

HISTORICKÉ A AKTUÁLNE PROBLÉMY ENVIRONMENTÁLNYCH ZÁŤAŽÍ

Ľubomír JURKOVIČ

Katedra geochémie (lubomir.jurkovic@uniba.sk)

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta



ČO JE ENVIRONMENTÁLNA ZÁŤAŽ?

- **environmentálna záťaž** je znečistenie územia spôsobené činnosťou človeka, ktoré predstavuje závažné riziko pre ľudské zdravie alebo horninové prostredie, podzemnú vodu a pôdu s výnimkou environmentálnej škody
§ 3 pism. s) zákona č. 569/2007 Z. z. „geologický zákon“
- **pravdepodobná environmentálna záťaž** je stav územia, kde sa dôvodne predpokladá prítomnosť environmentálnej záťaže

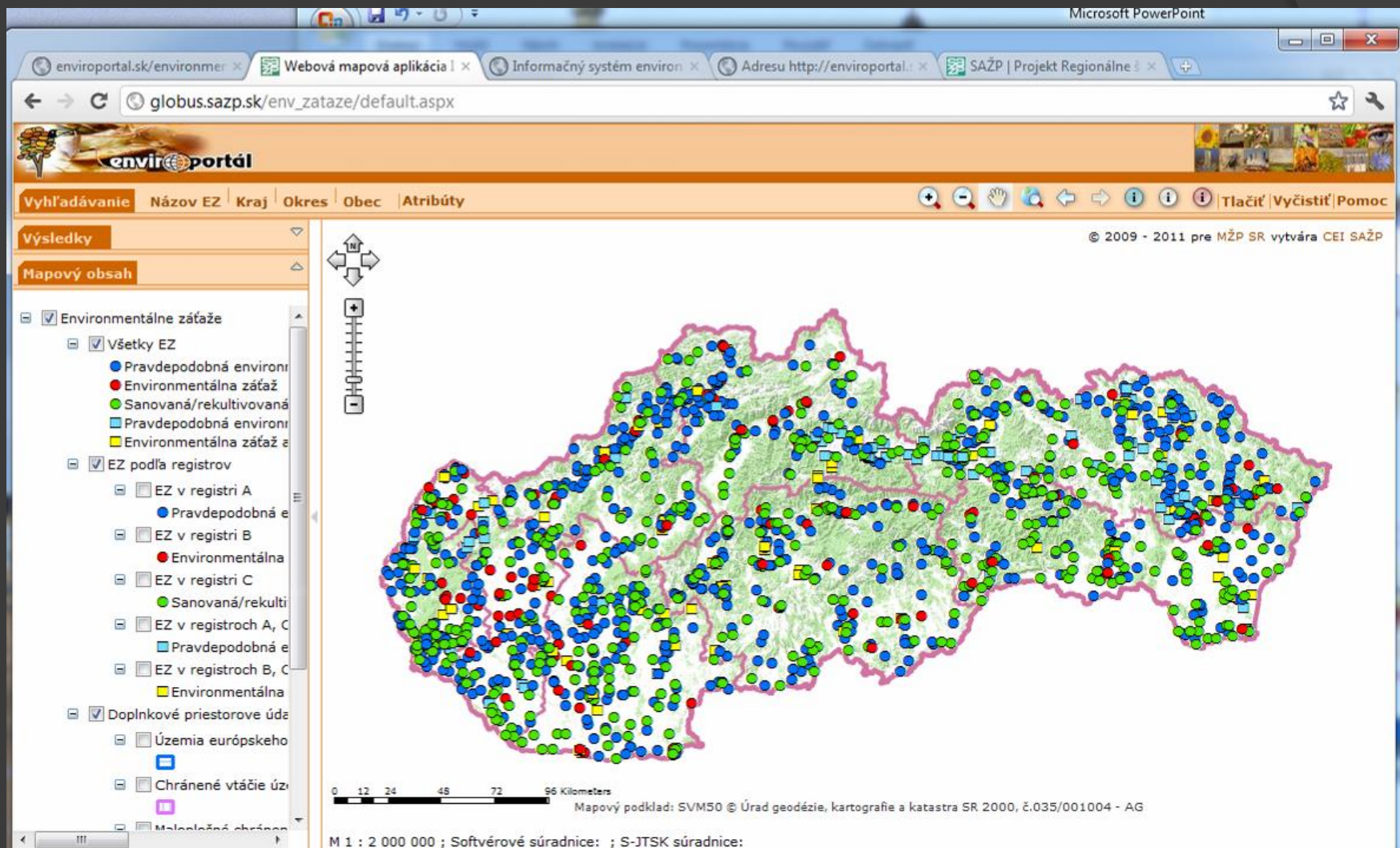
**Smernica MŽP SR č. 1/2015-7 (z 28. januára 2015)
na vypracovanie analýzy rizika znečisteného územia**

Systematická identifikácia EZ v SR

- Long list podozrivých lokalít - 12 000
- Terénna obhliadka - 6 000 lokalít
- Registrácia – 1819 lokalít
 - Environmentálne záťaže – 257
 - Sanované lokality – 684
 - Pravdepodobné EZ - 878



ISEZ – INFORMAČNÝ SYSTÉM ENVIRONMENTÁLNYCH ZÁŤAŽÍ (SAŽP)



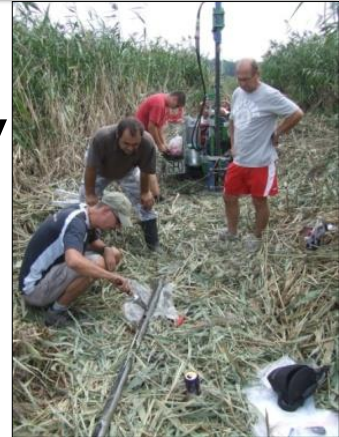
Antropogénne sedimenty odkalísk a deponované ťažobné odpady

- **Ťažobne odpady** – pevné materiály po úprave a spracovaní nerastných surovín deponované na odkaliskách a haldách



Antropogénne sedimenty odkalísk

- **Elektrárenské popoly** – pevné materiály vznikajúce po spaľovaní uhlia ukladané na odkaliskách vo forme hydrozmesí



Antropogénne sedimenty

- **Pochované antropogénne sedimenty**
charakteru environmentálnych záťaží



Potreba detailného štúdia deponovaných sedimentov a ťažobných odpadov?

■ Mineralógia

- ⇒ Identifikácia sekundárnych minerálnych fáz ako produktov oxidácie sulfidov v prostredí odkalísk a ťažobných odpadov
- ⇒ Definovanie spôsobu väzby vybraných stopových prvkov (As, Sb, Pb, Zn, Hg) na sekundárne minerálne fázy – stabilita minerálnych fáz vo vzťahu ku uvoľňovaniu kontaminantov do životného prostredia



■ Geochemia

- ⇒ Posúdenie mobility potenciálne toxických prvkov v prostredí antropogénnych sedimentov
- ⇒ Hodnotenie potenciálu vylúhovania prvkov do prostredia a ich dosah na kontamináciu zložiek životného prostredia
- ⇒ **ODKALISKÁ + ŤAŽOBNÉ ODPADY = významné bodové zdroje znečistenia životného prostredia**

Potreba detailného štúdia deponovaných sedimentov a ťažobných odpadov?

- Identifikácia minerálnych fáz v antropogénnych sedimentoch a ťažobných odpadoch umožňuje zhodnotenie mobility potenciálnych polutantov v prostredí odkalísk umožňuje navrhnuť **efektívne sanačné metódy a opatrenia**

- **sedimenty odkalísk**

⇒ perspektívna surovinová komodita

- zdroj kovov
- stavebné materiály



Modelové lokality a odkaliská

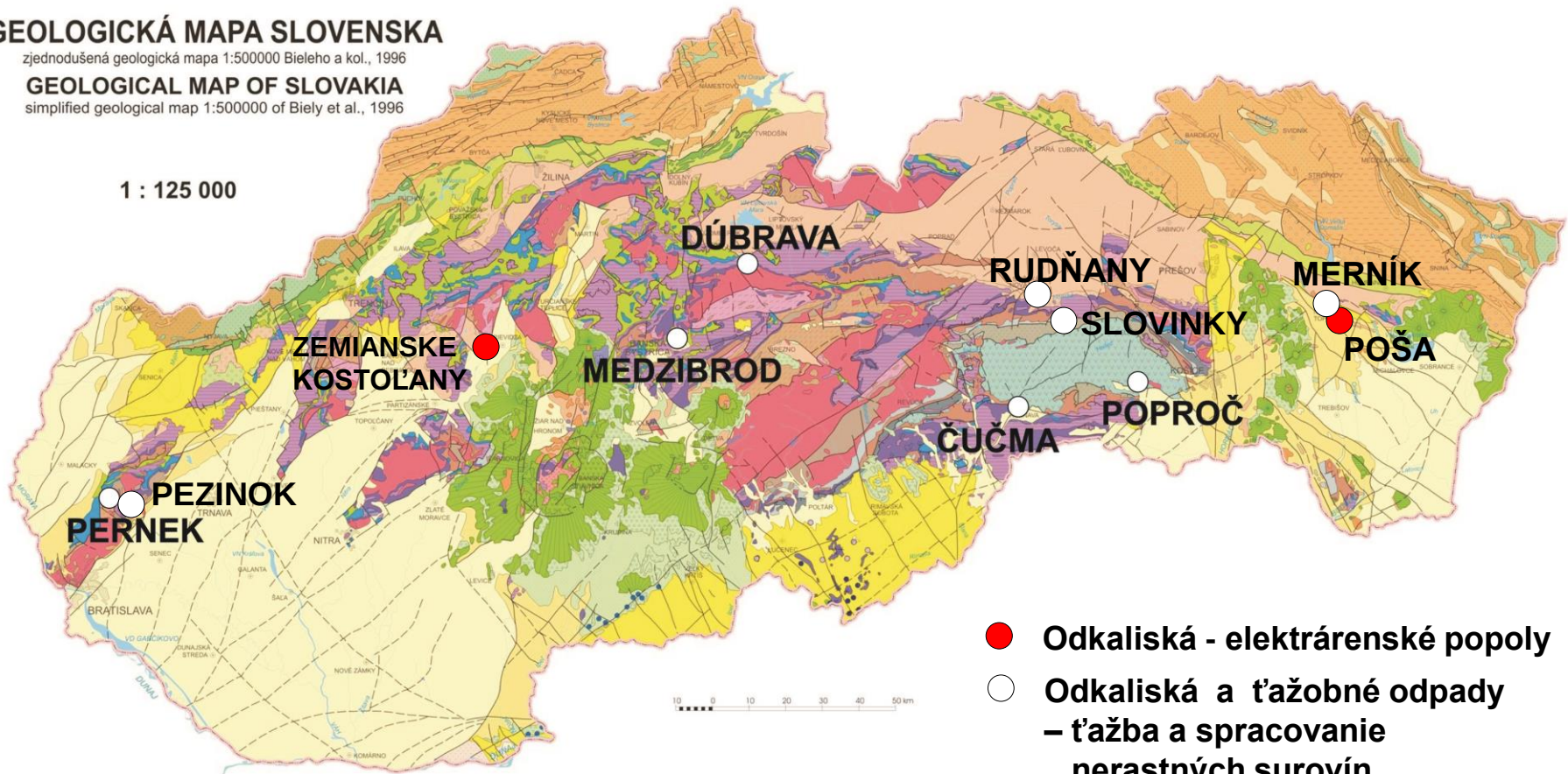
GEOLOGICKÁ MAPA SLOVENSKA

zjednodušená geologická mapa 1:500000 Bieleho a kol., 1996

GEOLOGICAL MAP OF SLOVAKIA

simplified geological map 1:500000 of Biely et al., 1996

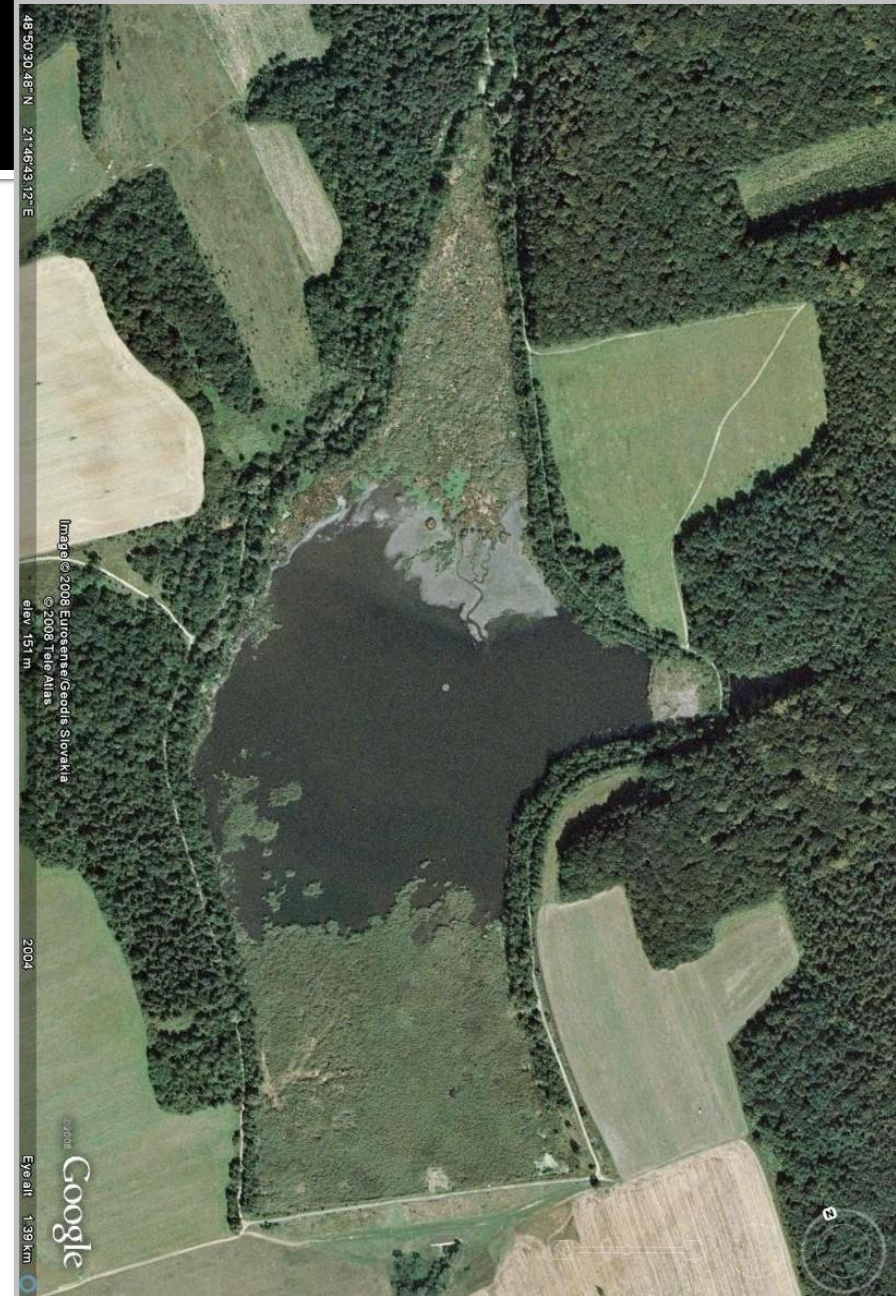
1 : 125 000



- Odkaliská - elektrárenské popoly
- Odkaliská a ťažobné odpady – ťažba a spracovanie nerastných surovín

Odkalisko POŠA

- ⇒ kataster obce Poša (Vranov n/Topľou)
- ⇒ *popolové odkalisko - vodné dielo II. kategórie podliehajúce povinnému legislatívnemu dozoru*
- ⇒ údolné odkalisko s jednorazovým využitím dopravnej vody, ktorá je po sedimentácii plavených popolov, voľne vypúšťaná do recipientu toku Kyjov a Ondava.
- ⇒ slúži na trvalé uloženie produktov z energetickej výroby (popoly a strusky zo spaľovania rôznych druhov hnedého uhlia) a kalových vôd z prevádzky čistiarne odpadových vôd areáli podniku Chemko Strážske.
- ⇒ vlastné teleso odkaliska vybudované v roku 1977, pôvodná výška hrádze bola 16 m a skladovací priestor mal rozlohu 32,8 ha.



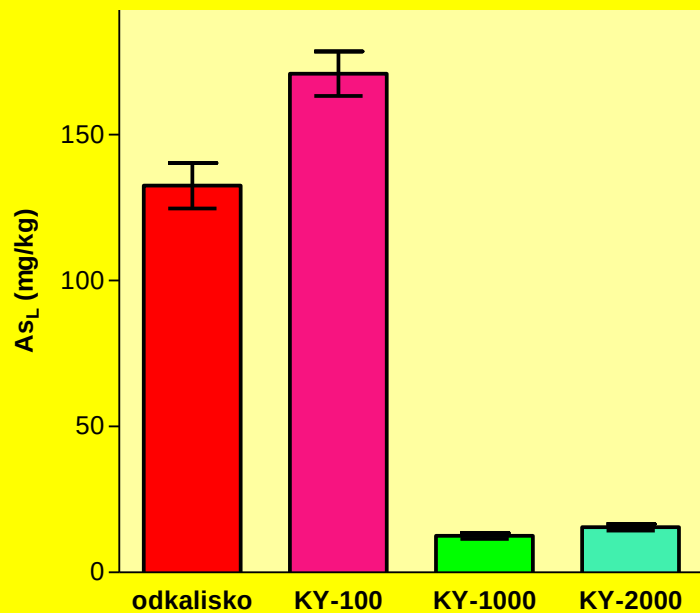
Odkalisko POŠA - Ekologická záťaž

- vylúhovanie kontaminantov do povrchových vôd toku Kyjov a časti rieky Ondava
- hlavný kontaminant – arzén
- znečistenie povrchových vôd toku Kyjov a Ondava arzénom (Kyjov max. As $11,39 \text{ mg.l}^{-1}$ v roku 2000)
 - ďalšie polutanty v povrchových vodách NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- (Zn, Pb, Cu, Cr)
 - znečistenie riečnych sedimentov tokov Kyjov a Ondava arzénom (max. 3256 mg.kg^{-1} v riečnych sedimentoch Kyjova)
 - prítomnosť PCB vo vytekajúcich vodách z odkaliska



• experimenty v dynamickom režime

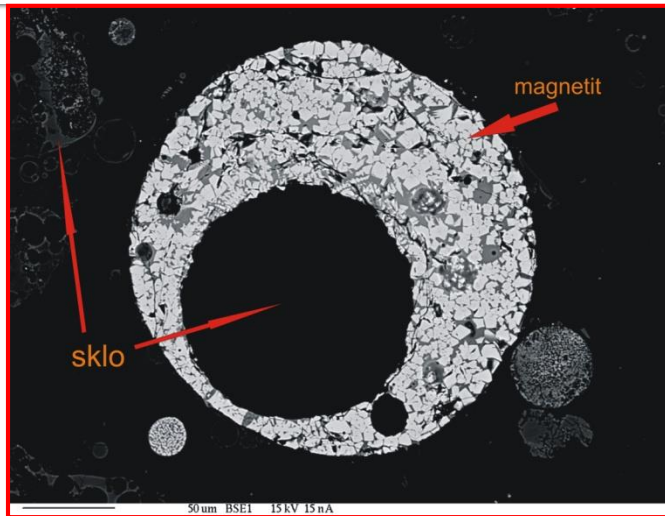
Celkové uvoľnené množstvo As (na 1 kg vzorky)



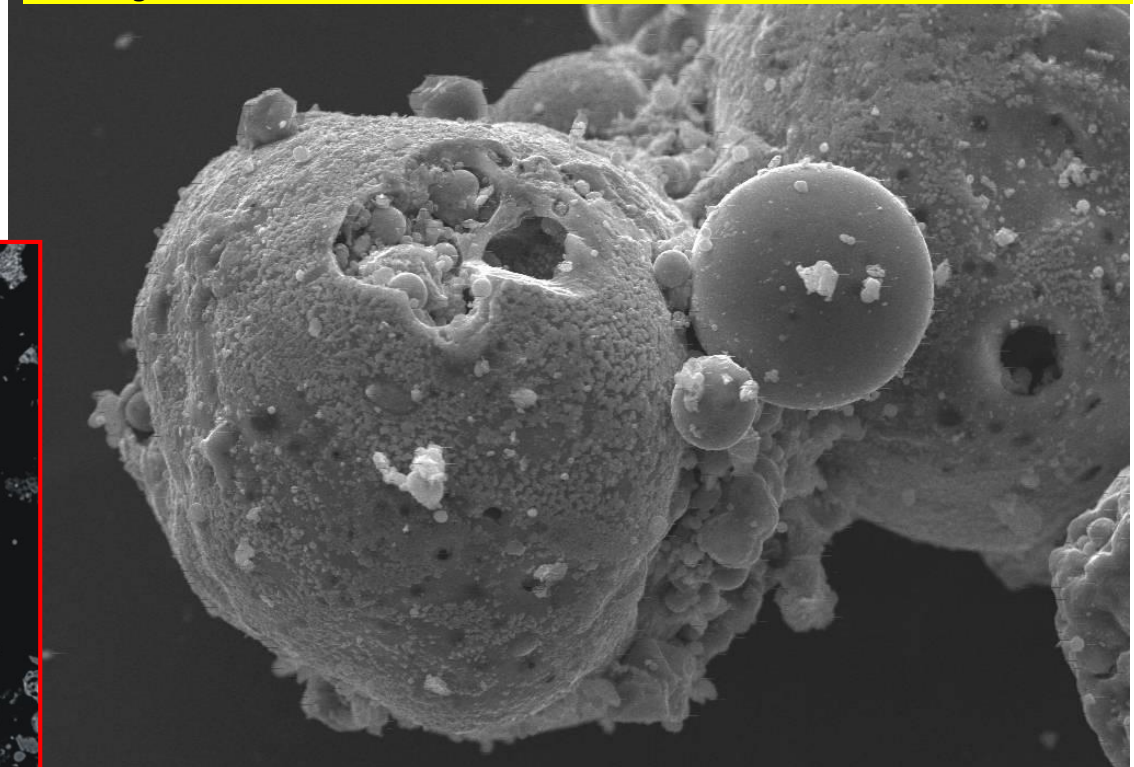
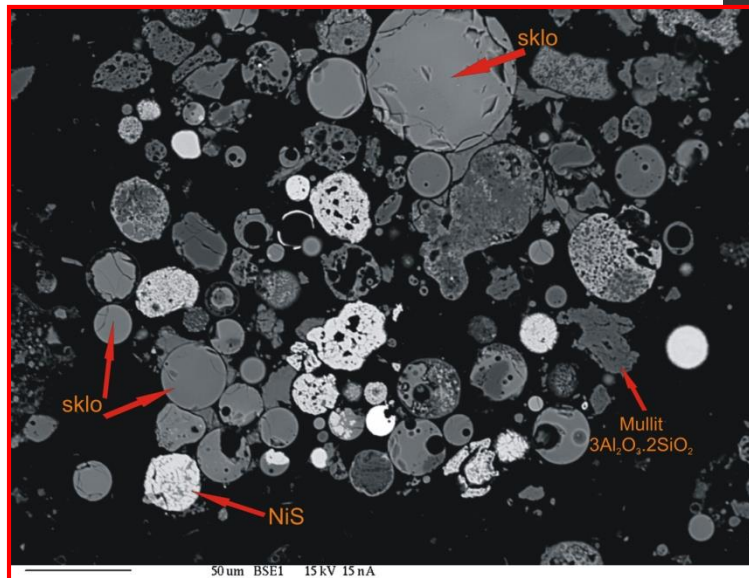
z materiálu odkaliska sa uvoľnilo približne 8% z celkového množstva As
celkové uvoľnené množstvo arzénu z materiálu odkaliska bolo 132 mg/kg
toto množstvo predstavuje vysoké koncentrácie As vo výluhoch ($> 8000 \mu\text{g/l}$)



Elektrárenské popoly

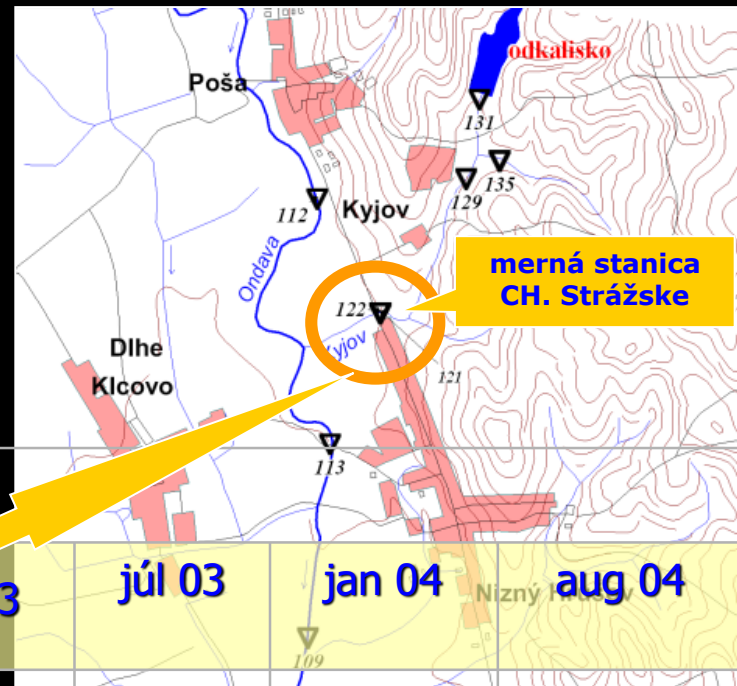


vysoký obsah RTG amorfnej fázy, vysoké zastúpenie má kalcit, menej Q a živce, kryštalickú fázu zastupuje mullit (produkt vysokoteplotnej úpravy ílov), ďalšie minerály - sádrovec, barit, FeO, FeS₂, Sb₂S₃, CuS(?), ZnS(?), ThO₂(?)



80 μm

Namerané obsahy As ($\mu\text{g.l}^{-1}$) v toku Kyjov a Ondava v rokoch 1999 - 2007



číslo vzorky	Dátum odberu							
	máj 99	júl 99	jún 00	júl 02	jan 03	júl 03	jan 04	aug 04
109	12,59							
112		0,2						
113		77,6						
122	10667		11385	2870	7000	3460	1932	2208
129		6700						
131		7150						

	feb 2005	nov 2005	feb 2007	nov 2007
122	467	349	193	
131		426		295

tok Kyjov pod odkaliskom

Regionálna pozad'ová hodnota - $2,6 \mu\text{g.l}^{-1}$

Obsahy As vo vzorkách bioty

dominantný výskyt rastlinných druhov - *Typha latifolia* (pálka širokolistá) a *Phragmites australis*

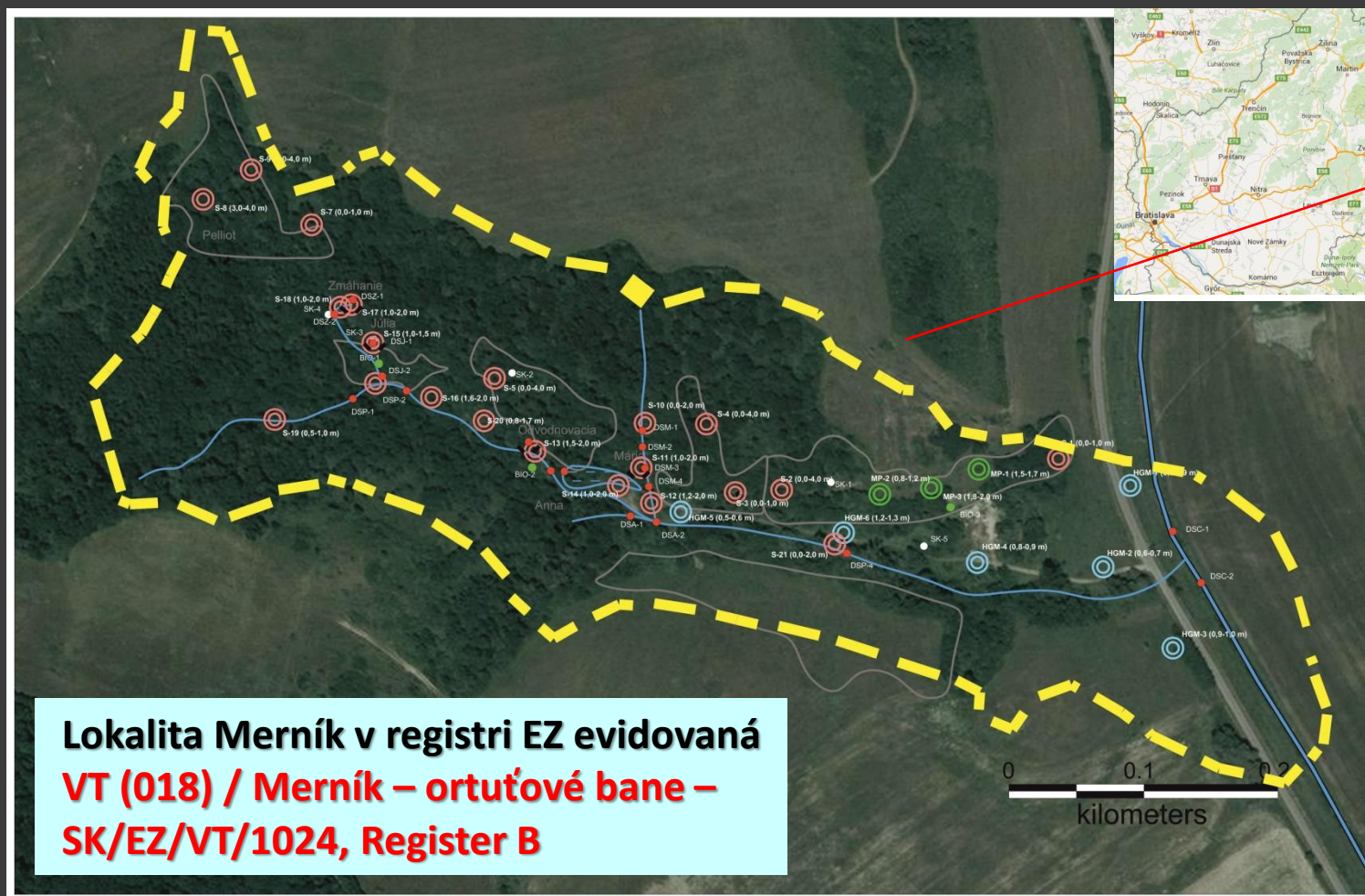


- ➔ stanovené vysoké obsahy As, Zn, Cr a Pb v nadzemných a koreňových orgánoch pálky širokolistej

Vzorka	Pálka (listy)	Pálka (koreň) pod odkaliskom	Rožkatec	Rožkatec odkalisko
As [mg/kg]	635	976	1,14	254

Obsah As v listoch druhu *Typha latifolia* sa pohyboval v intervale 0,88-635 mg.kg⁻¹, ktorý je takmer 1000-krát vyšší v porovnaní s referenčnými vzorkami odobratých z prostredia bez kontaminácie arzénom a v koreni od 34,03 - 976 mg.kg⁻¹, čo je 10- až 300-krát viac ako v rovnakých referenčných vzorkách.





Opustené Hg ložisko Merník je situované v Prešovskom kraji (okr. Vranov n/Topľou), od obce Merník vzdialené asi 1,3 km JZ, je situované na konci údolia „Potkania debra“.

Ložisko je známe od konca 17. storočia, najintenzívnejšia exploatácia ložiska prebiehala od r. 1923 s maximálnou ťažbou v rokoch 1935 – 36 (32 t kovu). Z dôvodu vyčerpania zásob došlo v roku 1937 k definitívnemu zastaveniu prevádzky a v roku 1940 k zatopeniu bane.

t'ážná veža Pelliot



štôlna Maria okolo r. 1930



súčasnosc'



voľne deponované ťažobné odpady na odvaloch



štôlna Mária a odval pri štôlni
(ø výška odvalu 35 m, plocha 32000 m²)

Pelliott šachta a odval pri šachte
(ø výška odvalu 10 m, plocha 8000 m²)

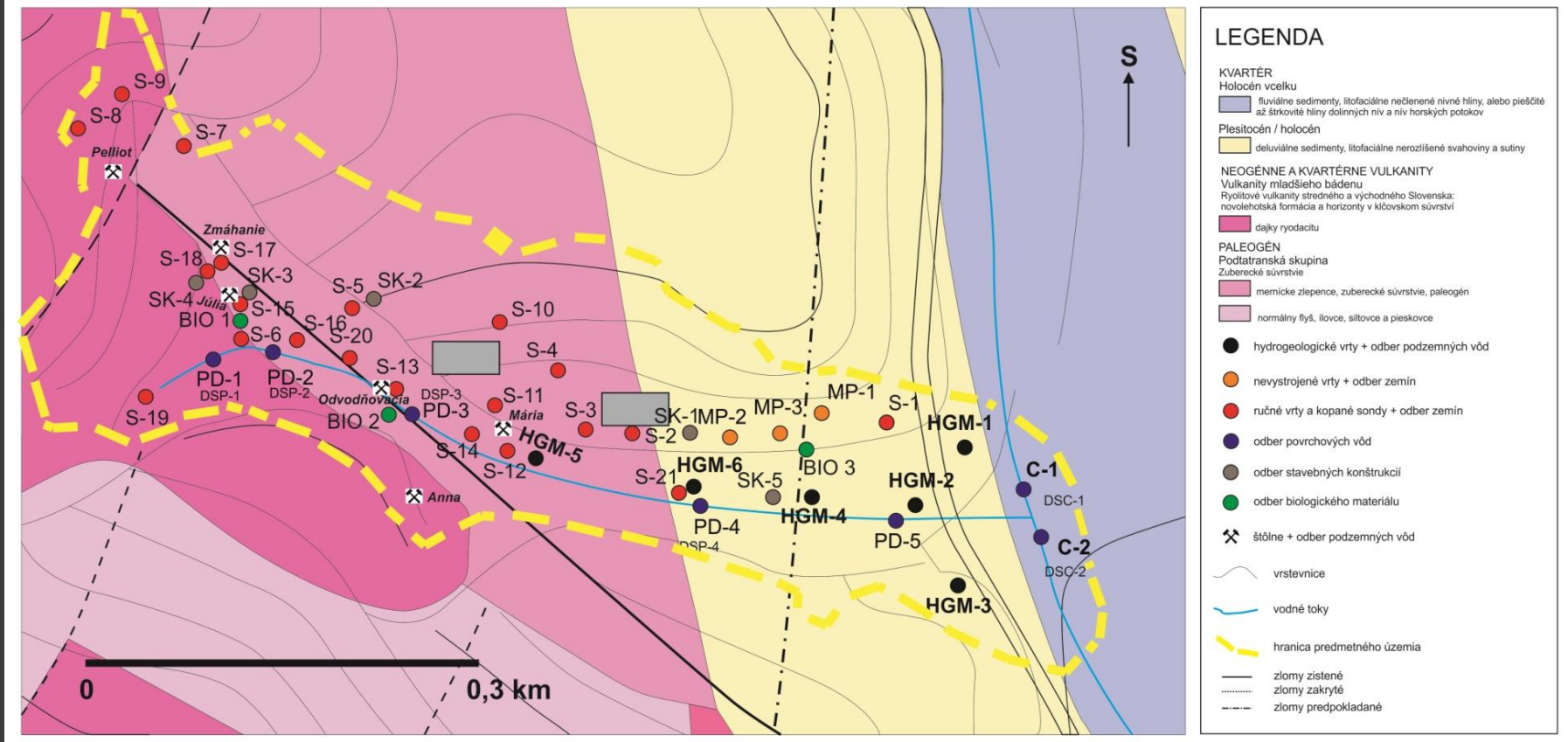
štôlna Zmáhanie

Júlia štôlna (cca 2500 m chodieb) a odval
pri štôlni (ø výška odvalu 5 m, plocha 2000 m²)

Odvodňovacia štôlna a odval

štôlna Anna a odval pri štôlni
(ø výška odvalu 35 m, plocha 30 000 m²)
odval Merník 3 (ø výška 1 m, plocha 1000 m²)





Mernické rudné pole leží na JJZ okraji vnútrokarpatského paleogénu, na močaransko-topľanskom zlomovom systéme a je súčasťou rudného rajónu Slanských vrchov.

Ortuťová mineralizácia je vyvinutá v ryodacitoch postihnutých argilitizáciou a má žilníkovno-impregnačný charakter. Telesá ryodacitov sú prítomné v ílovcovom a sporadicky v zlepencovom prostredí. Rudné telesá sú viazané na ryodacitové telesá (hrúbka 15 -25 m, hrúbka bilančného zrudnenia 0,9-7,3 m).

Hlavným nositeľom zrudnenia je rumelka. Tvorí jemné až submikroskopické zrnká v intergranulároch ryodacitov alebo v tmeli zlepencov a pieskovcov (+ markazit, ílové a organické minerály). Rumelka v žilkách má hrubší kryštalický vývoj (+ dolomit, kalcit, chalcedón, pyrit, markazit, organické minerály).

GEOLOGICKÉ OSOBITOSTI LOKALITY MERNÍK

TVORBA OKROV

Zvýšené obsahy $\text{Fe}_{\text{celk.}}$ a Fe vo forme pevných/koloidných fáz (Fe-oxyhydroxidy) vo vodách zo štôlní, spôsobujú precipitáciu Fe-okrov v priľahlých terénnych depresiách. Fe-okre môžu predstavovať transportné médium pre kontaminanty (Hg, Sb). Obsahy Fe vo vodách prekračujú MH cca 10x (Fe_{max} vo výtoku štôlnie „Júlia“ 20,2 mg/l).



„SERPENTINICKÉ PÔDY“

Vysoké obsahy Ni v zeminách EZ Merník majú geogénny pôvod a sú dané zvetrávaním substrátov zubereckého súvrstvia s podielom ultrabázických hornín (mernické zlepenca s Ni-Co mineralizáciou obliakov ultrabázik mernického zlepenca). Ich zvetrávaním vznikajú tzv „serpentinické pôdy“, ktoré sú typické vysokými obsahmi Ni a Cr v širokej oblasti flyšového pásma s výskytom zubereckého súvrstvia a šambrónskej zóny.



GEOLOGICKÉ OSOBITOSTI LOKALITY MERNÍK

PRÍRODNÉ ASFALTY

Prírodný asfalt predstavuje degradačný produkt pôvodnej surovej ropy, ktorá v rámci sekundárnej migrácie, resp. pri porušení tesnosti akumulácie podľahla termálnej a mikrobiálnej deštrukcii, oxidácii, a strate ľahkých HC, ako aj vymytiu časti alifatických a aromatických uhľovodíkov.

Asfalt na lokalite Merník vystupuje vo forme tmavohnedého až čierneho viskózneho tmelu alebo ako povlaky na puklinách ryodacitov.

Z organickogeochemických charakteristík, časových súvislostí a vzájomnej geologickej pozície je najpravdepodobnejším zdrojom ropa z paleogénnych zdrojových hornín aktívne generovaná v najhlbších častiach sedimentačného priestoru CKP pred jeho výzdvihom a eróziou.



DISTRIBÚCIA KONTAMINANTOV V ZLOŽKÁCH ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

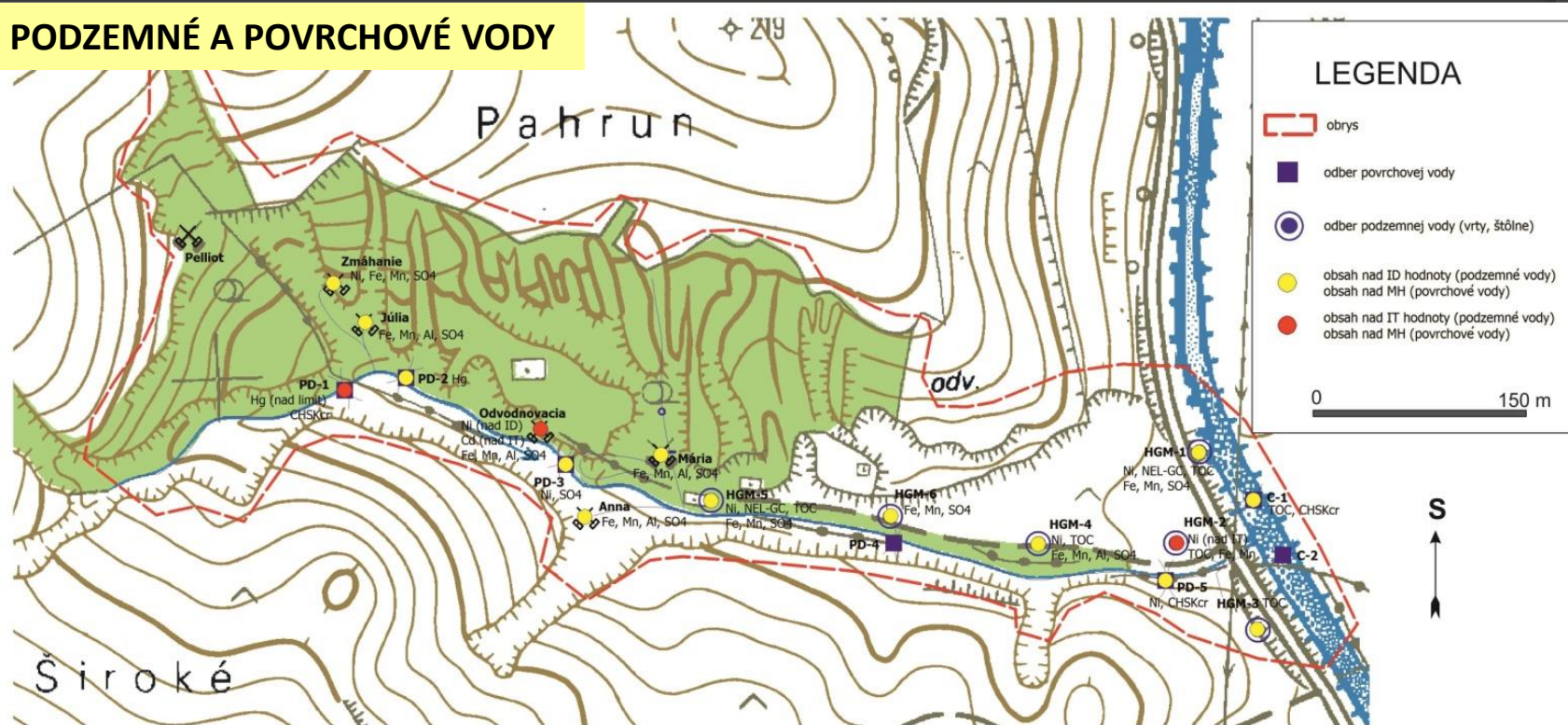
BANSKÉ A PODZEMNÉ VODY

výtoky štôlní - prekročenia ID hodnôt pre Ni ($Ni_{max} = 141 \mu\text{g/l}$ štôlna „Zmáhanie“) - obsahy Ni sú geologicky podmienené. Obsahy Hg pod úroveň ID $Hg_{ID} = 2 \mu\text{g/l}$ (Hg_{max} HGM-1 = $0,66 \mu\text{g/l}$)

Podzemné vody (HG vrty) - prekročenie ID úrovne pre Ni (101 až $169,7 \mu\text{g/l}$), Ni_{max} vo vrte HGM-2 - $344 \mu\text{g/l}$. Rizikový kontaminant Hg bol zaznamenaný len zriedkavo (obsahy pod hodnotou $ID_{Hg} = 2 \mu\text{g/l}$), vysoké obsahy Fe (max 18 mg/l) a sírany ($832,3 \text{ mg/l}$).

Typický charakter banských vôd - parametre sírany, Mn a $Fe_{celk.}$. V prípade vôd zo štôlní prekročenie MH pre $Fe_{celk.}$, Mn, sírany (250 mg/l - s priem. obsahom 604 mg/l)

PODZEMNÉ A POVRCHOVÉ VODY



DISTRIBÚCIA KONTAMINANTOV V ZLOŽKÁCH ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

POVRCHOVÉ VODY

- podľa prílohy č. 1 NV SR č. 269/2010 Z.z. (požiadavky na kvalitu povrchovej vody)

Nadlimitné hodnoty pre povrchové vody pri parametroch Hg , Ni, sírany, TOC, CHSK_{Cr}

Ni_{max} = 107 µg/l (MH_{Ni} = 20 µg.l⁻¹)

parameter Hg - hraničná hodnota v povrchových vodách = 0,57 µg/l

limitná hodnota NV č. 269/2010 Z.z (NPK_{Hg} = 0,07 µg/l) + požadovaná koncentrácia pre prislúchajúci vodný útvar povrchovej vody (SK B0094 – Čičava = hodnota 0,5 µg/l)

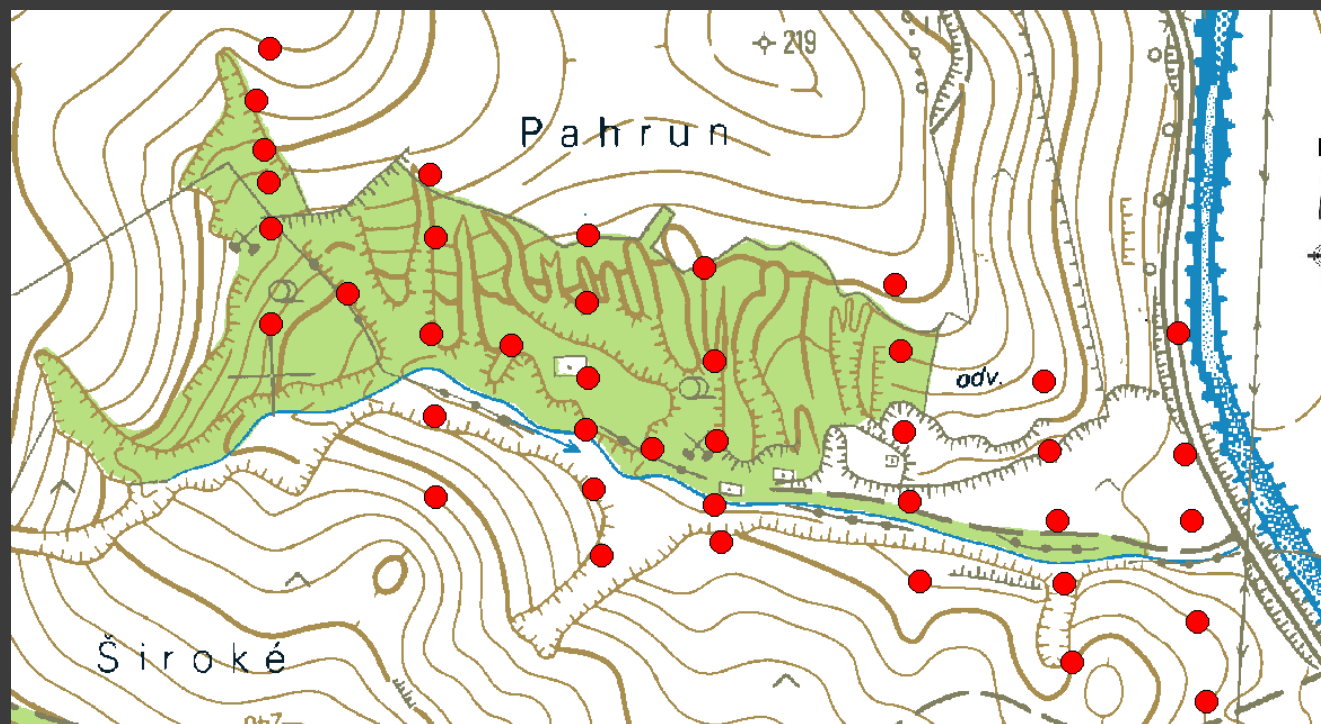
Stanovené obsahy **Hg** v rozsahu **0,47 – 0,70 µg/l** (max. vo vzorke PD-1)

⇒ **znečistenie povrchových vôd** : pri drenáži materiálu odvalov zrážkovými vodami dochádza ku čiastočnému uvoľňovaniu kontaminantov (Hg, Ni) do povrchových vôd, druhým zdrojom kontaminantov v povrchových vodách sú výtoky banských vôd zo štôlní.

⇒ povrchové vody doliny sú znečistené ortuťou v celom profile územia

⇒ zvýšenú hodnotu Hg sme zaznamenali aj v potoku Čičava v odbernom mieste C-1 (0,47 µg/l), ktoré je nad sútokom s potokom Potkania debra. Uvedené zistenie poukazuje na zdroj Hg v zeminách v oblasti severne od predmetnej oblasti.

Lokalizácia odberových miest – pôdne profile (VEGA 2017)



Legenda



Odberové miesta

0 100 200 300m

39 ODBEROVÝCH MIEST – 7 PROFILOV
2 HĽBKOVÉ HORIZONTY (0-20 CM, 40-60 CM)



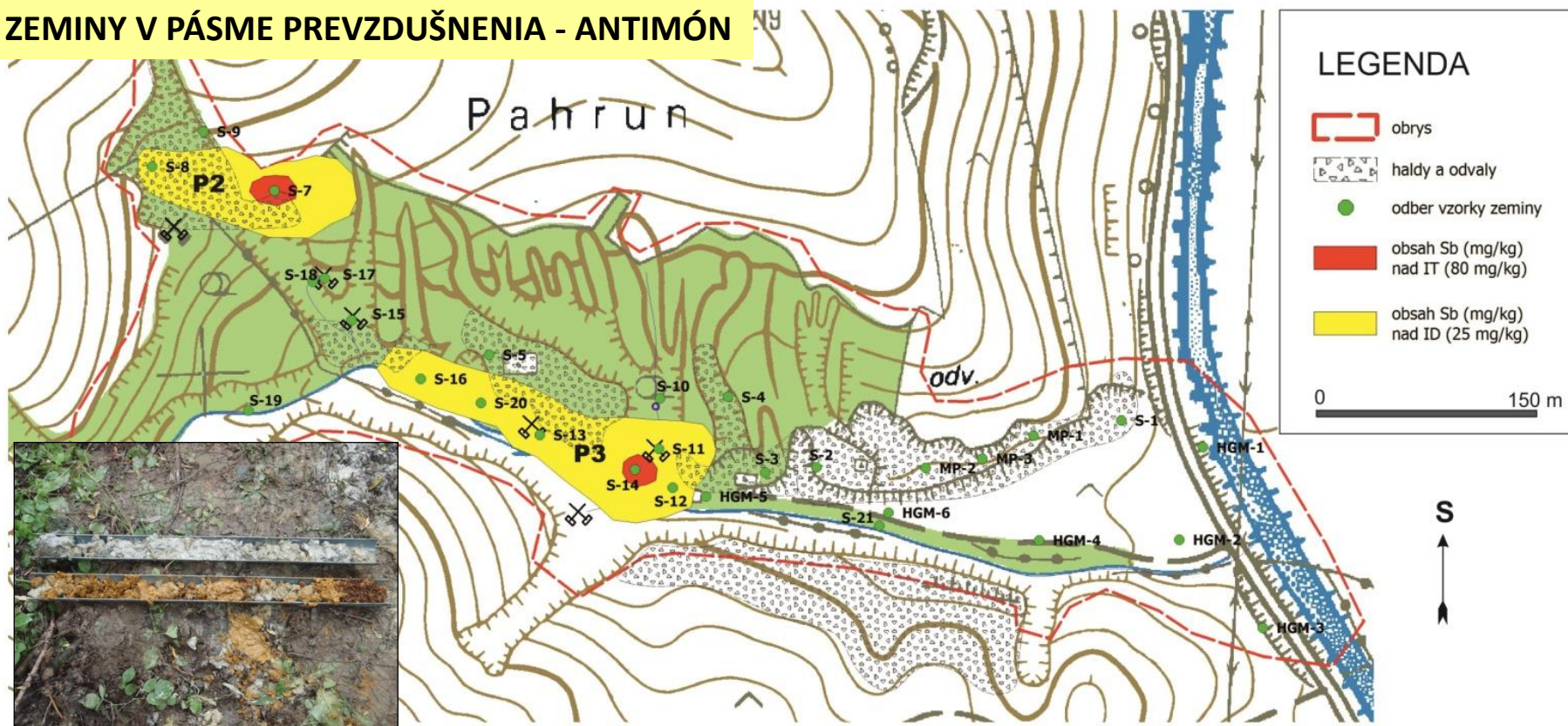
DISTRIBÚCIA KONTAMINANTOV V ZLOŽKÁCH ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

PÔDY A ZEMINY

Vysoké obsahy Ni (geogénny pôvod Ni) sú dané zvetrávaním substrátov zubereckého súvrstvia (s podielom ultrabázických hornín) - prekročenie $IT_{Ni} = 500 \text{ mg/kg}$, s maximom ($Ni_{max} = 1471 \text{ mg/kg}$).

Zvýšené obsahy Sb v pásme prevzdušnenia odrážajú zvetrávanie sekundárnej mineralizácie viazanej na samotné ložisko Hg - vo vzorkách zemín odvalov pred štôľňami Júlia, Mária, Odvodňovacia, Pelliot (nad eróznou ryhou celého dobývacieho priestoru).

ZEMINY V PÁSME PREVZDUŠNENIA - ANTIMÓN



DISTRIBÚCIA KONTAMINANTOV V ZLOŽKÁCH ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

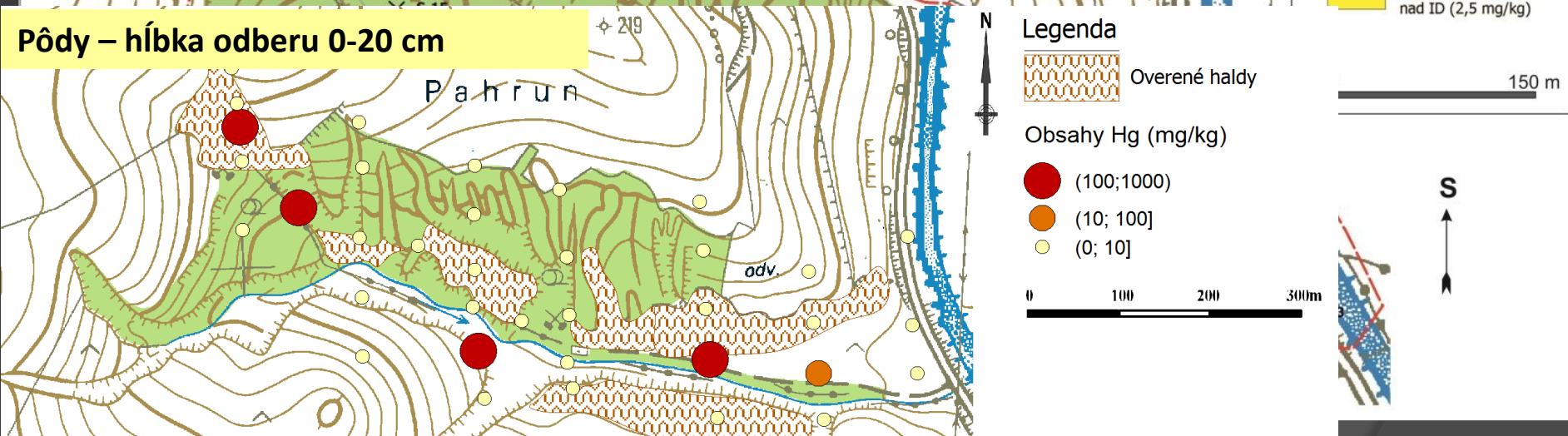
PÔDY A ZEMINY

V prípade Hg boli prekročené hodnoty IT limitu ($IT_{Hg} = 20 \text{ mg.kg}^{-1}$) vo vzorkách zemín odvalov pred štôľňami „Mária“ a „Anna“ - vo vrtoch HGM-5 ($53,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) a HGM-6 ($32,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) - situované v blízkosti najdôležitejších častí priestoru ťažobného a úpravárenského podniku

ZEMINY V PÁSME PREVZDUŠNENIA - ORTUŤ



Pôdy – hĺbka odberu 0-20 cm



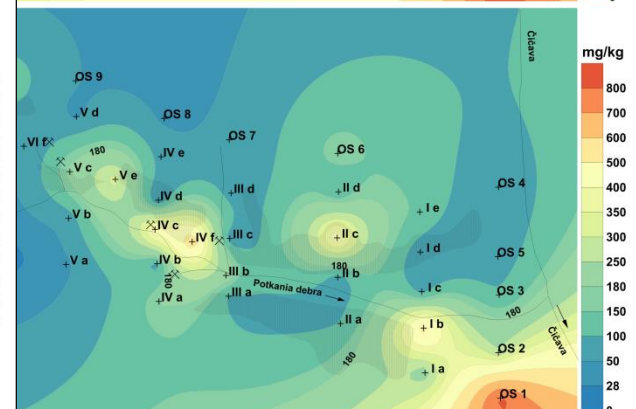
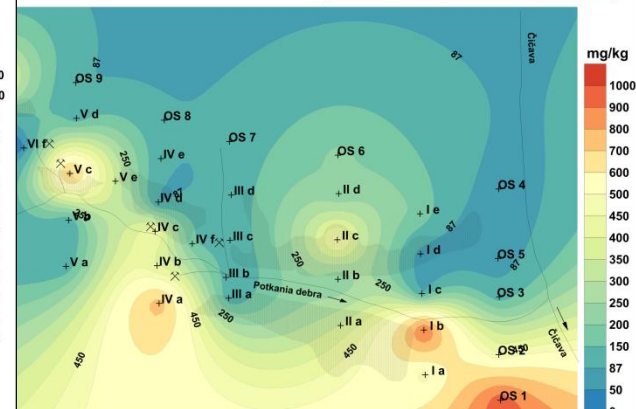
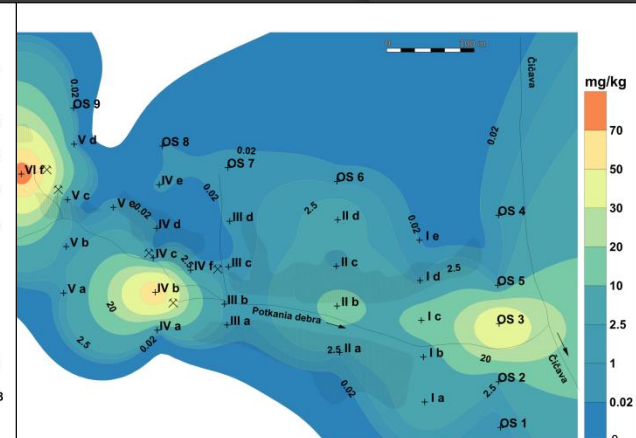
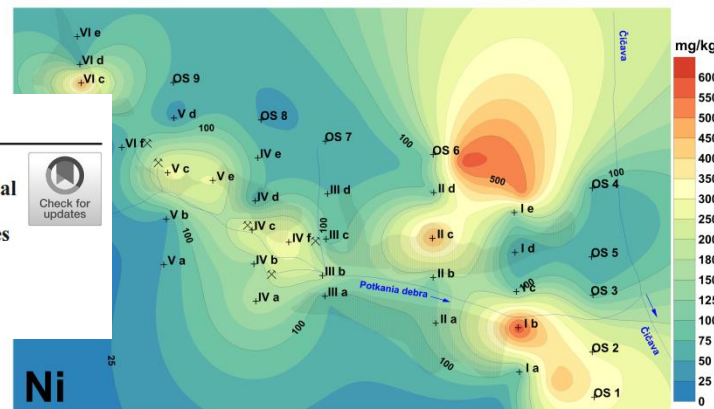
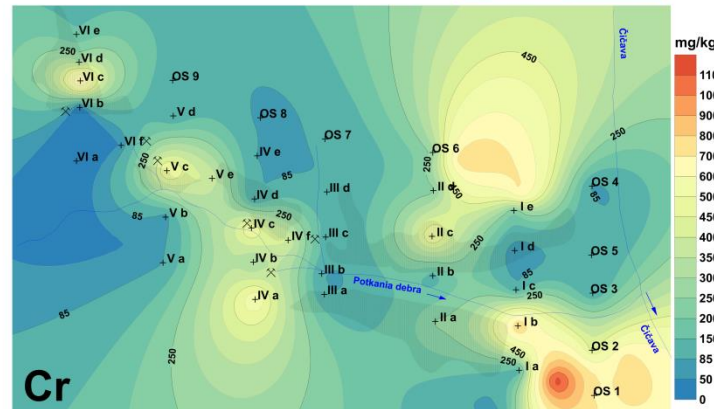
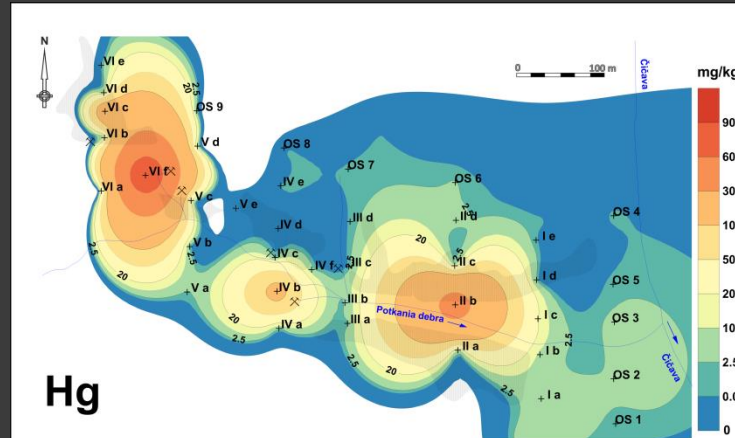
HORIZONT 0-20 cm = priemerná hodnota $45,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, $Hg_{max} 951 \text{ mg.kg}^{-1}$

HORIZONT 40-60 cm = priemerná hodnota $8,3 \text{ mg.kg}^{-1}$, $Hg_{max} 90 \text{ mg.kg}^{-1}$

DISTRIBÚCIA KONTAMINANTOV

PÔDY A ZEMINY

Vysoké obsahy Ni (geogénny pôvod Ni) sú dané zvetrávaním substrátov zubereckého súvrstvia (s podielom ultrabázických hornín) - prekročenie $IT_{Ni} = 500$ mg/kg, s maximom ($Ni_{max} = 1471$ mg/kg).



Environ Monit Assess (2019) 191:263
<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7391-6>

Total mercury, chromium, nickel and other trace chemical element contents in soils at an old cinnabar mine site (Merník, Slovakia): anthropogenic versus natural sources of soil contamination

Tatjana Kulikova · Edgar Hiller · Ľubomír Jurkovič · Lenka Filová · Peter Šottník · Petr Laciná

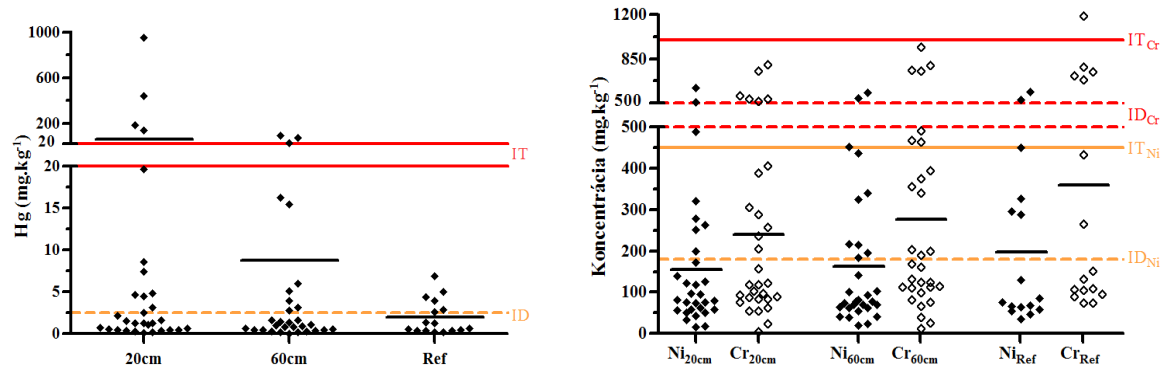


Aktuálny stav kontaminácie na území opusteného ložiska Merník

Najväčšie koncentrácie **Hg** boli nájdené v pôdach odobratých z hĺbky 20 cm na území ložiska. Značný pokles obsahov bol viditeľný v prípade pôd z hĺbky 60 cm (**59,7 mg.kg⁻¹ vs. 8,8 mg.kg⁻¹**), pričom pri referenčných vzorkách boli koncentrácie v hĺbke 20 cm takmer neporovnateľné (**59,7 mg.kg⁻¹ vs. 2 mg.kg⁻¹**).

Koncentrácie **Cr** a **Ni** taktiež boli v porovnaní s priemernými hodnotami pre pôdy SR pomerne vysoké. Išlo však o nárast hodnôt smerom do hĺbky pôdneho profilu, pričom v prípade referenčných vzoriek boli stanovené obsahy vo všeobecnosti vyššie.

Hĺbková distribúcia jednoznačne poukazuje na lokálne prírodné geologické podmienky prostredia zapríčiňujúce vysoké obsahy kovov neovplyvnené antropogénnymi činnosťami.



Obrázok Koncentrácie Hg (a), Cr a Ni (b) v odobratých pôdnych vzorkách spolu s príslušnými limitnými hodnotami podľa smernice MŽP SR č. 1/2015–7 (Kulikova et al. (2019))

Hodnotenie mobility a biopristupnosti Hg, Cr a Ni

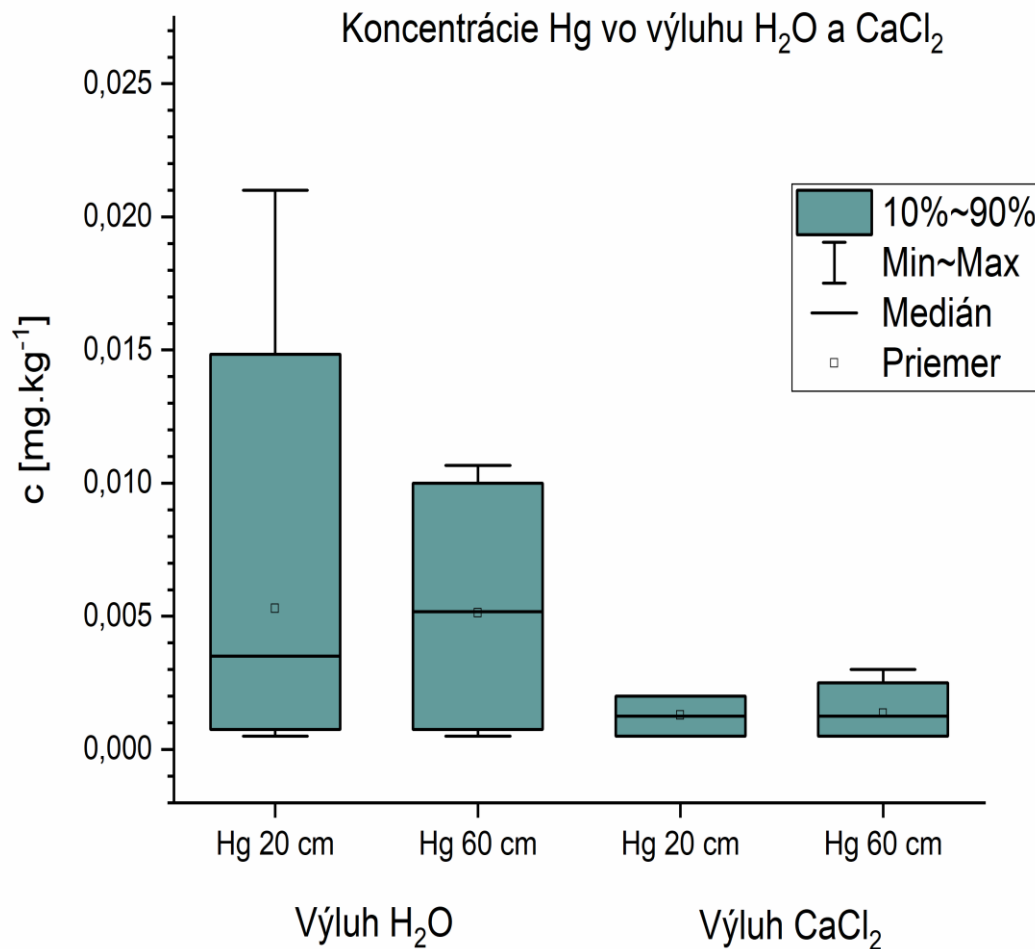
Extrakčné testy sa zrealizovali v prípade vzoriek z hĺbky 20 cm (10) a 60 cm (10) podľa Mench et al., 1994; Houba et al., 1990

Štúdium mobility bolo založené na **extrakcii destilovanou vodou (w/v 1:10)** po dobu 16 hod. Výmenná frakcia kovov bola získaná pomocou **roztoku CaCl_2 (0,01M) ((w/v 1:10) 2 hod.)**, známeho ako užitočný indikátor pri posudzovaní rastlinnej biopristupnosti.

Získané roztoky boli centrifugované, prefiltrované ($0,45\ \mu\text{m}$) a analyzované metódami **AAS-AMA (Hg)** a **AES-ICP (Cr, Ni, Ca, Mg a Fe)**.



Bioprístupný podiel Hg vo výluhoch H_2O a CaCl_2



Hlavnou príčinou celkovo veľmi nízkeho mobilného podielu kovov v pôdach tejto oblasti hlavne Hg, je výskyt prvku vo forme stabilných zlúčenín – sulfidov Hg (cinabarit, metacinabarit)

ZÁVERY PRE LOKALITU EZ MERNÍK – ORTUŤOVÉ BANE

- hlavným environmentálnym problémom na skúmanej lokalite sú výtoky z opustených banských štôlní, ktoré kontaminujú povrchové vody toku Potkania debra a zároveň okrové zrazeniny, ktoré sa z nich vyvrážajú a sú následne transportované vo forme suspenzie
- V odobratých vzorkách banských vôd boli analyzované odflitrované suspenzie
- cca 1,5 g na ~ 1 l vzorky vody



Hg mg/kg	Sb mg/kg	Ni mg/kg
3,2	0,5	750
2,7	0,3	339
2,3	1,0	558
4,1	1,3	303

ENVIRONMENTÁLNA ZÁŤAŽ POPROČ - PETROVÁ DOLINA

L'ubomír JURKOVIČ, Peter ŠOTTNÍK

Peter SEKULA, Katarína PEŤKOVÁ

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta



Miroslav BAČÍK

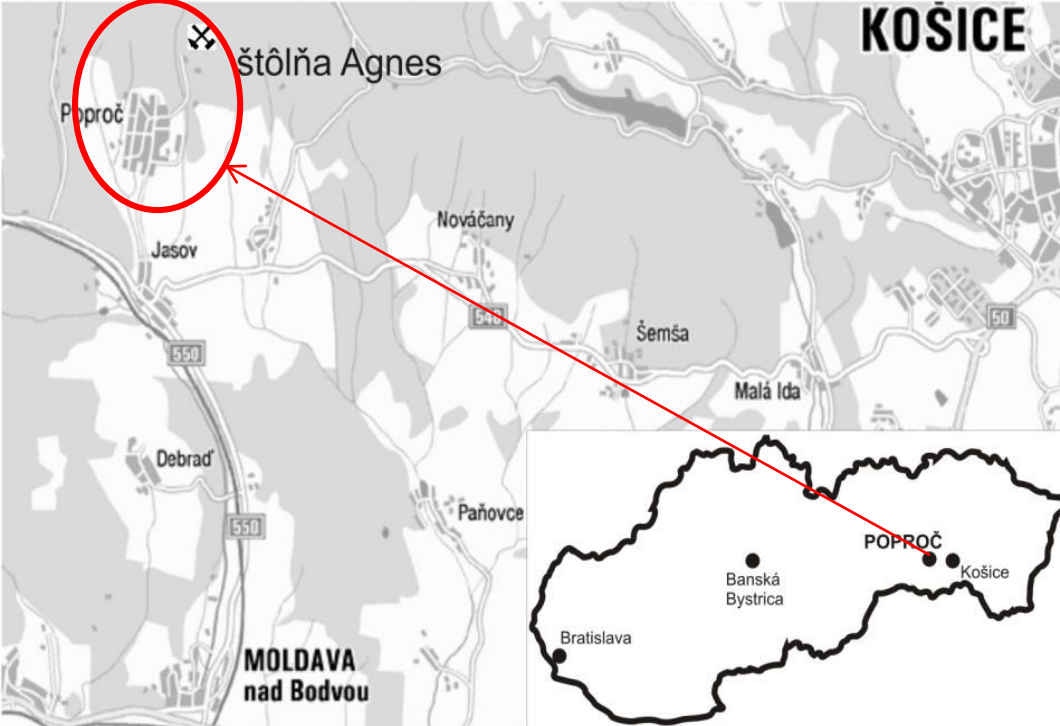
Environcentrum s.r.o. Košice



Anton AUXT

HES-COMGEO, spol. s r.o. Banská Bystrica





Lokalita Poproč v registri EZ

evidovaná

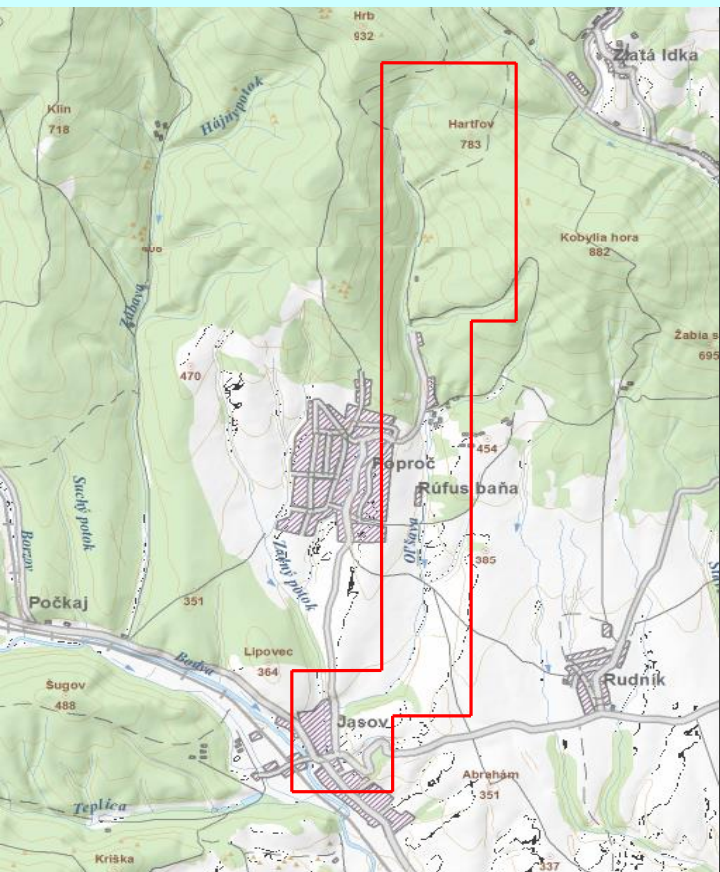
- KS (012) / Poproč - Petrova dolina
SK/EZ/KS/353, Register B.

Opustené Sb ložisko Poproč je situované v JV časti Spišsko-gemerského Rudohoria, ťažba Sb rudy začala v 17. storočí a definitívne bola ukončená v roku 1965.

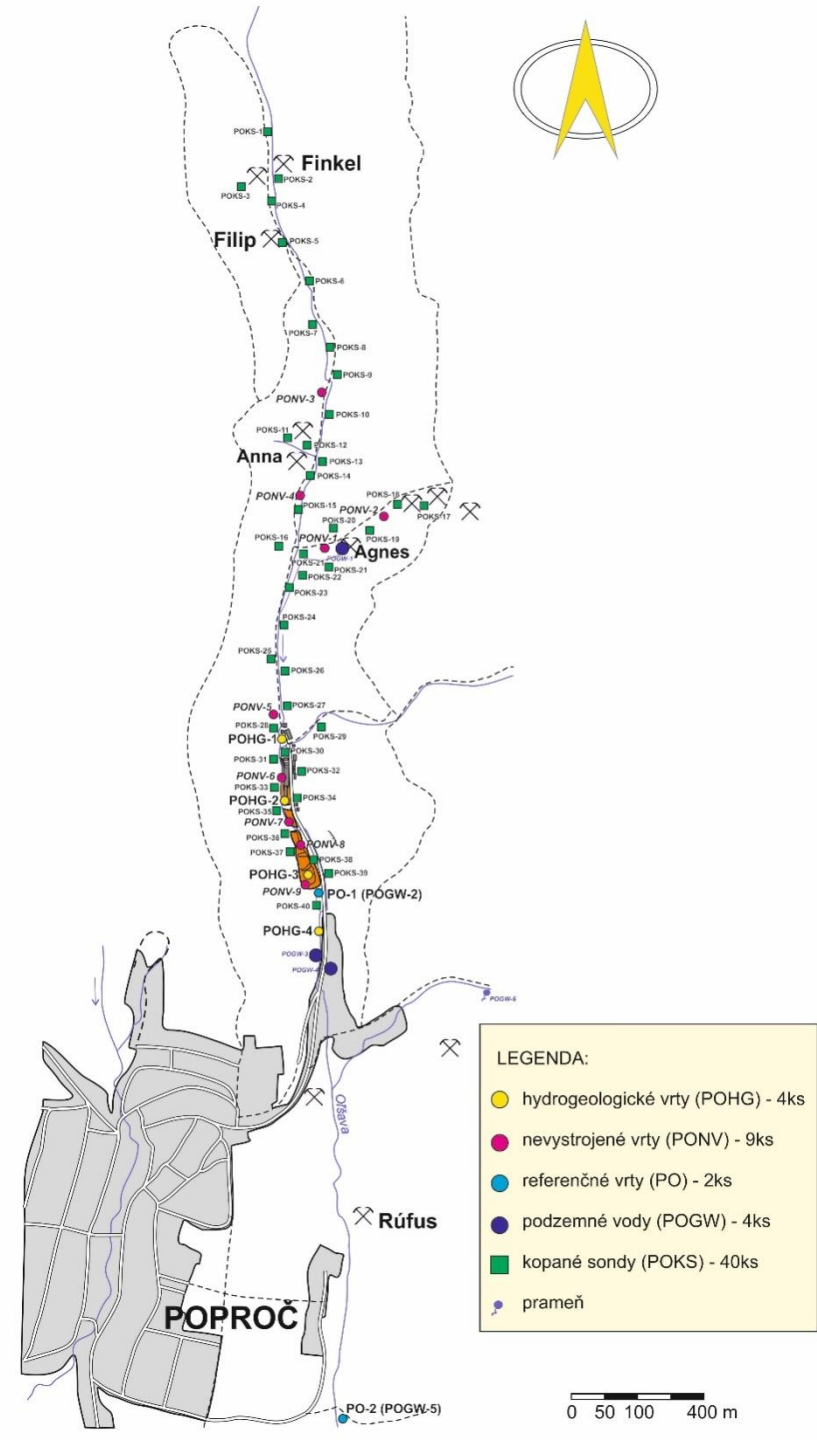
Hlavným minerálom Sb žíl je vždy kremeň a antimonit, vedľajšie minerály sú pyrit, arzenopyrit, markazit, pyrotit, berthierit, chalkopyrit, tetraedrit, sfalerit, zinkenit, füllöpit, jamesonit, chalkostibit a senarmontit.

V rokoch 1931 – 1965 sa v Poproči vyťažilo 10,3 kt antimónu a 80 kg zlata. Kvalita rúd tu bola 1,85% Sb, 12,6% Fe, 0,12% Cu, 0,01% Zn, 0,19% As a 0,4% Pb s obsahom 3 – 6 g.t-1 Au v koncentráte.

Vytýčenie predmetného územia

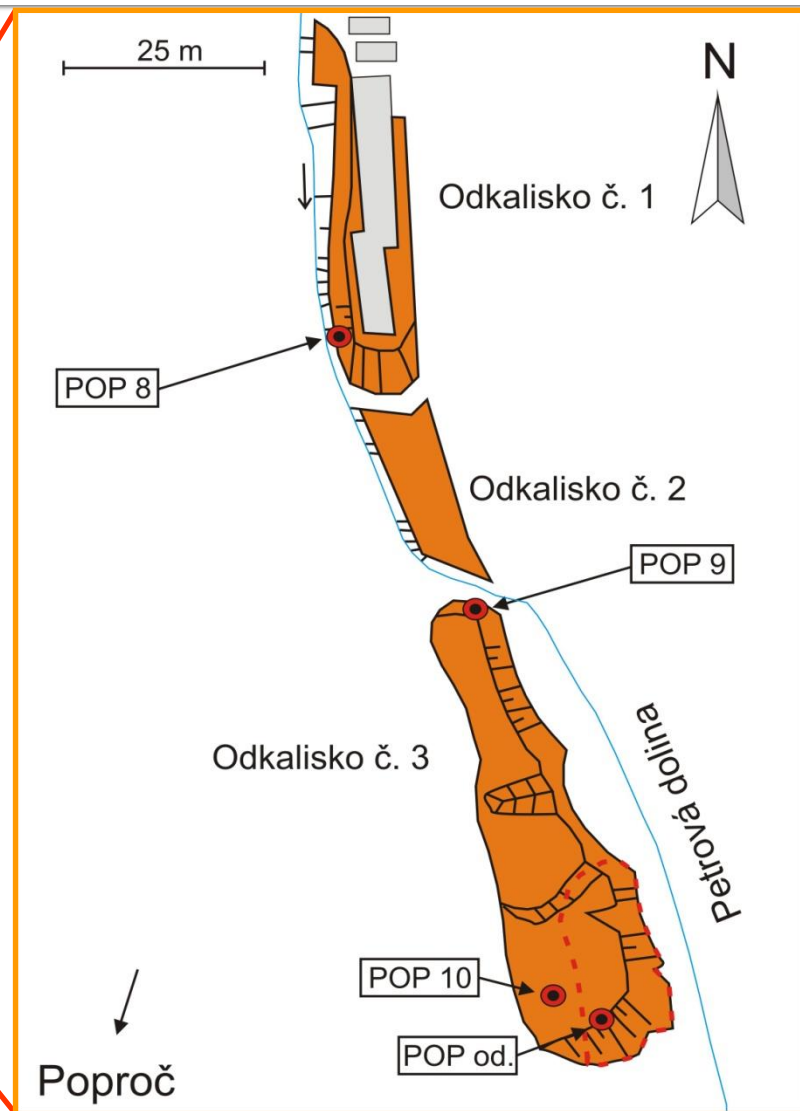
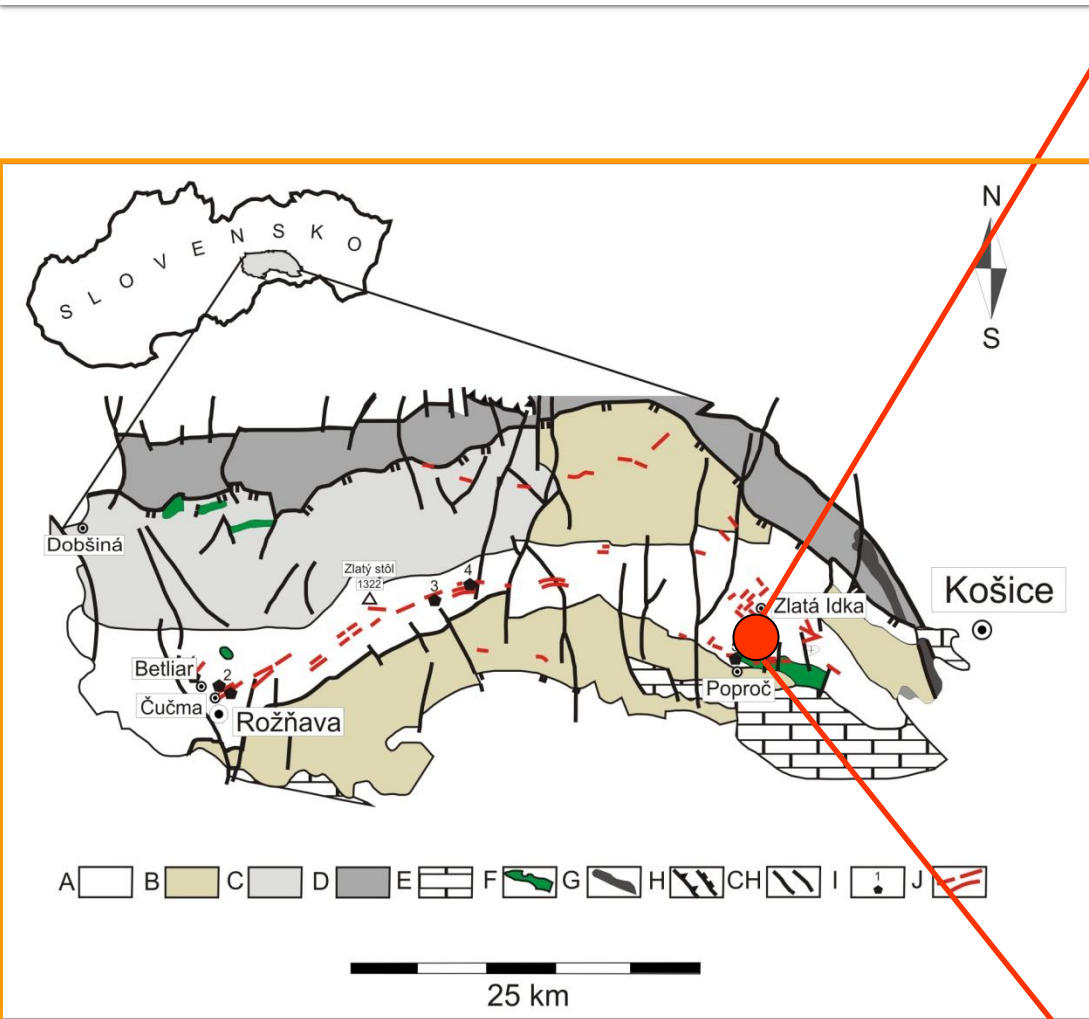


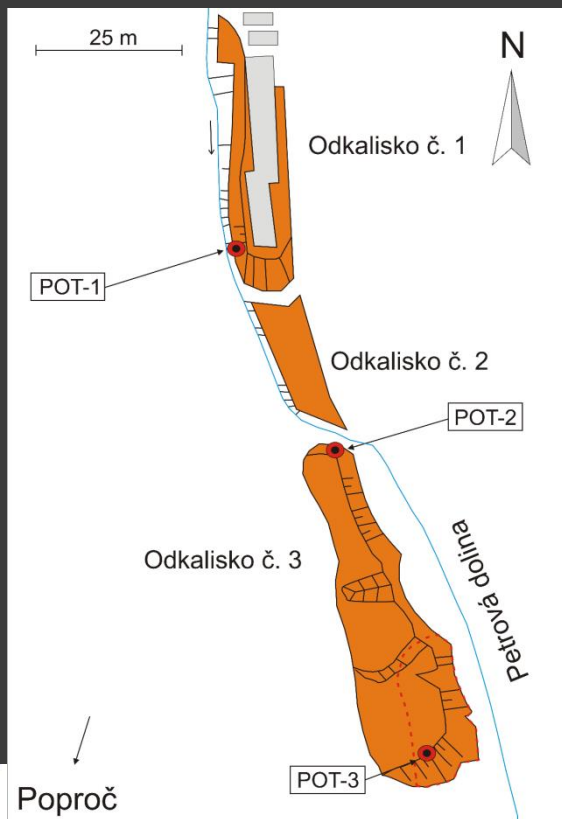
40 KOPANÝCH SOND - ZEMINY
9 NEVYSTROJENÝCH VRTOV
6 HYDROGEOLOGICKÝCH VRTOV
10 MONITOROVACÍCH BODOV
- POVRCHOVÉ VODY A RIEČNE SEDIMENTY
4 MONITOROVACIE BODY - STUDNE
2 VÝTOKY ZO ŠTÔLNÍ (AGNES A ANNA)
+ 1 STARŠÍ HYDROGEOLOGICKÝ VRT



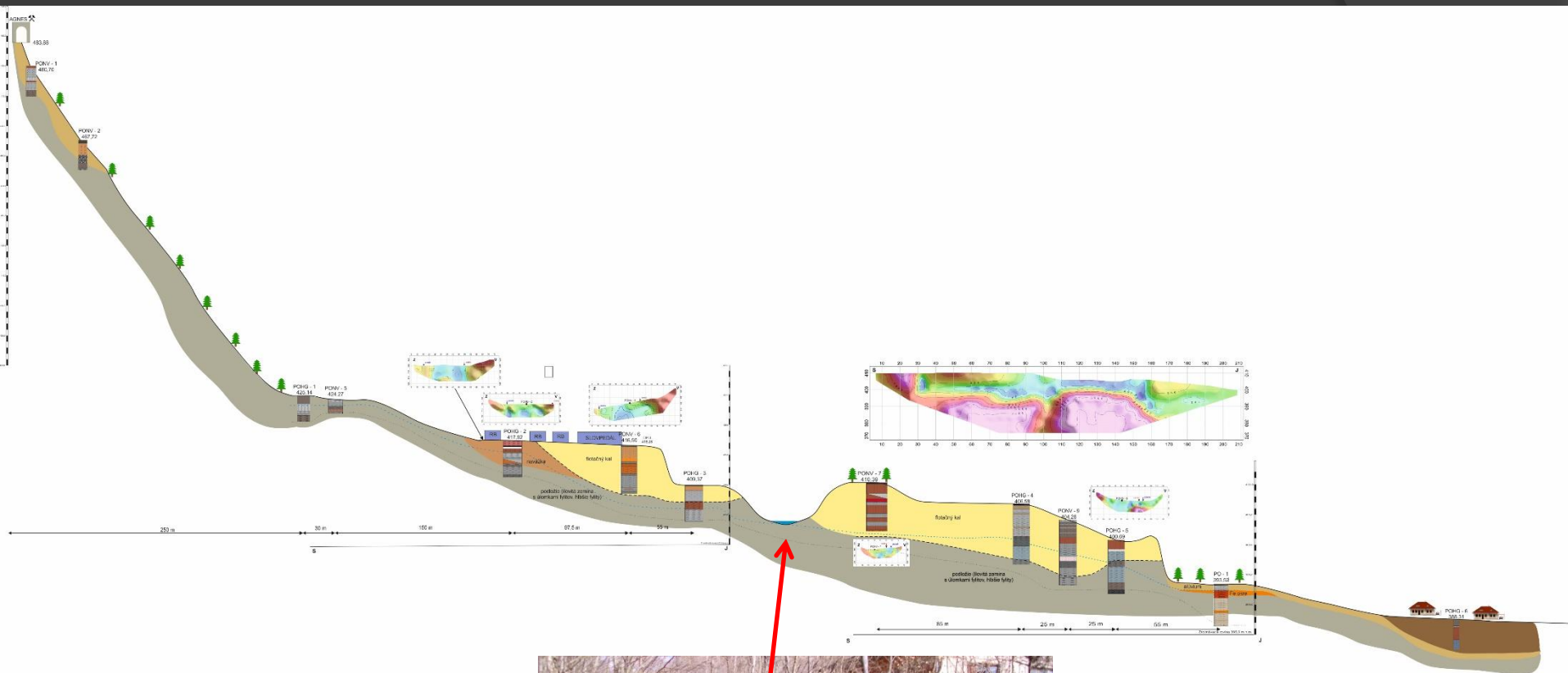
Odkalisko POPROČ

opustené Sb ložisko

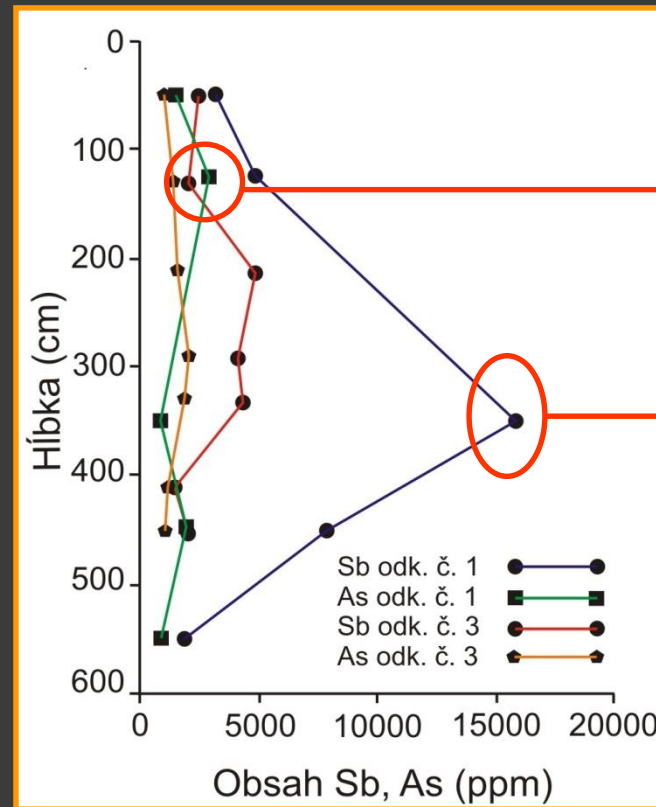




Situačný model lokality EZ Poproč – Petrova dolina



odkaliskové sedimenty/kaly



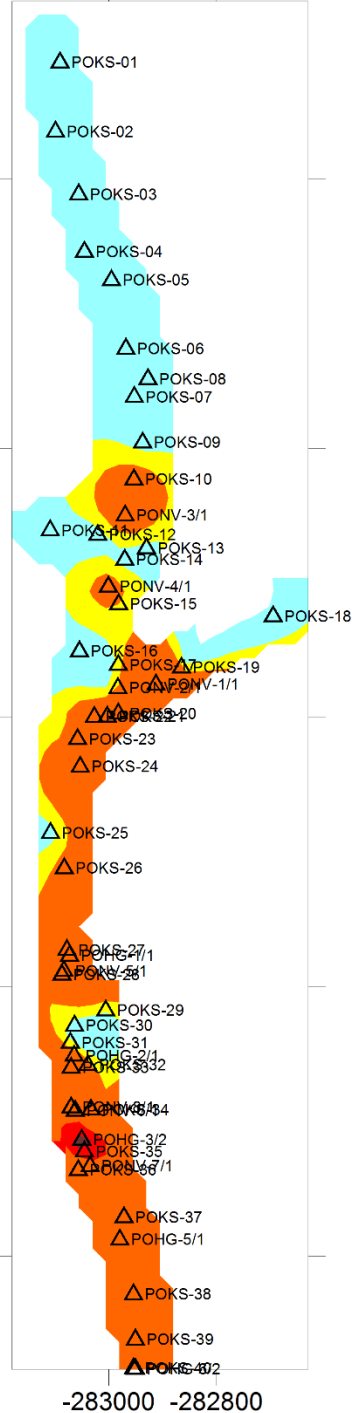
As – 1,49 g/kg

Sb
15,83 g/kg

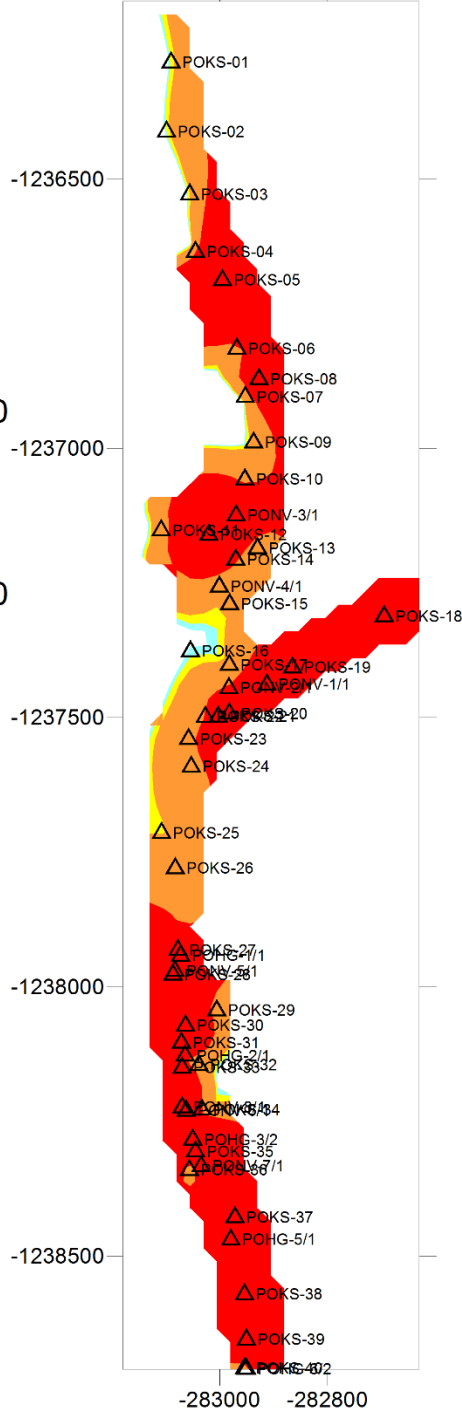
voľne deponované odkaliskové kaly a ťažobné odpady na lokalite Poproč



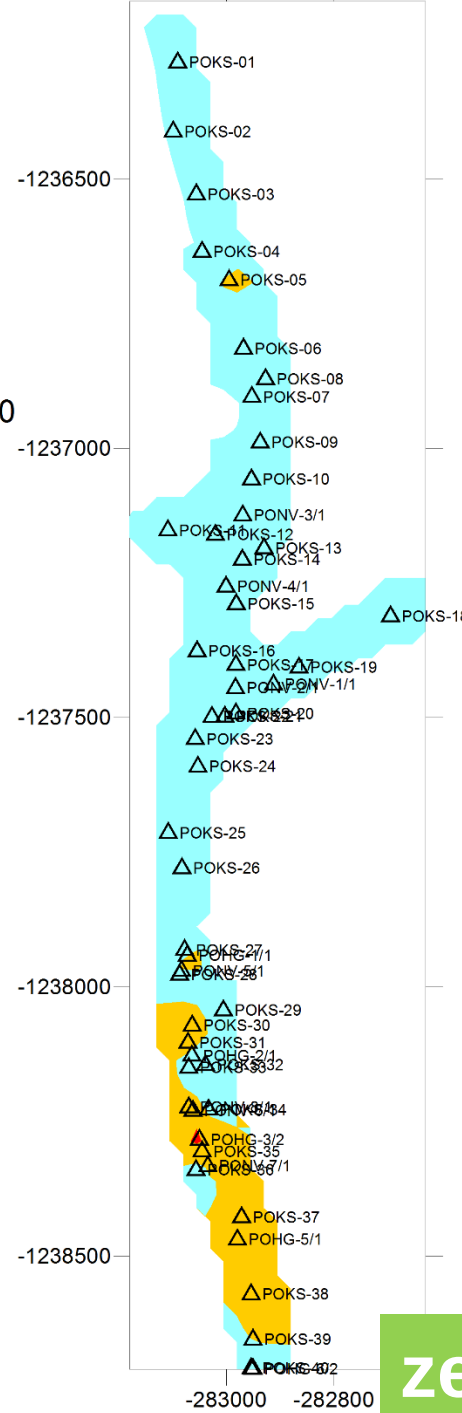
As



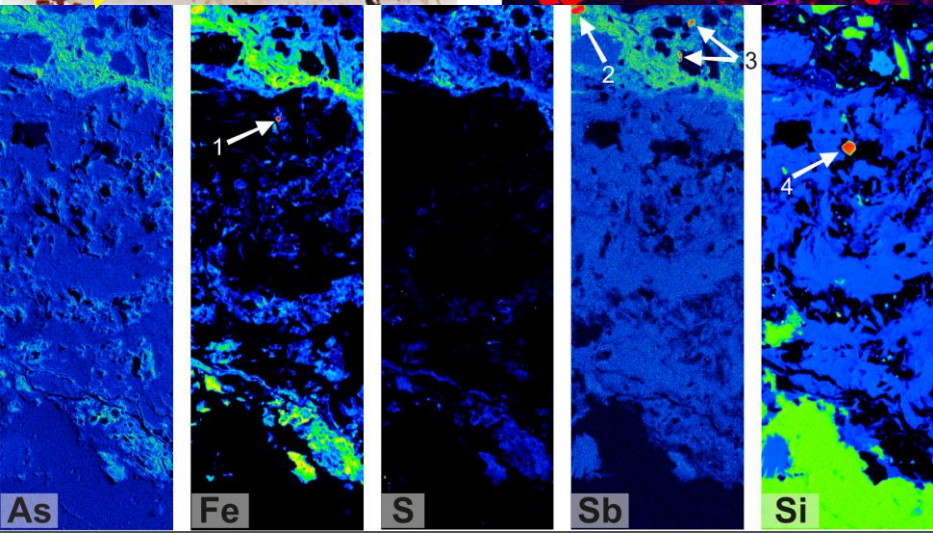
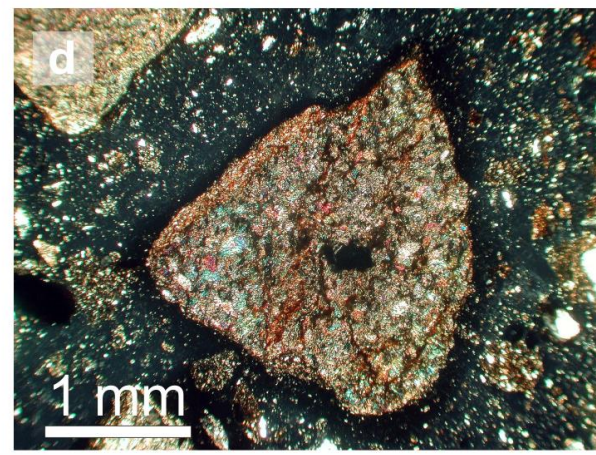
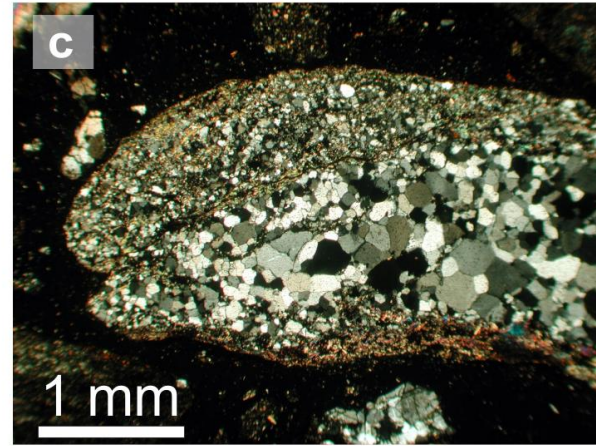
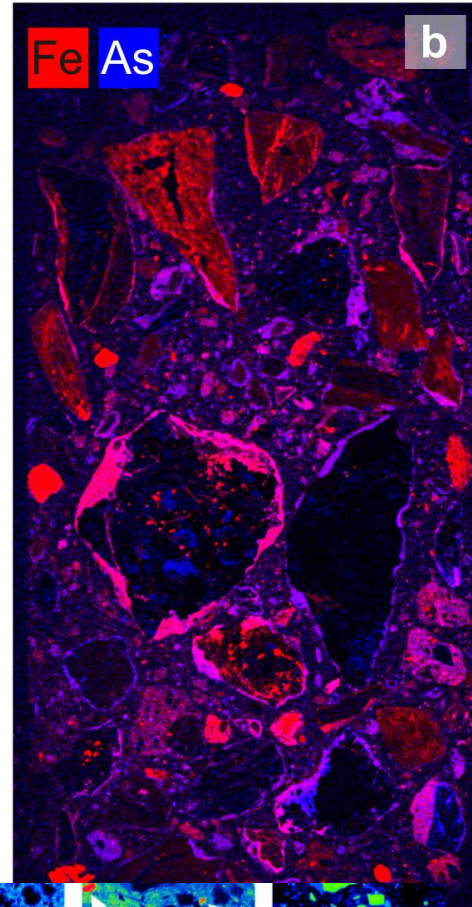
Sb



Pb



zeminy



Environmental Earth Sciences (2019) 78:672
<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8701-6>

ORIGINAL ARTICLE



Natural attenuation of antimony and arsenic in soils at the abandoned Sb-deposit Poproč, Slovakia

Ľubomír Jurkovič¹ · Juraj Majzlan² · Edgar Hiller¹ · Tomáš Klimko¹ · Bronislava Voleková-Lalinská³ · Štefan Méres¹ · Jörg Göttlicher⁴ · Ralph Steininger⁴

OBSAHY VYBRANÝCH ANORGANICKÝCH ZNEČIŠŤUJÚCICH LÁTKO V VZORKÁCH PODZEMNÝCH VÔD

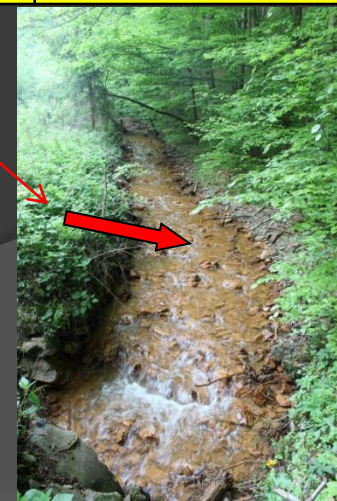
	Fe (mg/l)		SO ₄ ²⁻ (mg/l)	As (µg/l)		Sb (µg/l)		Zn (µg/l)		Cd (µg/l)		Pb (µg/l)	
	25.9.	21.10.	25.9.2014	25.9.	21.10.	25.9.	21.10.	25.9.	21.10.	25.9.	21.10.	25.9.	21.10.
ID				50		25		1500		5		100	
IT				100		50		5000		20		200	
POHG-1 gw	12,66	6,42	61,7	195	115	1212	83	71	36	-2	-2	70	20
POHG-2 gw	24,56	3,98	64,8	228	1458	193	98	96	14	3	-2	40	-10
POHG-3 gw	48,91	212,77		3	7250	7176	1010	2648	12099	10	36	2120	7810
POHG-4 gw	3,44	9,84		63	497	118	369	37	86	-2	-2	30	80
POHG-5 gw	65,97	24,19	426,5	31	4355	492	355	1864	1237	107	23	190	50
POHG-6 gw	8,13	6,46	59,4	123	778	260	363	36	16	-2	-2	-10	-10
POGW-1 AGNES	29,21	31,25	192,1	14	2053	71	369	815	798	-2	2	10	-10
POGW-2 ANNA	1,34	0,06		-1	2	1056	746	-5	-5	-2	-2	-10	-10
POGW-3	19,61	10,77		125	2173	957	1028	190	178	-2	-2	20	-10

štôlňa Agnes 2015



OBSAHY VYBRANÝCH ANORGANICKÝCH ZNEČIŠŤUJÚCICH LÁTKOK VO VZORKÁCH POVRCHOVÝCH VÔD

vzorka	As_1	As_2	Sb_1	Sb_2	Zn_1	Zn_2	Cd_1	Cd_2	Fe_1	Fe_2
POPV -1	2	3	< DL	< DL	12	5	< DL	< DL	0,21	0,21
POPV -2	< DL*	2	154	133	16	< DL	< DL	< DL	0,18	0,08
POPV -3	< DL	3	119	199	12	< DL	< DL	< DL	0,15	0,18
POPV -4	46	10	313	306	130	55	< DL	< DL	2,76	0,25
POPV -5	17	51	144	275	809	48	3	< DL	22,85	0,58
POPV -6	23	100	278	369	75	58	< DL	< DL	1,09	0,79
POPV -7	42	93	285	261	51	49	< DL	< DL	0,84	0,58
POPV -8	14	57	201	173	19	18	< DL	< DL	1,41	1,63
POPV -9	2	2	5	5	6	7	< DL	< DL	0,45	0,63
POPV -10	3	3	9	8	13	6	< DL	< DL	0,42	0,66
MH NV 269/2010	50 µg/l		25 µg/l		1000 µg/l		5 µg/l		2 mg/l	





**Materiálová bilancia transportu kontaminantov v povrchovej vode
vo forme suspenzií (pevná fáza, Fe oxyhydroxidy, frakcia nad 0,45 µm)**

	suspenzia (g.l ⁻¹)	prietok (l.s ⁻¹)	transport (kg denne)	transport (kg ročne)	Sb (g/kg)	As (g/kg)	ročne Sb (kg)	ročne As (kg)
Agnes	0,0025	5	0,54	197,10	14	58	2,76	11,43
Olšava pod Agnes	0,01	26,4	11,40	4162,75	14	58	58,28	241,44

Obsahy As a Sb boli použité z analýzy okrového sedimentu

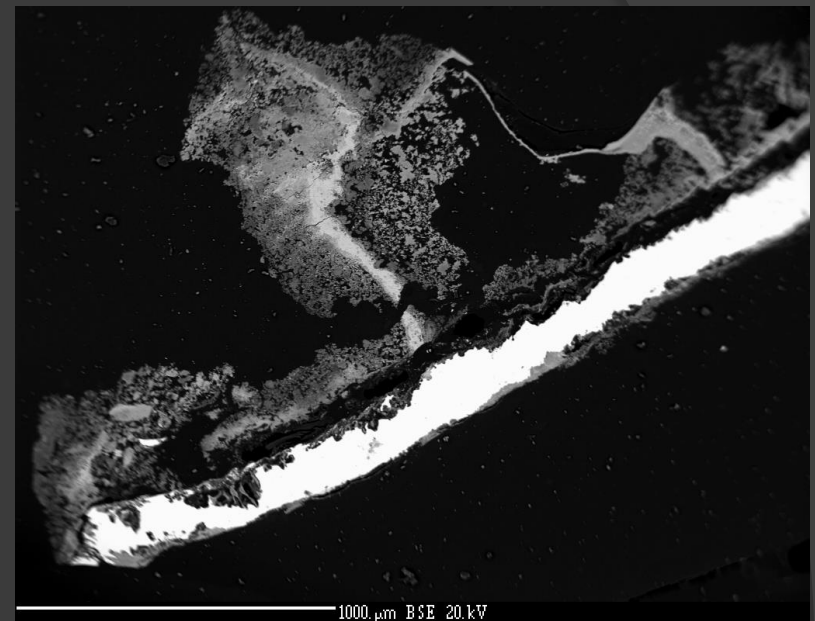
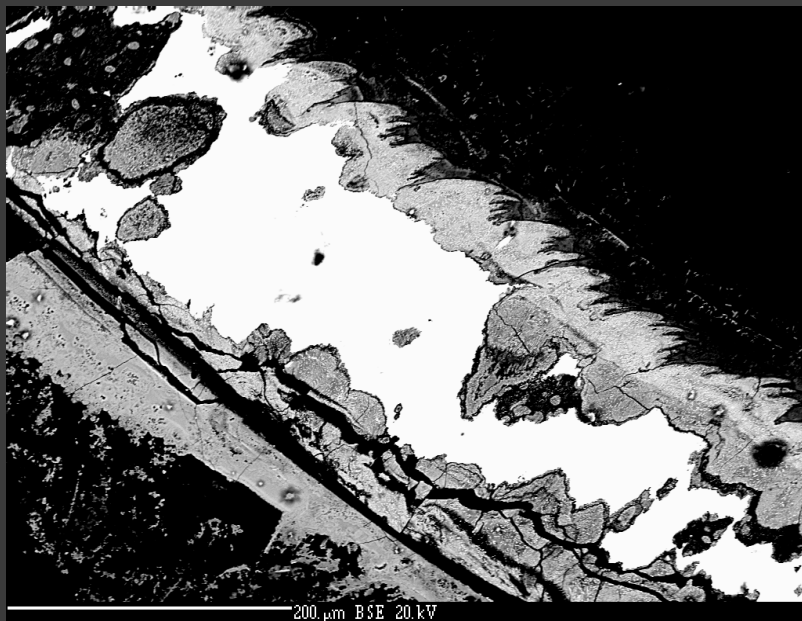
Inštalácia pilotného systému

Pasívna geochemická bariéra





Mikrosondové analýzy špôn a oxidačných lemov

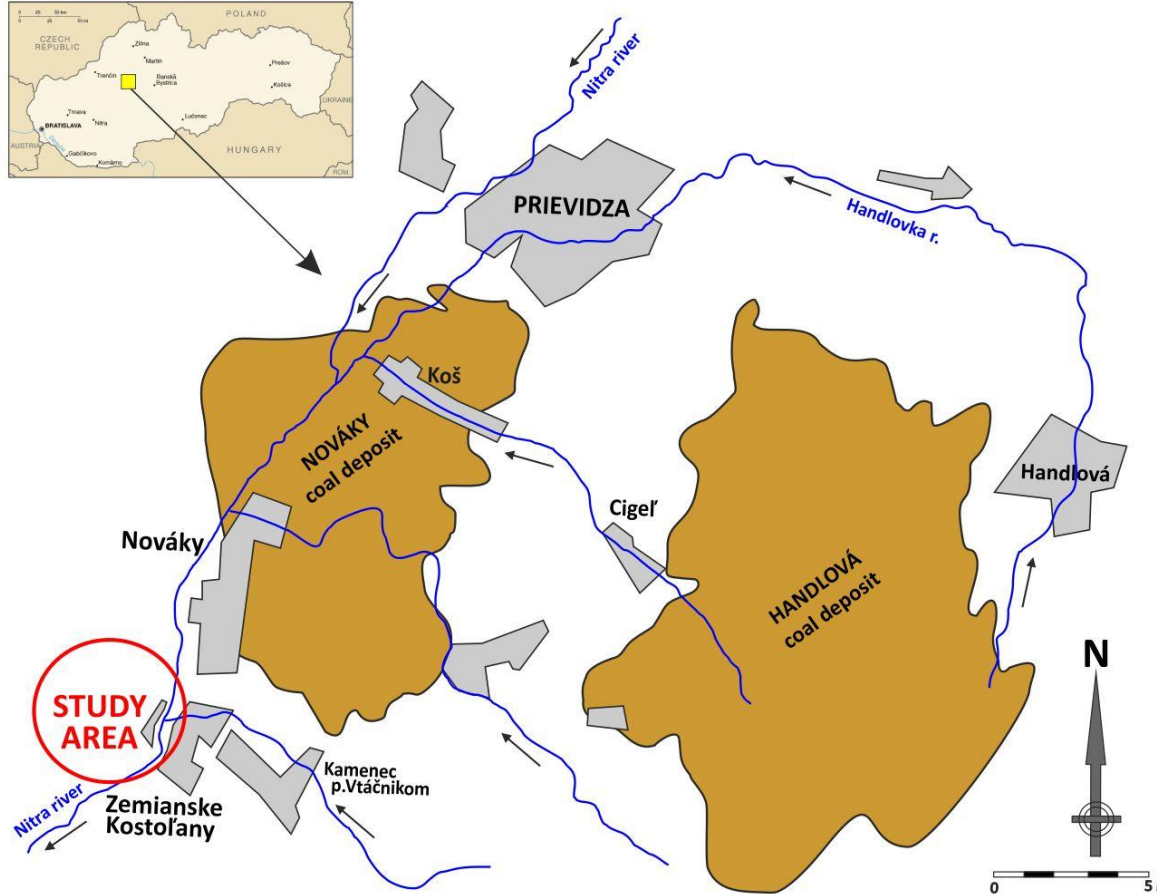


hm%	Fe	Sb	As	Zn
špony	97,7775	0,0025	0,0950	0,0075
oxidačný lem 1	45,3677	0,3735	0,8981	0,0385
oxidačný lem 2	48,2233	0,3400	0,2467	0,0033

Silikátová analýza, zloženie sedimentu odobratého z kontajnera s Fe šponami

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ako Fe ₂ O ₃	FeO	As	Sb	Strata žíhaním pri 950 °C
%	%	%	%	%	%	%
4,45	1,16	66,34	1	5,8	1,4	14,5

Charakteristika modelovej lokality Zemianske Kostolany



⇒ Handlovsko-novácka panva je najvýznamnejším hnedouhoľným ložiskom v Slovenskej republike

⇒ ročná ťažba HB-Prievidza 1,9 – 2,3 mil. ton uhlia (2005 – 2010)

⇒ väčšina vyťaženého uhlia zo slovenských uhoľných baní sa spotrebuje na výrobu elektrickej energie v Slovenských elektrárnach, a.s. ENO v Zemianskych Kostolanoch

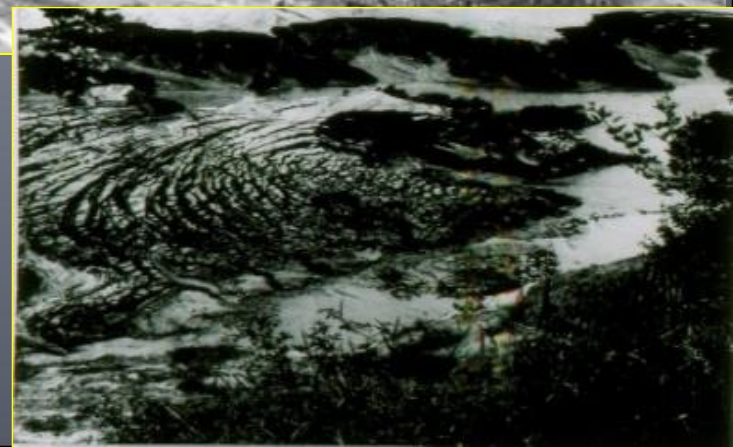
⇒ Elektrárne Nováky (ENO) predstavujú svojím výkonom 518 MWe približne 9% inštalovaného výkonu Slovenských elektrární.

⇒ na prevádzku ENO používajú ako palivo hnedé uhlie a lignit z hornonitrianskych baní, ktoré má obsah síry 1,35 až 1,99 % a obsah arzénu 6,2 až 590 mg.kg⁻¹ (Nováky).

Havária odkaliska Zemianske Kostolány



⇒ 26. máj 1965 – pretrhnutie 40m vysokej hrádze
⇒ uniklo cca 2,5 mil. m³ popolčeka
⇒ rozsah kontaminácie – 19000 ha
poľnohospodárskej pôdy v alúviu rieky Nitra (cca
100 km od odkaliska)



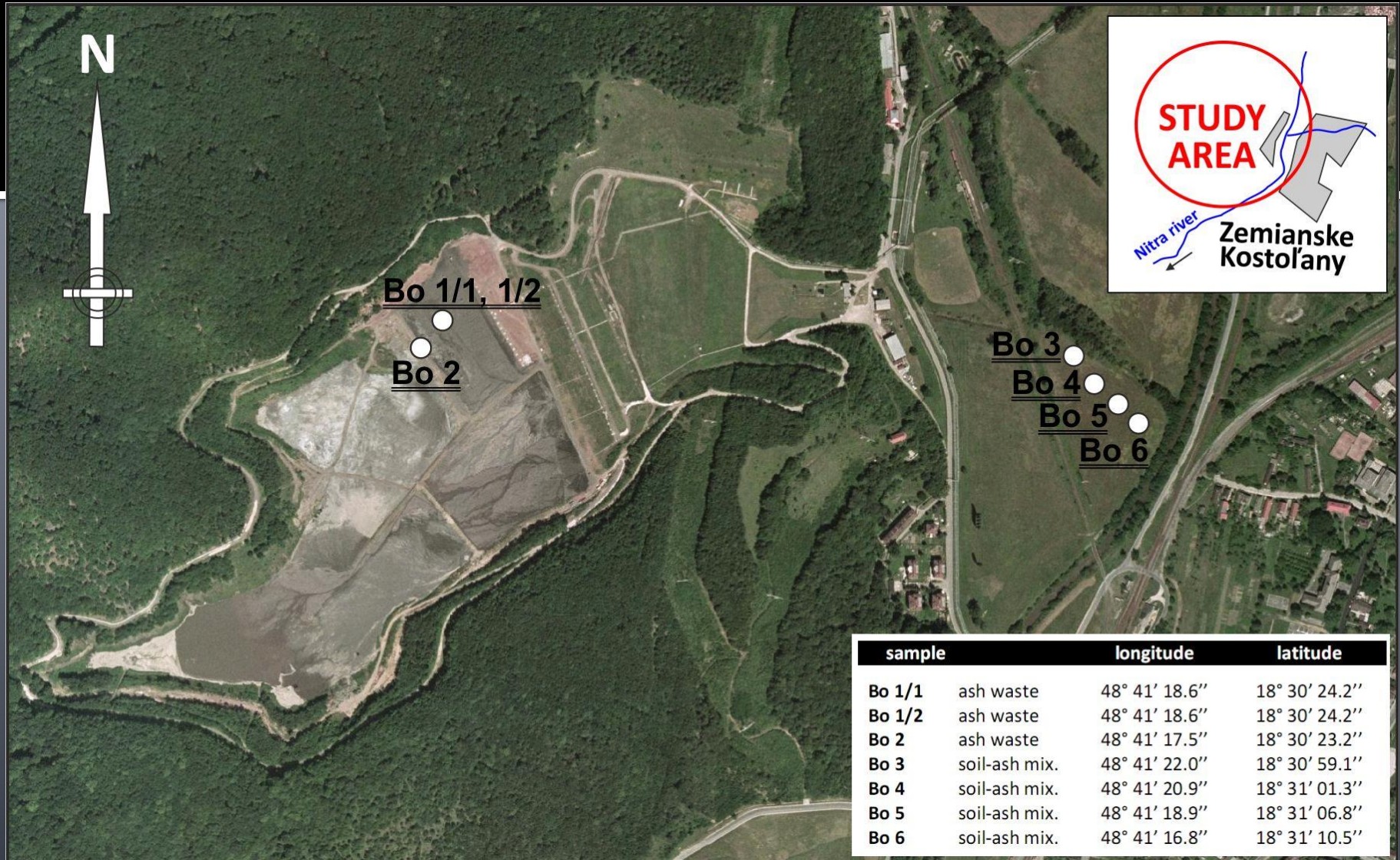
- ❑ popol lokálne prekrytý nehomogénnou antropozemou z rôznych zdrojov
- ❑ územie pozdĺž nivnej terasy rieky Nitra 500 m pod Pôvodným odkaliskom

Pochované antropogénne sedimenty charakteru environmentálnych záťaží



- ☐ sedimenty predstavujú heterogénnu zmes pôdy a popola s vysokými obsahmi arzénu
- ☐ podľa klasifikácie pôd - **technozem iniciálna**
- ☐ v súčasnosti ich považujeme za **antropogénne sedimenty zakryté charakteru starých environmentálnych záťaží**

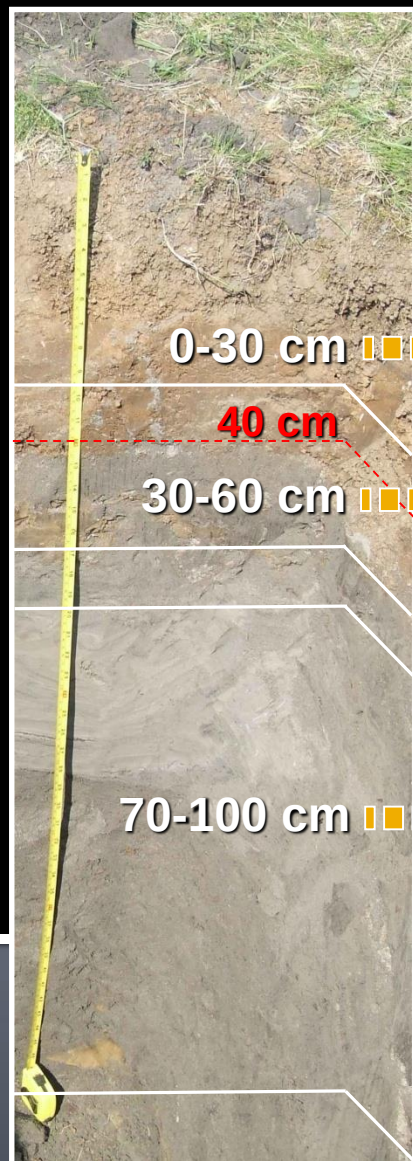
Charakteristika modelovej lokality Zemianske Kostolány



Celkové obsahy As_T (mg/kg)

hĺbka	ZK3	ZK5	ZK6	ZK7
0-30	218	358	417	127
30-60	730	1264	1264	164

Pôdna sonda



0-30 cm

40 cm

30-60 cm

70-100 cm

Zákon č.220/2004 Z.z.

pôda **piesočnato-hlinitá a hlinitá** → limitná hodnota $As = 25$ mg/kg

pôda **piesočnatá až hlinito-piesočnatá** → limitná hodnota $As = 10$ mg/kg
→ **vysoký podiel popolovej frakcie**

priepustný materiál elektrárenského popola, náchylný na stekutenie (vyššia hustota, hrubozrnnejší)

fluvizeme prirodzene sa nachádzajúce v inundačnom území rieky Nitry

Extrakcie

Uvoľnený podiel As_L (mg/kg) vs. koncentrácia vo vodnom výluhu (mg/l)

hĺbka	ZK3		ZK5		ZK6		ZK7	
	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg
0-30	0,585	11,7	0,592	11,84	0,661	13,22	0,172	3,44
30-60	1,586	31,71	1,558	31,16	1,532	30,63	0,217	4,33

relatívna mobilita (As_L/As_T)*100 (%) **3,64 %** **2,97 %**

0,03 mg/l (NV SR č. 296/2005 Z.z.)

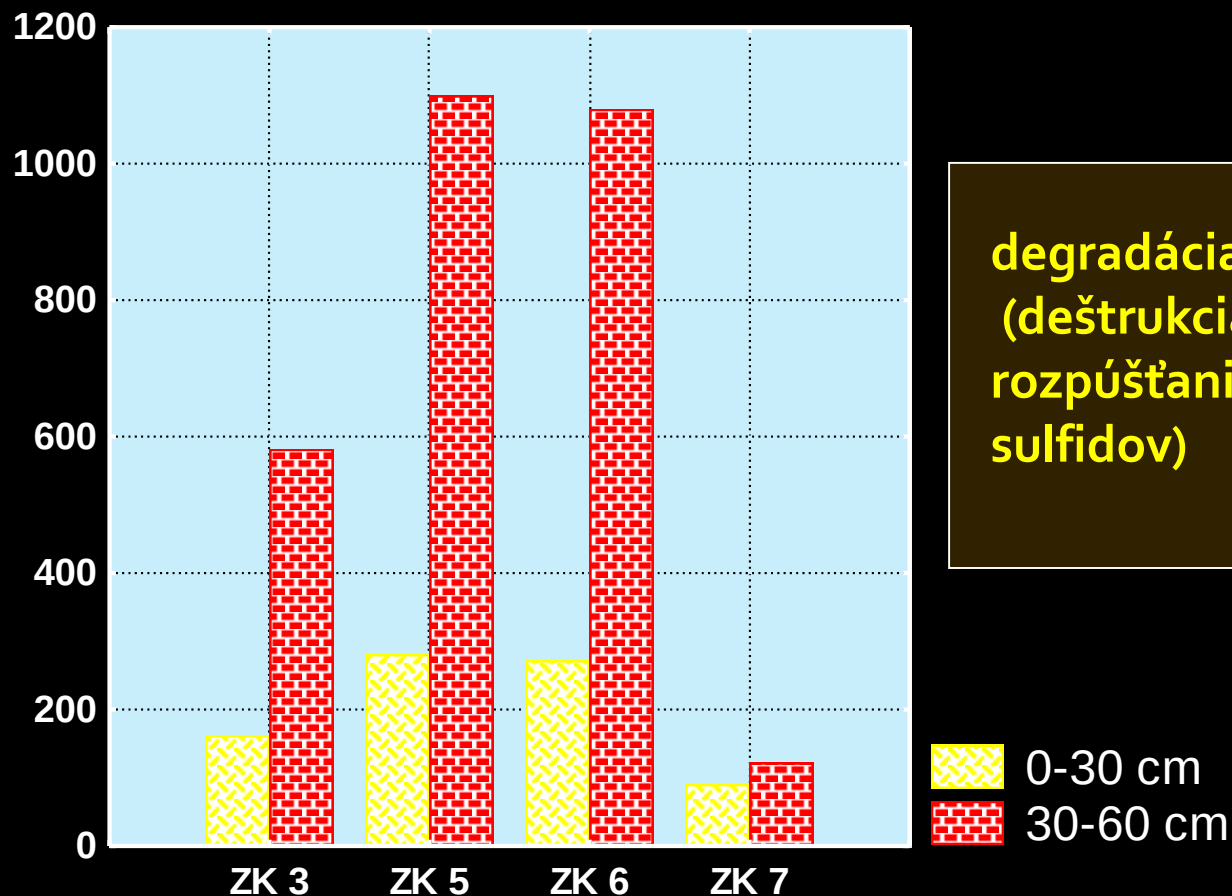
totálne vyextrahované množstvá $As \rightarrow$ vyššie v hĺbke 30-60
 $\rightarrow$ nižší percentuálny podiel z celkového množstva vo vzorke

Arsenic Concentrations in Soils Impacted by Dam Failure of Coal-Ash Pond in Zemianske Kostolany, Slovakia

Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology
 ISSN 0007-4861
 Volume 88
 Number 4
 Bull Environ Contam Toxicol
 (2011) 88:433-437
 DOI 10.1007/s00128-011-0222-2



As (mg/kg) po extrakcii v 0,5 M HCl



degradácia sorbentov
(deštrukcia kryštálových mriežok,
rozpúšťanie oxidov Fe, Al, rozklad
sulfidov)

⇒ od 100 do 1100 mg_{As}/kg (72,4% vo vrchných horizontoch a 81,7% v spodnejších vrstvách)

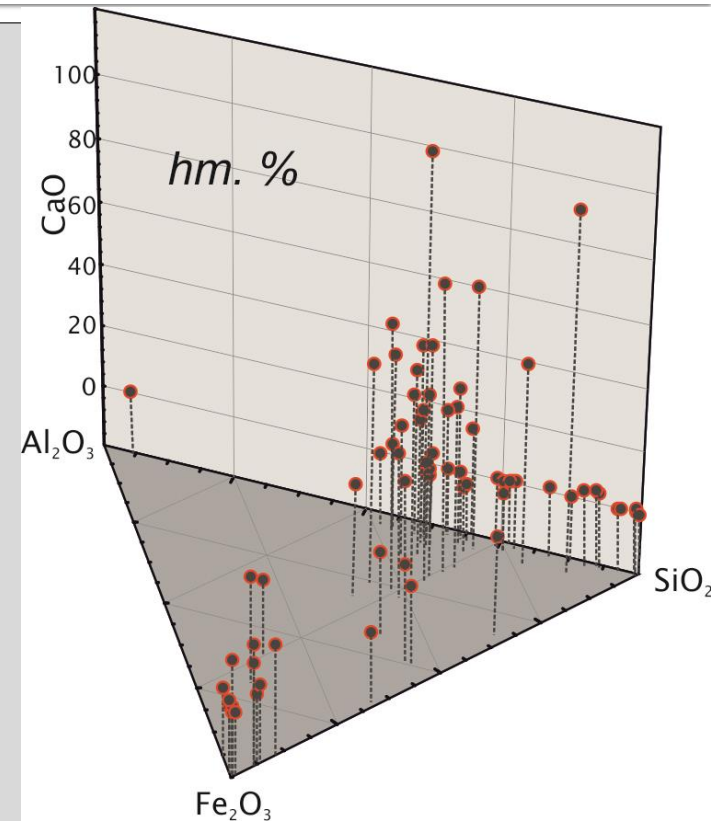
Chemické zloženie minerálnych fáz a identifikované minerálne fázy

Minerálne fázy sú tvorené hlavne O, Si, Al a Fe + Ca, Mg, K a Na $\Rightarrow$ najväčšie zastúpenie SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 a CaO.

Arzén $\Rightarrow$ nízke koncentrácie, nad detekčný limit vo fázach sivej farby (do 0,13 hm.%), vo fázach svetlosivej farby (do 0,14 hm.%)).

Najvyššie koncentrácie As (do 12,66 hmot.%) $\Rightarrow$ sféroidné (globulárne) sklenené častice dominantne tvorené Fe resp. Ca. Sféroidy nesúce As sú veľmi malé a ich veľkosť nepresahuje 20 μm (Bolanz et al., 2009)

identifikované minerálne fázy (rtg. difrakčná analýza)
kremeň, kristobalit, mullit, anortit, magnetit, hematit, maghemit, illmenit, rutil, perovskit, pyrotit, grafit.
Významný podiel anorganickej časti tvoria amorfne minerálne fázy (hlavne v popolovej vzorke z odkaliska).



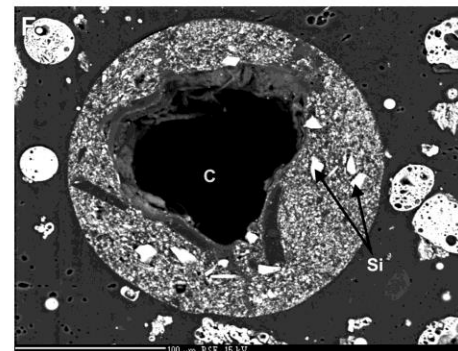
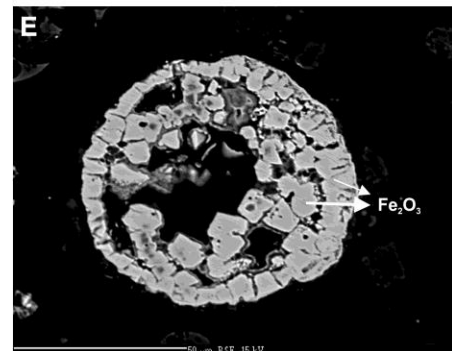
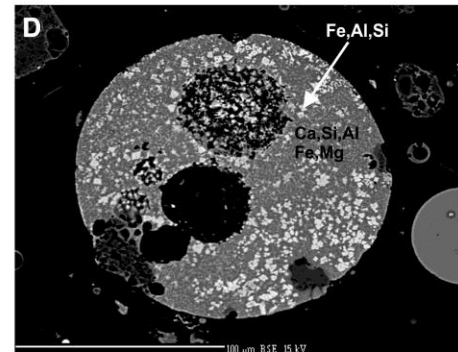
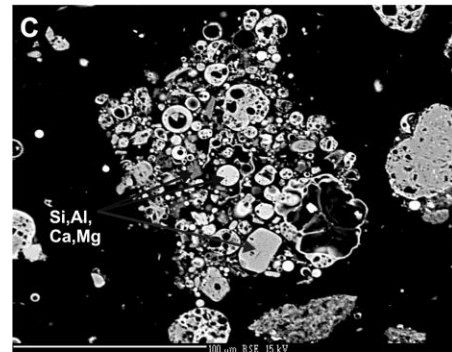
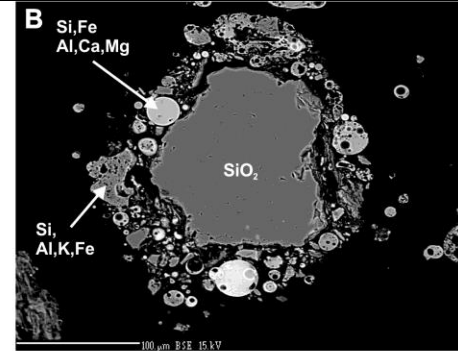
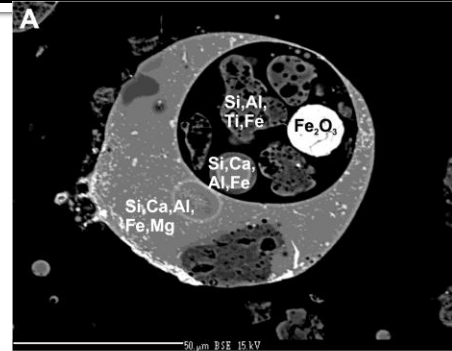
Chemické zloženie minerálnych fáz a identifikované minerálne fázy (BSE)

Snímky v späťne rozptýlených elektrónoch (BSE):

a), b), c), d) aluminosilikátové sklá, poradie prvkov zodpovedá ich pomernému zastúpeniu v jednotlivých zrnách

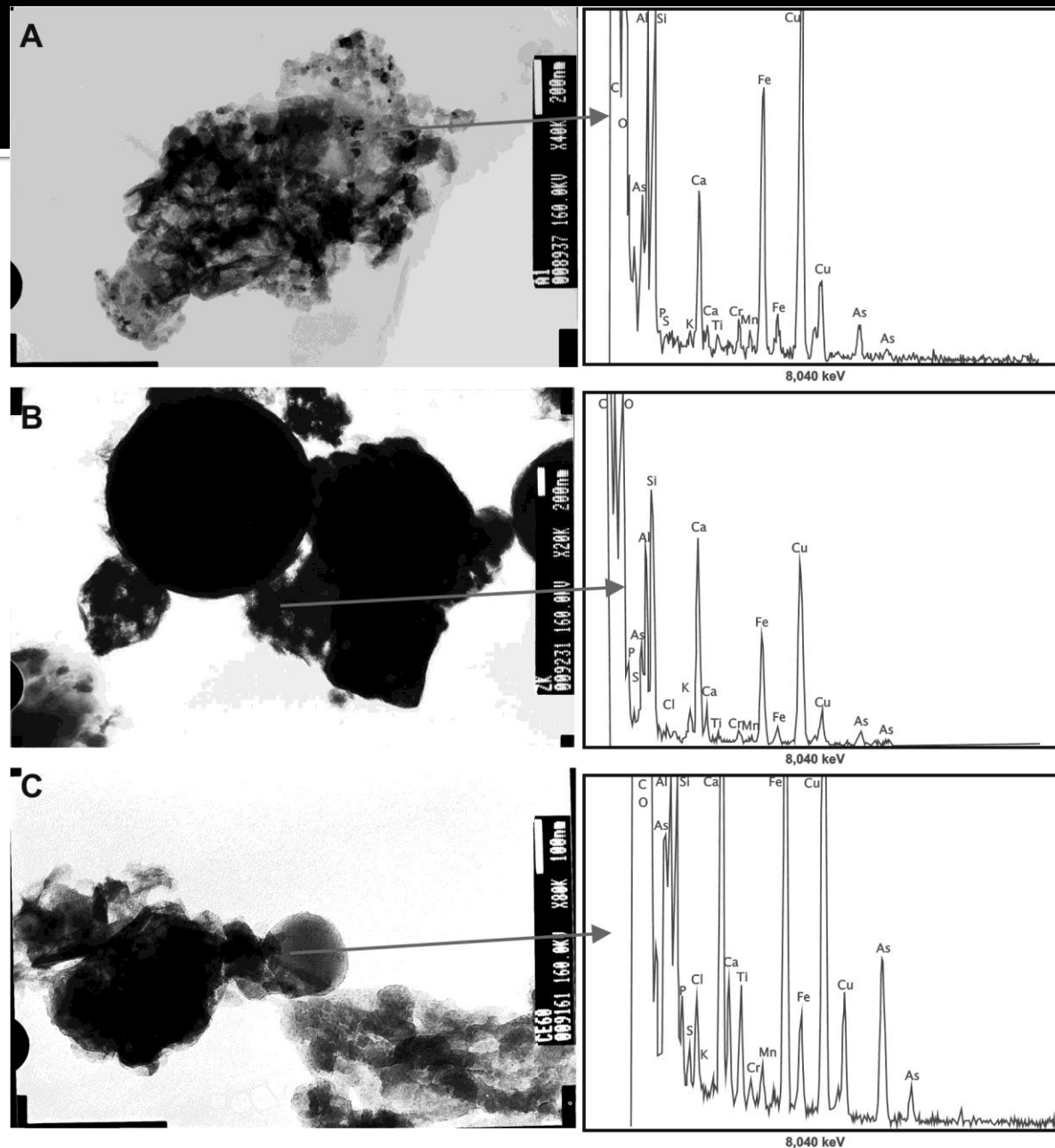
e) magnetit

f) nespálený zvyšok uhlia obalený jemnozrnnou zmesou silikátov

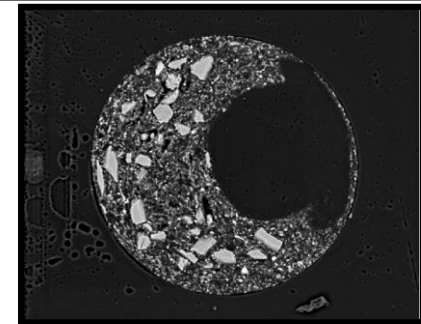
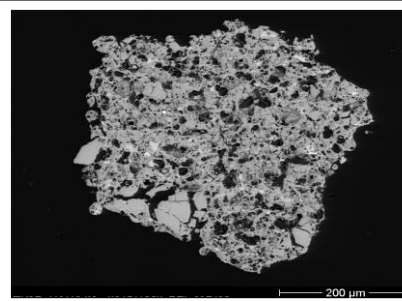
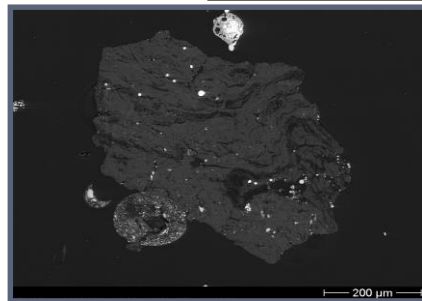
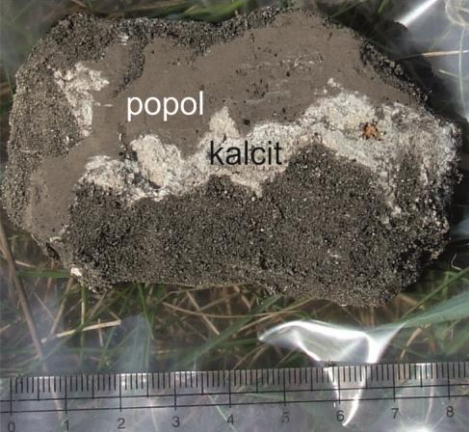


Chemické zloženie minerálnych fáz

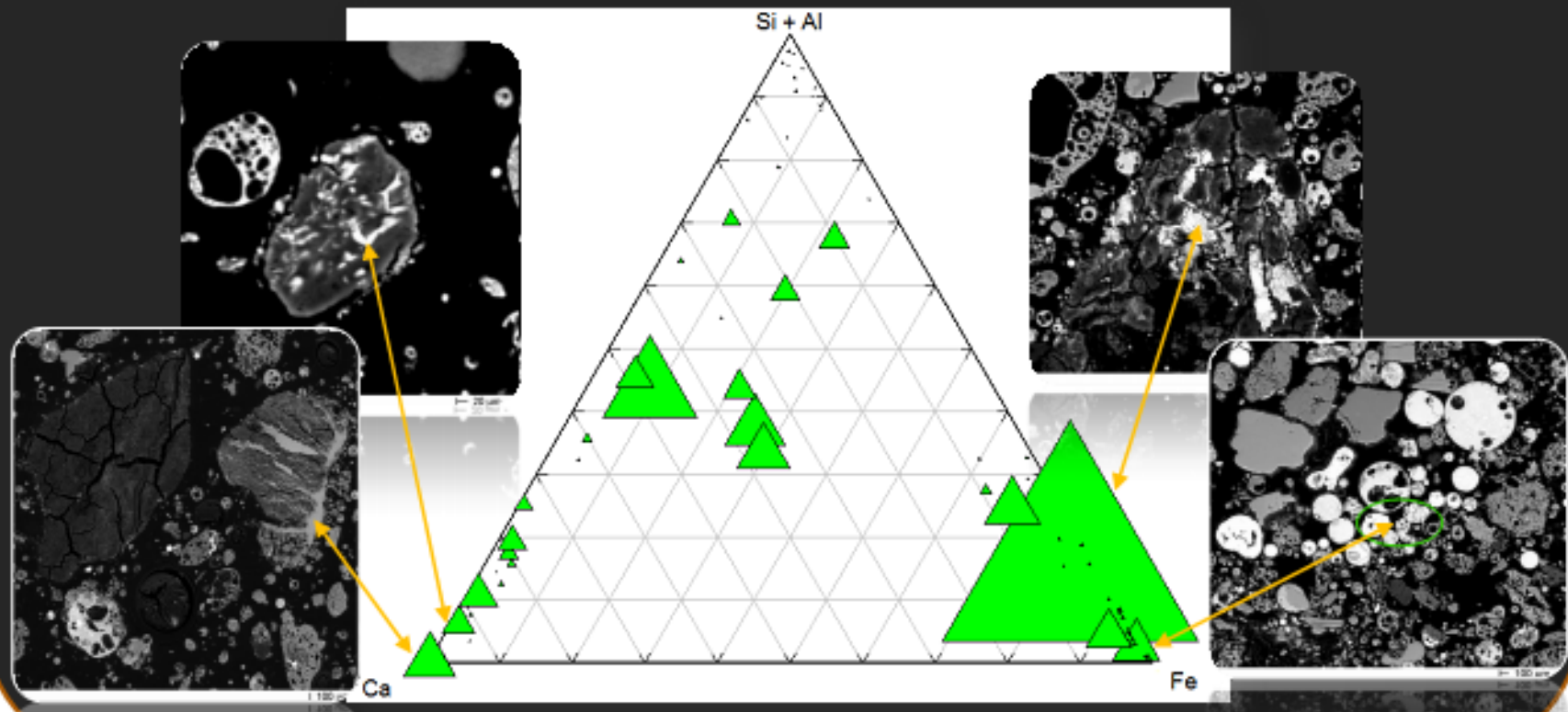
Snímky (TEM) agregátov nanočastíc obsahujúcich As a zodpovedajúce EDS analýzy



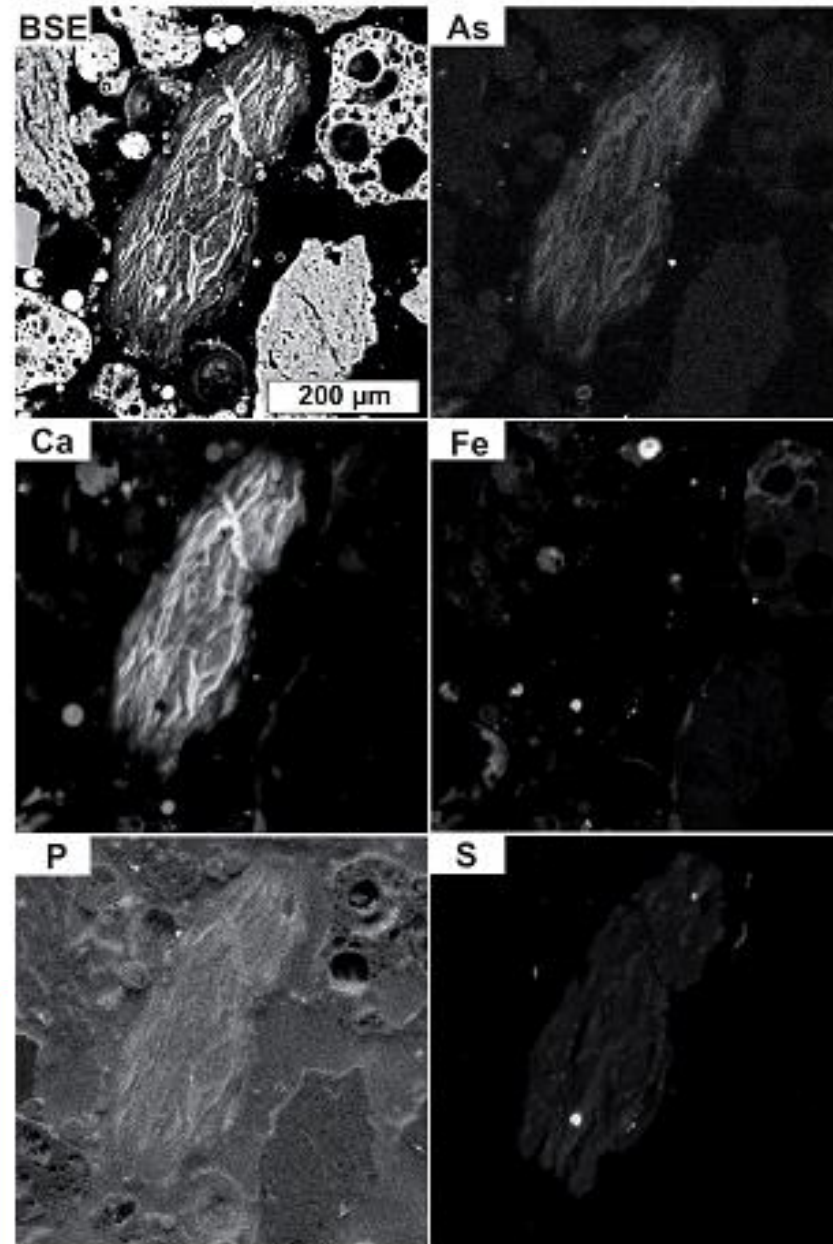
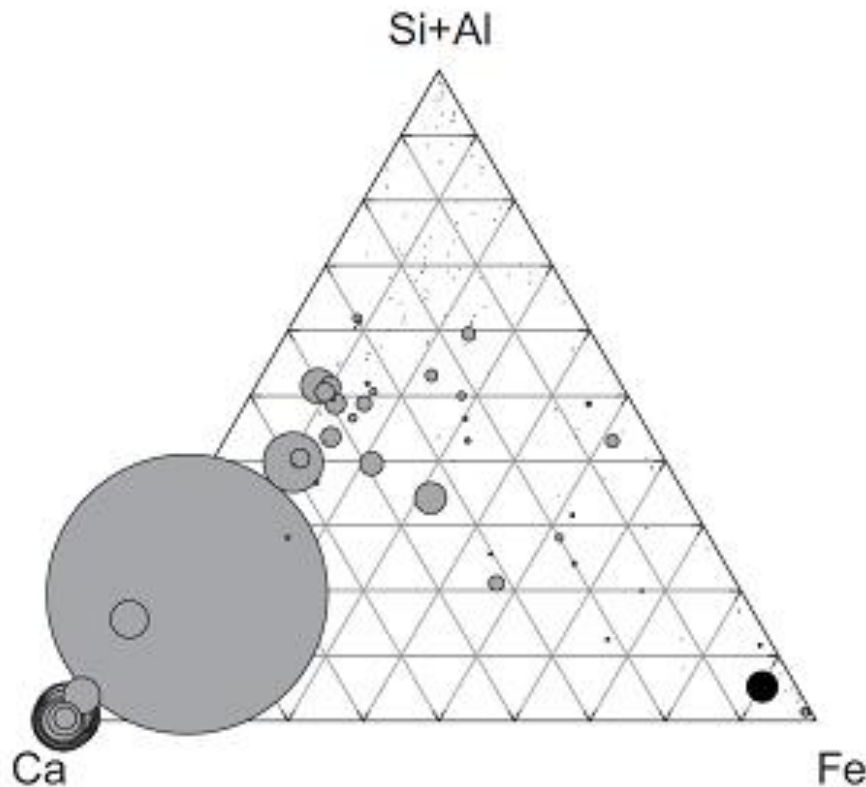
Príklady mineralogických analýz popolového materiálu (EDS, WDS)



Triangular plot of As-containing constituents from depth 60 cm



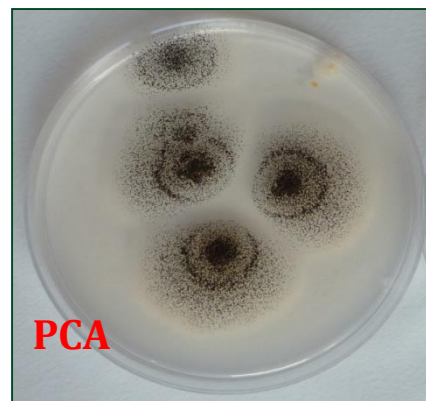
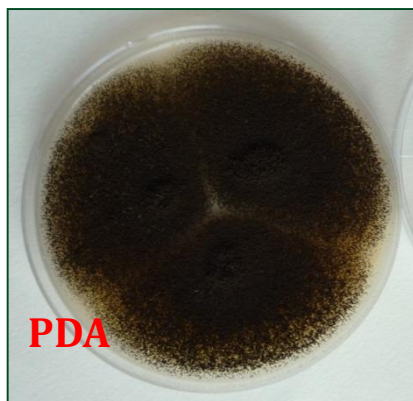
„čerstvý“ popol – odkalisko Zemianske Kostolány



Bolanz, R. M.,
Majzlan, J., Jurkovič,
L., Göttlicher, J.:
Speciation of arsenic
in ash waste from
central Slovakia

Mikrobiologická charakteristika pochovaných popolových sedimentov

1. identifikovať druhovú diverzitu kontaminovaných pôd so zameraním na mikroskopické vlákňité huby a baktérie
2. zhodnotiť mieru bioakumulácie, biovolatilizácie a biolúhovania arzénu autochtónnou biomasou a biomasou obohatenou o vybrané druhy mikroorganizmov (*Aspergillus niger*, *Pseudomonas putida* a *Pseudomonas chlororaphis*)
3. posúdiť potenciál biomasy v bioremediácii pôd modelovej lokality

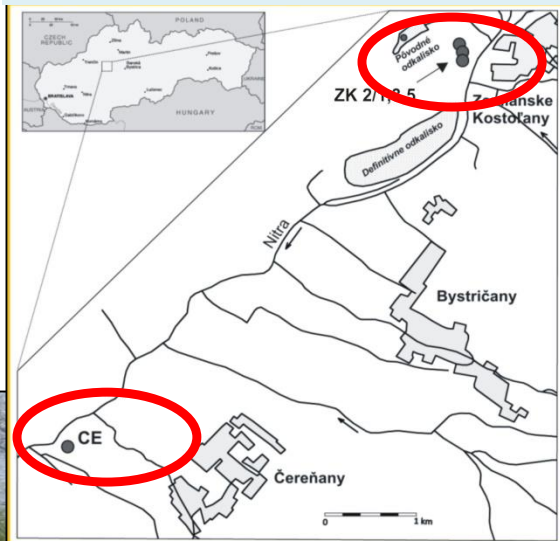


Aspergillus niger na rôznych druhoch živných pôd

Materiál pre mikrobiologické štúdium

- pre účely mikrobiologického štúdia odobratých 6 pôdnych vzoriek
- z nivnej terasy pod Pôvodným odkaliskom v lokalite Zemianske Kostol'any boli odobraté štyri pôdne substráty z hĺbky 0 - 15 cm (ZK1, ZK2, ZK3, ZK4) a jedna vzorka z hĺbky 15 - 30 cm (ZK5)
-
- vzorka **CE** pochádza z poľnohospodárskej pôdy v katastri obce Čereňany z hĺbky 0 - 15 cm.

Mapa odberových miest vybraných pevných vzoriek

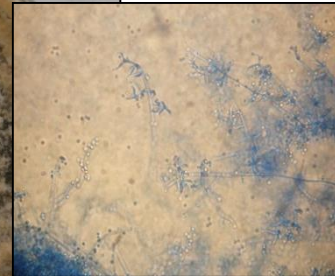
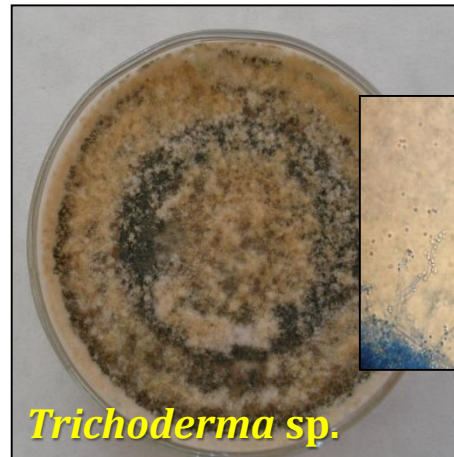
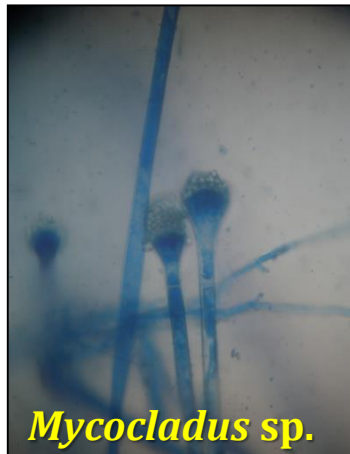
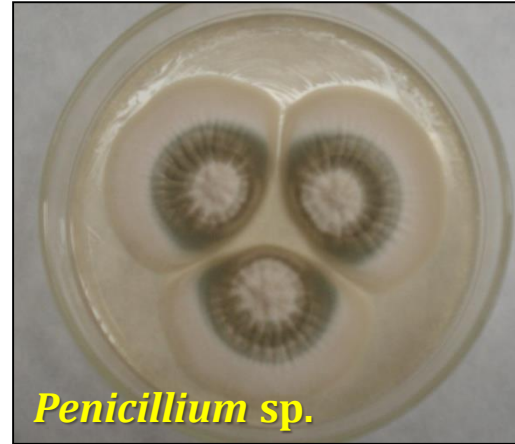
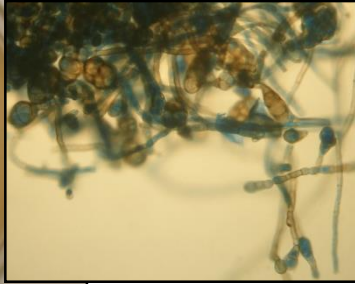
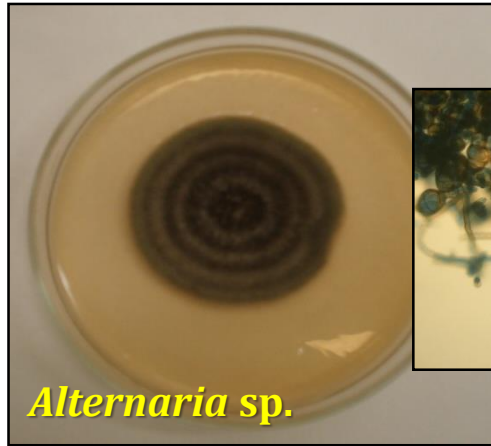


Vzorka	Celkové obsahy As (mg.kg ⁻¹)
ZK 1	264
ZK 2	93
ZK 3	193
ZK 4	230
ZK 5	634
CE	377



Biodiverzita pôdnych mikroorganizmov

Mikroskopické huby



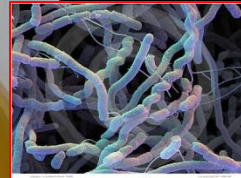
Biodiverzita pôdných mikroorganizmov

Baktérie

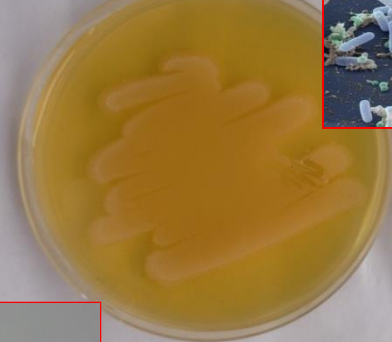
Pseudomonas putida



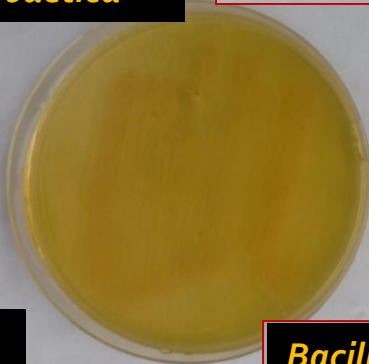
Streptomyces sp.



Bacillus pumilus



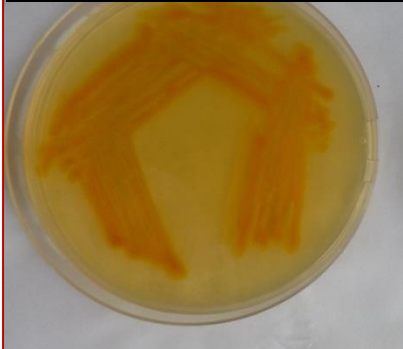
P. baetica



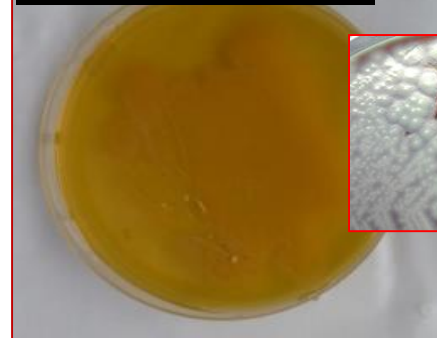
P. chlororaphis



Chryseobacterium sp.



Bacillus cereus



Uncultured Firmicutes bacterium

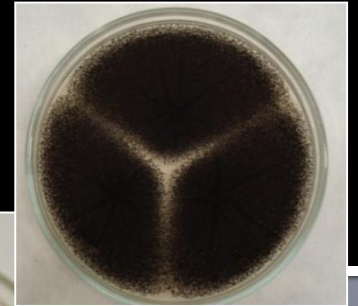


Bioakumulácia, biovolatilizácia a biolúhovanie arzénu autochtónnym druhom mikroskopickej vláknitej huby

druh: *Aspergillus niger*

izolovaný zo vzorky: ZK 5 (popolová vzorka)

kultivácia: 29 dní, navážka: 1 g pôdy



Izolovaný druh *Aspergillus niger* na Petriho miske a detailnejší pohľad na konídiofóry.

Okrem vypestovaného *A. niger* sa vo vzorkách prefiltrovaného mycélia identifikovala autochtónna mykoflóra zastúpená druhmi rodu *Phialophora*, *Epicoccum*, *Fusarium* a *Alternaria*.

Biolúhovanie arzénu

- použité živné médium: Sabouraudov agar
- v priemere sa uvolnilo 17,04 % arzénu
- najviac arzénu ($147,70 \text{ mg.kg}^{-1}$) sa extrahovalo zo vzorky poľnohospodársky využívannej pôdy (CE), čo z celkového obsahu As predstavuje 39,18 %



Vzorka	Celkový obsah As	As vo vzorke po kultivácii	As akumulovaný v mycéliu	As v SAB médiu	Vypočítané obsahy volatilizovaného As
ZK 1	264	105,58	19,01	28,04	111,37
ZK 2	93	13,19	14,82	9,86	55,13
ZK 3	193	36,4	19,19	22,95	114,46
ZK 4	230	54,74	51,58	42,01	81,67
ZK 5	634	127,81	102,77	74,06	329,36
CE	377	23,526	39,84	147,70	165,93

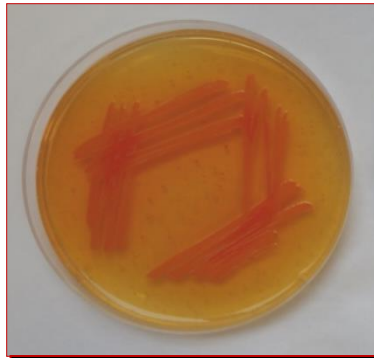
Bioakumulácia arzénu

- obsah As v mycéliu vyprodukovanom počas kultivácie
- vo vysušených a rozložených mycéliách *A. niger* sa bioakumulovalo v priemere **13,72 % As** z celkových obsahov skúmaných vzoriek



Vzorka	Celkový obsah As	As vo vzorke po kultivácii	As akumulovaný v mycéliu	As v SAB médiu	Vypočítané obsahy volatilizovaného As
ZK 1	264	105,58	19,01	28,04	111,37
ZK 2	93	13,19	14,82	9,86	55,13
ZK 3	193	36,4	19,19	22,95	114,46
ZK 4	230	54,74	51,58	42,01	81,67
ZK 5	634	127,81	102,77	74,06	329,36
CE	377	23,526	39,84	147,70	165,93

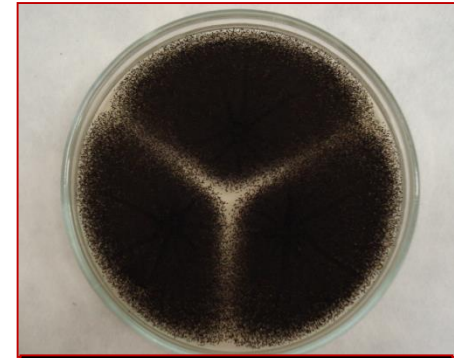
Biolúhovanie pôdnych substrátov autochtónnymi druhmi mikroskopической huby a baktérii



P. chlororaphis



P. putida



A. niger

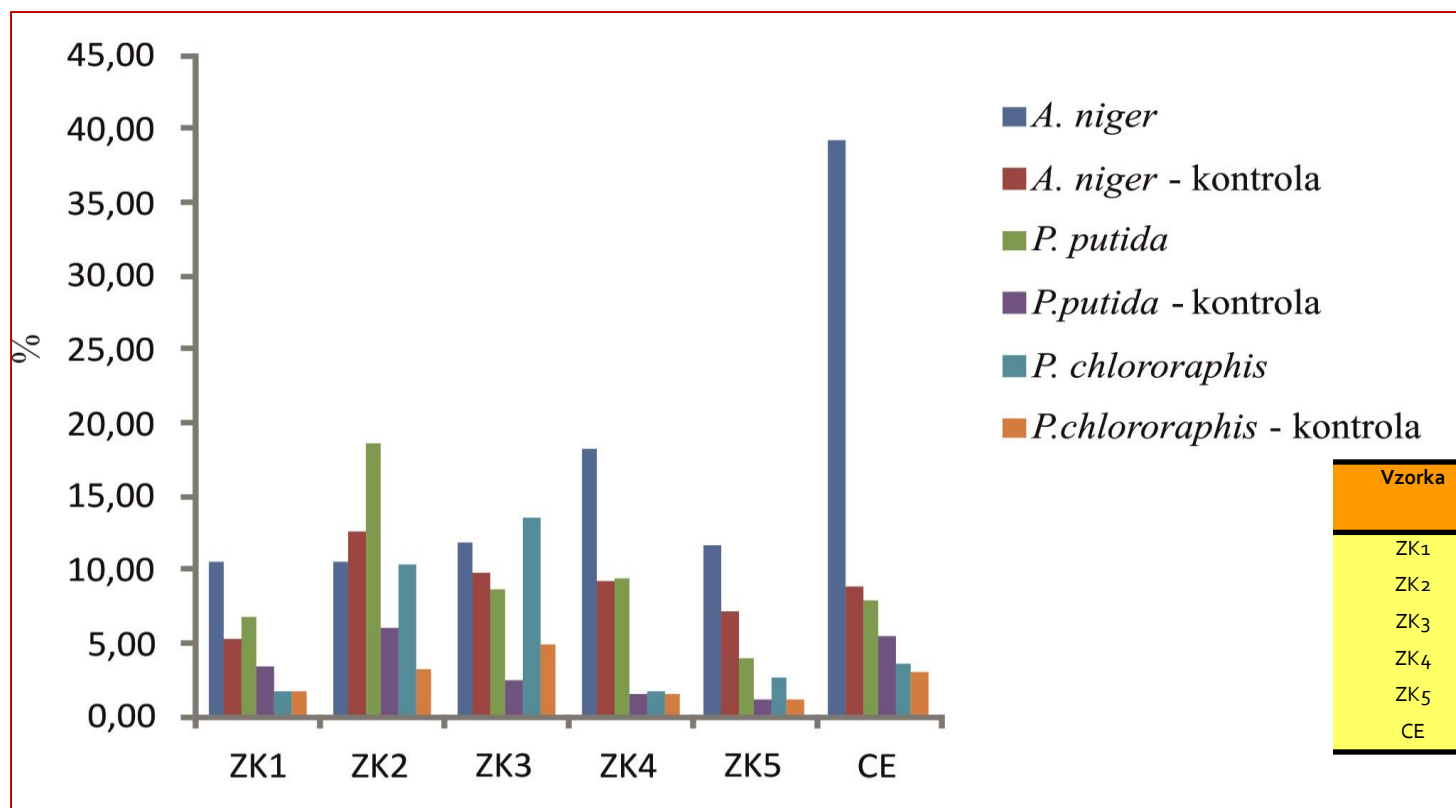
1 g substrátu + 100 ml tekutého
TSM s druhom *P. putida* alebo
s *P. chlororaphis*

1 g substrátu + 95 ml
tekutého SAB + 5 ml
suspenzie *A. niger*



Biolúhovanie pôdnych substrátov autochtónnymi druhmi mikroskopickej huby a baktérii

Účinnosť biolúhovania arzénu (%) vybranými druhmi mikroorganizmov



Vzorka	Astot (mg.kg ⁻¹)
ZK1	264
ZK2	93
ZK3	193
ZK4	230
ZK5	634
CE	377

***Aspergillus niger* (17,04 %) > *Pseudomonas putida* (9,23 %) > *Pseudomonas chlororaphis* (5,62 %)**

Odkalisko SLOVINKY



Odkalisko sa začalo stavať v roku 1967 s projektovanou výškou jej navýšenia aby hrádza dosiahla 133 m. Jeho životnosť bola plánovaná do roku 2000. Plánovaný maximálny objem odkaliska je 6 468 000 m³.

Odkalisko SLOVINKY – environmentálna záťaž?

Odkalisko nad obcou Slovinky - údolné odkalisko s druhom ukladaného materiálu R (kal z úpravy rudy), podľa zákona č. 223/2001 Z. z. o odpadoch kategórie O (ostatný odpad). Odkalisko je nevyužité, vo vrchnej časti súvislá vrstva jemnozrnnej priemyselnej strusky (cca 5-6 m) z Kovohút Krompachy. Povrchová vrstva nie je zrekultivovaná, jedná sa o tzv. „suché odkalisko“.

Mineralogické zloženie kalov: kremeň, siderit, tetraedrit, chalkopyrit, pyrit. Sulfidy: chalkopyrit, tetraedrit, arzenopyrit, pyrit, zriedkavo galenit, sfalerit, bornit, bournonit, jamesonit, antimonit, Bi sulfosoli, Cu - arzenopyrit (Antal, 1990).

Významným kontaminantom je As, Cu, Sb, Ba, Hg a Mo. Lokalita Slovinky (ťažba Fe-rúd) bola vyčlenená ako ôsma najohrozenejšiu, kde sanačné riešenie negatívnych vplyvov banskej činnosti na životné prostredie je nevyhnutné (MŽP SR, SAŽP, 2005), ale okrem technických prác zameraných na úpravu drenážneho systému odkaliska sa k sanačným prácam dodnes nepristúpilo.

**Vrtné jadro
flotačný kal
- vrt SLO 1**

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe celk.	CaO	MgO	TiO ₂	MnO
	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.
200-300	38,96	5,68	41,61	7,18	2,97	0,239	0,318
900-1000	61,24	7,98	13,4	1,9	3	0,3	0,396
1800-1900	58,11	7,37	14,86	1,8	3,57	0,293	0,483

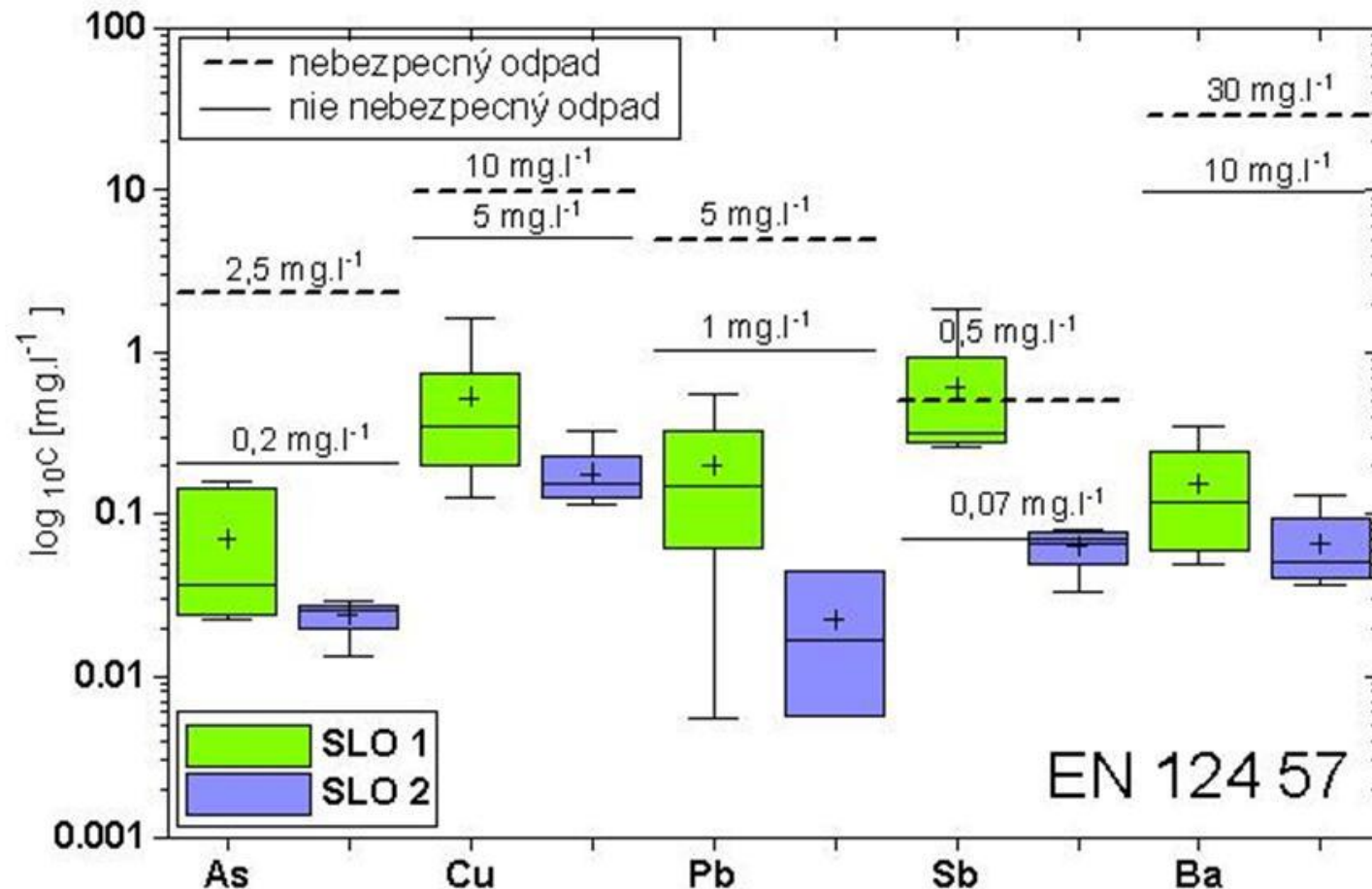
	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Scelk.	Ssulf	SO ₃	strz_950
	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.	% suš.
200-300	0,38	0,38	0,09	0,47	0,44	0,08	-0,02
900-1000	0,06	0,22	0,06	0,37	0,33	0,12	7,87
1800-1900	0,05	0,15	0,06	0,16	0,13	0,06	8,5

	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni	As
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
200-300	6682	35931	1397	2,788	244	321	188,9
900-1000	1635	2389	221	-0,3	27	50	230,6
1800-1900	1775	5167	439	-0,3	26	62	98,4

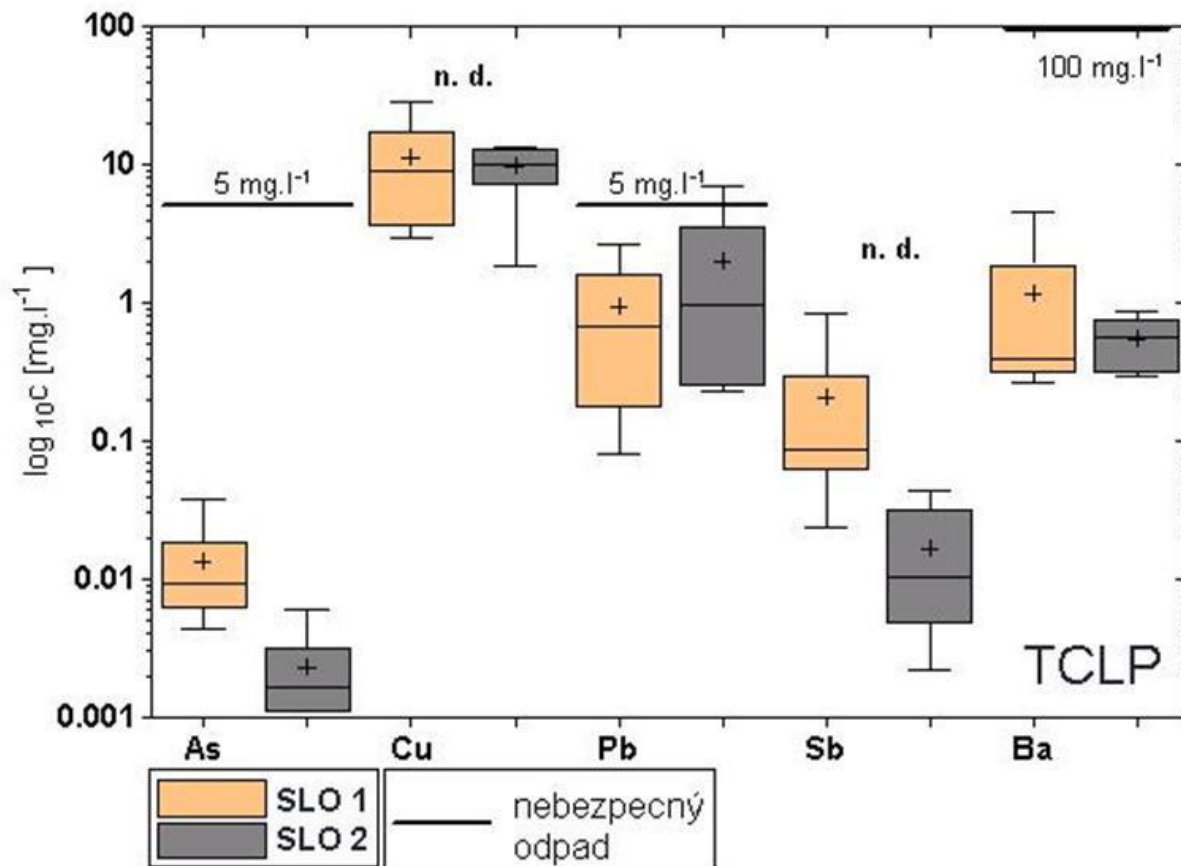
	Sb	Hg	Ba	Sn	Cr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
200-300	350,6	0,325	1011,1	1295	2695
900-1000	101,1	1,305	1075,4	1451	2843
1800-1900	139,4	2,049	1083,9	235	527



Koncentrácie sledovaných stopových prvkov vo vodnom výluhu z odkaliskových sedimentov podľa EN 12457
limitné hodnoty pre hodnotenie pre nie-nebezpečný odpad

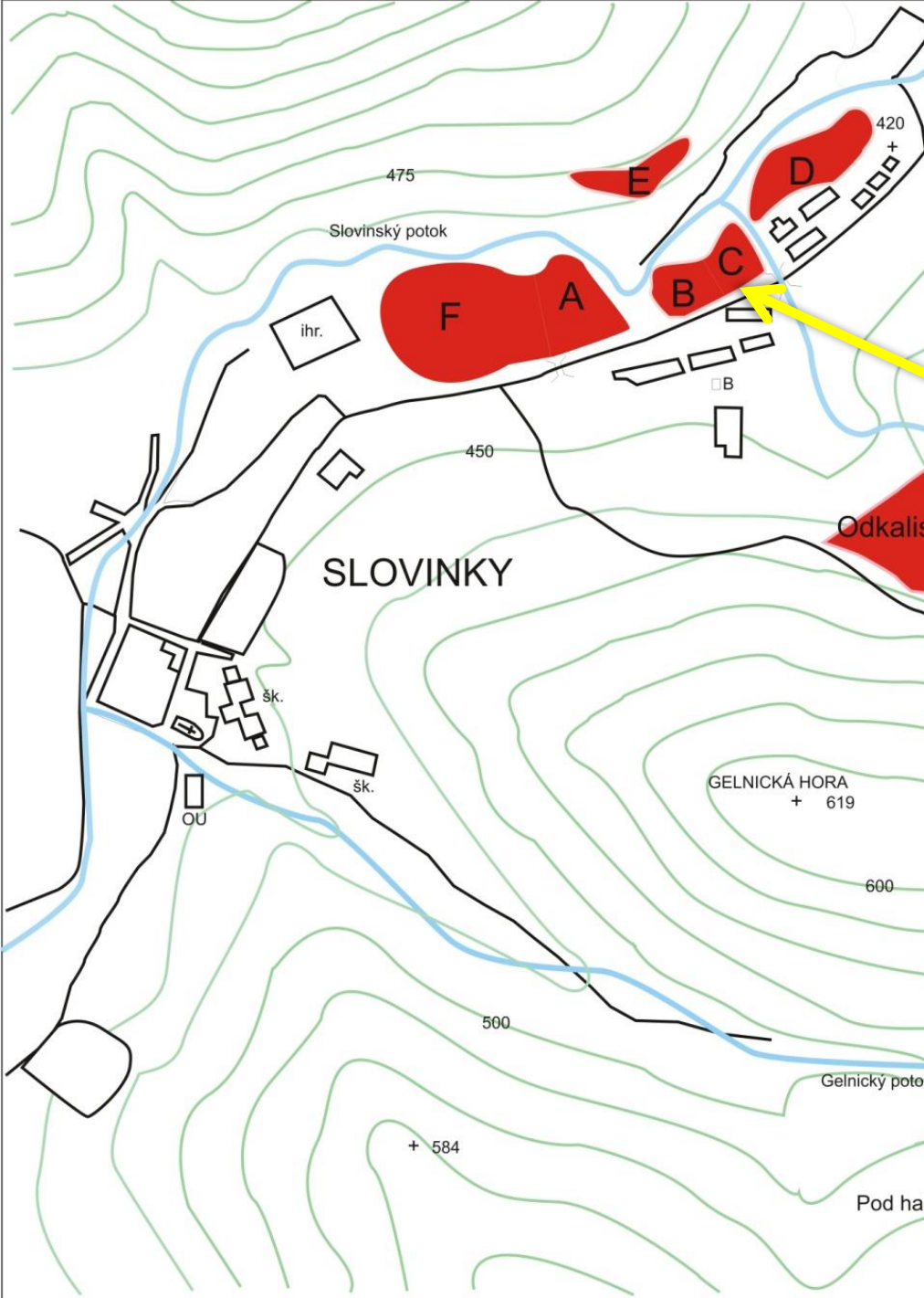


Koncentrácie sledovaných stopových prvkov v slabokyslom výluhu z odkaliskových sedimentov podľa metodiky TCLP 1311.



limitné hodnoty pre Sb (0,05 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti I, 0,1 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti II, 5 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti III.), Cu (0,1 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti I, 1,0 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti II, 10 mg.l⁻¹ pre triedu vylúhovateľnosti III) podľa limitných hodnôt zákona 606/1992 Zb.z.

I. trieda vylúhovateľnosti predstavuje najnižšie vylúhované množstvo prvkov, III. trieda najvyššie množstvo vylúhovaných prvkov.





Súčasný stav na lokalite Slovinky



Odkalisko MEDZIBROD

opustené Sb-Au ložisko (Nízke Tatry)

- ťažba od roku 1926, hlavná doba ťažby a spracovania rudy 1941-1945
- 32 ton rudy denne, cca 9000 ton ročne, opustené od 1950
- spracovanie rudy v miestnej
flotačnej prevádzke (1935 – 1950)

⇒ **ODKALISKO**



Odkalisko MEDZIBROD opustené Sb-Au ložisko (Nízke Tatry)





**voľne deponované
odkaliskové kaly a
ťažobné odpady na
lokalite Medzibrod**



Odkalisko MEDZIBROD opustené Sb-ložisko

Materiál odkaliska

0 – 20 cm, oxidized sediment with yellowish-brown and orange tint

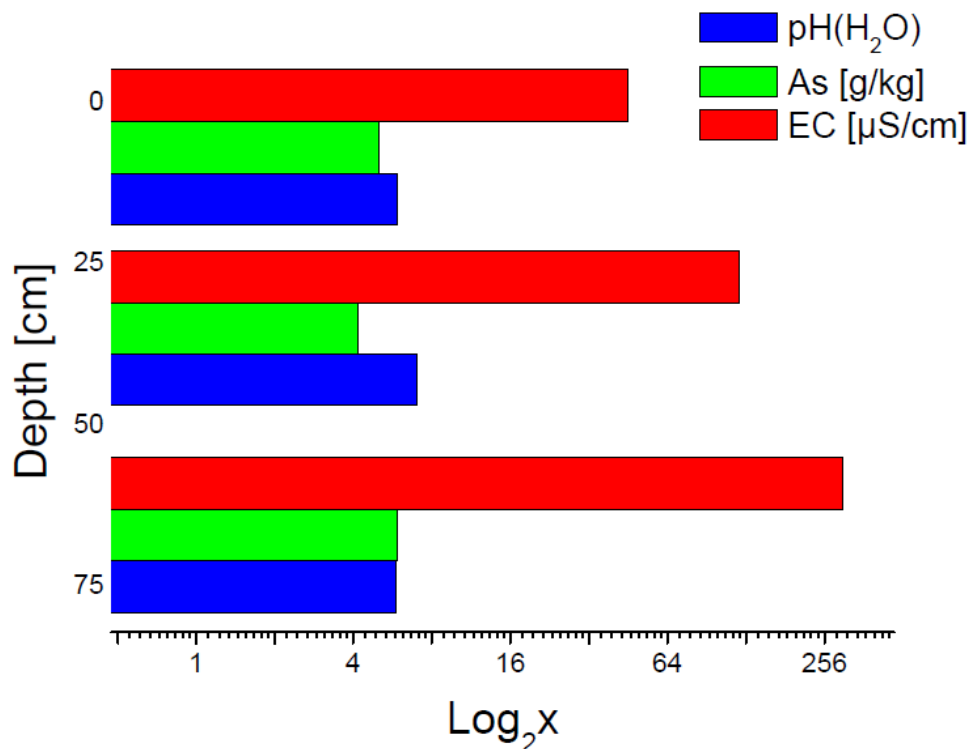
20 – 50 cm, changing of oxidized sediment with layers of fresh waste in the thickness of 1-10 cm, lower part is saturated by water

50 cm – subsoil, fresh clayey sediment saturated by water



Odkalisko MEDZIBROD

opustené Sb-Au ložisko (Nízke Tatry)



- povrch odkaliska ~ 800 m²

- koncentrácie polutantov
vo výtoku z odkaliska:

As – 0,4 mg/l, Sb – 0,58 mg/l

(Blaha et al., 1993),

- 70 kg kalcitu na 1 tonu

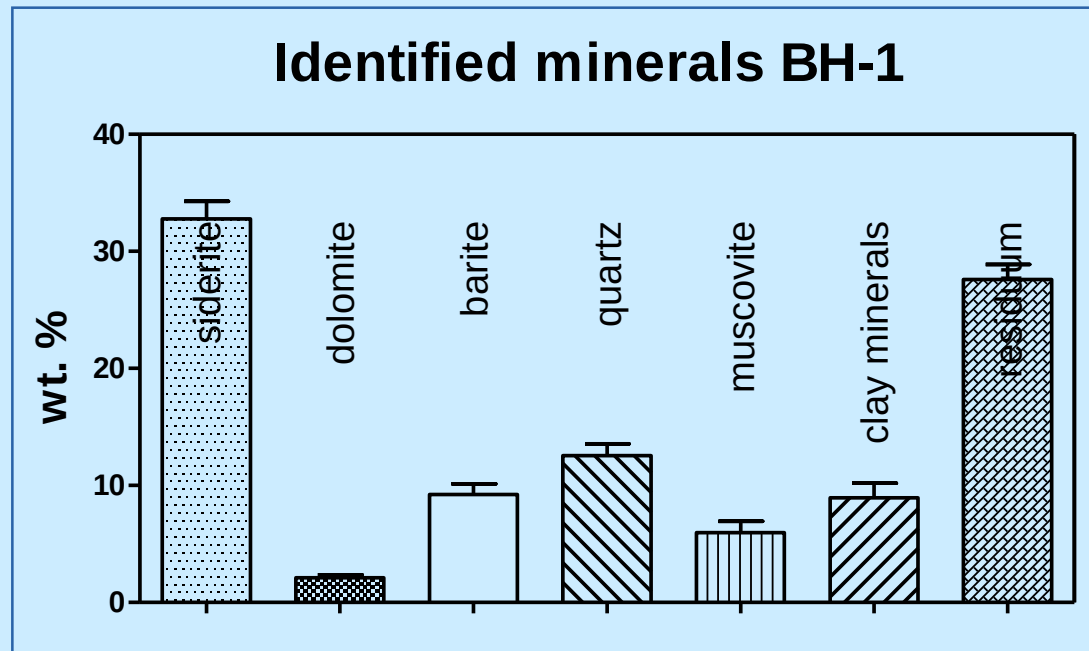
odpadu = **NIE AMD**

(Chovan et al., 2010)

	As	Sb	Pb	Zn	Cu	Hg	Fe
units	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	wt.%
MDZ 6	5295,3	3013,3	150,2	16,5	20	0,4	2,1

Doplňujúce kroky pre stanovenie základnej charakteristiky ťažobného odpadu

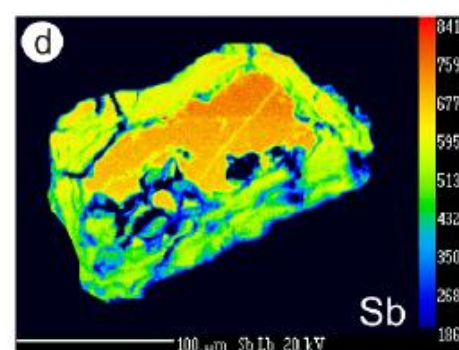
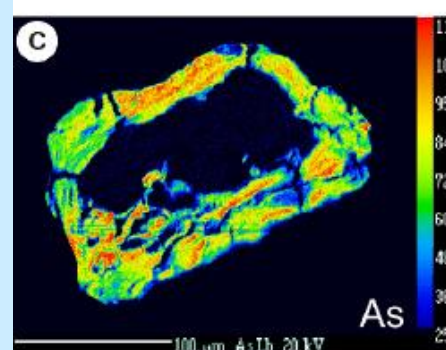
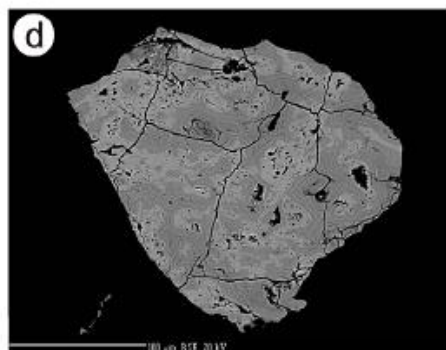
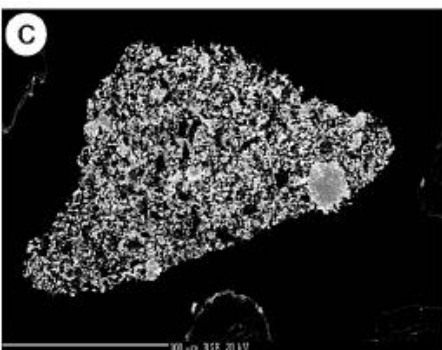
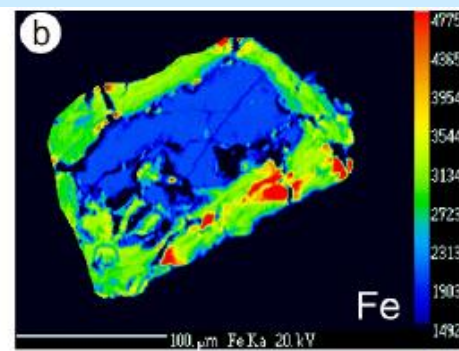
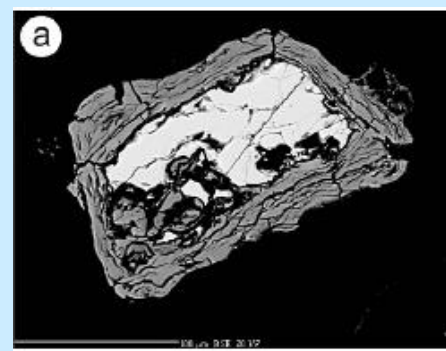
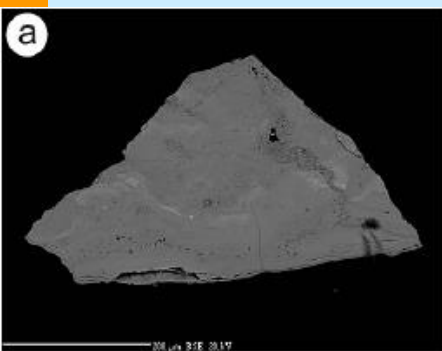
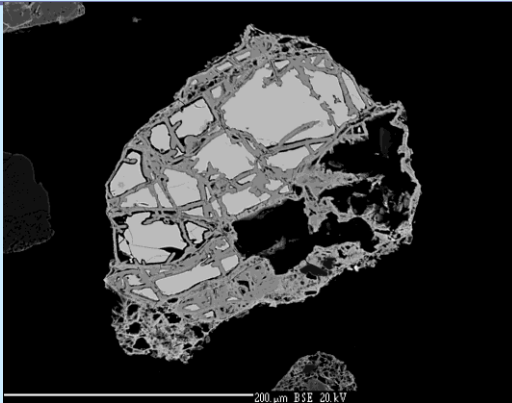
Kvantitatívna XRD mineralogická analýza (s použitím vnútorného štandardu) - vyhodnotenie a spresnenie využitím na to určených softwearov



Chalcopyrite $[\text{CuFeS}_2]$ > pyrite $[\text{FeS}_2]$ > tetrahedrite $[(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$ >
arsenopyrite $[\text{FeAsS}]$

Chemická analýza ťažkej frakcie na hlavný/é kontaminanty

Identifikácia minerálnych fáz ťažkej frakcie vo výbruse



Šírenie znečistenia – lokality po ťažbe nerastných surovín

- **kontaminácia sa šíri v rozpustenej forme vo vode (v závislosti hlavne od pH a Eh)**
- **pri zmenách pH a Eh (miešanie s povrchovými vodami, výtok banských vôd z podzemia do oxidačných podmienok) prichádza k vyzrážaniu pevných fáz (predovšetkým oxyhydroxidov Fe)**
- **veľmi jemné častice transportované na veľké vzdialenosti – kontaminácia riečnych a jazerných sedimentov – remobilizácia potenciálne toxických prvkov**
- **pri analýze vôd sú odfiltrované, nie sú analyzované, nie je možné ich v rámci AR hodnotiť**

Fe okrove suspenzie - POPROČ

- ▶ 100 l vzorka banskej vody - 4,29 g Fe okrov = 0,0429 g/l
 - ▶ Toto veľké množstvo odzrkadľuje aj stav v okolí štôlne Agnes
- ▶ Pri nemenných podmienkach a výtoku 5 l/s
- ▶ → 18,5 kg zrazenín /deň → za rok: 6 752 kg okrov
- ▶ → 28 kg Sb resp. 68 kg As ročne
- ▶ Tvorba zrazenín znižuje množstvo rozpusteného Fe a iných prvkov (As a Sb)

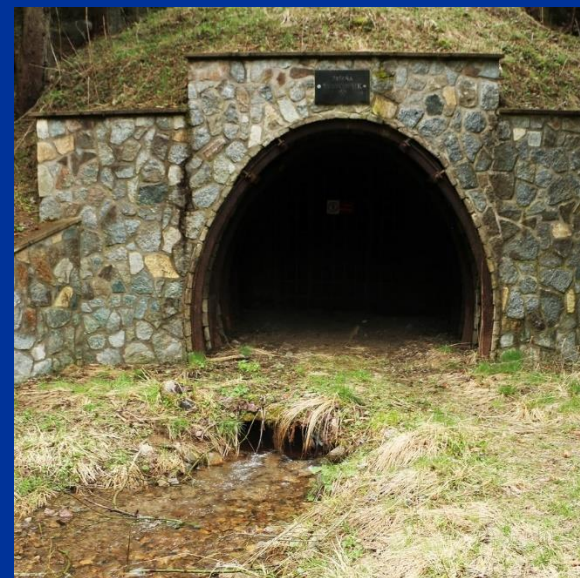
(n=5)	[mg/kg]									
	Fe	As	Sb	Zn	Pb	P	Cl	K	Ti	Mn
Priemer	1 990 531	59 403	18 898	1 725	587	7 922	3 423	4 500	1 291	466
Min	1 902 320	56 822	16 355	1 680	421	7 120	3 121	4 198	980	397
Max	2 082 987	62 348	19 751	1 835	730	8 830	3 987	6 112	1 431	655



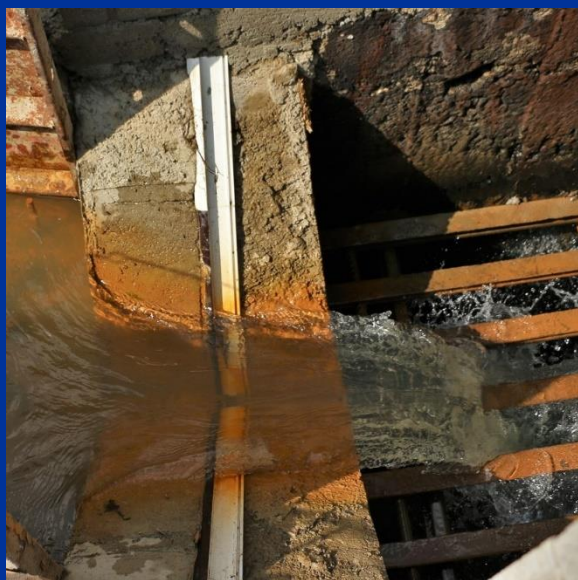
Smolník



Poproč



Důbrava



Slovinky



Merník

► Prehľad kvantitatívnych a kvalitatívnych vlastností vzoriek

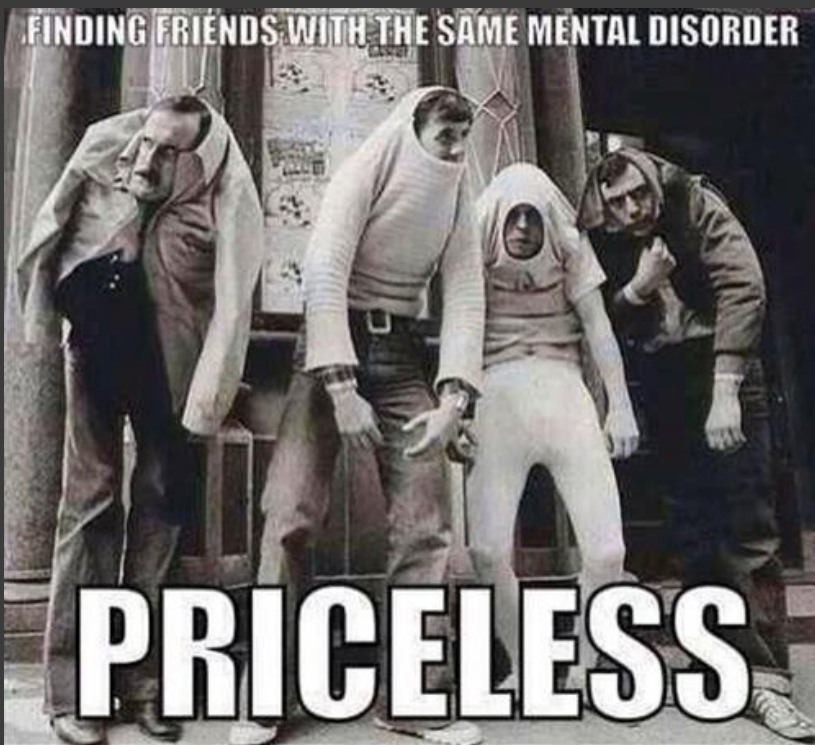
VZORKA	objem vody [ml]	množstvo filtrátu [g]	g/l	Fe [mg/l]
SMOLNÍK	2 830	0,7169	0,2533	222,4055
POPROČ	2 605	0,101	0,0388	15,9321
DÚBRAVA	5 290	0,0218	0,0041	<DL
SLOVINKY	11 000	0,0838	0,0076	2,4744
MERNÍK - V1	810	0,0384	0,0474	0,0870
MERNÍK - V2	880	0,2704	0,3073	0,0520

Obsah Ni a Hg v
pevnej zložke po
filtrácii vôd z lokality
Merník

VZORKA	[mg/kg]	
	Ni	Hg
MERNÍK - V1	750	3,2
MERNÍK - V2	339	2,7

Koncentrácie vybraných
prvkov v okrových
zrazeninách z lokality
Merník

	Cu	Zn	Vo	Ni	As	Sb	Hg	Cr	Fe
Vzorka	mg/kg sušiny								% sušiny
MERNÍK - V1	121	73	15	71	46,75	0,84	0,69	199	17,44
MERNÍK - V2	109	106	20	358	20,17	1,14	2,21	519	22,81



Murphy's Law

Never replicate a successful experiment.

Ďakujem za pozornosť...

