



TRAFIKVERKET

Sulfidförande berg som konstruktionsmaterial

Metoddagen 2024
Karl-Johan Lorents

En kort tillbakablick

Utbyggnaden av E6 i Bohuslän

Saxat ur Undersökning av sulfidhalter i berg – E6 norr om Uddevalla, Terralogica AB 010201:

- Mycket låga pH (3-4) har uppmätts i lakvatten från bergupplaget väster om Grytingenbacken, E6 norr om Uddevalla. Det sura vattnet innehåller relativt höga halter av sulfat, samt metallerna Co, Cu, Zn och Ni. Även halterna av aluminium är kraftigt förhöjda.
- Det är sannolikt att de förhöjda halterna av Cu, Ni, Zn, Co och SO_4 i ytvatten nära bergupplaget i Skogen är ett resultat av bakteriellt katalyserad sulfidoxidation. Det låga pH som blir resultatet av denna process är också katalyserande och ökar dessutom i sin tur lakningen av andra element från aluminium-silikater.

Undersökning av sulfidhalter i berg –
E6 norr om Uddevalla

Terralogica AB
010201

En kort tillbakablick

Resultat:

- Den stora källan till svavel i de kemiska analyserna utgörs av [sulfidmineral](#). De största volymerna av sulfidmineral är knutna till metabasiter. Volymmässigt utgör sulfiderna vanligen mindre än ca. 1 % av mineralinnehållet.
- Även glimmer- men framförallt lerzoner uppvisar starkt förhöjda halter av svavel.
- Lokalt förekommer dessutom förhöjda svavelhalter i sedimentådergnejsen (upp till ca. 1000 ppm).

Undersökning av sulfidhalter i berg –
E6 norr om Uddevalla

Terralogica AB
010201

En kort tillbakablick

Åtgärdsförslag:

- Såväl metabasiter som skjuvzoner bör därför **analyseras** på sitt sulfidinnehåll, när de påträffas
- **Uppkrossning** av bergarter med förhöjda sulfidhalter medför ökad exponering av sulfidmineral och bör därför i möjligaste mån undvikas.
- Då bakteriellt katalyserad oxidation av sulfider är beroende av tillgång på syre och vatten bör **upplag av bergarterna skyddas** från vattengenomträngning genom övertäckning (t.ex. lerlager) eller åtminstone minskat vattenflöde genom att tillförseln av ytvatten minimeras med exempelvis vallar och dränerande diken. Alternativet är upplag på platser där stagnanta förhållanden råder (inget vattenflöde) eller deponering i syrefattig miljö (stagnant miljö klart under grundvattenytan).
- I de fall sulfidrikt material användes till vägkroppen bör detta **placeras** över grundvattenytan och under det täckande asfaltskiktet i syfte att undvika vattenexponering. Kompletterande täckning av vägslänter rekommenderas. Större block t.ex metabasit med sulfidmineral kan användas för utfyllnad under grundvattenytan.

DEGREE PROJECT



Evaluation of long-term effects of excavated
sulfide-bearing rock
- A case study in western Sweden

Ida Sundblom

Natural Resources Engineering, master's
2022

Luleå University of Technology
Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering



Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter (2015:057)

- Kunskapssammanställning till stöd för Trafikverkets leverantörer
 - Handboken är tillämpbar under anläggningsarbeten som t ex väg- och järnvägsskärningar samt i samband med mellanlagring på bergupplag. Målgruppen för detta dokument är främst projektledare, projektörer och entreprenörer.



Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter

Dokumentbeteckning: 2015:057

Eftersom det råder osäkerhet om hur sulfidförande bergarter ska hanteras för att inte utgöra en miljörisk behövs det ett generellt system för bedömning av miljöpåverkan och råd om vilka åtgärder som är lämpliga för att minska denna. Med anledning av detta har Trafikverket tagit fram denna handbok.

Handboken är tillämpbar under anläggningsarbeten som t ex väg- och järnvägsskärningar samt i samband med mellanlagring på bergupplag. Målgruppen för detta dokument är främst projektledare, projektörer och entreprenörer.

2019-12-20: Vi har publicerat ett förtydligande av syftet med handboken, se separat dokument under "Related files" nedan.

Artikelnr: TV000140

 **LADDA NER PDF**

Related Files

[Förtydligande av syftet med Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter](#)

Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter (2015:057)

- Slutet av 2019: Förtydligande av syftet med Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter
 - *"Under de senaste åren har flera incidenter med sulfidförande berg skapat problem i Stockholms kranskommuner i samband med beredning av och byggnation med bergkross av stora exploateringsytor... Resultat från dessa aktiviteter samt inkomna synpunkter från kommuner, länsstyrelser entreprenörer och konsulter ska ligga till grund för revisionsarbetet av..."*



Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter

Dokumentbeteckning: 2015:057

Eftersom det råder osäkerhet om hur sulfidförande bergarter ska hanteras för att inte utgöra en miljörisk behövs det ett generellt system för bedömning av miljöpåverkan och råd om vilka åtgärder som är lämpliga för att minska denna. Med anledning av detta har Trafikverket tagit fram denna handbok.

Handboken är tillämplig under anläggningsarbeten som t ex väg- och järnvägsskärningar samt i samband med mellanlagring på bergupplag. Målgruppen för detta dokument är främst projektledare, projektörer och entreprenörer.

2019-12-20: Vi har publicerat ett förtydligande av syftet med handboken, se separat dokument under "Related files" nedan.

Artikelnr: TV000140

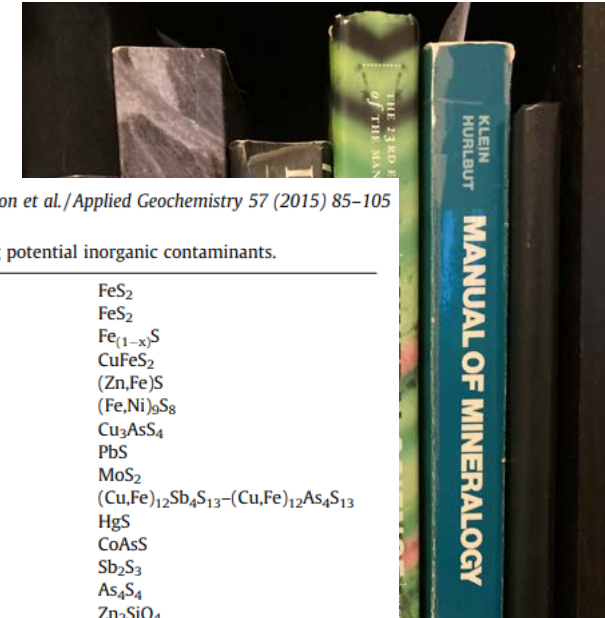
[LADDA NER PDF](#)

Related Files

[Förtydligande av syftet med Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter](#)

Sulfidförande berg

- Precis som antyds är det berg/bergarter vilka för mineral som innehåller svavel
 - som t.ex. graniter, sedimentgnejs och många, många fler



H.E. Jamieson et al. / Applied Geochemistry 57 (2015) 85–105

Table 1

Selected primary minerals containing potential inorganic contaminants.

Pyrite	FeS ₂
Marcasite	FeS ₂
Pyrrhotite	Fe _(1-x) S
Chalcopyrite	CuFeS ₂
Sphalerite	(Zn,Fe)S
Pentlandite	(Fe,Ni) ₉ S ₈
Enargite	Cu ₃ AsS ₄
Galena	PbS
Molybdenite	MoS ₂
Tetrahedrite–Tennantite	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ –(Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃
Cinnabar	HgS
Cobaltite	CoAsS
Stibnite	Sb ₂ S ₃
Realgar	As ₄ S ₄
Willemite	Zn ₂ SiO ₄

Mineral	Kemisk formel	Exempel spårämnen
Magnetkis	$Fe_{(1-x)}S$	Ag, As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sa, Sn, V, Zn
Pyrit	FeS_2	Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Ga, Ge, Hg, In, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V
Blyglans	PbS	Ag, As, Bi, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Sb, Se, Sn, Tl, Zn,
Zinkblände	ZnS	Ag, As, Ba, Cu, Cd, Co, Cr, Fe, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Sb, Sa, Sn, Tl, V
Kopparkis	$CuFeS_2$	Ag, As, Bi, Cd, Co, Cr, In, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V, Zn

eller t.ex. www.mindat.org

L. Lindgren (2020) Utvärdering av predikteringsmetoder för sulfidförande berg. Examensarbete Luleå tekniska universitet

Sulfidförande berg

Prov	Bergart
TEN200156A	Paragnejs , grå-rödgrå, ojämnkornig, fin till medelkornig, ådrad- och fläckig med gmk neosom, ställvis rostig
TEN230023B	Granodioritisk gnejs , grå till mörkt grå, fint medelkornig, svagt gnejsig granodioritisk bergart. Möjligen omkristalliserad vulkanit.

TEN200156A

Sedimentådergnejs (Järna, Folkpool)

Datum: 2020-08-12

Koordinat: 6552697/648589

Platsbeskrivning: Skärning i berg

Metodik: Borrning med rigg och hydraulisk klyvning. Neddelning av losshållna större block med slägga och geologhammare.

Mängd: 430 kg

Skada: Nedrasade block och reststenar är synliga och några är förhållandevis stora, se foto 2.

Foto 1: Uppstart med borring i skärning.



TEN200156A

Sedimentådergnejs, Järna (Folkpool)



Foto 2: Skärning efter provtagning. Nedrasade stenar och block lyftes flyttades närmare släntfot.

TEN230023B: Vänningen

Datum: 2023-06-14

Koordinat: 6488523/560155

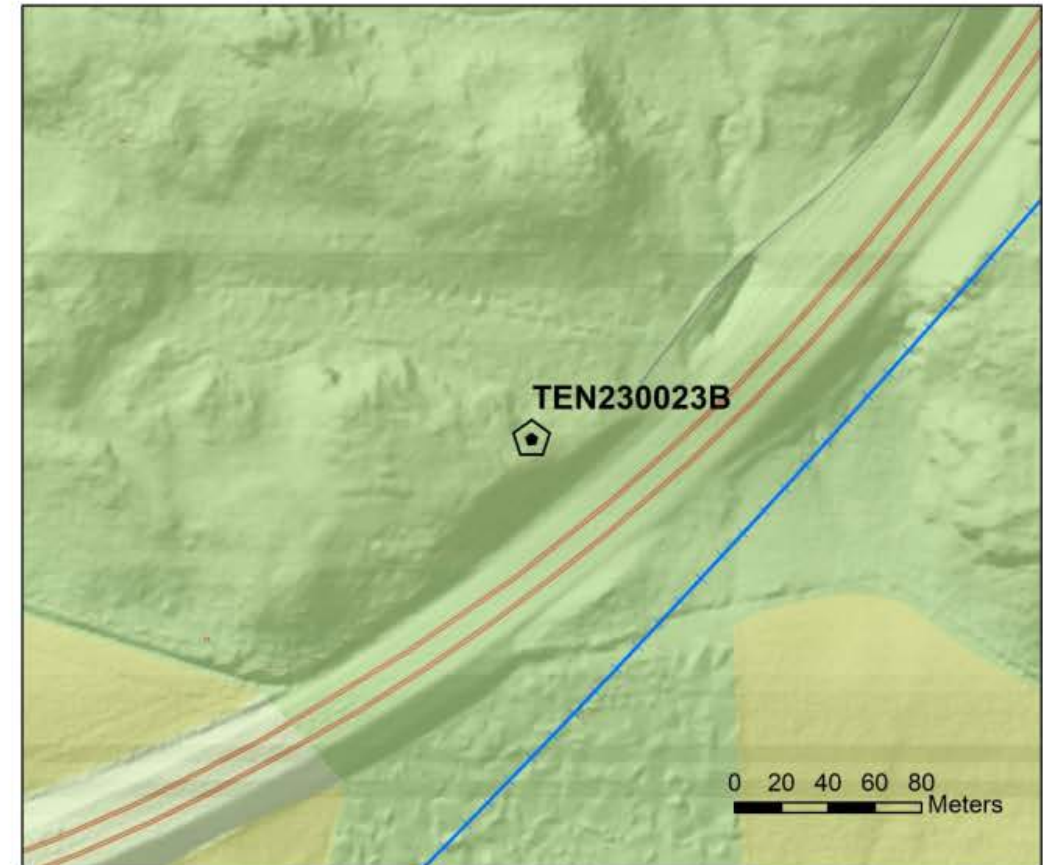
Platsbeskrivning:

Metod: Borrmaskin, tre korta borrhål (maximalt 0,7 m djupa) och spräckning, kompletterande neddelninga av stenblock med slägga.

Mängd: ca 220 kg

Påverkan eller skada på provtagningsplats:

Måttlig med spräcka block och borrarning t bergyta framträder, mindre mängd med reststenar lämnas på plats.



minnesstöd: Granodioritisk gnejs



Foto 23B-1: Framkörning av bormning-maskin. på skotaväg.

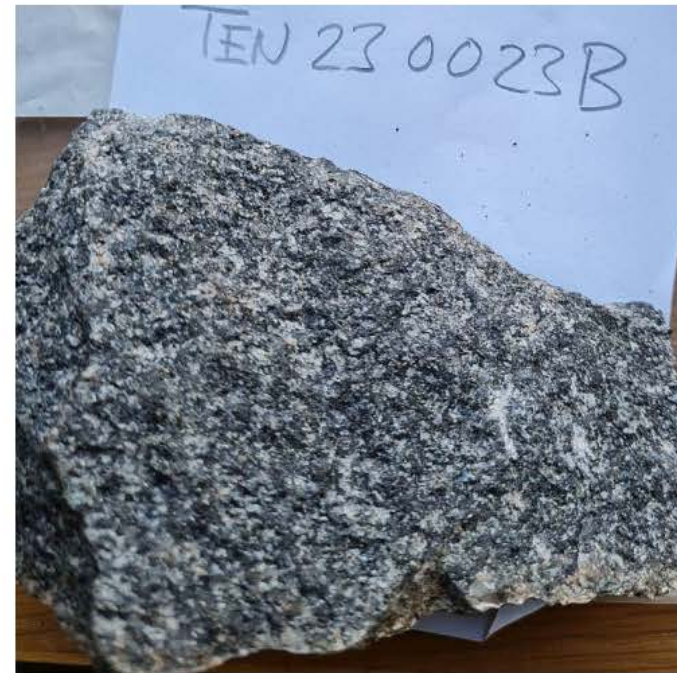


Foto 23B-2: Provtagningsplats efter provtagning.



Foto 23B-3: Provtagningsplats efter provtagning, vy från väster.

minnesstöd: Granodioritisk gnejs

TEN230023B: Vänningen

minnesstöd: Granodioritisk gnejs

Sulfidförande berg



Prov	Bergart
TEN200156A	Paragnejs , grå-rödgrå, ojämnkornig, fin till medelkornig, ådrad- och fläckig med gmk neosom, ställvis rostig
TEN230023B	Granodioritisk gnejs , grå till mörkt grå, fint medelkornig, svagt gnejsig granodioritisk bergart. Möjligen omkristalliserad vulkanit.

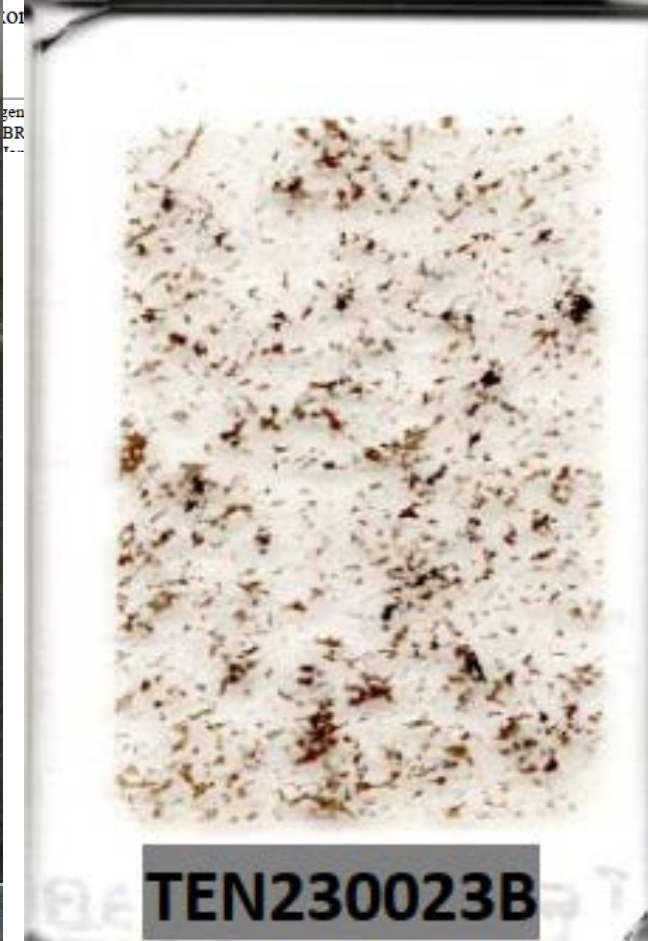
Prov	Korn-densitet	LA (31,5-50)	MD (32-50)	LA (10-14)	MD (10-14)	Kulkvarn (11,2-16)	LT-index	S (%)	S (%)
TEN200156A	2,72	19		26	12	15,5		0,48	0,51
TEN230023B	2,71	13	6,1	16	5,1	8,9	9	0,07	0,07



RILEM TC 191-ARP: 'Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity'

**RILEM Recommended Test Method AAR-1:
Detection of potential alkali-reactivity of aggregates –
Petrographic method**

Sulfidförande berg



Sulfidförande berg

Prov	Bergart
TEN200156A	Paragnejs , grå-rödgrå, ojämnkornig, fin till medelkornig, rostig
TEN230023B	Granodioritisk gnejs , grå till mörkt grå, fint medelkornig, omkristalliserad vulkanit.



	TEN200156A	TEN230023B
Kvarts	35,5	28,6
Kalifältspat	19,7	7,4
Plagioklas tot	10,4	45,9
Biotit	14,1	14,9
Klorit	0,2	0,1
Muskovit	2,1	0,7
Apatit		0,7
Titanit	0,1	0,1
Epidot	1,1	0,2
Opaka +/- grafit	3,3	0,8
Zirkon		0,1
Cordierit	0,2	
Andalusit	7,1	
Sillimanit	5,5	
Kalcit		0,4
övrigt	0,1	0,1
grafit	0,6	
Totalt	100,0	100,0
glimmet tot	16,1	15,69
fyllosilkater tot	16,4	15,78

www.alsglobal.com												
Code	Analytes	Ranges	Description									
S-IR08	S (Total)	0.01%-50 %	Total sulphur by induction furnace/IR	mk neosom, ställvis								
				isk bergart. Möjligen								
www.alsglobal.com												
Digest	Super Trace Elements		Trace Elements									
Aqua Regia	ME-MS41L™ 53 elements 0.01ppm - 1% Cu		ME-MS41™ 51 elements 0.2ppm - 1% Cu	N 3) 1	MD (32-50)	LA (10-14)	MD (10-14)	Kulkvarn (11,2-16)	LT-index	S (%)	S (%)	
ME-MS41™ 0.5g sample	Be	0.05-1,000	Hg	0.01-10,000	Rb	0.1-10,000	U	0.0	12	15,5	0,48	0,51
									5,1	8,9	9	0,07
	Bi	0.01-10,000	In	0.005-500	Re	0.001-50	V	1-1				
	Ca	0.01%-25%	K	0.01%-10%	S	0.01%-10%	W	0.0				



Sulfidförande berg

	TEN200156A	TEN230023B
Kvarts	35,5	28,6
Kalifältspat	19,7	7,4
Plagioklas tot	10,4	45,9
Biotit	14,1	14,9
Klorit	0,2	0,1
Muskovit	2,1	0,7
Apatit		0,7
Fältspat	0,4	0,1

Prov	Bergart
TEN200156A	Paragnejs, grå-rödgrå, ojämnkornig, fin till medelkornig, ådrad- och fläckig med gmk neosom, ställvis rostig
TEN230023B	Granodioritisk gnejs, grå till mörkt grå, fint medelkornig, svagt gnejsig granodioritisk bergart. Möjligen omkristalliserad vulkanit.

Andalusit	7,1
Sillimanit	5,5

S-IR08 ME-MS41

Prov	Korn-densitet	LA (31,5-50)	MD (32-50)	LA (10-14)	MD (10-14)	Kulkvarn (11,2-16)	LT-index	S (%)	S (%)
TEN200156A	2,72	19		26	12	15,5		0,48	0,51
TEN230023B	2,71	13	6,1	16	5,1	8,9	9	0,07	0,07

glimmet tot	16,1	15,69
fyllosilkater tot	16,4	15,78

Sulfidförande berg

Potential för att avge surt lakvatten

För att bedöma ett avfalls potential att avge surt lakvatten eller om avfallet kommer att kunna neutralisera den producerade syran används olika typer av mått på syraproducerande och neutraliserande kapacitet och relationen mellan dem.

För att bestämma potentialen för sulfidhaltiga avfall att avge surt lakvatten anser Naturvårdsverket att SS-EN 15875-2011 bör användas. För att utvärdera potentialen att avge surt lakvatten över längre tid kan de tester som beskrivs i den tekniska rapporten SIS-CEN/TR 16363:2016 (Karaktärisering av avfall - Kinetiska tester för bedömning av syrabildningspotential i sulfidhaltigt avfall från utvinningsindustrin) vara användbara.

NATURVÅRDSVERKET MASSHANTERING OCH ANVÄNDNING AV MASSOR FÖR ANLÄGGNINGSÄNDAMÅL
VERSION 3, 2023-01-30

Karaktärisering av avfall – Statisk test för bestämning av syrabildnings- och neutraliseringspotential i sulfidhaltigt avfall

Characterization of waste – Static test for determination of acid potential and neutralisation potential of sulfidic waste

SIS multi user license: Trafikverket. Customer number: , Date: 2024-01-31

Sulfidförande berg

SS-EN 15875:2011 aka ABA

- Acid-Base Accounting (ABA) är en testmetod där försurningspotentialen (AP) och neutralisationspotentialen (NP) mäts i ett prov. Detta bestäms genom titrering. Vid titreringen blandas en liten mängd provmaterial (2,00 g <0,125 mm TS) med avjoniserat vatten.

Vid ABA test tas inte tidsaspekten med i beaktande, då olika upplösning och reaktionshastigheter är avgörande för netto produktionen av syra vid olika tidpunkter. Testet ger inte heller indikationer på när, och med vilken amplitud syraproduktionen kommer starta, fortgå och avslutas.

Lina Lindgren, LTU (2020)

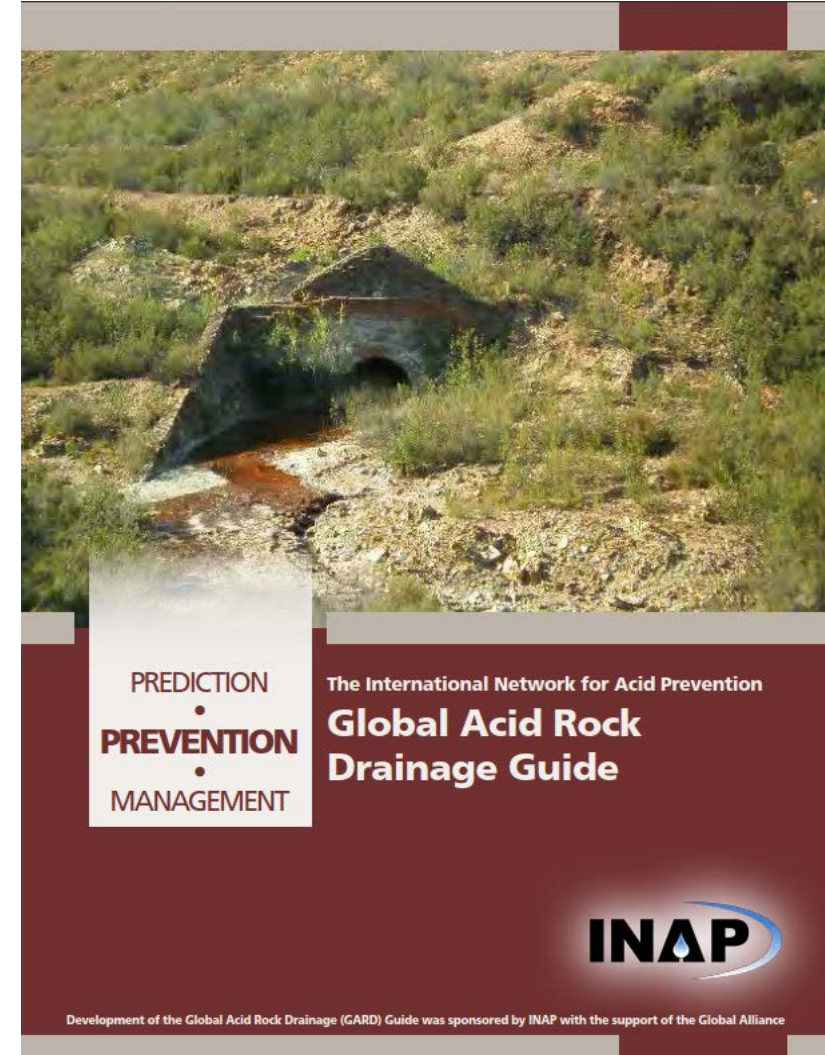
Sulfidförande berg

NAG test (Net Acid Generation)

- NAG test innebär en fullständig oxidation av provet med överskott av en stark reduktant. Innan titrering slammes en känd mängd finpartikulärt (2,5g <0,075 mm) material upp i 15 %-ig väteperoxid i ett öppet kärl.

NAG pH är oberoende av tiden, och kommer inte visa på någon tidsaspekt i syrabildningen. Den andra begränsningen är att syrabildningen kan överskattas på grund av bildning av organiska syror vid testutförandet.

Lina Lindgren, LTU (2020)

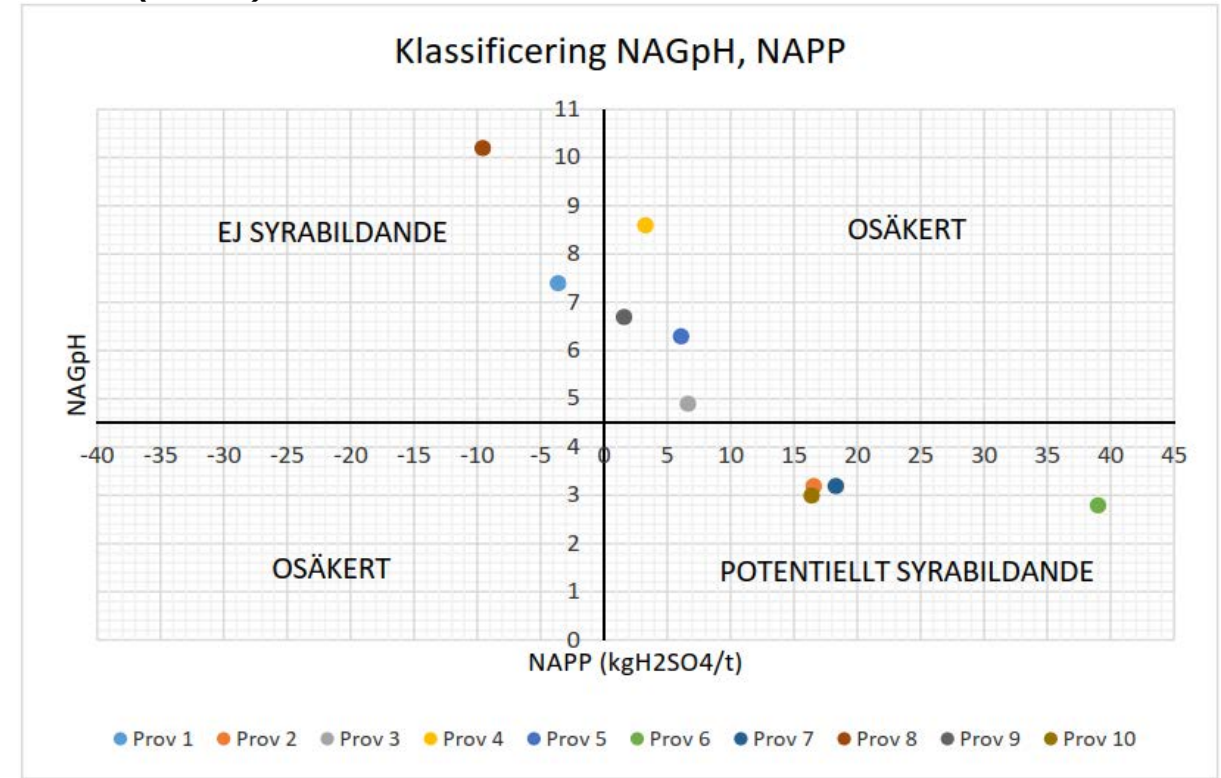
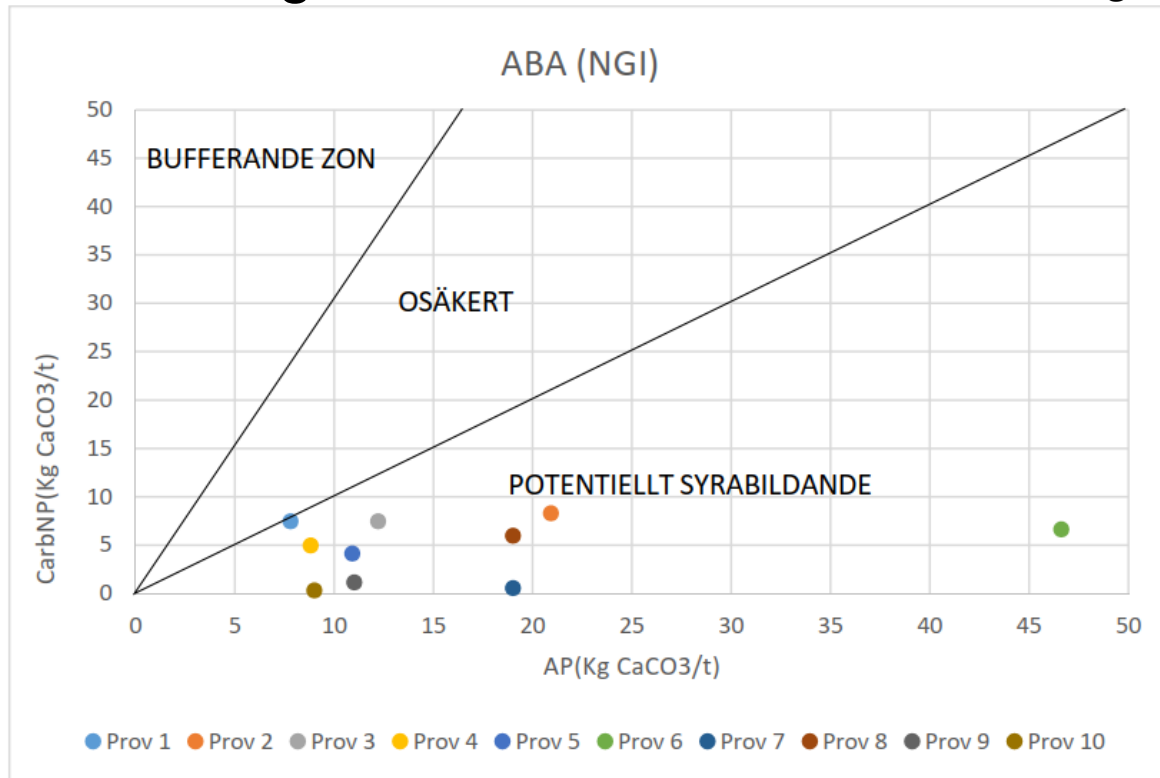


Halt	mg/kg TS (ppm)	Typbergart
Mycket låg halt	<100	t ex - Bohusgraniten
Låg halt	100-500	ofta förekommande i västsvenska gnejser
Något förhöjd halt	500-1000	vanligt i samlingsprov på gnejser tillhörande Stora Le Marstrand
Förhöjd halt	1000-5000	vanligt i prov på gnejser med mörka inslag tillhörande Stora Le Marstrand
Hög halt	>5000	t ex okulärt sulfidförande basiska bergartsinslag

Sulfidförande berg

Tolkning

Lina Lindgren, LTU (2020)



Neutralisations Potential Ratio – NPR (NP/AP), Net Neutralisation Potential – NNP (NP-AP), Net Acid Producing Potential – NNAP (AP-NP)

7025 Utveckling av effektiva och relevanta metoder för bedömning av bergmaterial innehållande metallförande sulfidmineral (Publikation 5958)

Saxat ur rapporten:

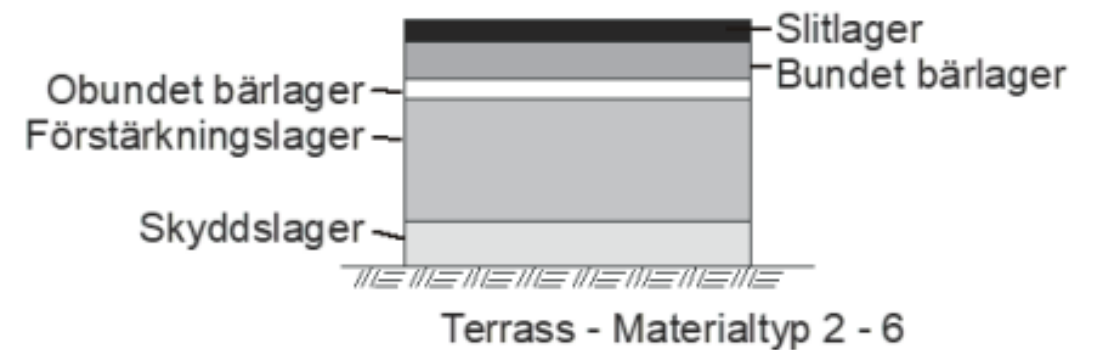
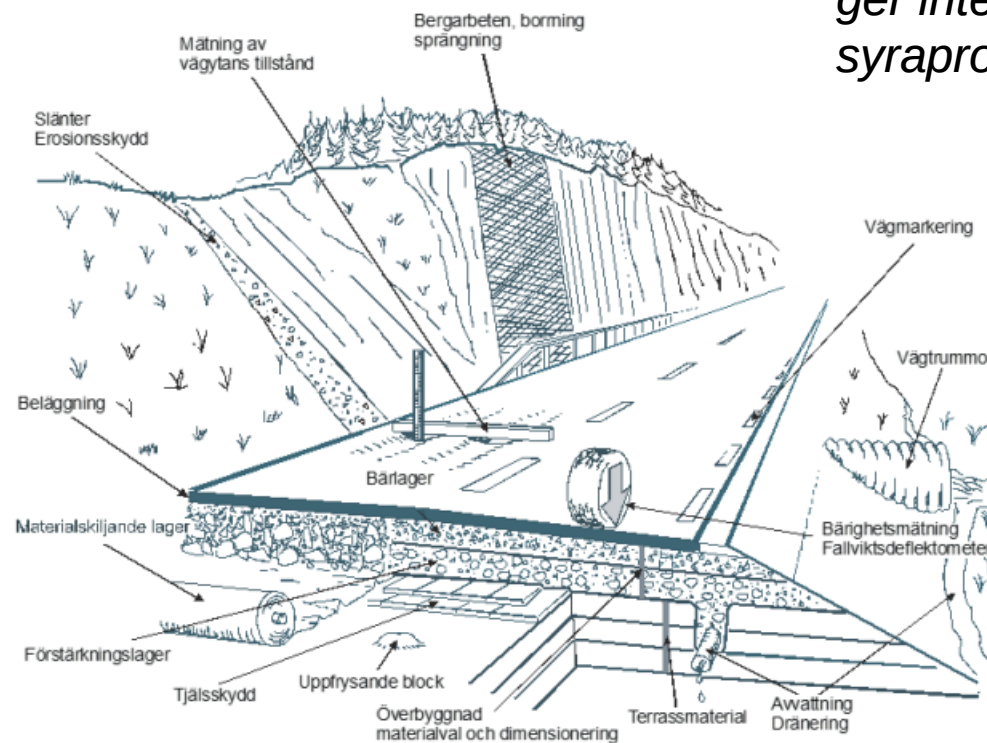
Föreslagen klassificering

I en samlad bedömning av försurningsrisk och eventuella behov av behandling är det dock inte tillräckligt att enbart utgå från krossmaterialets innehåll av syrabildande och eventuella syraneutraliserande mineral. Därutöver finns en rad kvarstående aspekter som också måste beaktas, exempelvis: Var i terrängen ska materialet användas? Hur stor volym? Hur ska materialet användas? Vilka storleksfraktioner ska användas? Hydrologiska förhållanden o.s.v. Sådana överväganden ligger utanför ramen för denna utredning att belysa

En 1m väg

Vid ABA test tas inte tidsaspekten med i beaktande, då olika upplösning och reaktionshastigheter är avgörande för netto produktionen av syra vid olika tidpunkter. Testet ger inte heller indikationer på när, och med vilken amplitud syraproduktionen kommer starta, fortgå och avslutas.

Lina Lindgren, LTU (2020)

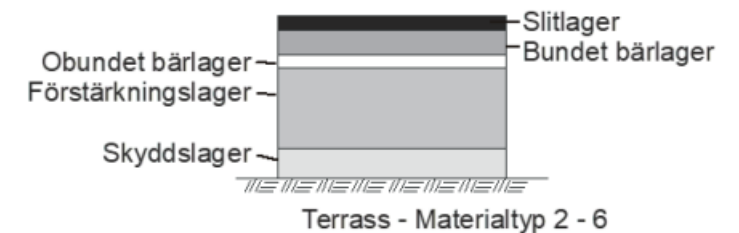


Figur 3-2 Principiell omfattning av TRVINFRA 00224.

1 m väg

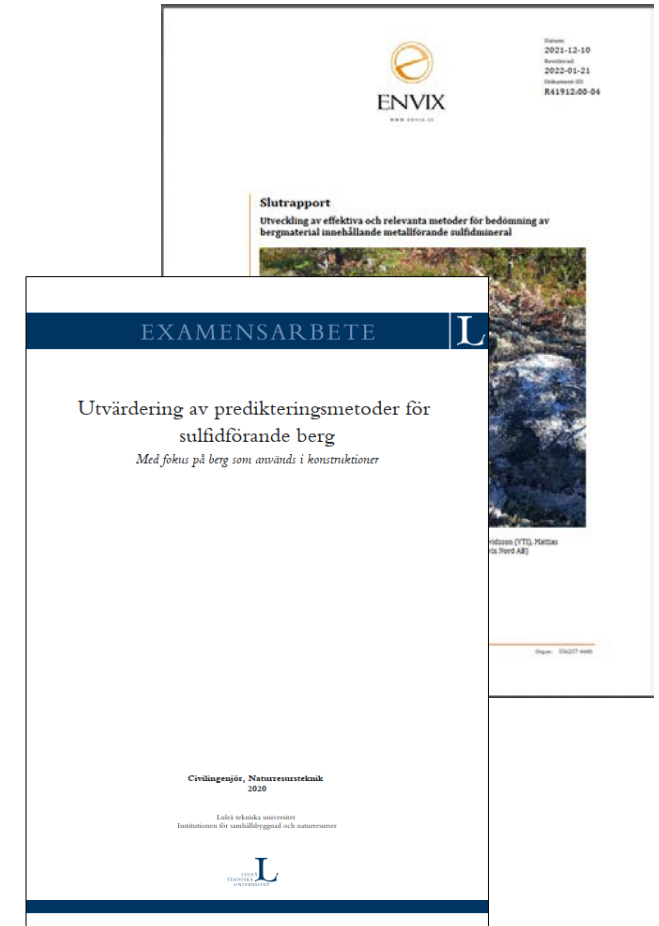
Väggkonstruktion	Indata Överyta (m)	Indata Tjocklek (m)	Indata Släntlutning	Bredd, överyta	Bredd, underkant	Volym m3(ta)	Vikt (g)
			1:3				
Färdig väg	13						
Beläggning	13	0,13		13	13,78	1,7407	
Obundet bärlager		0,08		13,78	14,26	1,1216	
Förstärkningslager		1		14,26	20,26	17,26	
Lätt bergbank		0		20,26	20,26	0	
Fyllning		0,2		20,26	21,46	4,172	
Tjocklek, tot		1,41					
Obundet , tot		1,28				22,55	59767040

Beräkning courtesy of Christer Hagert



1 m väg

Antagen S halt (ppm)	500
Bildad mängd H ₂ SO ₄ per löpmeter väg (g)	
Svavelhalt (%)	0,0005
Mängd bergmaterial (g)	59767040
Mängd S	29884
Substansmängd (32,06 g mol ⁻¹ , mol)	932,11
Bildad mängd H ₂ SO ₄ (molmassa 98,079 g mol ⁻¹ , g)	91420,64
CaCO ₃ (100,9 g mol ⁻¹ , g)	94050,13
Antagen vikt% 0/8 (jmf TDOK 2013:0530)	20
Antagen porositet (n) förstärkningslager volym %	20
Antagen lakbar mängd H ₂ SO ₄ (bildad mängd H ₂ SO ₄ tot x mängd 0/8 x porositet, g)	3656,83
n= 1- skrymdensitet/korndensitet	



Bortom ABA/NAG med vägen som buffer - modellering

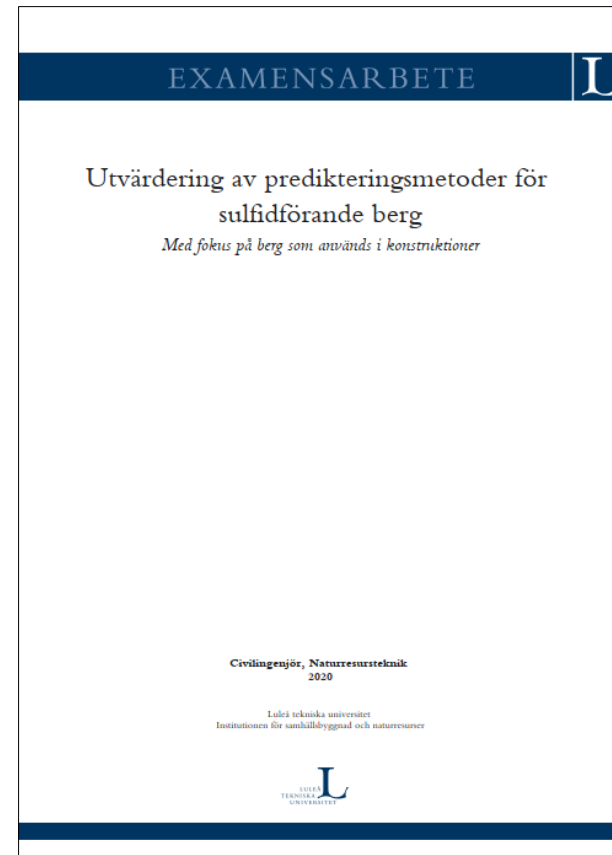
- Geometri
- Material
- Diffusion i vägen
- Diffusion genom vägyta
- Vatten i vägen
- Hur funkar sidoområden
- Temperatur
- NP
- Kornstorlek
- Mineralogi
- Fri specifik yta
- "Aktiv specifik yta"
- Reaktivitet
- ...

Någon fråga vi jobbar med och funderar kring – var uppstår risk

Losshållning	Plats för krossning i linjen	Mellanlagring upplag (kort omsättningstid)	Upplag	Slutanvändning Inom projektet (Fall A)	Utom projektet (Fall B)
Verifiera om sulfidförande berg förekommer (matris). Bestäm medelhalt för uttag.	Hantering av 0/8. Tätad yta för kross/offerlager.	Mindre upplag volym < 10 000 m ³ . Platsspecifika förutsättningar: styrt flöde med buffrande åtgärd. Tätade upplagsytor. Åtgärd dimensioneras efter omsättningstid.	Volym > 10 000 m ³ styrda flöden till åtgärds punkt med buffrande åtgärd. Tätade upplagsytor.	Styrs av lakbar halt samt lokala förutsättningar.	Bedömd medelhalt. Stöd till lagring och slutanvändning

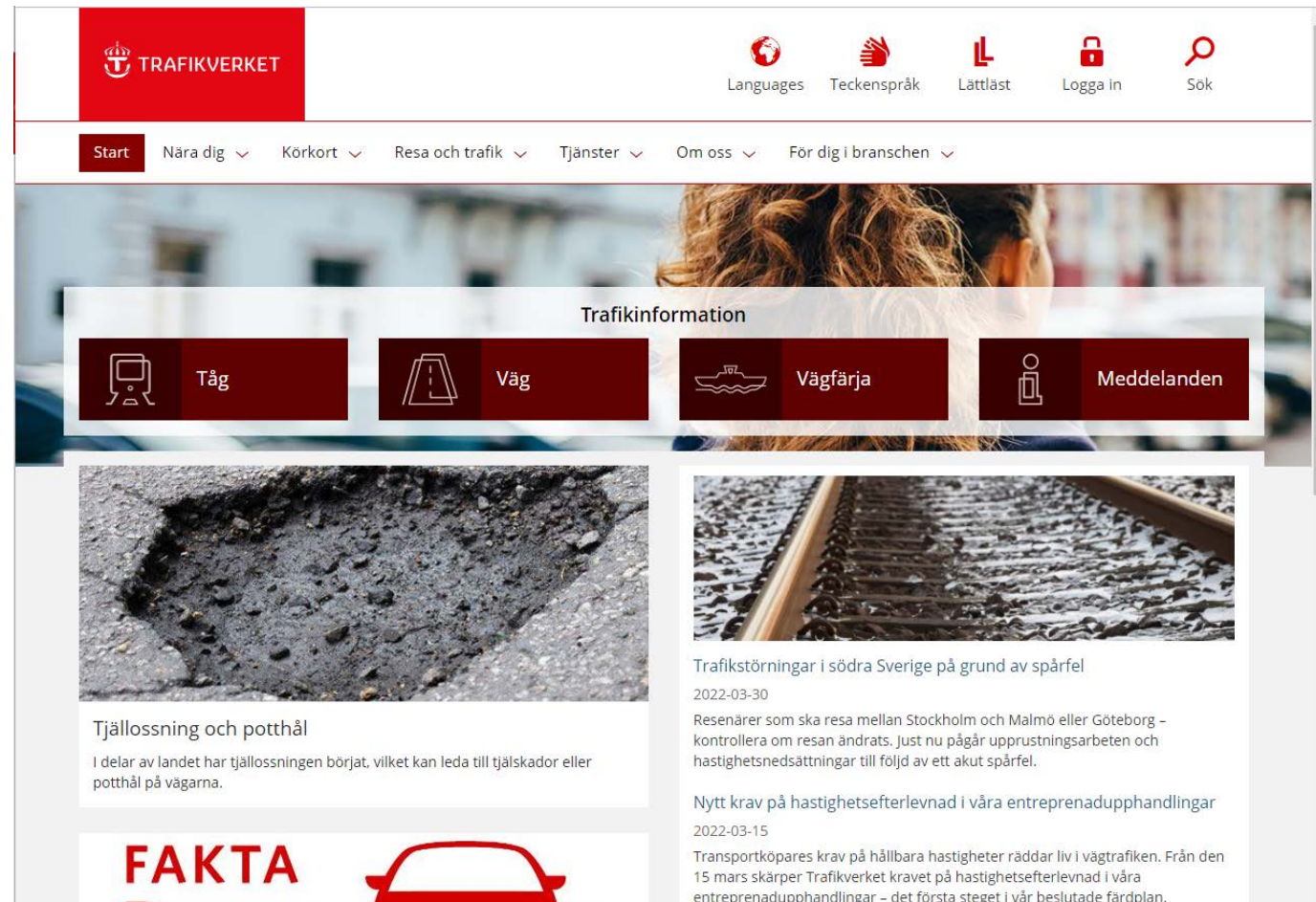
Forskning & Utveckling – FUD

- Avslutade FOI projekt
 - 7025 Utveckling av effektiva och relevanta metoder för bedömning av bergmaterial innehållande metallförande sulfidmineral.
- Pågående
 - 7215 Prediktering av sulfidförande bergmaterial utifrån ett geokemiskt perspektiv.
 - 7405 Identifiering av bergmassans nyckelparametrar för geokemisk prediktering innan uttag av bergkross.
 - 7699 Hållbar användning av sulfidförande berg i vägkonstruktion
- Examensarbete
 - Utvärdering av predikteringsmetoder för sulfidförande berg - Med fokus på berg som används i konstruktioner. Lina Lindgren, LTU (2020).
 - Evaluation of long-term effects of excavated sulfide-bearing rock. Ida Sundblom, LTU (2022)



Vad händer hos oss

- Kommunikation
- Möten
- Revision av publikation 2015:057
- Följer utveckling/resultat ifrån FUD projekten



Tack & på återhörande!