25 MPa
Sub-horisontal spenning, fall mot vest	12-16 MPa
Sub-horisontal spenning, langs fjorden	8-14 Mpa

Resultatene fra spenningsmålingene er tidligere vurdert å være logiske og pålitelige, og de stemmer godt overens med tidligere spenningsmålinger ved fjellhall 1 og 7 [11]. Resultatene fra utførte spenningsmålinger viser høye bergspenninger i området rundt ny Hg-hall, noe som er forventet. Største hovedspenning har tilnærmet same retning som lengdeaksen i Hg-hall. De horisontale, tektoniske spenningene, har en positiv effekt for å stabilisere (støtte opp) hengen i planlagt Hg-hall [11].

Erfaringene fra fjellhall 7-12, tilsier utfordringer med bergtrykksproblemer i indre deler av hallene, dvs. fra 200-250 m inn i haller. Dette medførte økt sikring i form av bolter, stedvis supplert med sprøytebetong [4].

Erfaringer med bergspenning er fra driving av fjellhall 13 og 14 tilsier følgende [5]:

- Sprakefjell oppstår enkelte ganger i meget massivt berg i indre del av anlegget. Stuff og vederlag er berørt.
- Spenningsytringer som overflateparallell oppsprekking og runding av skarpe hjørner, opptrer jevnlig, spesielt ved driving av takskive.
- Overflateparallell oppsprekking på grunn av strekkspenninger i veggen oppstår, men bare som et overflatefenomen, 2-3 m inne i berget er situasjonen uendret.
- Observasjon av oppsprekking langs gipstunnelen etter utdriving av hall 13 viser at pilaren mellom bergrommene får økt spenning, uten at dette er kritisk.
- Stabiliteten til hengen i hallen er uendret etter at første liggerpall er tatt ut. Det har ikke vært tegn til avskalling eller nedfall i hengen.

Massivt berg og høye bergspenninger tilsier at det vil forekomme sprakefjell ved driving av Hg-hall. Det forventes overflateparallell oppsprekking ved driving av Hg-hall, og da spesielt i stabben mellom gipstunnel og Hg-hall. Basert på de siste års erfaringer fra driving av fjellhall 19-22, forventes det at systematisk sikring av Hg-hall med sprøytebetong og bolter vil være nødvendig for å ivareta arbeidssikkerheten under driving og i innfyllingsfasen av Hg-hallen [9].

5.6 Hydrogeologi og lekkasjeforhold

De hydrogeologiske forholdene og strømningsbildet rundt fjellhall 1 til 12 har tidligere blitt kartlagt før bygging av fjellhall 13. Resultater fra installerte piezometere og manometer i etablerte borehull indikerer at grunnvannsspeilet rundt fjellhall 1 til 12 er drenert fra et høyt nivå og ned til hallens nivå. I området bak og nord for hallene ble det antatt at grunnvannsspeilet var høyt. Grunnvannsspeilet nord for fjellhall 12 har blitt senket etter at fjellhallsdeponiet har blitt utvidet mot nord de siste 20 årene (fjellhall 13 til 22). Mellom fjellhallene og sjøen er grunnvannsspeilet holdt nede på grunn av drenerende effekt fra Eitrheimstunnelen og adkomsttunneler i anlegget. Etter bygging av faring nord i forbindelse med fjellhall 13, har grunnvannsspeilet trolig blitt senket ytterligere [4][7].

Erfaringene etter bygging av fjellhall 13 og 14, er at bergmassen er tettere i området for hall 13 og 14 enn i området der de første hallene ble bygd [5].

Bergmassen er svært tett der det ikke er gjennomgående oppsprekking. Lekkasjer i berg går langs tynne sprekker og kanaler. Vannmengden i berget varierer mye med nedbør og snøsmelting, men ikke så mye at det har noen praktiske konsekvenser. Generelt kan man si at vestre del av fjellhall 12, gipstunnel, fjellhall 13 og fjellhall 14 så å si ikke har vannlekkasjer. Dette underbygger teorien om avtagende innlekkasje ved økt overdekning [5][7].

I fjellhall 12 er naturlige punktlekkasjer registrert i østre del av fjellhallen [4]. Lekkasjene har sammenheng med gjennomgående sprekkesoner med innhold av biotitt som er registrert i østre del av fjellhallen. Tilsvarende observasjoner er også registrert i tverslagene mellom fjellhall 8/9 og 10/11, samt i østre del av gipstunnel. Vannlekkasjene i gipstunnel viser seg her i form av fuktigutslag, drypp og rennende vann langs aktuelle sprekkesoner [7].

I gipstunnel begrenser lekkasjene seg i hovedsak til to gjennomgående vannførende sprekkesoner med innhold av biotitt som også er registrert i tverrtunnel mellom fjellhall 8/9 og 10/11. Registrerte lekkasjer stemmer også overens med registrerte lekkasjepunkter i fra drivingen av fjellhall 9 til 12 [7].

I fjellhall 13 ble det entydig observert at vannlekkasjene i hovedsak fulgte steiltstående sprekker langs sprekkesett 1, og at disse sprekkene var åpne og uten leirbelegg. I områder der flere sprekkesett skar hverandre førte disse noe mer vann enn andre. Mengden av naturlig innlekkasje i fjellhall 13 var små, som regel var det snakk om fuktutslag med noe drypp, men ved 2-3 områder var det snakk om tett drypp fra hengen. Lekkasjer og fuktutslag utartet seg i hovedsak i østre og midtre del av fjellhallen, noe som sammenfaller med registrerte lekkasjer langs gipstunnel. I indre del av fjellhall 13 fra ca. pel 120 mot vest, var det ikke tegn til lekkasjer [5].

Forholdene i fjellhall 14 er svært lik fjellhall 13, men fordi oppsprekkingen her hadde en litt annen fordeling der sprekkene var spredt over et bredere område, var også naturlig innlekkasje fra omkringliggende bergmasse spredt over et større område. Det var også her bare snakk om fuktutslag med noe drypp, samt 2-3 områder med hurtig drypp. De innerste 80 m av hallen mot vest (fra ca. pel 120) var også her svært tørre [5].

Det er ikke registrert innlekkasjer i vestre del av gipstunnelen hvor overdekningen er større. Kryssende årer av biotitt er her tørre. Tilsvarende situasjon er også registrert i fjellhall 12, 13 og 14 som nevnt over[5][7].

I området hvor Hg-hall skal etableres vest for fjellhall 14 er forholdene i hovedsak tørre. Det er registrert enkelte områder med fuktigutslag som har sammenheng med gjennomgående sprekkeplan langs sprekkesett 1, se Bilde 1 og Bilde 2.

Bilde 2. Fuktig område langs gjennomgående sprekkeplan i vestre vegg langs gipstunnelen i området hvor Hg-hall skal etableres vest for fjellhall 14.

I 2004 ble det boret to kjerneborehull fra gipstunnel mot nordvest, henholdsvis sør og nord for hvor Hg-hall skal etableres. Ved det korte kjerneborehullet sør for Hg-hall kan man i dag se noe fuktutslag, se Bilde 3. I forbindelse med boring av det 120 m lange kjerneborehullet nord for planlagt Hg-hall, ble det registrert en total lekkasje fra hele hullet på ca. 0,2 l/min i etterkant av boring. Denne lekkasjen er i dag ikke synlig. Dette har trolig sammenheng med at bergmassen i

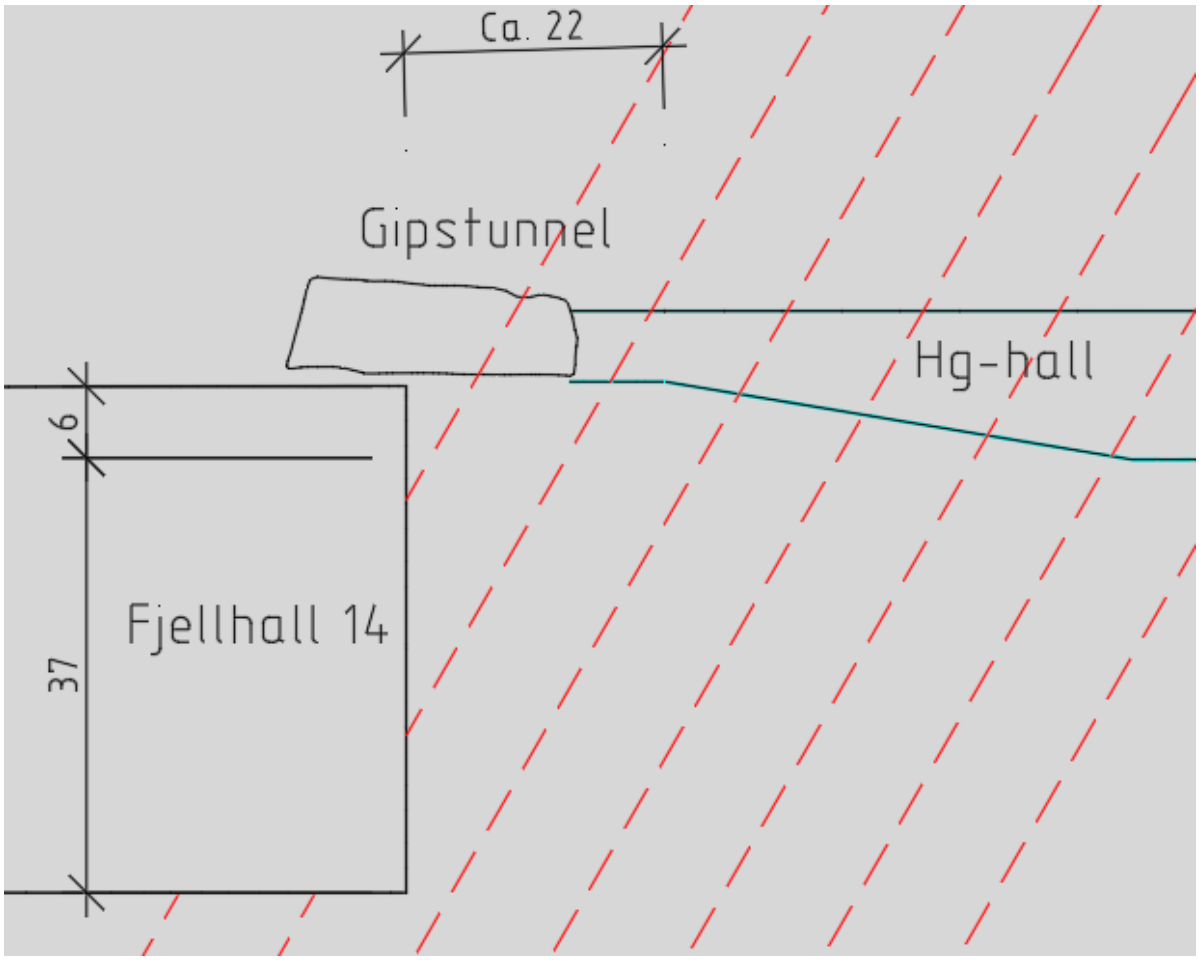
området har blitt drenert i forbindelse med videre utvidelse av fjellhallsystemet mot nord (fjellhall 15-22) i nyere tid.

Bilde 3. Noe fuktutslag i gipstunnel ved kjerneborehull (lengde ca. 26 m) fra 2004 sør for planlagt Hg-hall.

Bolidens utslippstillatelse [1] forutsetter at man skal begrense naturlig innlekkasje i fjellanlegget i størst mulig grad, og da spesielt i fjellhallsdeponiene som inneholder avfall som utgjør en forurensningsfare. Planlagt sarkofag med HgS-avfall vil i seg selv ikke utgjøre noe forurensningsfare, men i praksis vil det være utfordrende å skille rent lekkasjevann fra Hg-hall med annet forurenset overløpsvann fra eksisterende deponihaller da alt overskuddsvann i anlegget i dag samles ved avskjærende grøft og pumpesump sør for fjellhall 1 før det sendes til rensing. Forutsetningen er derfor å etablere en Hg-hall som er så tørr som praktisk mulig. Basert på erfaringer fra tilstøtende fjellhaller og tunneler, forventes det begrenset med naturlig innlekkasje i området hvor Hg-hall skal etableres. Lekkasjer i form av fuktutslag og drypp vil nok forekomme, spesielt langs eventuelle gjennomgående sprekkeplan langs sprekkesett 1. Behov for injeksjon vurderes derfor fortløpende under driving basert på systematisk sonderboring foran stuff. Registrert innlekkasje fra sonderhull vil danne grunnlaget for behov for injeksjon.

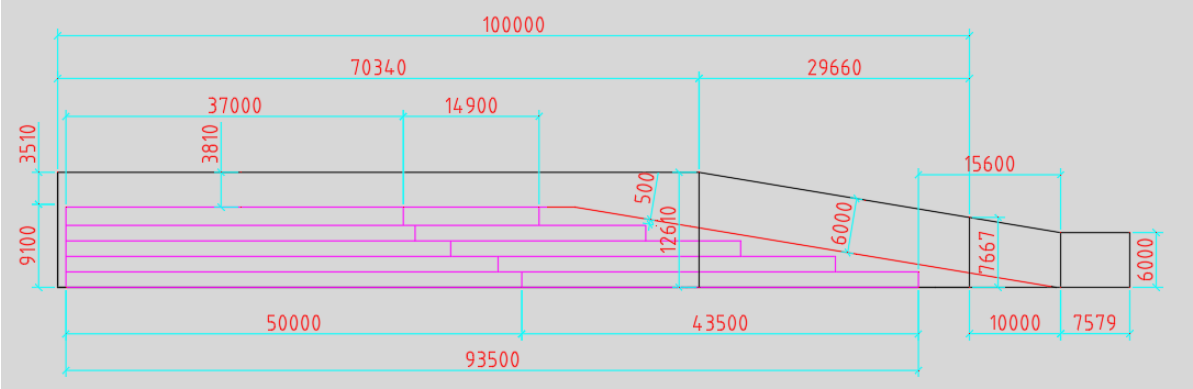
Tilførsel av syre- og sulfatholdig lekkasjevann til Hg-hall fra tilstøtende deponihaller (og da spesielt fjellhall 14) fylt med samresidue ansees som lite sannsynlig da Hg-hall i stor grad ligger høyere enn tilstøtende deponihaller. Det er dokumentert at grunnvannsgradienten går fra vest mot øst, dvs. fra Hg-hall mot fjellhall 14 [9]. Da Hg-hall vil ligge oppstrøms tilstøtende deponihaller, vil faren for innlekkasje av surt og sulfatholdig vann i Hg-hall i prinsippet ikke være til stede med den utbygging av deponihaller som vi kjenner i dag. Videre er bergmassen i gipstunnelen massiv, noe som også er registrert i forbindelse med driving av vestre del av fjellhall 13 og 14 nærmest gipstunnel. Gjennomgående sprekkeplan i området følger sprekkesett 1. Sprekkesettet går på tvers av hallene og faller ca. 60 grader mot NØ, dvs. mot fjellhall 14, se Figur 15. Fallretningen på disse sprekkeplanene medfører at det ikke vil forekomme lekkasje fra fjellhall 14 til Hg-hall. I forbindelse med driving av fjellhall 13 og 14 er det registrert steile sprekkeplan som går parallelt med fjellhall 14 og Hg-hall som potensielt kan medføre lekkasjer fra fjellhall 14 til Hg-hall. Gjennomgående sprekkeplan langs dette sprekkesettet er ikke registrert i aktuelt område i gipstunnel i dag, men er aktuelt å bli verifisert nærmere i forbindelse med driving av Hg-hall. Behov for injisering av

bergmassen mellom fjellhall 14 og Hg-hall, samt behov for eventuelle prøvetakingsbrønner, vil derfor være fokusområde i forbindelse med driving av ny Hg-hall. For tidligere vurderinger knyttet til bestandighet av sementbasert injisering i og rundt fjellhaller fylt med samresidue henvises det til referanse [2].



Figur 15. Lengdesnitt i overgangen mellom Hg-hall og Fjellhall 14. Oppsprekking av langs sprekkesett 1 er fremtredende, illustrert med rødstiplede linjer. Sprekkesettet går på tvers av hallene og faller ca. 60 grader mot NØ, dvs. mot fjellhall 14.

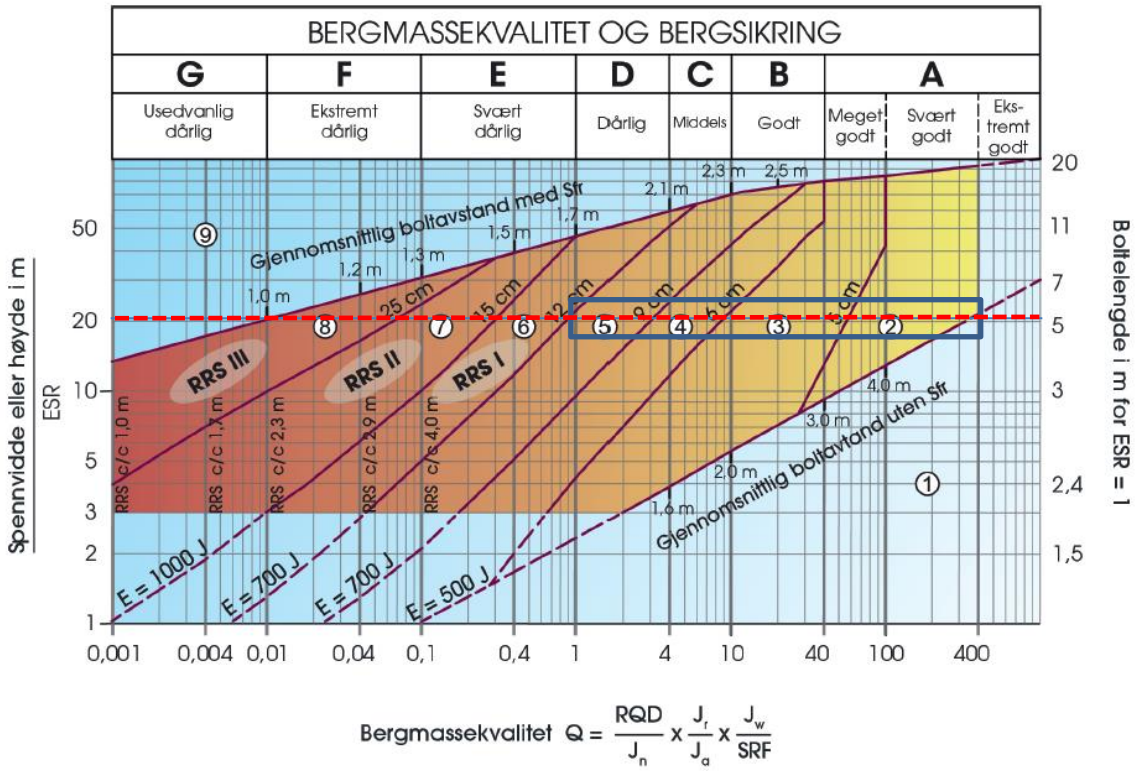
For å eliminere muligheten for lekkasjevann fra omkringliggende deponihaller til Hg-hall, vil tiltaket være å plassere sålen av Hg-hall høyere enn hengen på tilstøtende deponihaller. Dette vil i så fall medføre at sålen på Hg-hall holdes horisontal, mens hengen på Hg-hall innledningsvis drives på stigning for å oppnå ønsket høyde i hallen, se Figur 16. I praksis vil denne løsningen medføre en noe dårlige utnyttelse av fjellhallen til deponering.



Figur 16. Alternativ utforming av Hg-hall hvor man sikrer at sålen på Hg-hall ligger høyere enn hengen på tilstøtende fjellhaller fylt med samresidue. Dette vil eliminere muligheten for lekkasje av forurenset vann til Hg-hall.

5.7 Sikringsomfang i Hg-hall

Sikringsomfanget i Hg-hall baseres på Q-systemet [12] og nærmere 40 års erfaring knyttet til bygging av fjellhaller ved Boliden Odda AS. Bergarten, oppsprekking, bergmassekvalitet og opptredende bergspenninger er kjente faktorer som kommentert i delkapittel over. Det er videre utført likevektsbetraktninger av potensielle bergkiler pga. opptredende sprekkesett som verifiserer gjeldene sikringsomfang [13].



Figur 17. Utklipp av sikringsmatrise for Q-systemet. Aktuell boltelengde og sikringsklasse er markert [12].

Som kommentert i kapittel 5.3 er det forventet at bergmassen i Hg-hall vil være massiv til grovblokkig, med Q'-verdier mellom 10-400. I følge Figur 17 vil behovet for sikring begrenset. I forbindelse med eventuelle kryssende sprekkesonen forventes det at Q-verdien er lavere, med forventede Q-verdier mellom 1-10. Dette vil ifølge Figur 17 medføre behov for systematisk sikring med bolter og sprøytebetong.

Bergspenningene er dokumentert høye og vil øke med økende overdekning mot vest. Dette vil påvirke valg av SRF-verdi (høyere verdier) og redusere aktuelle Q-verdier. De høye spenningene vil kunne medføre sprakefjell i forbindelse med driving og overflateparallell oppsprekking i vederlag og vegger. For å ivareta arbeidssikkerheten under driving og innfyllingsfasen av Hg-hallen, er det vurdert som aktuelt å sikre Hg-hallen systematisk med sprøytebetong og bolter uavhengig av bergmassekvalitet.

I Hg-hall sikres heng, vederlag og vegger i utgangspunktet med 10 cm sprøytebetong (E1000). Spennvidden på Hg-hallen er 20 m. Hg-hallen skal benyttes som lagerhall, noe som tilsier en ESR-verdi lik 1,0. Aktuell boltelengde i heng er derfor valgt til å være 5 m. Boltelengde i vegger reduseres til 4,0 m. Det benyttes en gjennomgående boltedimensjon lik Ø20 mm i heng og vegger. Basert på erfaringer fra driving av fjellhall 13 til 22 vurderes en bolteavstand lik 2,0 m som aktuell i både heng og vegger. Bruk av endeforankrede bolter i heng har medført utfordringer med løse

bolter i de større deponihallene ved driving av fjellhallene i dypet. I forbindelse med fjellhall 21 og 22 ble det derfor benyttet kombinasjonsbolter i heng. Selv med høye bergspenninger, vurderes bruk av innstøpte kombinasjonsbolter som akseptabel, da det skjer en spenningsavlastning i hengen hvor disse boltene installeres. Dette kan også dokumenteres med numeriske analyser. Bruk av innstøpte kombinasjonsbolter i heng vurderes derfor som aktuelt også i Hg-hall. I vegger benyttes det endeforankrede bolter med polyesterpatron da disse er best egnet til å ta opp deformasjoner knyttet spenningskonsentrasjoner i omliggende berg. Da det skal foregå arbeider i Hg-hall opptil 10 år etter hallen er sprengt ut, anbefales det at det benyttes dobbelt korrosjonsbeskyttende bolter (varmforsinket og pulverlakkert).

Endelig sikringsomfang og eventuelt behov for supplerende sikring i heng og vegger vurderes fortløpende av geolog i samråd med utførende entreprenør etter hvert som Hg-hall sprenges ut.

5.8 Stabilitetsvurdering av Hg-hall i et langtidsperspektiv

Det er ikke forkastninger gjennom bergmassivet hvor Hg-hall og tilstøtende deponihaller er plassert, og det er følgelig svært lite sannsynlig for at jordskjelvaktivitet med permanente deformasjoner i bergmassivet skal kunne føre til skade på bergrommet av betydning for dens funksjon [9].

Hulrom mellom betongsarkofag og utsprengt bergrom er aktuelt å fylle opp med bestandige geologiske masser i form av knust stein etter hvert som sarkofagen etableres i høyden. Dette vil øke stabiliteten av veggene både på kort og lang sikt.

Takskiven sikres systematisk med sprøytebetong og bolter som vil ivareta stabiliteten av bergrommet i levetiden til aktuell bergsikring. På lengre sikt, dvs. etter ca. 100 år, vil sannsynligheten for nedfall fra taket øke i takt med at bolter og andre sikringstiltak tæres bort og mister sin stabiliserende effekt.

For å sikre betongskallet rundt sarkofagen mot skader forårsaket av drypp og eventuelt rennende vann, vil det være aktuelt og overfylle toppdekket på sarkofagen med bestandige geologiske masser i form av knust stein (se kapittel 6.2.4). I den forbindelse er det aktuelt å fylle igjen hele hulrommet mellom topp sarkofag og heng med steinmasser, ved at man starter innfylling innerst og avslutter ute ved gipstunnel. Igjenfylling av bergrommet i sin helhet vil ivareta stabiliteten av bergrommet langs vegger og i heng i et langtidsperspektiv, uavhengig av levetiden på installert bergsikring.

6 Bestandighetsvurdering av betongsarkofag

Oppbygging av betongsarkofag er nærmere beskrevet i kapittel 0. I planlagt Hg-hall vil man i prinsippet etablere et basseng som fylles opp av naturlig innlekkasjevann opp i nivå med såle på gipstunnel. Bergmassen rundt bassenget er å anse som tilnærmet tett. Dette baserer seg på erfaringer fra bygging av eksisterende fjellhaller ved Boliden Odda [9]. Uavhengig av størrelse på innlekkasjeraten til fjellhallen, forventes det at Hg-hall over tid langsomt vil bli fylt opp med vann i nivå med såle på gipstunnel hvor lekkasjevann dreneres videre mot sør langs grøfter i gipstunnel. Det betyr at store deler av sarkofagen (med unntak av øverste støpeseksjon) vil stå neddykket i vann. Ved å støpe opp en terskel i overgangen mot gipstunnel, vil man sørge for at hele sarkofaget vil bli stående neddykket i det lange løp.

6.1 Vurdering av nedbrytningsmekanismer

6.1.1 Syrer og sulfater

Som kommentert i kapittel 5.6, vurderes sannsynligheten for tilførsel av syre- og sulfatholdig lekkasjevann i Hg-hall fra tilstøtende deponihaller fylt med samresidue som liten. Behov for injisering av bergmassen mellom fjellhall 14 og Hg-hall må uansett være fokusområde i forbindelse med driving av ny Hg-hall. Da betongsarkofagen er omsluttet av naturlig, rent lekkasjevann fra omkringliggende bergmasse, vurderes nedbrytning fra syrer og sulfater som utelukket.

6.1.2 Klorider

Da betongsarkofagen er omsluttet av naturlig, rent lekkasjevann fra omkringliggende bergmasse, vurderes nedbrytning fra klorider som utelukket.

6.1.3 Frost

Hg-hallen er plassert langt inn i bergmassivet, noe som vil medføre stabile temperaturer over frysepunkt i det lange løp. Nedbrytning fra frost vurderes derfor som utelukket.

6.1.4 Karbonatisering

Nedbrytning av betongen inne i fjellhallen vil skyldes karbonatisering. Ved karbonatisering reduseres pH slik at det beskyttende oksydlaget rundt armeringsjernene forsvinner og armeringen korroderer dersom de får tilgang på fukt og oksygen. Karbonatiseringen i seg selv øker styrken til betongen litt. Videre vil den tette betongen noe. Ved god overdekning vil det ta svært lang tid før karbonatiseringen trenger inn til armeringsjernene.

Vurdering av karbonatiseringsdybde

Det forutsettes at det brukes en betong med masseforhold 0,45 eller bedre. Karbonatiseringdybden regnes vanligvis å være proporsjonal med kvadratroten av tiden. For 1000 år vs. 100 års levetid betyr dette at karbonatiseringen etter 1000 år er 3,2 ganger karbonatiseringsdybden etter 100 år.

Etter NS-EN-1992-1-1 [14] kommer konstruksjoner som står permanent neddykket i eksponeringsklasse XC1. I henhold til tabell NA.4.4N kreves 25 mm overdekning for 100 års levetid ved masseforhold 0,6. Dette gir 80 mm karbonatiseringsdybde etter 1000 år. 100 mm overdekning er da til sikker side. Det vil bli brukt betong med masseforhold 0,45 eller bedre, dette vil forlenge levetiden ytterligere.

Dersom betongen ikke er neddykket, dvs. ingen innlekkasjer i Hg-hall, forventes det en jevn luftfuktighet i tunnelen i størrelsesorden 70-90 % RF. Dette tilsvarer eksponeringsklasse XC3. Her er kravet 35 mm overdekning for 100 års levetid ved masseforhold 0,6. For 1000 års levetid får vi da krav om 112 mm overdekning. Da det vil bli brukt en betong med masseforhold 0,45 eller bedre vil

levetiden på 1000 år være sikret med 100 mm overdekning. I tillegg kommer ca. 20 mm for toleranse i armeringsplasseringen.

6.1.5 Dryppskader

Eventuelle lekkasjepunkter i Hg-hall vil kunne medføre fysiske skader på betongskallet pga. drypp og eventuelt rennende vann langs hallen.

6.2 Anbefalte tiltak for kvikksølvsarkofag i Hg-hall

I følgende kapittel er det listet opp tiltak som vil bidra til å øke bestandigheten til betongen og sarkofagen plassert i Hg-hall i et langtidsperspektiv.

Til sammenligning, henvises det til kapittel 6 i notat 611113-03-RIGberg-NOT-016, datert 30.09.2022, for anbefalte tiltak for betongsarkofag plassert i fjellhall omfylt med surt og sulfatholdig samresidue [2][3].

6.2.1 Betongtype

Det anbefales å bruke betongtype B35, M45 for sarkofag i Hg-hall. Betongsarkofagen skal etableres i fem nivåer og overfylles med steinmasser. Anbefalt fasthetsklasse blir da minimum B35 eller mer. Betongen skal ha masseforhold 0,45 eller bedre for å sikre bestandighet mot karbonatisering. Fasthetsklasse B35 kan kombineres med bestandighetsklasse M45 (masseforhold 0,45), noe som betyr at krav til masseforhold er ivaretatt.

6.2.2 Overdekning på armeringsjern

Grunnet karbonatiseringsdybde i et langtidsperspektiv, anbefales det å benytte en betongoverdekning på armeringsjernene lik 100 mm.

6.2.3 Type membran som hovedbarriere

Multiconsult har vært i kontakt med Geosyntia som blant annet tilbyr membranløsninger hvor det er krav til miljøvern, f. eks til bruk som bunn- og topptetting i avfallsdeponier. For deponering av HgS i betongsarkofag er det aktuelt å benytte en HDPE-membran som tetningsmembran [2]. Dette er en syrebestandig membran med høy motstandsevne mot kjemikalier. Membranen har generelt gode mekaniske egenskaper, høy fleksibilitet og stor gjennomhullingsmotstand, i tillegg til gode sveiseegenskaper [15][16].

Minimum tykkelse på membranen skal være 2,0 mm med inntil 10 m vannsøyle over laveste nivå i sarkofagen.

6.2.4 Forhindre dryppskader

Skader på betongskallet pga. drypp og eventuelt rennende vann langs hallen kan løses ved å legge ut geologisk bestandige masser av knust stein over sarkofagen når denne er ferdig etablert. Dette er også vurdert som aktuelt for å sikre stabiliteten av bergrommet i et langtidsperspektiv, se kapittel 5.8.

Det er også et alternativ å etablere en terskel i utløpet mot gipstunnel, slik at sarkofagen vil stå neddykket i sin helhet, noe som også vil eliminere muligheten for dryppskader.

Håndtering av lekkasjepunkter med tunnelduk i selve innfyllingsfasen av Hg-hall vil også være et aktuelt tiltak for å sikre bestandigheten til betongen og sikre gode arbeidsforhold i forbindelse med etablering av sarkofagen.

6.2.5 Terskel i åpning mot gipstunnel

Ved å etablere en terskel i overgangen mot gipstunnel, vil man sørge for at hele sarkofagen vil stå neddykket i det lange løp. Dette vil øke bestandigheten av betongen i et langtidsperspektiv ved at man hindrer uttørking av betongen, samt reduserer karbonatiseringshastigheten.

7 Miljørisikovurdering av kvikksølvsarkofag i Hg-hall

For å frigjøre HgS fra sarkofagen til omkringliggende Hg-hall og tilstøtende tunnelsystem, må følgende nedbrytningsmekanismer forekomme [2]:

1) Nedbrytning av armert betongskall
2) Tære hull på HDPE-membran
3) Bryte ned betongen som omslutter plastbeholderne
4) Bryte ned plastbeholderen (høydensitet polyethylen)

Betongsarkofagen er omsluttet av naturlig, rent lekkasjevann fra omkringliggende bergmassse som i seg selv ikke medfører kjemisk nedbrytning av det ytre betongskallet. Tilførsel av syre- og sulfatholdig lekkasjevann fra tilstøtende deponihaller fylt med samresidue ansees som lite sannsynlig grunnet plassering av Hg-hall i vertikalplanet oppstrøms deponihaller med grunnvannsstrøm fra vest mot øst (dvs. fra Hg-hall mot deponihaller), samt god bergmassekvalitet med gunstig oppsprekking i området. Behov for injisering av bergmassen mellom fjellhall 14 og Hg-hall må uansett være fokusområde i forbindelse med driving av ny Hg-hall. For å eliminere muligheten for lekkasjevann fra omkringliggende deponihaller til Hg-hall fullstendig, er tiltaket å plassere sålen av Hg-hall høyere enn hengen på tilstøtende deponihaller.

Karbonatisering vil medføre nedbrytning av betongen over tid. Ved bruk av en betong med masseforhold 0,45 og 100 mm overdekning på armeringsjern, vil karbonatiseringsdybden etter 1000 år være ivaretatt i tørr og neddykket tilstand.

Eventuelle lekkasjepunkter i Hg-hall kan medføre skader på betongoverflaten i form av drypp- og rennende vann, men dette løses ved å legge ut geologisk bestandige masser av knust stein over sarkofagen når dette er ferdig etablert. Ved å støpe opp en terskel i overgangen mot gipstunnel, kan man sørge for at hele sarkofagen vil bli stående neddykket i det lange løp, noe som også eliminerer muligheter for skader på betongskall grunnet drypp og rennende vann.

Oppfylling mellom sarkofag og utsprengt bergoverflate (vegger og heng) med geologisk bestandige steinmasser vil ivareta stabiliteten av bergrommet langs vegger og i heng i et langtidsperspektiv, uavhengig av levetiden på installert bergsikring.

Med dette som utgangspunkt vurderes nedbrytningstiden for det ytre betongskallet å være svært langsom før betongen er nedbrutt inn til membranen som fungerer som hovedbarrieren i sarkofagen. Faren for utslipp av HgS fra sarkofagen ansees derfor som utelukket.

Alt kvikksølvet i betongsarkofagen foreligger som HgS med et ekstremt lavt løselighetsprodukt K_{sp} = 4×10^{-53}. Dette er kvikksølvets mest stabile kjemiske forbindelse [3]. En eventuell lekkasje av HgS fra sarkofagen gjennom de fire barrierene nevnt over og videre ut i Hg-hall vil derfor medføre en minimal risiko for spredning av løst kvikksølv via eksisterende tunnelsystem og ut i dagen. De stabile forholdene i og rundt ny Hg-hall og kvikksølvsulfidets lave løselighetsprodukt, medfører at det deponerte kvikksølvsulfidet i sarkofagen ansees å bli liggende stabilt i et 1000 års perspektiv.

8 Oppsummering

Betongsarkofagen i Hg-hall vil være omsluttet av naturlig, rent lekkasjevann fra omkringliggende bergmasse som i seg selv ikke medfører kjemisk nedbrytning av det ytre betongskallet. Tilførsel av syre- og sulfatholdig lekkasjevann fra tilstøtende deponihaller fylt med samresidue ansees som lite sannsynlig grunnet plassering av Hg-hall i vertikalplanet oppstrøms deponihaller med grunnvannsstrøm fra vest mot øst, dvs. fra Hg-hall mot deponihaller. Hg-hallen er plassert langt inn i bergmassivet, noe som vil medføre stabile temperaturer over frysepunkt i det lange løp. Eventuelle lekkasjepunkter i Hg-hall kan medføre skader på betongoverflaten i form av drypp- og rennende vann, men dette løses ved å legge ut geologisk bestandige masser av knust stein over sarkofagen når dette er ferdig etablert. Karbonatisering vil medføre nedbrytning av betongen over tid. Ved bruk av en betong med masseforhold 0,45 og 100 mm overdekning på armeringsjern, vil karbonatiseringsdybden etter 1000 år være ivaretatt i tørr og neddykket tilstand. Det er planlagt å fylle opp tomrommet mellom sarkofag og utsprengt bergoverflate (vegger og heng) med geologisk bestandige steinmasser. Dette vil ivareta stabiliteten av bergrommet langs vegger og i heng i et langtidsperspektiv, uavhengig av levetiden på installert bergsikring.

Nedbrytningstiden for det ytre betongskallet vurderes å være svært langsom før betongen er nedbrutt inn til membranen som fungerer som hovedbarrieren i sarkofagen. Alt kvikksølvet i betongsarkofagen foreligger som HgS med et ekstremt lavt løselighetsprodukt $K_{sp} = 4 \times 10^{-53}$. Faren for utslipp av HgS fra sarkofagen ansees derfor som utelukket i et langtidsperspektiv.

Anbefalte tiltak for sikre bestandigheten til betongsarkofagen i et langtidsperspektiv er gitt i kapittel 6.2.

9 Referanser

[1] Miljødirektoratet, Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven. Boliden Odda AS. Tillatelsesnummer 2003.0272.T. Anleggsnummer 4618.0012.01. Tillatelse sist endret 7. august 2023.

[2] Multiconsult Norge AS, notat 611113-03-RIGberg-NOT-016. Datert 30.09.2022. Redegjørelse for bestandigheten til betong i kvikksølvsarkofag og tettematerialer.

[3] Sintef AS, rapport nr. 102027187. Datert 12.09.2022. Bestandighet av betong i kvikksølvsarkofag.

[4] Statkraft Grøner AS. Rapport nr. 122790.1 datert 07.02.2023 med referanser. Deponihaller Odda. Sammenstilling av bergtekniske forhold. Hall 1-12.

[5] Multiconsult avd. Noteby, notat 610223-1, datert 15. august 2005. HMS – bergteknikk og miljøgeologi

[6] Multiconsult avd. Noteby, Memo 27092004, 20. juni 2005. Preliminary revision of geological and evaluation of cavern 13.

[7] Multiconsult Norge AS, notat 611113-03-RIGm-NOT-006, datert 30.06.2022. Fjellhall 1-12, Redegjørelse for fremdrift ift. utredningspunkt 14.15.

[8] Multiconsult rapport nr. 610081-3, datert 17.10.2006. Bergromsdeponier i Mulen. Avfallsforskriften. Stedsspesifikk risikovurdering.

[9] Multiconsult-rapport nr. 611113-03-RIGm-RAP-001_rev01, datert 05.11.2022. Stedsspesifikk risikovurdering fjellhall 21-30.

[10] KMS Hakala Oy og Outokumpu technology Oy. 2005. Stability of Jumbo Caverns in Odda – Rock Mechanical Report.

[11] Boliden Odda AS Fjellhaller, sluttrapport prosjektutviklingsgruppa, datert jan. 2005.

[12] NGI, Bruk av Q-systemet, håndbok bergmasseklassifisering og bergforsterkning, datert juni 2022.

[13] Multiconsult-notat nr. 10251822-01-RIGberg-NOT-003 Likevektsbetraktning av potensielle bergkiler, datert 24.11.2023.

[14] Standard Norge, «Eurokode 2 - Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger (NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2021)2.

[15] Chemical resistance of plastics: https://www.buerkle.de/files_pdf/wissenswertes/chemical_resistance_en.pdf

Plastics and their properties:

https://www.buerkle.de/files_pdf/wissenswertes/technology_properties_of_plastics_en.pdf

[16] AGRU smooth HDPE liner: https://www.agru.at/en/products/lining-systems/component-measures/cat/hdpe-liners-nrwagru-standard-4/p/1903510%2C19035%2C190/d/2/