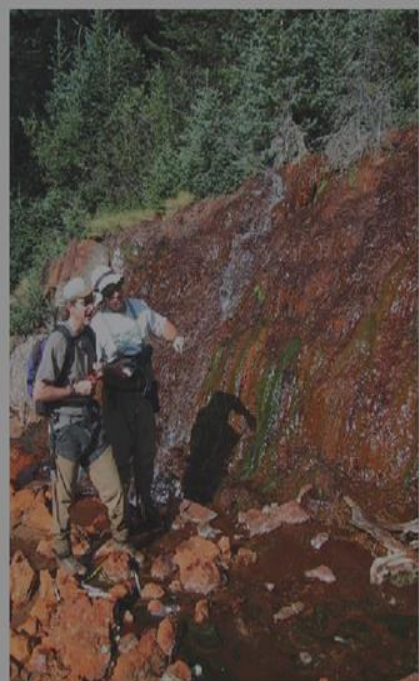




Kontaminácia pôdy banskými odpadmi



Najvýznamnejšie rudné ložiská na Slovensku:

- Ardovo, Betliar-Čučma, Dobšinské rudné pole, Dúbrava, Jasenie-Soviansko, Kremnické rudné pole, Ľubietová, Magurka, Malachov-Veľká studňa, Merník, Mlynky, Nižná Slaná-Kobeliarovo, Novoveská huta Cu, Novoveská huta U-Mo, Pezinok Sb, Pezinok-Pernek, Poproč, Rákoš, Rožňavské rudné pole, Rudnianske rudné pole, Slovinsko-gelnické rudné pole, Smolník, Špania dolina, Štiavnický rudný rajón, Zlatá baňa, Zlatá Idka, Železník
- Všetky z uvedených lokalít patria k prirodzeným **geochemickým anomáliám** → výskyt zrudnenia → ťažba



Malé Karpaty - Pezinok

- Najstaršie písomné správy o počiatkoch baníctva v Malých Karpatoch pochádzajú zo začiatku 13.storočia, za účelom ťažby zlatých, strieborných a iných rúd.
- Neskôr - ťažba pyritu na výrobu kyseliny sírovej. Pravdepodobne najväčší rozmach získavanie rudy zaznamenalo v období rokov 1855 až 1896.
- Od konca 18. storočia: ťažba antimonitu v danej lokalite; bola zastavená v máji 1991.



Malé Karpaty - Pezinok

V rámci oblasti boli vyčlenené 4 tzv. produktívne rudonosné zóny:

1. Pezinok - Kolársky vrch
2. Rýhová - Augustín - Karol, Trojárová
3. Rybníček - Čertov kopec - Krížnica
4. Köberling - Skalnatá - Kuchynská dolina



Malé Karpaty - Pezinok

- Typy mineralizácie – zrudnení, ktoré sa uplatnili na vzniku ložísk:
 1. Metamorfované, primárne exhalačno – sedimentárne pyritové zrudnenie; dominantným rudným minerálom je pyrit, sprevádzaný pyrotínom; akcesoricky v danom zrudnení vystupujú chalkopyrit, sfalerit, uraninit, markazit, magnetit...
 2. Hydrotermálne zrudnenie (Cu-Pb, Pb-Zn, Sb-Au), je pokladané za mladšie, súvisiace s intrúziou granitoidov počas hercýnskej periódy; rudné minerály: pyrit – hydrotermálny - zonálny s prímiesami As, arzenopyrit, antimonit, jamesonit, lollingit, kermezit, valentinit, bizmut, horobetsuit...
- Odkaliská v oblasti sú sústredené do oblasti Hrubej doliny: najväčšie a súčasne najmladšie je odkalisko rudných baní; ďalšie sú Augustín, Čmele, Trojárová, Michal
- V materiály odkaliska sú zastúpené hlavne nasledovné minerály: pyrit, arzenopyrit, gudmundit, Fe-oxihydroxidy, sadrovec, jarožit...

Malé Karpaty - Pezinok - vplyv na ž.p. a pôdy

- Vody Hrubého potoka obsahujú Sb a As v množstvách prevyšujúcich normy pre povrchové vody; povrchové vody sú v priamej hydraulikej spojitosti s podzemnými vodami; napriek tomu znečistenie puklinových podzemných vôd podložných kryštallických hornín pravdepodobne nehrozí
- Čo sa pôd týka tak **kontaminácia postihuje aluviálne pôdne typy** Hrubej doliny (fluvizeme, gleje, prípadne ich prechodné typy)
- Kontaminácia má „polymetalický“ charakter - **nad úroveň C** normy ministerstva pôdohospodárstva SR č. 531/1994-540 vystupujú obsahy prvkov **As, Ni, V** a **Se**
- do B úrovne (analyticky preukázaná kontaminácia) zasahujú obsahy Mo, Cu, Zn, Cr a Co
- Veľmi vysoké hodnoty boli zistené **aj v prípade Sb** (siahajúce až do tisícok mg/kg). Množstvá antimónu sú nepochybne toxické, avšak v rámci spomínanej normy pre Sb nie sú určené limitné hodnoty
- Vegetácia s výnimkou hálď však napriek tomu kontaminované pôdy osídľuje a nejaví pritom známky výraznejšej toxicity

Štiavnický rudný rajón

- bohatá história banskej činnosti
- zlato-strieborné rudy začali ťažiť pravdepodobne už kelti v 3-2 stor. p.n.l.
- v stredoveku - významné množstvá striebra; výnosnosť ťažby kulminovala v r. 1691
- celkovo banská činnosť dosiahla vrchol v období rokov 1740-1866 kedy sa ročne ťažilo 166 kg Au, 7612 kg Ag, značné množstvá Pb a menej Cu



Štiavnický rudný rajón

Geologická stavba Štiavnicko-hodrušského zrudnenia

1. Karpatský fundament (vystupuje na povrch v hodrušskej SZ časti):

- paleozoikum: kryštallické bridlice, konglomeráty, pieskovce
- mezozoické sedimenty: kvarcity, verfénske bridlice a vápence, evapority, dolomity
- sedimenty paleogén-eocén: bazálne konglomeráty, pieskovce a vápence

2. Neogénne vulkanicko-intruzívne formácie (dve stratovulkanické časti):

- spodná stratovulkanická stavba: produkty explozívno-efuzívnej aktivity bádenského veku (dominujú pyroxénové andezity); horniny sú výrazne postihnuté propylitizáciou (hydrotermálna premena vyvretých hornín) a tvoria prostredie najvýznamnejších žíl; dva najdôležitešie komplexy: komplex dioritovo-granodioritového zloženia; komplex kremeňovo-dioritových porfýrov niekoľkých generácií
- vrchná stratovulkanická stavba: explozívno-efuzívne produkty pyroxenických a amfibolicko-pyroxenických andezitov sarmatského veku, prakticky nepostihnutá regionálnou propylitizáciou

Štiavnický rudný rajón

Geologická stavba Štiavnicko-hodrušského zrudnenia

3. centrálna časť stratovulkánu je tvorená produktmi ryolitového a alkalického čadičového vulkanizmu: nefelinické bazanity al. plagioklasové alkalické bazalty s olivínom a nefelínom



Štiavnický rudný rajón

Dve významné zrudnenia štiavnického stratovulkánu:

- štiavnicko-hodrušské: úzko späté s centrálnou vulkanicko-tektonickou časťou
- pukanecko-novobanské



Štiavnický rudný rajón

Štiavnicko-hodrušské zrudnenie: na ploche viac ako 100 km² je známych viac ako 120 rudných žíl, ktorých hrúbka sa pohybuje od niekoľkých dm po niekoľko m

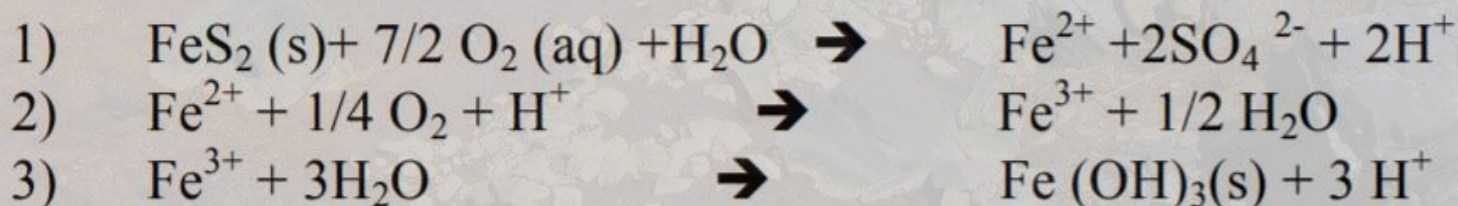
Typ zrudnenia / mineralizácie

- drahokovovo-polymetalická mineralizácia - pre jej počiatkové štádium je charakteristická asociácia kremeň, zlato, pyrit, sfalerit a karbonát; neskoršie štádiá zodpovedajú epitermálnej Au-polymetalickej mineralizácii
- v tektonicky porušených vápencoch a ílovitých vápencoch karpatského fundamentu je vyvinuté metasomatické zrudnenie: ich kovnosť dosahovala 10-30%; **Pb, Zn, Cu (lokálne môže byť zvýšený obsah Cd)** ; hlavné rudné minerály: galenit, sfalerit, chalkopyrit, pyrit; vedľajšie: hematit, markazit, Ag tetraedrit, scheelit, Au a Ag, Pb, Bi, Sb sulfosoli

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Šobov

- zdroj znečistenia: lom sekundárneho kremenca (hydrokvarcit), nachádzajú sa v ňom horniny s vysokým obsahom pyritu, pyrofylitu, illitu a kremeňa; podobný horninový materiál s prevahou pyritu sa nachádza aj na halde (cca. 300 tisíc m³)
- **oxidácia pyritu** → **vznik H₂SO₄**, kyslé roztoky urýchľujú zvetrávanie minerálov, následkom čoho sa do vôd a prostredia uvoľňuje **toxický Al**; na lokalite sú priesaky kyslých vôd smerom do podložia miestami brzdené nepriepustnou vrstvou hydrotermálne premenených tufov; neďaleko - okolie Belianskeho jazera a Belianskeho potoka - nebezpečenstvo kontaminácie podzemných vôd





Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Šobov

- pyrit na haldách nie je oxidovaný iba kyslíkom (či už vzdušným alebo obsiahnutým vo vode) - možná je dodatočná oxidácia trojmocným železom a aktivitou baktérií *Thiobacillus ferrooxidans*



Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Šobov - negatívne následky prejavujúce sa na pôdných vlastnostiach

1. **výrazná acidifikácia**

2. zvýšenie salinity pôd nad úroveň $900 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ lokálne až na $4000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

3. zrážanie jarožitu, oxihydroxidov Fe a sadrovca predstavuje určitú fyzikálnu bariéru pre rastliny a iné pôdne organizmy

4. deficit makroživín Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a P (fixácia na Al a Fe)

5. **toxická hliníka**, pri $\text{pH} < 5,5$ sú katióny vo výmenných pozíciách nahrádzané iónmi Al^{3+} , pri $\text{pH} < 4,5$ sa začínajú prejavovať symptómy toxicity

6. inhibícia nitrifikácie

7. mobilita ťažkých kovov a iných potenciálne rizikových prvkov

8. blokovanie výmenných pozícií vyzrážanými hydroxidmi Fe - nízky obsah bázických katiónov

9. absencia vegetačného krytu → **erózia**



Na lokalitách zvetrávania sulfidov sú dná vodných tokov často pokryté tzv. okrami (napr. $\text{Fe}(\text{OH})_3$, goethit, ferrihydrit), ktoré sú potenciálnym aj reálnym adsorbentom rizikových kovov; okre sa vyzrážajú na miestach kde dochádza k poklesu pH (na určitú úroveň) v dôsledku zriedňovania kyslých (kontaminovaných) vôd; najväčšie množstvo sa vyzráža pri zmene pH z cca. 2 na 3; okre sú nestabilné chemické formy toxických kovov - v prípade zníženia pH sa môžu znova rozpustiť → šírenie znečistenia

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Odkalisko Sedem žien (medzi B.Š. a Banskou Belou)

- Odpad flotačných kalov pochádzajúci zo spracovania polymetalických Pb-Zn-Cu rúd. Využitelný objem odkaliska je 2 439 000 m³. Počas obdobia rokov 1975 až 1987 bolo na odkalisku uložených 2 222 906 t flotačného kalu.
- dominantné rudné minerály sú sfalerit a pyrit, menej galenit; zvýšený najmä obsah Pb (1090-1680 ppm) a Zn (4200-6000 ppm) čo súvisí s pôvodne spracovávaným materiálom; koncentrácia Cu, F a Ba prevyšuje 100 ppm.

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Odkalisko Sedem žien (medzi B.Š. a Banskou Belou)

Priemerné obsahy kovov v materiály flotačného kalu odkaliska:

- Fe 4,025 %
- Mn 0,605 %
- Zn 0,363 %
- Ba 0,232 %
- Ti 0,175 %
- Pb 0,114 %
- Cu 0,048 %
- Sr 128,4 g.t⁻¹
- Zr 107,7 g.t⁻¹

Hodnoty výmenného Al v pôdach a okroch sa často pohybujú v desiatkach až stovkách mg/kg

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Odkalisko Lintich (medzi B.Š. a Sv. Antonom)

- depónium flotačných kalov zo spracovania polymetalických Pb-Zn-Cu rúd.
- Prevádzka odkaliska od 1964 do 1974; v odkalisku sa nachádza cca. 585000 t materiálu; hustota materiálu $2,7$ až $3,1\text{g.cm}^{-3}$; rozloha odkaliska 6,94 ha; z rudných minerálov sú najviac zastúpené pyrit a markazit; sulfosoli Ag, Cu, Bi



Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Odkalisko Lintich (medzi B.Š. a Sv. Antonom)

Priemerné obsahy kovov v materiály flotačného kalu odkaliska:

- Mn 0,835 %
- Zn 0,538 %
- Pb 0,290 %
- Ba 0,195 %
- Ti 0,161 %
- Cu 0,065 %
- Cd 375 g.t⁻¹
- Sr 117,2 g.t⁻¹
- Sn 40,6 g.t⁻¹

Prítomnosť sadrovca, Fe oxihydroxidov (ich výluh v ditioničitane sodnom obsahoval As, Fe, Cd, Mn, Zn, SO₄)

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Odkalisko Lintich (medzi B.Š. a Sv. Antonom)

v pôde pod dnom odkaliska boli zistené nasledovné množstvá kovov:

- Bi 23 ppm
- Cd 18 ppm
- Cu 383 ppm
- Pb 1671 ppm
- Zn 3450 ppm
- Fe 3,53 %

Štiavnické vrchy - vplyv na pôdy - vybrané lokality

Halda Novej Šachty

- premenlivé pH vôd vytekajúcich z haldy: od 2,7 po viac ako 7
- prítomnosť sekundárnych oxihydroxidov Fe a síranov Fe a Al sú dôkazom oxidačných procesov prebiehajúcich v materiály haldy
- dná výtokov pokryté zrazeninami Fe (ferrihydrit) a Al (alunogén - síran hlinitý, pri miernom okyslení sa rozkladá → uvoľňujú sa veľké množstvá Al)
- Al sa do prostredia dostáva rozpúšťaním živcov a vrstevnatých alumosilikátov
- nízky obsah Fe a relatívne vysoký Zn - súvisí s obsahom galenitu a sfaleritu v halde a tiež s faktom, že Fe sa z roztoku vyzráža pri nižších hodnotách pH

Smolník

- jedno z najznámejších a najvýznamnejších ložísk; na jeho rozvoji sa významne podieľali nemeckí kolonisti; ťažba prebiehala od 13 storočia do roku 1990; v oxidačnej zóne ložiska sa ťažila železná ruda; v stredoveku sa ťažilo Ag, Au a Cu; neskôr iba pyrit a Cu; podľa záznamov sa z ložiska vyťažilo cca. 19 Mt rudy z ktorej sa získalo cca. 15 Mt čistej medi; je predpoklad, že 6 Mt rudy ešte v ložisku zostalo
- celková dĺžka zrudnenia predstavuje 11 km; hrúbka rudonosného horizontu je premenlivá - v centrálnej časti dosahuje mocnosť 150 až 200 m. Rudonosné horniny: striedanie kremeňovo-psamitického a diabázovo-pyroklastického materiálu, stratiformné sulfidické zrudnenie, primárna vrstevnatosť masívnych intruzívnych rúd zvyrazňuje striedanie chloritických fylitov, metapsamitov, lyditov a dolomitov obsahujúcich pyrit, typická črta - metamorfné prepracovanie, centrálnu časť ložiska tvoria masívne pyritové rudy a chalkopyritom
- možno vyčleniť nasledovné fácie rúd: pyritové s chalkopyritom, niekedy aj s galenitom a sfaleritom; pyritové s markazitom; pyritové s pyrotínom; pyritové s chalkopyritom, tetraedritom, galenitom a sfaleritom; pyritové s glaukodotom

Smolník

- po zatopení opustených baní došlo k postupnému zhoršeniu situácie -> z baní vytekajú **silne kyslé vody (pH = 3-5)** vplyvom oxidácie pyritu, pravdepodobná je katalytická činnosť Fe-baktérií; kyslá voda vnáša do potoka značné množstvo rozpustených látok (Fe, Al, Mn a Zn); na brehoch sa vo veľkých množstvách vyzrážavajú oxihydroxidy Fe - sú tvorené jarožitom, goethitom a pravdepodobne aj ferrihydritom a oxihydroxysíranom Fe - schwertmannit; obsah síranov vo vode v šachte Pech bol 12 000 mg/l; oker z výtoku odkaliska obsahuje vysoké množstvá As a Mn
- Vplyv na pôdy (veľké množstvo iniciálnych pôd vyvinutých na haldovom materiály); kambizeme districké - zvýraznený - okrovejší - červenší (Bt) horizont vplyvom acidifikácie

Rudňany

- odkalisko sulfidického kalu pozostáva z troch druhov sulfidov: tetraedritu (36-38%), chalkopyritu (20-22%) a pyritu (15-20%) hojné sú aj nerudné minerály reprezentované sideritom a barytom; oxidácia na povrchu haldy vyvoláva zmeny → vznik chalkantitu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a melanteritu ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). pH z výtokov z hald sa pohybuje v intervale 2,5-3,5
- Pôdy: luvizeme pseudoglejové
- negatívne následky:
 1. **extrémne zvýšenie obsahov Cu**
 2. acidifikácia - ale "iba" v pufráčnej oblasti hliníka
 3. **zvýšenie obsahu výmenného Al**
 4. nedostatočný obsah výmenných báz v sorpčnom komplexe
 5. absencia bylinného porastu
 6. erózia, ale nevýrazná z dôvodu malého sklonu reliéfu
 7. je možné očakávať inhibíciu mineralizácie organickej hmoty

Slovinky (Krompachy)

- halda materiálu zo spracovania sideritovej rudy
- hlavné minerály - kremeň a siderit, okrem nich je pomerne častý pyrit a chalkopyrit
- zonálnosť oxidácie sa prejavuje zmenou sfarbenia jednotlivých zón - od tmavočervenej cez oranžovohnedú až po sivozelenú; výsledky analýz výluhov v roztoku ditioničitanu sodného ukazujú rôzne hodnoty $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$
- v silne oxidovanej vrstve je vyšší obsah Mn a nižší obsah síranov
- najnegatívnejším faktorom je **mimoriadne vysoký obsah As** ktorý miestami dosahuje až 102000 mg/kg (> 2000 x normy pre pôdy); okrem toho aj ďalšie prvky napr. **Sb**
- substrát haldy nie je osídlený vegetáciou; keď tak len minimálne (veľká toxicita)
- materiál odkaliska čiastočne podlieha zosuvom čo iba zhoršuje situáciu z pohľadu kontaminácie prostredia

povodie rieky Slaná

- 1 – Ložisko Cu rudy "Za Skalou".
- 2 – Ložisko Fe rúd "Július – Romoková".
- 3 – Úpravňa a pražiacie pece Fe rúd Vlachovo – Karlova huta.
- 4 – Ložisko Fe rudy Ignác.
- 5 – Ložisko Fe rudy Manó.
- 6 – Ložisko Fe rudy Gabriela.
- 7 – Odkalisko Fe rúd z úpravy Fe rúd Nižná Slaná závod.
- 8 – Ťažba a úpravňa mastenca pri Gemerskej Polome.
- 9 – Ložisko Hg rudy, Svätá Trojica.
- 10 – Úpravňa a pražiacie pece Fe rúd Mária baňa.
- 11 – Banské diela v okolí vrchu Turecká a výtok banskej vody.
- 12 – Ložisko polymetalických rúd Mária baňa.
- 13 – Výtok z dopravného prekopy.
- 14 – Lokality skládok flotačného odpadu.
- 15 – Skládka stavebného odpadu z flotačnej úpravy z ložiska mastenca pri Gemerskej Polome.

zvýšené obsahy rizikových prvkov, vrátane As



obrázok: <https://www.majgemer.sk/gemer/priroda/235/priroda/11927/banska-a-upravnicka-cinnost-v-okoli-rieky-slana-a-ich-vplyv-na-zivotne-prostredie-v-useku-medzi-jej-pramenom-a-roznavou>

Okre - obsahy potenciálne rizikových prvkov na vybraných lokalitách

Vzorka	Rozpustený podiel (%)	obsah vo výluhu ditioničitanu sodného $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (mg/kg)						
		As	Fe	Cd	Cu	Mn	Zn	SO_4^{2-}
Smolník, pyritový koncentrát	75	135	340000	<0,1	40,5	27	21	14550
Smolník, výtoky z baní	92	633	438000	<0,1	33	18,5	19	6800
Smolník, výtoky z baní	85	<10	431000	<0,1	81,5	17	10	11500
Smolník, výtok z odkaliska	67	2158	327000	<0,1	755	16250	810	1950
Smolník dnový sediment	70	158	275000	<0,1	88	164	55	420
Smolník dnový sediment	80	105	331000	<0,1	108	158	40	2300
Smolník dnový sediment	78	170	253000	<0,1	74	200	21	400
Smolník, oker-breň	75	53	258000	<0,1	40	19,5	<0,1	3400
Šobov, prameň and jazerom	78	<10	442000	<0,1	<0,1	7050	28	6500
Šobov, povrch acid. Pôdy	36	59	30000	<0,1	31	139	82	250
Šobov, erózna ryha	32	53	50000	<0,1	40	115	23	250
Lintich, výtok z odkaliska	51	113	208000	<0,1	74	11800	2325	11500
Pezinok, Augustín-potok	75	743	361000	<0,1	71	21	24	8900
Pezinok, Augustín-potok	69	244	351000	<0,1	83	25	58	12650
Pezinok, odkalisko Kol. vrch	85	117000	323000	<0,1	<0,1	77	5	3250
Slovinky, oxidačná zóna	19	16240	102000	<0,1	2,5	1750	5	500
Slovinky, pod oxidačnou zónou	6	13400	37000	<0,1	1	188	<0,1	6050