

Bergmesteren Raudsand AS

Grunnvannsforhold Raudsand

Vurderinger av grunnvannsforhold ved planlagt deponi for farlig uorganisk avfall ved Raudsand



Oppdragsnr.: 5165665 Dokumentnr.: 2 Versjon: C02
2017-06-16

Oppdragsgiver: Bergmesteren Raudsand AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Tore Frogner v/Vegdekke
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Kevin J. Tuttle
Fagansvarlig: Kevin J. Tuttle
Andre nøkkelpersoner: Eivind Halvorsen

C02	2017-06-16	Utkast til oppdragsgiver	EiHal	KJT	KJT
A01	2017-06-16	Til intern kvalitetssikring	EiHal	KJT	KJT
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Det utredes muligheten for å anlegge et deponi for farlig uorganisk avfall i fjellhaller ved Raudsand.

Norconsult har i den forbindelse fått i oppdrag fra Bergmesteren Raudsand AS å vurdere grunnvannsforhold ved de planlagte fjellhallene. Norconsult har i denne forbindelse også utarbeidet en grunnvannsmodell for å simulere grunnvannsforholdene i fjellet ved dagens og fremtidige situasjoner.

Rapporten omfatter resultater, vurderinger og konklusjoner angående:

Grunnvannstand

Målte grunnvannstander i observasjonsbrønner viser at grunnvannet ved fjellhallene står generelt tett opp mot dagen. Dette tyder på relativt tett berg. Grunnvannsnivået ved brønnen Bh1 er ca. 80 meter under terreng og er dermed et unntak. Grunnvannsnivået i Bh1 er sannsynligvis redusert av eksisterende nedlagte gruver. Etablering av fjellhaller vil sannsynligvis også redusere grunnvannstand over fjellhallene og adkomsttunnelen betraktelig.

Grunnvannskvalitet

Analyseresultat av prøver av grunnvannet ved fjellhallene viser pH verdier som er basiske. Dette tyder sterkt på at innsig av surt grunnvann til fjellhallene ikke vil bli et problem. Surt grunnvann kan føre til økt utlekking av forurensning som tungmetaller fra deponert avfall. Grunnvannets kvalitet er typisk og forventet for typen bergart.

Bergets vannledningsevne

Resultater fra pumpetester av brønner ved planlagte fjellhaller viser at fjellet er relativt tett. Resultater fra strømningsmålere i brønnene tyder på at det ikke er store vannførende sprekkesoner i berget og at det blir tettere nede på nivå med fjellhallene. Estimert transporttid av grunnvann fra østlig fjellhall til dagens gruveganger er ca. 60 år under dagens forhold. Evt. forurensninger vil sannsynligvis bruke betraktelig lenger tid på grunn av adsorpsjon til berg og løsmasser i sprekker.

Vannbalanse

Resultater fra pumpetester, strømningsmålinger i brønner og resultater fra kalibrering av grunnvannsmodellen tyder på at berget er relativt tett og at kun en liten del (3-5 %) av total avrenning tilgjengelig vil infiltrere berget. Unntaket er i nærheten av eksisterende gruver hvor det er sannsynlig at en større andel av avrenningen (ca. 20 %) infiltrerer berget på grunn av økt oppsprekking grunnet gruvevirksomhet, sjakter og hulrom i berget. Estimert innlekkasje til en fjellhall under drift er 1,4 l/s.

Grunnvannsmodell

Modellen av de hydrogeologiske forhold på Raudsand er godt kalibrert i forhold til målte grunnvannsnivåer, vannføringsmålinger og estimerte vannledningsevne verdier i brønner i området, men modellen vil allikevel ha usikkerheter. Dette betyr at resultatene må anses som veiledende.

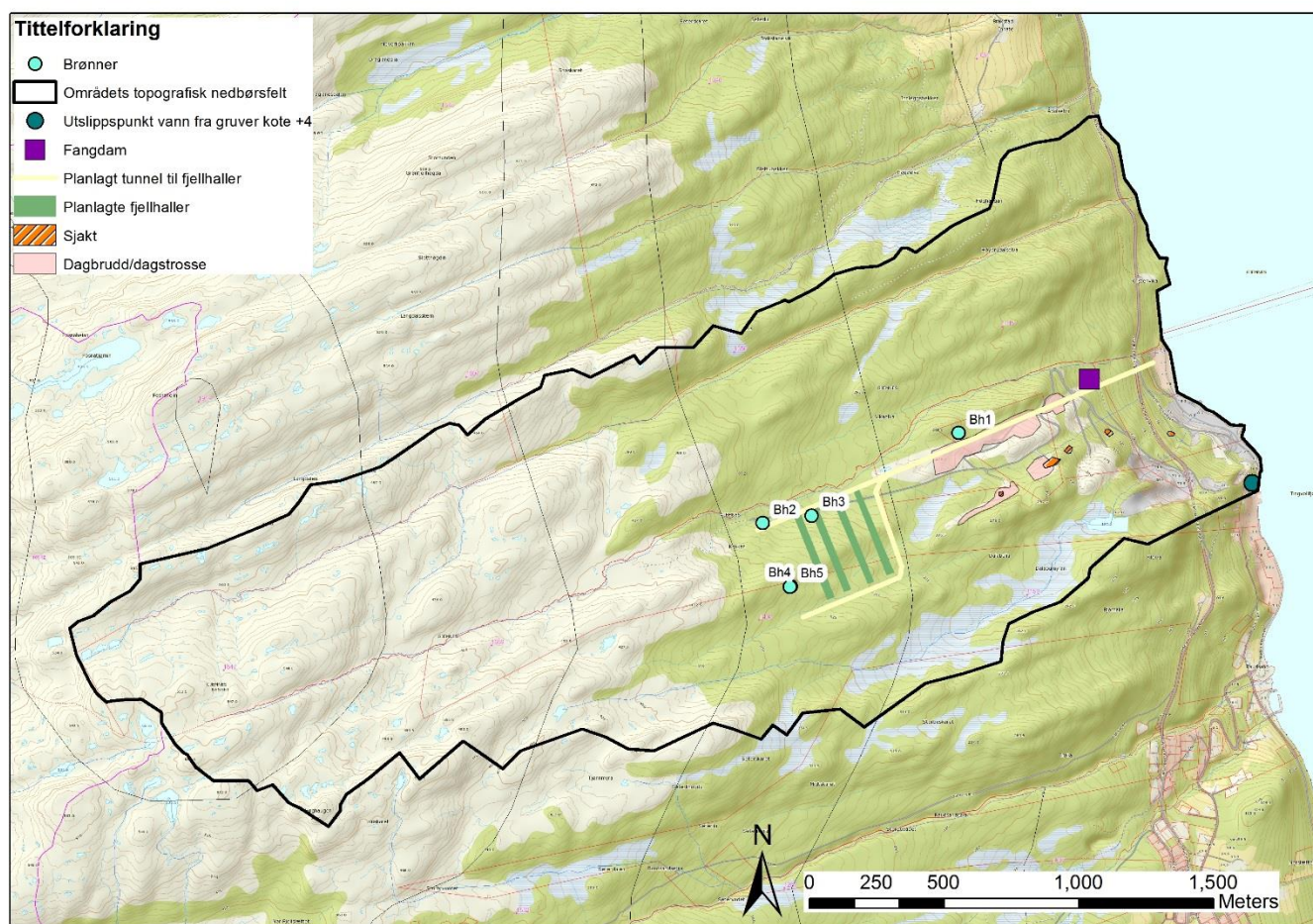
Innhold

1	Innledning	5
2	Grunnvannstand	8
3	Grunnvannskvalitet	12
4	Vannledningsevne i berget og strømningshastighet på grunnvannet	14
5	Vannbalanse til fjellhallene	16
6	Grunnvannsmodellen	18
6.1	Generelt om modellens oppbygning	18
6.2	Grensebetingelser i modellen	18
6.3	Parametere	20
6.4	Konseptuell modell:	21
6.5	Modellene som ble kjørt i Visual Modflow:	22
6.6	Modellscenarier	22
6.7	Kalibrering og verifisering av modellen	22
6.8	Usikkerhet i modellen	24
6.9	Resultater og vurderinger	25
6.9.1	Dagens situasjon	25
6.9.2	Fremtidig situasjon under drift	27
6.9.3	Fremtidig situasjon etter avslutning av deponi	28
6.10	Oppsummering grunnvannsmodell	29
7	Konklusjon	31
8	Referanser	32

1 Innledning

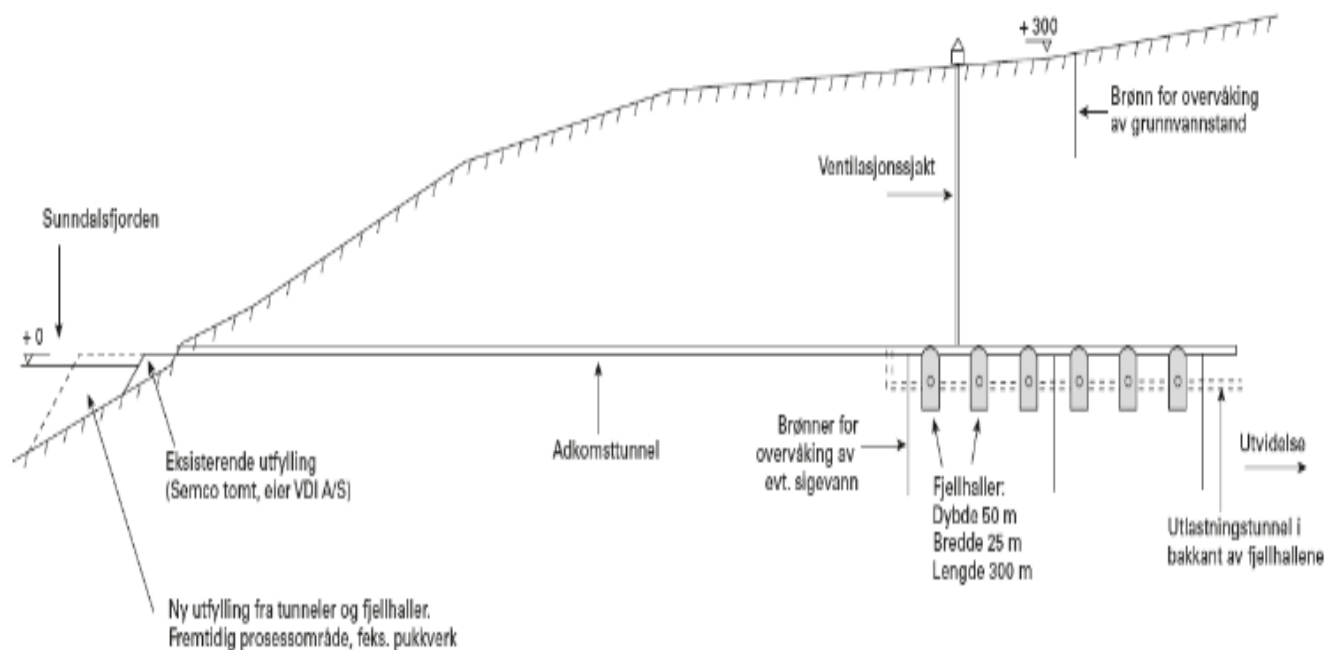
Det utredes muligheten for å anlegge et deponi for farlig uorganisk avfall i fjellhaller ved Raudsand.

Norconsult har i den forbindelse fått i oppdrag fra Bergmesteren Raudsand AS å vurdere grunnvannsforhold ved de planlagte fjellhallene (Figur 1) i dagens situasjon, fremtidig situasjon under drift og ved en fremtidig situasjon etter avslutning av deponiet. Norconsult har i denne forbindelse utarbeidet en grunnvannsmodell for å simulere grunnvannsforholdene i fjellet ved dagens og fremtidige situasjoner. NGU har utført geofysiske målinger fra helikopter [1] og boret 5 brønner som det er foretatt geofysiske og hydrogeologiske undersøkelser i brønnene [2] [3]. Det er utført vannføringsmålinger [4] ved utslippspunkt av vann fra eksisterende nedlagte gruveanlegg ved Tingvollfjorden på kote +4 for å kunne vurdere strømningsforhold og vannvolum som siger gjennom berget (Figur 1).



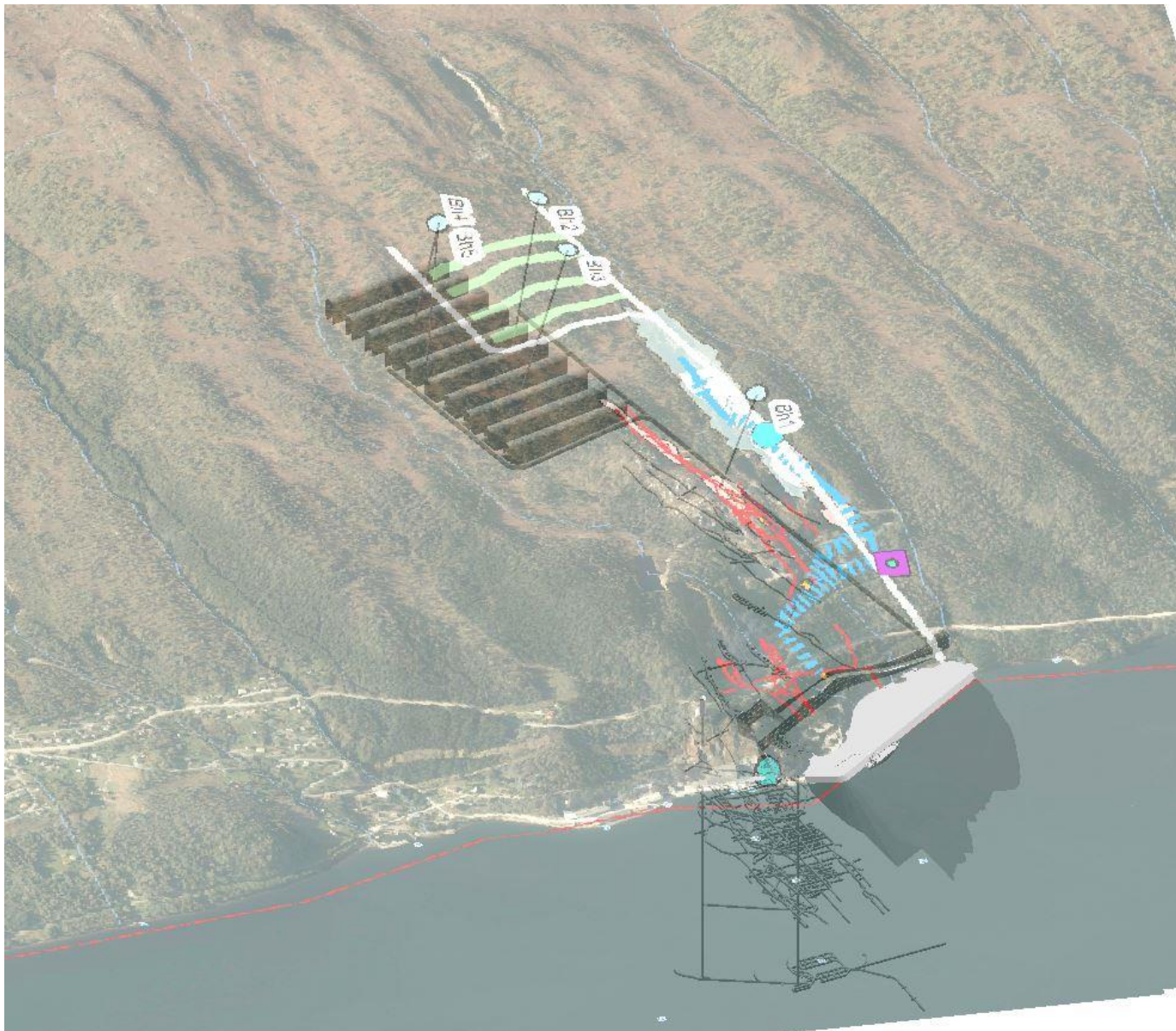
Figur 1: Fjellhallene er planlagt vest for dagens nedlagte gruver og deponier. Brønnene Bh1-Bh5 er etablert for å gi informasjon om hydrogeologiske og geologiske forhold i berget [2]. På kote +4 er det et utløp for vann fra nedlagte gruver. Sorte koter i kartet er koter for mengde naturlig overflateavrenning [5].

Figur 2 viser en prinsippskisse av hvordan fjellhallene er tenkt etablert med en adkomsttunnel på kote +4 og fjellhaller som går fra kote 0 og ned til kote -50 ca. 1 200 meter vest for Tingvollfjorden.



Figur 2: Grov prinsippskisse av planlagte fjellhaller med adkomsttunnel [6].

Figur 3 viser 3d modell av eksisterende gruver nærme Tingvollfjorden, planlagte fjellhaller med adkomsttunnel og etablerte brønner.



Figur 3: 3D visning av dagens gruver, planlagte fjellhaller med adkomsttunnel, og fjellbrønner. Hvit adkomsttunnel og grønne fjellhaller er projeksjonen til overflaten, men det mørke settet er plasseringen i dypet.

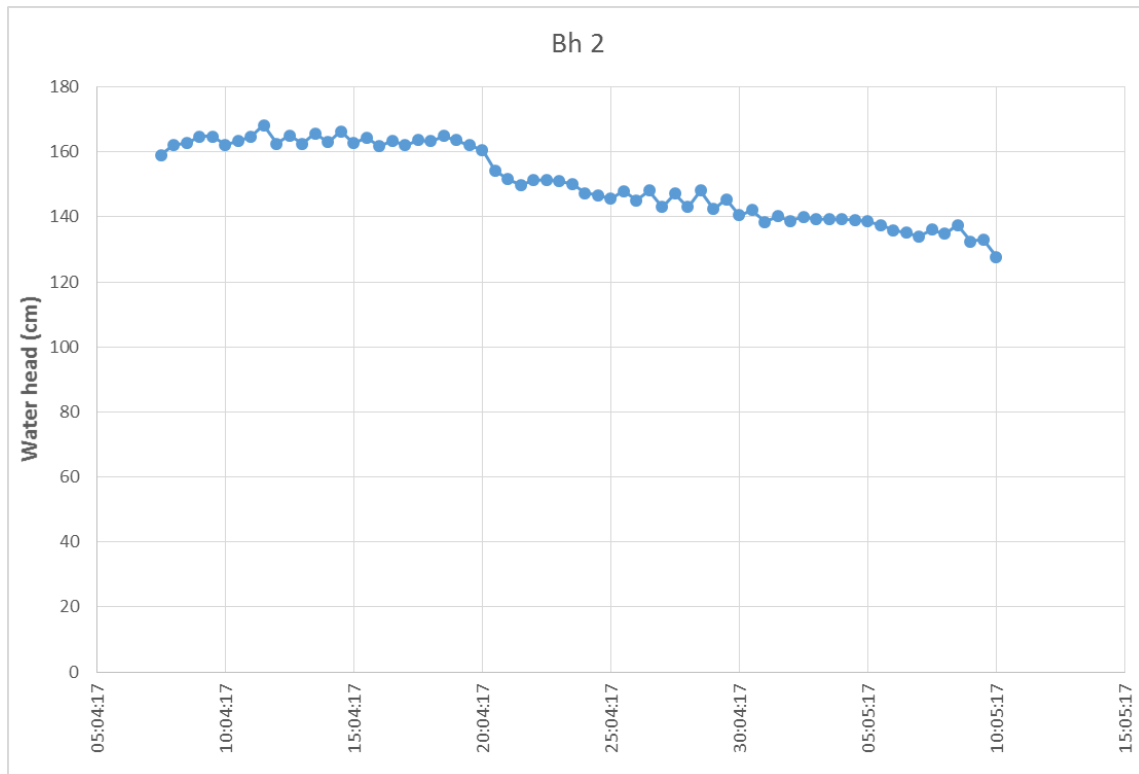
2 Grunnvannstand

Det ble etablert 5 brønner i desember 2016- januar 2017 (Figur 1) av Båsum Brønnboring AS. Det ble foretatt geofysiske logginger i slutten av januar 2017 av NGU [2] og prøvepumping av brønnene ble foretatt i midten av mars 2017 [3]. Tekniske brønndata er vist i Tabell 1.

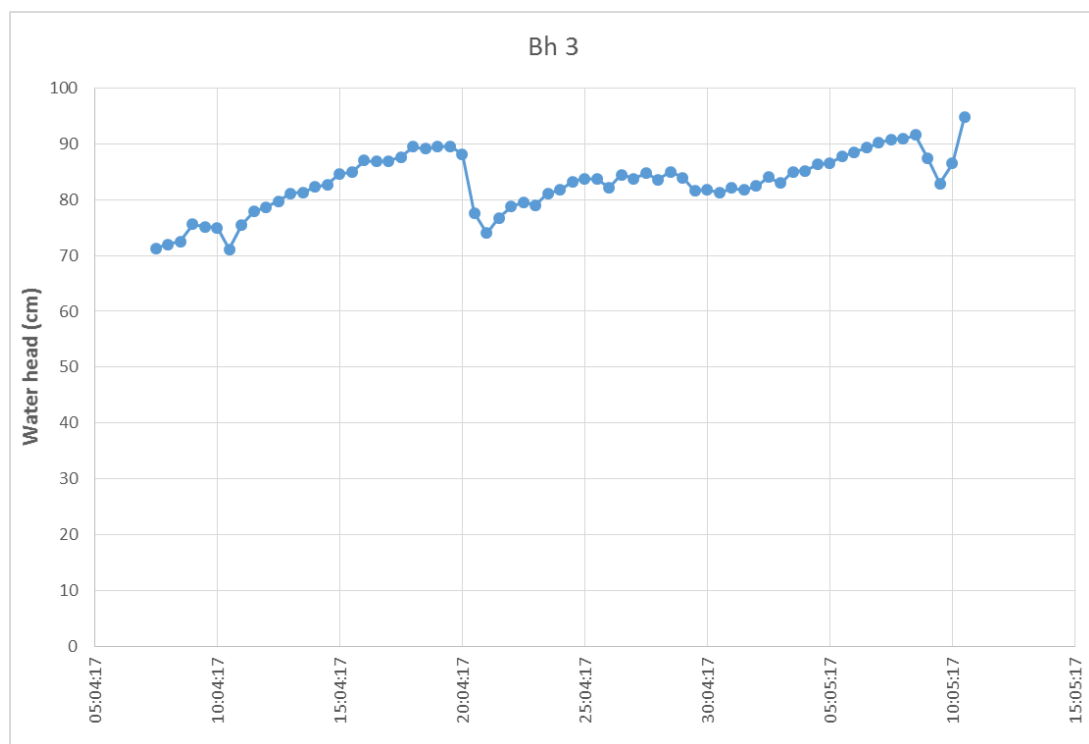
Tabell 1: Brønndata, koordinatsystem UTM32, logget i slutten av januar 2017. Midlere grunnvannsnivå basert på logging av grunnvann i brønnene Bh2-Bh5 (figur 4-figur 7) og måling av grunnvannsnivå i Bh1. Nivået i Bh1 er justert for fallet i brønnen siden denne er målt og ikke logget med overliggende vannsøyle som de andre.

Navn	Nord	Øst	Terrenghøyde (m.o.h)	Fall	Retning	Diam (cm)	Boret (m)	Dyp under terreng (m)	Midlere grunnvannsnivå (m.o.h)
Bh1	6968628	454333	245	70 °	N220	14	300	282	170
Bh2	6968294	453606	315	70 °	N130	14	345	324	300
Bh3	6968322	453788	298	70 °	N160	14	351	330	297
Bh4	6968060	453710	349	75 °	N160	14	247	239	327
Bh5	6968058	453710	349	85 °	N158	14	351	350	335

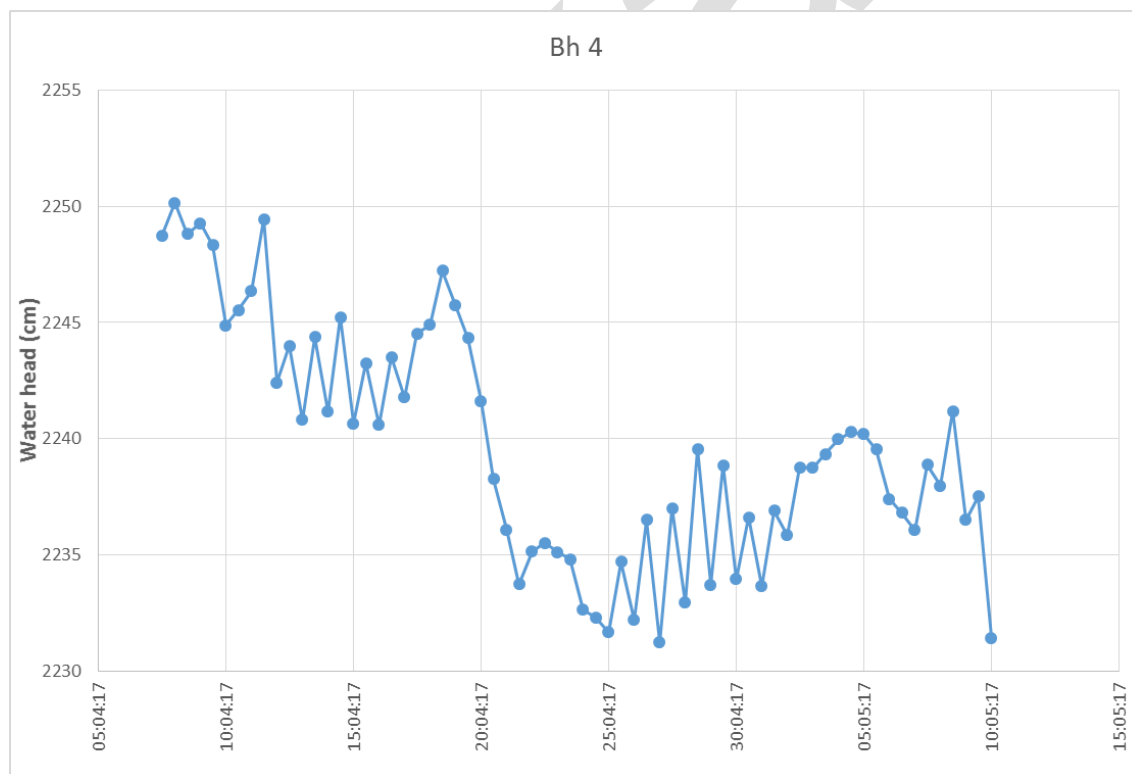
Grunnvannstanden ved brønnene er blitt logget med Diver-sensorer i observasjonsbrønnene Bh2, Bh3, Bh4 og Bh5 i løpet av april 2017. Logging av grunnvannstand i Bh1 har ikke fungert på grunn av tekniske problemer. I forbindelse med prøvepumping av brønnene er det oppgitt at grunnvannstanden i Bh1 lå på ca. 81 meter under terreng. Det var derfor ikke mulig å foreta prøvepumping av brønnen på grunn av stor løftehøyde og begrenset pumpekapasitet [3]. Resultater fra logging av grunnvannstanden i brønnene Bh2, Bh3, Bh4 og Bh5 er vist i figur 4 til figur 7. Brønnene Bh2 og Bh3 har grunnvannsnivå nesten i dagen. Bh3 viser en svak økende trend i grunnvannsnivå (hever seg ca. 20 cm), mens de andre brønnene har en svak synkende trend. I brønn Bh2 som er nærmest Bh3 og mest relevant for sammenligning synker grunnvannstanden med ca. 30 cm i samme tidsrom. Årsaken til at Bh3 har litt ulik de andre er usikker. Mulige årsaker kan være tilsig av overflatevann via brønntoppen til brønn Bh3 eller at brønn Bh3 er i kontakt med et trykksystem i fjellet som er isolert fra de andre brønnene. Bh4 ble ikke boret ned til ønsket dyp (ved fjellhallene, på 350 m under terreng) pga. av en knusningssone som gjorde det teknisk umulig [3]. Bh5 ble dermed etablert på samme sted, men med en brattere vinkel. Grunnvannsnivået i Bh4 er ca. 22,5 meter under terreng mens grunnvannsnivået i Bh5 er ca. 14-15 meter under terreng. Felles for alle brønnene er at nivået ikke har endret seg mye i løpet av loggeperioden. Det høyere grunnvannsnivået i Bh5 sammenlignet med Bh4 tyder på at brønnene ligger i to forskjellige trykksystemer. Bh5 går dypere ned til fjellhallnivå 350 m under terreng og vil ha krysset flere sprekkesoner enn Bh4. Dette gjør det sannsynlig at Bh5 er mer representativ for tryknivået som er representativt for fjellhallene siden disse er i samme nivå som Bh5 og vil ha krysset flere sprekkesoner. Grunnvannsnivået i Bh1 er betydelig dypere under terreng enn de andre brønnene. Dette tyder på at eksisterende gruver har senket grunnvannsspeilet ved Bh1. Bh1 er den brønnen som ligger nærmest eksisterende gruver.



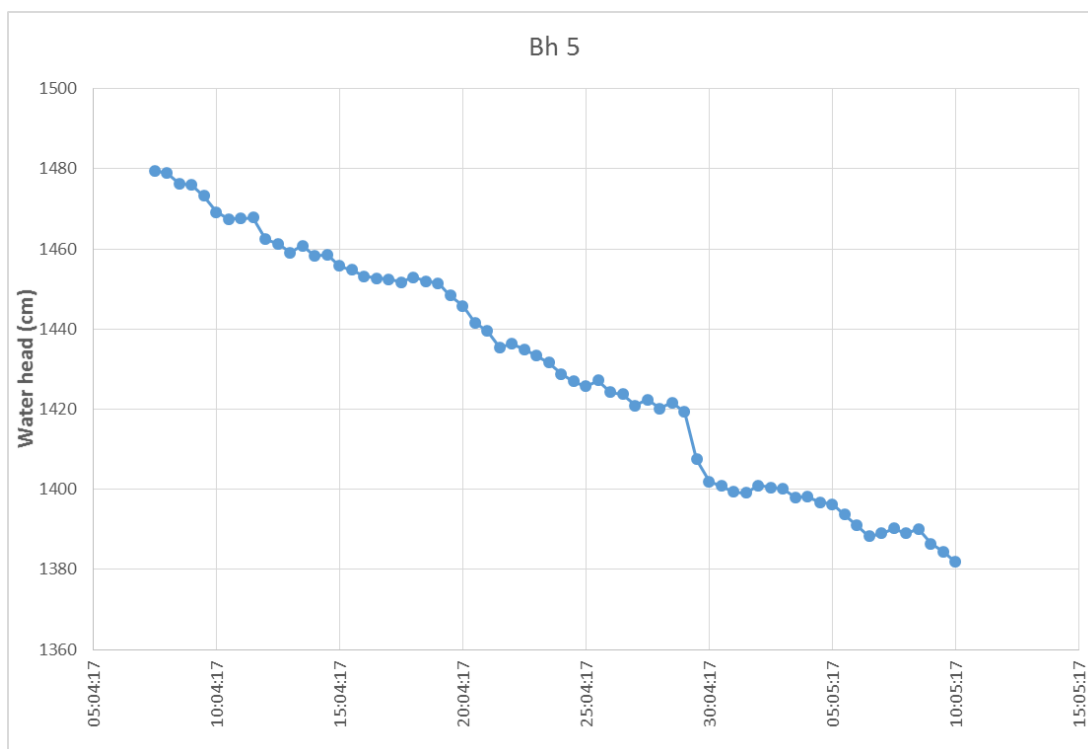
Figur 4: Grunnvannsnivåer i brønn Bh2 logget med Diver fra 7.april 2017 til 10. mai 2017



Figur 5: Grunnvannsnivåer i brønn Bh3 logget med Diver fra 7.april 2017 til 10. mai 2017



Figur 6: Grunnvannsnivåer i brønn Bh4 logget med Diver fra 7.april 2017 til 10. mai 2017



Figur 7: Grunnvannsnivåer i brønn Bh5 logget med Diver fra 7.april 2017 til 10. mai 2017

Grunnvannsmodellen er kalibrert mot de målte grunnvannsnivåene i brønnene (se kapittel 6.7). Resultater fra grunnvannsmodellen viser forventet grunnvannstand ved østligste fjellhall i dagens situasjon (265 moh, ingen av brønnene befinner seg ved den østligste fjellhallen), under fremtidig drift av deponiet (100 moh) og etter avslutning av deponiet med drenert adkomsttunnel (120 moh). For situasjon med avsluttet deponi og tett adkomsttunnel gjelder vurderingene gjort for dagens situasjon. Årsaken er at med tett adkomsttunnel vil trolig fjellhallene fylle seg opp med grunnvann og forholdene gå tilbake til naturlig tilstand. Se kapittel 6.9.1, 6.9.2, 6.9.3 og 6.10 for nærmere beskrivelse av modelleringsresultater.

3 Grunnvannskvalitet

Berggrunnen i området er en granittisk gneis med innslag av amfibolitter som er assosiert med sulfider. Sulfider kan føre til surt grunnvann. Surt grunnvann kan mobilisere tungmetaller og løse opp forbindelser i stabilisert avfall [6]. Derfor har det vært viktig å kartlegge fordeling av sulfider og analysere grunnvannskjemien i området.

Det ble ikke påvist tegn til større sulfidmineraliseringer ved hjelp av elektromagnetiske målinger fra helikopter i 2016 [1]. Brønnene Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5 ble derfor undersøkt med geofysiske metoder som induert polarisasjon (IP), selvpotensialmålinger (SP) og resistivitetsmålinger for å kunne påvise ev. mineraliseringer av sulfider [2]. Det ble påvist en potensiell sulfidsone ved brønn Bh1 på dyp 229-244 meter under terreng. Dette området er nedstrøms fjellhallene, og er sannsynligvis rester fra malmen ved Bh1.

Resultater fra vannanalyser fra brønnene i nærheten i fjellhallene (Bh2, Bh3 og Bh5) viser at grunnvannet er noe basisk med pH verdier mellom 7,4 – 8,3 og at ledningsevnen er lav [7]. Verdiene for ledningsevne er compatible med bergarten i området, det er derfor ingen tegn på innsig av grunnvann som kan være påvirket av eksisterende deponier. Dette er heller ikke forventet da nærmeste deponi (deponi 2) ligger ca. 300 m nedstrøms i øst mot fjorden. Verdier for pH og ledningsevne varierer lite nedover i dypet, noe som tyder på at vannet i brønnene er grunnvann og lite påvirket av tilsig fra overflaten. Brønnen Bh1 skiller seg ut med svakt surt vann, lavere ledningsevne og lavere alkalitet. De lavere verdiene for pH, ledningsevne og alkalitet kan tyde på at denne brønnen er påvirket av tilsig fra overflaten. Antagelsen blir støttet av rapportering om rennende vann inn i Bh1 over grunnvannsspeilet under logging av brønnen [3]. Verdier for pH ble logget rett etter boring. I brønn Bh1 ble det logget veldig høy pH (9,3) ved 87 m dyp. Dette kan tyde på at brønn Bh1 har noe innsig fra deponi 2. Bh1 er lokalisert rett nord for deponi 2 og ligger ca. 450 m nedstrøms planlagt område for fjellhaller. Brønnen er dermed i mye mindre grad representativ for forholdene ved fjellhallene enn brønnene Bh2, Bh3 og Bh5.

Innholdet av kationer og anioner er generelt lavt i alle brønnene [7]. Dette er som forventet for bergartene i området. Brønn Bh1 har noe mer innhold av klorid og sulfat enn de andre brønnene, men ikke utenfor hva som er normalt i grunnvann i Norge [3]. Det er ikke sannsynlig med saltvannsinntrengning i Bh1 da grunnvannsspeilet er høyt over havnivå (målt til 170 moh., se Tabell 1).

Tabell 2: Analyseresultater pH, ledningsevne og alkalitet [3].

Brønnnavn	Dyp (m)	pH lab	Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Alkalitet (mmol/l)
Bh2	85	8.0	207	1.9
Bh2	126	7.9	203	1.9
Bh2	165	7.9	202	1.9
Bh2	261	7.8	200	1.9
Bh2	295	7.7	196	1.8
Bh3	77	8.3	222	2.1
Bh3	239	8.2	219	2.1
Bh3	340	8.1	214	2.0
Bh5	53	7.4	203	1.9
Bh5	109	7.4	198	1.9
Bh5	220	7.5	207	2.0

Bh5	329	7.4	204	1.9
Bh1	87	6.6	108	0.59
Bh1	185	6.8	130	0.81
Bh1	230	6.8	136	0.86

Logging av vanntemperaturer i hall-nivå viser mellom 10-11 °C [3].

De basiske pH-verdiene i grunnvannet fra brønnene ved fjellhallene gir sterke indikasjoner på at det ikke vil komme innsig av surt grunnvann til fjellhallene under drift av deponiet.

4 Vannledningsevne i berget og strømningshastighet på grunnvannet

Brønnene Bh2, Bh3 og Bh5 ble prøvepumpet i mars 2017.

Q = vanngiverevnen (m^3/s)

- K = vannledningsevne (m/s)
- H = Del av brønn med vann før pumping (m)
- h = Del av brønn med vann under pumping (m)
- R = Radius på influensområdet under pumping (m).
- r = Radius på brønnen (m).

Resultatet vises i Tabell 3 siste kolonne.

Tabell 3 viser brønndata fra prøvepumpingen. Brønnene ble pumpet ned til pumpenivå og deretter ble vannivået holdt ved pumpen mens pumpet vannvolum ble målt. Dette sikrer at kun tilsig av vann til brønnene blir pumpet opp og ikke lagret vann i brønnen. Bh1 hadde et vannivå på ca. 81 m under terreng. Pumpen hadde ikke kapasitet til så stor løftehøyde. Bh4 antas ikke ble pumpet da Bh5 er på samme sted og mer representativ for forholdene ved fjellhallene da den er dypere (boret ned til fjellhallenes dybde). Vanngiverevnen er normal og til dels lav (Bh5) for bergarten granittisk gneis [8].

Strømningsmålinger i borehullene ble utført i forbindelse med prøvepumpingen ved hjelp av en strømningsmåler (Impeller flowmeter) som føres ned i brønnen [3]. Generelt kan resultatene fra strømningsmålingene karakteriseres med at det er vannstrømning inn og ut av brønnene ganske jevnt fordelt nedover i dypet. På nivå med planlagte fjellhallene gir brønnene generelt lite vann.

Bergets vannledningsevne har blitt beregnet for brønnene i pumpetesten ved hjelp av en Driscolls likning [9] der likningen blir løst for K (vannledningsevnen).

$$1. \quad Q = \frac{1.366K(H^2 - h^2)}{\log\left(\frac{R}{r}\right)}$$

- Q = vanngiverevnen (m^3/s)
- K = vannledningsevne (m/s)
- H = Del av brønn med vann før pumping (m)
- h = Del av brønn med vann under pumping (m)
- R = Radius på influensområdet under pumping (m).
- r = Radius på brønnen (m).

Resultatet vises i Tabell 3 siste kolonne.

Tabell 3: Brønndata [3] og beregnet vannledningsevne [9] for brønnene.

Brønn	Pumpedyp (m)	Grunnvannsenkning(m)	Vanngiverevne (l/t)	Radius brønn (m)	Beregnet vannledningsevne K (m/s)
Bh2	40	37	900	0,14	3e-8
Bh3	40	37	600	0,14	2e-8
Bh5	40	24	170	0,14	1e-8

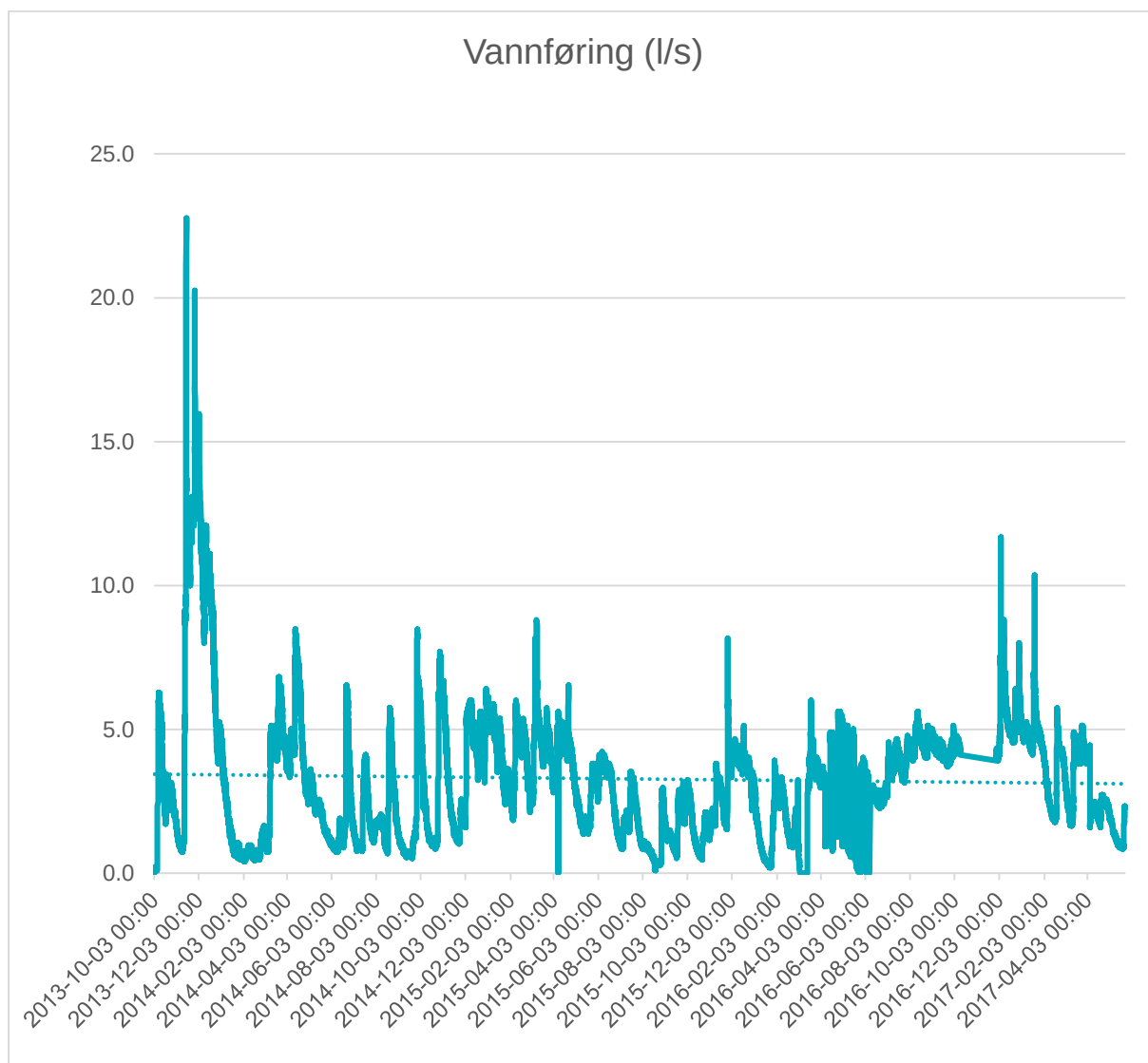
Berg med vannledningsevne verdier i denne størrelsesorden kan karakteriseres som relativt tett. Vannledningsevne-verdiene er et gjennomsnitt for hele brønnen under grunnvannsspeilet, og ikke for de enkelte sprekker og svakhetssoner.

Strømningshastigheten på grunnvannet på nivå ved fjellhallene ved dagens situasjon er simulert i grunnvannsmodellen (se kapittel 6.9.1). Vannhastigheten på grunnvannet i nivå med fjellhallen er på ca. $1\text{e-}7$ m/s eller ca. 3 m/år. Gjennomsnittlig vannhastighet mellom fjellhallen og Tingvollfjorden er på ca. $5\text{e-}7$ m/s eller 16 m/år. Estimert tid for grunnvann å strømme fra østlig fjellhall til dagens gruveganger er ca. 60 år. Resultatene har usikkerheter (se kapittel 6.8) og må sees som veiledende. For resultater fra simuleringer av grunnvannsmodellen se kapittel 6.9.

5 Vannbalanse til fjellhallene

Figur 1 viser det topografiske nedbørsfeltet fjellhallene ligger innenfor. Nedbørsfeltet er ca. 5 370 000 m². Gjennomsnittlig midlere avrenning for området er på ca. 1 400 mm/år [5]. Dette gir en midlere avrenning på ca. 240 l/s gjennom nedbørsfeltet. Mesteparten av vannet renner av på overflaten mens noe infiltrerer berget og blir grunnvann. Vannet transporteres så gjennom berget mot Tingvollfjorden via sprekkesoner, forvitringssoner og enkeltsprekker. Hvor mye av vannet som infiltrerer og transporteres i berget er i stor grad avhengig av bergets vannledningsevne. Lenger ned i dypet vil berget være tettere enn i dagfjellet på grunn av trykk fra overliggende berg. Dermed vil sannsynligvis de største vannmengdene transporteres i de øvre lag av bergmassen. Det kan allikevel ikke utelukkes at det stedvis er soner med mye vann dypt i berget på grunn av større sprekkesoner/forvitringssoner og høyt grunnvannstrykk.

Det er utført vannføringsmålinger ved utslippspunkt av vann fra eksisterende nedlagte gruveanlegg ved Tingvollfjorden på kote +4. Datagrunnlaget inneholder målinger fra oktober 2013 til mai 2017. Grunnvannsmodellen er kalibrert mot gjennomsnittet av vannføringsmålingene (se kapittel 6.3). Gjennomsnittsvannføringen for alle målingene er 3,3 l/s og er sannsynligvis representativ for mengde grunnvann som tilføres utslippspunktet. Ved store nedbørsepisoder øker vannføringen ved punktet på grunn av tilførsel av overflatevann fra sjakter som går opp i dagen i forbindelse med nedlagte gruver oppstrøms. Maksimalverdier for vannføring vurderes derfor ikke å være representative for grunnvannstrømning.



Figur 8: Målte vannføringsverdier ved utslippspunkt til Tingvollfjorden for eksisterende gruver på kote +4 (Figur 1). Gjennomsnittsvannføring på 3,3 l/s er vist med stiplet linje [4].

I grunnvannsmodellen infiltreres 3-5 % av den totale avrenningen [5] til berget og blir grunnvann. I nærområdet til gruva er infiltrasjonsraten på ca. 20 % på grunn av antatt høyere oppsprekking i dette området grunnet tidligere gruvedrift. Estimater på infiltrasjonsrate har kommet frem etter å ha kalibrert grunnvannsmodellen mot vannføringsmålingene ved kote +4, målte grunnvannsnivåer i observasjonsbrønnene (Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5) og bergets beregnede vannledningsevne (se kapittel 6.2, 6.7 og 4).

Under drift av deponiet viser resultater fra grunnvannsmodellen en estimert innlekkasje til en fjellhall (den østligste) på 1,4 l/s eller 121 m³/døgn ved stasjonære forhold (se kapittel 6.9.1). Stasjonære forhold vil si at grunnvannsnivået over fjellhallen har blitt redusert til et stabilt nivå. Ved etablering av fjellhallen kan det påregnes større lekkasjer i begynnelsen, så reduseres de ned til likevekts-mengden. Dette estimatet har til dels store usikkerheter og må anses som veiledende (se kapittel 6.8). Se kapittel 6.9 for resultater fra simulering av grunnvannsmodellen.

6 Grunnvannsmodellen

6.1 Generelt om modellens oppbygning

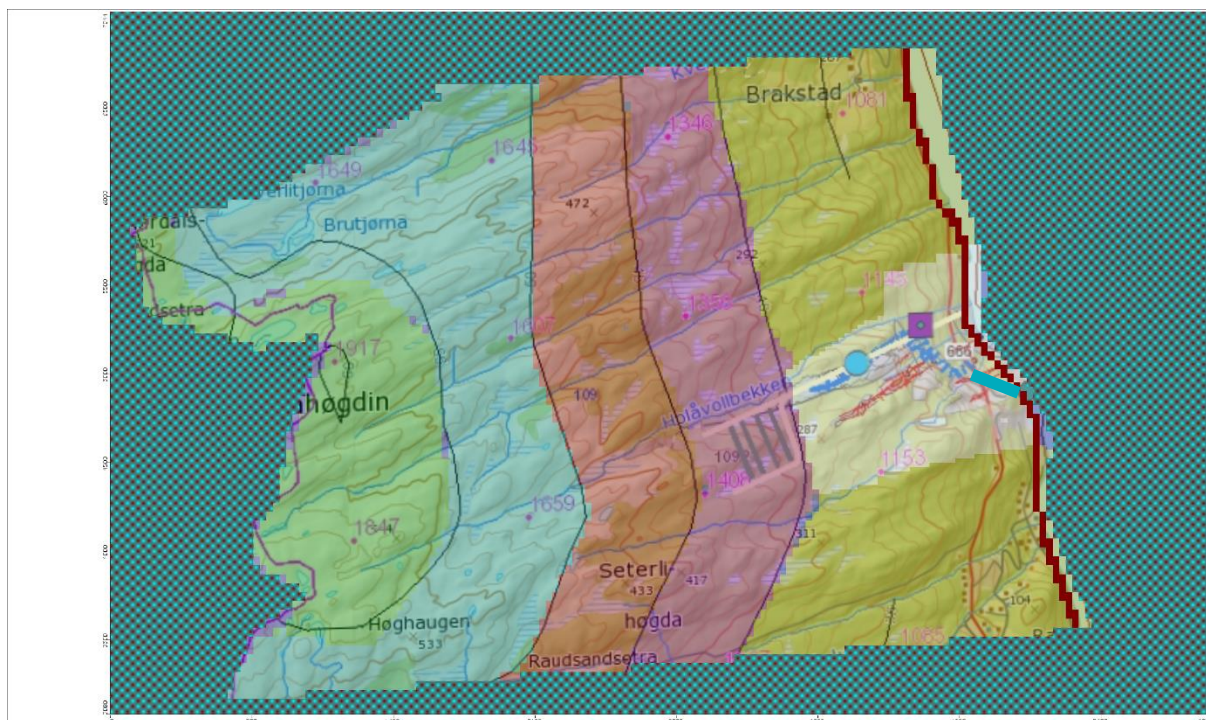
Området er modellert som en åpen akvifer der grunnvannet mottar nydanning fra nedbør fra terrengoverflaten. Strømningsmodellen er løst stasjonært for dagens og planlagt fremtidige situasjoner. En stasjonær strømningsmodell har nådd stabile forhold. Modellen er kalibrert mot observerte grunnvannsnivåer logget i observasjonsbrønner (Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5) i løpet av april 2017. Brønn Bh4 ligger på samme sted som brønn Bh5 og er derfor utelatt fra kalibreringen. En konstant tracerkilde (et vilkårlig stoff som følger grunnvannet) er lagt inn i modellen ved østligste fjellhall. Transport av traceren er modellert over et tidsrom på 40 år. Modellens transportdel løses som en tidsavhengig modell for å vise hvordan traceren fra fjellhallen forflytter seg i modellen og med hvilken hastighet.

Området som modelleres strekker seg fra vannskille i vest og østover mot Tingvollfjorden. Området er ca. 5 000 meter i øst-vest retning og 3 500 meter i nord-sør retning. Størrelsen på området som modelleres er betraktelig større i nord-sør retning enn områdets topografiske nedbørsfelt (Figur 1). Dette skal sikre at grunnvannsmodellen ikke er en begrensende faktor for de naturlige strømningsforholdene som modellen prøver å etterligne. Topografien i modellen varierer fra ca. 580 moh i øst til 0 moh ved Tingvollfjorden.

Fjellhallene befinner seg ca. 3 000 meter øst for vannskillet og ca. 1 200 m vest for Tingvollfjorden (Figur 1).

6.2 Grensebetingelser i modellen

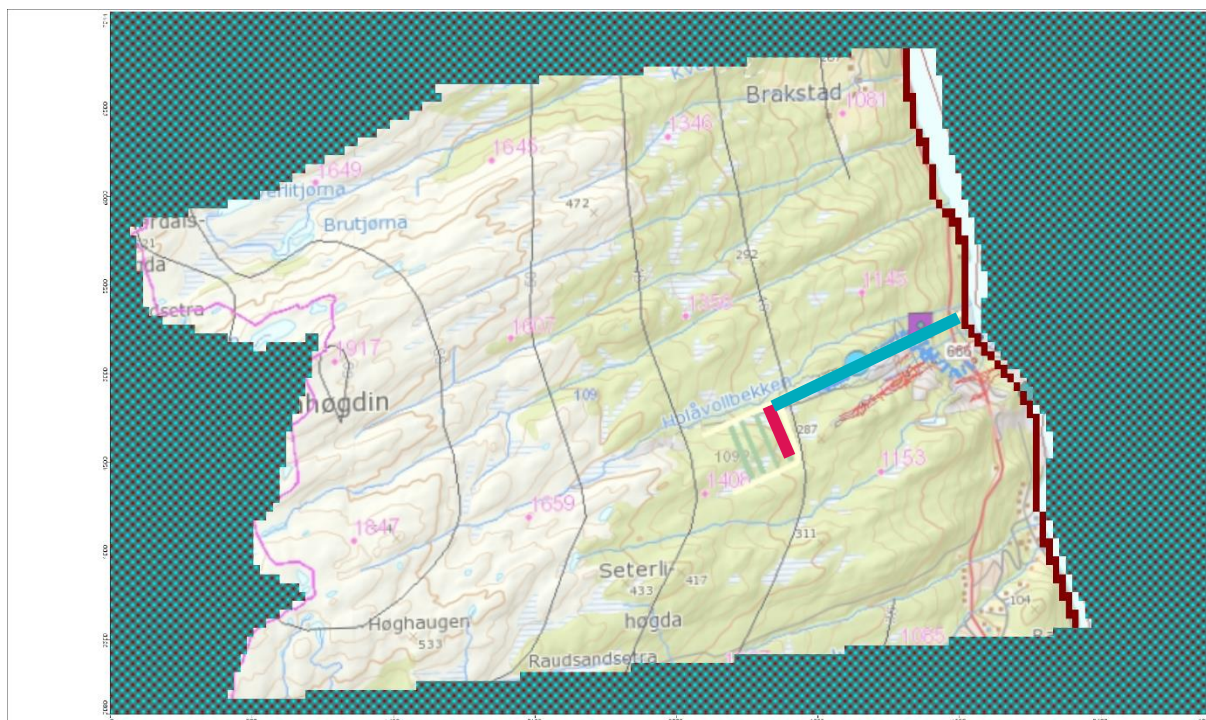
Nydanning av grunnvann fra nedbør (minus evapotranspirasjon) er basert på NVE sine hydrologiske data og beregninger [5]. Vannmengdene som infiltrerer modellen vil ha påvirkning på vannmengder og grunnvannets strømningshastighet. Infiltrasjon av vann er lagt til modellen via grensebetingelsen «recharge». Grunnvannsskillet i øst antas å korrelere godt med det topografiske vannskillet. I modellens vestlige, sørlige og nordlige grenser er det «no-flow» grensebetingelser. Mengde nedbørsinfiltrasjon er kalibrert mot vannmålinger gjort ved gruvenes utløp ved kote +4, målt grunnvannstand i brønnene Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5 og vannledningsevne verdier for berget beregnet fra pumpetester gjort i brønnene Bh2, Bh3 og Bh5.



Figur 9: Viser soner med forskjellige infiltrasjonsrate av nedbør til modellen. Utenfor nærområdet til eksisterende gruver ligger infiltrasjonsraten 3-5 % av tilgjengelig vannmengde for avrenning [5]. I nærområdet til gruvene er infiltrasjonsraten på ca. 20 % på grunn av antatt høyere oppsprekking i berget grunnet tidligere gruvedrift. Grensebetingelsen «constant head» er vist med rød strek langs Tingvollfjorden. Grensebetingelsen «drain» ved utløpspunkt på kote +4 er vist med lyseblå strek.

Felles for modell for dagens situasjon og planlagt fremtidige situasjoner er at vannet dreneres ut av modellen langs med Tingvollfjorden med grensebetingelsen «constant head» som er satt med nivå på kote 0 (havnivå), rød linje i Figur 9. Grensebetingelsen «constant head» trekker vann ut av modellen slik at grunnvannsnivået blir på kote 0 ved fjorden. Ved gruvens utløp på kote +4 er det satt en grensebetingelse «drain» på kote +4, vist med lyseblå linje i Figur 9. Grensebetingelsen «drain» trekker vann ut av modellen hvis grunnvannsnivået er over kote +4 ved dreisen.

I modellen for fremtidig situasjon er en fjellhall (den østligste som ligger nærmest Tingvollfjorden) lagt inn som grensebetingelsen «constant head» på nivå kote -50 (Figur 10). Planlagt adkomsttunnel fra Tingvollfjorden til fjellhall er satt som grensebetingelse «drain» på kote 0. Årsaken til at kun en fjellhall er lagt inn i modellen er at modellen ikke konvergente (kjørte ikke ferdig på grunn av feil ved simulering av modellen) når flere fjellhaller ble lagt inn. Den østligste fjellhallen ble lagt inn i modellen da den er nærmest resipient og vil virke drenerende i forhold til fjellhaller som ligger oppstrøms.



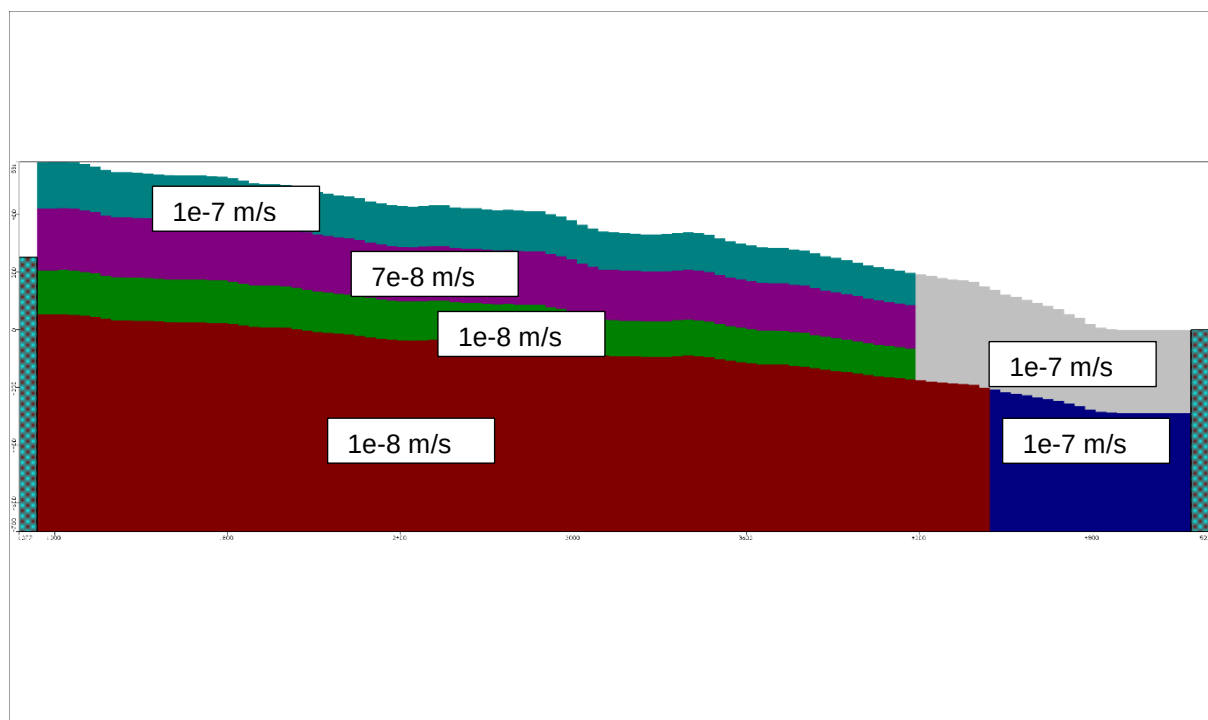
Figur 10: Viser østlig fjellhall med rød linje lagt inn som «constant head» på kote -50 og adkomsttunnel med lyseblå linje lagt inn som «drain» på kote 0.

6.3 Parametere

Effektiv porøsitet i fjell er en del usikkerhet bundet til da denne verdien er vanskelig å vite sikkert og varierer i området. Effektiv porøsitet ble satt til 0,01 (1%). Dette kan være passende verdi for berget i området som må beskrives som relativt tett. Jo lavere porøsitet jo raskere transporteres vannet gjennom modellen.

Dispersjon i modellen er satt til 10 som er Visual Modflow sin standard verdi. Variasjon i denne størrelsen viser seg å ikke ha stor effekt da grunnvannshastighetene er lave nede ved fjellhallene.

Vannledningsevnen til berget er kalibrert mot beregnet vannledningsevne fra vanngiverevne i brønnene Bh2, Bh3 og Bh5 (Tabell 3), vannføringsmålinger ved eksisterende gruvers utløp på kote +4 og målinger av grunnvannstand fra brønnene Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5 (Figur 11). Vannledningsevne verdiene tyder på at berget generelt er ganske tett. Brønnene er alle ca. 350 meter dype og vannledningsevne verdiene må ses som et gjennomsnitt for hele brønnedybden. Det antas at grunne deler av berget har noe høyere vannledningsevne og dypere nivåer noe lavere enn de beregnede. Dette gjenspeiles i modellen (Figur 11).



Figur 11: Bergets antatte vannledningsevne verdier i soner. Modellen går fra terrengnivå og ned til kote -700. Det er antatt samme vannledningsevne i x, y og z retning.

6.4 Konseptuell modell:

Se Figur 11 for soneinndelingen beskrevet under.

- Mørkegrønn sone = Øvre delen av berget som er mer påvirket av forvitring enn underliggende lag. Satt til å være ca. 140 meter tykt
- Lilla sone. Mindre forvitret enn dagberg og utsatt for større overtrykk. Satt til å være ca. 160 m tykt.
- Grønn sone: Relativt tett berg på grunn av overtrykk. Innenfor denne sonen ligger fjellhallene.
- Rød sone: Relativt tett berg på grunn av overtrykk.
- Grå og blå sone, berg som er påvirket av gruvedrift med ganger, hulrom og sjakter.

6.5 Modellene som ble kjørt i Visual Modflow:

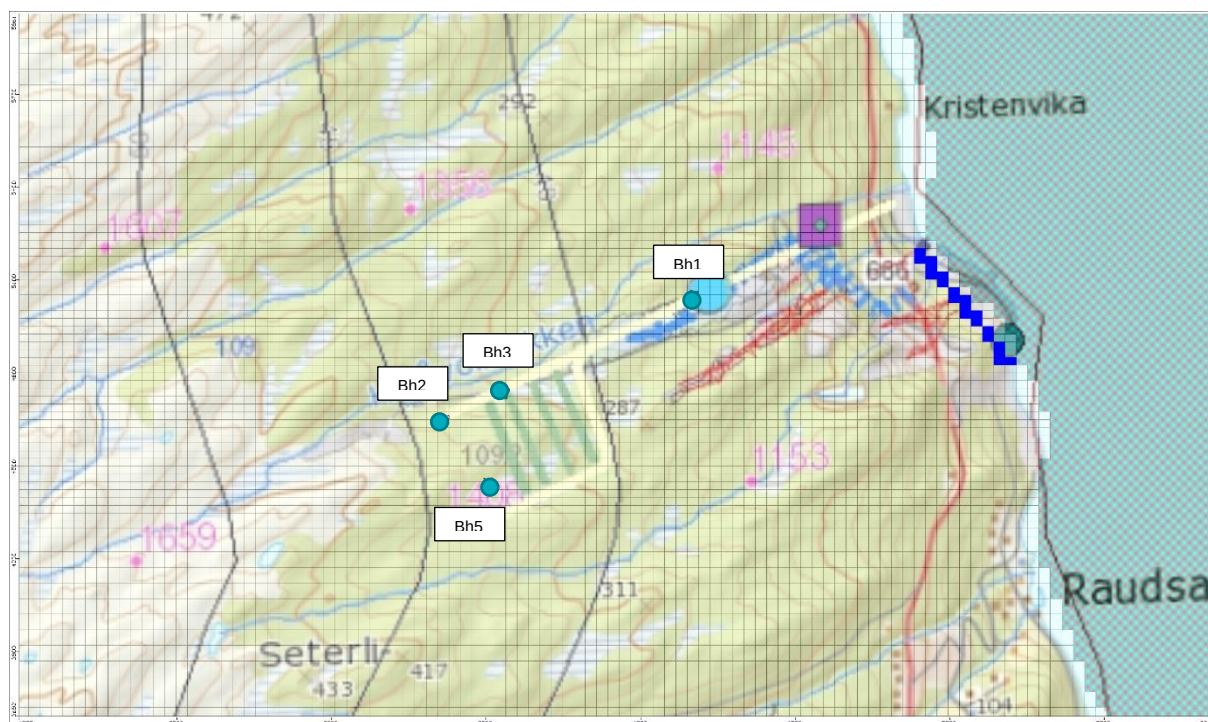
- MODFLOW2005 med solver PCG.
- MODPATH for å følge vannmolekyler gjennom modellen.
- ZONEBUGDET for å overvåke vannmengder ut og inn av fokusområder som fjellhaller og ved utløp på kote +4.
- MT3DMS for å modellere transport av tilsatt tracer (konservativt stoff som følger grunnvannets hastighet) fra fjellhall.

6.6 Modellscenarioer

- 1) Modellen for dagens situasjon gir grunnvannstand og vannhastighet i området ved planlagt fjellhall. Det legges en tracer inn ved fjellhallen for å kunne følge spredningen av en evt. inert forurensning (konservativ vurdering med null binding til berg) som har samme hastighet som vannet. Transporten av tracer følges etter disse tidsintervallene: 1, 2, 4, 8, 10, 15, 20, 30 og 40 år.
- 2) Modellen for fremtidig situasjon under drift gir grunnvannstand og strømningsretning ved planlagt drenert fjellhall og adkomsttunnel.
- 3) Modellen for fremtidig situasjon etter avslutning av deponiet gir grunnvannstand og vannhastighet ved planlagt fjellhall og adkomsttunnel.

6.7 Kalibrering og verifisering av modellen

Da det er etablert 4 brønner i området ved fjellhallene med målinger av grunnvannsnivå ble modellens grunnvannsnivå kalibrert mot disse (Figur 12). Målingene av grunnvannstand er fra april 2017.



Figur 12: Området markert med blått er en bugdet zone hvor mengden vann som passerer beregnes. Brønnene som modellen er kalibrert mot er markert med mørkegrønne sirkler.

I tillegg er modellen kalibrert mot vannføringsmålinger i området ved utløpet fra eksisterende gruver på kote +4 (blå strek i Figur 12) og vannledningsevne beregninger fra brønnene Bh2, Bh3 og Bh5 (Figur 12 og

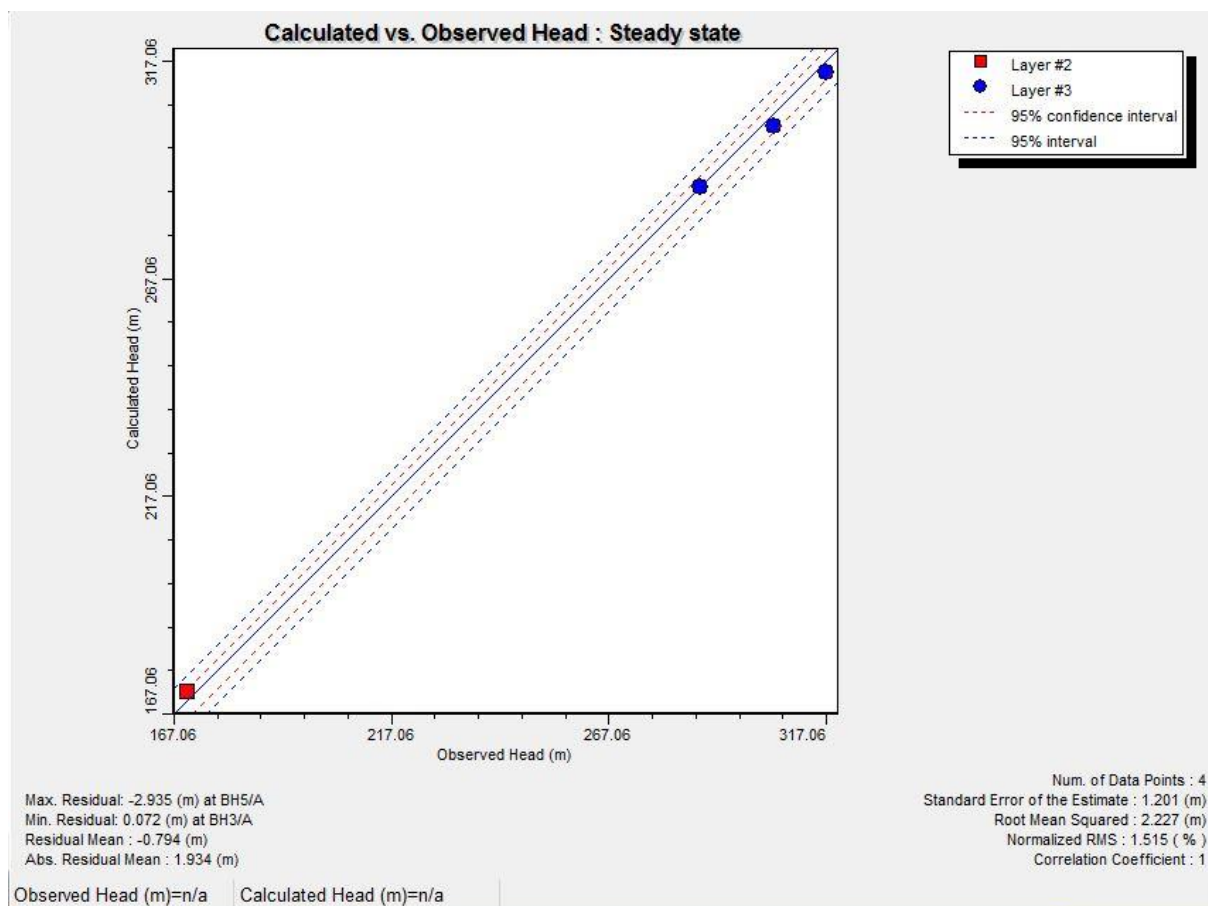
- Q = vanngiverevnen (m^3/s)
- K = vannledningsevne (m/s)
- H = Del av brønn med vann før pumping (m)
- h = Del av brønn med vann under pumping (m)
- R = Radius på influensområdet under pumping (m).
- r = Radius på brønnen (m).

Resultatet vises i Tabell 3 siste kolonne.

Tabell 3).

Gjennomsnittlig vannmengde målt ved utløp på kote +4 over en tidsperiode på 3,5 år fra oktober 2013 til ultimo mai 2017 er ca. 3,3 l/s. Noe av dette vil være overflatevann med rask transport gjennom sjakter, men det må også påregnes at noe av vannet i gruve i nærheten til Tingvollfjorden vil sige ut andre steder enn ved utløpet og dermed ikke måles. Samlet vannmengde ut ved blå bugdet zone i Figur 12 og gjennom grensebetingelsen drens ved kote +4 er i modellen 3,5 l/s. Dette anses som innenfor usikkerheten til modellen og er sannsynligvis en god verifisering i forhold til vannmålingene.

Etter at modellen ble kalibrert ble det relative standardavviket mellom modellert og observert grunnvannsnivå 1,5 % (Figur 13). Et relativt standardavvik under 5 % er akseptabelt.



Figur 13: Viser kalkulte versus observerte grunnvannsnivåer. Brønnene er markert med blå sirkler og rød firkant. Observerte grunnvannsnivå er blå heltrukken strek.

6.8 Usikkerhet i modellen

Det er noe usikkerhet forbundet med grensebetingelsene og parameterne i modellen.

Mengde vann som infiltrerer modellen og gjennomsnittlig vannledningsevne i berget har akseptabel grad av usikkerhet da modellen er kalibrert både mot grunnvannstand, vannmålinger og beregninger av vannledningsevne fra pumpeforsøk fra brønner.

Området modelleres som et porøst medium. Dette er en tilnærming som anses som akseptabel da berget sett under ett og i en regional skala kan anses som et porøst medium på grunn av mange sprekker i berget. Transporten av vann vil foregå i sprekker og sprekkenes egenskaper vil bestemme hvor raskt vannet transporteres. Den romlige fordelingen av vannledningsevne i modellen har derfor relativt stor usikkerhet da det kan finnes sprekkesoner som ikke fanges opp i modellen. Det betyr at resultatene fra modellen i forhold til vannhastighet og vannmengder må anses som veiledende, og vil en stor variasjon i mikro-skala.

Berget kan i realiteten ha flere trykksystemer som ikke er i kontakt med hverandre. Dette tar ikke modellen høyde for da det ville bli veldig komplisert. Modellen må ses som en forenkling av de reelle forhold.

Transporthastigheten av grunnvannet er avhengig av porøsiteten i fjellet. Porøsiteten er umulig å vite sikkert og et konservativt estimat er derfor brukt. Transporthastigheten vil også være avhengig av vannledningsevnen til ukjente sprekkesystemer.

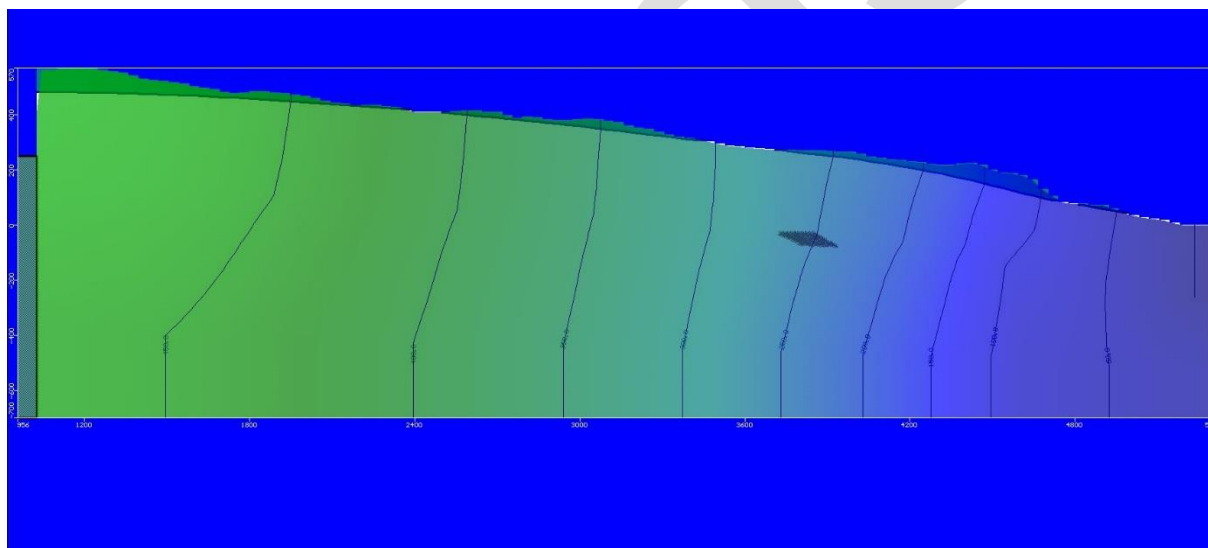
Dispersjonen i modellen inneholder store usikkerheter, men variasjon av denne størrelsen viser seg å ikke ha stor effekt på modelleringsresultatene. Sannsynligvis fordi grunnvannshastighetene er lave nede ved fjellhallene.

Eksisterende gruver vil sannsynligvis føre til økt hastighet på grunnvannet når vannet går ut i sjaktene.

6.9 Resultater og vurderinger

6.9.1 Dagens situasjon

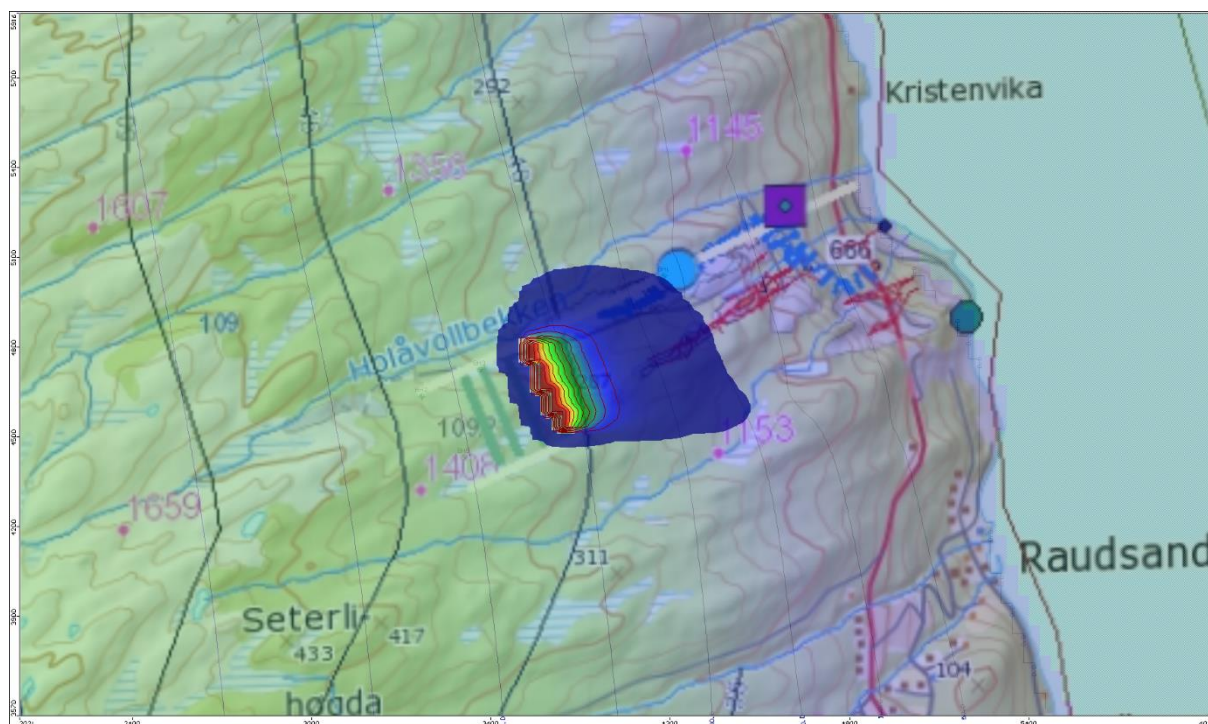
Modellert grunnvannsspeil for et tverrsnitt som skjærer gjennom området med fjellhall ses i Figur 14. Grunnvannstanden ved østligste fjellhall ligger på ca. kote + 265. Grunnvannstanden ved brønn Bh1 er i dag ca. 80 meter under terreng sannsynligvis på grunn av drenering til eksisterende gruver på Raudsand. Vannhastigheten på grunnvannet i nivå med fjellhallen er på ca. $1\text{e-}7$ m/s eller ca. 3 m/år. Gjennomsnittlig vannhastighet mellom fjellhallen og Tingvollfjorden er på ca. $5\text{e-}7$ m/s eller 16 m/år. Vannhastigheten øker jo nærmere Tingvollfjorden grunnvannet kommer.



Figur 14: Grunnvannsspeilet er markert med en mørk strek under terrengoverflaten. Fjellhallen ligger i området markert med en mørkere farge (dianant).

Sannsynligvis vil transporttiden på grunnvannet øke betraktelig de siste ca. 200 m på grunn av eksisterende gruver med sjakter som har utløp i fjorden ved kote +4. Med en gjennomsnittlig transporthastighet på 16 m/år vil det ta ca. 60 år for grunnvannet ved fjellhallen å nå gruvegangene som ligger ca. 1 000 m vest for fjellhallen. Transporttid fra østlig fjellhall til Tingvollfjorden er ca. 80 år.

Modellert transport av en tracer (konservativt stoff som følger grunnvannshastigheten) tilsatt østligste fjellhall vises i Figur 15 (lagt inn i modellen som en konstant kilde med konsentrasjon 1mg/l). Konsentrasjoner under $0,01\text{ }\mu\text{g/l}$ vises ikke i modellen da usikkerheten blir stor ved så små konsentrasjoner. Avstanden som er tilbakelagt av traceren i løpet av 40 år er ca. 600 meter (hastigheten øker lenger nedstrøms).



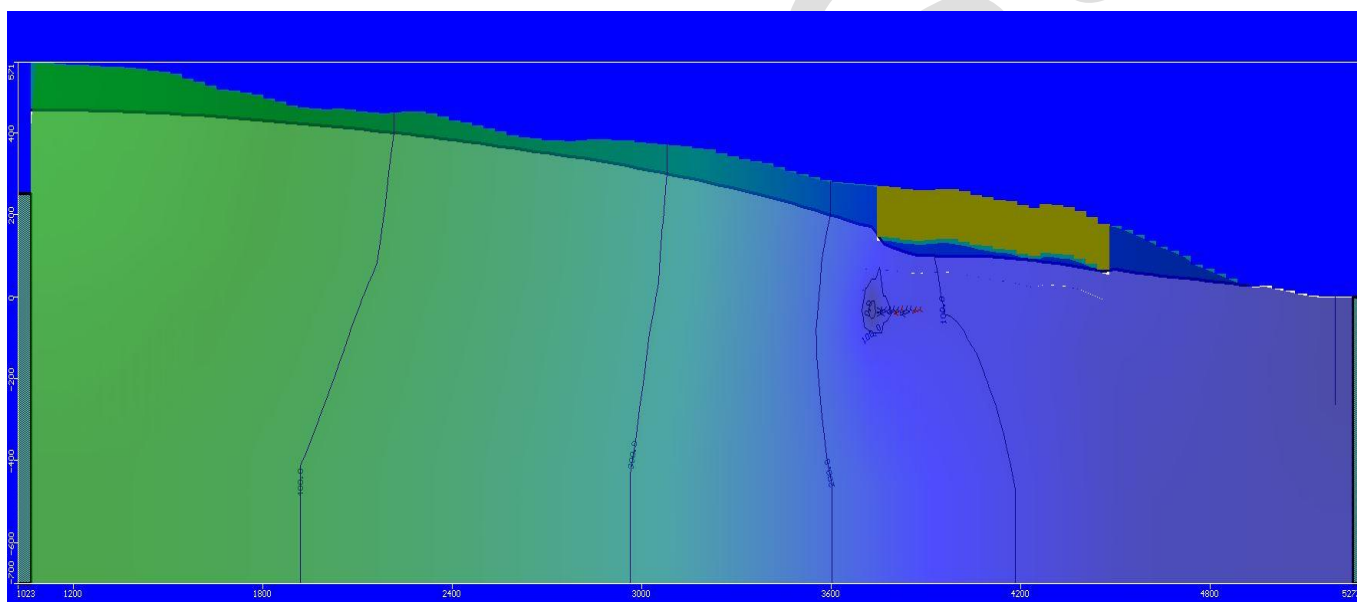
Figur 15: Viser spredning av en konstant kilde med tracer (1 mg/l) etter 40 år. Plumen (spredningsstrøm) vises for konsentrasjoner over 0,01 µg/l.

Målinger av pH i grunnvannsbrønnene som er i nærheten i fjellhallene (Bh2, Bh3 og Bh5) viser at grunnvannet er noe basisk med pH verdier mellom 7,4 – 8,3 og at ledningsevnen er lav [3].

6.9.2 Fremtidig situasjon under drift

Modellert grunnvannsspeil for et tverrsnitt som skjærer gjennom området med fjellhall for fremtidig situasjon med drenert fjellhall og adkomsttunnel ses i Figur 16. Grunnvannstanden ved østligste fjellhall ligger på det laveste på ca. kote + 100. Både atkomsttunnelen og fjellhallen påvirker grunnvannstanden slik at den reduseres ca. 165 meter fra dagens situasjon. Det er den lave lagringskapasiteten for vann i berget som fører til at grunnvannet senkes så mange meter. Fjellhallene vil sannsynligvis være drenert og ha en innadrettet gradient. Derfor vil det sannsynligvis ikke være lekkasje av vann fra fjellhallene under drift. Strømningsretningen på grunnvannet i umiddelbar nærhet til fjellhallen går mot fjellhallen og bekrefter derfor dette. Modellen viser at fjellhallen kan trekke vann fra et område som strekker seg ca. 300 meter nedstrøms. Dette innebærer at det sannsynligvis ikke vil komme forurensset grunnvann fra eksisterende gruver eller deponier inn i fjellhallen. Dette sammen med målinger av pH av grunnvann som viser basiske forhold tyder på at det ikke vil være problemer med økt utlekking av tungmetaller eller andre komponenter fra stabilisert farlig avfall grunnet surt grunnvann. Dette bør sikres ved at en ikke deponerer avfall oppstrøms gruvene eller innenfor en avstand på 300 meter nedstrøms.

Det vil sannsynligvis ikke være saltvannsinntrengning i fjellhallene da grunnvannsspeilet over fjellhallen er betydelig over havnivå.



Figur 16: Grunnvannsspeilet er markert med en mørk strek under terrengoverflaten. Brunt felt angir at det tørt (tørre celler i modellen). Fjellhallen ligger i området markert med en mørkere farge under venstre del av det brune feltet.

Modellen viser en innlekkasje til fjellhallen på ca. 1,4 l/s (121 m³/døgn). Modellert innlekkasje er veiledende og gjelder for stasjonære forhold. Under driving av fjellhallen kan det oppstå betydelig større innlekkasjer før vanntrykket rundt fjellhallen reduseres. Det kan heller ikke utelukkes større permanente innlekkasjer hvis fjellhallen krysser permeable sprekkesoner i fjellet. Evt. slike soner bør tettes. Innlekkasjen til adkomsttunnelen kan bli en del større da den krysser grunnere og mer permeable soner i berget i nærheten av gruvene. Det er heller ikke sannsynlig med innlekkasje av saltvann til adkomsttunnelen i særlig grad da modellen viser et grunnvannsspeil godt over kote 0 (over adkomsttunnelen) nesten helt ut mot Tingvollfjorden. I umiddelbar nærhet til Tingvollfjorden kan ikke saltvannsinntrengning utelukkes.

Ved å tette fjellhallene ved behovsprøvd injeksjon under driving vil en kunne redusere innlekkasjen til fjellhallene. Etterinjeksjon er erfaringsmessig vanskelig å få til i praksis. Modellen viser en reduksjon i innlekkasje på 50 % ved å tette fjellet i en begrenset sone (skjerm med lengde mellom 8 – 30 m) rundt

fjellhallen til en vannledningsevne på $1e-9$ m/s. En så lav vannledningsevne kan sannsynligvis kun oppnås ved systematisk forinjeksjon.

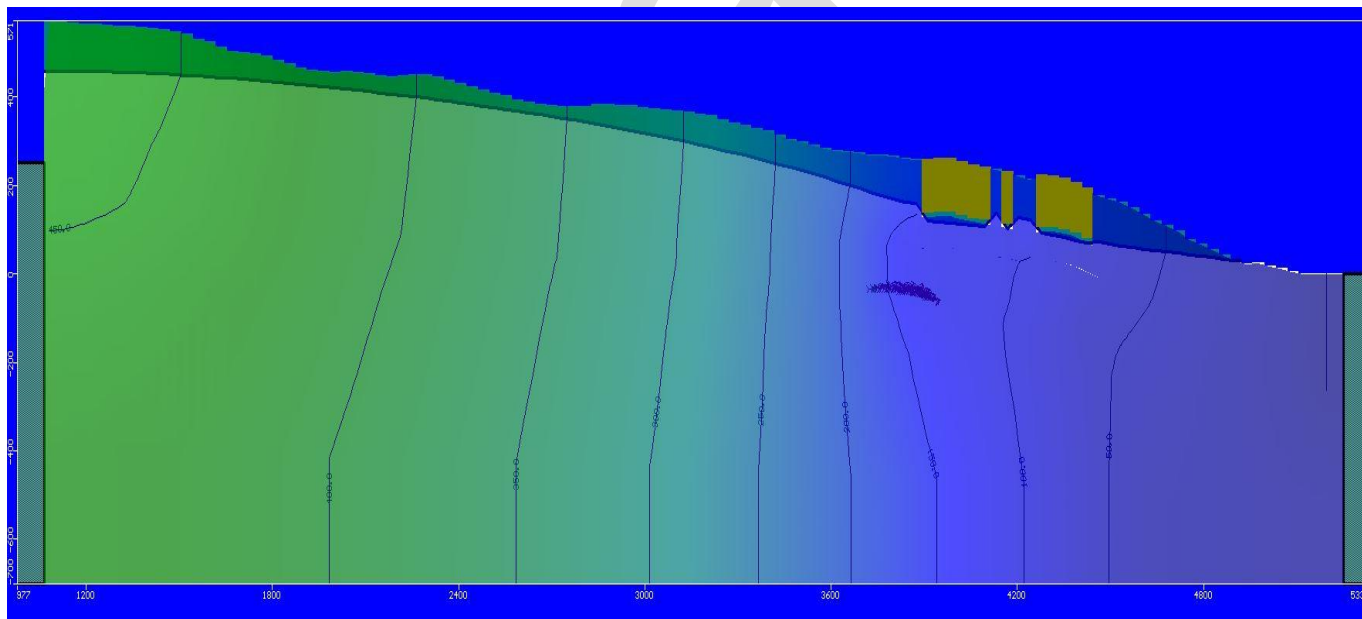
Grunnvannet som lekker inn i fjellhallene må overvåkes og sannsynligvis renses før det går ut i resipienten.

6.9.3 Fremtidig situasjon etter avslutning av deponi

Etter avslutning av deponiet vil grunnvannsforsholdene i berget rundt fjellhallene være avhengig av i hvilken grad berget rundt fjellhallene og adkomsttunnelen tettes igjen. Hvis adkomsttunnelen tettes igjen godt flere steder (også nærmere Tingvollfjorden) vil grunnvannsforsholdene kunne gå tilbake til dagens situasjon og vurderingene i kapittel 6.9.1 vil være gjeldende. Da vil fjellhallene være fylt med vann.

Hvis adkomsttunnelen ikke tettes godt vil det sannsynligvis være en stor gradient på grunnvannet fra fjellhallene mot adkomsttunnel og resipient (Tingvollfjorden). Større gradient gir økt vannhastighet og utlekkasje. Dette er ikke ønskelig, spesielt ikke hvis overvåknings- og rensesystemer er nedlagt.

Modellert grunnvannsspeil for et tverrsnitt som skjærer gjennom området med fjellhall for fremtidig situasjon etter avslutning av drift med en drenert adkomsttunnel vises i Figur 17. Grunnvannstanden over østligste fjellhall er på ca. kote +120. Dette er ca. 145 meter lavere grunnvannsnivå enn ved modellert dagens nivå og ca. 20 meter høyere grunnvannsnivå enn modellert nivå med drenert fjellhall. Den lave grunnvannstanden sannsynliggjør at en åpen eller beskjedent tettet adkomsttunnel vil drenere fjellhallen.



Figur 17: Grunnvannsspeilet er markert med en mørk strek under terrengoverflaten. Brunt felt angir at det tørt (tørre celler i modellen). Fjellhallen ligger i området markert med en mørkere farge under venstre del av det brune feltet.

Figur 18 viser at grunnvannstrømmen fra fjellhallen (brune og blå streker med piler) etter avslutning og delvis oppfylling av hallen sannsynligvis vil gå mot adkomsttunnelen hvis denne ikke tettes godt flere steder. Grunnvannets hastighet fra fjellhallen mot adkomsttunnelen er mellom $3e-7$ m/s til $8e-7$ m/s. Avstanden er kort til adkomsttunnelen og grunnvannet fra de nære delene av fjellhallen vil nå tunnelen i løpet av relativt kort tid (få år). Det anbefales å tette adkomsttunnelen godt flere steder, også helt ut

mot Tingvollfjorden for å få så lav gradient på grunnvannet mot Tingvollfjorden som mulig. Dette vil hindre rask transport av forurenset vann fra nedlagte deponier.



Figur 18: Viser modellert strømningsretning på grunnvann fra fjellhall mot drenert adkomsttunnel etter avslutning av deponiet. Her er adkomsttunnelen ikke tett.

6.10 Oppsummering grunnvannsm modell

Modellen er godt kalibrert i forhold til målte grunnvannsnivåer, vannføringsmålinger og estimerte vannledningsevne verdier i brønner i området. Modellen vil allikevel ha usikkerheter, spesielt i forhold til romlig fordeling av vannledningsevne og porøsitet. Det kan være større sprekkesoner i berget som ikke modellen tar høyde for. Dette kan føre til annen transporthastighet på grunnvannet enn modellen viser. Dette betyr at resultatene må anses som veiledende.

Dagens situasjon

Modell for dagens situasjon viser at hastigheten på grunnvannet på nivå med fjellhallene sannsynligvis er relativt lav. Modellen viser en hastighet på grunnvannet på $1e-7$ m/s ved modellert østlig fjellhall og en gjennomsnittshastighet på $5e-7$ m/s (hastigheten øker nærmere Tingvollfjorden). Dette tilsier grunnvannet ved østlig fjellhall vil bruke ca. 60 år på å nå gruvegangene ved Tingvollfjorden. De aller fleste forurensningsstoffer bindes i ulike grad til bergsprekker, og vil derfor sannsynligvis bruke langt lengre tid til resipienten. Estimater har usikkerheter (se kapittel 6.8). Nivået på grunnvannet over fjellhallen er ca. kote +265 ifølge modellen.

Situasjon under drift av deponiet

Under drift av deponi vil det høyst sannsynlig være en innadrettet gradient mot fjellhallene. Det vil si at det lekker grunnvann inn i hallene og at dette vannet må tas prøver av og evt. renses før det slippes til resipient. Modellen anslår en permanent innlekkasje på 1,4 l/s ($121 \text{ m}^3/\text{døgn}$) til østligste fjellhall. Da andre fjellhaller vil ligge oppstrøms (vest) og generell grunnvannstrømning går normalt på fjellhallene

vil den østligste fjellhallen fange opp mye av grunnvannet som strømmer forbi. Dette sannsynliggjør at innlekkasje til øvrige fjellhaller blir en del mindre enn 1,4 l/s pr fjellhall. Flere fjellhaller enn den østligste er ikke lagt inn i modellen på grunn av problemer med feil (konvergeringsproblemer) under kjøring av modellen. Ved å tette fjellhallene ved behovsprøvd injeksjon under driving vil innlekkasje kunne reduseres. Modellen viser en reduksjon i innlekkasje på 50 % ved en tetting av berget i en sone rundt fjellhallen til en vannledningsevne på $1e-9$ m/s. Grunnvannsnivået er modellert til å ligge på ca. kote 100 over fjellhallen. Nivået på grunnvannet blir redusert ca. 165 meter i forhold til dagens nivå. Reduseringen av grunnvannsnivå skyldes både drenering av fjellhallen og adkomsttunnelen. Det er lav vannlagringskapasitet i fjellet, noe som forklarer hvorfor grunnvannsnivået reduseres så mye. Det er ikke sannsynlig med lekkasje av forurenset grunnvann fra fjellhallene under drift så lenge de er drenert. Det er heller ikke sannsynlig med innlekkasje av forurenset vann fra eksisterende gruver og deponier nedstrøms fjellhallen så lenge det ikke ligger forurenset avfall nærmere enn 300 meter nedstrøms fjellhallen (bør ikke ligge noe deponert avfall oppstrøms fjellhallene). Grunnvannets naturlige pH er basisk i området ved fjellhallene [3]. Dette er positivt da surt grunnvann kan øke utlekking av tungmetaller og andre komponenter fra deponert farlig avfall. Da grunnvannsnivået er høyt over havnivå er det ikke sannsynlig med saltvannsinntrengning til fjellhallen. Dette gjelder også adkomsttunnelen da grunnvannsnivået i modellen er over kote 0 hele veien mot Tingvollfjorden. Det kan ikke utelukkes noe saltvannsinntrengning til adkomsttunnelen i umiddelbar nærhet til Tingvollfjorden. Grunnvannskjemien bør overvåkes i brønner nedstrøms fjellhallene for kontroll mot spredning av forurensninger.

Situasjon etter avslutning av deponiet

Etter avslutning av deponiet viser modellen at adkomsttunnelen (hvis ikke tettet) har effekt i form av økt hastighet på grunnvannet i forhold til dagens situasjon og strømningsretningen fra fjellhallen går mot adkomsttunnelen. Dette kan føre til rask transport av forurensning fra fjellhallene. For å motvirke dette bør adkomsttunnelen tettes godt, flere steder. Den bør også tettes i nærheten av Tingvollfjorden slik at grunnvannsnivået kan gå tilbake mot dagens situasjon. Dette vil motvirke en høy transporthastighet fra fjellhallen mot adkomsttunnelen. Hvis adkomsttunnelen tettes godt og grunnvannsgradienten blir ganske lik som ved dagens situasjon viser modellen at en kan forvente at grunnvann fra deponiet når eksisterende gruver ved Tingvollfjorden i løpet av ca. 60 år (80 år helt frem til Tingvollfjorden). Grunnvannskjemien bør overvåkes i brønner nedstrøms fjellhallene for kontroll mot spredning av forurensninger.

7 Konklusjon

Det er ikke funnet hydrogeologiske forhold som tyder på at det ikke bør anlegges fjellhaller for farlig uorganisk avfall ved Raudsand. Analyseresultater av grunnvannet viser basiske pH verdier og risikoen for innsig av surt grunnvann til fjellhallene med reaksjon av sulfidmineraler er dermed veldig liten.

Resultater fra pumpetester av brønner og tester av strømningsforhold i brønnene viser at berget er relativt tett og at det blir tettere nede på nivå med fjellhallene. Dette er positivt da det reduserer lekkasje av vann inn i fjellhallene og risiko for spredning av forurensning fra fjellhallene.

Det er ikke sannsynlig med saltvannsinntrengning til fjellhaller under drift av anlegget da grunnvannsnivået står høyt over havnivå. Dette viser resultater fra grunnvannsmodellen også er tilfelle under drift av fjellhallene og adkomsttunnelen.

Etter avslutning av deponiet viser modellen at adkomsttunnelen (hvis ikke tettet) har effekt i form av økt hastighet på grunnvannet i forhold til dagens situasjon og strømningsretningen fra fjellhallen går mot adkomsttunnelen, og dermed ha kortere transportvei fra hallene til drenering i adkomsttunnelen. For å redusere strømningshastigheten mot adkomsttunnelen bør adkomsttunnelen tettes godt, flere steder. Den bør også tettes i nærheten av Tingvollfjorden slik at grunnvannsnivået kan gå tilbake mot dagens situasjon.

Grunnvannskjemien bør overvåkes i brønner nedstrøms fjellhallene både under drift og etter at deponiet er nedlagt for kontroll mot spredning av forurensning.

8 Referanser

- [1] NGU, «Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Resultater fra helikoptermålinger og forslag til videre undersøkelser. Rapport nr. 2016.043,» NGU, 2016.
- [2] NGU, «Logging av fem borehull ved Raudsand, Nesset kommune, Møre og Romsdal. Rapport nr. 2017.020,» NGU, 2017.
- [3] NGU, «Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune, Møre og Romsdal. Tolkning av borehullslogging og vannanalyser. Rapport nr. 2017.024,» NGU, 2017.
- [4] NIBIO, Raudsand gruver. Mjøovervåking av avrenning 2016. Vol: 3, nr. 53, 2017, NIBIO, 2017.
- [5] NVE, «NVE Atlas,» NVE, [Internett]. Available: <http://atlas.nve.no>. [Funnet 06 02 2017].
- [6] Norconsult, «M553, Utvalgte lokaliteters egnethet for mottak, behandling og deponering av uorganisk farlig avfall,» Miljødirektoratet, 2016.
- [7] NGU, «NGU analyserapport 2017.0057,» NGU, 2017.
- [8] NGU, «Statistisk vannanalyse i forskjellige bergarter ForForUT deloppgave 3. Statusrapport 2009. Rapportnr. 2009.066,» NGU, 2009.
- [9] F. Driscoll, i *in Groundwater and Wells*, Johnson Filtration Systems, 1989, p. 213.