

Poznámky ku špecifickej vegetácii na haldách trosky pri Smolníku (Slovenské rudohorie)

Remarks to the specific vegetation of smelter wastes near the village Smolník (Slovenské rudohorie Mts., E. Slovakia)

VIERA BANÁSOVÁ¹, IVAN PIŠÚT¹ & OTÍLIA LINTNEROVÁ²

¹ *Botanický ústav SAV, Dúbravská cesta 14, 845 23 Bratislava*

² *Katedra ložiskovej geológie PríF UK, Mlynská dolina G, 84215 Bratislava*

Large waste heaps after smelter processing occur close to the village Smolník (E Slovakia). Specific vegetation developed there due to harsh condition of the waste. Many lichen species occur together with the phanerogams, that can tolerate the surplus of metals such as Cu, As and Fe. The trees have anomalous growth and coloration. Eight vulnerable species of lichens such as *Cladonia carneola*, *Lecanora handelii*, *L. subaurea*, *Lecidea inops*, *Porpidia musiva*, *Pycnothelia papillaria*, *Stereocaulon dactylophyllum*, and *S. nanodes* also some vascular plants such as *Agrostis capillaris*, *Silene dioica*, and *Calluna vulgaris* grow there. However, the occurrence of these plants could be an important gene bank of species with tolerance to the metals.

Začiatky banskej činnosti v Smolníku siahajú do 11. storočia. Z bohatých chalkopyritových šošoviek sa ťažili medené rudy a od 19. storočia pyritové rudy (Koděra et al. 1990). Aktívna banská činnosť zanechala stopy v krajine v podobe hald. Pochádzajú z rôzneho obdobia, a preto je na nich vyvinutá vegetácia v odlišných sukcesných štádiách (Banášová 1983). Vyťažené medené aj železné rudy sa v 19. storočí zhutňovali v neďalekej Smolníckej Huti (Bartalský 1993). Aj keď banícka činnosť pokračovala, spracovanie rudy v huti sa v 20. storočí v smolníckej doline už neobnovilo. V alúviu potoka Smolník neďaleko Smolníckej Píly sa nachádza rozsiahla navážka trosky (pevného odpadu z huty), ktorá pravdepodobne pochádza zo Smolníckej Huti. Podľa dokumentov o činnosti huty môže mať navážka trosky viac ako 100 rokov. Skládka lemuje breh potoka v dĺžke asi 250 až 300 m. Celkove zaberá plochu približne 10 000 m², pričom jej hrúbka je veľmi nerovnomerná. Na severnej strane bola rozhrnutá, na južnej strane je skládka členitejšia a niekde tvorí kompaktné bloky, vyčnievajúce nad terén približne 0,5 až 1,2 m.

Poznatky o vegetácii hald z hlbínnej ťažby v Smolníku boli už publikované (Banášová l. c.). Cieľom tohto príspevku je opísať doteraz neznámu flóru a vegetáciu na navážke trosky v smolníckej oblasti.

Materiál a metódy

Terénny výskum prebiehal v rokoch 2001 a 2002. Zaznamenalo sa druhové zloženie vegetácie. Fytcenologické zápisy sa robili podľa zürišsko-montpelliérskej školy (Braun-Blanquet 1964). Nomenklatúra rastlín je podľa publikácie Marhold & Hindák (1998).

Z intenzívne zvetranej trosky sa spektrochemicky analyzovali kovy B, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Ni, Pb, Sc, Sn, Sr, V, Y a Zr. Minerálne zloženie sa sledovalo rtg-difrakčnou analýzou na pracovisku Geologického ústavu SAV. Analýza je len orientačná a výber prvkov bol ohraničený dostupným štandardom, použitým pre meranie.

Výsledky

Zo smolníckych rúd sa získavali meď, striebro, olovo, zlato a antimón (Bartalský 1993). Bohaté pyritové rudy obsahovali 44 až 47 % S a približne rovnako aj Fe, obsah Zn sa pohyboval v rozsahu 0,4 až 0,7 % a Pb 0,1 až 0,3 %.

Tmavá troska má rôznu veľkosť od 1–2 cm až po kusy dosahujúce 20–30 cm. Metalurgická troska patrí do skupiny vitrifikovaných materiálov, ktoré sa tvoria tavením v peciach a obsahujú rôzne množstvo horninového skla. V optickom mikroskope sa vo výbruse študovanej vzorky trosky z povrchu skládky odlišili najmä živce, ktoré tvoria pekne vykryštalizované lištovité až ihlicovité kryštály v homogénnejšej matrix, tvorenej oxidmi a silikátmi, ale aj menšie množstvo skla a zrná pyritu. Ukázalo sa, že troska po rozrezaní úlomkov na platničky obsahovala v dutinách vo vnútri aj kúsky zuhoľnateného dreva, ktoré sa používalo pri starom spôsobne tavenia rudy. Na typicky nerovnom povrchu úlomkov trosky sa miestami nachádzajú hrdzavo-hnedé (okrové) oxidy železa. Okrová vrstvička je tvorená goethitom a pravdepodobne aj inými veľmi jemnozrnnými oxyhydroxidmi Fe, čo však bude treba overiť detailnejším výskumom.

Zo spektrochemickej analýzy trosky sme zistili, že vzorka obsahovala 38 ppm B, 794 ppm Ba, 34 ppm Co, 5 ppm Cr, 316 ppm Cu, 26 ppm Ga, 6 ppm Ni, 89 ppm Pb, 32 ppm Sc, 96 ppm Sn, >3 ppm Sr, 26 ppm V, 38 ppm Y a 251 ppm Zr.

Troskové haldy predstavujú špecifické stanovište, pretože majú celý rad vlastností, ktoré obmedzujú možnosti existencie rastlín. Je to najmä nedostatok zeme, a s tým spojený nedostatok živín a vody. Troskové haldy sú navezené na alúviu potoka, takže vyššia vzdušná vlhkosť čiastočne nahrádza nedostatok vlahy v substráte. Zvetrávanie trosky a vytváranie jemnozeme prebieha veľmi pomaly. Podľa merania je vznikajúca pôda kyslá, má pH 4,8. Napriek zhutňovaciemu procesu, ktorým prešli vyťažené rudy, troska obsahuje v porovnaní s prirodzenými pôdami veľa medi, selénu, cínu a železa. Tým je ovplyvňovaný sortiment rastlín, ktoré tu môže rásť. Navážka trosky je charakteristická nízkym zastúpením vegetácie, pretože druhové zloženie je limitované schopnosťou adaptácie rastlín.

Celková pokryvnosť vegetácie troskového komplexu dosahuje asi 40 %. Vegetácia je sústredená na malých ostrovčekoch o veľkosti 0,5 až 2 m². Na najvhodnejších miestach sa vytvárajú nesúvislé, mozaikovité porasty s osobitnou štruktúrou a so špecifickým druhovým zložením. Tvorí ho porast zložený prevažne z viacerých druhov lišajníkov a s menším počtom tráv a bylín. Na miestach, kde chýba jemná zemina a humus, tam sa vôbec nenachádzajú vyššie rastliny len lišajníky.

Epipetrické a terestrické lišajníky pokrývajú plochy niekoľko dm² až 1m² a dodávajú porastom nápadnú fyziognómiu. Významný je výskyt potenciálne ohrozených druhov *Lecanora subaurea*, *L. handelii*, *Lecidea inops*, *Porpidia musiva*, *Stereocalon dactylophyllum*, *S. nanodes*, *S. vesuvianum*. Na povrchu trosky sa vyskytujú rôzne druhy kôrovitých lišajníkov z rodu *Lecidea*. Medzi troskou spolu s niektorými vyššími rastlinami rástli najmä zástupcovia rodu *Cladonia*, z nich nápadné 15–20 cm veľké žltozelené vankúšikovité trsy vytvárala *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis*. Pokryvnosť ďalších dutohlávkov (*Cladonia carneola*, *C. cervicornis* subsp. *verticillata*, *C. gracilis*, a *C. rei*) varíovala na rôznych plochách. Medzi kusmi trosky sa vyskytovali ďalšie potenciálne ohrozené druhy *Stereocaulon incrustatum*, *S. tomentosum* a *Pycnothelia papillaria*.

Z tráv mal najväčšiu frekvenciu druh *Agrostis capillaris*. Často sa vyskytoval medzi lišajníkmi ako jediný z vyšších rastlín. Vďaka schopnosti vegetatívneho šírenia sa tvoril druh *Acetosella vulgaris* miestami kolónie o veľkosti 20×30 cm. Menej často sa vyskytovali aj ďalšie druhy *Gypsophila muralis* a *Silene dioica*. Na viacerých miestach, kde boli malé kusy trosky alebo malá vrstva navážky, a väčší obsah jemnozeme, vytváral vres (*Calluna vulgaris*) kolónie prerastené lišajníkom *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis*.

Okrem spomínaných rastlín sa ojedinele vyskytovali aj dreviny z náletu. Mali často zakrpatený vzrast, alebo oslabenú vitalitu, dorastali do výšky 20 cm až 1,5 zriedkavo 2 m. Výšku nad 3 m dosahovalo len niekoľko exemplárov brezy (*Betula pendula*) s bizarnými, zdeformovanými tvarmi. Asi dvojmetrové borovice (*Pinus sylvestris*) mali na starších vetvách anomálne sfarbené ihličie – chlorotické alebo úplne červené. Smrek (*Picea abies*) a jedľa (*Abies alba*) boli zriedkavé a dorastali maximálne do 0,5 m výšky.

Na miestach, kde bola troska v malej vrstve, alebo bola premiešaná so zeminou, sa vytvárali riedke porasty vyšších rastlín a lišajníkov, blízke spoločenstvu *Cladonia mitis-Silene inflatae* Banášová 1976, opísaného z háld s vysokým obsahom medi na Slovensku. Ako príklad dokumentujúci štruktúru porastu na miestach s vyšším obsahom zeminy uvádzame nasledovný fytoocenologický zápis:

Smolnícka Píla, navážka trosky medzi asfaltovou cestou a potokom. Plocha zápisu 5×6 m, pokryvnosť E₁ 40 %, E₀ 50 %. 2. 8. 2001.

E₁ *Acetosella vulgaris* 2, *Agrostis capillaris* 2, *Calluna vulgaris* 2, *Gypsophila muralis* +, *Silene dioica* +, *Picea abies* juv. +, *Pinus sylvestris* juv. +

E₀ *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis* 3, *C. carneola* +, *C. cervicornis* subsp. *verticillata* +, *Stereocaulon dactylophyllum* 2.

Diskusia

V porovnaní s prirodzenými pôdami (Zýka 1976) má troska významne vyššie koncentrácie Cu, Se, Sn a Fe. V budúcnosti bude treba doplniť ďalšie analýzy, pretože podľa ťažených rúd možno očakávať aj vyššie koncentrácie As a Zn. V povrchových oxidačných podmienkach sa vytvárajú na povrchu trosky okrové povlaky. Vznikajúce oxyhydroxidy železa (goethit FeOOH), môžu pri svojej tvorbe zachytávať rôzne kovy alebo ďalšie prvky, uvoľnené zvetrávaním minerálov (Lintnerová et al., 1999, Lintnerová & Šefčíková 2002). Pri tomto procese sa dostávajú znovu do relatívne stabilnej pevnej fázy a nedostávajú sa priamo do vody. Avšak tento proces uvoľňovania a zachytávania kovov môže byť významne modifikovaný biochemickými procesmi, prebiehajúcimi pri raste rastlín.

Odpady po ťažbe rúd sú špecifickým biotopom pre rastliny. Pôdy, ktoré vznikli najmä na stredovekých haldách majú v dôsledku vtedajšej nedokonalnej technológie ťažby mimoriadne vysoký obsah kovov. Pre väčšinu rastlín sú toxické a len úzka, vyselektovaná skupina druhov je schopná na nich rásť. Porasty tvoria najmä tolerantné ekotypy tráv a bylín, často s absenciou drevín ale s bohatým zastúpením lišajníkov (Banášová 1976, Ernst 1974, Schubert 1953). Vegetácia lišajníkov na medených haldách na Slovensku dlho unikala pozornosti botanikov. Hoci ju reprezentujú viaceré vzácne alebo fytogeograficky či ekologicky zaujímavé druhy, spracovaná je len v málopočetných publikáciách. Jedinú súbornejšiu prácu predstavuje dosiaľ kolektívna práca lichenológov (Lackovičová et al. 1977), ktorá sa však obmedzuje iba na okolie Gelnice a Sloviniek. Z hald pri Smolníckej Píle je v literatúre dosiaľ známych iba niekoľko druhov publikovaných v exsikátoch (Vězda 1975, Pišút 1980). Treba však vyzdvihnúť, že odtiaľto boli ako nové pre vedu uverejnené taxóny *Haploearpon musivum* var. *subsquamescens* a *Stereocaulon vesuvianum* var. *symphycheiloides* (Vězda, l.c.).

Byliny, ktoré sa vyskytujú na smolníckych troskových haldách, patria medzi druhy časté na haldách po ťažbe rúd na Slovensku (Banášová 1976). Súčasne sú to rastliny, ktoré sa vyskytujú aj na haldách po hlbinej ťažbe pyritových rúd v Smolníku (Banášová 1983).

Špecifická vegetácia substrátov s vysokou koncentráciou ťažkých kovov zložená z rastlín, vykazujúcich dobrú vitalitu, je výsledkom schopnosti

adaptácie ale aj eliminácie konkurenčných druhov neschopných znášať toxické soli (Lambinon & Auquier 1963). Ako vyplýva z výsledkov početných prác venovaných štúdiu tolerancie, vyššie rastliny, ktoré rástli na troskových haldách patria medzi druhy tolerujúce pôdy s vyšším obsahom ťažkých kovov. Sú to *Acetosella vulgaris*, *Agrostis capillaris*, *Avenella flexuosa*, *Calluna vulgaris*, *Silene dioica*, a *Vaccinium myrtillus* (c.f. Ernst 1974). Experimentálne bolo dokázané, že niektoré z nich, ako napr. *Agrostis capillaris* a *Silene dioica*, sú bežné na substrátoch bohatých na ťažké kovy v Európe a sú schopné vytvárať tolerantné ekotypy (Ernst 1974, Ernst et al. 1992, Holubová 1996).

Podľa autorov Lange & Ziegler (1963) lišajníky nemajú optimum na týchto stanovištiach, ale sú v porovnaní s ostatnými druhmi konkurenčne silné. Napr. druh *Cladonia mitis* spolu s druhmi rodu *Stereocaulon* sú častým druhom porastov na haldách po ťažbe medených rúd (Banášová 1976, Lackovičová et al. 1977). Druh *Cladonia rei*, ktorý sa vyskytoval na skúmaných troskových haldách, rástol aj v okolí huty na spracovanie medi (Hajdúk & Lisická 1999). Uvedení autori zaznamenali jeho hojný výskyt na miestach s vysokým obsahom Cu, As, Zn a S. Dá sa predpokladať, že výskyt tohto druhu na stanovištiach bohatých na kovy súvisí, podobné ako u iných druhov rodu *Cladonia*, s toleranciou voči ťažkým kovom.

Nedávno boli publikované výsledky vzťahu fotobionta *Trebouxia irregularis* izolovaného z populácie lišajníka *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis*, rastúceho na starých haldách po ťažbe medi v Španej doline (Bačkor et al. 1998). Experiment v laboratórnych podmienkach ukázal, že zvýšená koncentrácia medi stimulovala rast kultúry. Autori predpokladajú, že fotobionty z lišajníkov rastúcich stovky rokov na substrátoch bohatých na kovy majú vytvorenú genetickú toleranciu voči kovom.

O vzťahu niektorých druhov rastlín k ťažkým kovom, o "fýlii" alebo o tolerancii sa vedú diskusie vo viacerých publikáciách. Lambinon & Auquier (1963) považujú niektoré druhy za metalofyty hoci sa vyskytujú aj na pôdach s normálnym obsahom ťažkých kovov (napr. *Stereocaulon nanodes*). Existujú viaceré literárne údaje o vzťahu druhov k nadbytku ťažkých kovov. Vyberáme druhy rastúce na študovanej navážke trosky. Napr. ako pseudometalofyt (druh tolerujúci zvýšené dávky kovov) označujú Lambinon & Auquier (1963) *Stereocaulon dactylophyllum*, ktorý študovali na miestach s vysokým obsahom Zn. Do tejto skupiny zaraďujú spomínaní autori aj druh *Cladonia cariosa* a z vyšších rastlín *Agrostis capillaris*. Termín metalorezistentný používa Duvigneaud (1958) a takto okrem psinčeka (*Agrostis capillaris*) označuje aj lišajníky *Cladonia pyxidata* a *Stereocaulon dactylophyllum*.

Pre prežitie rastlín na toxických substrátoch je dôležitá ich schopnosť adaptácie. U vyšších rastlín fungujú rôzne mechanizmy, chrániace rastliny.

Môžu zabrániť vniknutiu kovu do pletiva (exclusion mechanisms) alebo môžu premeniť anorganickú formu kovu vo vnútri bunky na menej škodlivú organickú formu (tolerance mechanisms). Tieto zlúčeniny sú potom vo vakuolách, alebo v bunkových stenách, kde neškodia organelám (Baker et al. 1988), alebo rastliny produkujú fytochelatíny, ktoré chránia bunky pred poškodením kovmi (Thurman & Hardwick 1988). Lange & Ziegler (1963) zistili, že viaceré druhy kôrovitých aj kríčkovitých lišajníkov rastúce veľa rokov na troske s vysokou koncentráciou Fe a Cu. mali vysoký obsah kovov aj v stielke. Autori zisťovali lokalizáciu kovov a prišli k záveru, že lišajníky ukladajú kovy do bunkových stien alebo do intercelulárnych priestorov. Niektoré z nich, ako napr. *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis* a *Stereocaulon dactylophyllum*, sa hojne vyskytujú aj na smolníckych troskových haldách a predpokladáme, že v budúcnosti získame tiež údaje o koncentrácii kovov v ich stielke.

Záver

Na navážke trosky v okolí Smolníka sa vytvorila špecifická vegetácia zložená prevažne z bylín a lišajníkov. Toxicita substrátu a nedostatok živín sťažuje rast mnohých rastlín, preto porasty dosahujú nízku pokryvnosť. Najvyššiu frekvenciu z vyšších rastlín mali *Agrostis capillaris* a *Calluna vulgaris*. Z lišajníkov sa najčastejšie vyskytovali s vyššou pokryvnosťou *Cladonia mitis* a *Stereocaulon dactylophyllum*. Ukazuje sa, že stanovište s extrémnymi ekologickými podmienkami, najmä zvýšeným obsahom kovov vyhovuje tolerantným druhom vyšších rastlín a viacerým druhom epipetrických aj terestrických lišajníkov. Na navážke trosky sme zaznamenali existenciu 8 druhov lišajníkov, zaradených do kategórie V (vulnerable) (c.f. Marhold & Hindák 1998). Sú to: *Cladonia carneola*, *Lecanora handelii*, *L. subaurea*, *Lecidea inops*, *Porpidia musiva*, *Pycnothelia papillaria*, *Stereocaulon dactylophyllum*, a *S. nanodes*.

Rastlinstvo tohto zvláštneho substrátu si vyžaduje ďalšie štúdium zamerané napr. na exaktné zistenie tolerantných ekotypov, mieru kontaminácie substrátu a rastlín, posúdenie vzácnosti tohto biotopu ako osobitného fenoménu. Staré haldy spolu s navážkou trosky sú akoby prírodné laboratória, kde vznikajú tolerantné ekotypy. Môžu sa stať aj zdrojom pre využitie unikátnych vlastností takýchto ekotypov pri zazeleňovaní toxických substrátov v okolí. Veríme, že tento príspevok priláka aj ďalších odborníkov na detailnejšie štúdium.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol v rámci JRC projektu PA n. 42 Environmental Impact of Toxic Mining Wastes in Pre accession Countries.

Literatúra

- Bačkor M., Hudák J. & Bačkorová M., 1998: Comparison between growth response of autotrophic and heterotrophic populations of lichen photobiont *Trebouxia irregularis* (Chlorophyta) on Cu, Hg and Cd chlorides treatment. – *Phyton* 28: 239 – 250.
- Baker A., Brooks R. & Reeves R., 1988: Growing for gold and copper and zinc. – *New Sciences* 10: 44 – 48.
- Banásová V., 1976: Vegetácia medených a antimónových hald. – *Biol. Práce, Bratislava*, 22: 1 – 109
- Banásová, V., 1983: Die Vegetation auf Pyritthalde und der Gehalt an Cu, Pb, Zn, As, Ag, Fe und S in den Pflanzen und im Boden. – *Biológia, Bratislava*, 38: 469 – 480.
- Bartalský J., 1993: Smolník – mesto medenorudných baní. – *Mineralia Slovaca. Monografia, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra*.
- Braun-Blanquet J., 1964: *Pflanzensoziologie*. Springer Verl., Wien–New York.
- Duvigneaud P., 1958: La végétation du Katanga et des ses sols metallifères. – *Bull. Soc. R. Bot. Belg.*, 90:127 – 286.
- Ernst W. H. O., 1974: *Schwermetallvegetation der Erde*. Gustav Fischer Verl., Stuttgart.
- Ernst W. H. O., Verkleij J. A. C. & Schat H., 1992: Metal tolerance in plants. – *Acta Bot. Neerl.*, 41: 229 – 248.
- Hajdúk J. & Lisická E., 1999: *Cladonia rei* (lichenizované askomycéty) na stanovištiach kontaminovaných imisiami z Kovohút Krompachy (SV Slovensko). – *Bull. Slov. Bot. Spoločn., Bratislava*, 21: 49 – 51.
- Holubová M., 1996: Vnútrodruhovú tolerancia rastlín na účinok ťažkých kovov. Dipl. práca (msc.), depon. in PriF UK, Bratislava.
- Koděra M. (ed.), 1990: *Topografická mineralógia Slovenska I–III*. Veda, Bratislava.
- Lackovičová A., Liška, J. & Pišút I., 1977: Lišajníky medených hald v okolí Gelnice a Sloviniek (východné Slovensko). – *Múzeum, Bratislava* 22, 2: 92 – 98.
- Lambinon J. & Auquier P., 1963: La flore et la végétation des terraines calaminaires de la wallonie septentrionale et de la Rhénanie ardois. – *Natura Mosana*, 16: 113 – 130.
- Lange O. L. & Ziegler H. 1963: Der Schwermetallgehalt von Flechten aus dem Acarosporium sinopicae auf Erzschlackenhalde des Harzes. – *Mitt. Flor. Arbgenossch.*, 10: 156 – 164.
- Lintnerová O., Šucha, V. & Streško V., 1999: Mineralogy and geochemistry of acid mine Fe precipitates from the main Slovak mining regions. – *Geologica Carpathica* 50: 395 – 404.
- Lintnerová O. & Šefčíková B., 2002: Zachytávanie a uvoľňovanie (sorpcia / desorpcia) kovov a síranov oxyhydroxidmi železa v sulfidických banských odpadoch. – *Mineralia Slovaca* 34: 219 – 239.
- Marhold K. & Hindák F. 1998. *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska*. Veda, Bratislava.
- Pišút I., 1980: *Lichenes Slovakiae exsiccati editi a Museo Nationali Slovaco*. – Bratislava Fasc. XII (no. 276–300): 1 – 7.
- Schubert R., 1953: Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. – *Wiss. Z. Martin-Luther Univ. Halle/Wittenberg, Math. Nat.* 3: 51 – 70.
- Thurman D. & Hardwick K., 1988: How plants survive an overdose of metal. – *New Sciences* 10: 44 – 45.
- Vězda A., 1975: *Lichenes selecti exsiccati editi ab Instituto botanico Academiae scientiarum czechoslovacae, Průhonice prope Pragam*. Fasc. LII (no. 1276–1300). Brno: 1 – 7.
- Zýka V., 1976: O významu stopových prvků pro živé organismy. *ÚNS, Kutná Hora*.