

Ingeniørgeologiske vurderinger - Sarkofag ved Søve gruver

Sammendrag/konklusjon

Norconsult Norge AS er engasjert av AF Decom AS i forbindelse med forprosjektering av en sarkofag for oppbevaring av lav-radioaktivt avfall fra Søve gruver. Sarkofagen skal primært lagre slagglumper fra ferromiobproduksjonen på 50- og 60-tallet. Utførte grunnundersøkelser indikerer varierende løsmassemekthet i det aktuelle området. Det ble ikke påvist hulrom eller gruveganger som forventes å kunne påvirke områdestabiliteten negativt. Ved fundamentering må det tas hensyn til naturlig radioaktive bergarter i berggrunnen.

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
B01	2025-06-20	For kommentar	EiAune	HaK	AksAsk

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult 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.

1 Innledning

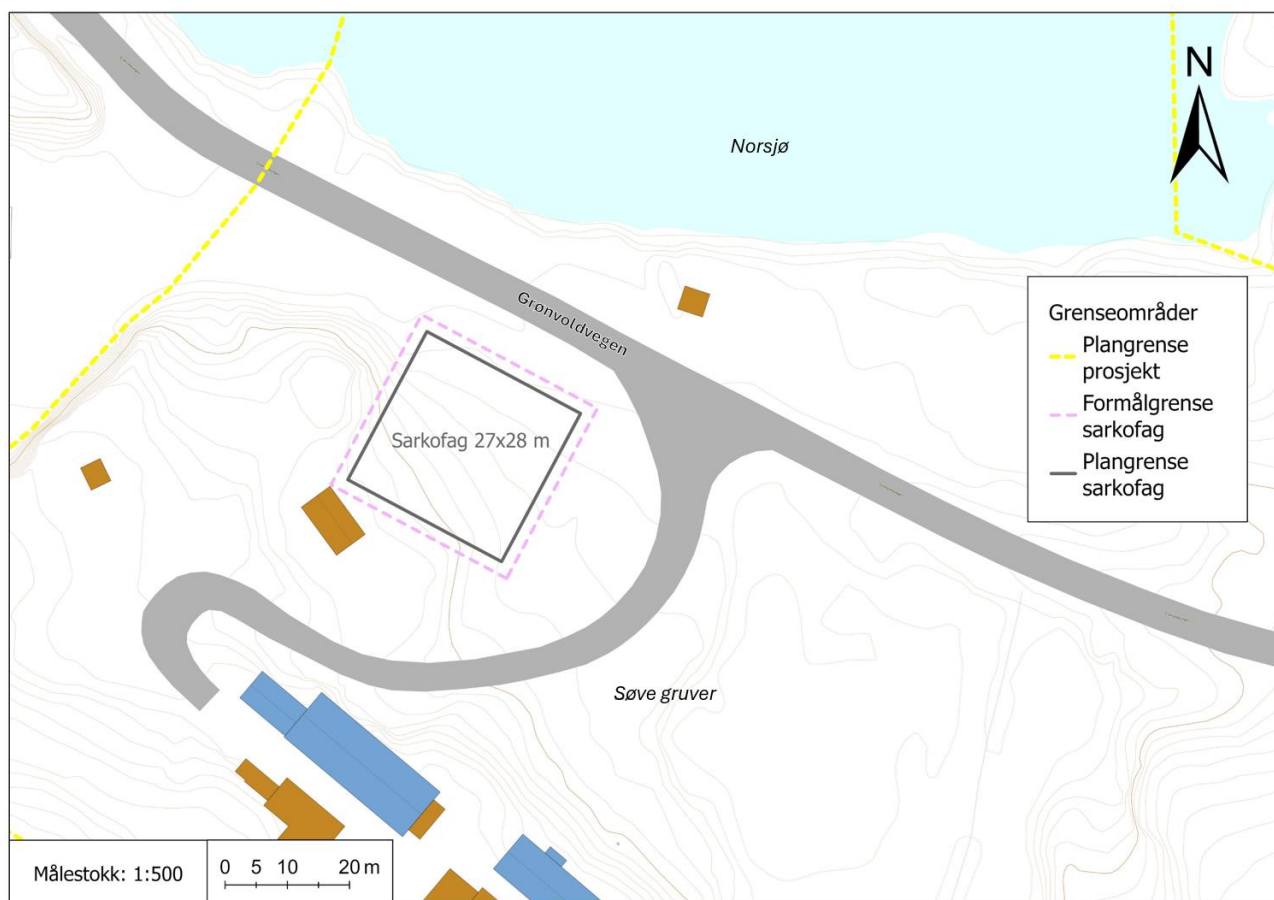
Norconsult Norge AS har blitt engasjert av AF Decom AS i forbindelse med prosjektering av en sarkofag for lagring av lav-radioaktivt avfall fra Søve gruver. Sarkofagen planlegges oppført i et skogsområde mellom Grønvoldvegen i nord og sted for tidligere heistårn i sør. Grunneier er i dag Telemark fylkeskommune.

Det er blitt målt forhøyede strålingsverdier i områder tilknyttet slagghklumper fra produksjonsanlegget og vaskerijord fra oppredningsverket. Sarkofagen skal i hovedsak ta hånd om de radioaktive slagghklumpene som i dag ligger i en haug nedenfor den tidligere smeltehallen. I tillegg vil det bli vurdert om en vil komme i konflikt med naturlig radioaktivt fjell i forbindelse med berguttak.

Analyser av kjerneprøver i området for sarkofag viser at øvre del av stratigrafien består av bergartene fenitt, søvitt og Fe-dolomitt-karbonatitt (FDC), der søvitt og FDC opptre som årer i fenitt. Av disse bergartene er FDC naturlig radioaktiv på grunn av uran- og thoriumholdige mineraler.

Geotekniske grunnundersøkelser ved fjellkontroll- og kjerneboring utgjør grunnlaget for denne rapporten. Rapporten har i tillegg blitt supplert med relevant informasjon fra tilgjengelige (interne og eksterne) rapporter og åpne kartressurser av interesse for oppdraget.

Tiltaksområdet er vist i Figur 1.



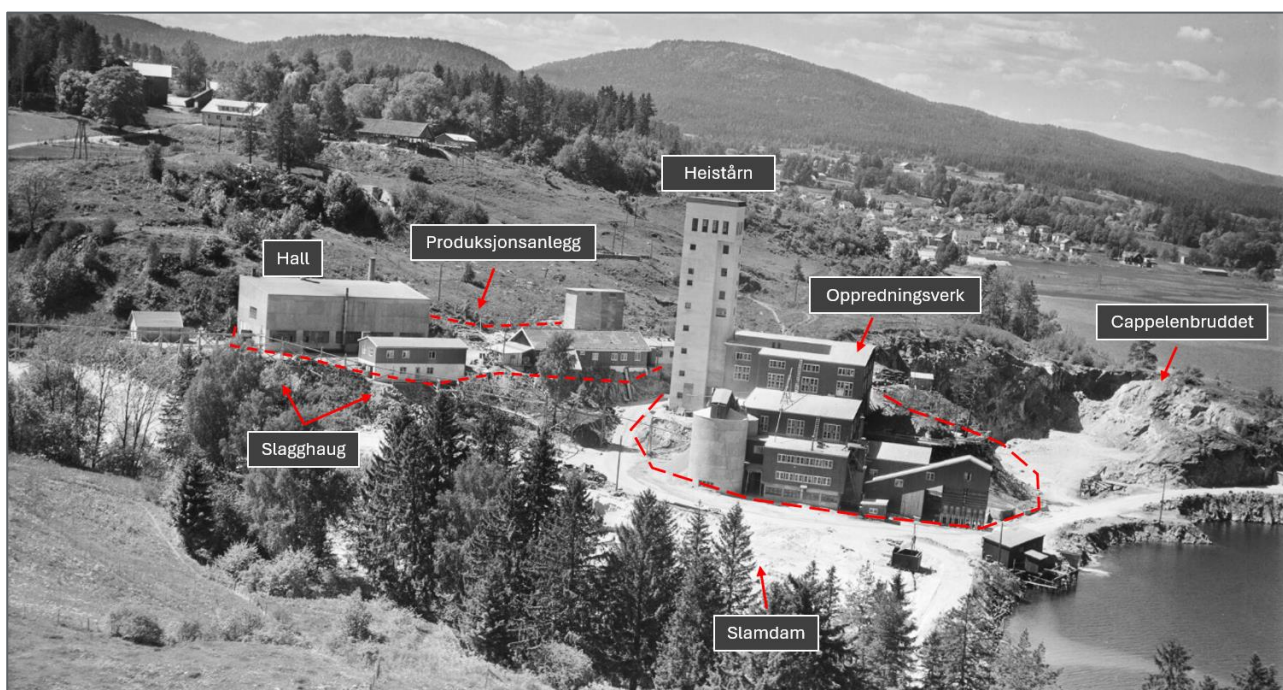
Figur 1. Tiltaksområde med formål- og plangrense for sarkofag. Planområdet til sarkofagen er 27x28 m.

1.1 Historie

I 1951 startet byggingen av Søve gruver i regi av Norsk Bergverk. På terrengoverflaten ble det oppført et produksjonsanlegg med en smeltehall og et laboratoriebygg. I tillegg ble det oppført et oppredningsverk med bygninger for knusing, vasking, flotasjon og separering. En synk med overbygd heistårn knyttet daganlegget til gruvegangene nede i dypet (Figur 2). Gruvedriften ved Søve startet opp i 1953 og pågikk frem til 1965.

Formålet med gruverdriften var i hovedsak utvinning av nioboksid (Nb_2O_5) og produksjon av ferroniob til bruk i metallegeringer. Niob (Nb) opptrer blant annet i bergarten søvitt ved mineralene pyroklor $[(\text{Na},\text{Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_4(\text{OH},\text{F})]$, columbitt-(Fe) $[\text{FeNb}_2\text{O}_6]$ og fersmitt $[(\text{Ca},\text{Ce},\text{Na})(\text{Nb},\text{Ta},\text{Ti})_2(\text{O},\text{OH},\text{F})_6]$ [1]. I perioden 1958-1965 ble det deponert mellom 2000 og 3000 m³ slagg fra ferroniobproduksjonen i en tipp nedenfor produksjonshallen.

I tillegg ble det deponert en del avgangsmasser fra vaskeriet (vaskerijord) på oppredningsområdet og i en dam bestående av kalksteinslam. I prosesseringen gikk en del niob tapt med avgangsmassene.



Figur 2. Søve gruver med anlegninger på 50-tallet. Foto: Widerøe, Nasjonalbiblioteket.

Figur 3 viser flybilder fra årene 1967, 2010, 2015 og 2022. På flybildet fra 1967 kan en se slagghaugen nedenfor produksjonshallen (lys farge). Den lyse fargen i bunnen av slagghaugen er kalkholdige avgangsmasser. I dag finnes kun rester etter produksjonsanlegget, anleggsveien og deponiene. I senere tid har det blant annet blitt oppført en ridehall sørvest for gruveområdet og en avfallsstasjon ved Cappelenbruddet.



Figur 3. Ortofoto (flybilder) av gruveområdet ved Søve (1967-2022). Utklipp fra Norge i bilder.

1.2 Grunnlagsdata

Tiltaksløsningen er å bygge en sarkofag av betong for oppbevaring av lav-radioaktivt avfall. Sarkofagens størrelse vil i stor grad avhenge av mengden radioaktivt avfall fra slagghaugen og vaskerijorda. I tillegg må det vurderes om det skal settes av lagringskapasitet for mulig radioaktiv sprengstein ved fundamentering av sarkofagen. På generell basis er det lite sannsynlig at sprengsteinen vil være mer radioaktiv enn strålingsnivået fra berggrunnen ellers, men dette er i stor grad bestemt av andelen FDC [2].

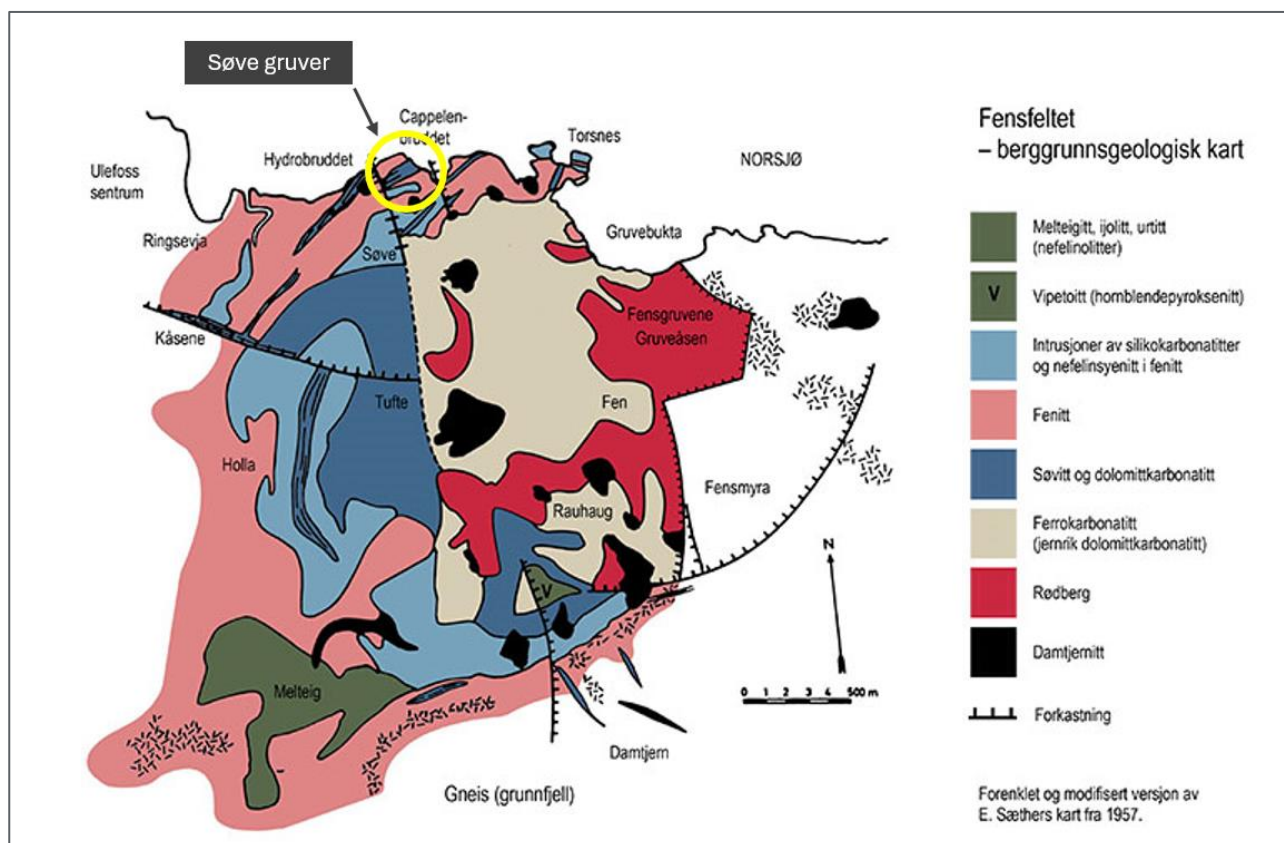
En miljøgeologisk rapport på vegne av Telemark fylkeskommune anslår at det ble produsert mellom 570 og 960 tonn slag på Søve [1]. Multiconsult AS har på vegne av Institutt for energiteknikk (IFE) beregnet volumet av slagghaugen til 2750 m³, der i alle fall 2000 m³ vurderes å være radioaktivt avfall [3]. Norges geotekniske institutt (NGI) har estimert at bare slaggmassene alene utgjør ca. 600 m³ [4].

IFE har også utført radiologisk kartlegging i prosjektområdet. Undersøkelsene bekrefter at vaskerijorda og slagghaugen har et forhøyet innhold av naturlig thorium og uran [5]. Det er store variasjoner i målingene [6].

NGI har undersøkt stratigrafien til slagghaugen. Undersøkelsene viser at slagghaugen hviler på avgangsmasser i sålen. Under byggingen av produksjonshallen ble den naturlige skråningen fylt med sprengstein. Slagglumper fra ferroniobproduksjonen ble deretter deponert oppå sprengsteinen. Etter gruvedriften har slagget blitt dekket til med avgangsmasser. I dag utgjør søppel og hageavfall toppdekket i slagghaugen [4].

2 Regional geologi og prosjektgeologi

Søve gruver ligger helt nord i Fensfeltet – en geologisk provins kjent for høye forekomster av sjeldne jordartsmetaller. Berggrunnen domineres av kalkspat- og silikat-karbonatitter. En karbonatitt er en krystallisert kalksteinbergart med opphav i et karbonatmagma (karbonatsmelter) dypt nede i mantelen. Smeltene intruderte jordskorpa og krystalliserte (størknet) i ganger nær overflaten. Den gang lå det på overflaten en vulkan som senere kollapset til en kaldera. Kalderaen har senere blitt erodert ned til et peneplan.



Figur 4. Berggrunnskart over Fensfeltet. Hentet fra Geo365.no.

Ved Søve gruver består berggrunnen primært av søvitt og fenitt (Figur 4). Søvitt er en magmatisk karbonatbergart kjennetegnet ved sin høye andel niob (Nb). Den inneholder også mindre mengder flogopitt og apatitt. Søvitt utgjør ganger i en bergmasse som ellers består av fenitt. Fenitt er en finkornet magmatisk bergart dannet under metasomatose av granittisk gneis. Bergarten omtales gjerne som en syenittisk gneis.

Av løsmasser finnes forvittringsmaterialer og soner med hav-, fjord- og strandavsetninger. Tykkelsen på løsmasselagene varierer lokalt, men opptrer i hovedsak som sammenhengende dekker oppå fast fjell. Hav- og fjordavsetningene er stedvis mektige. Figur 5 viser en grov fordeling av løsmasser hentet fra NGUs digitale kartløsning. Forvittringsmaterialet er stedvis overlagret av vaskerijord fra gruvedriften. I dalsøkket finnes fyllmasser av antropogent materiale fra det som tidligere var en gruedam med kalksteinslam [1].

Fordelingen av løsmasser vil stedvis kunne avvike fra anvisningen. NGUs løsmassekart anviser bare øverste lag med løsmasser. Det kan flere steder finnes andre løsmassetyper lenger ned i lagpakken enn anvist på

kart. Fyllmasser ligger helt sikkert oppå andre løsmasser, som for eksempel marine sedimenter. På NGUs digitale kartløsning er det blant annet registrert hav- og fjordavsetninger i området med forvitningsmateriale.



Figur 5. Kart med NGUs anvisning over aktuelle løsmasstyper ved Søve gruver.

I henhold til NVEs temakart for kvikkleireskredfare ligger Søve gruver under marin grense (MG) og innenfor mulige aktsomhetsområder for kvikkleireskred. Det er påvist kvikkleiresoner med middels til høy faregrad ca. 4-10 km sørøst (i luftlinje) for prosjektområdet. I de nevnte sonene har NGU anvist marine strandavsetninger. Tilsvarende marine strandavsetninger opptrer ved Søve gruver, og kvikkleire kan derfor ikke utelukkes helt.

I henhold til temakart for snøskred ligger prosjektområdet utenfor aktsomhetsområdet for sikkerhetsklasse 3 (S3). Det samme gjelder for sikkerhetsklasse 2 (S2). Snøskred er derfor ikke en relevant problemstilling.

Jordskred er heller ikke en aktuell skredmekanisme i prosjektområdet.

3 Utførte undersøkelser

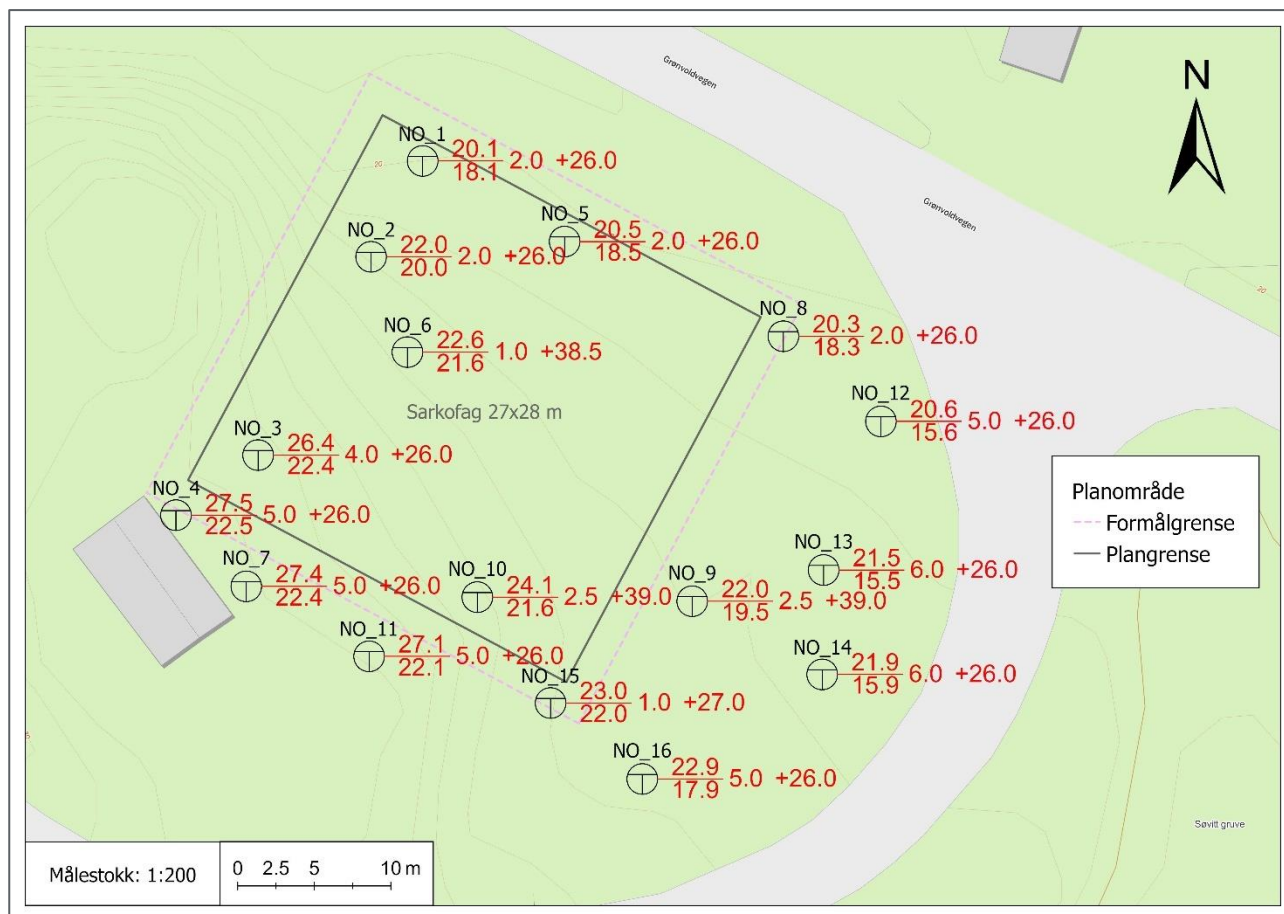
AF Decom AS har utført geotekniske grunnundersøkelser i det aktuelle området for nytt avfallsdeponi. Av grunnundersøkelser ble det utført fjellkontroll- og kjerneboringer av til sammen 16 borhull (Tabell 1). Dybde til fjell ble registrert ved måling av høydekote for bergsål (overgangen mellom løsmasser og fast berg) i forhold til bakkenivå. For alle borhull ble det boret minst 20 meter ned i fast berg. På grunn av varierende bergkvalitet nær overflaten, ble det boret dybder i fjell på mellom 26 og 39 meter.

Tabell 1. Boredata i området for nytt avfallsdeponi. UTM-koordinater sone 32N (ETRS 1989).

Borhull	Nord (Y)	Øst (X)	Hulltype	Registrering
NO_1	6571467,932	516336,427	Fjellkontrollboring	$\frac{+20.1}{+18.1}$ 2.0 + 26.0
NO_2	6571461,676	516333,058	Fjellkontrollboring	$\frac{+22.0}{+20.0}$ 2.0 + 26.0
NO_3	6571448,733	516325,677	Fjellkontrollboring	$\frac{+26.4}{+22.4}$ 4.0 + 26.0
NO_4	6571444,811	516320,310	Fjellkontrollboring	$\frac{+27.5}{+22.5}$ 5.0 + 26.0
NO_5	6571462,671	516345,699	Fjellkontrollboring	$\frac{+20.5}{+18.5}$ 2.0 + 26.0
NO_6	6571455,454	516335,430	Kjerneboring	$\frac{+22.6}{+21.6}$ 1.0 + 38.5
NO_7	6571440,164	516324,903	Fjellkontrollboring	$\frac{+27.4}{+22.4}$ 5.0 + 26.0
NO_8	6571456,490	516359,989	Fjellkontrollboring	$\frac{+20.3}{+18.3}$ 2.0 + 26.0
NO_9	6571439,193	516354,033	Kjerneboring	$\frac{+22.0}{+19.5}$ 2.5 + 39.0
NO_10	6571439,460	516339,998	Kjerneboring	$\frac{+24.1}{+21.6}$ 2.5 + 39.0
NO_11	6571435,596	516332,926	Fjellkontrollboring	$\frac{+27.1}{+22.1}$ 5.0 + 26.0
NO_12	6571450,930	516366,362	Fjellkontrollboring	$\frac{+20.6}{+15.6}$ 5.0 + 26.0
NO_13	6571441,230	516362,617	Fjellkontrollboring	$\frac{+21.5}{+15.5}$ 6.0 + 26.0
NO_14	6571434,416	516362,524	Fjellkontrollboring	$\frac{+21.9}{+15.9}$ 6.0 + 26.0
NO_15	6571432,549	516344,782	Fjellkontrollboring	$\frac{+23.0}{+22.0}$ 1.0 + 27.0
NO_16	6571427,589	516350,773	Fjellkontrollboring	$\frac{+22.9}{+17.9}$ 5.0 + 26.0

Tabell 1 viser at dybden til fjell (løsmassemektheten) i stor grad varierer innenfor området for nytt avfallsdeponi. Mektheten er ca. 1 meter ved NO_6 og NO_15. Ved NO_12 og NO_13, er mektigheten til løsmassene ca. 6 meter. For resterende hull er mektigheten et sted mellom 1-6 meter.

Undersøkelsene slår fast at bergsålen ligger høyest i sørvest og avtar mot nordøst. Like vest for NO_12, NO_13 og NO_14 faller bergsålen fra omkring +19 til ca. +15,5, det vil si en høydeforskjell på ca. 3-4 meter. Det kan tyde på at det er en bratt bergskrent ned til et søkk. Basert på bergkoter har søkket retning nord-sør.



Figur 6. Oversiktskart med data fra geotekniske grunnundersøkelser i området for sarkofag.

Figur 6 viser at bergsåle faller forholdsvis slakt innenfor planområdet for sarkofag. I det nordvestlige hjørnet er bergkoten ca. +18,1 (NO_1). I det nordøstlige hjørnet ligger bergsålen på ca. kote +18,3 (NO_8), mens i det sørøstlige hjørnet er bergkoten ca. +22,0. I det sørvestlige hjørnet er bergkoten ca. +22,5.

3.1 Stratigrafi

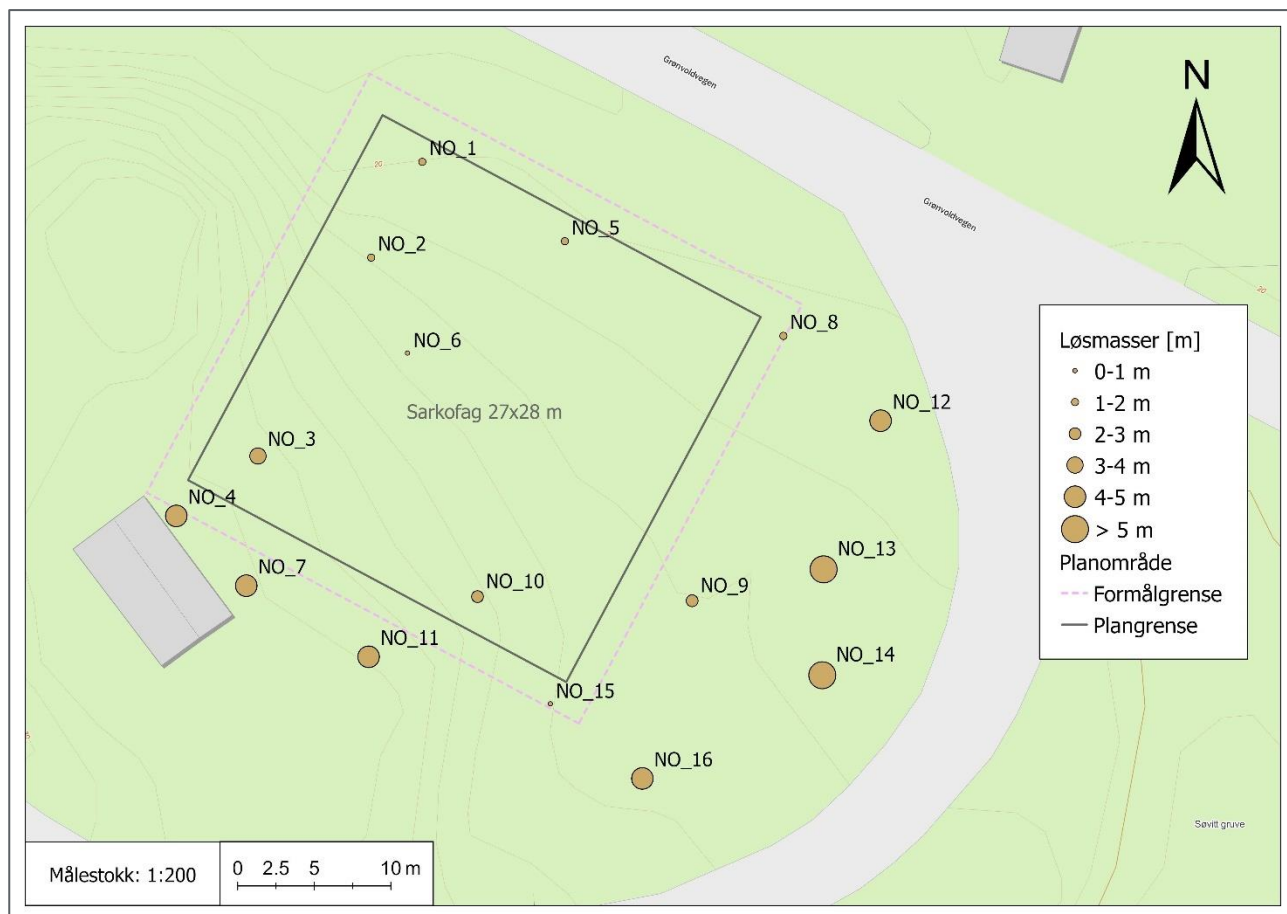
Det ble påvist løsmasser og fast fjell i samtlige borhull, men geologi og stratigrafi varierer mellom hullene.

3.1.1 Løsmasser

I henhold til innrapporterte protokoller for grunnundersøkelser har det av løsmasser blitt påvist jord, leire, sand, stein og betongrester fra bygningsfundamenter. Øverste del av toppdekket består av jord. Tykkelsen varierer fra ca. 1 til 5 meter. Under jordmassene er leire, sand og stein vanlig. I det øverste jordlaget finnes vaskerjord, mens leire, sand og stein representerer forvitningsmasser og hav- og fjordavsetninger.

Figur 7 viser at dybde til fjell (løsmassemektheten) er størst i østlig og sørlig retning. Unntaket er NO_15 der tykkelsen er ca. 1 m. Mot nordvest avtar løsmassemektheten.

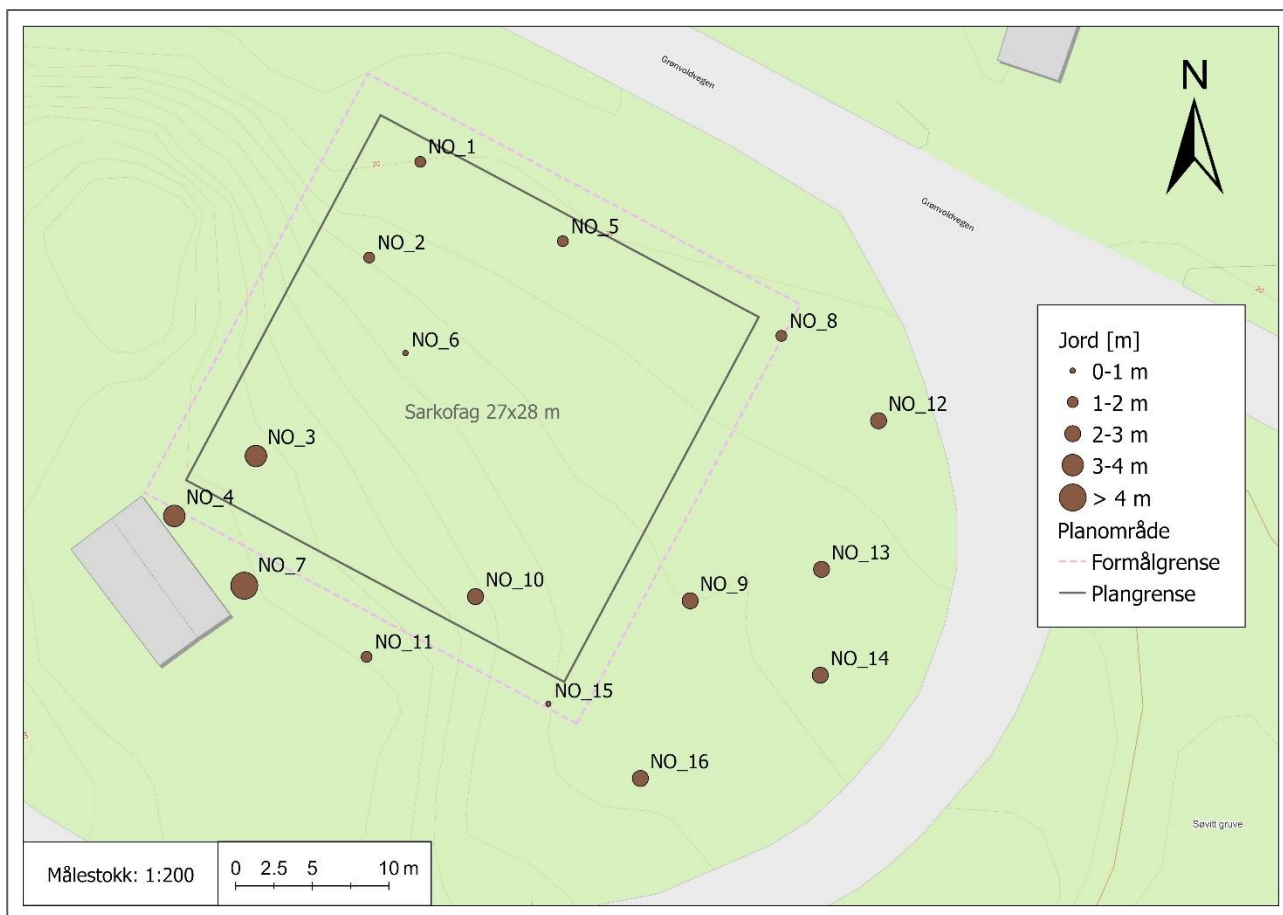
Det er spesielt jordmasser og leire som påvirker løsmassemektheten. I vestlig retning øker mektigheten i stor grad på grunn av tykkere jordmasser, mens i østlig retning øker mektigheten i takt med mer leire.



Figur 7. Dybde til fjell (løsmassemektighet) i området for sarkofag.

Jord

Ut fra Figur 8 er jordmassene tykkest i sørvest med mektigheter over 3 meter. Langs anleggsveien i øst er tykkelsen på jordmassene på mellom 1-3 meter. Jordmassemektigheten avtar nordover mot Grønvoldvegen.

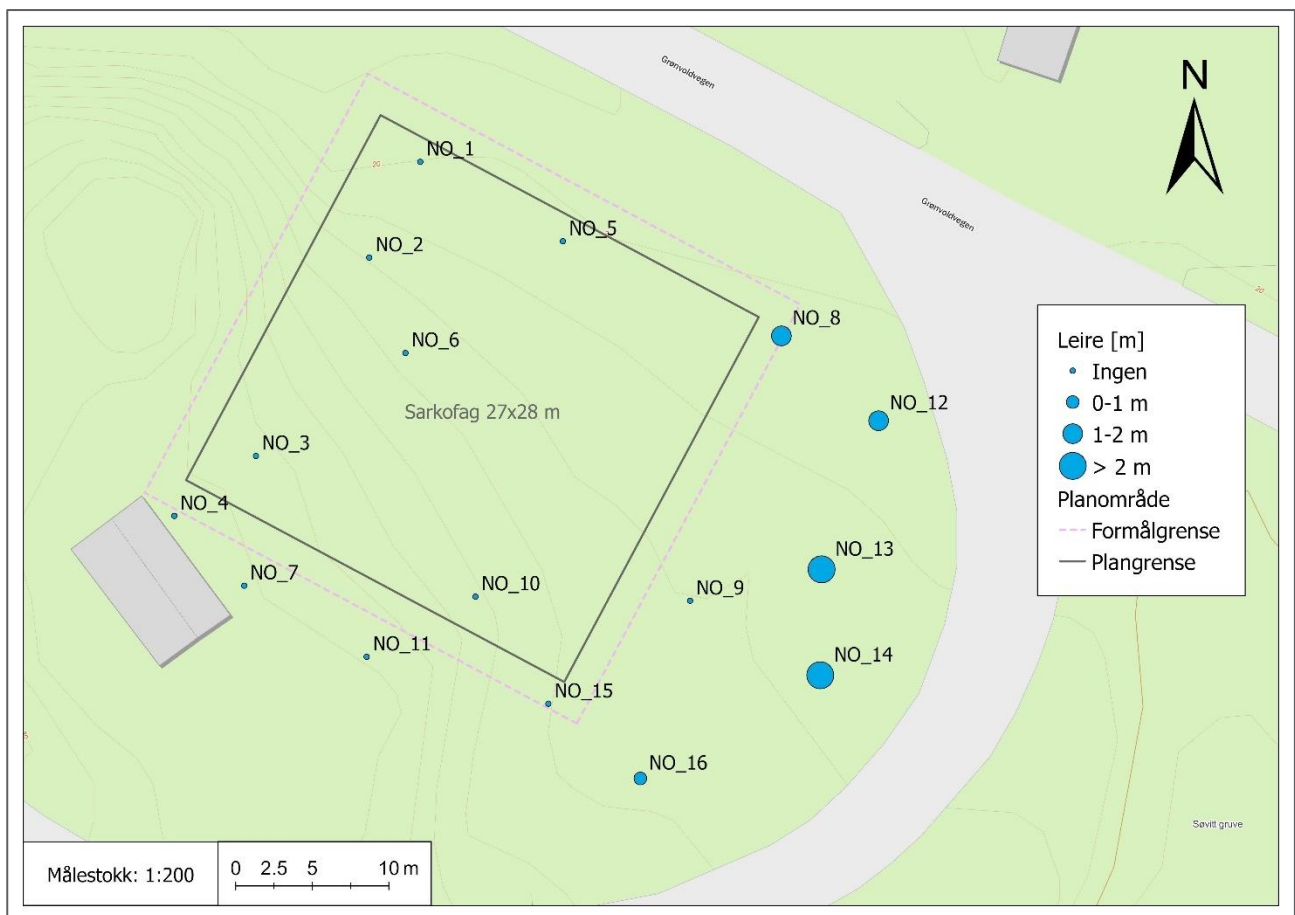


Figur 8. Jordmassemektigheter målt i borhull.

Mer jordmasser i det sørvestlige hjørnet kan skyldes vaskerijord. Det samme er tilfellet i øst der det er målt tykkere jordmasser. Begge stedene ligger like på utsiden av grunnmuren til det tidligere oppredningsverket.

Leire

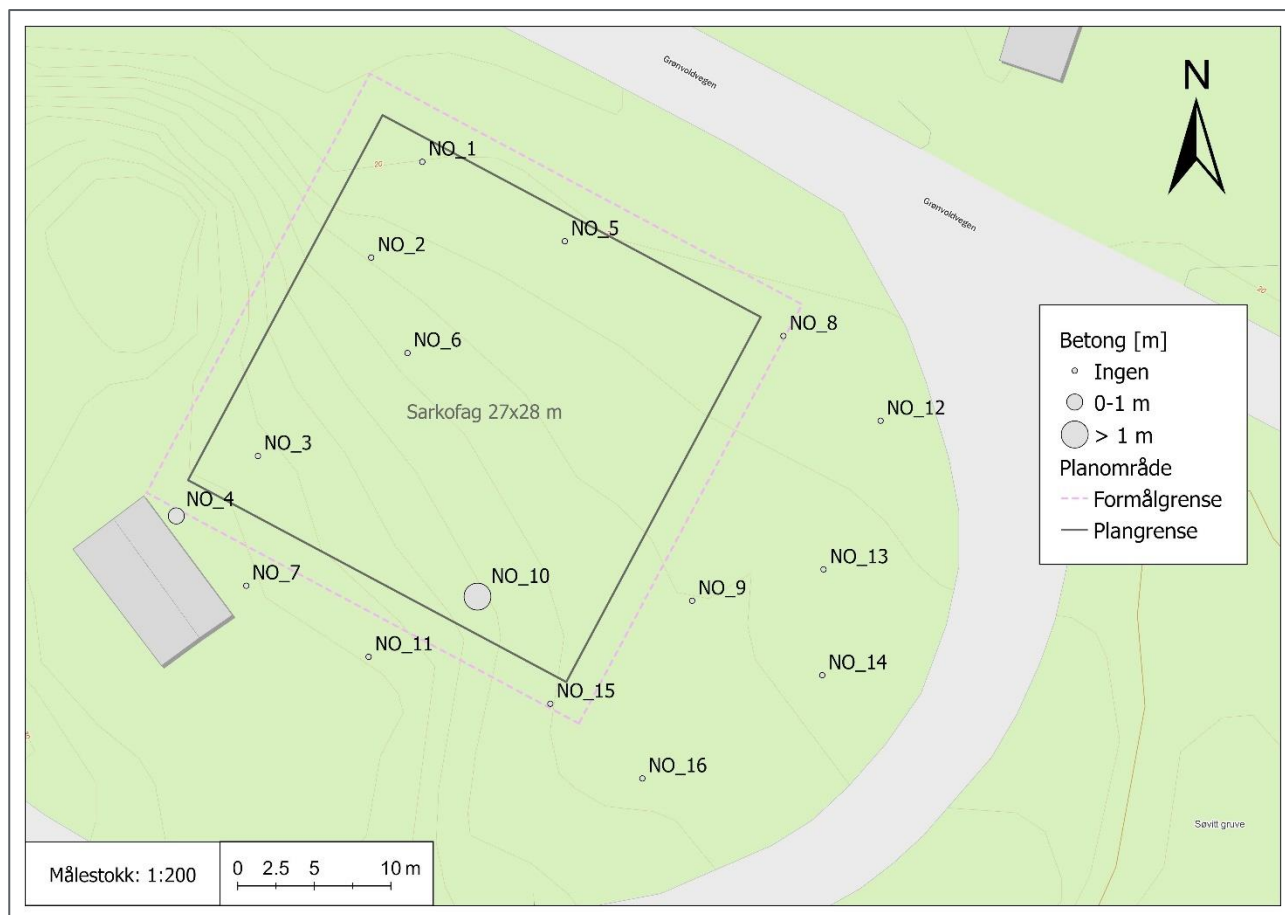
Som Figur 9 viser, er det registrert leire i totalt fem borhull. Langs anleggsveien i øst er mektigheten målt opptil 3 meter. Det er ikke påvist leire andre steder enn borhullene lengst øst på området.



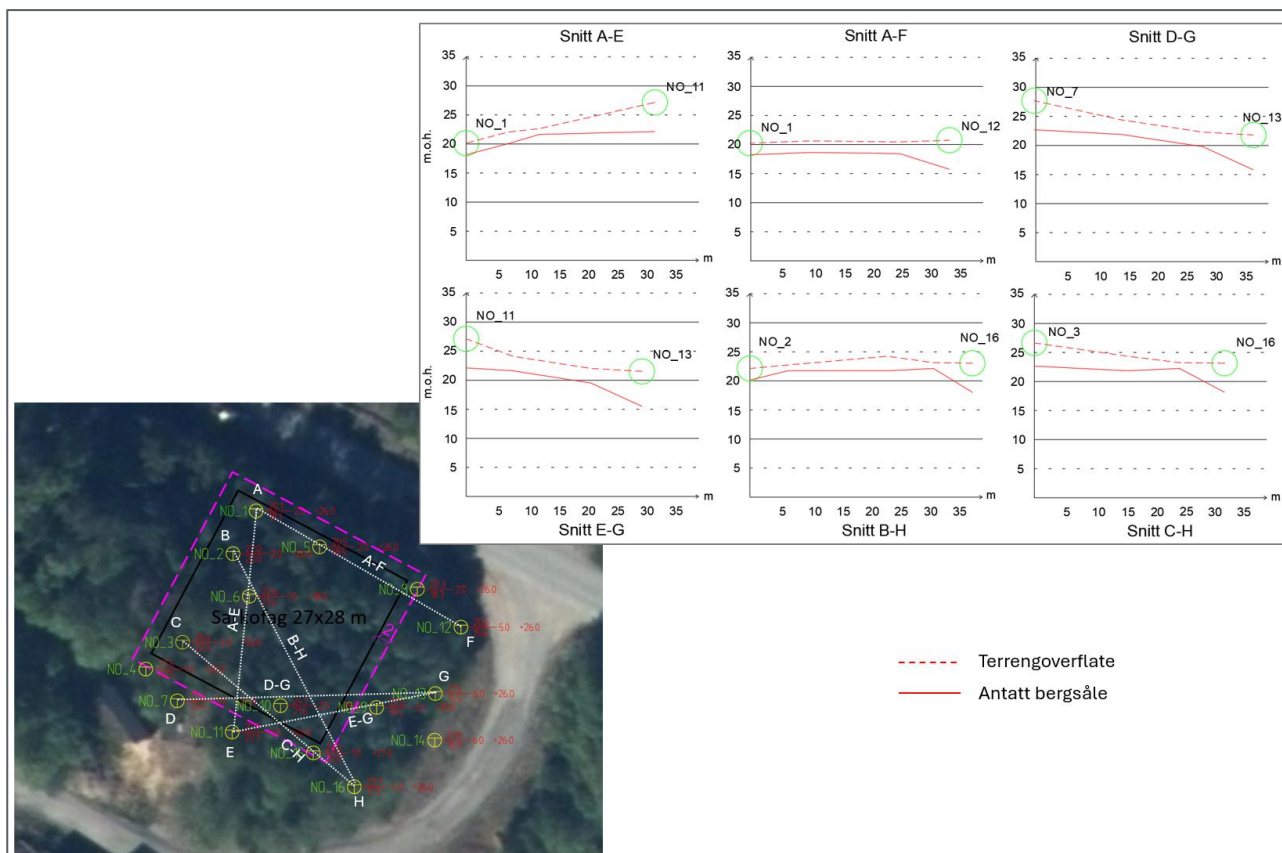
Figur 9. Mektigheten på leire varierer fra null til opptil 3 meter.

Betong

Det ble boret gjennom betong for minst to av borhullene, deriblant NO_4 og NO_10. I NO_10 var betongtykkelsen på ca. 2,5 meter. Betongen stammer fra fundamenter for prosessbygg på oppredningsverket.



Figur 10. Betong stammer trolig fra grunnmuren til ett av de tidligere prosessbyggene på oppredningsverket.



Figur 11: Viser (grove) tverrsnittprofiler basert på borchullene fra AF Decom AS. Tiltaksområde innenfor rosa stiplet linje.

Figur 11 viser seks forskjellige vertikalprofiler med terreng- og bergoverflate basert på data fra borchullene. Snittene er korteste mulige vei mellom to borchull. Diagrammene antyder at løsmassemekktigheten er jevnt fordelt, men at det forekommer lommer med løsmasser der bergsåle flater ut eller faller steilt. Mekktigheten øker ved NO_7 og NO_11, som kan skyldes avgangs- eller fyllmasser oppå de naturlige løsmassene. Det er også en økt mektighet ved NO_12, NO_13 og NO_16 som følge av en større andel leirmasser.

3.2 Kjerneprøver

Fylkesgeologen i Telemark har undersøkt borkjerner fra NO_6, NO_9 og NO_10. Det ble påvist tre bergartstyper: fenitt, søvitt og FDC. I det aktuelle området er fenitten ikke spesielt radioaktiv, mens søvitten har et forhøyet innhold uran og thorium. FDC har et svært høyt innhold av thorium, men lite uran [2]. I rapporten anbefales målinger av gammastålningsnivået i søvitt og FDC for å vurdere behovet for deponering.

Både søvitt og FDC har til felles at de opptrer som årer i fenitt (Figur 12). Søvittårene er typisk 0,1-0,6 meter tykke og ligger primært dypere enn 8 meter, men tynnere årer kan forekomme lenger oppe. Den øverste FDC-åren ligger mellom 2-4 meter under bergsålen og er forholdsvis tynn (0,1-0,2 meter). FDC er stedvis sterkt rustforvitret. Avhengig av forvittringsgraden varierer fargen fra svart til grålig/brunlig.



Figur 12: Fenitt er mørk og rødlig. Søvitt er lys med mørke malmtråder. FDC er grålig til mørk med tråder, stedvis rustforvitret. Den øverste kassen viser første 5 meter av NO_6, mens den nederste kassen viser siste 5 meter av NO_6 [2].

4 Ingeniørgeologiske vurderinger

Sarkofagen for oppbevaring av lav-radioaktivt avfall fra Søve gruver planlegges i et område der det har ligget et oppredningsverk. Det skal deponeres slagglumper fra en tipp nedenfor det tidligere smelteverket. I denne rapporten har fokus vært å vurdere områdestabiliteten for sarkofag og forhold med betydning for masseuttak.

4.1 Vurdering av grunnundersøkelser

I forkant av grunnundersøkelsene ble det utarbeidet en detaljert borplan med koordinater for utvalgte punkt. Plassering av borpunkt ble vurdert med hensyn til planområdet og sarkofagens antatte form og dimensjoner. Punktene ble plassert over et større område (100 x 75 m) for ikke å begrense mulighetsrommet for fremtidig prosjektering. Noen av punktene ble plassert sentralt og resten fordelt i utkanten av området.

Et viktig premiss for grunnboringene var å bore tilstrekkelig dypt i fjell for å avdekke hulrom og gruveganger i berggrunnen med mulig innvirkning på områdestabiliteten. Det ble blant annet boret tettere i områder nære antatte gruveganger. I tillegg ble det spesifisert at samtlige hull skulle bores minst 20 meter inn i fast fjell. Det ble boret totalt 16 hull, der tre av hullene ble boret ved kjerneboring og resterende hull ved fjellkontrollboring. Kjernehullene ble boret ca. 39 meter inn i fast fjell, mens fjellkontrollhullene ble boret mellom 26-27 meter.

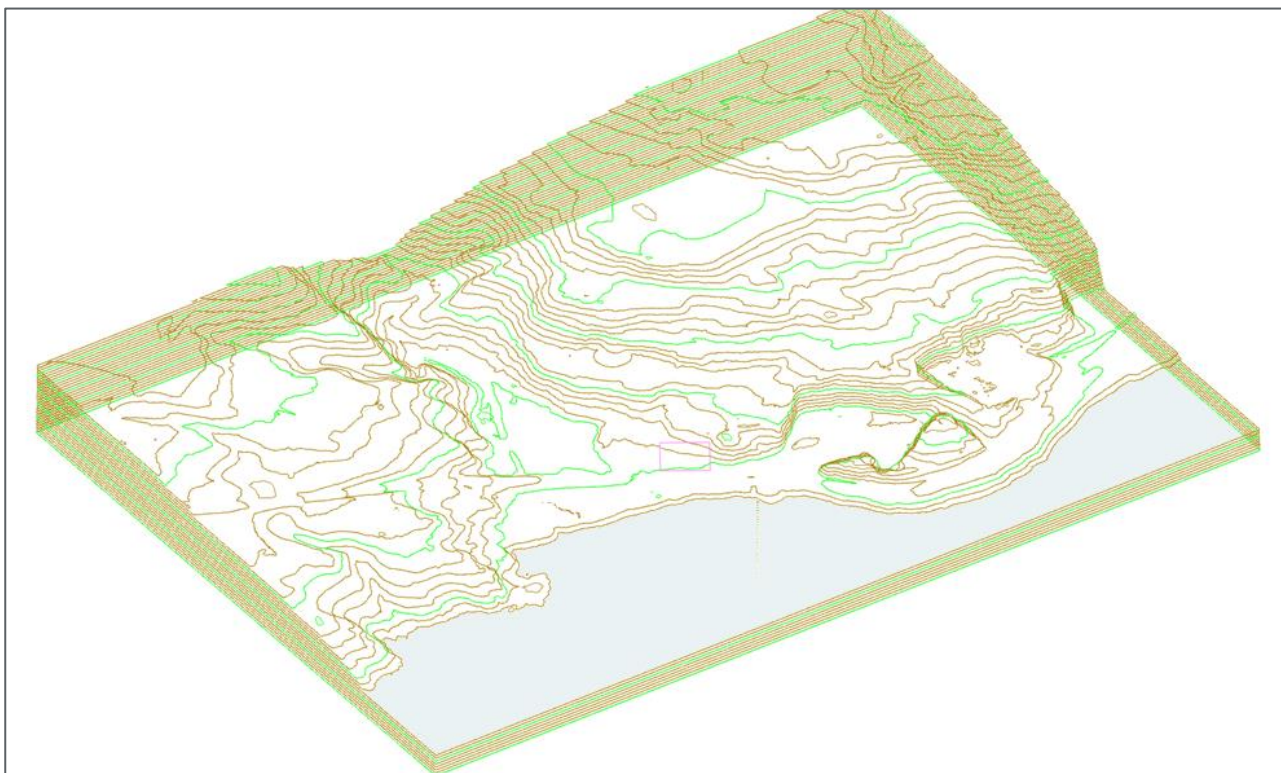
AF Decom AS måtte stedvis justere plasseringen av borhull på grunn av utfordrende adkomst for borryggen. De faktiske borhullene avviker derfor fra borplanen. Vurderingen er at det er liten sannsynlighet for at hulrom eller gruveganger innenfor planområdet for sarkofag ikke skal ha blitt fanget opp av borhullene. Ingen av borhullene påviste bergstrukturer med negativ innvirkning på områdestabiliteten.

Grunnundersøkelsene viste varierende løsmassemekthet (dybde til fjell). Løsmassene består i stor grad av hav- og fjordavsetninger og forvittringsmateriale, men er enkelte steder overlatt av vaskerjord og annen avgangsmasser fra oppredningsverket. Sannsynligvis inneholder vaskerijorda en del tungmetaller.

4.2 Vurdering av masseuttak

I grunnlaget for masseberegninger har det blitt benyttet en terreng- og bergmodell fra henholdsvis høydedata (DTM) og interpolert bergoverflate basert på grunnundersøkelser (13 fjellkontrollboringer + 3 kjerneboringer).

For massevurderinger legges det til grunn et tverrsnittareal 27x28m og et bunnplanum på kote +18,5. Siden sarkofagen ikke er prosjektert enda, er de nevnte forutsetningene bare foreløpige og ikke endelig fastsatt.



Figur 13. Terrengmodell og omriss av området (27x28m) for sarkofagen.

Omrisset til sarkofagen (27x28m) ble ekstrapolert vertikalt til en byggegrop for å beregne masser mellom sarkofagens planum (bunnivå) og berg og- terrengoverflate. Rosa rektangel viser planumet (Figur 13).

4.2.1 Beregning av massevolumer

Høydekoter for terrengoverflate er henholdsvis +27,3, +22,9, +20,1 og +19,0 i forhold til hjørnene for planum ved kote +18,5. Gjennomsnittshøyden over planumet er da ca. 4,6 meter $([8,8+4,4+1,6+0,5]/4)$.

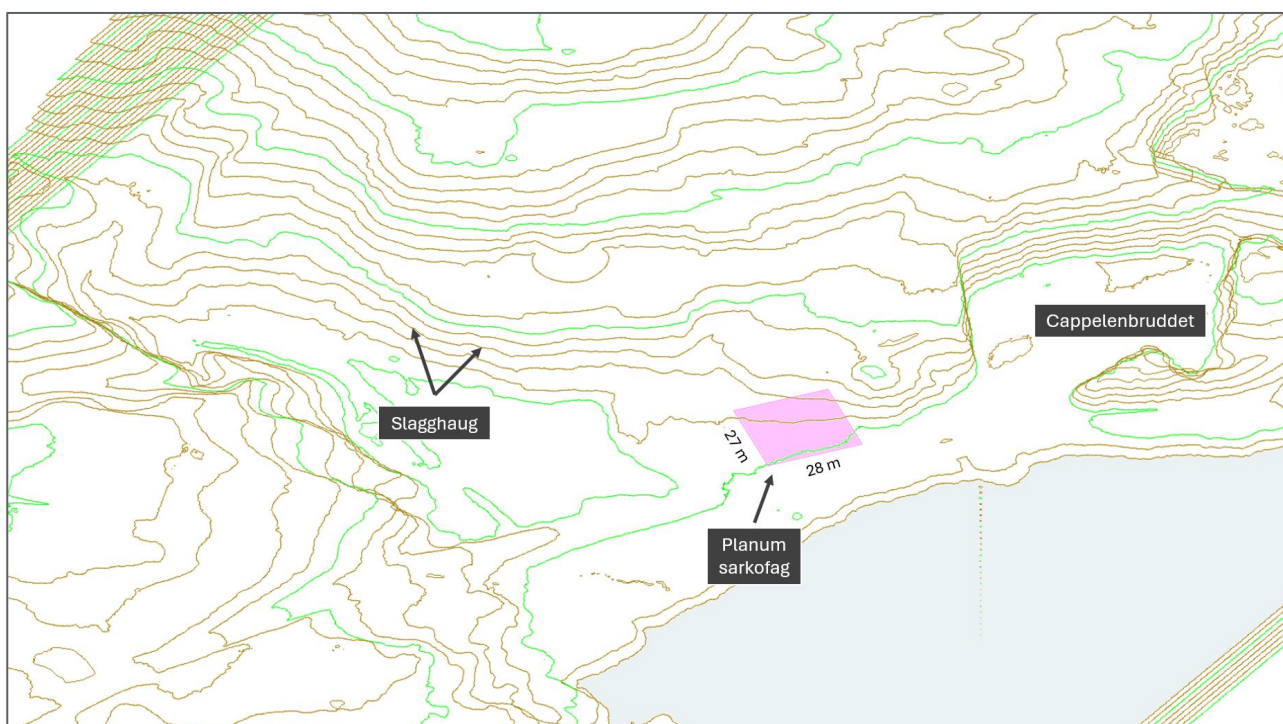
Volum av masser mellom planum og terrengoverflate er anslått i Civil3D til 3045 m³. Volumet inkluderer både berg- og løsmasser, og det gjenspeiler den totale mengden masser som må sprenges / graves ut (Tabell 2).

Tabell 2. Viser estimerte volum av berg- og løsmasser.

Nedre grenseflate	Øvre grenseflate	Volum masser [m ³]	Type masse
Planum sarkofag	Terrengoverflate	3045	Berg- + løsmasser
Planum sarkofag	Bergoverflate	1537	Bergmasser
Bergoverflate	Terrengoverflate	1508	Løsmasser

Ut fra resultatet er $3045 \text{ m}^3 / 768 \text{ m}^2 = 4,0 \text{ m}$. En gjennomsnittshøyde på 4 meter virker rimelig. Anslagene viser at fjell utgjør ca. 50,5 % av massene. Dette tilsvarer at det må sprenges ut ca. 1500 m^3 med fjell.

Det faktiske uttaket vil kunne avvike fra estimerte anslag. Bergoverflaten kan være en mulig feilkilde da den ble interpolert ut fra bordata. Det er i modellene brukt en «cut»-faktor på 1. I utformingen av byggegrop for beregning av volum er arealet til den øvre grenseflaten ca. 1 % større enn arealet til planumet på grunn av begrensninger i AutoCAD med hensyn til triangulering. Effekten av dette vil være liten siden bergskjæringer uansett må etableres med en helning ($\leq 10:1$) slik at faktisk masseuttak trolig vil bli større enn beregnet.



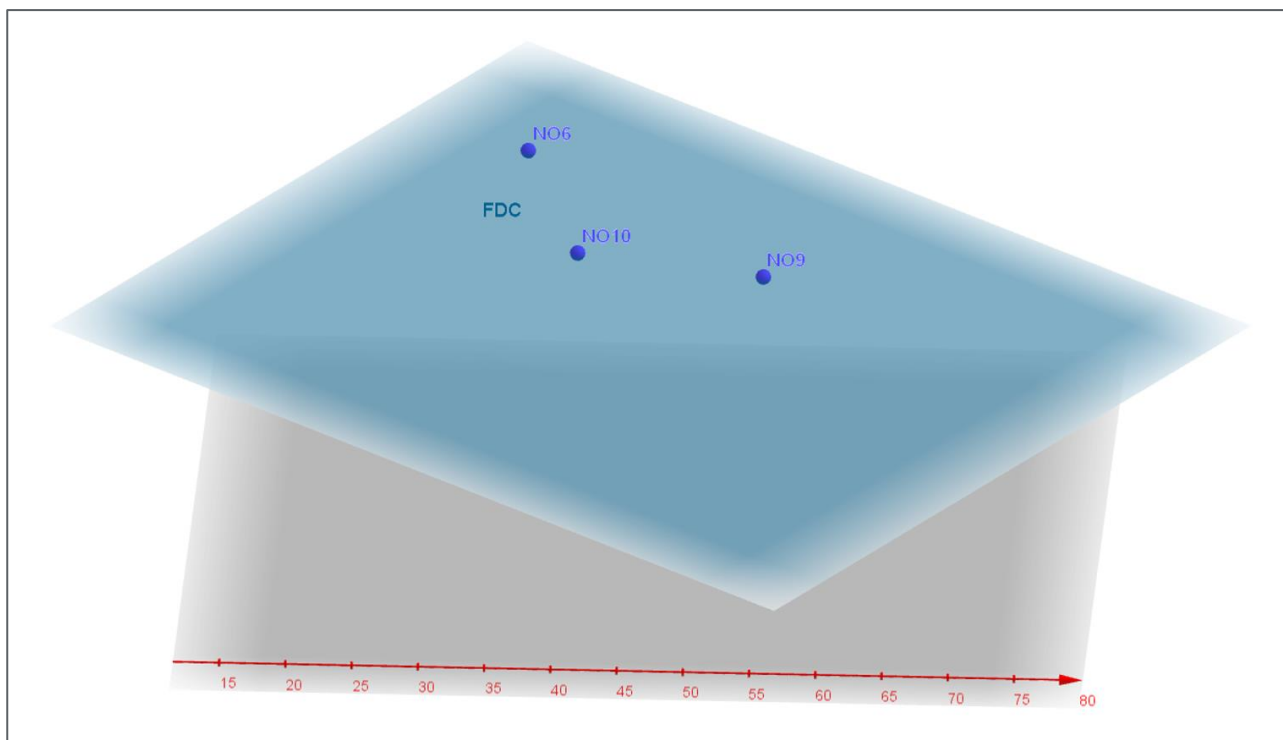
Figur 14. Oversiktsbilde over prosjektområdet ved Søve gruver.

4.2.2 FDC-lag med hensyn til masseuttak

Av bergarter har det blitt påvist fenitt, søvitt og Fe-dolomitt-karbonatitt (FDC). FDC er naturlig radioaktiv. Det er påvist opptil tre bergartslag med FDC. Det øverste FDC-laget finner sted ca. 2-4 meter under bergsålen. Ved NO_6, NO_9 og NO_10 opptrer FDC-laget på henholdsvis kote +18,8, +15,8 og +17,3 (Tabell 3).

Tabell 3. Registrerte høydekoter for øverste FDC-lag og tilhørende koordinater (ETRS 1989 UTM sone 32N).

	Øst (x-koordinat)	Nord (y-koordinat)	FDC-kote (z-koordinat)
NO_6	516335,430	6571455,454	18,8
NO_9	516354,033	6571439,193	15,8
NO_10	516339,998	6571439,460	17,3



Figur 15. Koter for FDC-lag ble ekstrapolert ved vektorer til et plan med gjennomsnittlig fall på ca. 7° mot sørøst.

Alle beregninger for FDC-laget er basert på høydekoter og koordinater i Tabell 3. FDC-laget kan fremstilles matematisk som et plan ved bruk av den såkalte 3 punkt-metoden (Figur 15).

Et plan for FDC-laget kan estimeres ved to tredimensjonale vektorer $\vec{A}$ og $\vec{B}$ med hensyn til NO_6 og deretter beregne vektorproduktet $\vec{A} \times \vec{B} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$. Ligningen for planet er $a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) = 0$, der NO_6 = $[x_0, y_0, z_0]$.

$$\vec{A} = [\text{NO}_9 - \text{NO}_6] = (54.033, 39.193, 15.8) - (35.430, 55.454, 18.8) = [18.603, -16.261, -3.0]$$

$$\vec{B} = [\text{NO}_{10} - \text{NO}_6] = (39.998, 39.460, 17.3) - (35.430, 55.454, 18.8) = [4.568, -15.994, -1.5]$$

Kryssproduktet mellom vektorene $\vec{A}$ og $\vec{B}$ (vektorproduktet $\vec{A} \times \vec{B}$) er:

$$\vec{A} \times \vec{B} = [-23.5905, 14.2005, -223.256134] = -23.5905\vec{i} + 14.2005\vec{j} - 223.256134\vec{k}$$

Ligningen for planet representert som FDC-laget blir dermed:

$$\begin{aligned} & a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) \\ &= -23.5905(x - 35.430) + 14.2005(y - 55.454) - 223.256134(z - 18.8) = 0 \\ &\Rightarrow -23.5905x + 14.2005y - 223.256134z = -4245.5522072 \end{aligned}$$

Planets fall er gitt som vinkelen mellom planet og horisontalaksen. Normalvektoren til planet $\vec{n}$ vil være:

$$\vec{n} = (A, B, C) = (-23.5905, 14.2005, -223.256134)$$

Fallvinkelen til planet α kan beregnes ved hjelp av trigonometri. Siden planet er orientert i negativ retning, vil fallvinkelen være gitt ved $\alpha = \pi - \theta$, der $\theta = \arccos\left(\frac{C}{\|\vec{n}\|}\right)$. Størrelsen til normalvektoren $\|\vec{n}\|$ er gitt ved:

$$\|\vec{n}\| = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} = \sqrt{(-23.5905)^2 + 14.2005^2 + (-223.256134)^2} = 224.95$$

Planet faller da:

$$\alpha = \pi - \theta = \pi - \arccos\left(\frac{C}{\|\vec{n}\|}\right) = \pi - \arccos\left(\frac{-223.256134}{224.95}\right) \approx \pi - 3.019 = 0.1226$$

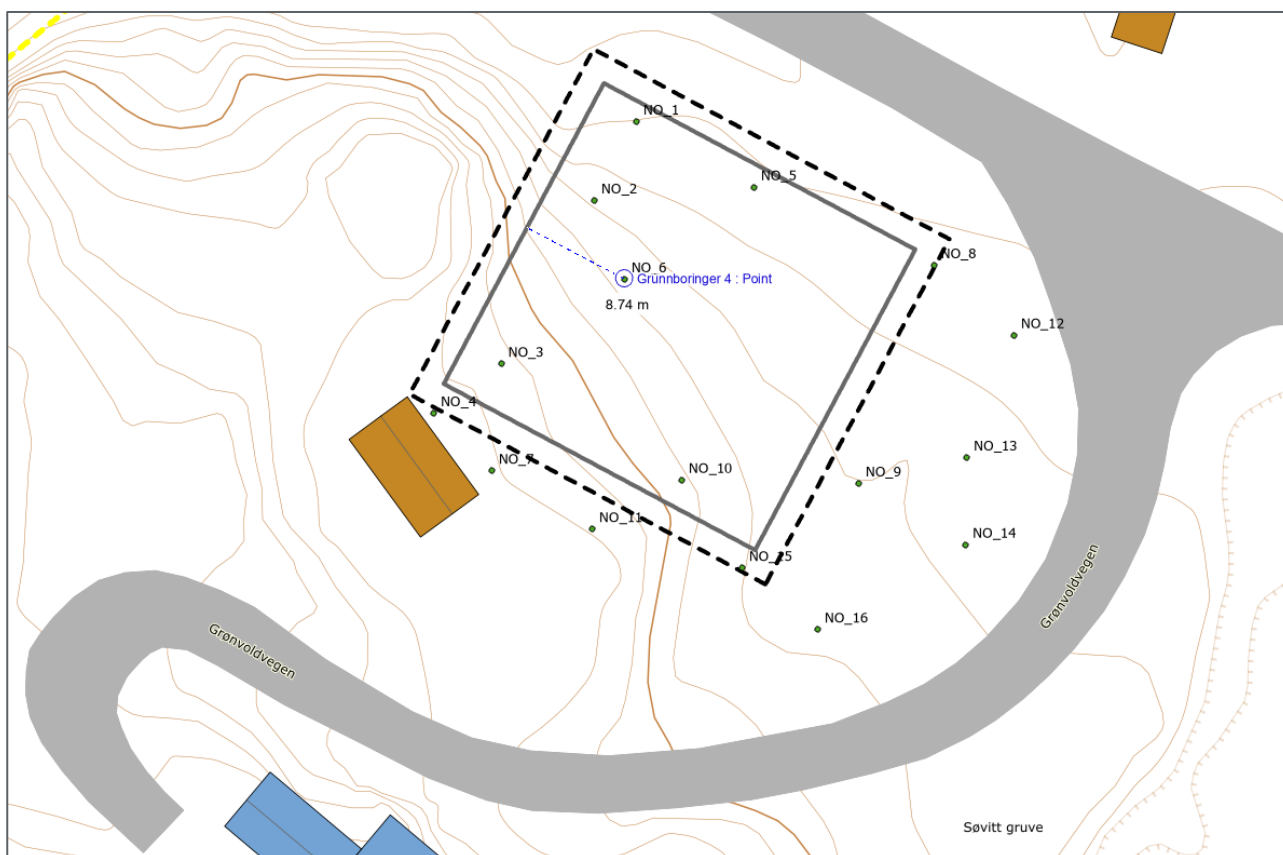
Omgjort fra radianer til grader:

$$\alpha \approx 0.1226 \times \frac{180^\circ}{\pi} = 7.02^\circ$$

FDC-laget faller med ca. 7° mot sørøst, dermed ligger FDC-laget høyere i vest enn i øst. Korteste avstand mellom NO_6 og yttergrensen for sarkofag i vest er målt til ca. 8.74 meter (Figur 16). Høydekoten for FDC-laget ved den nevnte yttergrensen kan dermed anslås til:

$$18.8 \text{ m} + \tan 7.02^\circ \times 8.74 \text{ m} \approx 19.9 \text{ m}$$

Det må forventes at FDC-laget kan opptre opptil kote +19,9 i vest. Det er ca. 1,4 meter høyere enn planum for sarkofag. Berguttak ned til +18,5 vil altså komme i konflikt med FDC-laget.



Figur 16. Avstand ut fra NO_6 til yttergrensen for sarkofag i vest er ca. 8,7 meter.

5 Usikkerhet

Det må påpekes at det alltid er forbundet en usikkerhet rundt grunnforhold. Ingeniørgeologiske vurderinger er basert på tilgjengelige data og utførte grunnundersøkelser.

Det er også knyttet usikkerhet til utstikking og innmåling. Under arbeidet med rapporten ble det avdekket at registrerte koter for borhullpunkt avviker fra høydedata. Høydekoter ble oppdatert etter droneskanning, mens det er benyttet GPS-koordinater fra stikkingen. Innmålingsfeil kan ha påvirket resultatene og vurderingene.

Volum av masseuttak ble estimert på bakgrunn av en terrengmodell og en interpolert bergmodell. Det kan være at den interpolerte bergoverflaten avviker fra faktisk bergsåle og dermed påvirker estimerte volumer.

Ved fundamenteringsarbeider (berguttak) vil en komme i konflikt med et grunt FDC-lag. FDC-laget er mer radioaktivt enn berggrunnen ellers. Andelen FDC i sprengstein ved fremtidig berguttak har ikke blitt vurdert.

Det er usikkerhet omkring påviste leirmasser kan inneholde kvikkleire og dermed faren for kvikkleireskred. Øst for tiltaksområdet viser enkelte fjellkontrollhull leire, men ikke om det er bløt leire eller kvikkleire. Siden det er en risiko for kvikkleire, bør supplerende grunnundersøkelser og geoteknisk involvering vurderes.

6 Videre arbeider

Ved prosjektering av tiltaket gjelder plan- og bygningsloven (PBL). I forbindelse med videre arbeider forutsettes at det legges til grunn relevante prosjekteringsstandarder.

7 Referanser

- [1] S. Dahlgren, «Miljøgeologisk undersøkelse av lavradioaktivt slagg fra ferroniobproduksjonen ved Norsk bergverk på Søve 1956-1965,» 2005.
- [2] Sven Dahlgren, «Geologisk undersøkelse av borkjerner fra Søve, Fensfeltet, Telemark,» Telemark fylkeskommune, 2025.
- [3] Institutt for energiteknikk (IFC), «Vurdering av alternativ deponering av radioaktive masser fra Søve gruver. Rapportnr. IFE/KR/F-2012/130,» 2012.
- [4] Norges geotekniske institutt (NGI), «Kartlegging av omfang og kostnader ved eventuell senere opprydding av radioaktivt materiale ved Søve gruver. Rapportnr. 20091927-00-14-R,» 2010.
- [5] Institutt for energiteknikk (IFC), «Radigeologisk kartlegging av orådet rundt tidligere Søve gruver, rapportnr. IFE/KR/F-2006/174,» 2006.
- [6] Bergfald miljørådgivere AS, «Forslag til "Plan- og utredningsprogram for konsekvensutredning". Dok.nr. 31053.,» 2025.