

Rapport

Handläggare
Sara Wiberg (Bergteknik)
Simon Nikolaev (Bergteknik)
Niclas Larsson (Geolog)
Irene Geuken (Geolog)

Datum
2022-05-06

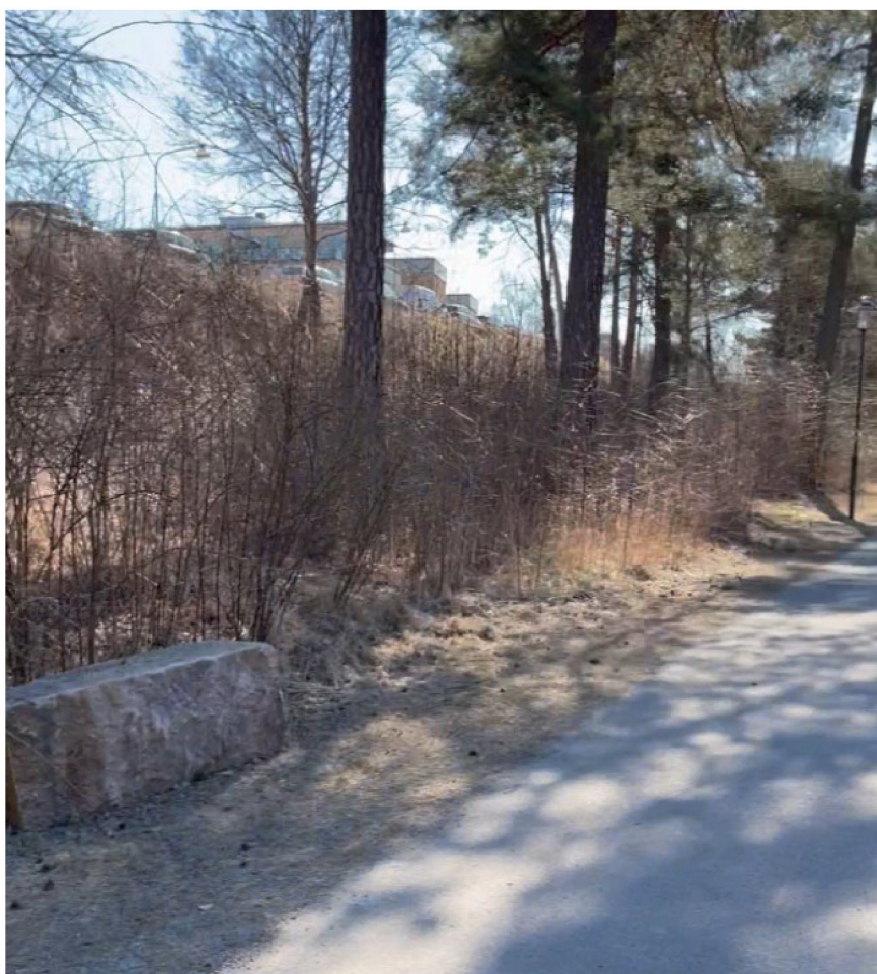
Tel
010 - 505 41 74
E-post
sara.wiberg@afry.com

Projekt ID
215176

Mottagare
Granitor Miljöteknik AB

PM Bergteknik

Sulfidutredning samt geologiska förutsättningar och bergtekniska resonemang för Lisebacke, Östberga



Innehållsförteckning

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Inledning & orientering | 4 |
| 1.1 | Syfte | 6 |
| 2 | Förutsättningar för detta PM | 6 |
| 3 | Geologi och sprickgrupper | 7 |
| 3.1 | Geologisk beskrivning SGU | 7 |
| 3.2 | Geologisk beskrivning utifrån fältkartering..... | 8 |
| 3.3 | Sprickgrupper | 10 |
| 4 | Sulfidutredning | 12 |
| 4.1 | Bakgrund | 12 |
| 4.1.1 | Bildning av surt lakvatten..... | 12 |
| 4.1.2 | Acid Rock Drainage (ARD) och berganvändning..... | 12 |
| 4.2 | Sulfidutredning metodik | 13 |
| 4.2.1 | Totalsvavel..... | 13 |
| 4.2.2 | Acid-Base Accounting | 13 |
| 4.2.3 | Analys NAGpH | 13 |
| 4.2.4 | AMIRA ARD Test Handbok | 14 |
| 4.2.5 | Analys av metaller och halvmetaller | 14 |
| 4.2.6 | Statistisk bedömning | 15 |
| 4.3 | Sulfidutredning resultat..... | 16 |
| 4.3.1 | Provtagning..... | 16 |
| 4.3.2 | Analysresultat totalsvavelhalt | 17 |
| 4.3.3 | Analysresultat ABA | 18 |
| 4.3.4 | Analysresultat NAGpH..... | 19 |
| 4.3.5 | Analysresultat metaller och halvmetaller | 20 |
| 4.4 | Sulfidutredning bedömning..... | 21 |
| 4.4.1 | Bergmaterialet förmåga att bilda surt lakvatten | 21 |
| 4.4.2 | Utlakning av metaller och halvmetaller | 21 |
| 4.5 | Vidare utredning och rekommendationer..... | 22 |
| 4.5.1 | Hanteringsplan bergschakt | 23 |
| 4.5.2 | Kontrollprogram..... | 23 |
| 4.6 | Sammanfattning | 24 |
| 5 | Bergteknik..... | 25 |
| 5.1 | Topografi och bergöverytans läge..... | 25 |
| 5.2 | Bergslänt & spont eller jordslänt | 25 |
| 5.2.1 | Resonemang vid konstruerande av bergslänt..... | 26 |
| 5.2.2 | Motfyllda bergslänter | 26 |
| 5.2.3 | Permanent exponerade bergslänter | 26 |
| 6 | Rekommenderad fortsättning..... | 27 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7 | Referenser..... | 28 |
| 8 | Bilagor | 29 |
| 8.1 | Bilaga 1 ALS Analyscertifikat P!22124946..... | 29 |

Bilagor

Bilaga 1Analysresultat

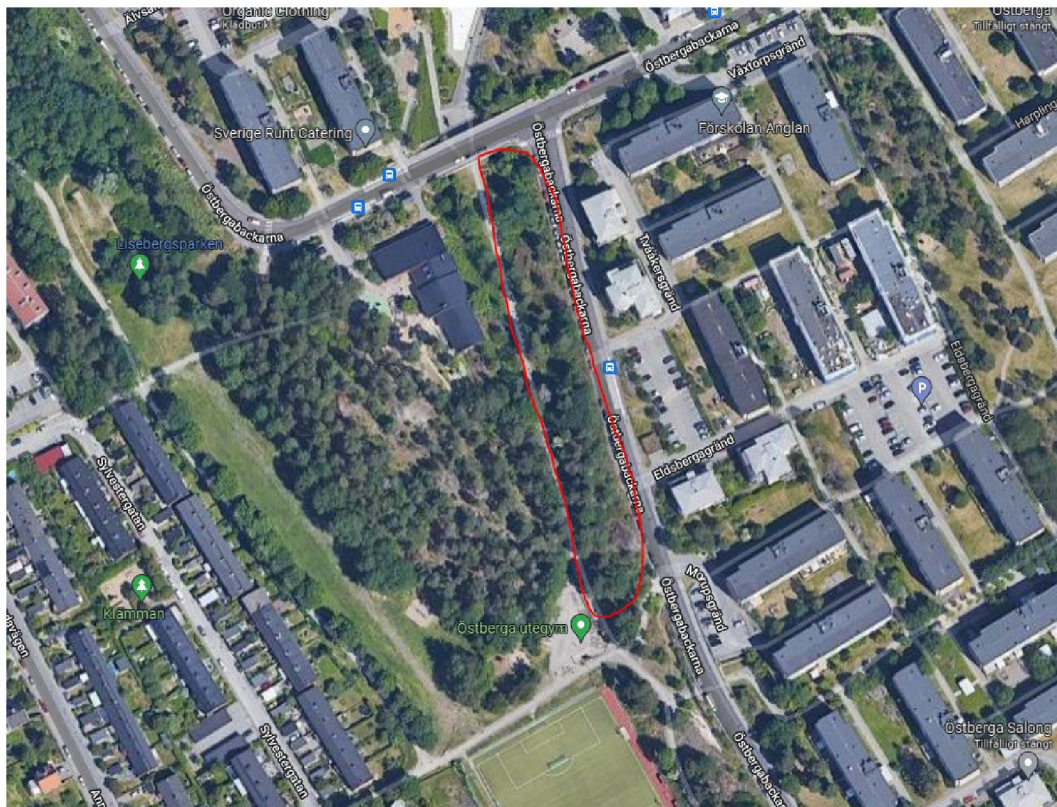
Rapportshistorik

| Ver. | | Checked status | Sign | Approval | Sign |
|------|---------------|----------------|------------|------------|------|
| 0.1 | Förhandskopia | 2022-05-05 | SNv NLn | 2022-05-06 | SWg |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

1 Inledning & orientering

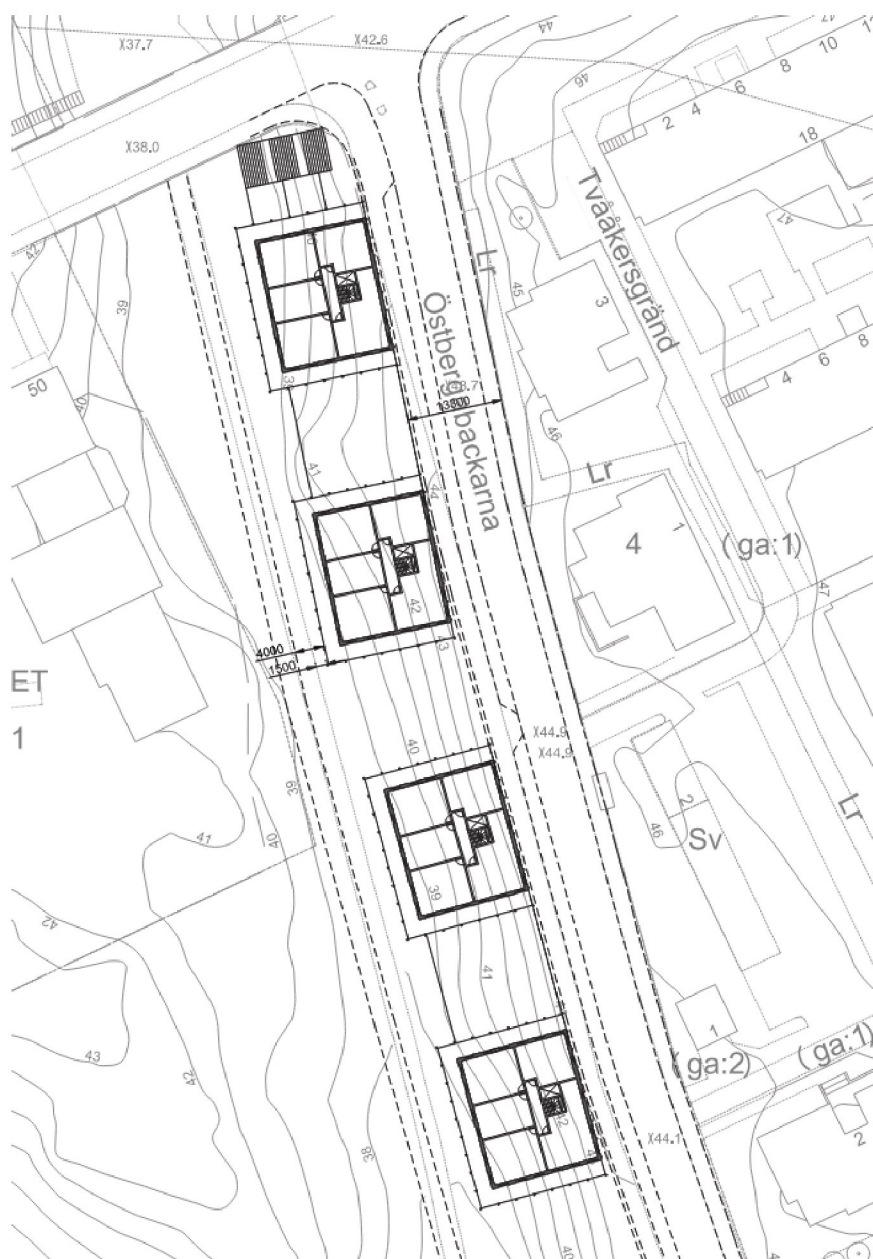
Detta PM är framtaget på beställning av Granitor, med syfte att i tidigt skede utföra sulfidutredning samt redogöra för geologiska och bergtekniska förutsättningar för tomten "Lisebacke", som ligger mellan Östbergabackarna och gångstråket i parken mellan Östberga och Liseberg, se Figur 1 nedan.

Exploateringsnämnden har anvisat marken i fråga till Granitor, och projektet ingår i stadsutvecklingsprojektet Årstafältet-Östberga och är en del av Östbergaprogrammet.

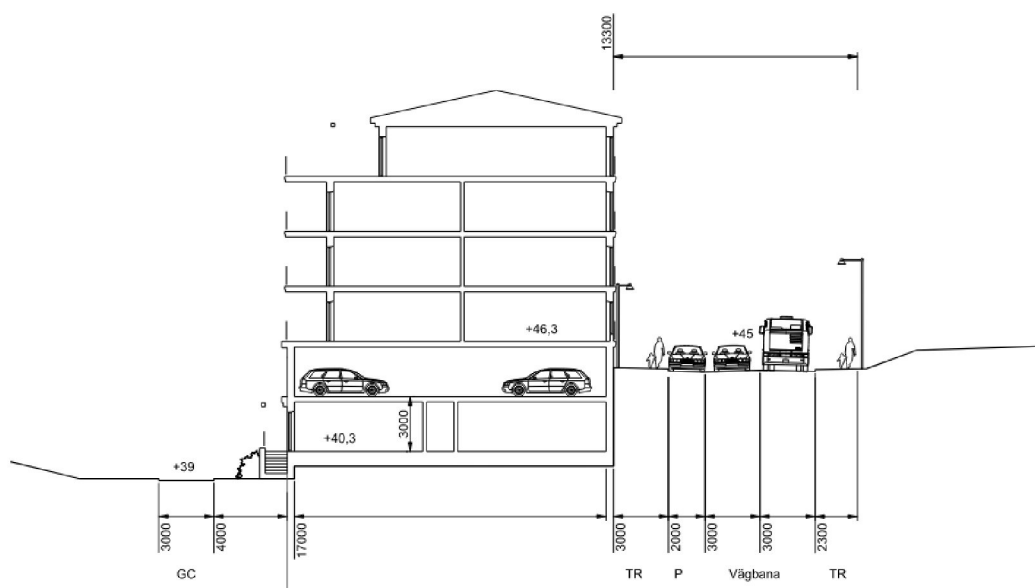


Figur 1. Tomtens utbredning.

I Figur 2 & Figur 3 redogörs för föreslagna byggnader på tomten.



Figur 2. Projektförslag från White, planvy.



Figur 3. Projektförslag från White, sektionsvy.

1.1 Syfte

Syftet med detta PM är att:

- Redogöra för utförd sulfidutredning och dess resultat, och hur sulfidhalten i berget påverkar projektet.
- Redogöra för geologin med hänsyn till observerade sprickgrupper och observerad bergartsvariation, och hur detta påverkar förstärkningsbehov av bergslänter (bergväggar) som skapas när urschaktning för grundläggning av hus utförs.
- Redogöra för bergytans läge under mark där läget är okänt, med hjälp av JB-sonderingar.
- Utgöra ett underlag till kommande projektering av bergslänter. Detta uppnås genom att resonemang förs om:
 - o Styrande dokument
 - o Slänters potentiella utformning, som i stor utsträckning påverkas av bergytans läge.
 - o Frågor som med fördel bör hanteras tidigt i projekteringsprocessen.
 - o Vilka analyser som bör utföras vid dimensionering av bergslänterna

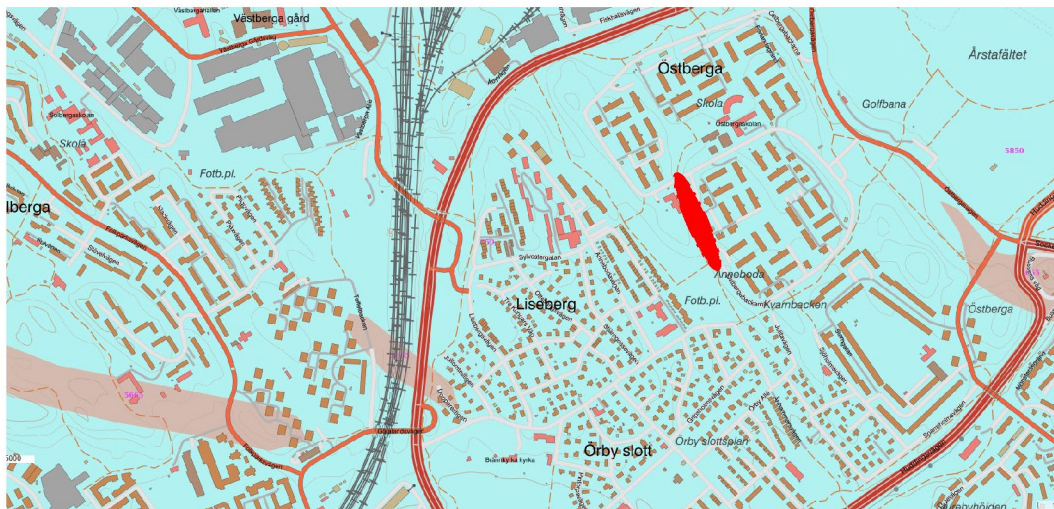
2 Förutsättningar för detta PM

Inga ytterligare förutsättningar för framtagandet av detta PM har funnits än det som beskrivs under kapitel 1, bortsett från projektförslaget från White, som består av figurer som delvis redovisas under kapitel 1.

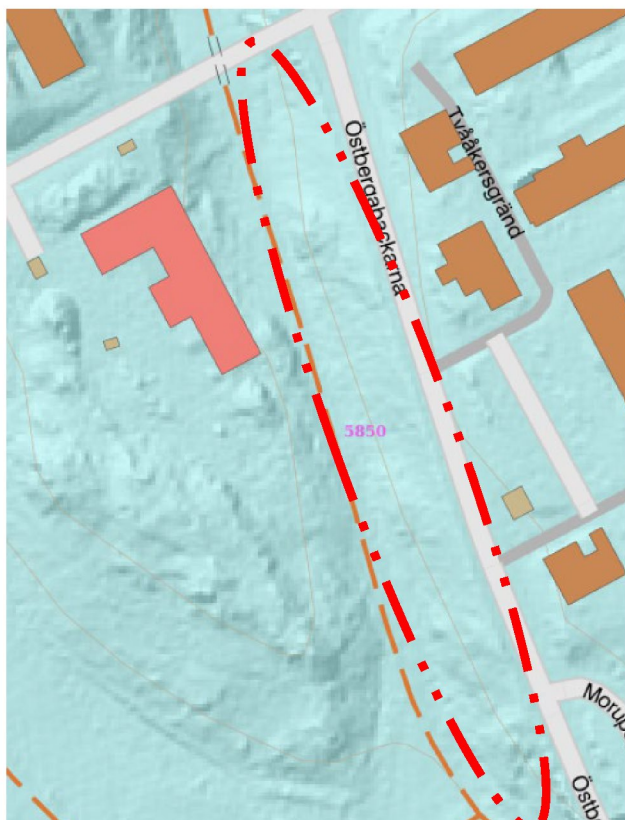
3 Geologi och sprickgrupper

3.1 Geologisk beskrivning SGU

Enligt SGU's bergartskarta är den huvudsakliga bergarten av sedimentärt ursprung, en granat- och glimmerförande metagråvacka (ljusblå färg, Figur 4 och Figur 5). Inom närområdet finns även inslag av en metamorf granodiorit-granit (kvarts-fältspat-glimmersammansättning) med ådrig struktur (ådergnejsstruktur), rödbrun färg i Figur 4 och Figur 5.



Figur 4. Översiktsbild bergartskarta SGU. Det röda området är föremål för kartering och provtagning. Ljusblå färg indikerar metagråvacka och rödbrun färg metamorf granodiorit-granit (se text ovan).



Figur 5. Enligt SGUs bergartskarta är den huvudsakliga bergarten av sedimentärt ursprung, en granat- och glimmerförande metagråvacka.

3.2 Geologisk beskrivning utifrån fältkartering

Den huvudsakliga bergarten som observerats vid fältkarteringen är en metagråvacka, (varierande färg men förmodligen huvudsakligen vit/grå), mellankornig till mycket grovkornig med varierande vittringshud. Fältspat- och kvartsrik, glimmerförande och granatförande. Detta stämmer väl med SGU's bergartskarta för området (Figur 4 och Figur 5).

Omvandlingsgraden bedöms ligga i spannet w2-w4 (dvs berggrunden är moderat till helt omvandlad), ställvis möjligtvis w5 (dvs allt bergmaterial är omvandlat och inga strukturer finns kvar), (Trafikverket, 2019) men det är svårt att avgöra omvandlingsgraden för hela berggrunden inom området med anledning av dess beskaffenhet och tillgängliga hållar. Norrut förekommer tydligt migmatitiska inslag med ett högre glimmerinnehåll samt mer inslag av granater (upp till ett par cm). Bergarten upplevs som något ljusare här än längre söderut.

Tydliga tecken på att mjukare mineral som glimmer har vittrats bort, vilket också avslöjar foliationsriktningen (foliation – skiktning av bergarten) som är ~310/80 och som löper subparallellt med vägen, dock med varierande stupning (lutning) och strykning (riktning). Ställvisa fältspatiska pegmatitiska (grovkornig silikatbergart) inslag, glimmerinnehållet är tydligt längs med sträckan men med ett mycket högre innehåll norrut.

Observerbara delar av slänt är väl avrundade. Befintlig gång- och cykelväg och dess sträckning parallellt med den tänkta tomten bedöms som en "naturlig svacka" med avrundade hållar på båda sidorna av GC-vägen. En svacka tycks också finnas mellan norra och södra tänkta hus som tvärrar in mot cykelvägen. Rostiga inslag förekommer i

samband med omvandlingen/vittringen. Med anledning av de rundade hällarna har det varit svårt att få loss handstuffer och de som tagits loss påvisar allt som oftast kraftig vittring/omvandling (relaterat till vittringshuden). Förmodligen inte representativt för bergmassorna i stort gällande friskt berg. Några sulfider har ej kunnat observeras i de handprover som losstagits (behöver ej innebära frånvaro av sulfider).

I området tycks det förekomma tre sprickgrupper, en som går subparallellt med området nord-sydlig riktning och stupar österut samt en sprickgrupp som brant stående tvärs tidigare nämnd struktur samt en flack sprickgrupp som stupar västerut. Sprickfyllnader som observerats är glimmer, klorit och möjligtvis kalcit. Sprickegenskaperna (av de som kunnat observerats) är huvudsakligen undulerande råa/plana till ställvis plana råa.

Tydligt exempel på detta finns i det norra området (se Figur 6) som tydligt visar vilken typ av blockbildning som kan förväntas, storblockigt till blockigt, B5-B3. Ställvis S1-S2 (dvs skivigt till tunnskivigt berg), (Trafikverket, 2019) skivighet med korta sprickavstånd kring 0,06 m har observerats både brant stående och flacka bankningsplan.



Figur 6. Block skapat av samverkande sprickgrupper.

Inga tecken på några svaghetszoner har kunnat observerats med reservation för terrängens beskaffenhet. Vid vägnivån och förmodligen ned ett eller ett par meter kan marken utgöras av fyllnadsmassor/morän. Håligheter i marken har visat att småblock är staplade på varandra (morän) med luftiga mellanrum. Den struktur som stryker ca 310–330 grader återfinns även på andra hällar/slänter en bit ifrån det karterade området i fråga.

3.3 Sprickgrupper

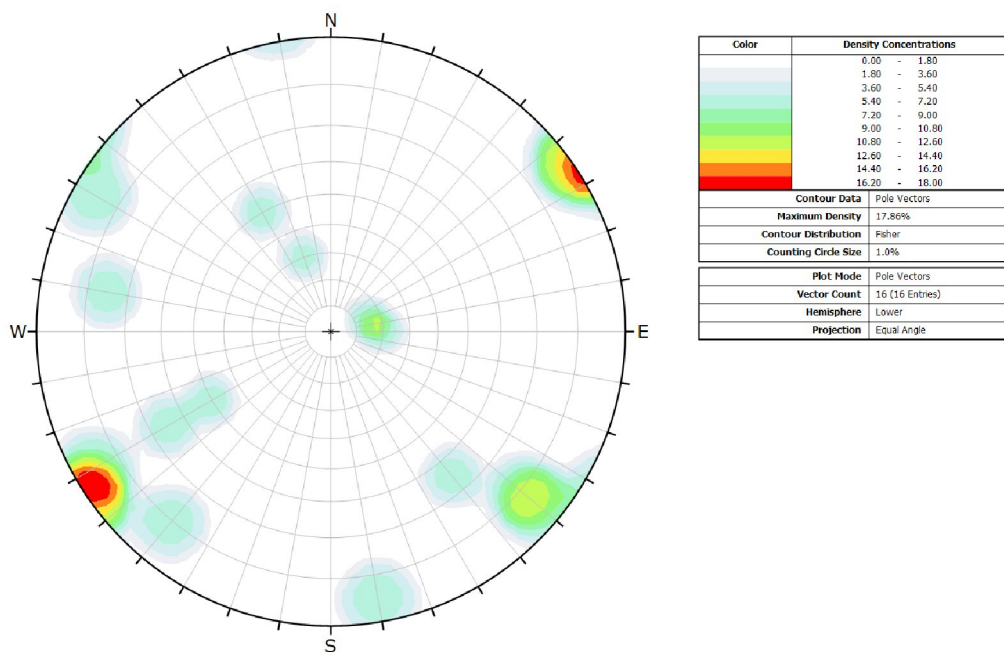
Av karteringen att döma finns det ett antal tydliga sprickgrupper i området som kan samverka med varandra och skapa ofördelaktiga sprickgeometrier med hänsyn till kommande bergschakt, se Tabell 1 och Figur 7, och det är bland annat sprickgrupp 1 med huvudsakliga orienteringen 310–330 med stupningen 80–90. Det finns också motsvarande sprickor med orienteringen 330 men med en något flackare stupning (50–65 grader). Det gemensamma för dessa är att de stupar mot öst samt att dessa återfinns utanför berört område.

En annan sprickgrupp som utmärker sig är den med orienteringen 220/80–85.

Flacka sprickor finns med orienteringen 160–180 och stupningen 15–20 (stupar västerut), förmodligen återkommande bankningsplan. En annan sprickgrupp är den med orienteringen 010–030 och stupningen 70–85. Sprickgeometrierna kan som sagt anses ofördelaktiga i avseende på kommande skärningar och kan innebära att behov av förstärkningar för att hindra att utfall föreligger. Detta diskuteras vidare i kapitel 5.

Tabell 1 Sammanställning av karterade sprickor. Visar strykning (högerhandsregeln), stupning samt observerad uthållighet.

| Strykning (Högerhandsregeln) | Stupning | Uthållighet (m) |
|---|-----------------|----------------------------|
| 010 | 70-80 | >5 |
| 030 | 85 | 2 |
| 060 | 50 | 3 |
| 070 | 30 | 3 |
| 160 | 15-20 | 1 |
| 180 | 15-20 | 4 |
| 220 | 80 | 2 |
| 220 | 80-85 | 1 |
| 230 | 65 | 1 |
| 260 | 85 | 2 |
| 310 | 80 | 2 |
| 325 | 90 | 2 |
| 330 | 50 | >5 |
| 330 | 65 | >2 |
| 330 | 80-85 | >5 |
| 325±180 | 90 | 2 |



Figur 7. Polplottsdiagram över karterade sprickor.

4 Sulfidutredning

4.1 Bakgrund

4.1.1 Bildning av surt lakvatten

Vid bergarbete som schaktning, krossning och sprängning exponeras bergmaterial för en oxiderande miljö (syre och vatten) och om sulfidmineral förekommer (exempelvis pyrit (FeS_2), kopparkis (CuFeS_2) m.fl.) i tillräckligt hög koncentration kan surt lakvatten bildas, då vittringen av dessa mineral innebär bildandet av svavelsyra (H_2SO_4). Surt lakvatten ökar även lösningsförmågan för grundämnen med ursprung från bergmaterialet vilket riskerar att förorena omgivningen. Den omgivande miljön kan då påverkas negativt av surt lakvatten. Förekommande karbonatmineralogi (och till viss del annan mineralogi) i bergmaterialet kan buffra den försurande reaktionen och därför minska den negativa effekten av eventuellt högt sulfidinnehåll (GARD guide, 2022).

4.1.2 Acid Rock Drainage (ARD) och berganvändning

Sulfidhaltiga bergmassor som oxiderar och bildar surt lakvatten kallas även för Acid Rock Drainage eller ARD (GARD Guide, 2021).

I oxideringsprocessen bryts bindningen mellan svavel och järn och ämnena kan gå i vattenlösning. Reaktionen frigör vätejoner vilket sänker pH och gör vattnet surt. Lägre pH-nivåer gör att vittringen av andra mineral går snabbare. Denna process är naturlig och pågår hela tiden i naturen men genom att spränga ut berg i samband med byggnation av tex. tunnlar eller bergschakt och krossa ned materialet till finare kornstorleksfraktioner så ökar den specifika ytan som kan utsättas för oxidation vilket gör att vittringsprocesserna accelererar (GARD Guide, 2021).

Utöver kornstorleksfraktionen på det uttagna berget spelar det också roll i vilka kvantiteter materialet förvaras/används då mer material också innebär större andel sulfidmineral när det förekommer (främst pyrit), likaså dimensionerna (höjd och skrymdensitet) på objektet (ex. upplag, konstruktionsfyllnad) vilka kommer avgöra mängden material som ligger per ytenhet (Naturvårdsverket, 2010).

ARD är en av de viktigaste källorna till förorening vid gruvdrift, men problematiken med ARD är inte begränsat till gruvindustrier utan förekommer också vid konstruktionsarbeten då berg sprängs och/eller schaktas och krossas.

4.1.2.1 Miljöbalken allmänna hänsynsregler

När berg tas ut genom sprängning eller schaktning och återvinns i en anläggning på plats eller säljs som byggmaterial ska de allmänna hänsynsreglerna i andra kapitlet miljöbalken (SFS 1988:808) följas. Det innebär att den som utför åtgärderna ska visa att lagstiftningen följs och att man som verksamhetsutövare har tillräckliga kunskaper om hur miljön och människors hälsa påverkas och ska skyddas. Det innebär också att det finns en skyldighet att vidta åtgärder för att förebygga att åtgärden medför skada eller olägenhet för miljön.

4.1.2.2 Naturvårdsverket anmälan

Naturvårdsverket (2010) rekommenderar att verksamhetsutövaren anmäler ett avfall som planerar att återanvändas och som har värden som överskrider de angivna för mindre än ringa risk.

4.2 Sulfidutredning metodik

Kapitlet avser att beskriva analysmetoder, referensvärden och bedömningsgrunder som utgör grund för tolkning och bedömning av resultat.

4.2.1 Totalsvavel

Enligt 6 § i Förordning om utvinningsavfall (SFS 2013:319) anges att utvinningsfall bedöms som inert om totalsvavelhalt är <0,1% men att halten får vara upp till 1% om neutraliseringspotentialen är tre gånger så stor som syrabildningspotentialen (se kapitel 4.2.2).

Trafikverkets handbok för sulfidförande berg (2015, under revidering) beskriver hur man kan bedöma bergmaterial utifrån totalsvavelhalt enligt Tabell 2.

Tabell 2. Bedömningsmall med riktvärden för svavelhalt i bergmassor. Bearbetad efter Trafikverket (2015).

| Totalsvavel % | Riktvärden |
|---------------|--------------------|
| <0,01 | Mycket låg halt |
| 0,01-0,05 | Låg halt |
| 0,05-0,1 | Något förhöjd halt |
| 0,1-0,5 | Förhöjd halt |
| >0,5 | Hög halt |

4.2.2 Acid-Base Accounting

Syftet med Acid Base Accounting (ABA) är att geokemiskt karaktärisera bergavfall och bergmassor. ABA-analysen ger en bild av mängden sulfider i förhållande till mängden buffrande mineral i bergmaterialet. ABA-analysen kvantifierar syrabildningspotentialen, Acid Potential (AP) och neutraliseringspotentialen, Neutralization Potential (NP). Därefter kan man karaktärisera resultatet med neutraliseringspotentialförhållandet, Neutralization Potential Ratio, (NPR), kvoten mellan NP/AP.

Tabell 2 redovisar klassificeringstabell för kvoten mellan den neutraliserande potentialen (NP) och den syrabildande potentialen (AP), Net Potential Ratio (NPR) enligt GARD Guide (2021). Prov med NPR <1 bedöms vara potentiellt syrabildande, prov med 1 < NPR <3 bedöms som osäkra och prov med NPR >3 bedöms som ej syrabildande. Även Naturvårdsverket (2010) anger att den neutraliserande kapaciteten bör vara tre gånger så stor som den syrabildande kapaciteten för att undvika försurning.

Tabell 3. Klassificeringstabell av NPR-värden enligt GARD Guide (2021).

| NPR | Bedömning |
|-----|--------------------------|
| >3 | Ej syrabildande |
| 1-3 | Osäkerhetszon |
| <1 | Potentiellt syrabildande |

4.2.3 Analys NAGpH

Syftet med analysprogrammet är att undersöka nettoförsurningspotentialen. Metoden går ut på att oxidera provet med väteperoxid (H₂O₂) som snabbt oxiderar alla eventuella sulfider. Den genererade syran kommer att reagera med eventuella buffrande (neutraliserande) mineral i provet. Resultatet pH mäts. Därefter titreras provet med bas för att ta reda på hur mycket syra som producerades.

Det är viktigt att påpeka att detta inte är detsamma som ett vanligt laktest och det pH som rapporteras inte är detsamma som det pH naturligt lakvatten så som regn som

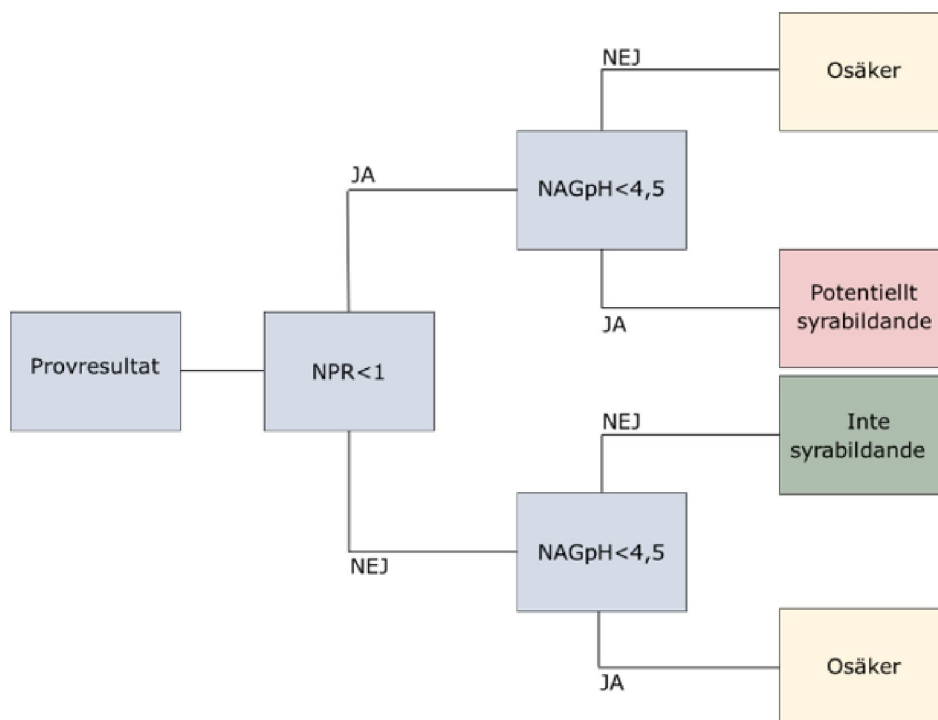
silar genom materialet skulle få. NAG-testet är ett accelererat laktest under extrema förhållanden där det resulterande pH värdet även är påverkat av väteperoxiden.

Det resulterade värdet från NAGpH analysen ska vara $>4,5$ för att bedömas som icke syrabildande (AMIRA, 2002 och GARD guide, 2022).

4.2.4 AMIRA ARD Test Handbok

AMIRA (Australian Mineral Industry Research Association) är en oberoende, numera global organisation med inriktning på gruvdrift och hållbarhet. De hanterar frågor kring ARD och har gett ut en handbok för bedömning av sur avrinning, (Protocol Booklet for Assessment of the Acid Forming Potential of Mine Waste Materials (2002), eller kortare ARD Test Handbook).

Handboken tillhandahåller ett flödesschema (för bedömning av huruvida ett bergprov utgör risk för surt lakvatten baserat på de standardiserade testerna ABA och NAG).



Figur 8. AMIRA flödesschema som visar screeningtester som används för att uppskatta försurning från bergmaterial (ARD), beslutsnoder och olika kategorier av försurande bergmaterial. Bearbetat från AMIRA (2002).

4.2.5 Analys av metaller och halvmetaller

Syftet med analysprogrammet är att kvantifiera utvalda metall- och halvmetallhalter i bergmaterialet.

Som referensvärden i denna PM används gränsvärden från Naturvårdverkets handbok (2010). Dock är denna handbok under revidering och kan komma ändras.

Naturvårdsverket (2010) beskriver halter från avfall som återvinns för anläggningsändamål som utgör en risk som är mindre än ringa (Tabell 4). Halter som överstiger referensvärden anser Naturvårdsverket vara antingen anmälningspliktiga eller tillståndspliktiga.

Enligt Naturvårdsverket (2010) krävs kunskap om både halt och utlakning för att kunna bedöma väsentliga risker enligt modellen för beräkning av nivåer. Att utgå enbart från halten i bergmaterialet medför att föroreningsrisken för yt- och grundvatten inte bedöms.

Tabell 4. Naturvårdsverkets referensvärden för nivåer för mindre än ringa risk (Naturvårdsverket, 2010). Samtliga värden i ppm.

| Ämne | Nivåer för mindre än ringa risk |
|------|---------------------------------|
| As | 10 |
| Cd | 0,2 |
| Cr | 40 |
| Cu | 40 |
| Ni | 0,1 |
| Pb | 20 |
| Zn | 120 |
| Hg | 0,1 |

Referensvärden för känslig markanvändning (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM) (Naturvårdsverket, 2016) har tagits med eftersom de flesta entreprenörer som tar emot bergmassor använder dessa riktvärden som krav.

4.2.6 Statistisk bedömning

För att bedöma materialets förurningskapacitet och halten metaller/halvmetaller kan medelvärden eller andra statistiska metoder användas enligt Naturvårdsverket vägledning "Beskrivande statistik och presentation" (2021).

För att resultaten ska behandlas på rätt sätt har olika statistiska analysmetoder således applicerats. Först görs en bedömning om de tagna proven tillhör en eller flera provpopulationer, dvs om det finns en eller flera bergarter i området. Varje bergart behandlas som en enskild provpopulation. Om det finns tydliga områden med distinkt annorlunda analysresultat kan proverna delas upp i olika populationer och varje population behandlas statistiskt var för sig.

För geokemisk analys metaller/halvmetaller beräknas ett medel- och medianvärde.

4.3 Sulfidutredning resultat

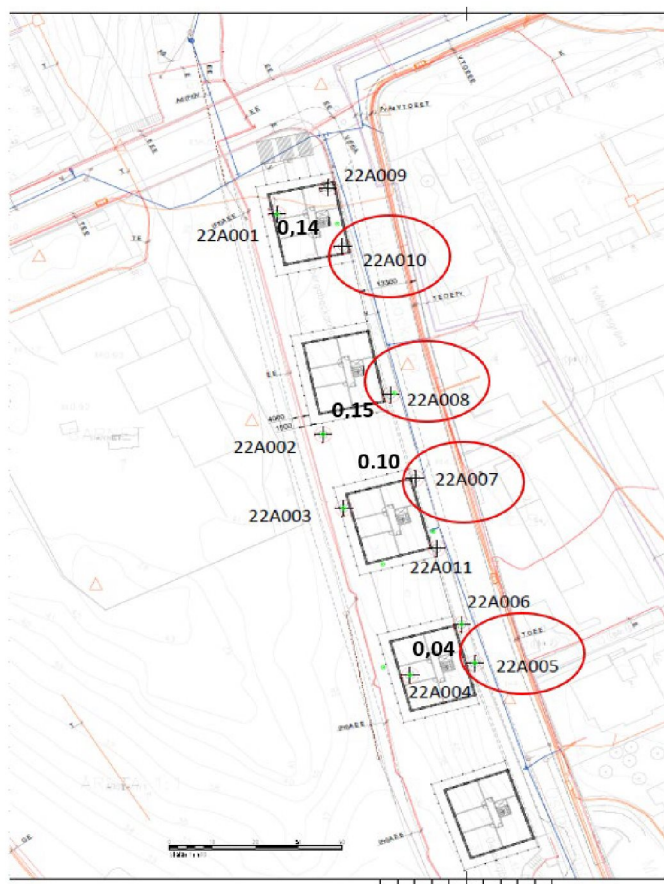
Resultat av utförda analyser redovisas i sin helhet i Bilaga 1 och en sammanställning av resultaten presenteras i Tabell 5 tillsammans med bedömning om materialets försurningspotential utifrån AMIRA (2002) och GARD Guide (2021). Resultaten presenteras vidare under 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4 och 4.3.5.

Tabell 5. Sammanställning analysresultat för totalsvavel, ABA-analyser och NAGpH samt bedömning utifrån AMIRA (2002) och GARD Guide (2021).

| Prov ID | Analysresultat | | | | | Bedömning |
|------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------|-------|-----------------------------------|
| | Svavel | ABA | | | | |
| | S _{tot} % | NP tCaCO ₃ /Kt | AP tCaCO ₃ /Kt | NPR | NAGpH | AMIRA (2002) GARD Guide (2021) |
| Lisebacke 22A005 | 0,04 | 5 | <0.3 | 32 | 5,3 | ej syrabildande |
| Lisebacke 22A007 | 0,10 | 7 | 2,5 | 2,88 | 5,4 | ej syrabildande |
| Lisebacke 22A008 | 0,15 | 4 | 4,1 | 0,98 | 4,1 | potentiellt syrabildande |
| Lisebacke 22A010 | 0,14 | 5 | 3,8 | 1,2 | 4,9 | ej syrabildande |

4.3.1 Provtagning

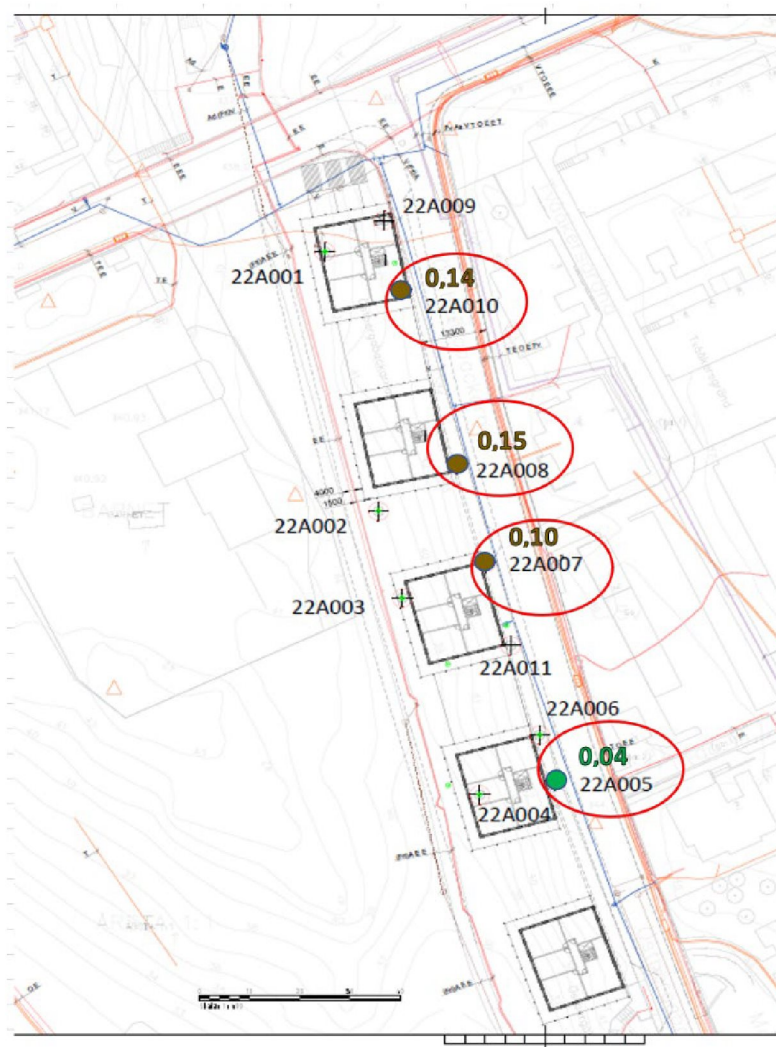
Under v. 18, 2022 utfördes Jb-sondering av AFRY (Albert Pettersson, geotekniker), varpå material från berg (kaxprov) togs ut för 4 av punkterna inför analys av elementsammansättning, ABA-analyser och NAGpH (Figur 9).



Figur 9. Positioner för kaxprovtagning i samband med JB-sondering, markerat med röda ringar på projektförslag från White.

4.3.2 Analysresultat totalsvavelhalt

Av de 4 prov som analyserats har 3 prov totalsvavelhalter som är över eller tangerar 0,1%, vilket motsvarar riktvärde för förhöjd halt enligt Trafikverkets handbok för sulfidförande berg (2015, under revidering). Ett prov har låg totalsvavelhalt på 0,04% (22A005). I nedan Figur 10 ses indikation på att en gradient förekommer från låg- mot förhöjd halt mot norr, om än att provmängden är för liten för att dra alltför långtgående slutsatser för området.



Figur 10. Analyserade totalsvavelhalter projicerade på projektförslag från White.

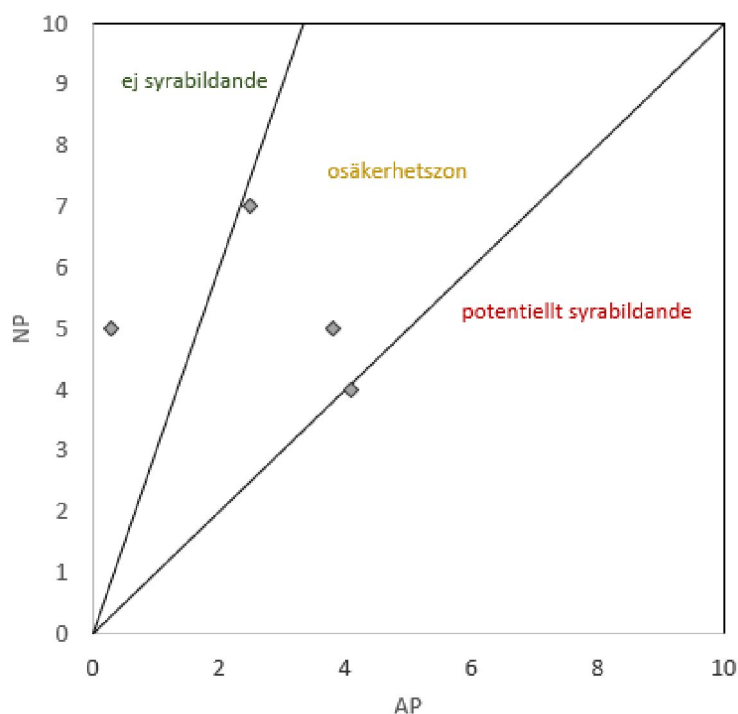
4.3.3 Analysresultat ABA

Analysresultat redovisas i sin helhet i Bilaga 1 och en sammanställning presenteras i Tabell 5.

Av de 4 proverna har 1 prov en neutraliseringspotentialkvot (NPR) som överstiger 3 vilket innebär att det har tre gånger mer neutraliseringspotential (NP) än syrabildande potential (AP) och räknas inte som syrabildande. 2 prov har ett NPR som är mellan 1 och 3 vilket innebär att den neutraliserande potentialen överstiger den syrabildande potentialen men räknas som osäkert. Prov 22A008 har ett NPR på 0,98, dvs under 1, vilket innebär att det räknas som potentiellt syrabildande (se avsnitt 4.2.2 och Figur 8).

Figuren nedan visar analysresultat plottat i ett NP/AP diagram där neutraliseringspotentialen visas enligt klassificeringsintervall för NPR-värden (GARD Guide, 2021).

Det prov som har ett NPR på 32 (22A005) hamnar i diagrammet i den ej syrabildande zonen i diagrammet, de två proven med NPR 2,88 (22A007) och 1,20 (22A010) hamnar i osäkerhetszonen och prov 22A008 med NPR 0,98 hamnar i den potentiellt syrabildande zonen (Figur 11).



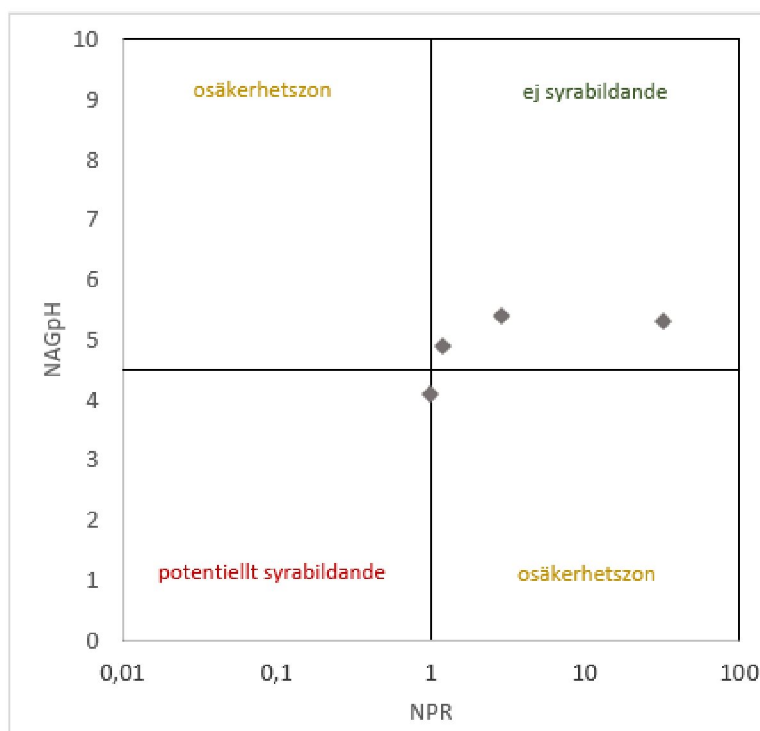
Figur 11. Resultat från ABA-analys plottade i ett NP/AP diagram (efter GARD Guide, 2021) som grafiskt representerar om provet har en neutraliseringspotential (NPR) mindre än 1, dvs potentiellt syrabildande, en NPR mellan 1-3 som motsvarar en osäkerhetszon eller en NPR som överstiger 3 och därmed inte är syrabildande.

4.3.4 Analysresultat NAGpH

Analysresultat redovisas i sin helhet i Bilaga 1 och en sammanställning finns att läsa i Tabell 5.

Genomförda NAGPH-tester visar att 3 av 4 prover har ett NAGpH större än 4,5 vilket innebär att de inte klassificeras som syrabildande enligt AMIRA (se avsnitt 4.2.2 och Figur 8). 1 prov (22A008) har ett NAGpH-värde på 4,1 vilket gör att det klassificeras som potentiellt syrabildande.

Figur 12 nedan visar analyserade prov plottade i ett NPR/NAGpH-diagram, där figuren delas in i fyra kvadranten som skiljs av riktvärden för ej syrabildande: NAGpH>4,5 och NPR>1. De 3 prov med ett NAGpH större än 4,5 har plottats i den ej syrabildande kvadranten och provet med ett NAGpH på 4,1 har plottats i den potentiellt syrabildande kvadranten.



Figur 12. Kombinerat resultat från NAGpH och NPR, med riktvärdena 4,5 och 1, vilket ger fyra fält för: ej syrabildande, potentiellt syrabildande samt osäkerhetszoner (efter GARD Guide, 2021).

4.3.5 Analysresultat metaller och halvmetaller

Analysresultat redovisas i sin helhet i Bilaga 1 och en sammanställning presenteras i Tabell 6

I botten av Tabell 6 finns referensvärden för nivåer för mindre än ringa risk från Naturvårdsverket (2010), referensvärden för känslig markanvändning (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM), (Naturvårdsverket, 2016), samt ett medel- och medianvärde för varje metall/halvmetall.

Samtliga bariumpvärden (inklusive median- och medelvärden) överstiger värdet för mindre än ringa risk (MRR), KM och MKM. 3 av 4 kadmiumvärden överstiger (inklusive median- och medelvärden) MRR. 1 kopparvärde överstiger (knappt) MRR. 1 nickelvärde överstiger MRR och KM. 3 av 4 blyvärden överstiger MRR, inklusive median- och medelvärden.

Tabell 6. Sammanställning av totalhalter av utvalda metaller och halvmetaller med referensvärden för mindre än ringa risk (Naturvårdsverket, 2010) samt referensvärden för känslig markanvändning (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM), (Naturvårdsverket, 2016). Samtliga värden i ppm.

| Analysresultat | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|
| Prov ID | As | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Mo | Ni | Pb | Sb | V | Zn |
| Lisebacke 22A005 | <0,2 | 1820 | 0,08 | 7,3 | 43 | 8,6 | 2,9 | 24,2 | 33 | 0,07 | 44 | 74 |
| Lisebacke 22A007 | <0,2 | 1680 | 0,12 | 12,3 | 55 | 25,6 | 3,24 | 32,7 | 24,9 | 0,06 | 72 | 99 |
| Lisebacke 22A008 | 0,3 | 1600 | 0,11 | 8,9 | 30 | 32 | 2,21 | 26,6 | 23,9 | 0,05 | 32 | 51 |
| Lisebacke 22A010 | 0,4 | 760 | 0,13 | 14,4 | 75 | 40,9 | 1,65 | 48 | 17,9 | 0,05 | 79 | 99 |
| Median | 0,35 | 1640 | 0,1 | 11 | 49 | 29 | 3 | 30 | 24 | 0 | 58 | 86,5 |
| Medel | 0,4 | 1465 | 0,1 | 11 | 51 | 27 | 3 | 33 | 25 | 0 | 57 | 81 |
| Referensvärden | | | | | | | | | | | | |
| Kategori | As | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Mo | Ni | Pb | Sb | V | Zn |
| MRR | 10 | - | 0,2 | - | 40 | 40 | - | 35 | 20 | - | - | 120 |
| KM | 10 | 200 | 0,8 | 15 | 80 | 80 | 40 | 40 | 50 | 12 | 100 | 250 |
| MKM | 25 | 300 | 15 | 35 | 150 | 200 | 100 | 120 | 400 | 30 | 200 | 500 |

4.4 Sulfidutredning bedömning

4.4.1 Bergmaterialet förmåga att bilda surt lakvatten

Utförda berggrundskartering och SGUs berggrundskarta (SGU's kartvisare, 2022) dominerar berggrunden i projektområdet av en metagråvacka (sedimentgnejs) med ställvisa inslag av migmatit (omkristallisering av ursprungsbergarten). Inom området finns även inslag av en gnejsig granodiorit (Kap. 3).

En skillnad i totalsvavelhalt inom projektområdet med lägre halter i södra delen och förhöjda halter mot norr (prov 22A008 och prov 22A010 på 0,15 respektive 0,14% totalsvavel) indikeras av Figur 10 men som nämnts ovan är provmängden för liten för att dra alltför långtgående slutsatser om fördelningen av totalsvavelhalter inom området. Prov 22A010 bedömdes dock utifrån ABA- och NAGpH-analyser som ej syrabildande.

Sammantaget visar de undersökningar som genomförts att berggrunden inom större delen (främst den södra) av projekteringsområdet inte är syrabildande och att dessa bergmassor kan användas utan restriktioner. Det finns, som nämnts ovan, ett område i den norra delen av projekteringsområdet där berggrunden bedöms som potentiellt syrabildande (vid prov 22A008) och att det där föreligger risk för att det ska bildas surt lakvatten vid användning av losshållet berg. Försiktighetsåtgärder bör tas för den delen av projekteringsområdet och föreslagna åtgärder beskrivs vidare i avsnitt 4.5. I produktionsskedet kan man försöka att avgränsa området med potentiellt syrabildande berg genom ytterligare provtagning.

4.4.1.1 Andra bedömningsparametrar

Utöver utförda analyser avseende bergmaterialets förmåga att bilda surt lakvatten finns även andra parametrar vilka kan vägas in i bedömningen av huruvida sur avrinning kan komma att bildas.

Exempelvis storlek på bergschakt, där en mindre mängd berg också kommer att ge en mindre total mängd potentiell syra. Detta diskuteras i Trafikverkets handbok (2015, under revidering) där <10 000t anses liten mängd, 10 000-500 000t måttlig, samt >500 000t anses vara stor mängd berg.

Även storleksfraktionen av materialet kan vägas in i bedömningen då en större fraktion har en mindre relativ yta och därmed är exponeringen av sulfidmineralen betydligt mindre vid större fraktioner jämfört med mindre.

Dessa parametrar diskuteras in vidare i detta PM men kan vara förmildrande omständigheter när beslut om eventuella åtgärder diskuteras.

4.4.2 Utlakning av metaller och halvmetaller

Att vissa provresultat överskrider värdena för mindre än ringa risk, KM och MKM, innebär att det finns en rekommendation från Naturvårdsverket (2010) att anmäla materialet till kommun eller länsstyrelse beroende på om värdena anses *ringa* eller *inte endast ringa* samt beroende på storleken på anläggningen.

Analyserna av metaller och halvmetaller är totalhalter, dvs en total upplösning av materialet. Dessa kan inte jämföras med resultat från laktester. Analyserade ämnen kommer alltså att till stor del vara bundna i silikatmineral (eftersom bergmaterial som återanvänds normalt inte löses upp eller används i finfraktioner) och inte i mer

lättvittrade sulfidmineral. Dock bidrar sur avrinning till upplösning även av silikatmineral till viss del.

Då andra källor inte finns att referera till används i denna PM, som nämnts ovan, gränsvärdena från Naturvårdsverkets handbok för återvinning av avfall i anläggningsarbeten (2010) endast som referensvärden.

Referensvärden för känslig markanvändning (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM) (Naturvårdsverket, 2016) har, som nämnts ovan, tagits med eftersom de flesta entreprenörer som tar emot bergmassor använder dessa riktvärden som krav.

Grundämnena som analyserats är, som påpekats ovan, i berggrunden naturligt förekommande metaller och halvmetaller bundna i olika mineral. Till exempel kan barium förekomma i sedimentära bergarter som är rika på mineralerna kalifältspat och glimmer i vilka det ersätter kalium. Dock är mobiliteten i barium låg då de ofta faller ut som sulfat eller karbonat och då är olösliga i vatten (SGU, 2014). Krom förekommer huvudsakligen i mineralet kromit som är mycket resistent mot vittring (SGU, 2011). Vidare är kadmium vanligt i mineralet zinkblände och koppar förekommer i mineralet kopparkis. Generellt finns inga typvärden för dessa ämnen i svenskt berg av någon bergart, eller för de bergarter som förekommer inom projektområdet, men halterna som redovisas ovan (under Resultat) kan sannolikt ses som en avspeglning av en normal förekomst i bergarterna som förekommer inom området.

Som nämnts ovan överskrider några av proverna referensvärdena för MRR och KM/MKM. Då risken för att bergmaterialet i området vid provpunkt 22A008 ska generera surt lakvatten har bedömts som förhöjd (se 4.4.1 ovan) görs även bedömningen att risken för att metaller skulle kunna mobiliseras och föras ut med lakvattnet ses som förhöjd. Detta innebär att vidare utredningar och rekommendationer som följer i nedan avsnitt (4.5) även bör omfatta analys av metaller och halvmetaller för att förhindra utlakning av dessa.

4.5 Vidare utredning och rekommendationer

Att ha identifierat risken att en del av bergmassorna inom projektet är sulfidförande i detta skede är viktigt och till stor hjälp inför utförandeskedet, för att kunna förbereda och hantera bergmassorna på lämpligast sätt.

Det mest effektiva sättet att förhindra att sulfidförande bergmassor frigörs är att anpassa schaktdjup så att potentiellt sulfidförande berg hålls intakt. Om det ej går, utan bergsprängning behöver utföras bör hanteringsplan med skyddsåtgärder och kontrollprogram upprättas.

Speciella åtgärder kan vidtas för att säkerställa att surt lakvatten inte bildas vid användning av bergmaterialet. Av särskild vikt vid eventuellt användande av bergmaterialet är att undvika att krossa ned till finfraktioner, undvika att lägga upp massor i närheten av känsliga recipienter. Alternativt kan finfraktioner behandlas med buffrande material. Tabell 7 visar exempel på skyddsåtgärder vid olika försurningsförhållanden.

Tabell 7. Exempel på skyddsåtgärder vid olika förurningsförhållanden.

| Kategori | Behov av skyddsåtgärder |
|------------------------|---|
| 1. Ej försurande | Kan användas utan skyddsåtgärder oavsett miljöns känslighet. |
| 2. Måttligt försurande | Kan kräva skyddsåtgärder om massor placeras nära känslig miljö. Alternativt kan de behandlas med kalklösning. |
| 3. Försurande | Kräver skyddsåtgärder. Finfraktioner av massorna förs till deponi alternativt behandlas med kalklösning. |

4.5.1 Hanteringsplan bergschakt

En hanteringsplan för bergschakt för att förekomma och undvika att sulfider frigörs skulle kunna omfatta:

- I byggskedet i samband med avtäckning berg utföra en kartering innan sprängning för att verifiera bergarter och eventuell koppling till sulfidförande bergarter. Kartering utförs av bergsakkunnig.
- Provtagning av losshållet berg med hjälp av en handhållen XRF-mätare som användas för att screena alt. totalsvavelanalys för att sortera bergmassorna och därigenom kunna friklassa bergmassor med lägre svavelhalt. Observera att XRF-mätare ej bör användas direkt på bergstuffer, mätning görs istället på pulvriserat bergmaterial i s.k. "puckar".
- Undvika krossning och användning av finfraktion, för att minimera den specifika ytan som kan utsättas för oxidation vilket gör att vittringsprocesserna accelererar.
- Finfraktioner av bergmassor som efter screening klassas om sulfidhaltiga bör fraktas bort och läggas på deponi.
- Undvik att lägga upp massor i närheten av känsliga recipienter så som ytvattenflöde och/eller i närheten av vattendrag eller vattenskyddsområde.
- Massor med måttlig förurningspotential och större fraktioner kan anläggas på låg nivå i konstruktionen (exempelvis som fyllnadsmaterial under frostisoleringslager) för att minimera massornas kontakt med vatten och syre.

4.5.2 Kontrollprogram

Under förvaringstiden på upplagsplatser kan sulfidhaltiga bergmassor oxidera och det kan därför vara nödvändigt att ha ett kontrollprogram. Kontrollprogrammet upprättas på inrådan av tillsynsmyndigheten i länet där anläggningsarbetet utförs, i samråd med denna myndighet. Kontrollprogrammet kan till exempel innebära att grundvattenprovtagningar, ytvattenprovtagningar och lakvattenprovtagningar utförs ett par gånger per år.

- Proverna bör analyseras med avseende på till exempel pH, redoxpotential, konduktivitet, alkalinitet, metaller och svavelhalt (Trafikverket 2015, under revidering).

- Vid kraftiga regn/höga vattenflöden bör extra provtagningstillfällen läggas till kontrollprogrammets schema. Kraftiga regn/höga vattenflöden utgör en större ursköljningseffekt av materialet och kan bidra till förhöjda värden.
- Särskilda upplag för bergmassorna ordnas där botten är tät och dagvatten kan samlas upp (en sådant upplag behöver anmälas enligt miljöbalken till berörd kommun).

Ett exempel på kontrollprogram (Trafikverkets 2015, under revidering) avseende olika recipienter kan innebära:

- Grundvattenprovtagning, 2 ggr (vår och höst)
- Ytvattenprovtagning, 2 ggr (vår och höst)
- Lakvattenprovtagning, 2 ggr (vår och höst)

4.6 Sammanfattande bedömning

De tester som gjorts för att utvärdera bergprovernas förurningsförmåga tyder på att berggrunden inom den södra delen av projekteringsområdet inte är syrabildande och att dessa bergmassor kan användas utan restriktioner.

Bergmaterialet i den norra delen av projekteringsområdet, vid provpunkt 22A008, har däremot bedömts som potentiellt syrabildande och risken för bildning av surt lakvatten från detta bergmaterial bör ses som förhöjd.

Risken för att metaller och halvmetaller kan komma att frigöras och föras ut med lakvattnet ses därför också som förhöjd vid användning av detta bergmaterial (Tabell 5, Figur 11 och Figur 12).

I produktionsskedet kan man försöka att avgränsa området med potentiellt syrabildande berg genom ytterligare provtagning.

I området bör försiktighet iakttas och en möjlig hanteringsplan för att förhindra sur avrinning och därigenom även ökad mobilitet av metaller och halvmetaller från bergmaterial kan utformas enligt följande:

- I samband med avtäckning berg utföra en kartering av bergsakkunnig innan sprängning.
- Provtagning av losshållet berg (analys på laboratorium eller med handhållen XRF-mätare, se ovan under 4.5.1).
- Undvika krossning och användning av finfraktion.
- Om finfraktioner av bergmassor inte kan undvikas bör de fina fraktionerna provtas och om risk för sur avrinning finns bör de fraktas bort och läggas på deponi eller behandlas med buffrande material. Behandling med buffrande material kan utföras inom projektområdet och bör utföras av sakkunniga.
- Undvik att lägga upp massor i närheten av känsliga recipienter.

Storleken på schakten spelar en avgörande roll då en liten mängd material inte kan generera en stor mängd sur avrinning och vid små mängder material blir åtgärderna heller inte omfattande.

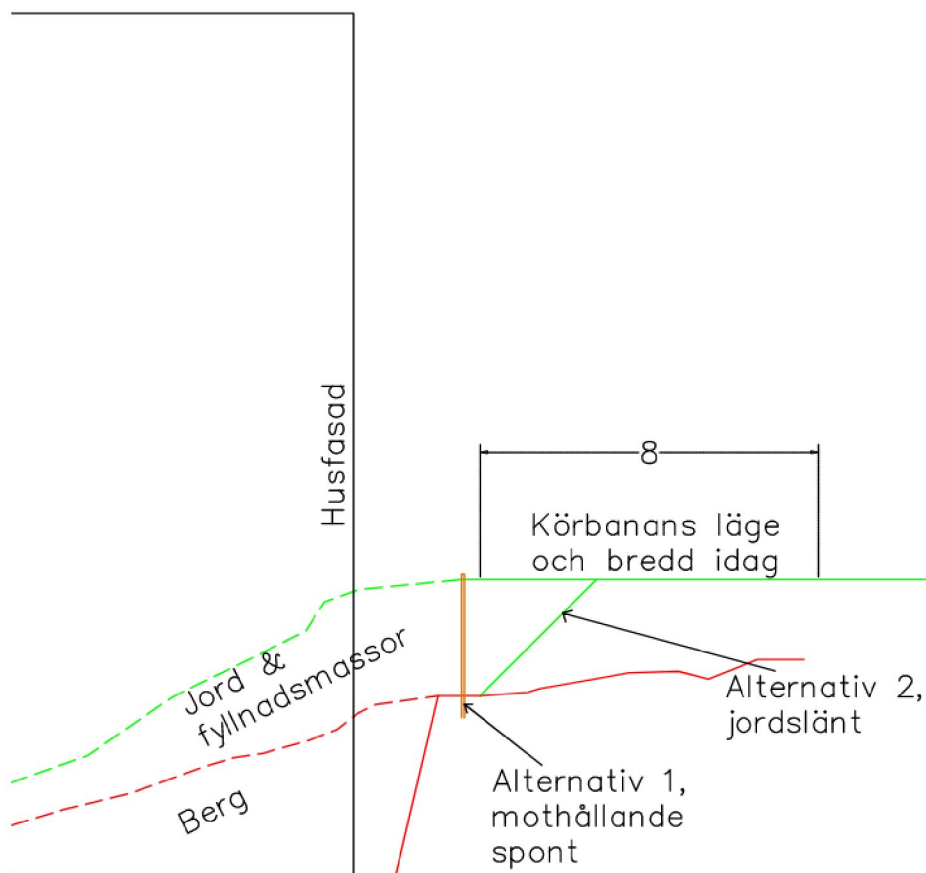
5 Bergteknik

5.1 Topografi och bergöverytans läge

Huskropparna som planeras byggas har en grundläggningsnivå som enligt tidiga planer ligger ungefär på nivå för GC-vägen som löper i nord-sydlig riktning, se Figur 3. Man kommer således behöva schakta ur (jord & berg) för husen. Som framgår i inmätningsskissen (220405-Lisebacke-inmätning-2D) är höjdskillnaden mellan GC-vägen och bilvägen (Östbergabacken) ca 6,5 - 7,5 m. Som framgår i bergmodellen ligger bergytan i regel ca 2,5 - 3 m under marken (drygt 4 m längst norrut) utmed västra kanten av bilvägen. Både markytan och den underliggande bergytan faller sedan västerut ned mot GC-vägen, och bitvis är berget i dagen.

5.2 Bergslänt & spont eller jordslänt

Som beskrivs i kapitel 5.1 kommer urschaktningen för huskropparna skapa bergslänter ("bergväggar") med en höjd på, i genomsnitt, ca 4 - 5 m (lokalt bedömt upp till ca 7 m). Med 2,5 - 3 m jord/fyllning ovanpå berget kommer antingen en spont för att hålla emot och hålla upp massorna och bilvägen krävas (Alternativ 1 i Figur 13 nedan), alternativt om en del av vägen tas i anspråk för att möjliggöra att en jordslänt skapas. Beroende på exakt var i förhållande till befintlig bilväg som huskropparna hamnar, och förutsatt att bergnivån inte dyker för mycket lokalt, kan möjligen spont undvikas om södergående (dvs det västra) körfältet tas i anspråk för att kunna ställa en jordslänt ned mot bergets släntkrön (se Alternativ 2 i Figur 13 nedan).



Figur 13. Skiss bergslänt & jordslänt eller spont.

5.2.1 Resonemang vid konstruerande av bergslänt

Som framgår i kapitel 3 har tre huvudsprickgrupper identifierats vid hållkartering. Sprickgrupperna samverkar på sådant vis att förstärkning med bergbult, för att undvika blockutfall, med stor sannolikhet kommer krävas. Risk finns för överstjälningsbrott från bergslänten mot bilvägen, genom samverkan från subparallell sprickgrupp som stupar österut samt från brant stående sprickgrupp som tvärrar denna. Risk finns även möjligen för glidbrott från bergslänten mot bilvägen, genom samverkan från den brant stående tvärrande sprickgruppen som omnämns ovan samt från flack sprickgrupp som stupar västerut.

I enlighet med Stockholm Stad Teknisk Handbok, Del 0 – Inledning, är den tekniska handboken kravställande för byggande på offentlig mark, vilket bedömt innefattar anvisad kommunal mark, som i detta fall.

Stockholm Stad hänvisar till AMA Anläggning 17, med vissa avsteg och tillägg, dock ej för "CBC.2 Bergschakt för byggnad" som är aktuellt i detta fall.

Vid dimensionering av förstärkning för bergslänterna är en viktig fråga huruvida slänterna kommer vara exponerade permanent eller inte, se kapitel 5.2.2 & 5.2.3. Givet förutsättningarna med identifierade sprickgrupper bör lämpligen följande analyser av släntabilitet göras:

- Glidning av block eller bergskilar
- Stjälpning av block eller skivor
- Kombination av stjälpning och glidning

Efter att bergytan täckts av för produktionsstart bör den lämpligen karteras igen, för eventuell ytterligare information som framträder. Eventuellt kan ovan nämnda analyser då uppdateras. Lämplig lutning på bergslänten (sannolikt 5:1 eller 10:1) bör också verifieras i detta skede.

5.2.2 Motfyllda bergslänter

Motfyllda bergslänter skulle innebära att man fyller igen utrymmet mellan bergslänten och husfasaden när huset är byggt. Vid detta alternativ behöver bergslänterna bara förstärkas för att uppnå god arbetsmiljö under produktionstiden.

5.2.3 Permanent exponerade bergslänter

Om man däremot väljer att inte motfylla mellan huskroppen och bergslänten, till exempel för att man vill kunna ha fler fönster på bottenvåningen för att få mer ljusinsläpp, måste bergslänterna förstärkas för att hålla under lång tid, och de måste även inspekteras och underhållas löpande.

5.2.3.1 Projektering och underhåll av permanent exponerade bergslänter

Stockholm Stads tekniska handbok ger, utöver hänvisning till AMA Anläggning 17, inga direktiv gällande projektering av bergslänter, men däremot gällande projektering av tunnlar, där man hänvisar till Trafikverkets "Krav Tunnelbyggande TDOK 2016:0231".

Detta dokument styr i regel dock inte utformning av bergslänter. Lämpligt kan vara att i stället vid behov använda "Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner-TK Geo 13 TDOK 2013:0667, Version 2".

Stockholm Stads tekniska handbok (Del 2, kapitel 25.7) krävställer däremot om inspektioner och underhåll av bergslänter. Kostnaden som detta utgör tas lämpligen i

beaktande när beslut om huruvida slänterna ska vara permanent exponerande eller inte fattas.

6 Rekommenderad fortsättning

Nästa steg för teknikområde berg är att påbörja projekteringen, med framtagande av bergschaktritningar, skrivande av beskrivningstext och dimensionering av förstärkning. Detta kan påbörjas i samband med att huskropparnas utformning och grundläggning detaljprojekteras. Innan bergschakt påbörjas bör som tidigare nämnt bergsakkunnig/geolog genomföra en kartering av avtäckt bergyta. Vid behov bör därefter projekteringen justeras.

7 Referenser

AMIRA, 2002. ARD test handbook. Project P387A Prediction and kinetic control of acid mine drainage. Ian Wark Research Institute, Environmental Geochemistry International Pty Ltd.

GARD Guide, 2022. International network for acid prevention (INAP). Tillgänglig: http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page

Naturvårdsverket, 2010. Återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Handbok 2010:1. *Under revidering.*

Naturvårdsverket. 2016. Tabell Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark. Publicerad juni 2016. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/berakning-riktvarden/generella-riktvarden-20160707.pdf>

Naturvårdsverket, 2021. Beskrivande statistik och presentation. Miljöövervakningsenheten, Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/miljoovervakning/handledning/beskr-statistik-present.pdf>

SFS 1988:808. Miljöbalk. Stockholm: Miljödepartementet.

SFS 2013:319. Förordning om utvinningsavfall. Stockholm: Miljödepartementet.

Svenska Institutet för Standarder, 2011. Karaktärisering av avfall – Statisk test för bestämning av syrabildnings- och neutraliseringspotential i sulfidhaltigt avfall. (SS-EN 15875:2011).

Stockholm stad, 2015. Teknisk handbok. Stockholm: Trafikkontoret. Tillgänglig: <https://tillstand.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/tillstand-och-regler/tillstand-regler-och-tillsyn/mark--och-gatuarbeten/teknisk-handbok-for-byggande-drift-och-underhall-pa-offentlig-mark/th-2015-samlingsdokument.pdf>

Trafikverket, 2015. Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter. Rapport 2015:057. *Under revidering.*

Trafikverket, 2019. *Projektering av bergkonstruktioner*. Publikationsnummer: 2019:062.

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1 ALS Analyscertifikat P!22124946


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Öjebyn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÅF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAÄVDENLNINGEN
 FROSUNDALEDEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 1
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1737. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE P!22124946

 Project: 215176 Lisebacke Östberga
 P.O. No.: A502297
 This report is for 4 samples of Crushed Rock submitted to our lab in Pitea, Sweden on 13-MAY-2022.
 The following have access to data associated with this certificate:
 IRENE GEUKEN

SAMPLE PREPARATION

| ALS CODE | DESCRIPTION |
|----------|-------------------------------------|
| WEI-21 | Received Sample Weight |
| LOG-22 | Sample login - Rcd w/o BarCode |
| CRU-31 | Fine crushing - 70% <2mm |
| SPL-22Y | Split Sample - Boyd Rotary Splitter |
| PUL-31 | Pulverize up to 250g 85% <75 um |
| CRU-QC | Crushing QC Test |
| PUL-QC | Pulverizing QC Test |

ANALYTICAL PROCEDURES

| ALS CODE | DESCRIPTION | INSTRUMENT |
|------------|---------------------------------------|------------|
| S-CAL19 | Sulphide Sulphur (Calculated) | LECO |
| C-IR07 | Total Carbon (IR Spectroscopy) | LECO |
| C-IR06 | Non-Carbonate C by HCl Leach, IR Spec | LECO |
| C-CAL04 | Inorganic Carbon | LECO |
| OA-VOL08EU | AP & NP of Sulphidic Waste | |
| OA-VOL11 | Static Net Acid Generation | |
| ME-MS61 | 48 element four acid ICP-MS | |
| S-IR08 | Total Sulphur (IR Spectroscopy) | LECO |
| S-ICP19 | Sulphate Sulphur / By ICP-AES | ICP-AES |

 This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.
 ***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****
 Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SF/Request on 11-May-2022.

Signature:


 Andrey Tairov, Technical Manager, Ireland

 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Öjebyn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÅF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAÄVDENLNINGEN
 FROSUNDALEDEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 2 - A
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1737. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS P!22124946

| Sample Description | Method Analyte Units LOD | WEI-21 Recvd Wt. kg | CRU-QC Pass2mm % | PUL-QC Pass75um % | S-IR08 S % | S-ICP19 S % | S-CAL19 S % | C-IR07 C % | C-IR06 C organic % | C-CAL04 C inorga % | OA-VOL08EU NP tCaCO3/1kt | OA-VOL08EU AP tCaCO3/1kt | OA-VOL08EU NPR Unit | OA-VOL08EU NMP tCaCO3/1kt | OA-VOL11 NAGpH4.5 kg H2SO4/t | OA-VOL11 NAGpH7.0 kg H2SO4/t |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Lisebacke 22A005 | | 5.00 | 96.9 | 98.7 | 0.04 | 0.04 | <0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 5 | <0.3 | 32.00 | 5 | <0.01 | 5.10 |
| Lisebacke 22A007 | | 5.49 | | 96.4 | 0.10 | 0.02 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 7 | 2.5 | 2.88 | 5 | <0.01 | 2.94 |
| Lisebacke 22A008 | | 5.03 | | | 0.15 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.03 | <0.01 | 4 | 4.1 | 0.98 | 0 | 0.39 | 3.53 |
| Lisebacke 22A010 | | 3.94 | | | 0.14 | 0.02 | 0.12 | 0.17 | 0.15 | 0.02 | 5 | 3.8 | 1.20 | 1 | <0.01 | 2.94 |

Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SF/Request on 11-May-2022.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Öjebyn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÅF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAAVDDELNINGEN
 FRÖSUNDALEDEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 2 - B
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1731. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS P122124946

| Sample Description | Method Analyte Units LOD | CA-VOL11 pH Unity 0.1 | ME-MS61 Ag ppm 0.01 | ME-MS61 Al % 0.01 | ME-MS61 As ppm 0.2 | ME-MS61 Ba ppm 10 | ME-MS61 Be ppm 0.05 | ME-MS61 Bi ppm 0.01 | ME-MS61 Ca % 0.01 | ME-MS61 Cd ppm 0.02 | ME-MS61 Ce ppm 0.01 | ME-MS61 Co ppm 0.1 | ME-MS61 Cr ppm 1 | ME-MS61 Cs ppm 0.05 | ME-MS61 Cu ppm 0.2 | ME-MS61 Fe % 0.01 |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Lisebacke 22A005 | | 5.3 | 0.03 | 6.69 | <0.2 | 1620 | 0.23 | 0.05 | 0.79 | 0.08 | 108.5 | 7.3 | 43 | 3.24 | 8.6 | 2.49 |
| Lisebacke 22A007 | | 5.4 | 0.03 | 7.45 | <0.2 | 1680 | 1.15 | 0.10 | 1.25 | 0.12 | 147.0 | 12.3 | 55 | 2.59 | 25.6 | 3.66 |
| Lisebacke 22A008 | | 4.1 | 0.04 | 5.70 | 0.3 | 1600 | 0.42 | 0.06 | 0.85 | 0.11 | 61.8 | 8.9 | 30 | 1.95 | 32.0 | 2.05 |
| Lisebacke 22A010 | | 4.9 | 0.04 | 7.42 | 0.4 | 760 | 1.16 | 0.07 | 0.62 | 0.13 | 99.8 | 14.4 | 75 | 3.04 | 40.9 | 3.83 |

Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SSF/Request on 11-May-2022.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Öjebyn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÅF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAAVDDELNINGEN
 FRÖSUNDALEDEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 2 - C
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1731. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS P122124946

| Sample Description | Method Analyte Units LOD | ME-MS61 Ca ppm 0.05 | ME-MS61 Ce ppm 0.05 | ME-MS61 HF ppm 0.1 | ME-MS61 In ppm 0.005 | ME-MS61 K % 0.01 | ME-MS61 La ppm 0.5 | ME-MS61 Li ppm 0.2 | ME-MS61 Mg % 0.01 | ME-MS61 Mn ppm 5 | ME-MS61 Mo ppm 0.05 | ME-MS61 Na % 0.01 | ME-MS61 Nb ppm 0.1 | ME-MS61 Ni ppm 0.2 | ME-MS61 P ppm 10 | ME-MS61 Pb ppm 0.5 |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Lisebacke 22A005 | | 17.55 | 0.31 | 7.4 | 0.040 | 4.15 | 99.7 | 18.6 | 0.65 | 346 | 2.90 | 1.58 | 12.7 | 24.2 | 340 | 33.0 |
| Lisebacke 22A007 | | 19.80 | 0.34 | 5.9 | 0.045 | 3.80 | 78.0 | 26.3 | 1.00 | 439 | 3.24 | 1.34 | 16.4 | 32.7 | 670 | 24.9 |
| Lisebacke 22A008 | | 15.10 | 0.27 | 10.0 | 0.026 | 2.85 | 35.3 | 14.4 | 0.45 | 261 | 2.21 | 1.48 | 8.3 | 26.6 | 190 | 23.9 |
| Lisebacke 22A010 | | 19.20 | 0.32 | 5.7 | 0.042 | 2.94 | 50.1 | 33.0 | 1.10 | 393 | 1.65 | 0.94 | 12.3 | 48.0 | 210 | 17.9 |

Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SSF/Request on 11-May-2022.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Ojebryn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÄF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAÄVDENNINGEN
 FRÖSUNDALEEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 2 - D
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1731. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI22124946

| Sample Description | Method Analyte Units LOD | ME-MS61 Rb ppm 0.1 | ME-MS61 Rb ppm 0.002 | ME-MS61 S % 0.01 | ME-MS61 Sb ppm 0.05 | ME-MS61 Sc ppm 0.1 | ME-MS61 Se ppm 1 | ME-MS61 Sn ppm 0.2 | ME-MS61 Sr ppm 0.2 | ME-MS61 Ta ppm 0.05 | ME-MS61 Te ppm 0.05 | ME-MS61 Th ppm 0.01 | ME-MS61 Ti % 0.005 | ME-MS61 Tl ppm 0.02 | ME-MS61 U ppm 0.1 | ME-MS61 V ppm 1 |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Lisebacke 22A005 | | 156.0 | <0.002 | 0.04 | 0.07 | 10.0 | 1 | 1.9 | 407 | 0.95 | <0.05 | 36.2 | 0.248 | 1.06 | 7.3 | 44 |
| Lisebacke 22A007 | | 139.5 | <0.002 | 0.11 | 0.06 | 13.2 | 2 | 1.7 | 325 | 0.99 | 0.05 | 20.4 | 0.399 | 0.99 | 2.9 | 72 |
| Lisebacke 22A008 | | 107.0 | <0.002 | 0.16 | 0.05 | 8.4 | 1 | 1.2 | 213 | 0.56 | <0.05 | 11.70 | 0.183 | 0.73 | 3.5 | 32 |
| Lisebacke 22A010 | | 136.0 | <0.002 | 0.15 | 0.05 | 14.2 | 1 | 1.4 | 125.0 | 0.76 | <0.05 | 18.65 | 0.346 | 0.99 | 2.6 | 79 |

Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SSF/Request on 11-May-2022.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvägen 22
 SE-943 36, Ojebryn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÄF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAÄVDENNINGEN
 FRÖSUNDALEEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: 2 - E
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1731. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI22124946

| Sample Description | Method Analyte Units LOD | ME-MS61 W ppm 0.1 | ME-MS61 Y ppm 0.1 | ME-MS61 Zn ppm 2 | ME-MS61 Zr ppm 0.5 |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Lisebacke 22A005 | | 6.9 | 17.5 | 74 | 242 |
| Lisebacke 22A007 | | 5.2 | 17.2 | 99 | 205 |
| Lisebacke 22A008 | | 14.8 | 9.9 | 51 | 321 |
| Lisebacke 22A010 | | 5.6 | 19.9 | 99 | 188.0 |

Comments: Samples were received on 13-May-2022 and the SSF/Request on 11-May-2022.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****


 ALS Scandinavia AB
 Hammarvagen 22
 SE-943 36, Ojebyn
 www.alsglobal.com/geochemistry

 To: ÅF-INFRASTRUCTURE AB
 FAKTURAÄVDDELNINGEN
 FRÖSUNDALEDEN 2E
 169 99 STOCKHOLM

 Page: Appendix 1
 Total # Appendix Pages: 1
 Finalized Date: 4-JUN-2022
 Account: ERNIFA

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Project: 215176 Lisebacke Östberga

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI22124946
CERTIFICATE COMMENTS
ANALYTICAL COMMENTS

 Applies to Method: REEs may not be totally soluble in this method.
 ME-MS61

 Applies to Method: OA-VOL08EU Units: tCaCO₃/1Kt = tCaCO₃/1000t ore
 OA-VOL08EU

ACCREDITATION COMMENTS

 Applies to Method: The methods immediately below this line are ISO 17025:2017 Accredited. INAB Registration No: 173T
 C-IR07 ME-MS61 S-IR08

LABORATORY ADDRESSES

 Applies to Method: Processed at ALS Pitea located at Hammarvagen 22, SE-943 36, Ojebyn, Sweden.
 CRU-31 CRU-QC LOG-22 PUL-31
 PUL-QC SPL-22Y WEI-21

 Applies to Method: Processed at ALS Loughrea located at Dublin Road, Loughrea, Co. Galway, Ireland.
 C-CAL04 C-IR06 C-IR07 ME-MS61
 OA-VOL08EU OA-VOL11 S-CAL19 S-ICP19
 S-IR08