

Handläggare
Andrei Rapp
Tel
010 505 33 72
Mobil
072 172 62 74
E-post
Andrei.Rapp@afry.com

Datum
2020-03-30
Projekt-ID
770116

Rapport-ID
Lommarstranden, Norrtälje
Kund
Norrtälje Kommun

Berggrundens försurningsförmåga i Lommarstranden, Norrtälje

ÅF-Infrastructure AB

Handläggare
Andrei Rapp

Granskare
Emelie Axelsson, Irene Geuken

Innehåll

1	Inledning.....	1
2	Tidigare undersökning.....	1
3	Metod	1
3.1	Provtagning	1
3.2	Acid-Base Accounting	2
3.3	pH.....	2
3.4	Totalhalter metall.....	2
4	Riktvärden och bedömningsgrunder	2
4.1	Acid-Base Accounting	3
4.2	pH.....	4
4.3	Totalhalter metall.....	5
5	Resultat	6
5.1	Provbeskrivning	6
5.2	Acid-Base Accounting	10
5.3	pH.....	11
5.4	Totalhalter metall.....	12
6	Diskussion och bedömningsproblematik	12
7	Sammanställd bedömning och slutsats.....	13
8	Referenser.....	14

Sammanfattning

Om ett bergmaterial med hög svavelsulfid- och metallhalt oxiderar av vatten och syre kan surt lakvatten med hög metallhalt produceras. En eventuell recipient kan påverkas negativt av lakvattnet.

Berggrunden i projekteringsområde Lommarstranden, Norrtälje har provtagits från berg-i-dagen samt att borrhaxprov tagits upp i samband med Jord-berg-sondering (Jb-sondering). Bergproven har analyserats i syfte att undersöka berggrundens svavelhalt, svavelsulfidhalt, förurningsförmåga, neutraliseringsförmåga och totalmetallhalt. Analyserna som genomfördes var ABA-metod, NAGpH-metod samt totalmetallhalt ICP-MS. Resultatet visar på låg svavel- och svavelsulfidhalt jämfört med bedömningsgrunderna. Risken för att bergmaterialet ska kunna producera lakvatten med lågt pH och högt metallinnehåll bedöms som låg.

1 Inledning

I samband med projektering för bostadsområde Lommarstranden, Norrtälje har berggrundens eventuella försurande förmåga undersökts.

Vid bergarbete som schaktning, krossning och sprängning exponeras bergmaterialet 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. Surt lakvatten ökar även lösningsförmågan för metaller med ursprung från bergmaterialet. En eventuell recipient av beskrivet lakvatten kan påverkas negativt. Förekommande karbonatmineralogi (och till viss del annan mineralogi) i bergmaterialet kan buffra den försurande reaktionen och därför minska den negativa effekten av hög sulfidmineralogikoncentration (INAP 2012).

I den här undersökningen har 8 borrkaxprov samt 9 stuffprov från berg i dagen samlats in från projekteringsområdet där planerad schaktning finns beskriven. Samtliga 17 prov har analyserats i tre analyser:

- o Acid-Base Accounting (totalsvavel, totalsulfid, försurande och neutraliserande förmåga)
- o Net Acid Generation pH (pH och nettoneutraliserande förmåga)
- o Totalhalter metall

Syftet med analyserna är att kvantifiera provens försurande förmåga och jämföra samt bedöma resultatet med de riktlinjer eller förhållningsvärden som finns beskrivna av Trafikverket samt Naturvårdsverket.

2 Tidigare undersökning

I januari 2019 utfördes en undersökning av ÅF Infrastructure i området i syfte att fastställa om bergmaterialet är sulfidförande eller inte. I undersökningen samlades 5 stuffprov in från berg i dagen utspritt i undersökningsområdet Lommarstranden och skickades till Sweco Geolab för analys. Den högsta svavelhalten var 210 ppm och samtliga sulfidsvavelhalter var under detektionsgränsen <20ppm (Tabell 1).

Tabell 1 Resultat av januari 2019 undersökning. Analysresultat från Sweco Geolab.

Analysparameter	1	2	3	4	6
Totalsvavel (ppm)	150	44	210	74	33
Svavelsulfid (ppm)	<20	<20	<20	<20	<20

Samtliga totalsvavelvärden bedöms enligt Trafikverkets handbok för sulfidförande bergarter (2015) som *låg halt* (100–500 ppm) eller *obefintlig halt* (<100 ppm).

3 Metod

Kapitlet avser att beskriva tillvägagångssättet för undersökningen.

3.1 Provtagning

Två typer av provtagningar genomfördes under februari 2020.

- o Berggrundprovtagning från berg i dagen
- o Borrkaxprovtagning i samband med Jb sondering

Berggrundprovtagningen genomfördes av geologer Andrei Rapp och Emelie Axelsson (AFRY). Prov på 1–3 kg/prov samlades in från exponerade berghällar med hjälp av slägga och kil. Proven bergartbeskrevs kort i fält och position för provpunkten noterades.

Borrkaxprovtagningen genomfördes av Albert Pettersson och Omid Ahmadi (AFRY). Ett samlingsprov av material från hela borrhålets djup för vardera borrhållningen plockades ut (de första 30 cm av borrhålets material kasserades dock för att säkerställa att eventuella vittringsytor inte kom med). Från samlingsprovet togs prov på 2–5 kg för att skickas på analys.

3.2 Acid-Base Accounting

Analysprogrammet genomfördes av ALS Geochemistry Piteå. Analyskod: ABA-PKG06E, enligt europeisk standard EN 15875 "Characterization of waste – Static test for determination of acid potential and neutralization potential of sulfidic waste"

Acid Base Accounting (ABA) är en metod att geokemiskt karaktärisera bergavfall och bergmassor. ABA-analysen ger en bild av mängden sulfider i förhållande till mängden buffrande mineral i bergmaterialet. Syftet med ABA är att kvantifiera den surgörande potentialen, Acid Potential (AP), och den neutraliserande potentialen, Neutralization Potential (NP). Därefter kan man karaktärisera resultatet med neutraliseringspotentialförhållandet (NPR) enligt:

$$NPR = NP / AP$$

AP är härledd från totalsvavel och totalsvavel_{sulfat} i provet enligt:

$$AP = (totalsvavel - totalsvavel_{sulfat}) * 31,25$$

För utförligare metodbeskrivning hänvisas till EN 15875.

3.3 pH

Analysprogrammet genomfördes av ALS Geochemistry Piteå. Analyskod: OAVOL011.

Static Net Acid Generation (NAG)

Syftet med analysprogrammet är att undersöka nettoförsurningspotentialen. Metoden går ut på att oxidera provet med väteperoxid som snabbt oxiderar eventuella sulfider. Resultatet pH mäts. Därefter titreras provet med bas för att ta reda på hur mycket syra som producerades.

För utförligare metodbeskrivning hänvisas ALS analyskod OAVOL011.

3.4 Totalhalter metall

Analysprogrammet genomfördes av ALS Geochemistry Piteå. Analyskod: ME-MS61.

Ultra-trace level method using ICP-MS and ICP-AES

Syftet med analysprogrammet är att kvantifiera metallhalterna i bergmaterialet.

För utförligare metodbeskrivning hänvisas ALS analyskod ME-MS61

4 Riktvärden och bedömningsgrunder

Kapitlet avser att beskriva de riktvärden och bedömningsgrunder som legat till grund för tolkning samt bedömning av resultat.

4.1 Acid-Base Accounting

Trafikverket (2015) beskriver hur man kan bedöma bergmaterial utifrån totalsvavelhalt (Tabell 2).

Tabell 2 Bedömningsgrunder med bakgrund av svavelhalt i bergmassor i ppm som presenterad i Trafikverket (2015)

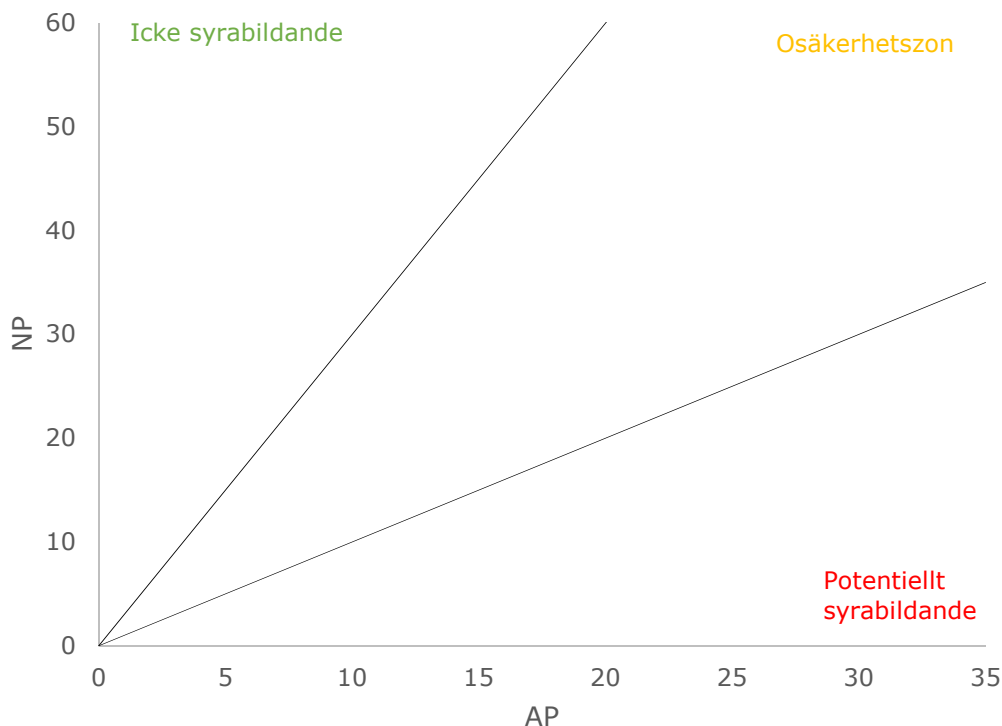
Bedömning	Svavelhalt mg/kg (ppm)
Mycket låg halt	<100
Låg halt	100–500
Något förhöjd halt	500–1000
Förhöjd halt	1000–5000
Hög halt	>5000

Naturvårdsverket (2010) samt INAP (2012) anger att den neutraliserande kapaciteten bör vara tre gånger så stor som den syrabildande kapaciteten för att undvika försurning, det vill säga NP:AP (NPR) = 3:1 (Tabell 3).

Tabell 3 Klassificeringstabell av NPR-värde enligt INAP (2012) samt Naturvårdsverket (2010)

Bedömning	NPR
Icke syrabildande	>3
Osäkerhetszon	1–3
Potentiellt syrabildande	<1

NPR värdena kan med fördel plottas i ett diagram enligt Figur 1, där AP och NP plottas mot varandra och resultatet delas in i tre delar enligt klassificeringen i Tabell 3.



Figur 1 NP:AP diagram

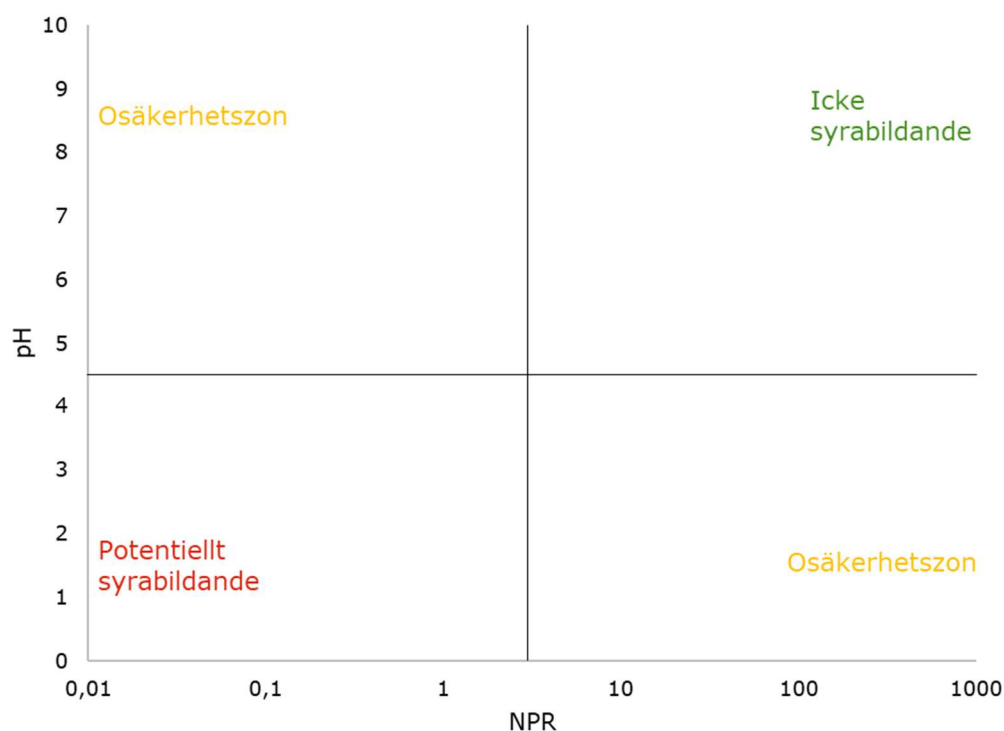
4.2 pH

Trafikverket (2015) beskriver hur det resulterade pH-värdet kan vägas in i bedömningen huruvida bergmaterialet innehåller försurande egenskaper eller inte.

Tabell 4 Bedömningsgrunder pH från Trafikverket (2015)

Försurningsförmåga	pH
Låg försurningsförmåga	>5
Måttlig försurningsförmåga	4–5
Hög försurningsförmåga	3–4
Mycket hög försurningsförmåga	<3

Kombinerar bedömningsgrunderna av pH från Trafikverket (2015) med bedömningsgrunderna av NPR från Naturvårdsverket (2010) och INAP (2012) kan resultatet från analyserna plottas i ett NPR mot NAGpH diagram (Figur 2). Figuren delas in i 4 kvadranter av två skiljevärden: NPR = 3,0 samt NAGpH = 4,5.



Figur 2 Kombinerat resultatdiagram av NAGpH samt NPR

4.3 Totalhalter metall

Naturvårdsverket (2010) beskriver halter från avfall som återvinns för anläggningsändamål och som utgör en risk som är mindre än ringa (Tabell 5).

Tabell 5 Totalmetallhalter från avfall som utgör en risk som är mindre än ringa (Naturvårdsverket 2010)

Ämne	Halter i mg/kg
Arsenik	10
Kadmium	20
Koppar	0,2
Krom	40
Nickel	35
Zink	120

5 Resultat

Följande kapitel avser att presentera resultat från utförda analyser

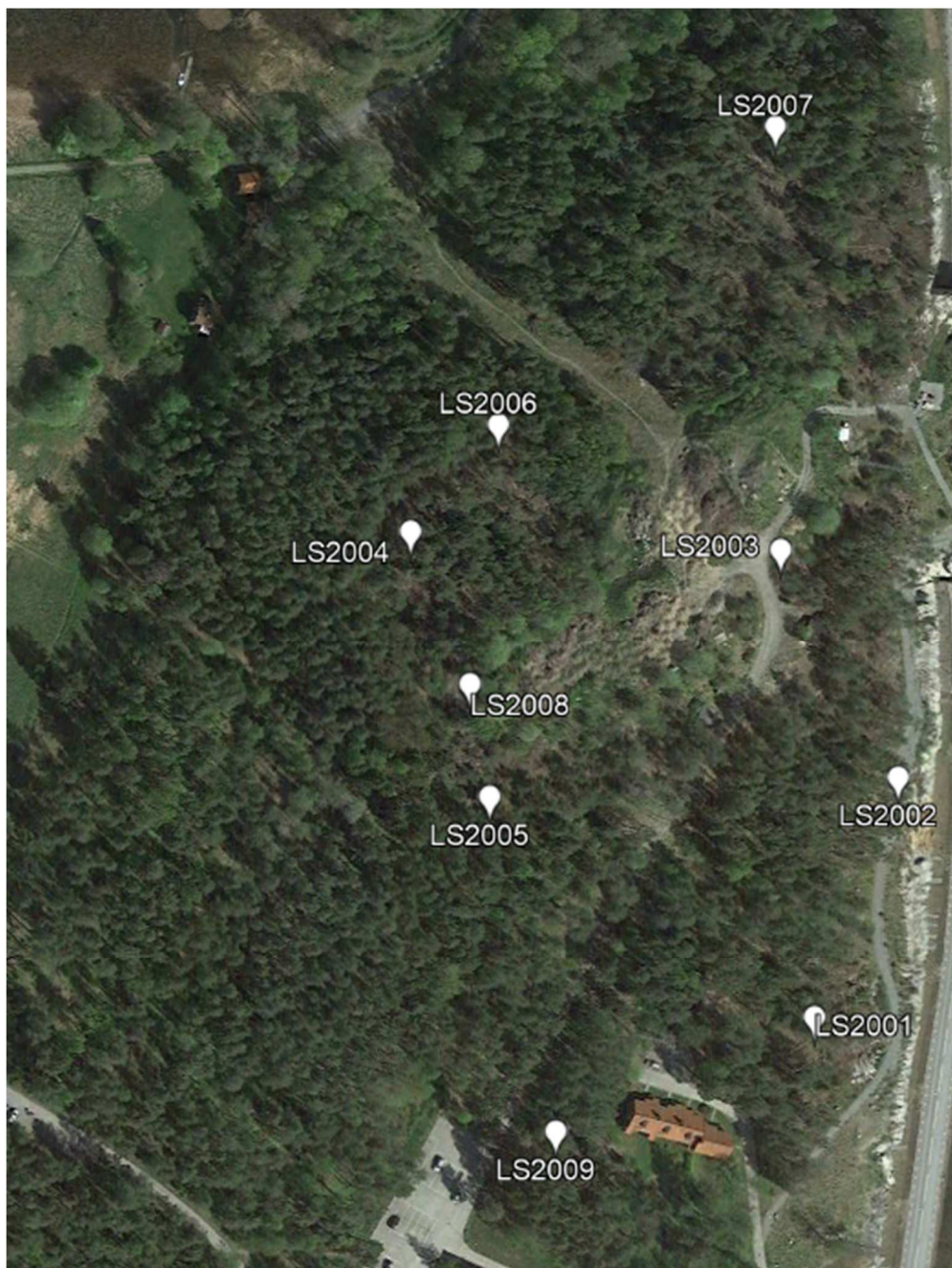
5.1 Provbeskrivning

De prov som samlades in från berg i dagen beskrevs kort i fält utifrån mineralogi och struktur. Generellt bestod proven av kvarts (qz), fältspat (fspt) och biotit (bt) och ej bestämda glimmermineral. En del prov visade viss gnejsighet annars granitisk struktur. Inget av proven hade okulärt synliga sulfidmineral (Tabell 6). Proven från Jb-sonderingen är finkrossade vid upptag och beskrivs ej.

Tabell 6 Provbeskrivning av stuffprov från berg i dagen

Provnamn	Beskrivning av prov	Typ bergart
LS2001	Starkt vittrad, tydlig gnejsighet, 1–3 mm band av qz, bt och fspt	Ortognejs
LS2002	Svagt vittrad, viss gnejsighet, 2–5 mm band av qz, bt och mindre andel fspt	Granit, Ortognejs
LS2003	Svagt vittrad, viss gnejsighet, qz, bt och fspt	Granit, Ortognejs
LS2004	Måttligt vittrad, viss lineation av glimmer, annars granitisk. qz, fspt och bt	Granit
LS2005	Starkt vittrad, granitoid, viss gnejsighet, fspt porfyrisk	Granit, Ortognejs
LS2006	Måttlig vittrad, tydlig gnejsighet, 2–5 mm band av qz, bt och fspt. Band av bt	Ortognejs
LS2007	Starkt vittrad, granitoid, hög glimmerhalt	Granit
LS2008	Starkt vittrad, tydlig gnejsighet, 2–5 mm band av qz, bt och fspt	Ortognejs
LS2009	Starkt vittrad, tydlig gnejsighet, 2–5 mm band av qz, bt och fspt	Ortognejs

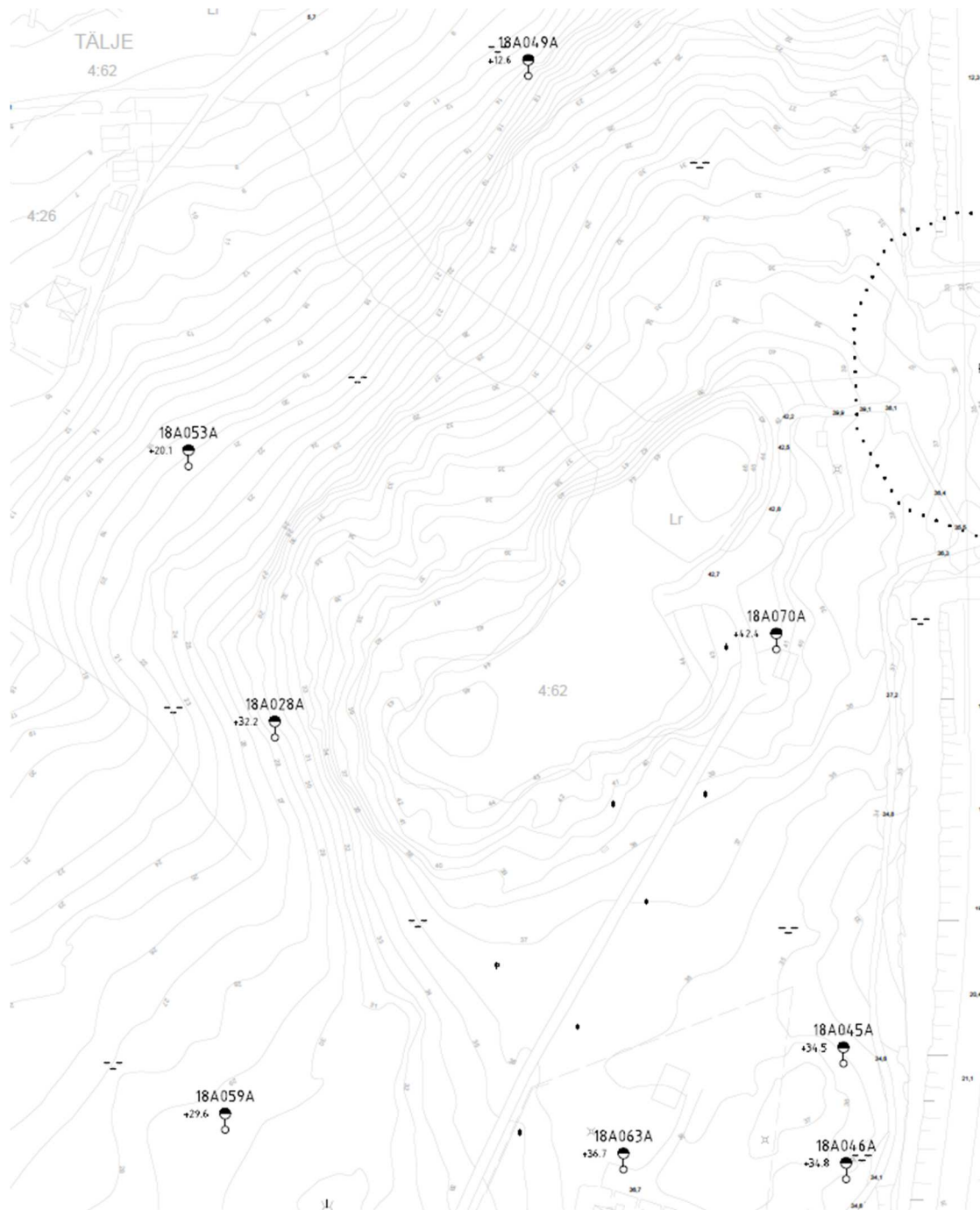
Figur 3 visar var proven från berg i dagen samlades in. Fördelaktigt hade varit om proven kunde samlats in från de planerade schacktningsområdena men det fanns svårigheter att lokalisera exponerat bergmaterial i låglandet mot vattnet i norr och ängarna i väst. Uppe mot berget i de centrala delarna av undersökningsområdet var det däremot mycket exponerat bergmaterial och det är också därför de flesta provpunkterna är därifrån. Tabell 7 visar det totala provdjupet för Jb-sonderingen. De första 30 cm av bormaterialet kasserades och Figur 4 visar provpunkterna för borrhaxprovtagningen.



Figur 3 Satellitfoto över området med provtagningsplatserna från berg i dagen, Lantmäteriet (2020)

Tabell 7 Provnamn och totaldjup för proven från Jb-sonderingen

Provnamn	Totaldjup för provtagning (m)
18A007	4,98
18A028	9,62
18A045	4,86
18A046	4,98
18A049	4,95
18A053	4,98
18A059	4,99
18A063	4,99



Figur 4 Karta över provpunkterna från kaxborrningen

5.2 Acid-Base Accounting

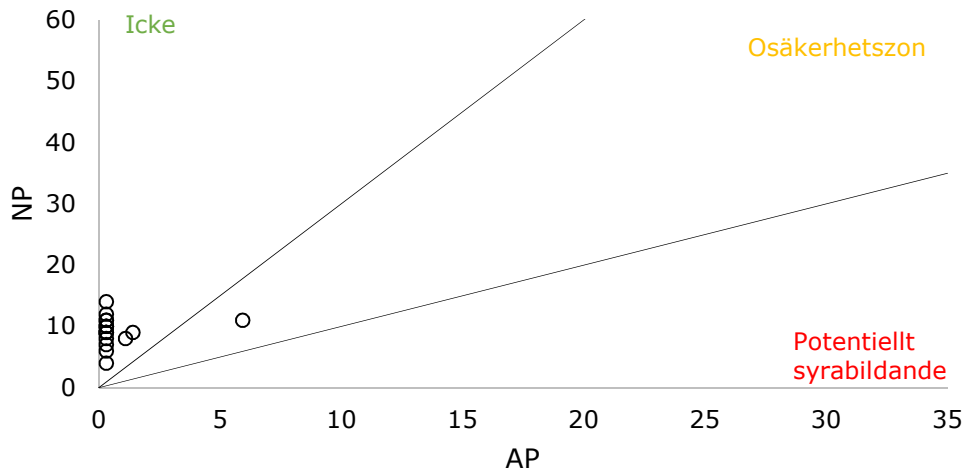
Endast ett prov (LS2002) har en svavelhalt som enligt Trafikverkets (2015) bedömning faller inom *förhöjd halt*, provets buffrande egenskaper räcker enligt ABA analysen inte till för att neutralisera AP och NPR blir därför 1,68 (osäkerhetszonen, markerad gul i Tabell 8). Resterande prov hamnar inom bedömningen *låg halt* eller *mycket låg halt* (Tabell 8). 83% av provpunkterna har så pass låg svavelhalt att den försurande potentialen, AP, är obefintlig eller under detektionsgräns. För de provpunkter där AP är 0,3 eller <0,3 är NPR icke relevant eftersom provet är närmast inert i svavelsammanhang. För prov 18A059 och 18A063 är svavelhalten mätbar (400 respektive 500 ppm) men ABA analysen visar att materialet har viss pH-buffert som leder till NP värden på 8 respektive 9 tCaCO₃/1Kt och därför NPR >3.

Tabell 8 Resultat från Acid-Base Accounting analysen. AP = Acid Potential, NP = Neutralization potential, NPR = Net Producing Ratio

Provnamn	Svavelhalt (ppm)	AP (tCaCO ₃ /1Kt)	NP (tCaCO ₃ /1Kt)	NPR
LS2001	<100	<0,3	8	55,33
LS2002	2400	6,6	11	1,68
LS2003	<100	<0,3	4	28,67
LS2004	<100	<0,3	9	58,67
LS2005	<100	<0,3	10	66,67
LS2006	<100	<0,3	6	38,67
LS2007	<100	<0,3	12	76,67
LS2008	100	<0,3	10	62,08
LS2009	100	<0,3	11	70,4
18A007	<100	<0,3	11	75,33
18A028	<100	<0,3	10	66,67
18A045	<100	<0,3	14	95,33
18A046	200	0,3	9	28,16
18A049	<100	<0,3	7	58,67
18A053	<100	<0,3	9	58,67
18A059	400	1,1	8	7,31
18A063	500	1,4	9	6,26
Medelvärde	<259	0,8	9	35,70

Bedömning (Trafikverket, 2015)	Svavelhalt mg/kg (ppm)
Mycket låg halt	<100
Låg halt	100–500
Något förhöjd halt	500–1000
Förhöjd halt	1000–5000
Hög halt	>5000
Bedömning (Naturvårdsverket, 2010)	NPR
Icke syrabildande	>3
Osäkerhetszon	1–3
Potentiellt syrabildande	<1

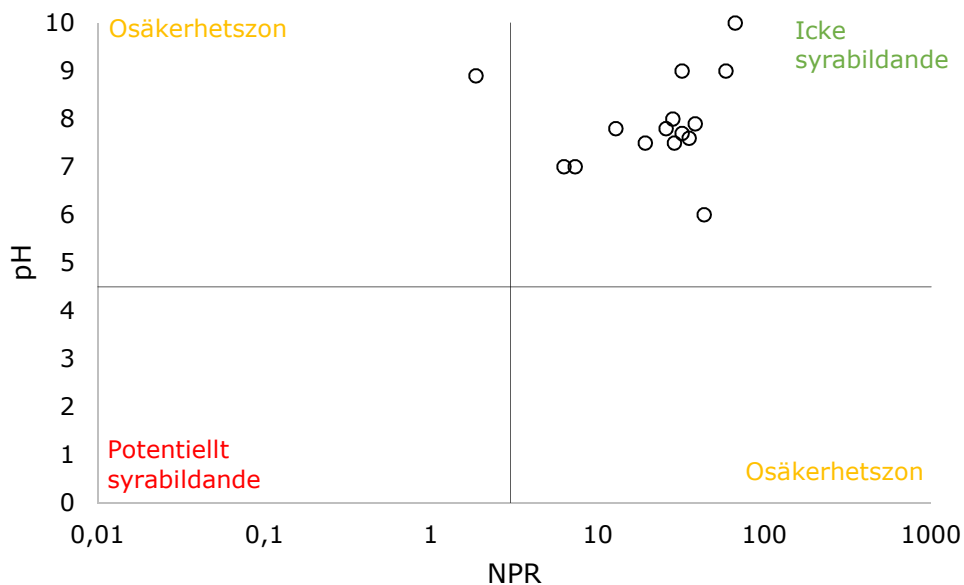
I Figur 4 plottas NP mot AP och diagrammet delas upp i tre bedömningsområden. Samtliga prov hamnar i det *icke syrabildande* området (på grund det låga, eller obefintliga svavelinnehållet) förutom prov LS2002 som hamnar i *osäkerhetszonen*.



Figur 5 NP mot NPR diagram. Uppdelad i bedömningsgrunder från Naturvårdsverket (2010) och INAP (2012) i avseende om NPR

5.3 pH

I Figur 5 plottas pH mot NPR. Diagrammet delas upp i fyra rutor baserat på bedömningsgrunder från Naturvårdsverket (2010). Endast ett prov (LS2002) hamnar i osäkerhetskvadranten på grund av något högre svavelhalt (2400 ppm) men pH är fortsatt högt på grund av närvarande NP. Resterande provs låga svavelhalter resulterade i höga pH värden och högt NPR därför hamnar proven i den *icke syrabildande* kvadranten.



Figur 6 pH mot NPR diagram

5.4 Totalhalter metall

I Tabell 9 visas resultatet från metallhalt analys och jämförs med riktvärden från Naturvårdsverket (2010). Endast Zinkhalterna från prov 18A007, 18A059 och 18A063 överstiger riktvärdena (Tabell 9).

Tabell 9 Resultat från metallhalt analys jämfört med riktvärden från Naturvårdsverket (2010)

Provnamn	As	Cd	Cu	Cr	Ni	Zn
NV halt (ppm)	10	0,2	20	40	35	120
LS2001	0,8	0,08	2,0	19	2,3	66
LS2002	0,5	0,07	5,6	29	2,4	77
LS2003	1,0	0,02	1,9	19	2,7	44
LS2004	0,7	<0,02	0,9	17	2,8	37
LS2005	0,8	0,09	0,7	23	7,4	118
LS2006	0,8	0,07	0,8	21	2,4	59
LS2007	1,1	0,07	3,7	17	3,1	98
LS2008	0,8	0,02	2,4	18	2,4	65
LS2009	0,7	0,04	4,0	20	2,9	84
18A007	0,5	0,03	1,1	7	4,3	178
18A028	0,5	<0,02	0,9	7	3,6	64
18A045	0,3	0,07	1,8	8	3,6	82
18A046	1,1	0,13	6,1	11	4,2	111
18A049	1,2	0,04	2,6	7	3,5	70
18A053	1,1	0,05	1,2	7	4,3	67
18A059	0,9	0,17	9,0	16	5,8	139
18A063	1,0	0,07	12,0	9	3,9	127

6 Diskussion och bedömningsproblematik

Trafikverkets handbok ses just nu som rådgivande och planeras att revideras under 2020. Även SS-EN 15875 håller för närvarande på att revideras. Forskning pågår i samarbete med Luleå Tekniska Universitet för att utveckla metodik och bedömningsgrunder. Baserat på detta kommer rekommendationerna nedan att utgå från den samlade erfarenhet som AFRY har kring bedömning av sulfidförande berg och vara projektspecifikt.

ABA-standarden som används räknar ut AP (surgörande potential) baserat på Total Svavel_{sulfid} genom att subtrahera Svavel_{sulfat} från Total Svavel. Total Svavel_{sulfid} (ppm) multipliceras därefter med faktorn 31.25 eller 62,5 (SS-EN15875). Dessa faktorer utgår från antagandet att oxidationen av 1 mol pyrit producerar 4 mol H⁺ och att all sulfid antas komma från pyrit. Dock så beror mängden H⁺ som produceras på vilket sulfidmineral som oxideras, exempelvis vid oxidation av kopparkis (CuFeS₂) eller magnetkis (Fe_{1-x}S) produceras endast 2 mol H⁺ per mol svavel (INAP 2012). Därför leder andra förekommande sulfidmineral till en överskattning av AP. ABA-analysen kan inte särskilja eller kvantifiera olika typer av sulfidmineral, för detta krävs vidare

analyser, exempelvis SEM (Svepelektronmikroskop), XRD (röntgendiffraktion) eller mikroskopering med punkträkning.

Magnetkis har vidare den egenskapen att den har en mycket högre oxidationshastighet än andra sulfider (upp till 100 gånger snabbare än pyrit) vilket kan innebära stora problem vid större flöden av surt lakvatten som kan överbelasta den omedelbart tillgängliga neutraliseringsförmågan i materialet (INAP 2012).

Vidare beräknas i ABA-analysen AP genom att multiplicera S_{sulfid} med faktorn 31,25 baserat på hypotesen att 2 mol H^+ (från pyritoxidation) neutraliseras av 1 mol kalcit. Men vid ett neutralt pH krävs dubbelt så mycket karbonat jämfört med en sur miljö vilket kan leda till en möjlig underskattning av AP. Istället kan faktorn 62,5 användas för att simulera en miljö där 1 mol kalcit endast neutraliserar 1 mol H^+ om $pH > 6,3$ eftersträvas (INAP, 2012).

Även om ABA-metoden är en bra utgångspunkt för att fastställa neutraliseringspotentialen och den syrabildande potentialen så kan inte ABA-metoden ta hänsyn till de reaktiva icke-karbonaterna som skulle kunna bidra till neutralisation av de syrabildande mineralerna (exempelvis reaktiva lättlösliga silikatmineral) eller syrabildande (t.ex. Fe (III)-hydroxider och Fe (II)-sulfathydroxider, metallklorider och sulfater (INAP 2012).

Det som i grunden krävs för att någon syraproduktion ska ske är närvarande sulfidmineral. Sulfidmineral består av en eller flera anjoner (svavel) som binder till en eller flera typer av katjoner (metalljoner). Innehar ett prov mycket låg svavelhalt kan man därför anta att sulfidmineralhalten också är låg.

7 Sammanställd bedömning och slutsats

Alla provpunkter förutom LS2002 har *låg* eller *mycket låg* svavelhalt. Bedömningen av bergmaterialets egenskaper bör göras utifrån provpunkternas gemensamma resultat, utan fokus på geografisk spridning. Medelvärdet av provpunkternas svavelhalt är <259 ppm och medelvärdet av provpunkternas NPR är 35,70. I viss mån anses bergmaterialet vara helt inert i sammanhanget vara kapabel till att producera surt lakvatten.

- o Svavelhalten och svavelsulfidhalten i berggrunden från projekteringsområdet Lommarstranden är av *låg halt*.
- o Berggrunden från projekteringsområdet Lommarstranden innehar en neutraliseringspotential som enligt ABA-analysen i stor utsträckning överstiger den eventuellt surgörande potentialen.
- o Den sammanställda risken att bergmaterial från projekteringsområde Lommarstranden innehar potential att producera surt lakvatten anses låg.
- o Endast zinkhalterna översteg i viss mån halterna för avfall som återvinns för anläggningsändamål och som utgör en risk som är mindre än ringa.

8 Referenser

International network for acid prevention (INAP), 2012, "GARDguide", hämtad: 2020-01-03 http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page

Naturvårdsverket, 2010, "Återvinning av avfall i anläggningsarbeten", handbok 2010:1

Svensk Standard SS-EN 15875:2011, "Karakterisering av avfall – Statiskt test för bestämning av syrabildning- och neutralisationspotential i sulfidhaltigt avfall"

Trafikverket, "Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter", Rapport 2015:057