

BERGTEKNISK UTREDNING I VÄSTRA HAGSÄTRA

KARTERING, PROVTAGNING AV SULFIDBERG OCH SLÄNTSTABILITET

2021-10-26



wsp

BERGTEKNISK UTREDNING I VÄSTRA HAGSÄTRA

Kartering, provtagning av sulfidberg och släntstabilitet

KUND

Geoteknologi Sverige AB

KONSULT

WSP Samhällsbyggnad

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10-722 50 00
WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880
wsp.com

KONTAKTPERSONER

Nikolaos Leventis, Konstruktör/Projektör

070 022 48 91

nikolaos.leventis@wsp.com

UPPDRAGSNAMN
Västra Hagsätra, Miljöteknisk
markundersökning

UPPDRAGSNUMMER
10323296

FÖRFATTARE
Nikolaos Leventis

DATUM
2021-10-26

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av
Paul Evins

Godkänd av
Paul Evins

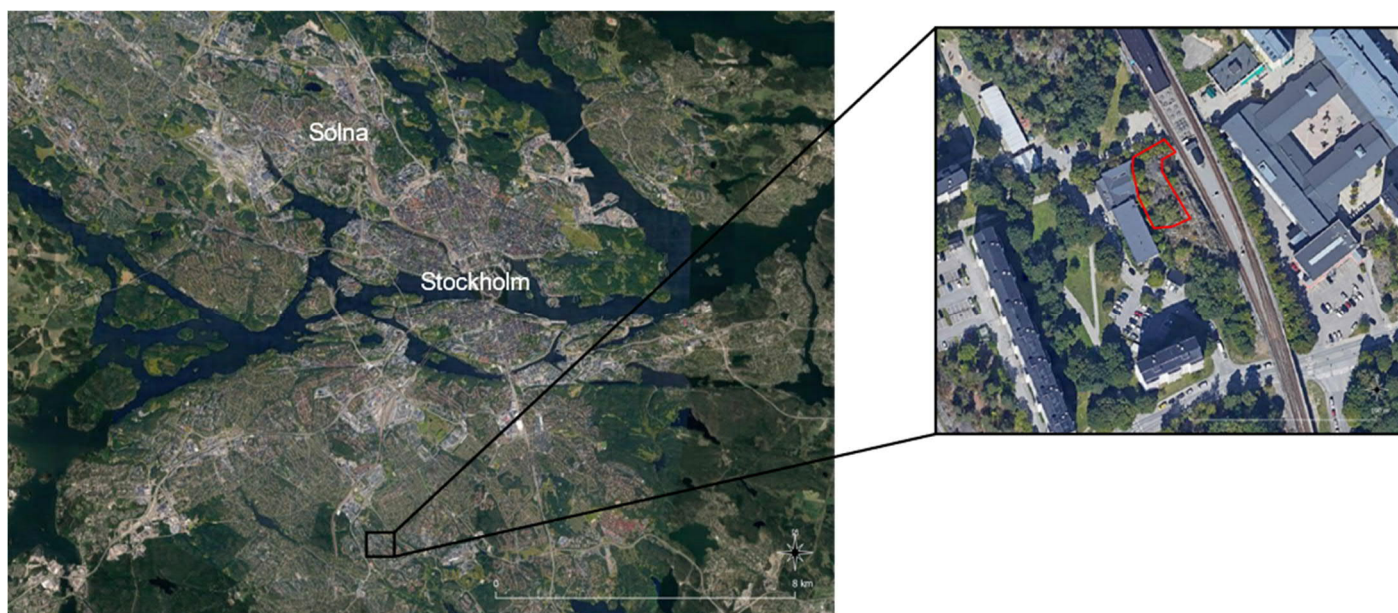
INNEHÅLL

1	INLEDNING	4
1.1	LÄGE	4
1.2	SYFTE	4
1.3	BAKGRUNDSMATERIAL	4
1.4	METODIK	5
1.4.1	Kartering och provtagning	5
1.4.2	Tungmetall och svavelanalys	5
1.4.3	ABA-test och pH-NAG test	5
1.4.4	Begränsningar	5
2	RESULTAT	6
2.1	ÖVERSIKTLIG KARTERING OCH PROVTAGNING	6
2.2	TUNGMETALL & SVAVELANALYS	9
2.2.1	Tungmetallanalys	9
2.2.2	Svavelhalt	9
2.2.3	ABA-test	9
2.2.4	pH-NAG-test	10
2.3	BERGKVALITET & SLÄNTSTABILITET	11
2.3.1	Sprickkartering	11
2.3.2	Kinematisk analys	13
3	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	17
4	BILAGOR	17
5	REFERENSER	17

1 INLEDNING

1.1 LÄGE

På uppdrag av Geoteknologi Sverige AB har WSP utfört en geologisk/bergteknisk utredning inför byggnation i kvart Höstsådden, Hagsätra, Stockholm. Kvarten är en del av totalt 11 st. kvarter i Stockholms Stads detaljplan Västra Hagsätra (Stadsbyggnadskontoret, 2020). Kvartens ungefärliga avgränsning och lokalisering visas i Figur 1.



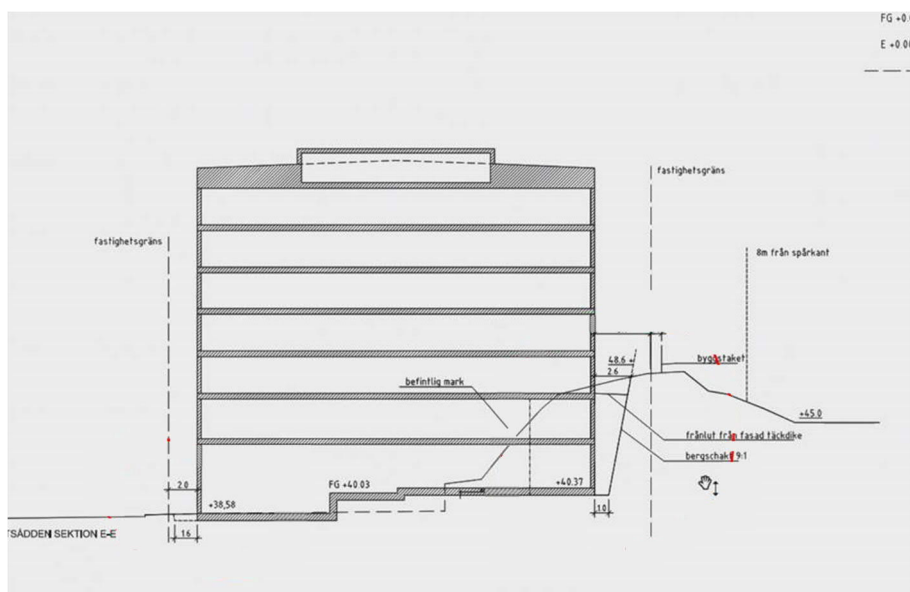
Figur 1. Områdeskarta där utredningsområdet anvisas med rödlinje.

1.2 SYFTE

Denna utredning har till syfte att klassificera berget med hänsyn till vidare hantering av bergmassor och släntstabilitet. Klassificering utförs genom bergartskartering, sprickmätningar, provtagning och analys av bergprover för svavel- och tungmetallhalter.

1.3 BAKGRUNDSMATERIAL

Enligt Steg 1 i Stockholm stads vägledning för sulfidförande berg (2020) har relevant information inhämtas för potentiell risk för förhöjda sulfidhalter i berg från SGU:s berggrundskartan och underlag från beställaren lästs angående den kommande byggnationen och utformning av nya slänten till öst (Figur 2). Berggrundskartan visar att bergarten sedimentär gnejs dominerar inom undersökningsområdet vilken genom erfarenhet visat sig kan innehålla förhöjd totalhalt av svavel och/eller tungmetaller.



Figur 2: Tvär-sektion från byggmodellen av den nya byggnaden i Höstsådden.

1.4 METODIK

1.4.1 Kartering och provtagning

Fältundersökningen utfördes den 31 augusti 2021 av geologen/bergteknikern Nikolaos Leventis. Bergart bedöms okulärt. Baserat på karteringen där området delats in i bergartsenheter tas representativa prover för respektive bergart med fokus på variation i geologin, sprickintesitet och sulfider. Mineralidentifiering av färska ytor från bergstuffer utförs med lupp. Oxidationsmedel väteperoxid (H_2O_2) användas för att bedöma sulfidförekomst i berget. Denna karteringsrutin beskrivs i vägledningen, Steg 2 (Stockholms Stad, 2020).

1.4.2 Tungmetall och svavelanalys

Totalt 3 stycken bergprov av cirka 0,5 kg togs med slägga från tjärnmarkerade punkter 1, 2 & 3 (Figur 3). Proverna har krossats och malts och en del av materialet har lösts upp med kungsvatten för totalhalt elementanalys av ALS laboratorium. Totalhalter har analyserats med ICP-AES enligt ISO 17025:2017. Laboratoriets analysrapport för alla prover redovisas i bilaga 1.

1.4.3 ABA-test och pH-NAG test

ABA-test bestämmer karbonatminerals buffringsförmåga med avseende på att neutralisera syra och används till prover som visar totalsvavel som överstiger riktvärden (0,1%). ABA-test parametrarna bestäms i ALS labb i Sverige och på Irland.

pH-NAG-testet visar mängden syra (i kg H_2SO_4 / ton) som kan genereras efter den fullständiga oxidationen av provets sulfider i väteperoxid (H_2O_2) utan att bestämma provets neutraliseringspotential. Därför kommer pH-NAG-testet som ett komplement till ABA-testet. Testet utförs av ALS på Irland.

1.4.4 Begränsningar

Bergart och uppmätta halter i proverna är representativa för de platser där observationer och provtagning genomfördes. Det kan inte uteslutas att andra bergarter eller högre halter av analyserade ämnen och/eller halter av ämnen som inte analyserats inom ramen för denna undersökning kan förekomma i berg på andra platser inom undersökningsområdet.

2 RESULTAT

2.1 ÖVERSIKTLIG KARTERING OCH PROVTAGNING

Området består av metamorfa bergarter, huvudsakligen sedimentär gnejs och diatexit (smält berg) (Figur 3). Eftersom foliationen stupar brant (lutning >70°) betyder det att observerat ytberg fortsätter minst 10 m under marken där observationerna/mätningarna utfördes.

Diatexit är grovkornigt, svagt folierad och består av kvarts, grov fältspat och mindre mängd biotit (Figur 5B). Sedimentär gnejs är folierad, medelkornig och består av kvarts, fältspat, glimmer och även granater vid provtagnings ställe Nr 3 (Figur 3, Figur 4B).

Översiktsbilder av bergskärningen förekommer i Figur 6. Bergskärningen är ca 3-4 m hög och 30-50 m lång. Slänts riktning är 150-330 och lutar 85 grader mot sydväst.

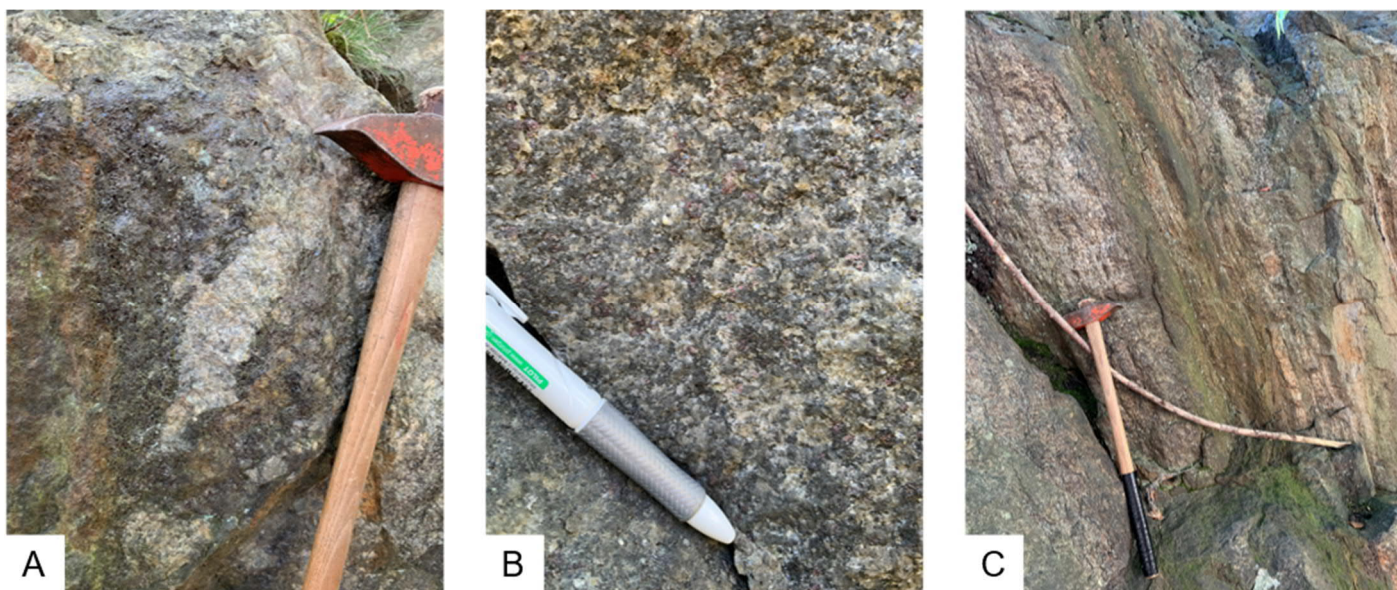
Inga synliga sulfider identifierades med lupp i det berg som inspekterades/karterades. Inget av det provtagna berget reagerade i kontakt med väteperoxid (H_2O_2). Representativa prover togs från området. Insamlade bergprover är märkta enligt följande:

- HGS-01 (sedimentär gnejs)
- HGS-02 (diatexit)
- HGS-03 (granat-förande sedimentär gnejs)

Prover HGS-01 och HGS-03 skickas vidare till labb eftersom sedimentär gnejs är ett berg som visar ökad risk av sulfidförekomst. Diatexit visar från tidigare erfarenhet låga svavelhalter.



Figur 3: Berggrundskarta över undersökningsområdet. Provtagning utfördes vid punkterna OP-1, OP-2, OP-3.



Figur 4: A. Mörk glimmer (biotit) som omger kvarts och fältspat. B. Röda granater i sedimentär gnejs. C. Amphibolit lager i diatexit.



Figur 5: A. Prov HGS-01, medelkornig folierad sedimentär gnejs. B. HGS-02, grovkornig diatexit. C. Prov HGS-03, granatförande sedimentär gnejs.



Figur 6: A. Kontakten mellan diatexit och sedimentär gnejs. B. Folierad sedimentär gnejs med två tydliga sprickgrupper. C. Berget skiftar till diatexit vid bergskärningens hörn. D. Massiv diatexit. E. Diatexit inneslutningar i sedimentär gnejs. F. Mörk, ytomvandling i sedimentär gnejs.

2.2 TUNGMETALL & SVAVELANALYS

2.2.1 Tungmetallanalys

Tungmetallhalter uppmätta i samtliga prov är låga, förutom något förhöjt krom, nickel och vanadin i samtliga prov (Tabell 1). Krom, nickel och vanadin innehåll speglar den höga mängden av relativt stabila mafiska mineral i berget och är omobila under neutrala eller reducerande förhållande. Arsenik ligger under Naturvårdsverkets 2016 riktvärden i samtliga prov.

Tabell 1: Totala tungmetallhalterna i bergproverna.

Ämne mg/kg	HGS-01	HGS-03	Ämne mg/kg	HGS-01	HGS-03
Silver (Ag)	< 0,2	< 0,2	Koppar (Cu)	25	15
Antimon (Sb)	< 2	< 2	Krom (Cr)	100	110
Arsenik (As)	3	2	Molybden (Mo)	2	2
Barium (Ba)	130	110	Nickel (Ni)	43	49
Bly (Pb)	4	4	Vanadin (V)	113	106
Kadmium (Cd)	< 0,5	< 0,5	Zink (Zn)	68	67
Kobolt (Co)	11	8	Kvicksilver (Hg)	< 1	< 1

2.2.2 Svavelhalt

Totalsvavelhalt definierar bergmaterialets förurningspotential. Riktvärden för totalsulfidhalt i fast material som klassas som återvunnit avfall är 0,1% (= 1000 mg/kg) (Sveriges Riksdag, 2013; Naturvårdsverket, 2020; Stockholms Stads Vägledning, 2020). Totalsvavelhalten från samtliga prov (HGS-01, sedimentär gnejs & HGS-03, granat-förande sedimentär gnejs), överstiger 0,1% (Tabell 2) och bedöms som potentiellt syraproducerande ("PSP", Stockholms Stads Vägledning, 2020).

Tabell 2: Totalsvavelhalten för proverna.

Prov	Riktvärde	HGS-01	HGS-03
Totalsvavel (%)	0,1	0,25	0,15
Totalsvavel (mg/kg)	1,000	2,500	1,500

2.2.3 ABA-test

Förurningsförmåga härleds från mängden sulfid som kan bidra till förurning kontra mängden buffert (ex. karbonat) som kan neutralisera syran. Förurningsförmåga mäts i Sverige oftast med s.k. "Acid-Base-Accounting" (ABA) statistiskt

laktest. ABA-testet mäter syrabildningspotential (AP) och syraneutraliseringspotential (NP). Neutraliseringspotentialkvot (NPR) beräknas enligt ekvationen nedan:

$$NPR = \frac{NP}{AP}$$

NPR riktvärden enligt Sveriges Riksdag (2013) är > 3 för prover med > 0,1% totalsulfidhalt.

Prov HGS-01 kontrollerades med ABA- och pH-NAG-test. Resultat uppskattas samma för prov HGS-03 (granat-förande sedimentär gnejs) då skillnad i kemin är liten mellan de proverna. Berget visar märkbar neutraliseringspotentialkvot (Tabell 4). ABA-testresultatet indikerar att "Materialet är syrabildande" enligt utvärderingen (Tabell 3) eftersom NPR-värde understiger 1 (Tabell 4). Däremot tar ABA-test inte hänsyn till alla buffrande mineral, såsom biotit, som kan öka NP och neutralisera syrabildning. Provet innehåller betydande mängd biotit vilket kan möjligtvis neutralisera en del av syrabildning under vittring.

Tabell 3: Utvärdering av Neutralisation Potential Ratio (NPR).

NPR	Indikation
< 1	Materialet är syrabildande
1 – 3	Möjlig risk för syrabildning
> 3	Ingen risk för syrabildning

Tabell 4: ABA-testresultat om prov SGS-5.

Prov	HGS-01
Syrabildningspotential (AP) (tCaCO ₃ /1Kt)	5,3
Neutraliseringspotentialkvoten (NPR)	0,72
Neutraliseringspotential (NP) (tCaCO ₃ /1Kt)	4

2.2.4 pH-NAG-test

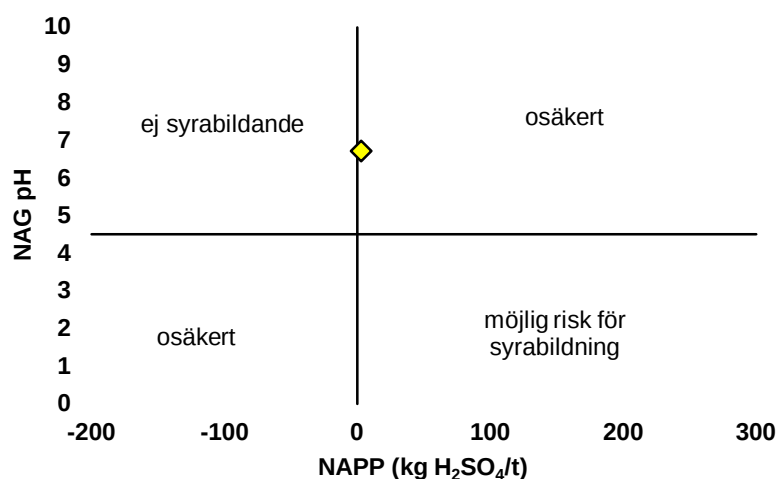
För att få mer information angående bergets förurningspotential passar pH-NAG-test (NAG = Net Acid Generation) bra som ett komplement till ABA-test då är det mer representativ för det aktuella pH-värdet som kan bildas från läkning av bergmaterialet. Testet baseras på den fullständiga oxidationen av provets sulfider i väteperoxid; syran som inte förbrukas av karbonater, minskar pH-värdet till den lägsta möjliga nivån som slutligvis rapporteras. Återstående syra bestäms genom återtitrering till både pH 4,5 och 7,0 och resultatet rapporteras som kg H₂SO₄ (svavelsyra) per ton.

I Finland (Karlsson, 2021) och internationellt (Miller et al. 1997), klassas bergmaterial med NAG pH > 4,5 som ej syrabildande.

Prov HGS-01 kontrollerades på grund av dess hög svavelhalt (Tabell 2). Det slutliga NAG pH-värde blev 6,7 (Bilaga 1, Tabell 5) vilket tyder på ej syrabildande beteendet ur en NAG pH perspektiv. Ingen H₂SO₄ genererades under återtitrering vid pH 4,5 eftersom provet aldrig nått så låga pH. En liten mängd (200 gr/ton) H₂SO₄ genererades vid pH 7 (Bilaga 1; Tabell 5).

Tabell 5: Resultat från pH-NAG-test i prov HGS-01 (sedimentär gnejs).

NAG pH	kg H ₂ SO ₄ / ton vid pH 4,5	kg H ₂ SO ₄ / ton vid pH 7	NAAP (kg H ₂ SO ₄ / ton)
6,7	< 0,01	0,2	3,118



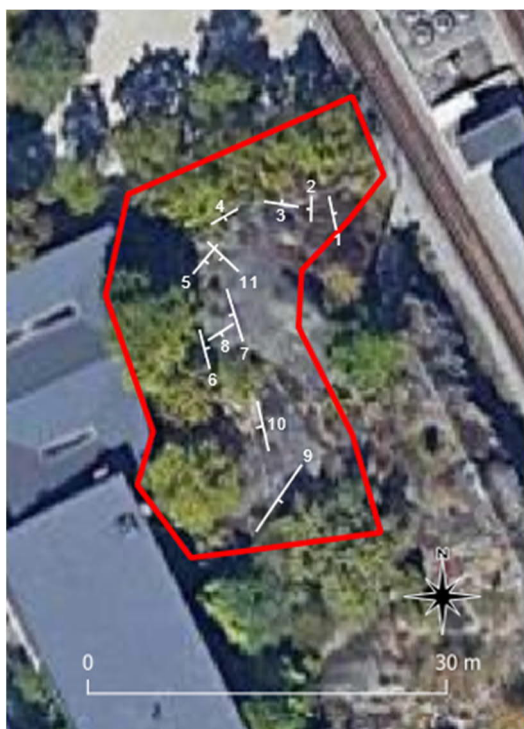
Figur 7: Utvärdering av ABA- och pH-NAG-test från prov HGS-01 med klasseringsdiagram enligt Miller et al. 1997.

2.3 BERGKVALITET & SLÄNTSTABILITET

2.3.1 Sprickkartering

Sprickkartering/Sprickorientering utförs med avseende på datainsamling som kan användas till mjukvara DIPS och Swedge för vidare stabilitetsanalys. Sprickorna i berget anvisas schematiskt i Figur 8 och allt data rapporteras i Tabell 6. Området ovan slänten är inhägnat på grund av tunnelbanansspår i närområdet. Berget kan ej redovisas ovanifrån.

Diatexiten visar hög GSI-värde (>85) och två tydliga sprickgrupper påträffas (Figur 13A). Den sedimentära gnejsen visar lägre GSI-värde (ca 70-75) och har minst två (2) sprickgrupper. Ställvis uppskattas en tredje sprickgrupp i detta berg. Sprickytorna är rostiga och ibland är de glimmer-förande. Sprickanalys visar tre sprickgrupp i hela bergskärningen och några slumpvisa sprickor (Sprick Nr. 3 & 6; Tabell 6)



Figur 8: De karterade sprickorna i berget. Mätningar visas i Tabell 6.

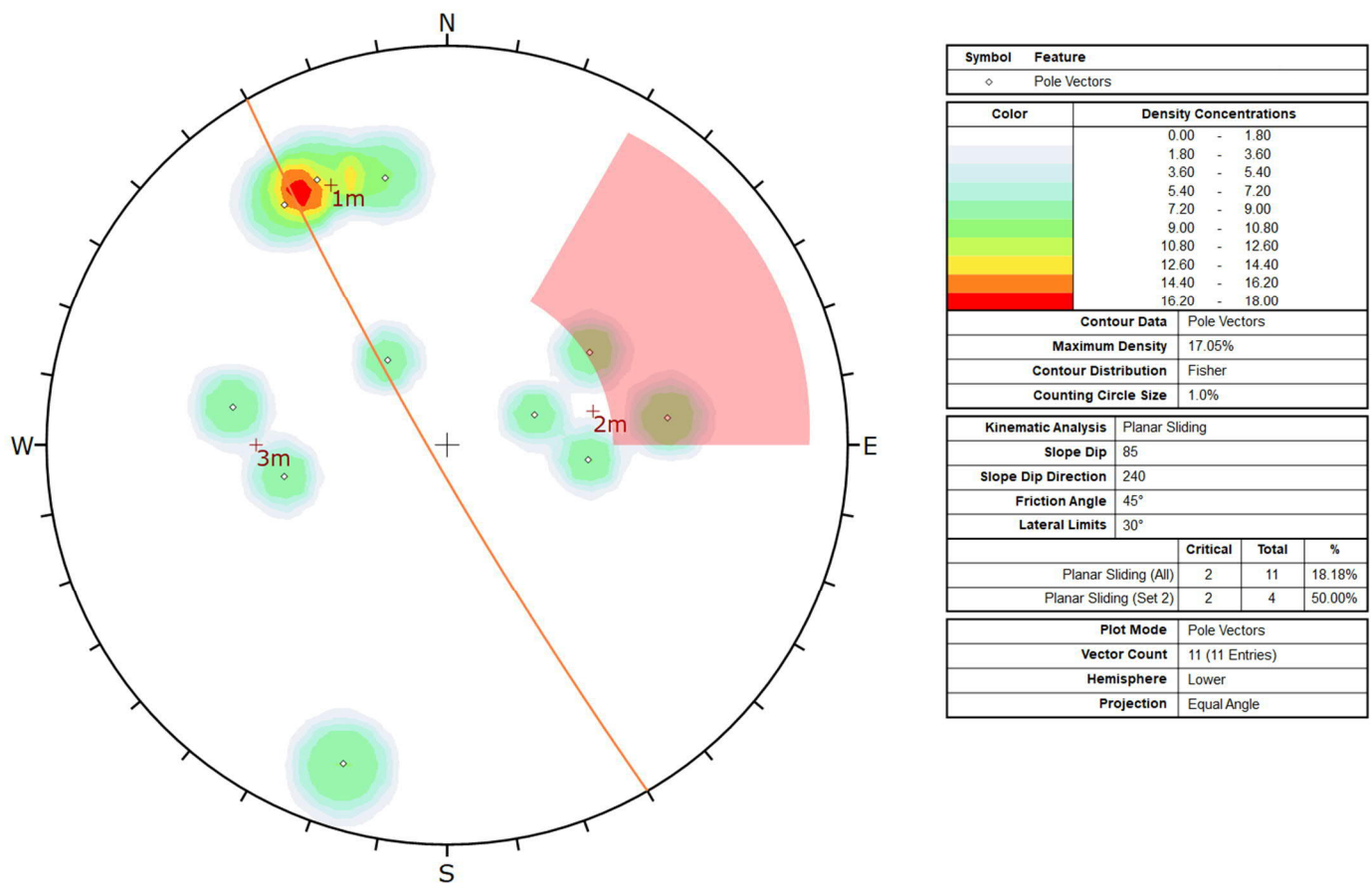
Tabell 6: De insamlade sprickkarteringsdata.

ID	Strykning	Stupning	Sprickgrupp	Bergart	Sprickgrupp	Längd (m)	Fyllnad	Avstånd	Sprickråhet (Jr)	Sprickomvandling (Ja)
1	349	45	3	Sed. Gnejs	Ja	1 – 2	Rost	0,5-1 m	2	2
2	173	58	2	Sed. Gnejs	Ja	-	Rost	-	3	2
3	288	80		Sed. Gnejs	Nej	1 – 2	Rost	0-0,5m	3	2
4	10	57	3	Sed. Gnejs	Ja	1 – 2		-	-	-
5	77	69	1	Amfibolit	-	3	Biotit	10-20 cm	2	3
6	55	29		Diatexit	-	1 – 2	Biotit, Rost	-	2 – 3	3 – 2
7	186	39	2	Diatexit	Ja	2 – 3	Rost	0,5-1	2	2
8	56	72	1	Svagzon	// med Fol	3 – 4	Lera	-	1,5	4
9	64	73	1	Sed. Gnejs	Ja	4 – 5	-	-	-	-
10	161	26	2	Sed. Gnejs	Ja	0 – 2	Rost	1 m	2	2
11	147	46	2	Sed. gnejs	?	3 – 5	-	-	-	-

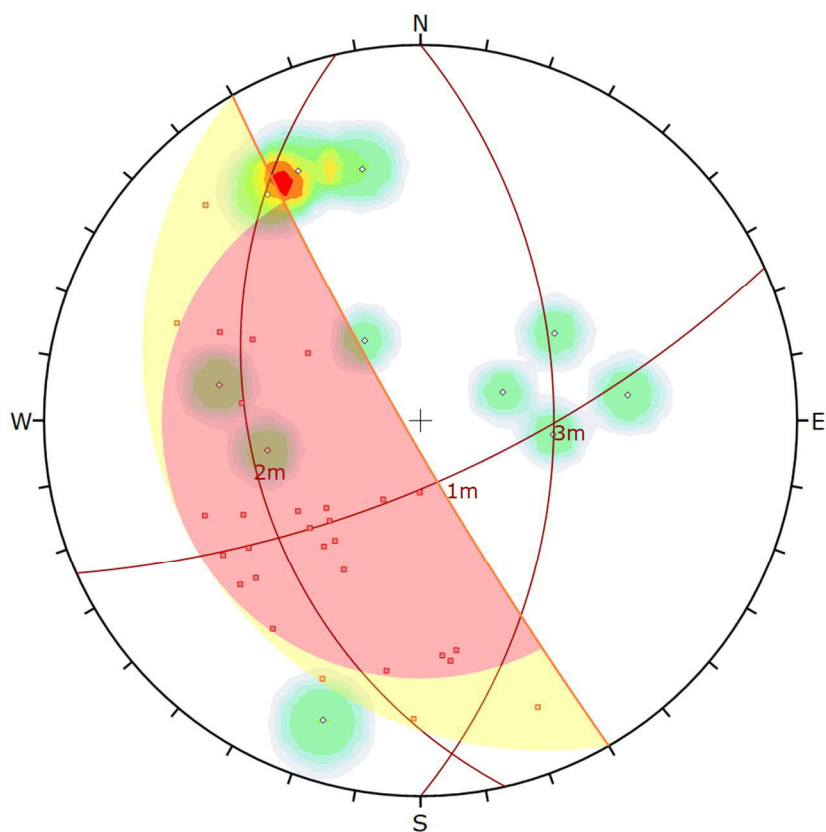
2.3.2 Kinematisk analys

Kinematisk analys för potentiell plan-, kil- eller överstjäpningsbrott utfördes via mjukvaran DIPS. Friktionsvinkel beräknas som $\arctan J_r/J_a$. Minsta friktionsvinkel används för varje sprickgrupp involverat med analyserat brott. Ett par sprickor i sprickgrupp 2 är ogynnsamt orienterade och visar risk mot planbrott (röd färgat område i Figur 9).

Kombinationen av sprickgrupp 1 och sprickgrupp 2 kan bilda kilar (Figur 10, korsningspunkter av plan 1 och plan 2). Ett exempel från fältarbetet är blocket i Figur 12 (och Figur 13B) som ligger på en spricka från sprickgrupp 2. Blocket är avskilt från bakomliggande berget och så pass stort att det kan bli en problematisk skut efter sprängning.



Figur 9: Utklipp från sprickanalys mjukvaran DIPS. Planbrott fall.



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.80
	1.80 - 3.60
	3.60 - 5.40
	5.40 - 7.20
	7.20 - 9.00
	9.00 - 10.80
	10.80 - 12.60
	12.60 - 14.40
	14.40 - 16.20
	16.20 - 18.00

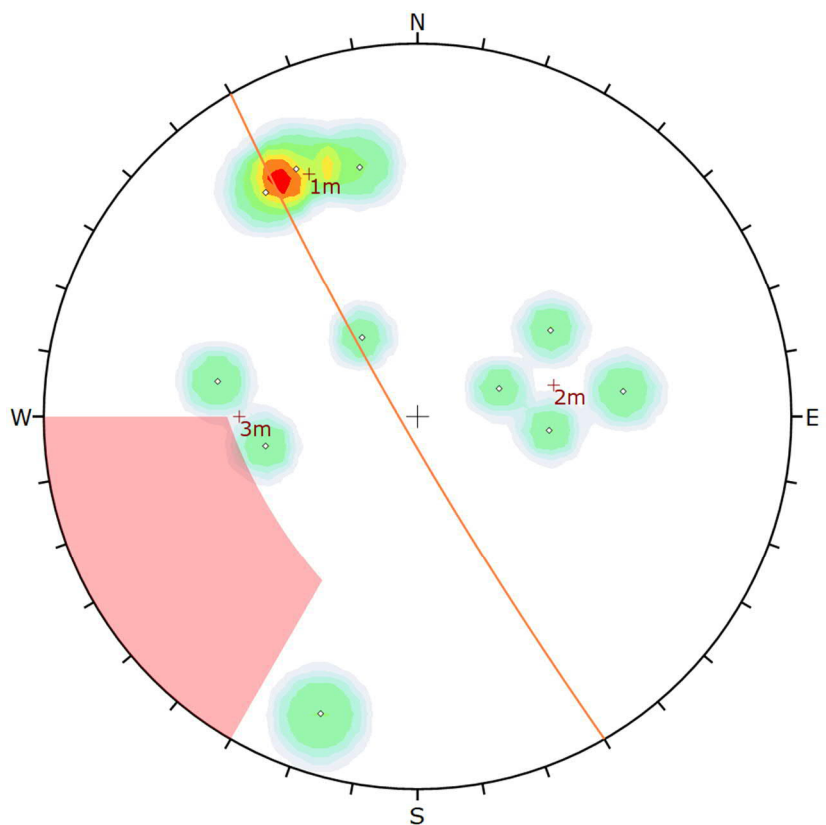
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	17.05%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	240
Friction Angle	21°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	29	55	52.73%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	11 (11 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	55
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figur 10: Utklipp från sprickanalys mjukvaran DIPS. Kilbrott fall.



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.80
	1.80 - 3.60
	3.60 - 5.40
	5.40 - 7.20
	7.20 - 9.00
	9.00 - 10.80
	10.80 - 12.60
	12.60 - 14.40
	14.40 - 16.20
	16.20 - 18.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	17.05%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

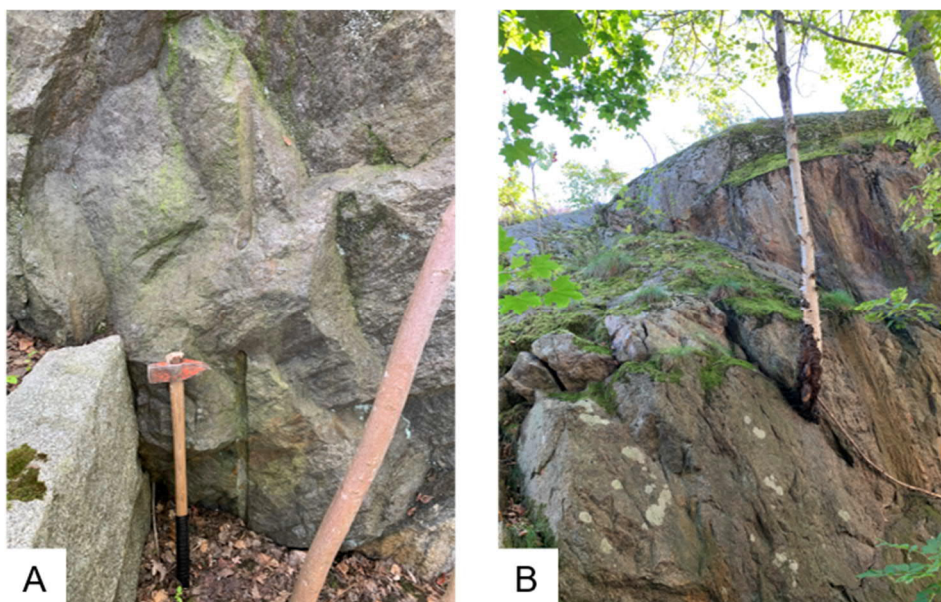
Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	85		
Slope Dip Direction	240		
Friction Angle	45°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	11	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	11 (11 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figur 11: Utklipp från sprickanalysmjukvaran DIPS. Överstjälpningsbrott fall.

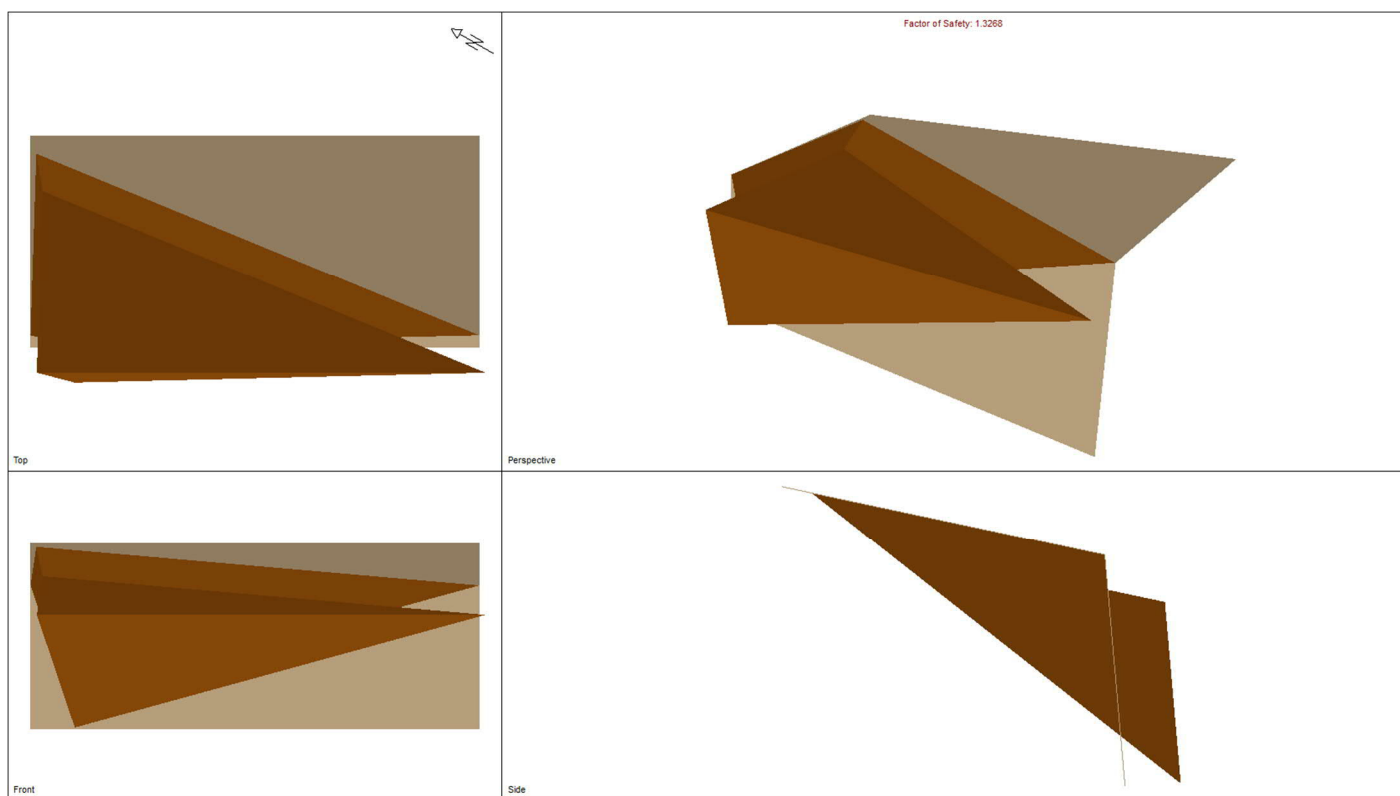


Figur 12: Indikation på blockform och storlek som kan vara ostabil sprängd slänt. Spricka Nr 11, i Grupp 2.



Figur 13: Spräng-borrhåll och del berg som ligger kvar efter sprängningen. B. Blocket ovanpå sprickplanen från Figur 12.

Eventuella kilar som bildas av sprickgrupp 1 och 2 har analyserats vidare i mjukvaran Swedge (Figur 14). Säkerhetsfaktorn från Swedge analys är över 1 vilket tyder på att rent teoretisk borde kilen vara stabilt utan förstärkning på grund av den relativt hög Jr och låg Ja på sprickegenskaper längs sprickgrupp 2. Däremot kan Jr och Ja varieras längs sprickor och sprickhållfasthet minska under sprängning. Då rekommenderas förstärkning om kilen vill bevaras.



Figur 14: Utklipp från släntstabilitets mjukvaran Swedge. Kombination av sprickgrupp 1 och 2 kan potentiellt bilda kilen som visas i modellen.

3 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Bergskärningen som undersökts består av diatexit och sedimentär gnejs. Berget visar ingen risk med avseende på tungmetaller. Totalsvavelhalt i samtliga sedimentär gnejs prover överstiger riktvärdet (0,1%) för totalsvavelhalt (Tabell 2). ABA-test visar en viss neutraliseringspotential i berget men den inte kan helt kompensera för syrbildningspotential. Däremot pH-NAG-test visar att berget ej är syrabildande. Eftersom diatexit och sedimentär gnejs kommer att blandas i bergmassan, anser WSP att risken för syrabildning från bergmassan är liten.

Planbrott kan potentiellt ske från sprickgrupp 2 (Figur 9) som lutar tvärs riktningen av den planerade slänten; eller i kombination med sprickgrupp 1 som kilbrott. Ändring av släntlutning kommer inte undvika risken och istället rekommenderas förförstärkning om det är viktigt att bevara släntkronet och inte intränga i SL område.

WSP rekommenderas att entreprenören markerar ut den planerade tätsömmen (fastighetsgränsen i Figur 2) så att en bergsakkunnig kan rådgiva placering av förförstärkning. Kunden borde också stämma av bergschaktsplanen med SL på grund av närliggande tunnelbanansspår.

4 BILAGOR

- Bilaga 1. Resultat från tungmetall- och svavelanalys
Bilaga 2. Resultat från ABA- och pH-NAG- tester

5 REFERENSER

- Karlsson T., 2021. Net Acid Generation (NAG). GTK Finland. <https://mineclosure.gtk.fi/net-acid-generation-nag/> (2021-07-06)
- Miller, S., Robertson, A. & Donahue, T., 1997. Advances in acid drainage prediction using the net acid generating (NAG) test. Proceedings Fourth International Conference on acid rock drainage, Vancouver, B. C. Canada May 31 – June 6, 1997, volume II, p. 533–547.
- Naturvårdsverket. 2020. Förslag till allmänna regler för vissa verksamheter som hanterar avfall. Komplettering av redovisning av regeringsuppdraget att utreda undantag från tillstånds- och anmälningsplikt för hantering av vissa avfallsslag för anläggningsändamål (M2019/00996/R, M2019/01082/R M2017/02593/R). Daterat 2020-01-30. (NFS2020)
- Naturvårdsverket. 2016. Riktvärden för förorenad mark. RAPPORT 5976. Tabell 8.1.
- Sveriges Riksdag. 2013. Förordning (2013:319) om utvinningsavfall. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2013319-om-utvinningsavfall_sfs-2013-319 (SR2012:319)
- Stadsbyggnadskontoret, Stockholms Stad, 2020. Planbeskrivning Detaljplan för Västra Hagsätra, Höstsådden 1 m.fl. i stadsdelen Hagsätra, S-Dp 201806778. Hämtad från <https://etjanst.stockholm.se/Byggochplantjansten/PresentPlan/GetFile?fileRecordNumber=8628462&journalNumber=2018-06778&fileName=Planbeskrivning%20S-Dp>. 2021-09-17
- Stockholms Stad, 2020. Vägledning – Provtagning och klassificering av sulfidförande berg (Remissversion 2020-10-06)

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 48 700 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com





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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 1
Total # Pages: 2 (A - C)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 18-SEP-2021
Account: MASWSP

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

CERTIFICATE PI21237690

Project: 10323296

P.O. No.: 54

This report is for 2 samples of Rock submitted to our lab in Pitea, Sweden on 7-SEP-2021.

The following have access to data associated with this certificate:

NIKOLAOS LEVENTIS

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
ME-ICP41	35 Element Aqua Regia 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 7-Sep-2021 and the SSF/Request on 3-Sep-2021.

Signature:

Andrey Tairov, Technical Manager, Ireland



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 2 - A
Total # Pages: 2 (A - C)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 18-SEP-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21237690

Sample Description	Method Analyte Units LOD	WEI-21	CRU-QC	PUL-QC	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
		Recvd Wt.	Pass2mm	Pass75um	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr
		kg	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
		0.02	0.01	0.01	0.2	0.01	2	10	10	0.5	2	0.01	0.5	1	1
HGS-01		1.08	89.3	90.8	<0.2	2.66	3	<10	130	1.3	<2	0.10	<0.5	11	100
HGS-03		1.19		88.8	<0.2	2.74	2	<10	110	1.5	3	0.09	<0.5	8	110

Comments: Samples were received on 7-Sep-2021 and the SSF/Request on 3-Sep-2021.



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 2 - B
Total # Pages: 2 (A - C)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 18-SEP-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21237690

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
		Fe	Ga	Hg	K	La	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
		% 0.01	ppm 10	ppm 1	% 0.01	ppm 10	% 0.01	ppm 5	ppm 1	% 0.01	ppm 1	ppm 10	ppm 2	% 0.01	ppm 2
HGS-01		4.40	10	<1	1.65	20	1.12	287	2	0.05	43	100	4	0.26	<2
HGS-03		3.97	10	<1	1.44	20	1.14	280	2	0.06	49	110	4	0.15	<2

Comments: Samples were received on 7-Sep-2021 and the SSF/Request on 3-Sep-2021.



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 2 - C
Total # Pages: 2 (A - C)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 18-SEP-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21237690

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
		Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn
		ppm 1	ppm 20	% 0.01	ppm 10	ppm 10	ppm 1	ppm 10	ppm 2
HGS-01		19	<20	0.30	<10	<10	113	<10	68
HGS-03		19	<20	0.25	<10	<10	106	<10	67

Comments: Samples were received on 7-Sep-2021 and the SSF/Request on 3-Sep-2021.

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

Inkom till Stockholms stadsbyggnadskontor - 2022-04-26, Dnr 2018-06778



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: Appendix 1
Total # Appendix Pages: 1
Finalized Date: 18-SEP-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21237690

CERTIFICATE COMMENTS

ACCREDITATION COMMENTS

Applies to Method:

The methods immediately below this line are ISO 17025:2017 Accredited. INAB Registration No: 173T
ME-ICP41



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.

ME-ICP41



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 1
Total # Pages: 2 (A)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 12-OCT-2021
Account: MASWSP

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

CERTIFICATE PI21252767

Project: 10323296

P.O. No.: 54

This report is for 1 sample of Rock submitted to our lab in Pitea, Sweden on 21-SEP-2021.

The following have access to data associated with this certificate:

NIKOLAOS LEVENTIS

SAMPLE PREPARATION

ALS CODE	DESCRIPTION
FND-02	Find Sample for Addn Analysis

ANALYTICAL PROCEDURES

ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
S-IR08	Total Sulphur (IR Spectroscopy)	LECO
S-ICP19	Sulphate Sulphur / By ICP-AES	ICP-AES
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	

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 *****

Signature:

Andrey Tairov, Technical Manager, Ireland



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: 2 - A
Total # Pages: 2 (A)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 12-OCT-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21252767

Sample Description	Method Analyte Units LOD	S-IR08	S-ICP19	S-CAL19	C-IR07	C-IR06	C-CAL04	OA-VOL08EU	OA-VOL08EU	OA-VOL08EU	OA-VOL08EU	OA-VOL11	OA-VOL11	OA-VOL11
		S	S	S	C	C organi	C inorga	NP	AP	NPR	NNP	NAGpH4.5	NAGpH7.0	pH
		%	%	%	%	%	%	tCaCO3/1Kt	tCaCO3/1Kt	Unity	tCaCO3/1Kt	kg H2SO4/t	kg H2SO4/t	Unity
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1	0.3	0.01	1	0.01	0.01	0.1
HGS-01		0.23	0.06	0.17	0.28	0.28	<0.01	4	5.3	0.72	-2	<0.01	0.20	6.7

Inkom till Stockholms stadsbyggnadskontor - 2022-04-26, Dnr 2018-06778

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



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

To: WSP SVERIGE AB
FE 711
838 74 FRÖSÖN

Page: Appendix 1
Total # Appendix Pages: 1
Finalized Date: 12-OCT-2021
Account: MASWSP

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

Project: 10323296

CERTIFICATE OF ANALYSIS PI21252767

CERTIFICATE COMMENTS

ANALYTICAL COMMENTS

Applies to Method: OA-VOL08EU Units: $\text{tCaCO}_3/1\text{Kt} = \text{tCaCO}_3/1000\text{t ore}$
OA-VOL08EU

ACCREDITATION COMMENTS

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



LABORATORY ADDRESSES

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