

ISSN 1336-300X



Acta Facultatis Ecologiae



FAKULTA EKOLÓGIE
A ENVIRONMENTALISTIKY

Journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences
Technical University in Zvolen

Volume 45
2021 – 2

PŮVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

- DUVAČ, R. & OLLEROVÁ, H.
HRÍB SMREKOVÝ AKO INDIKÁTOR ZAŤAŽENIA PROSTREDIA ORTUŤOU
BOLETUS EDULIS AS A BIOINDICATOR OF MERCURY POLLUTION 7
- SEČKÁR M., SCHWARZ M. & PERHÁČOVÁ Z.
MIKROFÓRA BANSKÝCH VŮD V LOKALITE ŠPANEJ DOLINY A MOŽNOSTI BIOREMEDIÁCIE
MICROFLORA OF MINING WATERS IN THE LOCALITY OF ŠPANEJ DOLINA AND POSSIBILITIES
OF BIOREMEDIATION 13
- PLESNÍK M.
STATICKÉ A DYNAMICKÉ VLASTNOSTI RETENČNÝCH PARKOVÍSK
STATIC AND DYNAMIC PROPERTIES OF RETENTION PARKING LOTS 21
- VÁNEK, M., SALVA, J., ĎURICOVÁ, A. & DARABOŠOVÁ, A.
STANOVENIE INDEXU HMOTNOSTNEJ AKTIVITY STAVEBNÝCH MATERIÁLOV METÓDOU
GAMA SPEKTROMETRIE
DETERMINATION OF ACTIVITY CONCENTRATION INDEX IN BUILDING MATERIALS BY GAMMA
SPECTROSMETRY 29

INŠTRUKCIE AUTOROM PRE PUBLIKOVANIE V ACTA FACULTATIS ECOLOGIAE

Acta Facultatis Ecologiae je vedecký časopis Fakulty ekológie a environmentalistiky Technickej univerzity vo Zvolene, ktorý vychádza ako periodikum a od roku 2007 je členený na dve sekcie: ekologickú a environmentálnu. Uverejňuje **pôvodné** recenzované vedecké práce tematicky zamerané v **sekcii Ekológia** na krajinnú ekológiu, krajinné plánovanie a tvorbu krajiny, ekológiu populácií a v **environmentálnej sekcii** na problematiku antropogénnych vplyvov na prostredie, ako aj filozofické aspekty vzťahov človeka a prírody. Okrem **vedeckých prác** je v časopise možné publikovať teoretické a syntetické práce, **Prehľadové články (reviews)** a **Recenzie** knižných publikácií z uvedených oblastí.

Príspevky na uverejnenie schvaľuje redakčná rada, ktorá zároveň určuje recenzentov príspevkov. Recenzent zhodnotí obsah práce, jej prínos a formálne náležitosti a odporúča príspevok na publikovanie. V prípade nesúhlasu autora s posudkom recenzenta rozhoduje o uverejnení príspevku redakčná rada.

Všeobecné pokyny

1. Príspevok musí byť svojim zameraním **v súlade s obsahovým zameraním časopisu**.
2. Vedecký príspevok musí byť **pôvodnou prácou**, t.j. nesmie byť publikovaný alebo zaslaný na publikovanie do inej redakcie. Za pôvodnosť práce i za vecnú správnosť zodpovedá autor.
3. Cieľ práce má byť jasne formulovaný. Príspevok má tvoriť ucelený, logicky usporiadaný prehľad nových pôvodných poznatkov a ich kritické hodnotenie s konkrétnymi závermi.
4. Experimentálny alebo teoretický prístup má byť primeraný. Pracovný postup má byť opísaný spôsobom, umožňujúcim jeho reprodukciu. Experimentálne údaje majú byť stanovené so spoľahlivosťou zodpovedajúcou súčasnej technike a majú byť správne interpretované.
5. Rozsah práce má zodpovedať jej vedeckému prínosu a **nemal by prekročiť 15 strán A4** napísaných v textovom editore podľa predlohy, vrátane tabuliek a grafov. Ilustrácie a tabuľky majú byť úsporné a výstižné, pričom rovnaké údaje nemožno uvádzať duplicitne v oboch formách.
6. **Príspevok** môže byť napísaný v slovenskom, českom alebo v anglickom jazyku. Za úroveň jazyka zodpovedá autor. **Abstrakt** sa uvádza vždy v anglickom jazyku. **Súhrn** je uvedený v slovenskom jazyku, len ak je celý príspevok napísaný v anglickom jazyku.

Rukopis príspevku ako i konečná verzia príspevku (t.j. rukopis po recenznom a redakčnom pripomienkovaní a následnom spracovaní pripomienok autorom) musia byť zaslané v tlačenej forme a zároveň doručené v elektronickej podobe, resp. zaslané e-mailom na journalafezv@gmail.com, resp. výkonným alebo technickým redaktorom príslušnej sekcie (viď. web stránku http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/fakulta_ekologie_a_environmentalistiky/veda_a_vyskum/acta_facultatis_ecologiae/acta_facultatis_ecologiae.html)

Termín dodania rukopisov je 31. január a 15. júl príslušného roku.

Recenzie je možné zasielať priebežne. Publikované budú v najbližšom čísle časopisu.

Acta Facultatis Ecologiae

Journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences
Technical University in Zvolen

Volume 45
2021

Editorial Board

Editor-in-Chief
Marián Schwarz

Vice-Editor-in-Chief
Dagmar Samešová

Executive Editor
Andrea Diviaková – Ecological Section
Andrea Zacharová – Environmental Section

Technical Editors
Anna Ďuricová, Miroslav Vanek

Members

Magdaléna Bálintová, Barbara Białecka, Ján Gáper, František Hnilička, László Miklós,
Volodymyr Nykyforov, Branislav Olah, Peter Ondrišík,
Andrej Oriňák, František Petrovič, Magdaléna Pichlerová, Artur Radecki-Pawlik, Tamás Rétfalvi,
Dagmar Samešová, Branko Slobodník, Slavomír Stašiov,
Jaroslava Vrábliková, Michal Wieszik

List of Reviewers Acta Facultatis Ecologiae 45
Helena Hybská, Marián Schwarz, Andrea Zacharová

© Technická univerzita vo Zvolene

ISSN 1336-300X

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

OBSAH / CONTENT

PÔVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

DUVAČ, R. & OLLEROVÁ, H.

Hrúb smrekový ako indikátor zaťaženia prostredia ortuťou

Boletus edulis as a bioindicator of mercury pollution 7

PLESNÍK M.

Statické a dynamické vlastnosti retenčných parkovísk

Static and dynamic properties of retention parking lots 13

SEČKÁR M., SCHWARZ M. & PERHÁČOVÁ Z.

Mikrofóra banských vôd v lokalite Španej doliny a možnosti bioremediácie

Microflora of mining waters in the locality of Španej dolina and possibilities of bioremediation..... 21

VANEK, M., SALVA, J., ĎURICOVÁ, A. & DARABOŠOVÁ, A.

Stanovenie indexu hmotnostnej aktivity stavebných materiálov metódou gama spektrometrie

Determination of activity concentration index in building materials by gamma spectroscopy. 29

PÔVODNÉ VEDECKÉ PRÁCE
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

HRÍB SMREKOVÝ AKO INDIKÁTOR ZAŤAŽENIA PROSTREDIA ORTUŤOU

RADOSLAV DUVAČ – HANA OLLEROVÁ

Katedra environmentálneho inžinierstva, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 00 Zvolen, e-mail: ollerova@tuzvo.sk

ABSTRACT

Duvač, R., Ollerová, H.: *Boletus edulis* as a bioindicator of mercury pollution

The paper is focused on mercury accumulation in *Boletus edulis* (commonly known as penny bun or porcini) biomass. The research was done at four localities in Slovakia, namely Zázrivá village (Orava region), Lutíla village (Žiarska kotlina basin region), Cígeľ village (Horná Nitra region) and Bacúch village (Horehronie region). Localities were chosen according to level of air pollution and presence of industry. There were taken samples of soil and mushrooms that were analysed using a single-purpose atomic spectrophotometer AMA 254. The mercury concentration was measured separately in caps and stipes. Higher concentrations were determined in caps comparing to concentrations in stipes (mercury concentration range 1.978 – 10.850 mg.kg⁻¹ and 1.103 – 2.889 mg.kg⁻¹, respectively). All mushroom samples contain mercury that exceeds the limit concentration (0.75 mg.kg⁻¹) according to Food Code of the Slovak republic. On the other side, mercury in soil samples did not exceed any limit value. The highest concentration of mercury in soil was determined in Zázrivá (0.142 mg.kg⁻¹).

Key words: mercury, *Boletus edulis*, accumulation, soil

ÚVOD

Jedným z významných environmentálnych problémov súčasnosti, ktorý zasahuje všetky zložky prostredia, je globálna kontaminácia životného prostredia. Medzi najzávažnejšie cudzorodé látky v prostredí patria rizikové prvky. Z nich viaceré kovy pôsobia v ekosystéme toxicky, a to aj pri nízkych koncentráciách. Ich toxicita spočíva v substitúcii esenciálnych kovov v enzýmoch a iných dôležitých biomolekulách, čím môže dochádzať k inhibícii ich životných funkcií.

Ortuť patrí medzi toxické prvky s veľmi špecifickými vlastnosťami – ako prenos v atmosfére na veľké vzdialenosti a pomerne dlhé zotrvanie niektorých foriem v ovzduší. Jej zvýšený výskyt v životnom prostredí znamená nebezpečenstvo prieniku do potravinového reťazca.

Jeden zo spôsobov je aj prostredníctvom konzumácie húb, ktoré sú známe svojou zvýšenou kumuláciou ťažkých kovov. Ortuť vstupuje do húb z pôdy, cez podhuby, ktoré svojimi výlučkami rozkladá organickú hmotu nachádzajúcu sa vo

vrchnom opadankovom horizonte. Väčšia časť ortuti sa kumuluje v klobúku, vo výtrusnej vrstve, hymenium. Hymenium je zároveň biologicky najaktívnejšia časť huby v procese tvorby spór (Gooday, 1982). Je to spôsobené tým, že enzýmy vyskytujúce sa v klobúku obsahujú viac síry, ktorá sa ľahko viaže s ortuťou. Pre normálnu funkciu enzýmov je potrebná akumulácia esenciálnych prvkov. Práve ortuť využíva transportné cesty esenciálnych prvkov alebo sa viaže na organické zlúčeniny ako sú proteíny bohaté na síru alebo selén (Alonso et al., 2000, Kosanić, et al. 2019).

MATERIÁL A METÓDY

Charakteristika zbieraného druhu

Hríb smrekový je výborná jedlá huba, ktorá rastie od augusta do novembra v smrekových alebo aj listnatých lesoch najmä v podhorských oblastiach. Vyskytuje sa pomerne často. Klobúk má veľkosť 60 – 250 mm v priemere. Najprv je polguľovitý, potom plocho rozprestretý. Klobúk

mladých jedincov, kým je prikrýty ihličím, býva biely, potom hnedý a v dospelosti tmavohnedý (oveľa tmavší ako klobúk hříba dubového), bez žltého pása na okraji. Je hladký, lesklý, v mladosti trochu plstnatý, čoskoro však holý. Za vlhkého počasia alebo po daždi býva slizký. Hĺbik je 30 – 200 mm dlhý a 15 – 70 mm hrubý. U mladých jedincov je bruchatý, v dospelosti valcovitý. Je zvyčajne biely, ozdobený jemnou sieťkou, ktorá siaha najviac do jednej tretiny alebo do polovice hĺbika. Niekedy býva aj hnedastý, avšak nie tak nápadne ako hĺbik hříba dubového. Dužina je biela alebo belavá, pod pokožkou klobúka s jemným krémovým odtieňom. Na vzduchu nemeňte farbu. Má príjemnú chuť a vôňu, ale nevoní tak intenzívne ako hříb dubový. Výtrusný prach je olivovoohnedý alebo olivový. (<https://www.nahuby.sk/atlas-hub/Boletus-edulis/hrib-smrekovy/hrib-smrkovy/ID136>)

Lokality

Výber lokalít bol podmienený rôznym stupňom environmentálneho zaťaženia a znečistenia ovzdušia. Lokality Cígeľ a Lutila sa nachádzajú v oblastiach s priemyselnou výrobou, lokality Zázrivá a Bacúch naopak v regiónoch s menej zaťaženým prostredím, bez významnejších znečisťovateľov najmä ovzdušia.

Orava – Zázrivá – GPS súradnice – 49°18'05.4"N 19°12'12.4"E, nadmorská výška – 600 – 770 m n. m.

Žiarska kotlina – Lutila – GPS súradnice 48°38'12.4"N 18°51'22.7"E, nadmorská výška – 294 – 395 m n. m.

Horná Nitra – Cígeľ – GPS súradnice – 48°45'00.1"N 18°38'33.3"E, nadmorská výška – 280 – 465 m n. m.

Horehronie – Bacúch – GPS súradnice – 48°51'16.8"N 19°46'50.1"E, nadmorská výška – 605 – 695 m n. m.

Odber a úprava vzoriek

Odber vzoriek sme uskutočnili vo vybraných lokalitách v júli a septembri roku 2020. Zbierali sme len zdravé plodnice. Počet jedincov z každej lokality bol 6. Plodnice boli následne očistené, nakrájané a usušené pri laboratórnej teplote, hĺbik a klobúk zvlášť. Pred analýzou boli zhomogenizované na laboratórnom mlynčeku.

Odber pôdy sme uskutočnili z každej lokality vo vzdialenosti približne 30 cm od huby z viacerých zákopkov z hĺbky 15 cm (STN 48 1000). Pôdne vzorky boli vysušené tak isto pri laboratórnej teplote a presitované cez sito s veľkosťou oka 2,5 mm.

Laboratórna analýza vzoriek

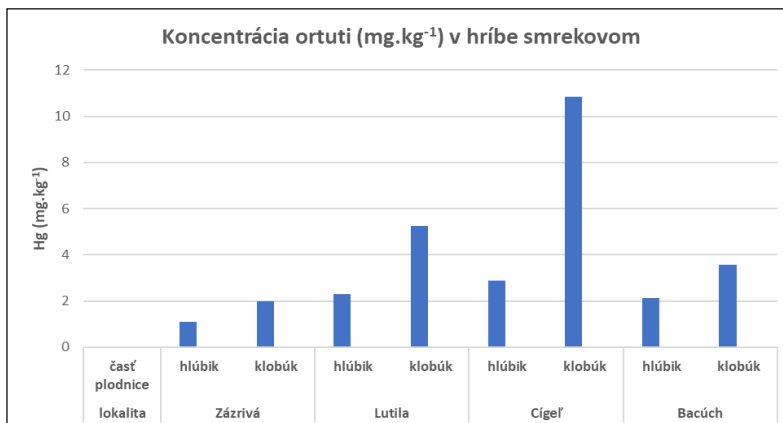
Analýza vzoriek sa uskutočnila na jednouchelovom atómovom spektrofotometri AMA 254, ktorým sa stanovuje celkový obsah ortuti v pevných a kvapalných vzorkách bez chemickej úpravy. Využitím techniky generovaných pár kovovej ortuti s následným zachytením a obohatením na zlatom amalgamátore sa dosahuje veľká citlivosť stanovenia a nezávislosti výsledku stanovenia v matrici vzorky. Meranie každej vzorky bolo 5 krát opakované. Navážená hmotnosť vzorky sa pohybovala od 40 do 60 mg. Samotná analýza v AME je rozdelená na tri časti. V prípade húb sa používa 45 s sušenie, 150 s termický rozklad, 45 s ustálenie teplotných pomerov. Pre pôdy sa používa 45 s sušenie, 180 s termický rozklad a 45 s ustálenie teplotných pomerov. Kontrola správnosti výsledkov sa uskutočňuje na začiatku každého merania meraním certifikovaných referenčných materiálov a meraním nulovej hodnoty deionizovanej vody (Altec, 2000).

Štatistické spracovanie výsledkov

Výsledky sme spracovali v programe Statistica, pomocou analýzy variancie a Duncanovho testu sme hodnotili rozdiely v koncentráciách ortuti v *Boletus edulis* na štyroch rôznych lokalitách. Testovali sme aj významnosť rozdielov v priemerných hodnotách ortuti v dvoch častiach plodnice – hĺbiku a klobúku.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

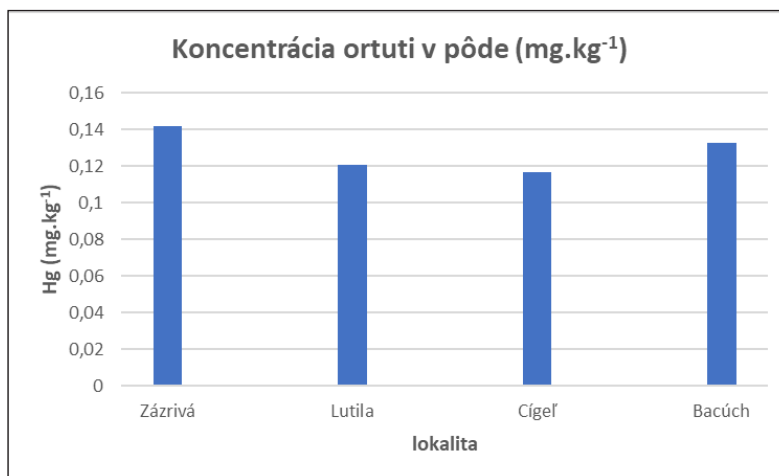
Priemerná koncentrácia ortuti v plodniciach húb sa pohybuje v intervale od 1,103 do 10,85 mg.kg⁻¹ (obr. 1). Na každej lokalite bola koncentrácia ortuti nižšia v hĺbiku ako v klobúku. V hĺbiku bola najnižšia koncentrácia ortuti na lokalite Zázrivá (1,103 mg.kg⁻¹) a najvyššia na lokalite Cígeľ (2,889 mg.kg⁻¹). Najnižší obsah ortuti v klobúku sme zaznamenali opäť na lokalite Zázrivá (1,978 mg.kg⁻¹) a najvyšší na lokalite Cígeľ (10,85 mg.kg⁻¹). Obsahy ortuti v plodniciach klesajú v poradí Cígeľ > Lutila > Bacúch > Zázrivá. Všetky odobraté vzorky hříba smrekového zo 4 lokalít prekročili limitnú hodnotu stanovenú v Potravinovom kódexe SR – 0,75 mg.kg⁻¹. Hodnoty boli prekročené v hĺbikoch ako aj v klobúčikoch daných vzoriek (obr. 1). Absolútne najnižšou nameranou hodnotou je koncentrácia 1,027 mg.kg⁻¹ v hĺbiku v Zázrivej a absolútne najvyššou 11,451 mg.kg⁻¹ v klobúku na lokalite Cígeľ. Hodnoty smerodajnej odchýlky sa pohybovali v rozmedzí od 0,0484 do 0,4029.



Obr. 1 Koncentrácia ortuti v plodniciach hríba smrekového
Fig. 1 Concentration of mercury in *Boletus edulis* biomass

Namerané hodnoty v hubách (hlúbik, klobúk) niekoľkonásobne prekročili limitnú hodnotu. Najnižšia nameraná hodnota v hlúbiku v Zázrivej prekročila limitnú hodnotu 1,47 krát, najvyššie prekročenie bolo v klobúku na lokalite Cígeľ – 14,47 násobné. Namerané hodnoty ortuti korešpondujú s predpokladanou záťažou lokalít – znečistenie ovzdušia a celková priemyselná záťaž daných regiónov.

Obsah ortuti v pôdach sa pohyboval v intervale od 0,117 (Cígeľ) do 0,142 mg.kg⁻¹ (Zázrivá). V porovnaní s hubami hodnoty v pôde boli nízke a neprekročili predpísaný limit 0,5 mg.kg⁻¹ pre hlinité a piesočnato-hlinité pôdy (obr. 2).



Obr. 2 Koncentrácia ortuti v pôde
Fig. 2 Mercury concentration in soil

Zistený obsah ortuti v hubách a v pôde závisí od mnohých faktorov, vrátane koeficientov zaťaženia lesných drevín ortuťou. Koeficient zaťaženia ortuťou KHg vyjadruje prekročenie limitných hodnôt ortuti v asimilačných orgánoch a opade lesných drevín. Za normálny sa považuje obsah ortuti do 0,12 mg.kg⁻¹ (<https://app.sazp.sk>). Zvýšený obsah ortuti bol zaznamenaný na tretine

územia Slovenska a je viazaný na priemyselné oblasti, spaľovne a krematóriá, oblasti ako je Horná Nitra, vojenský priestor Lešť a stredný Spiš. V okolí železnorudných baní v Rudňanoch sa vyskytuje v asimilačných orgánoch lesných drevín až 4,01 mg.kg⁻¹ Hg, čo je až 334-násobok limitnej hodnoty (Maňkovská, 1996).

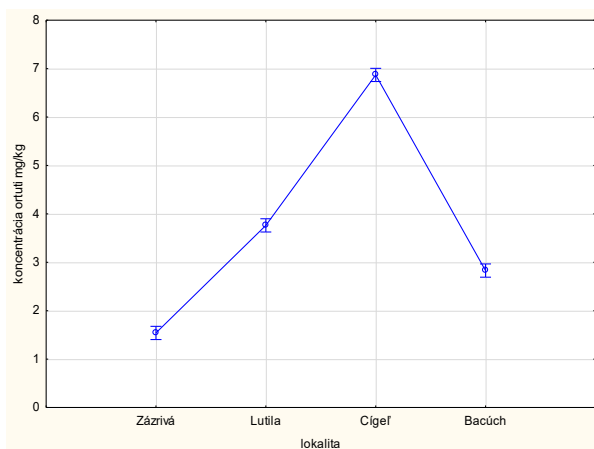
Mačejná et al. (2021) potvrdili, že opad asimilačných orgánov je významným vstupom Hg do pôd v lesných povodiach a môže tvoriť 50 – 80% celkového vstupu ortuti do pôd. Veľkosť depozície ortuti prostredníctvom opadu závisí od objemu opadu a nezávisí až tak od koncentrácie Hg v opade. Obdobie jesenného opadu asimilačných orgánov lesných drevín predstavuje obdobie s najvyšším vstupom opadu na pôdny povrch a postupne do nižších vrstiev pôd. Spomínaní autori zistili depozíciu totálnej ortuti prostredníctvom opadu na lokalite Malachov (okres B. Bystrica) $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ a na lokalite Baďinsky prales (okres B. Bystrica) $23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Problematikou obsahu ortuti v hubách v oblasti Krupinskej planiny sa zaoberal aj Ganc (2020). V hríbe dubovom (*Boletus reticulatus*) zaznamenal hodnotu ortuti $6,103 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na lokalite Cerovo a $2,164 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na lokalite Čabradský Vr-

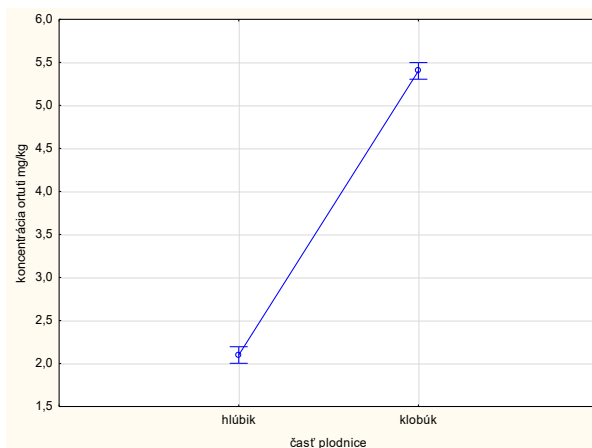
bokov. V pôdach tak isto zaznamenal nízke hodnoty ortuti, pod limitom $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Kavčič et al. (2019) namerali v klobúkoch dospelých jedincov *Boletus edulis* v Slovinsku v neznečistených lokalitách hodnotu ortuti $5,79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a v mladých jedincoch hodnotu $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. V oblastiach znečistených ťažkými kovmi zistili v klobúkoch dospelých jedincov koncentráciu $69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a v klobúkoch mladých jedincov až $103 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Štatistické spracovanie výsledkov

Na základe analýzy variancie možno povedať, že vplyv lokality a časti na plodnice na výšku koncentrácií ortuti je štatisticky významný na 95% hladine významnosti. Podľa Duncanovho testu sú rozdiely medzi priemermi koncentrácií ortuti na všetkých lokalitách i medzi hlúbikom a klobúkom štatisticky významné.



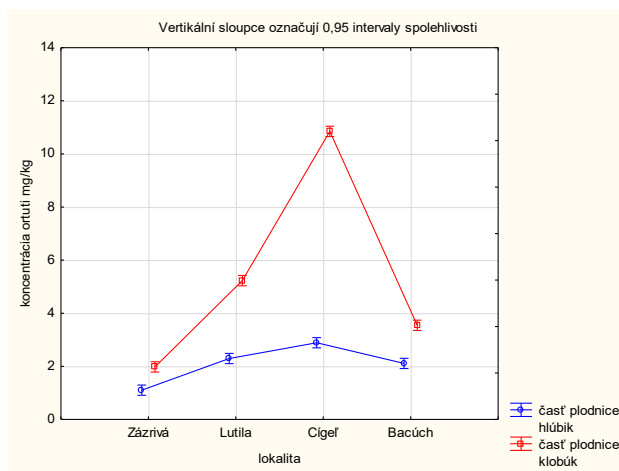
Obr. 3 Priemerná koncentrácia ortuti ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) na rôznych lokalitách
Fig. 3 Average mercury concentration ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) at different localities



Obr. 4 Priemerná koncentrácia ortuti ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) podľa časti plodnice
Fig. 4 Average mercury concentration ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in caps and stipes

Z obr. 3 vyplýva, že najvyššia priemerná koncentrácia ortuťi bola zaznamenaná na lokalite Cígeľ (6,87 mg.kg⁻¹ a najnižšia na lokalite Zázrivá (1,54 mg.kg⁻¹). Intervaly spoľahlivosti sa neprekrývajú a rozdiely v obsahu ortuťi sú štatisticky významné. Obrázok 4 zobrazuje koncentrácie

ortuťi podľa jednotlivých častí plodnice. Intervaly spoľahlivosti sa neprekrývajú a rozdiely sú tak isto štatisticky významné. Priemerná hodnota ortuťi v hlúbiku je 2,099 a v klobúku 5,4 mg.kg⁻¹.



Obr. 5 Priemerná koncentrácia ortuťi (mg.kg⁻¹) v *Boletus edulis* na lokalitách podľa časti plodnice
Fig. 5 Average mercury concentration (mg.kg⁻¹) in *Boletus edulis* caps and stipes at various localities

Z obrázka 5 vyplýva, že koncentrácia ortuťi v hlúbiku je nižšia ako v klobúku a to na všetkých lokalitách. Najnižšia je v hlúbiku (1,103 mg.kg⁻¹) i v klobúku (1,978 mg.kg⁻¹) na lokalite Zázrivá. Nasledujú lokalitách Bacúch, Lutilla a najvyššia koncentrácia je v plodniciach na lokalite Cígeľ. Na tejto lokalite je najväčší rozdiel v koncentrácii medzi hlúbikom (2,889 mg.kg⁻¹) a klobúkom (10,850 mg.kg⁻¹).

ZÁVER

V práci sme sa zamerali na štúdium kumulácie ortuťi v hríbe smrekovom – *Boletus edulis* a v pôdach na vybraných lokalitách podľa stupňa environmentálneho zaťaženia. Dve lokality sa nachádzali v priemysle zaťažených regiónoch a dve v nezaťažených. Namerané hodnoty v pôde boli v intervale od 0,101 do 0,153 mg.kg⁻¹. Tieto hodnoty sú hlboko pod limitom udávanom v zákone 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. V hubách boli namerané hodnoty v intervale 1,027 – 11,451 mg.kg⁻¹. Všetky odobraté vzorky hríba smrekového zo 4 lokalít prekročili limitnú hodnotu stanovenú v Potravinovom kódexe SR – 0,75 mg.kg⁻¹. Najvyššie

hodnoty boli namerané na antropogénne ovplyvnených lokalitách – Cígeľ a Lutilla a nižšie sme zaznamenali v menej zaťažených stanovištiach – Bacúch a Zázrivá. Pri všetkých zorkách platí, že vyššia koncentrácia ortuťi bola zaznamenaná v klobúkoch ako v hlúbikoch.

PodĎakovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektov č. 1/0057/22 a 1/0500/19, v rámci ktorých vznikol prezentovaný príspevok.

LITERATÚRA

- ALONSO, J., SALGADO, M. J., GARCIA, M. A., MELGAR, M. J. 2000. Accumulation of Mercury in Edible Macrofungi: influence of some factors. In *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online], vol. 38, pp. 158-162 [cit. 2022-02-22]. ISSN: 1432-0703. Dostupné na internete: DOI: 10.1007/s002449910020
- ALTEC. 2000. *Návod k obsluze AMA 254*. Praha: ALTEC s. r. o., 2000. 97 s.
- GANC, M. 2020. *Obsah ortuťi v hubách, v pôde a opadanke na lokalitách Krupinskej planiny*. Diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta ekológie a environmentalistiky. 2020. 71 s.

- GOODAY, G. W. 1982. *Metabolic Control of Fruitbody Morphogenesis in Coprinus Cinereus*. New York : Springer, NY, 1982. online ISBN 978-1-4612-5677-9.
- KAVČIČ, A., MIKUŠ, K., DEBELJAK, M., VAN ELTEREN, J., ARČON, I., KODRE, A., KUMP, P., KARYDAS, A., MIGLIORI, A., CZYZYCKI, M., VOGEL-MIKUŠ, K. 2019. Localization, ligan environment, bioavailability and toxicity od mercury im Boletus spp. and Scutigera pes-caprae mushrooms 184, 2019. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 184.
- KOSANIĆ, B., RANKOVIĆ, A., RANČIĆ, T., SAN-KOJKOVIĆ 2019. Evaluation of metal concentration and antioxidant, antimicrobial, and anticancer potentials of two edible mushrooms *Lactarius deliciosus* and *Macrolepiota procera*. *Journal of food and drug analysis*, 24, 2019, s. 477-484.
- MAČEJNÁ, E., ZACHAROVÁ, A., OLLEROVÁ, H., ŠKVARENINOVÁ, J., ŠKVARENINA, J. 2021. Hydrobiochemical balance of total mercury in a forest catchment area at former cinnabar mining locality. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 69, No. 2.
- MAŇKOVSKÁ, B. 1996. *Geochemický atlas Slovenska – Lesná biomasa*. Bratislava: GSSR, 1996. ISBN 80-85314-51-7
- POTRAVINOVÝ KÓDEX SLOVENSKEJ REPUBLIKY
- STN 48 1000: Odber a príprava vzoriek lesných pôd pri zisťovaní zdravotného stavu lesa.
- ZÁKON č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy
- <https://www.nahuby.sk/atlas-hub/Boletus-edulis/hrib-smrekovy/hrib-smrkovy/ID136>
- <https://app.sazp.sk>

STATICKE A DYNAMICKE VLASTNOSTI RETENČNÝCH PARKOVÍSK

MATEJ PLESNÍK

Fakulta ekológie a environmentalistiky Technickej univerzity vo Zvolene T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovensko, matejplesnik@gmail.com

ABSTRACT

Plesník M.: **Static and dynamic properties of retention parking lots**

More and more people are moving from rural areas of the country to the urbanized landscape. This results in increased construction of residential and industrial buildings and the occupation of land on which rainwater has naturally infiltrated the subsoil. The starting point of this problem is the construction of elements of green infrastructure in the urbanized country. However, these elements must be designed in accordance with applicable regulations and legislation. In Slovakia, there is no comprehensive research in this area. As part of applied research, I focused on determining the static and dynamic properties of retention car parks.

Key words: retention, recycled materials, circular economy

ÚVOD

Cieľom projektu retenčnej spevnenej plochy na princípe obehového hospodárstva formou aplikovaného výskumu v mesta Šaľa v Slovenskej republike bolo pokračovať vo výskume *recyklovaných polyesterových doskových materiálov vzájomne spojených taviteľnými vláknami*, ktorý bol robený na EnviHUT v Brne AdMaS v roku 2016 autormi Necadova et al. [1]. Zdrojom recyklovaného materiálu sú vysoko kvalitné textilné vrstvy z odevného a automobilového priemyslu. Vlastnosti recyklovaných textílií, bližšie opísané v článku *Odtokové parametry technických vrstev zelené střechy s využitím textilního recyklátu* [2] nás inšpirovalo uvedené vlastnosti preniesť do systému retenčno – drenážneho systému spôsobitého na odstavenie automobilov do 3,5t.

MATERIÁL A METÓDY

V rámci výskumu boli použité nasledovné metódy a použité meradlá:

Metóda – Určenie deformačných charakteristik konštrukcie vozovky

Meradlá – zaťažovacia doska priemer 100 mm/plocha 0,00785 m², elektronický snímač sily Lukas S 35-200 kN, ATLAS F-11, elektronický odchýlkomer Mitutoyo 575-113

Metóda – Kontrola miery zhutnenia, únosnosti a tuhosti zemných konštrukcií

Meradlá – zaťažovacia doska, elektronický snímač sily Lukas S 35-200 kN, elektronický odchýlkomer Schut-UPM04500, bezkontaktný teplomer IR 880A

Metóda – Kontrola miery zhutnenia a deformačnej odolnosti metódou LDD

Meradlá – zaťažovacia doska priemer 300mm, meracie zariadenie LDD 100 v. č. 194, bezkontaktný teplomer IR 880A

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V areáli spoločnosti CITY STONE DESIGN, s.r.o. v Šali boli vybrané dve experimentálne plochy – parkoviská označené S₁ a S₂.

Parkovacie plochy S₁ a S₂ boli následne upravené tak, ako je na obr. 1



Obr. 1. Experimentálne plochy parkovísk S₁ a S₂, zdroj NARA-SK
Fig. 1. Experimental areas of parking lots S₁ and S₂, source NARA-SK

Plocha S₁ je o rozmeroch 2,59x5,16 m, čo vytvára plochu S₁=13,36 m². Plocha S₂ je rozmerovo a plošne totožná s plochou S₁=13,36 m².

Vertikálna skladba podložia bola navrhnutá s prihliadnutím statického zaťaženia a infiltrčných schopností stanovenej vrstvy. Táto skladba bola pre jednotlivé experimentálne plochy nasledovná:

S₁ – Skladba spevnenej plochy do 3,5t

ĚKO Betónová dlažba 235x145x80 mm	80 mm
Recyklovaný plastový stabilizačný raster vyplnený štrkom fr. 4/8	30 mm
Recyklovaná textilná retenčná doska	20 mm
Recyklovaná textilná retenčná doska	20 mm
Ropná nepriepustná PVC fólia	1 mm
Ochranná netkaná geotextília 200 g/m ²	1 mm
Vyrovnaná zhutnená pláň E _{def2} >45 MPa pri E _{def2} /E _{def1} < 2,5	

S₂ – Skladba spevnenej plochy nad 3,5t

ĚKO Betónová dlažba 235x145x80 mm	80 mm
Recyklovaný plastový stabilizačný raster vyplnený štrkom fr. 4/8	50 mm
Recyklovaná textilná retenčná doska	20 mm
Ropná nepriepustná PVC fólia	1 mm
Ochranná netkaná geotextília 200 g/m ²	1 mm
Vyrovnaná zhutnená pláň E _{def2} >45 MPa pri E _{def2} /E _{def1} < 2,5	

S₂₁ – Skladba spevnenej plochy do 3,5t

ĚKO Betónová dlažba 235x145x80 mm	80 mm
Štrkopiesková vyrovnávajúca a spádovaná	50 mm
Štrkopiesková nosná vrstva 0/32	150 mm

Plastový stabilizačný raster vyplnený štrkom fr. 4/8	30 mm
Recyklovaná textilná retenčná doska	40 mm
Ropná nepriepustná PVC fólia	1 mm
Ochranná netkaná geotextília 200 g/m ²	1 mm
Vyrovnaná zhutnená pláň E _{def2} >45 MPa pri E _{def2} /E _{def1} < 2,5	

S₂₂ – Skladba spevnenej plochy do 3,5t

ĚKO Betónová dlažba 235x145x80 mm	80 mm
Štrkopiesková vyrovnávajúca a spádovaná	40 mm
Drenážny betón	100 mm
Recyklovaná textilná retenčná doska	40 mm
Ropná nepriepustná PVC fólia	1 mm
Ochranná netkaná geotextília 200 g/m ²	1 mm
Vyrovnaná zhutnená pláň E _{def2} >45 MPa pri E _{def2} /E _{def1} < 2,5	

Plochy sú konštruované v sklone 1 %.

Plocha S₁ a S₂₂ je v svahovaná v danom sklone do pravej strany a plocha S₂ a S₂₁ do stredu skúmanej plochy. Obdobne svahované je aj zhutnené podložie, na ktorom je geotextília a nepriepustná ropná fólia s drenážnym potrubím. Sklon podložia a povrchovej úpravy parkoviska je z dôvodov zabezpečenia povrchového odtoku a odtoku vôd, ktoré infiltrujú do podložia podzemným odtokom.

VÝSLEDKY TESTOVACIEHO PARKOVISKA S₁

Výsledky testovacieho parkoviska S₁ nebolo možné vyhodnocovať, lebo uvedená skladba nespĺňala mieru zhutnenia a únosnosti ani len na použitie chodníku pre peších.

VÝSLEDKY TESTOVACIEHO PARKOVISKA S₂

Statická zaťažovacia skúška:

kontrola miery zhutnenia, únosnosti a tuhosti zemných konštrukcií

Parkovacia plocha do 6t
Konštrukcia parkoviska S₂
Technická špecifikácia pre skúšanie:

STN 73 6190:2019 – Statická zaťažovacia skúška
stavebných konštrukcií doskou

Vstupné koeficienty:

Δp [MPa] = 0,100

μ = 0,20

f_e [m] = 0,01585

r [mm] = 178,5

f_{tot} [m] = 0,02265

P_c [MPa] = 0,300



Obr. 2. Namerané hodnoty parkoviska S₂, zdroj NARA-SK

Fig. 2. Measured values of parking lot S₂, source NARA-SK

Vyhodnotenie: Deformačná odolnosť konštrukcie nevyhovuje požiadavkám pre daný typ konštrukcie



Obr. 3. Situácia parkoviska S₂, zdroj NARA-SK

Fig. 3. Situation of parking lot S₂, source NARA-SK

Statická zaťažovacia skúška:

Určenie deformačných charakteristík
konštrukcie vozovky

Parkovacia plocha do 6t

Konštrukcia parkoviska S₂

Technická špecifikácia pre skúšanie:

STN 73 6190

Vstupné koeficienty:

$$k = 0,0767$$

$$r (m) = 0,075$$

$$f_1 (m) = 0,00525$$

$$f_2 (m) = 0,00633$$

$$\Delta p (MN.m^{-2}) = 0,100$$

$$f_{e,1} (m) = 0,00326$$

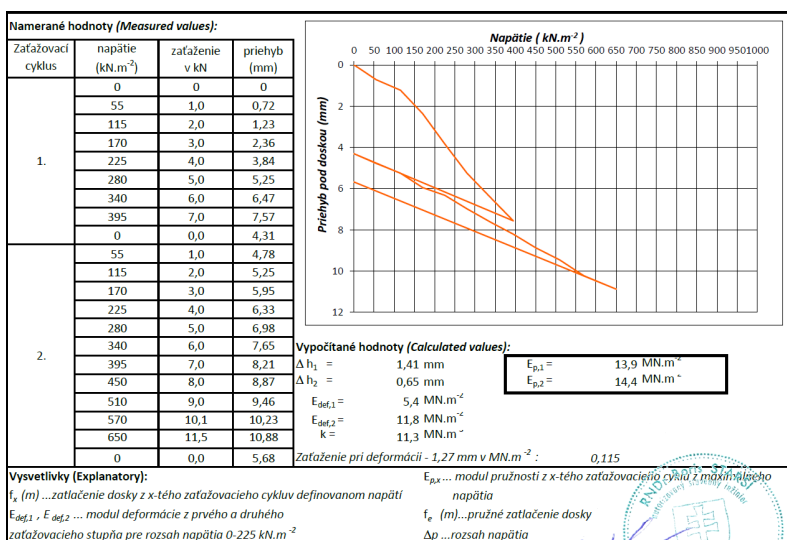
$$f_{e,2} (m) = 0,0052$$

$$v = 0,15$$

Požadované hodnoty:

TDZ IV.-VI. :

$$E_{ekv} > 600 MN.m^{-2}$$



Obz. 4. Namerané hodnoty parkoviska S₂, zdroj NARA-SK

Fig. 4. Measured values of parking lot S₂, source NARA-SK

VÝSLEDKY TESTOVACIEHO PARKOVISKA S₂₁

Statická zaťažovacia skúška:

kontrola miery zžutnenia, únosnosti
a tuhosti zemných konštrukcií

Parkovacia plocha do 3,5t

Konštrukcia parkoviska S₂₁

Technická špecifikácia pre skúšanie:

STN 73 6190:2019 – Statická zaťažovacia
skúška stavebných konštrukcií doskou

Vstupné koeficienty:

$$\Delta p [MPa] = 0,100$$

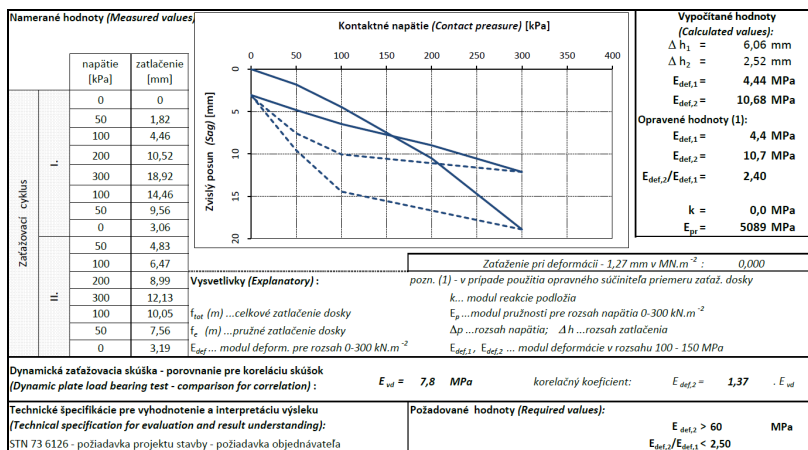
$$\mu = 0,20$$

$$f_e [m] = 0,01586$$

$$r [mm] = 178,5$$

$$f_{tot} [m] = 0,01892$$

$$P_c [MPa] = 0,300$$



Obr. 5. Namerané hodnoty parkoviska S₂₁, zdroj NARA-SK
Fig. 5. Measured values of parking lot S₂₁, source NARA-SK

Vyhodnotenie: Deformačná odolnosť konštrukcie nevyhovuje požiadavkám pre daný typ konštrukcie



Obr. 6. Situácia parkoviska S₂₁, zdroj NARA-SK
Fig. 6. Situation of parking lot S₂₁, source NARA-SK

Kontrola základovej škáry pre plošné základy:

kontrola miery zhutnenia a deformačnej odolnosti metódou LDD

Parkovacia plocha do 3,5t

Konštrukcia parkoviska S₂₁

Technická špecifikácia pre skúšanie:

STN 73 6192, STN 73 6133

Požadované hodnoty:		$E_{vd} > 30 \text{ MN.m}^{-2}$	Metóda merania a vyhodnotenia:		$E_{def2} = E_{vd} \cdot 1,25 \text{ (MN.m}^{-2}\text{)-ily, sily}$
$R_d = 160 \text{ kPa} \approx$		$E_{def,z} > 60 \text{ MN.m}^{-2}$	prepočítavací vzťah*:		$E_{defz} = E_{vd} \cdot 1,65 \text{ (MN.m}^{-2}\text{) - štrky}$
Namerané hodnoty :			<i>*vzťah medzi výsledkami skúšok dynamickej a statickej zaťažovacej skúšky</i>		
Číslo skúšky	Miesto merania	Dynamický modul deformácie	Statický modul deformácie		
Dátum merania		$E_{vd} \text{ (MN.m}^{-2}\text{)}$	$E_{defz} \text{ (MN.m}^{-2}\text{)}$		
1	Parkovisko do 3,5 t	7,5	12,4 vyhovuje		
19.8.2021	okraj				
2	Parkovisko do 3,5 t	8,0	10,0 vyhovuje		
19.8.2021	stred				

Obr. 7. Namerané hodnoty parkoviska S_{21} , zdroj NARA-SK
Fig. 7. Measured values of parking lot S_{21} , source NARA-SK

Vyhodnotenie: Deformačná odolnosť skúšanej vrstvy nevyhovuje požiadavkám projektu stavby.



Obr. 8. Situácia parkoviska S_{21} , zdroj NARA-SK
Fig. 8. Situation of parking lot S_{21} , source NARA-SK

VÝSLEDKY TESTOVACIEHO PARKOVISKA S_{22}

Statická zaťažovacia skúška:

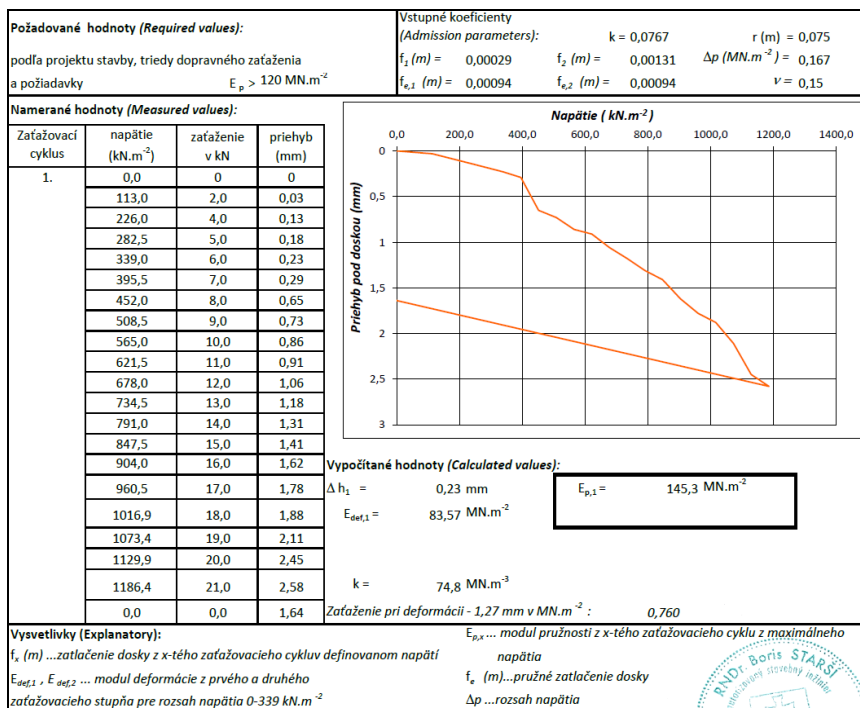
určenie deformačných charakteristík konštrukcie vozovky

Parkovacia plocha nad 3,5t

Konštrukcia parkoviska S_{22}

Technická špecifikácia pre skúšanie:

STN 73 6190



Obr. 9. Namerané hodnoty parkoviska S₂₂, zdroj NARA-SK
Fig. 9. Measured values of parking lot S₂₂, source NARA-SK

Vyhodnotenie: Konštrukcia vyhovuje požiadavkám



Obr. 10. Situácia parkoviska S₂₂, zdroj NARA-SK
Fig. 10. Situation of parking lot S₂₂, source NARA-SK

ZÁVER

V rámci výskumu sme dokázali, že retenčno – drenážne skladby pre automobily spĺňajú požiadavky technickej legislatívy uvedené v Slovenských technických normách (STN a STN EN).

Konkrétne ide o skladbu S₂₂. Skladba S₂₁, síce nespĺňa požiadavky technickej legislatívy uvedené v Slovenských technických normách (STN a STN EN), ale skladba je spôsobilá pre automobily do 3,5t.

Pod'akovanie

Autor ďakuje Národnej recyklačnej agentúre Slovensko za finančnú podporu pri riešení projektu, v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok a RNDr. Borisovi Staršiemu za vyhotovenie protokolov z merania statickej a dynamickej skúšky experimentálnych plôch.

LITERATÚRA

- [1] NECADOVA, K., SELNÍK, P., MOHAPL, M., MOHELNIKOVA, J. 2018. Evaluation of the Primary Vegetative Test for the Testing Building Environment. *Procedia Engineering* 190: 78 – 85.
- [2] SELNÍK, P., BECKOVSKY, D., REBROVA, T., 2020. *Odtokové parametry technických vrstev zelene střechy s využitím textilního recyklátu*. TŽB-info. [cit. 2021-10-03] Dostupné na internete: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/20129-odtokove-parametry-technickyh-vrstev-zelene-strechy-s-vyuzitim-textilniho-recyklatu>
- [3] STARŠÍ, B., 2021. KVALITEST, Statické a dynamické skúšky v rámci aplikovaného výskumu. Osobná komunikácia.

Použité normy STN

STN 73 6192: 2011 Rázová zaťažovacia skúška vozoviek a podložia
STN 73 613: 2013 Samostatné konvekčné ohrievače na plynné palivá
STN 73 6190: 2019 Statická zaťažovacia skúška stavebných konštrukcií doskou

MIKROFLÓRA BANSKÝCH VÔD V LOKALITE ŠPANEJ DOLINY A MOŽNOSTI BIOREMEDIÁCIE

MICHAL SEČKÁR¹ – MARIÁN SCHWARZ¹ – ZUZANA PERHÁČOVÁ²

¹Katedra environmentálneho inžinierstva, ²Katedra biológie a všeobecnej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, e-mail: xseckarm@is.tuzvo.sk

ABSTRACT

Sečkář M., Schwarz M., Perháčová Z.: **Microflora of mining waters in the locality of Španej dolina and possibilities of bioremediation**

Mining activity in the locality of the village of Špania dolina was very important in the past. The village was known in terms of mining activities in the surrounding states, and even in the United Kingdom. Mining activities had a significant negative effect on the relief of the landscape and the environment. It has left environmental burdens in the area, which include massive heaps of tailings, sludge ponds, landfills and contaminated the fauna and flora of the entire village and surrounding area with heavy metals. The resulting measured values of physico-chemical indicators met the limits according to the Regulation of the Government of the Slovak Republic 398/2012 Coll., which amends the Regulation of the Government of the Slovak Republic no. 269/2010 Coll., which sets requirements for achieving good water status. pH values ranged from 6.8 to 7.2. Conductivity values ranged from 31 mS/m to 46 mS/m. Values of solutes in water ranged from 18 mg/l to 23 mg/l. By cultivation methods, we found that there are coliform bacteria and cultivable bacteria at 22 °C. Coliform bacteria occurred in the area ranging from 5 CFU/ml to 15 CFU/ml. Cultivable bacteria at 22 °C were present in the range from 56 CFU/ml to 85 CFU/ml. Enterococci were not found in the area. None of the samples exceeded the limits of the Regulation of the Government of the Slovak Republic 398/2012 Coll., which amends the Regulation of the Government of the Slovak Republic no. 269/2010 Coll., which sets requirements for achieving good water status. Cultivable bacteria at 22 °C were used for MALDI-TOF mass spectrometry, where G⁺ bacteria *Bacillus cereus* and G⁻ bacteria *Pseudomonas pseudoalcaligenes* were identified. These bacteria have been shown to be able to biosorb heavy metals and produce biologically active substances, especially enzymes, which are widely used in environmental bioremediation.

Key words: bioremediation, *Bacillus cereus*, MALDI-TOF, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, copper

ÚVOD

Slovensko a hlavne revíry stredného Slovenska boli považované za veľmi dôležité oblasti banskej činnosti, pretože sa tu nachádzali rudy bohaté na vzácne kovy. Jednou z takýchto lokalít bol revír v okolí Španej doliny. Banská činnosť tu pretrvávala od doby bronzovej až do konca 20. storočia. Po banskej činnosti sa tu nezanechali len kultúrne pamiatky, ale aj také, ktoré žijú v okolí dediny negatívne ovplyvňujú dodnes. Sú to environmentálne záťažové v podobe hald, šácht, odkalísk, úpravni a podobne.

Samotná banská činnosť zanechala v podzemí oblasti sieť tunelov, ktoré môžu zapríčiniť

prepadnutie nadložia pri narušení stability a cirkulácie vody horninového masívu. Povrchové a podzemné vody, riečne sedimenty a pôda sú kontaminované vysokými koncentraciami chemických prvkov napr. Cu, As a Sb. Táto kontaminácia pochádza hlavne z antropogénnej činnosti. Odpady z banskej činnosti, samotná ťažba a úprava rúd v lokalite značne ovplyvnili a zmenili charakter reliéfu krajiny. Haldy, ktoré tu vznikli, zaberajú veľmi veľkú plochu krajiny, kontaminujú ovzdušie prachovými časticami, ktoré sa deponujú do povrchových a podzemných vôd.

V článku sú opísané fyzikálno-chemické vlastnosti vôd, identifikácia a bioremediačné využitie mikroorganizmov nachádzajúcich sa vo vo-

dách na sledovanom území. Boli použité kultivačné, mikroskopické a molekulárne metódy.

Bioremediácia pomocou mikroorganizmov žijúcich v oblasti je najlepšia cesta pri riešení záťažových typov, pretože je ekonomicky nenáročná a toxické formy ťažkých kovov sú premenené mikroorganizmami na ich menej toxické formy alebo sú akumulované mikroorganizmami.

CHARAKTERISTIKA OBLASTI

Slovensko v minulosti patrilo medzi najvýznamnejšie banícke lokality v Európe. Vzácné kovy ako napríklad zlato, meď a železo sa na území Slovenska ťažili vo veľkých množstvách. Stredné Slovensko a hlavne Banskobystrický banský revír bol na popredných priečkach v dejinách Slovenska, kde sa ťažili prevažne medené, strieborné a železné rudy. Špania dolina sa podieľala na ťažbe najviac a bola najvýznamnejšou dedinou (BROWN 1980).

Rudná oblasť na ťažbu medenej rudy sa rozprestierala od Starých hôr cez Piesky a Richtárovú až po Španiu Dolinu. Banské diela sú situované v nadmorských výškach od 430 až do 900 metrov nad morom. Územie je ohraničené Starohorským potokom zo severu. Samotná dedina sa nachádza v geomorfologickom celku Starohorské vrchy a zo severozápadnej strany sa rozprestiera najvyšší vrch tejto oblasti Panský diel. Územie má povahu hornatinového reliéfu. Flóru v minulosti vytvárali jedľové a bukové lesy, ale kvôli banskej činnosti a vysádzaniu sa nachádzajú na území v súčasnosti prevažne smrekové porasty. Človek ako jeden z najvýznamnejších faktorov z hľadiska geomorfológie modeloval na území Španej doliny obsiahle antropogénne formy reliéfu, ako napríklad haldy (KLASOVÁ et al. 2013).

V okolí Španej doliny sa na základe antropogénnych faktorov vegetácia jedľových a bukových lesov premieňala na suťové haldy. Z tohto dôvodu sa kvantita a prietoknosť povrchových vôd postupne znižovali a to malo za následok vymiznutie množstva prameňov a tokov. Výbudovanie systému na odvodňovanie banských štôlní a šácht spôsobilo narušenie podzemných vôd. Na kvalitu povrchových a podzemných vôd významne vplývala okrem hald aj úprava banských rúd, čo znižovalo kvalitu ovzdušia. Emisie oxidov síry z úpravne banských rúd a prach z hald deponovali na lesy a pôdu v okolí a znižovali biodiverzitu fauny a flóry (RUSKO & RUSKOVÁ 2001).

Kľúčové minerály nachádzajúce sa na území predstavujú siderit, chalkopyrit a tetradrit. Vznikli v troch štádiách: kremenno-sideritovom bohatom na pyrit, medeno-sulfidickom bohatom

na chalkopyrit, tetradrit a sulfidy a barytovo-sulfidickom. V južnej časti sa nachádzajú kremené žily hojné na zlato s koncentráciou približne do 33 g/t. V strede územia pri Španej Doline a Pieskoch sa prevažne nachádza medená mineralizácia a na severe pribúda baryt a sulfidy (JELEŇ & GALVÁNEK 2015).

Špania dolina sa môže pýšiť najväčšou a najlepšie zachovanou haldou zo šachty Maximilián (obr. 1), z ktorého je zrejím rozsah banskej činnosti v minulosti. Objem haldy sa odhaduje na cca 405 000 m³. Antropogénna činnosť vytvorila krajinný úkaz so špecifickými environmentálnymi podmienkami, ktoré sú úplne odlišné od normálneho horninového prostredia. Halda vykazuje silnú skeletnosť (častice nad 2 centimetre). Humusová vrstva takmer na celej halde chýba, jej nedostatok alebo úplná neprítomnosť sa pohybuje od 53 % do 87 % (BANÁSOVÁ 1976).

Najvýznamnejšie environmentálne problémy a riziká spojené s haldami sú veľký záber pôdy, emisie prachu s toxickými látkami z ťažby, vodné emisie. Narušením haldy môžu vzniknúť environmentálne škody alebo môže dôjsť k ohrozeniu životov obyvateľov v blízkej oblasti. Uvedené účinky na oblasť možno rozdeliť na krátkodobé a dlhodobé. Medzi krátkodobé sa zaraďujú napr. zaplavenie, zanesenie okolia nánosmi, poškodenie okolitej krajiny, deštrukcia infraštruktúry alebo akútne otravy toxickými látkami. Za dlhodobé následky sa považujú kontaminácia pôd, vôd a ovzdušia, čím vzniká riziko poškodenia zdravia, chronické otravy toxickými látkami a akumulácia toxických prvkov rastlinami a živočíchmi (MICHALKOVÁ 2012).

Podľa Andráša et al. (2008) najvýznamnejšími toxickými prvkami v banskej lokalite Špania dolina sú meď, antimón a arzén. Tieto prvky predstavujú možné vážne nebezpečenstvo pre životné prostredie a ľudí v okolí, kvôli vysokotoxickému charakteru zlúčenín, ktoré vytvárajú. Väčšina medi v oblasti Španej Doliny sa nachádza v chalkopyrite a prevažná časť As a Sb v tetradrite.

Kontaminácia pôd meďou a jej zlúčeninami vzniká z využitia materiálov obsahujúcich meď, ako sú hnojivá, poľnohospodárske alebo komunálne odpady, ako aj odpady a emisie z priemyslu. Hlavnými zdrojmi znečistenia sú haldy po ťažbe, v ktorých sú koncentrácie medi v povrchových pôdach klesajú so vzdialenosťou. Zvlášť významné sú koncentrácie v smere vetra. Niektoré miestne alebo náhodné vstupy medi do pôd môžu byť spôsobené koróziou stavebných materiálov zo zliatin medi (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 2001).



Obr. 1 Halda v obci Špania dolina (RÁBIK et al. 2013)

Fig. 1 Heap in Špania dolina (RÁBIK et al. 2013)

MATERIÁL A METÓDY

Vzorky drenážnej vody boli odobraté z drenážnej nádrže do sklenených sterilných vzorkovníč tak, aby po uzavretí vzorkovníce zostal vzduchový priestor nad hladinou. Drenážna voda bola oranžovožltej farby bez výrazného zápachu. Vzorky boli okamžite prenesené v prenosnom chladiacom zariadení do laboratória a uchované v chladničke (4 °C). Vzorky boli odobrané do sklenených nádob o objeme 0,5 litra z dvoch miest pod haldou Maximilián v októbri 2020.

Stanovenie fyzikálno-chemických ukazovateľov

Z fyzikálno-chemických ukazovateľov sme sledovali pH, vodivosť a rozpustené látky. Tieto fyzikálno-chemické ukazovatele sme stanovovali prístrojom Combo od výrobcu Hanna Instruments. Kvalitatívne ukazovatele sledované vo všetkých monitorovaných miestach boli zhodnotené podľa legislatívy (NV 398 2012).

Metóda MALDI-TOF MS

Matričná laserová desorpčno-ionizačná hmotnostná spektrometria s dobou letu (Matrix-assisted laser desorption ionisation time-of-flight mass spectrometry – MALDI-TOF MS) je rýchla, presná a vysoko výkonná metóda na identifikáciu mikroorganizmov (BOURASSA & BUTLER-WU 2015).

Hmotnostná spektrometria MALDI-TOF MS pracuje na základe porovnávania proteínového profilu (spektra) neznámeho skúmaného izolátu s najpodobnejšími profilmi v databáze známych profilov mikroorganizmov. Samotné špecifické proteíny nie sú identifikované. Celkový vzorec a množstvo bielkovín rôznych hmotností predstavuje pre každý mikroorganizmus jedinečný odtlačok prsta. Pred začatím analýzy musí byť zabezpečené, že vzorka (mikroorganizmus), ktorú analyzujeme, je čistá, nezmiešaná s inými mikroorganizmami a v dostatočnom množstve. Presnosť analýzy bola stanovená podľa hodnoty dosiahnutého skóre (bezrozmerná jednotka) pre analyzované vzorky (tab. 1) (BUCHAN & LEDEBER 2014).

Tab. 1 Význam hodnôt skóre MALDI-TOF analýzy (MAČÁK & FANDÁKOVÁ 2017)**Tab. 1 Significance of MALDI-TOF analysis score values (MAČÁK & FANDÁKOVÁ 2017)**

Rozsah	Popis	Symboly	Farba
2,300 ... 3,000	Vysoko pravdepodobná identifikácia druhu	(+++)	Zelená
2,000 ... 2,299	Zabezpečená identifikácia rodu, pravdepodobná identifikácia druhu	(++)	Zelená
1,700 ... 1,999	Pravdepodobná identifikácia rodu	(+)	Žltá
0,000 ... 1,699	Nie spoľahlivá identifikácia	(-)	Červená

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Fyzikálno-chemické ukazovatele (tab. 2) sú dôležitou súčasťou analýzy kvality vody. Name-

rané hodnoty pH, mernej vodivosti (konduktivita) a rozpustených látok vo vode neprekračujú limity podľa legislatívy (NV 398 2012).

Tab. 2 Výsledky fyzikálno-chemických ukazovateľov**Tab. 2 Results of physico-chemical indicators**

Odberové miesto	Tajch				Potok				Štatistické ukazovatele		
	2019 IV.	2019 X.	2020 IV.	2020 X.	2019 IV.	2019 X.	2020 IV.	2020 X.	Min	Max	Smerodajná odchýlka
pH	7,17	7,19	6,94	6,8	7,2	7,2	6,95	6,8	6,8	7,2	0,178601
κ [mS/m]	40	38	42	41	43	46	38	31	31	46	4,454131
TDS [mg/l]	21	19	20	21	23	22	19	18	18	23	1,685018

Legenda: TDS – celkové rozpustené látky, κ – konduktivita

Namerané hodnoty pH sa pohybovali v rozmedzí od 6,8 do 7,2. Hodnoty pH sa v roku 2020 znížili v porovnaní s rokom 2019. Namerané hodnoty konduktivity sa pohybovali v rozmedzí od 31 do 46 mS/m. Namerané hodnoty rozpustených látok vo vodách sa pohybovali v rozmedzí od 18 do 23 mg/l. Všetky fyzikálno-chemické ukazovatele spĺňajú limitné hodnoty podľa legislatívy (NV 398 2012). Podľa nameraných výsledkov sa zdá, že hodnoty pH mierne klesajú s časom a konduktivita s TDS má ustálené hodnoty, na zodpovedné zhodnotenie trendov v poklese alebo náraste týchto ukazovateľov je potrebný väčší počet meraní v dlhšom časovom intervale. Hlavným prínosom tejto práce je sledovanie mikrobiologických ukazovateľov. Na kultiváciu kultivovateľných baktérií pri teplote 22 °C sa využila metóda zalievania a priameho výsevu podľa normy STN EN ISO 6222, enterokoky sme kultivovali podľa normy STN EN ISO 7899-2 a koliformné baktérie podľa STN ISO 9308-1. Kultivačnými metódami

sme zistili, že v oblasti sa nachádzajú koliformné baktérie a kultivovateľné baktérie pri 22 °C. Koliformné baktérie sa nachádzali v oblasti v rozmedzí od 5 do 15 KTJ/ml. Kultivovateľné baktérie pri 22 °C sa nachádzali v oblasti v rozmedzí od 56 do 85 KTJ/ml. Enterokoky, ktoré sú indikátormi čerstvého fekálneho znečistenia, sa v oblasti nenachádzali. Všetky mikrobiologické ukazovatele spĺňajú limitné hodnoty podľa legislatívy (NV 398 2012).

Hmotnostná spektrometria MALDI-TOF vzorky č. 1 (tab. 3) a vzorky č. 2 (tab. 4) izolovaných čistých kultúr z kultivovateľných baktérií pri 22 °C ukazuje, že sa vo vzorke vyskytujú viaceré baktérie toho istého druhu. Najpravdepodobnejšie sa vo vzorkách nachádzali G⁻ baktérie *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas rhodesiae*.

Tab. 3 Výsledky analýzy MALDI-TOF MS z roku 2021 (Tajch)

Tab. 3 Results of the MALDI-TOF MS analysis from 2021 (Tajch)

Poradie (Kvalita)*	Zhodujúce sa vzory s databázou	Hodnota**	NCBI Identifier***
1 (+)	<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> ssp <i>pseudoalcaligenes</i> DSM 50188T HAM	1,709	330
2 (-)	<i>Pseudomonas rhodesiae</i> DSM 14020T HAM	1,661	76760
3 (-)	<i>Pseudomonas oleovorans</i> DSM 1045T HAM	1,581	301
4 (-)	<i>Pseudomonas fluorescens</i> DSM 50090T HAM	1,501	294
5 (-)	<i>Pseudomonas proteolytica</i> DSM 15321T HAM	1,474	219574
6 (-)	<i>Pseudomonas caricapapayae</i> LMG 2152T HAM	1,47	46678

* význam symbolov uvádza tab. 1.

** bezrozmerná veličina vyjadrujúca skóre z analýzy MALDI-TOF

*** NCBI identifier je jednoduchý rad číslíc, ktoré sú postupne priradené každému sekvenčnému záznamu spracovanému NCBI.

Tab. 4 Výsledky analýzy MALDI-TOF MS z roku 2019 (Tajch)

Tab. 4 Results of the MALDI-TOF MS analysis from 2019 (Tajch)

Poradie* (Kvalita)	Zhodujúce sa vzory s databázou	Hodnota**	NCBI Identifier***
1 (+)	<i>Bacillus cereus</i> DSM 31T DSM	1,974	1396
2 (+)	<i>Bacillus cereus</i> 4080 LBK	1,893	1396
3 (+)	<i>Bacillus pseudomycooides</i> DSM 12442T DSM	1,719	64104
4 (-)	<i>Bacillus cereus</i> 994000168 LBK	1,694	1396
5 (-)	<i>Bacillus mycooides</i> DSM 2048T DSM	1,652	1405
6 (-)	<i>Bacillus weihenstephanensis</i> DSM 11821T DSM	1,585	86662

Pseudomonas pseudoalcaligenes je G- baktéria s vysokou kapacitou biosorpcie ťažkých kovov. V práci od Leung et al. (2001) uskutočnili autori vsádzkové biosorpčné experimenty na zistenie schopnosti izolovanej baktérie odstrániť nasledujúce kovy: Cu, Ni a Pb, pričom boli dosiahnuté sorpčné hodnoty pre Cu a Pb okolo 35–40 mg kovu/g suchej bunky, pri Ni boli hodnoty výrazne nižšie. Pretože biosorpcia kovov z roztoku je spôsobená predovšetkým fyzikálno-chemickými interakciami medzi biomasou a kovom v roztoku, morfológické rozdiely existujúce v biomase môžu významne ovplyvniť biosorpčný proces. Stereochemické rozdiely v štruktúrach bunkového obalu

môžu mať významný rozdiel v prijímaní kovových iónov týmito štruktúrami. Bunková stena je najdôležitejšou štruktúrou, ktorá môže tvoriť bunkový obal, ale na stene sa bežne nachádzajú toboľky, S-vrstvy a plášte. Gramnegatívne baktérie (napr. *Pseudomonas*) majú bunkové steny, ktoré sú chemicky a štruktúrálné zložitejšie ako grampozitívne baktérie (napr. *Bacillus*), čo vedie k rôznym schopnostiam biosorpcie kovov. Ukázalo sa, že mnoho druhov baktérií izolovaných z aktívovaného kalu produkuje extracelulárne polyméry, ktoré poskytujú povrchové miesta na adsorpciu a tvorbu komplexov ťažkých kovov. Zvýšená produkcia extracelulárnych polymérov môže zvýšiť väzbu kovov. Väčšina štúdií uvádza, že sa odstra-

ňuje meď a olovo účinnejšie ako mnoho iných kovov a nikel má s ním spojenú jednu z najnižších účinností odstraňovania. Meď a olovo sa významne odstraňovali, zatiaľ čo nikel sa odstraňoval slabšie. Spomedzi všetkých izolátov bol druh *P. pseudoalcaligenes* jednou z najúčinnějších baktérií pri odstraňovaní medi a olova z vodných roztokov. Biosorpčný potenciál kovov najmä *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, môže mať možné využitie pri odstraňovaní a regenerácii kovov z odpadových vôd (LEUNG et al. 2001).

V práci od SONAWDEKAR & GUPTA (2020) bola študovaná biosorpcia Cu a Cd pomocou buniek *Bacillus cereus*. Biosorpčná kapacita buniek bola študovaná ako funkcia pH, počiatkovej koncentrácie kovu, koncentrácie buniek a doby kontaktu. Dávkové štúdie ukázali, že bunky *Bacillus cereus* by mohli adsorbovať až 90 % oboch kovov. Pre meď bola potrebná celková doba kontaktu 90 minút s počiatkovou koncentráciou kovu 100 ppm pri pH 5 s použitím 10 mg/ml buniek, zatiaľ čo pre 30 ppm kadmia pri pH 7 bolo na sorpciu potrebných až 180 minút. Štúdia preukázala koreláciu s Langmuierovým modelom s rôznymi koncentraciami Cu aj Cd. Zistilo sa, že adsorpčná kapacita je 225 mg/g pre meď a 34,67 mg/g pre kadmium. Podľa Freundlichovej izotermy sa zistilo, že hodnota $1/n$, ktorá ukazuje silu adsorpcie bola pre meď 0,5114 a 0,2492 pre kadmium, čo naznačuje normálnu a priaznivú intenzitu adsorpcie (SONAWDEKAR & GUPTA 2020).

Autori ROHINI & JAYALAKSHMI (2016) sledovali vitalitu izolovaného kmeňa *Bacillus cereus* pri rôznych koncentráciách Cu, pričom zistili, že pri expozícii nad prahovú koncentráciu do 600 ppm Cu v roztoku vykazuje meď viacero toxických následkov. Analyzovala sa hladina tiolov vytvorených ako reakcia na meď a stanovili sa celkové tioly, neproteínové a proteínové tioly. Vysoký obsah celkového tiolu sa pozoroval po 48 hodinách inkubácie. Zistilo sa, že kmeň pri ideálnych optimalizačných parametroch akumuluje až 49 % medi. Je teda možné že kmeň *Bacillus cereus* má vysoký potenciál z hľadiska bioremediácie (ROHINI & JAYALAKSHMI 2016).

Veľmi zaujímavým príkladom eliminácie toxických kovov z kontaminovaných pôd bolo použitie kombinácie dvoch protikladných biologických aktivít: baktérií oxidujúcich síru a mikroorganizmov redukujúcich síru (JEREZ 2017). V prvom kroku vytvárajú baktérie oxidujúce síru kyselinu sírovú, ktorá biologicky devitalizuje a zvyšuje mobilitu kovov tým, že nerozpustné formy kovov v pôde prevádza na rozpustné. Vylúhované kovy sa potom vyzrážajú v druhom kroku

pomocou bioreaktora, v ktorom sírovodík generovaný baktériami redukujúcimi síru za neutrálnych a anaeróbných podmienok vytvára nerozpustné kovové sulfidy, ktoré môžu byť obsiahnuté alebo použité na získanie vyzrážaných kovov. Z kontaminovaných pôd sa dajú účinne vylúhovať kovové nečistoty ako Cu, Cd, Ni a ďalšie. Odpadové vody získané z tohto procesu sú dostatočne čisté od kovov, aby ich bolo možné opätovne použiť v životnom prostredí (JEREZ 2017).

ZÁVER

Environmentálne záťaž z nachádzajúce sa v banskom revíri pri obci Špania dolina negatívne pôsobia na zložky životného prostredia. Banská činnosť zanechala v oblasti hneď niekoľko takýchto záťaží. Haldy, odkaliská a depónia sú hlavnými zdrojmi kontaminácie ťažkými kovmi a inými látkami, ktoré predstavujú riziko pre životné prostredie. V práci boli v sledovanom období rokov 2019 a 2020 zistené mierne znižujúce sa hodnoty pH a hodnoty κ a TDS nevykazovali žiaden významný trend, pre ktorého zistenie je potrebný väčší počet analýz počas dlhšieho obdobia. Hodnotili sa fyzikálno-chemické ukazovatele, mikrobiologické ukazovatele a možnosti bioremediácie. Namerané hodnoty pH sa pohybovali v rozmedzí od 6,8 do 7,2. Namerané hodnoty konduktivity sa pohybovali v rozmedzí od 31 do 46 mS/m. Namerané hodnoty rozpustených látok vo vodách sa pohybovali v rozmedzí od 18 do 23 mg/l. Hmotnostná spektrometria MALDI-TOF identifikovala G⁻ baktériu *P. pseudoalcaligenes* a G⁺ baktériu *Bacillus cereus*. Obe baktérie majú veľký význam v oblasti bioremediácie. Baktérie sa preukázali schopnosťou biosorpcie ťažkých kovov a produkovať biologicky aktívne látky, predovšetkým enzýmy, ktoré majú v bioremediáciách životného prostredia rozsiahle využitie. Biomining predstavuje optimálne riešenie problému s ťažkými kovmi v uvedenej lokalite, pretože je finančne nenáročný, umožňuje ekonomické zhodnotenie a z hľadiska ochrany životného prostredia je omnoho prijateľnejší.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla za podpory grantovej agentúry MŠVVaŠ SR KEGA pri riešení projektu č. 008TU Z-4/2019 s názvom Zabezpečenie nového študijného programu forenzná a kriminalistická environmentalistika.

LITERATÚRA

- ANDRÁŠ, P., LICHÝ, A., RUSKOVÁ, J., MATÚŠKOVÁ, L. 2008: *Heavy metal contamination of the landscape at the Lubietová deposit (Slovakia)*. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Venice, Italy, ISSN 2070–3740, 2008, roč. 34, s. 97–100.
- BANÁSOVÁ, V. 1976. *Vegetácia medených a antimónových hald*. 1. vyd., Bratislava : VEDA, 1976. 122 s. ISSN 0037-6930
- BOURASSA, L., BUTLER-WU, S. 2015. MALDI-TOF Mass Spectrometry for Microorganism Identification. In: *Methods in Microbiology*. Academic Press, ISSN 0580-9517, ISBN 9780128032978, 2015, roč. 42, s. 37–85. Dostupné na internete: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0580951715000161>>
- BROWN, E. 1980. *Cesta z Komárna do bankských miest v Uhorsku a odtiaľ do Viedne*. Martin: Osveta, 1980. 52 s.
- BUCHAN, B. W., LEDEBOER, N. A. 2014. Emerging technologies for the clinical microbiology laboratory. In: *Clinical Microbiology Reviews* roč. 27, 2014 č. 4. s. 783–822. Dostupné na internete: <<https://www.scopus-com.sldk01.tuzvo.sk:2443/record/display.uri?eid=2-s2.0-84907798849&origin=inward&txGid=415200bac968df35af9a4379883cbd44>>
- JELĚN, S., GALVÁNEK, J. 2015. *Geografická revue - Geografické a geoekologické štúdie*. Banská Bystrica: FPV UMB Banská Bystrica, Katedra geografie a geológie, 2015. 53 s. ISSN 1336-7072
- JEREZ, C. A. 2017. Biomining of metals: how to access and exploit natural resource sustainably. In *Microbial biotechnology*, University of Chile, roč. 10(5), 2017, s. 1191–1193. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12792>>
- KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. 2001 *Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition*, CRC Press, Boca Raton, 403 s., ISBN 0-8493-1575-1
- KLASOVÁ, Z., FLÓROVÁ, M., FATUROVÁ, A. et al. 2013. *PAMIATKOVÁ REZERVÁCIA ŠPANIA DOLINA ZÁSADY OCHRANY PAMIATKOVÉHO ÚZEMIA*. Banská Bystrica: Krajský pamiatkový úrad Banská Bystrica, 2013. 99 s. Dostupné na internete: <<https://www.pamiatky.sk/Content/ZASADY/%C5%A0pania%20dolina/zasady-ochrany.pdf>>
- LEUNG, W.C., CHUA, H., LO, W. 2001. Biosorption of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge. In *Applied Biochemistry and Biotechnology*. roč. 91, 2001, s. 171–184. (2001). Dostupné na internete: <<https://link.springer.com/article/10.1385%2FABAB%3A91-93%3A1-9%3A171>>
- MAČÁK, J., FANDÁKOVÁ, I. 2017. *Rýchla diagnostika mikroorganizmov MALDI-TOF Biotyper*. [online] Dostupné na internete: <http://www.synlab.sk/fileadmin/standortseiten/synlab_sk/pdf/prednasky/2017-11-KE/06-Macac-rychla-diagnostika.pdf>
- MICHALKOVÁ, E., LALÍK, V., SCHWARZ, M. 2012. *Environmentálne vplyvy výroby I*. Technická univerzita Zvolen, 2012. 325 s. ISBN 978-80-228-2590-0
- NV 398, 2012. Nariadenie vlády Slovenskej republiky 398/2012 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.
- RÁBIK V., LABANC P., TIBENSKÝ M. 2013. *Historická geografia*. Trnava : Filozofická fakulta TU, 2013. 84 s., ISBN 978-80-8082-643-7
- ROHINI, R., JAYALAKSHMI, S. 2016. Microbial Bioremediation of Copper by a Bacillus cereus Strain Isolated from Coastal Waters of Thoothukudi, Tamil Nadu In *Proceedings of the International Forestry and Environment Symposium* [online]. roč. 21, 2016, č. 217. Dostupné na internete: <<http://journals.sjp.ac.lk/index.php/fesympo/article/view/3087>>
- RUSKO, I., RUSKOVÁ, J. 2001. Environmentálne problémy banickej krajiny v modelovom území Špania Dolina. In Turisová I. (ed.): *Ekologická diverzita modelového územia banskobystrického regiónu*. Banská Bystrica: FPV UMB, 2001. s. 34–48.
- SONAWDEKAR, S., GUPTA, A. 2020. Biosorption of copper(II) and cadmium(II) by Bacillus cereus ssp1 isolated from oil-contaminated site. In: *SN Applied Sciences*, roč. 2, 2020, č. 1254. Dostupné na internete: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-3062-z>>

STANOVENIE INDEXU HMOTNOSTNEJ AKTIVITY STAVEBNÝCH MATERIÁLOV METÓDOU GAMA SPEKTROMETRIE

MIROSLAV VANEK¹ – JOZEF SALVA – ANNA ĎURICOVÁ – ANNA DARABOŠOVÁ

¹Katedra environmentálneho inžinierstva, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, vane@tuzvo.sk

ABSTRACT

Vanek, M., Salva, J., Ďuricová, A., Darabošová, A.: **Determination of activity concentration index in building materials by gamma spectrometry.**

Radioactivity in building materials is a major concern in radiation protection, in order to control the indoor exposure of individuals. External exposure is caused by gamma and beta radiation from radionuclides in building materials, while internal exposure is caused by inhalation of radon and its progeny in the indoor air. Levels of external exposure are limited by legislation requirements. Mass activity of natural radionuclides and activity concentration index are regularly being determined and agreement with the requirements is evaluated. Gamma spectrometry is the most common method, as it reliable and requires relatively simple sample preparation. Either semiconductor detectors (HPGe) or scintillation detectors (NaI(Tl)) can be used to measure gamma ray spectrum. While both are routinely used for this purpose, they have significantly different properties, advantages and disadvantages. This paper aims at comparison between these two types of detectors, with regard to their use for determination of naturally occurring radionuclides activity in building materials. The paper does not claim a complete and exhaustive analysis of the issue, rather, it deals with selected aspects of the issue on the example of a specific analysis.

Key words: radioactivity, gamma spectrometry, building materials, activity concentration index

ÚVOD

Rádioaktivita je prirodzenou súčasťou nášho životného prostredia. Človek svojou činnosťou prispieva k prírodnej rádioaktivite vytváraním umelých rádionuklidov a zdrojov ionizujúceho žiarenia. K celkovému ožiareniu ľudí prispieva okrem prírodného a antropogénneho radiačného pozadia aj pobyt v interiéri budov. Z hľadiska radiačnej ochrany môže byť pobyt v interiéri spojený s expozíciou radónu (z podlažia a zo stavebných materiálov) a tiež gama žiareniu z rádionuklidov obsiahnutých v stavebných materiáloch. Pre stavebné materiály sú stanovené požiadavky na zabezpečenie radiačnej ochrany obyvateľstva v príslušnej legislatíve [1, 2]. Preukazovanie plnenia týchto požiadaviek sa vykonáva laboratórnou analýzou vzorky stavebného materiálu. Najčastejšie využívanou analytickou metódou je

spektrometria žiarenia gama zo vzorky hermetic-ky uzavretej dostatočne dlhý čas na vytvorenie rovnováhy v premenovom rade. Spektrum gama žiarenia emitované zo vzorky uzavretej vo vhodnej nádobe sa zaznamenáva pomocou detektora v tieniacom kryte a následne sa vyhodnocuje špecializovaným softvérom [3]. Podľa typu detektora rozlišujeme gamaspektrometrický systém s polovodičovým detektorom a so scintilačným detektorom. Tieto dva typy detektorov sa líšia princípom fungovania, parametrami aj možnosťami ich využitia. Obe sa bežne používajú na stanovenie hmotnostnej aktivity gama aktívnych rádionuklidov v stavebných materiáloch. V tomto príspevku prinášame prehľadné porovnanie využitia týchto dvoch spektrometrických systémov pri analýze vzoriek stavebných materiálov na príklade analýzy konkrétnej vzorky obidvoma metódami.

MATERIÁL A METÓDY

V tejto práci je pre účely porovnania dvoch metód gamaspektrometrickej analýzy vzorky stavebných materiálov analyzovaná vzorka prírodného kameniva z lokality Lom Husiná, ťažená hornina je čadič. Interné označenie vzorky je TPA-07.

Výhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 19. marca 2018, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzení ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia, ustanovuje, že za stanovenie rádiologických ukazovateľov v stavebnom materiáli sa považuje stanovenie hmotnostných aktivít Ra-226, Th-232, K-40 a stanovenie indexu hmotnostnej aktivity stavebného materiálu; tieto stanovenia sa vykonávajú podľa § 138 ods. 1 zákona pred uvedením stavebného materiálu na trh a následne najmenej raz ročne.[2]. Referenčnou úrovňou pre stavebný materiál je efektívna dávka reprezentatívnej osoby z vonkajšieho ožiarenia žiarením gama, okrem ožiarenia z prírodného pozadia, 1 mSv za kalendárny rok; uvedenej referenčnej úrovni zodpovedá index hmotnostnej aktivity stavebného materiálu rovný jednej.“ [1].

Index hmotnostnej aktivity pre obsah prírodných rádionuklidov v stavebných materiáloch I sa vypočíta použitím vzťahu:

$$I = a_K/3000 + a_{Ra}/300 + a_{Th}/200$$

Kde:

- I index hmotnostnej aktivity
- a_K hmotnostná aktivita ^{40}K
- a_{Ra} hmotnostná aktivita ^{226}Ra
- a_{Th} hmotnostná aktivita ^{232}Th .

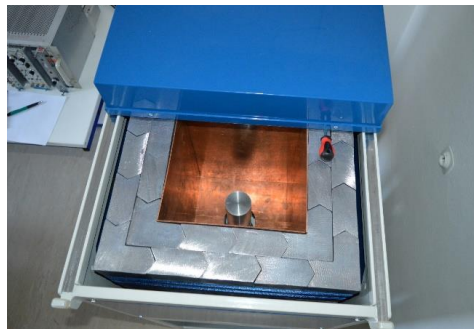
Ak je obsah niektorého rádionuklidu menší ako najmenšia detekovateľná hmotnostná aktivi-

ta, pri výpočte indexu hmotnostnej aktivity sa pre taký rádionuklid použije hodnota najmenej detekovateľnej aktivity. Zatiaľ čo výsledky merania hmotnostnej aktivity a sa vyjadrujú v becquereloch na kilogram [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$], výsledkom výpočtu indexu hmotnostnej aktivity I je bezrozmerné číslo.

Pod pojmom metodika gamaspektrometrických meraní sa rozumejú zvolené metódy merania na gamaspektrometrickom HPGe polovodičovom spektrometri a na NaI(Tl) scintilačnom spektrometri a postupy vyhodnocovania analyzovaných dát. Koncentrácia prírodných rádionuklidov v stavebných materiáloch a surovinách je charakterizovaná hmotnostnou aktivitou a [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$]. Gamaspektrometrická analýza je založená na hodnotení píkov úplnej absorpcie a koncentrácia ^{226}Ra a ^{232}Th sa určí váženým priemerom hmotnostnej aktivity ich dcérskych produktov vznikajúcich pri ich rádioaktívnej premene.

HPGe polovodičový spektrometrický systém

HPGe je skratkou pre vysoko čisté germániu (High Purity Germanium) a charakterizuje typ spektrometrického systému s polovodičovým detektorom. Tento systém je tvorený niekoľkými na seba nadväzujúcimi funkčnými jednotkami. Na analýzu vzorky stavebného materiálu bol použitý gamaspektrometrický systém zložený z HPGe detektora s relatívnou účinnosťou 20% s integrovaným predzosilňovačom a chladený kvapalným dusíkom, mnohokanálového analyzátoru v konfigurácii štandardných NIM modulov a počítača so špecializovaným softvérom na akvizíciu a analýzu spektier gama žiarenia GENIE2000 od firmy Canberra. Detektor je umiestnený v tieniacom kryte z 10 mm vrstvy olova a 2 mm vrstvy elektrolytickej medi na potlačenie pozadia gama žiarenia.

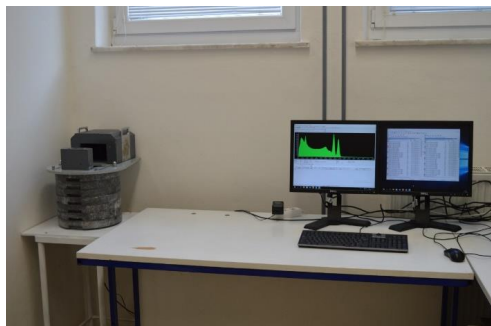


Obr. 1 Polovodičový HPGe spektrometrický systém s detektorom v tieniacom kryte
Fig. 1 Semiconductor HPGe spectrometry system with detector in the background shielding

NaI(Tl) spektrometrický systém

NaI(Tl) je monokryštál jodidu sodného aktivovaný táliom. Tieto detektory nevyžadujú chladenie. NaI(Tl) má zo všetkých scintilátorov najlepšie energetické rozlišovacie schopnosti pre fotónové žiarenie. Má malú časovú konštantu dosvitu, vďaka čomu pracuje pri vysokom počte impulzov. Jeho vlnová dĺžka maxima emisie je pri 410 nm a konverzná účinnosť pre fotóny je

8–10%. [4] Použitý spektrometrický systém pozostáva z 2" scintilačného kryštálu NaI(Tl) s fotonásobičom a integrovaného digitálneho mnohokanálového analyzátora so zdrojom vysokého napätia. Ten je pripojený priamo k počítaču so špecializovaným softvérom na akvizíciu a analýzu spektra NuSOFT GGAMWIN od firmy NUVIA. Tienenie detektora je zabezpečené vrstvou 50 mm olova.



Obr. 2 Scintilačný NaI(Tl) spektrometrický systém s detektorom v tieniacom kryte
Fig. 2 Scintillation NaI(Tl) spectrometry system with detector in the background shielding

VÝSLEDKY

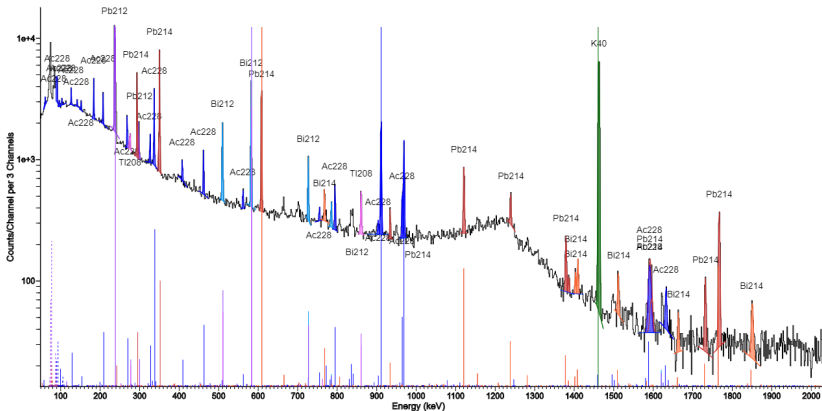
Metóda polovodičovej HPGe gamaspektrometrie

Pre analýzu spektra z HPGe detektora sme použili program FitzPeaks v evaluačnej verzii 3.71. Analýza spektra vychádza z troch samostatných kalibrácií, ktoré umožňujú vyhľadávanie pík, ich fitovanie (stanovenie plochy) a nakoniec výpočet aktivity identifikovaných rádionuklidov. Okrem toho je nevyhnutné mať k dispozícii aj vyhodnotené spektrum pozadia detektora. Program vykoná kompletnú analýzu automaticky na základe kalibračných rovníc, knižnice nuklidov a údajov o pozadí detektora.

Analýza spektra prebieha v jednotlivých krokoch. V prvom kroku sa v spektre označia všetky píky, ktoré sú štatisticky významné. Následne sa na základe energetickej kalibrácie a knižnice

nuklidov identifikujú píky, teda sa jednotlivým píkom priradí rádionuklid, z ktorého pochádzajú. V ďalšom kroku sa stanoví plocha pík ich fitovaním Gaussovou funkciou na základe FWHM kalibrácie. V poslednom kroku sa z plôch pík a účinnostnej kalibrácie vypočíta aktivita jednotlivých rádionuklidov. Pri rádionuklidoch, ktoré majú v spektre viacero významných pík, sa ich aktivita vypočíta ako vážený priemer z aktivít stanovených z týchto pík, pričom ako váhový faktor sa používa smerodajná odchýlka stanovenia plochy píku. Teda väčšiu váhu pri priemerovaní majú píky, ktorých plochu sme určili s väčšou presnosťou.

Spektrum vzorky stavebného materiálu s vyznačenými píkmami s označením identifikovaného rádionuklidu je zobrazené na nasledovnom obrázku. Tento obrázok bol vytvorený v programe InterSpec, nakoľko umožňuje graficky atraktívne zobrazenie spektier.



Obr. 3 Spektrum vzorky stavebného materiálu TPA-07 merané HPGe spektrometrickým systémom
Fig. 3 Spectrum from the sample of building material TPA-07 measured on HPGe spectrometry system

Výsledky analýzy program spracuje do formy správy z analýzy. Sumár výsledkov pre jednotlivé rádionuklidy uvádzame v nasledovnej tabuľke:

Tab. 1 Výsledky HPGe gamaspektrometrickej analýzy vzorky stavebného materiálu TPA-07
Tab. 1 Results of HPGe gamaspectrometry analysis of building material sample TPA-07

Rádionuklid	Hmotnostná aktivita Bq/kg		Kombinovaná štandardná neistota
Ac-228	25,4	+/-	2,5
Bi-212	26,6	+/-	3,6
Pb-212	27,6	+/-	2
Tl-208	9,2	+/-	0,6
232Th	26,2	+/-	2,4
Pb-214	21,1	+/-	1,5
Bi-214	20,9	+/-	1,5
226Ra	21,0	+/-	1,5
K-40	481	+/-	37
Index hmotnostnej aktivity	0,36		

Výsledky sú zoskupené podľa príslušnosti rádionuklidov k premenovým radom. V rámci obidvoch premenových radov predpokladáme rádioaktívnu rovnováhu, teda aktivity všetkých členov radu sa rovnajú. Z týchto aktivít vypočítame vážený priemer a dostaneme aktivitu materského rádionuklidu, teda ^{232}Th a ^{226}Ra . Draslík ^{40}K nie je členom premenového radu a výsledok analýzy môžeme použiť priamo. Z vypočítaných hmotnostných aktivít rádionuklidov vypočítame index hmotnostnej aktivity. Dôležitým údajom pri uvádzaní výsledkov analýzy je kombinovaná štandardná neistota výsledku. Počíta sa ako súčasť analýzy z neistôt všetkých veličín použitých pri výpočte pomocou zákona šírenia neistôt.

Metóda scintilačnej NaI(Tl) gamaspektrometrie

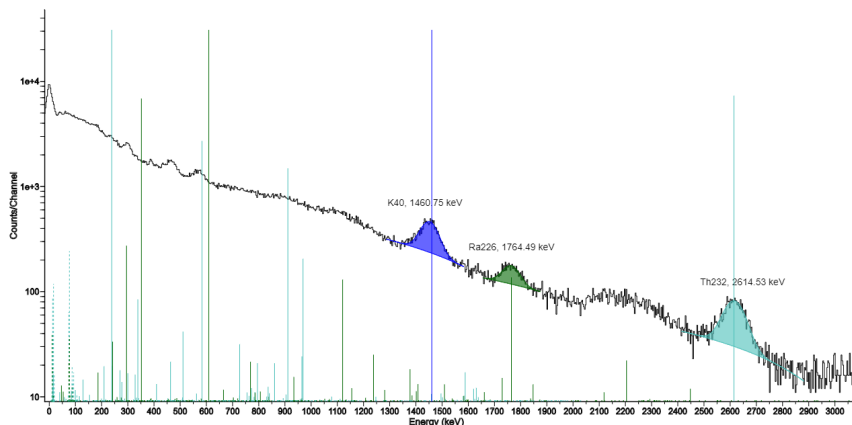
Analýza spektier zo scintilačného spektrometrického systému bola vykonaná v programe InterSpec v1.0.6, ktorý je produktom Sandia National Laboratories (SNL) a je verejne prístupný pod licenciou GNU.

Analýza pozadia spektrometrického systému

Pre správne vyhodnotenie merania je potrebné vykonať analýzu pozadia spektrometrického systému, teda spektrum namerané bez prítomnosti vzorky. Kvôli tomu, že ak je meraná vzorka v geometrii Marinelliho nádoby, spôsobuje určité tienenie pozadia detektora. Preto sa meria pozadie

detektora s tzv. slepou vzorkou. V praxi sa používa Marinelliho nádoba naplnená destilovanou vo-

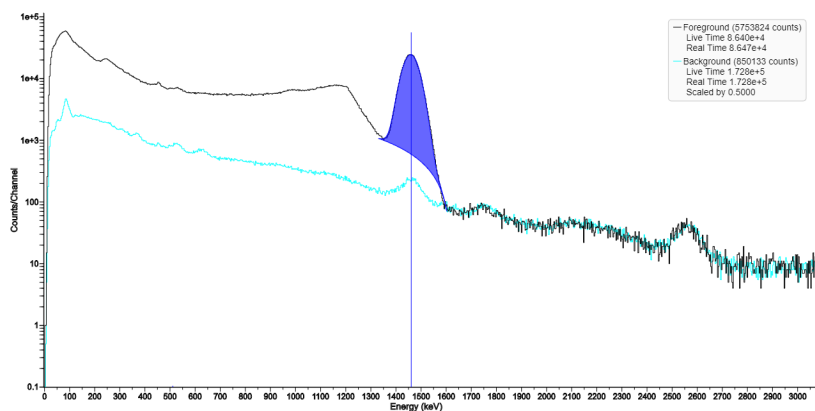
du. Meranie pozadia bolo realizované za merací čas 48 hodín.



Obr. 4 Spektrum pozadia detektora
Fig. 4 Background spectrum of detector

Pri analýze pozadia sme vyhodnotili štatisticky významné píky pre energie gama žiarenia, ktoré budeme merať aj vo vzorkách. Preto sme vybrané píky analyzovali a stanovili ich čistú plochu a neistotu stanovenia čistej plochy. Pre stanovenie aktivity rádionuklidu v neznámej vzorke musíme najprv odmerať vzorku so známou aktivitou,

kalibračný štandard. Keďže budeme stanovovať aktivitu troch rádionuklidov, ^{40}K , ^{226}Ra a ^{232}Th , potrebujeme kalibračné štandardy pre všetky tri uvedené rádionuklidy. Ako prvý analyzujeme kalibračný štandard pre ^{40}K . Ten je tvorený zlučeninou KCL v analytickej čistote.



Obr. 5 Spektrum kalibračného štandardu ^{40}K
Fig. 5 Spectrum of calibration standard ^{40}K

Pre zvolený rádionuklid ^{40}K s konkrétnou energiou gama žiarenia 1460,7 keV stanovíme účinnosť detekcie impulzov v píku plnej absorpcie. Je definovaná podľa vzťahu:

Kde:

$$\varepsilon = \frac{N_{cal} - N_{poz}}{A \cdot Y_{\gamma}}$$

ε účinnosť detekcie impulzov v píku plnej absorpcie

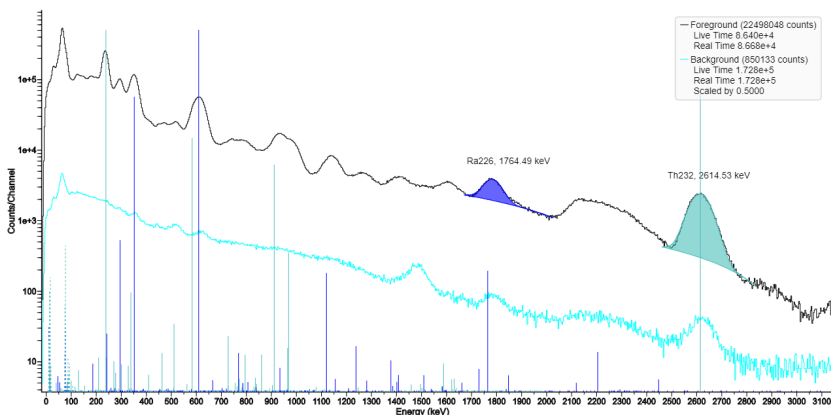
A aktivita kalibračného štandardu

Y_{γ} pravdepodobnosť emisie fotónu gama žiarenia pri jednej premene

N_{cal} početnosť impulzov v píku plnej absorpcie kalibračného štandardu (čistá plocha píku za jednotku času)

N_{poz} početnosť impulzov v píku plnej absorpcie v pozadí detektora (čistá plocha píku za jednotku času)

Pre rádionuklidy ^{226}Ra a ^{232}Th použijeme kalibračný štandard so známou aktivitou týchto rádionuklidov, ktoré sú v rovnováhe so svojimi produktmi premeny v premenovom rade.



Obr. 6 Spektrum kalibračného štandardu ^{226}Ra a ^{232}Th
Fig. 6 Spectrum of calibration standard ^{226}Ra and ^{232}Th

Rádionuklidy ^{226}Ra a ^{232}Th meriame nepriamo pomocou gama žiarenia rádionuklidov v ich premenovom rade. Predpokladáme, že v kalibračnom štandarde aj v následne meraných vzorkách je vytvorená rovnováha v premenovom rade a aktivity všetkých členov premenového radu sa rovnajú. Rovnováha sa v premenovom rade vytvorí po uplynutí dostatočne dlhého času. Narušenie rovnováhy môže nastať, ak vzorka nie je hermeticky uzavretá a vznikajúci plyný radón (ako člen premenového radu) môže zo vzorky unikať. Zvláštny prípad je vyhodnotenie píku s energiou 2614,5 keV z rádionuklidu ^{208}Tl v premenovom rade ^{232}Th . Premenový rad sa po ^{212}Bi vetví na dve

časti, v 35,9% sa ^{212}Bi premieňa na ^{208}Tl a v 64,1% na ^{212}Po . Pravdepodobnosť emisie fotónu gama pri jednej premene ^{208}Tl je 99,755. Ak uvažujeme o rádioaktívnej rovnováhe v premenovom rade ^{232}Th , tak ^{208}Tl má aktivitu rovnú len 35,94% z rovnovážnej aktivity v celom premenovom rade. Preto pri výpočte účinnosti musíme túto skutočnosť zohľadniť a vo vzťahu pre účinnosť počítať s pravdepodobnosťou emisie fotónu gama pri jednej premene ^{208}Tl vzťahnutej na rovnovážnu aktivitu v premenovom rade. Jej hodnota je 0,3585. Hodnoty pravdepodobnosti emisie fotónu gama pri jednej premene sú publikované v tabuľkách.

Tab. 2 Vyhodnotenie účinnosti pre kalibračné štandardy
Tab. 2 Efficiency analysis based on calibration standards

Nuklid	Pík	Y_γ	Plocha	Neistota	CPS	Aktivita [Bq]	Účinnosť	Účinnosť [%]
K-40	1460,75	0,1066	620375	846	7,180266	8498,6	0,00788	0,788
Bi-214	1764,49	0,1528	55246	491	0,639421	660,8	0,00624	0,624
Tl-208	2614,53	0,3585	74351	352	0,860543	655,4	0,00362	0,362

Vyhodnotenie aktivity vo vzorke stavebného materiálu

Vzorka stavebného materiálu bola analyzovaná v rovnakej geometrii ako kalibračné vzorky, v geometrii Marinelliho nádoby s objemom 450 ml. Vzorka bola hermeticky uzavretá po dobu dlhšiu ako 30 dní na ustálenie rovnováhy v pre-

menových radoch. Umiestnená na detektore v uzavretom tieniacom kryte bolo merané spektrum gama žiarenia po dobu 24 hodín. Následne bolo spektrum vyhodnotené. Z plochy píkov a údajov o plochách píkov v pozadí a účinnosti môžeme vypočítať aktivitu vzorky podľa vzťahu:

$$A = \frac{N_{vz} - N_{poz}}{\varepsilon \cdot Y_\gamma}$$

Kde:

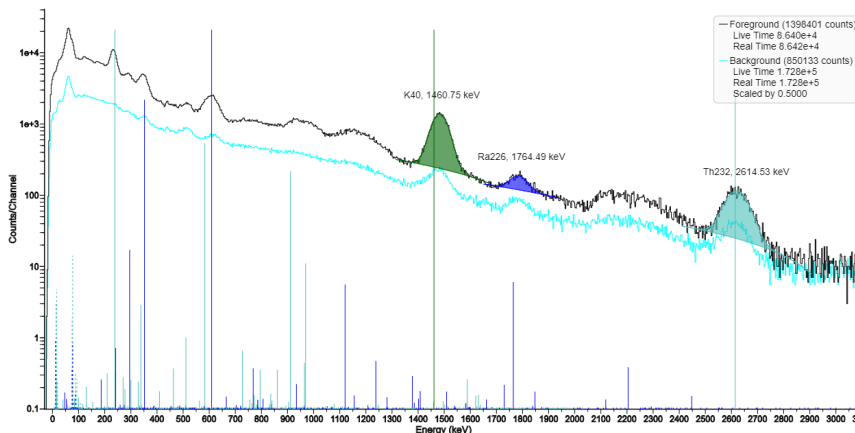
A aktivita vzorky

ε účinnosť detekcie impulzov v píku plnej absorpcie

$\Upsilon\gamma$ pravdepodobnosť emisie fotónu gama žiarenia pri jednej premene

N_{vz} početnosť impulzov v píku plnej absorpcie v spektre vzorky (čistá plocha píku za jednotku času)

N_{poz} početnosť impulzov v píku plnej absorpcie v spektre pozadia detektora (čistá plocha píku za jednotku času)



Obr. 7 Spektrum vzorky stavebného materiálu TPA-07
Fig. 7 Spectrum from the sample of building material TPA-07

Tab. 3 Vyhodnotenie aktivity vzorky stavebného materiálu TPA-07

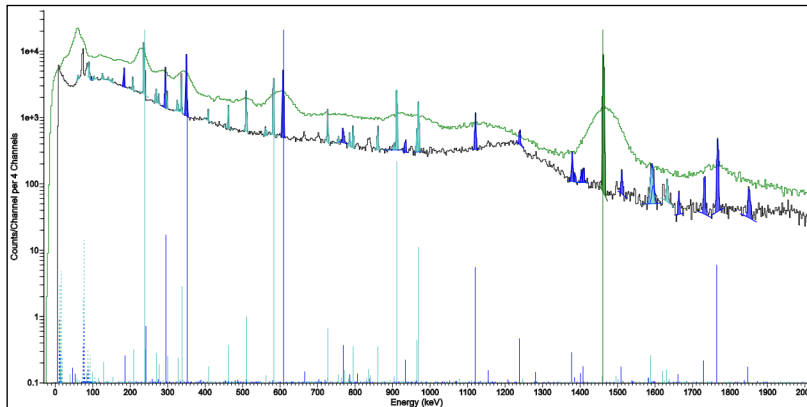
Tab. 3 Activity analysis of building material sample TPA-07

Nuklid	Pík	$\Upsilon\gamma$	Plocha	Neistota	CPS	Aktivita	Hmotnostná aktivita	Neistota (k = 2)
K-40	1460,75	0,1066	29635	218	0,342997	366,3	460,8	28,8
Bi-214 (^{226}Ra)	1764,49	0,1528	1772	99	0,020509	12,6	15,8	3,6
Tl-208 (^{232}Th)	2614,53	0,3585	3199	76	0,037025	21,0	26,4	2,5
Index hmotnostnej aktivity			0,32					

DISKUSIA

Porovnanie gamaspektrometrických systémov založených na scitilačných NaI(Tl) a polovodičových HPGe detektoroch vychádza výrazne v prospech HPGe systému, okrem obstarávacej ceny a nárokov na prevádzku. Cena HPGe systémov je podstatne vyššia a pohybuje sa rádo vo cenách bežných nehnuteľností. Prevádzkové náklady a nároky na obsluhu sú tiež výrazne vyššie, najmä sa jedná o zabezpečenie stáleho chladenia

na teplotu kvapalného dusíka. Ako protihodnotu za tieto vysoké náklady poskytuje HPGe detektor výrazne lepšie energetické rozlíšenie ako scintilačný detektor. Aj pre laika je rozdiel zrejmy už na prvý pohľad na spektrá tej istej vzorky, merané obidvoma detektormi. Ako príklad uvádzame spektrá vzorky TPA-07 analyzované v tejto práci, zobrazené na jednom grafe na nasledovných obrázkoch.

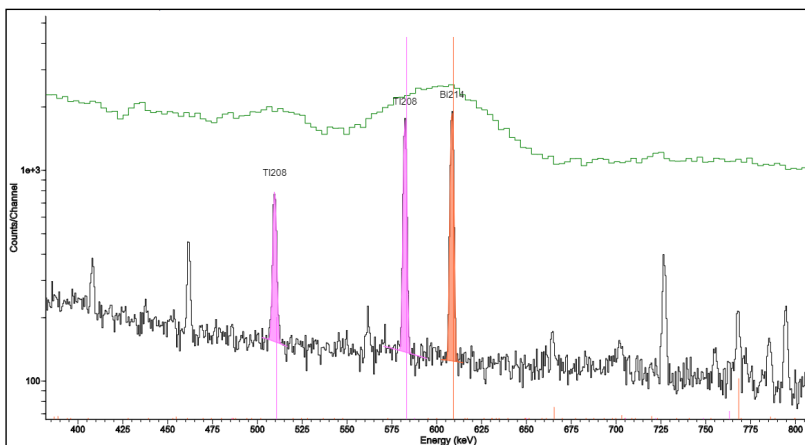


Obr. 8 Spektrum vzorky stavebného materiálu TPA-07 merané 24 hodín na HPGe detektore (čiernou farbou) a NaI(Tl) detektore (zelenou farbou)

Fig. 8 Spectrum from the sample of building material TPA-07 measured for 24 hours on HPGe detector (black color) and NaI(Tl) detector (green color)

Je zrejmé, že vysoké energetické rozlíšenie HPGe detektora je výhodné obzvlášť tam, kde sú viaceré píky v spektre tesne blízko seba. Ich identifikácia v spektre z NaI(Tl) detektora je obtiažna, v niektorých prípadoch aj nemožná. Dobrým príkladom, ktorý je zrejmý aj zo zobrazených spektier, je pík s energiou 609 keV od ^{214}Bi (^{226}Ra premenový rad). Zatiaľ čo v spektre HPGe detektora sa bežne berie ako hlavný pík daného

rádionuklidu a na základe jeho plochy sa stanovuje jeho aktivita, pri spektre z NaI(Tl) detektora sa na analýzu dá použiť len veľmi obtiažne, lebo tvorí dvojpík so susedným píkom s energiou 583 keV od ^{208}Tl (^{232}Th premenový rad). Existuje síce možnosť fitovania dvojpíku dvomi modelovými píkmami s využitím softvéru, ale výsledky nie sú vždy spoľahlivé.



Obr. 9 Spektrum vzorky stavebného materiálu TPA-07 merané 24 hodín na HPGe detektore (čierna) a NaI(Tl) detektore (zelená) s vybranou časťou spektra v intervale 400 – 800 keV. Vyznačené sú píky ^{208}Tl 583 keV a ^{214}Bi 609 keV

Fig. 9 Spectrum from the sample of building material TPA-07 measured for 24 hours on HPGe detector (black) and NaI(Tl) detector (green) with zoom on the part of the spectrum in the energy interval 400 – 800 keV. Marked are peaks from ^{208}Tl 583 keV a ^{214}Bi 609 keV

Prehľadné zhrnutie porovnania týchto dvoch spektrometrických systémov publikoval Gilmore [3]. Tabuľku s porovnaním uvádzame upravenú

v preklade a aktualizovanú o súčasné informácie o cenách jednotlivých systémov.

Tab. 4 Porovnanie základných parametrov spektrometrických systémov s NaI(Tl) a HPGe detektormi [3]
 Tab. 4 Comparison of basic parameters of spectrometry systems with NaI(Tl) and HPGe detectors [3]

Parameter	NaI(Tl)	HPGe
Cena	Lacnejšie (cca 3000 €)	Podstatne drahsie (cca 50 tis €)
Účinnosť	Vyššia účinnosť (cca 10x)	-
Veľkosť aktívneho objemu	Dostupné väčšie veľkosti detektora	-
Pracovná teplota Izbová teplota Teplota kvapalného dusíka 77 K		
Citlivosť na zmeny teploty	Citlivé, reaguje zmenou zosilnenia	nie
Citlivosť na stabilitu vysokého napätia	Citlivé, reaguje zmenou zosilnenia	nie
Energetické rozlíšenie	Nízke (6%, 80 keV pre 3x3“ a energii 1332 keV)	Vysoké (0,15%, 2keV typicky pre 1332 keV)

Z hľadiska tejto práce, a teda aj využitia dvoch spektrometrických systémov na analýzu vzoriek stavebných materiálov, je zaujímavé porovnanie výsledkov stanovenia hmotnostnej aktivity prírodných rádionuklidov v tej istej vzorke. V nasledovnej tabuľke uvádzame prehľadné porovnanie výsledkov, výsledky sú uvedené s kombinovanou štandardnou neistotou s koeficientom rozšírenia $k = 2$, teda na 95% hladine spoľahlivosti.

doznej tabuľke uvádzame prehľadné porovnanie výsledkov, výsledky sú uvedené s kombinovanou štandardnou neistotou s koeficientom rozšírenia $k = 2$, teda na 95% hladine spoľahlivosti.

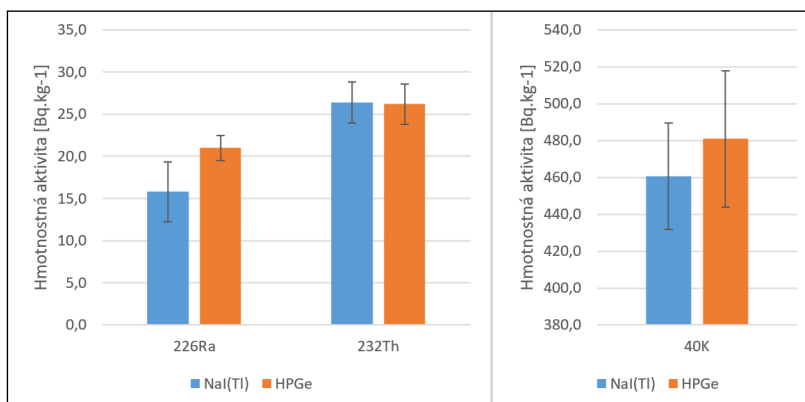
Tab. 5 Porovnanie výsledkov analýzy vzorky stavebného materiálu spektrometrickými systémami s NaI(Tl) a HPGe detektormi

Tab. 5 Comparison of the analysis results for sample of building material on spectrometry systems with NaI(Tl) and HPGe detectors

Nuklid	NaI(Tl)		HPGe	
	a [Bq.kg ⁻¹]	u (k=2)	a [Bq.kg ⁻¹]	u (k=2)
⁴⁰ K	460,8	28,8	481,0	37,0
²²⁶ Ra	15,8	3,6	21,0	1,5
²³² Th	26,4	2,5	26,2	2,4

Názornejšie porovnanie je zobrazené na nasledovnom grafe, kde sú chybové úsečky reprezentujúce kombinovanú štandardnú neistotu výsledkov analýz. Medzi výsledkami je dobrá

zhoda. Možno konštatovať, že z hľadiska účelu stanovenia je analytická metóda s využitím NaI(Tl) detektora úplne postačujúca.



Obr. 10 Porovnanie výsledkov analýzy stavebného materiálu TPA-07 merané 24 hodín na HPGe detektore a NaI(Tl) detektore

Fig. 10 Comparison of the analysis results for sample of building material TPA-07 measured 24 hours on HPGe detector and NaI(Tl) detector

ZÁVER

Gama spektrometria s použitím polovodičových HPGe detektorov je vzhľadom na svoje vysoké energetické rozlíšenie meraného spektra gama žiarenia zo vzorky dominantnou analytickou metódou [3]. Jej hlavná nevýhoda sú vysoké obstarávacie aj prevádzkové náklady. Pre rutinné analýzy stavebných materiálov je postačujúca aj gama spektrometria s využitím scintilačného detektora, pričom hlavná nevýhoda v podobe zlého energetického rozlíšenia sa dá kompenzovať rôznymi pokročilými metódami analýzy spektra [5]. Všeobecne však možno konštatovať, že pre účely stanovenia hmotnostnej aktivity prírodných rádionuklidov a indexu hmotnostnej aktivity v stavebných materiáloch je gama spektrometria so scintilačným detektorom vhodná a bežne používaná metóda [6, 7].

LITERATÚRA

- [1] Zákon č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zme-
ne a doplnení niektorých zákonov.
- [2] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej
republiky č. 98/2018 Z.z., ktorou sa ustanovujú
podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov
a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho
žiarenia.
- [3] GILMORE, G., HEMINGWAY, J.: 1995. *Practical
gamma-ray spectrometry*. New York : John Wiley
& Sons, 1995. 309 p. ISBN 0 471 95150 1.
- [4] KREJČÍ, V. 2002. *Scintilační detektory*. Jihočeská
universita v Českých Budějovicích. Pedagogická
fakulta. České Budějovice. 2002
- [5] KOVLER, K. et al. Can scintillation detectors with
low spectral resolution accurately determine radio-
nuclides content of building materials?. *Applied
Radiation and Isotopes*. roč. 77. s. 76–83. júl. 2013,
doi: 10.1016/j.apradiso.2013.02.022.
- [6] SINGOVSKA, E. A EŠTOKOVÁ, A., “Natural
Radioactivity of Bricks in Historical Buildings in
Slovakia”, *International Journal of Engineering
Research in Africa*, roč. 47, s. 45–51, 2020, doi:
10.4028/www.scientific.net/JERA.47.45.
- [7] SINGOVSKA, E., A. ESTOKOVA a J. MIT-
TERPACH. Radioactivity of buildings materials
available in Slovakia. *IOP Conference Series:
Earth and Environmental Science* [online]. 2017,
92, 012054. ISSN 1755-1315. doi:10.1088/1755-
1315/92/1/012054
- [8] DARABOŠOVÁ, A. 2020. *Gamaspektrometrická
analýza stavebných materiálov*: bakalárska práca.
Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta
ekológie a environmentalistiky. 2020. 55 s.

Acta Facultatis Ecologiae, Volume 45, 2021 – 2

Vydanie I. december 2021 – Vydala Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen, IČO 00397440 – Počet strán 39 – 2,89 AH, 2,97 VH – Náklad 170 výtlačkov – Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene – Vydanie publikácie schválené v Edičnej rade TU dňa 9. 2. 2021, číslo EP 53/2022 – Evidenčné číslo MK SR 3859/09 – Periodikum s periodicitou dvakrát ročne – Za vedeckú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti – Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

ISSN 1336-300X