

# Dlouhodobý pokles vlhkosti půdy v zóně aerace v povodí Čižiny v okrese Bruntál

Kubíček, P., Drápala, J., Kubíčková, M.: A Long-Term Soil Moisture Decrease in the Čižina River-Basin Aeration Zone in Bruntál Region. *Životné prostredie*, 2018, 52, 4, p. 252 – 255.

*In this publication an electrochemical method – chronoamperometry is presented, which monitors a time response of the current after the imposed DC voltage. The aim was to determine soil moisture for purposes of hydrology. Voltage of 4.5 V was applied and the current value in the given location was in the order of magnitude of mA. Steel electrodes were sunk in soil into the depth of 0 ÷ 0.6 m and 1.1 ÷ 1.4 m. The soil in question was loamy-stony podzolic soil in the Low Jeseník Upland. The results of these experiments have shown that the minimum rainfall amounts of 0.5 ÷ 1 mm can be observed, soil moisture in the order of magnitude of tenths of percentage can be determined and the moisture change of 1 % corresponds to the change of the current value of 8%. The results of the measurements of moisture in the depth of 1.1 ÷ 1.4 m during summer months in 2012, 2013, 2014 and 2016 exhibited a considerable decrease in soil moisture. In 2016, recurring periods with large amounts of rainfall were followed by periods with rainfall deficiency.*

**Key words:** soil moisture, chronoamperometry, hydrology, measurements, rainfall

Střídání klimatických extrémů způsobuje v současnosti mnohdy výrazný a dlouhodobý pokles objemu půdního roztoku v zóně aerace, která se nachází nad zónou saturace, tj. nad hladinou podzemní vody. Voda v zóně aerace je tzv. hypodermická voda, nepřesně někdy nazývána voda podpovrchová.

Sledovaná lokalita v Nížkém Jeseníku, kde se měřila po dobu šesti let vlhkost půdy, byla před cca 50 lety odvodňována pro účely zemědělství a lesnictví. Jednalo se zejména o meliorizaci luk, např. drenážováním s cílem využít pro pastvy skotu. Pro větší výtěžnost lesního hospodářství byla u pramenišť potůčků a stružek realizována někde celá síť odvodňovacích rýh a koryt, které byly v náročnějším terénu „vystřelovány“. Touto činností byla voda z některých částí krajiny rychle odváděna a při srážkových deficitech klesal dlouhodobě objem hypodermické vody v půdě. Tento pokles bude dokumentován v následujícím textu.

V létech 1996 a 1997 byly v obci Lichnov v okrese Bruntál katastrofální povodně způsobeny potokem Čižinou a škody, které byly způsobeny, včetně povodňových opatření dosahovaly téměř půl miliardy korun. Nejnákladnější protipovodňová opatření zahrnovala budování tří větších poldrů. Dva z těchto poldrů jsou na levostranném přítoku Čižiny, tj. na Tetřevském potoku. Tento potok je v lokalitě obce Lichnov největším levostranným přítokem Čižiny. Náklady na tato opatření jsou orientačně 150 mil. korun.

Krajina je charakterizována převážně smrkovými monokulturami ve výšce 400 až 670 m a v současnosti po kůrovcové kalamitě se provádí výsadba listnatých stromů. Kvartérní propustný pokryv hlín nad nepropustnou

skalní horninou má malou a velmi proměnnou mocnost. Půdu lze charakterizovat jako hlinitokamenitou suť s jílem (Kubíček, 2016).

Z hlediska klimatu je povodí charakterizováno teplým až suchým létem, mírným teplým jarem a podzimem a suchou zimou s krátkým obdobím sněhové pokrývky. Průměrné srážkové úhrny jsou 620 mm za rok, maximální průměrné srážky jsou obvykle v červnu až září 80 – 90 mm za měsíc. Oblast je sledována po dobu 40 let a cca do roku 1990 se v povodí Čižiny u Tetřevského potoka opakovaly menší povodně asi každých pět až sedm let.

## Měření vlhkosti půdy pomocí elektrického obvodu

Přehled řady způsobů stanovení vlhkosti půdy uvádí např. Smolík (1957). Elektricky se nejčastěji měří vlhkost půdy aplikací střídavého napětí na elektrody zapuštěné do země. Použili jsme zdroje stejnosměrného napětí 4,5 V. Sledovala se proudová odezva po vložení napětí na kovové elektrody. Jako elektrody sloužily ocelové tyče o průměru 10, resp. 12 mm. Ověřovalo se použití ocele s větším množstvím mědi, nástrojové a nerezové ocele a nebyly nalezeny žádné podstatnější rozdíly v měřených proudcích v řádu jednotek až desítek mA.

V půdě je půdní roztok obsahující elektrolyty, např. rozpuštěné soli, kyseliny a zásady, které ve vodě disociují na kladné a záporné ionty a jsou to vodiče druhé třídy.

Měření bylo prováděno na dvou stanovištích s elektrodami zapuštěnými do země 0 ÷ 0,6 m a 1,1 ÷ 1,25 m na prvním stanovišti a 0,2 ÷ 0,5 m a 1,1 ÷ 1,4 m na druhém stanovišti. Vzdálenost mezi elektrodami byla u každé dvojice elektrod 0,7 m.

Prvé stanoviště bylo vzdáleno 4 m od stoupajícího svahu, druhé 20 m. Hladina vody ve studni byla 1,5 ÷ 1,7 m pod úrovní terénu. Umístění elektrických měřicích obvodů v obci Lichnov je na obr. 1 označeno křížky. Měření bylo prováděno ve vzdálenosti cca 20 m od studny s převýšením cca 1,2 m, druhé ve vzdálenosti 10 m s převýšením pouze 0,8 m.

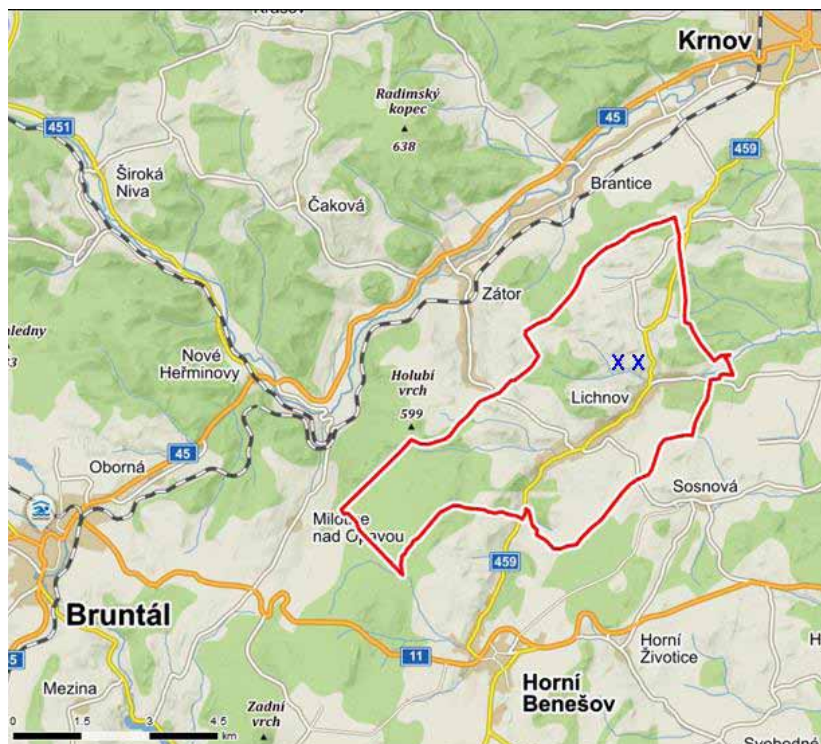
Oxidy, které vznikly na elektrodách, neznemožňovaly průchod proudu, a proto mohly být elektrody v zemi např. pět let. V půdě, obsahující jílu v hloubkách větších než 1 m, byly poněkud větší proudy než v orníční a podorníční vrstvě do 0,6 m.

V elektrochemii při aplikaci stejnosměrného napětí na elektrody a měření časového průběhu proudu se tato metoda nazývá chronoamperometrie. Elektrody a elektrolyty jsou přesně definovány a z měření lze v elektrochemii např. stanovit koeficient difúze iontů. Nebudeme zde uvádět poměrně složitý popis elektrochemických procesů (Galus, 1994). Uvedeme jen, že časový průběh proudu lze pro krátké časy velmi přibližně popsat vztahem  $I(t) \approx \text{konst.}/\sqrt{t}$ , kde  $I$  – chronoamperometrický proud (mA),  $t$  – čas (s). Matematické výpočty jsou značně komplikované (Kubíček, 1977).

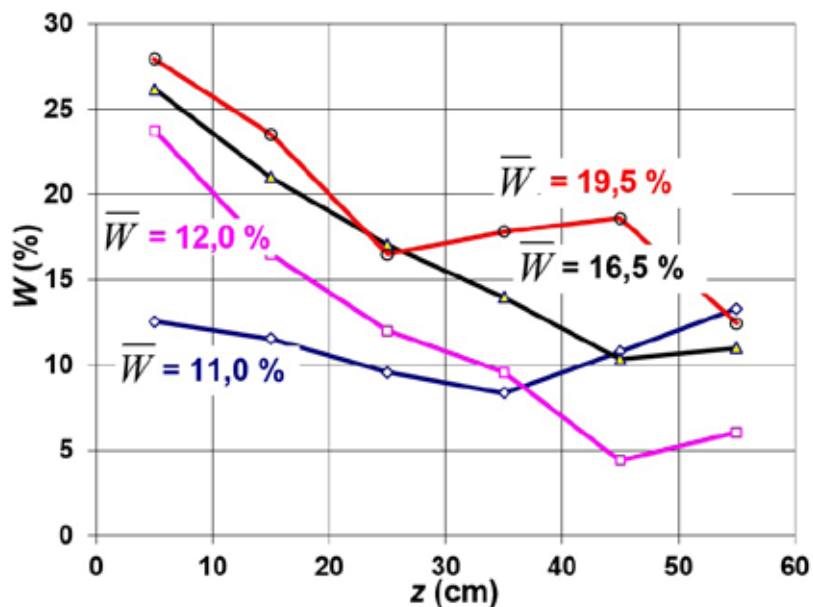
Od roku 2010 byla prováděná rozsáhlá měření pomocí uvedené chronoamperometrie s ohledem na vliv různých parametrů, které se vztahovaly ke geometrickým a půdním charakteristikám. Bylo např. zjištěno, že závislost velikosti stejnosměrného proudu na vlhkosti půdy je v určitém, dosti velkém intervalu vlhkosti přibližně lineární.

Výsledky, které následně uvedeme, platily při sledování velikosti proudu v čase  $t = 3$  minuty a časová závislost proudu byla sledována v časech  $t = 1; 30; 60; 90; 120$  a 180 sekund. Pro srovnání byl použit i zdroj střídavého napětí, ale měření byla při malých změnách vlhkosti méně přesná. Časový průběh chronoamperometrické křivky může také vypovídat o některých parametrech půdy.

Aby bylo možno stanovit vlhkost půdy, je nutno zjistit závislost velikosti proudu na obsahu vody v půdě. Kalibrace velikosti proudu na vlhkost půdy byla prováděna



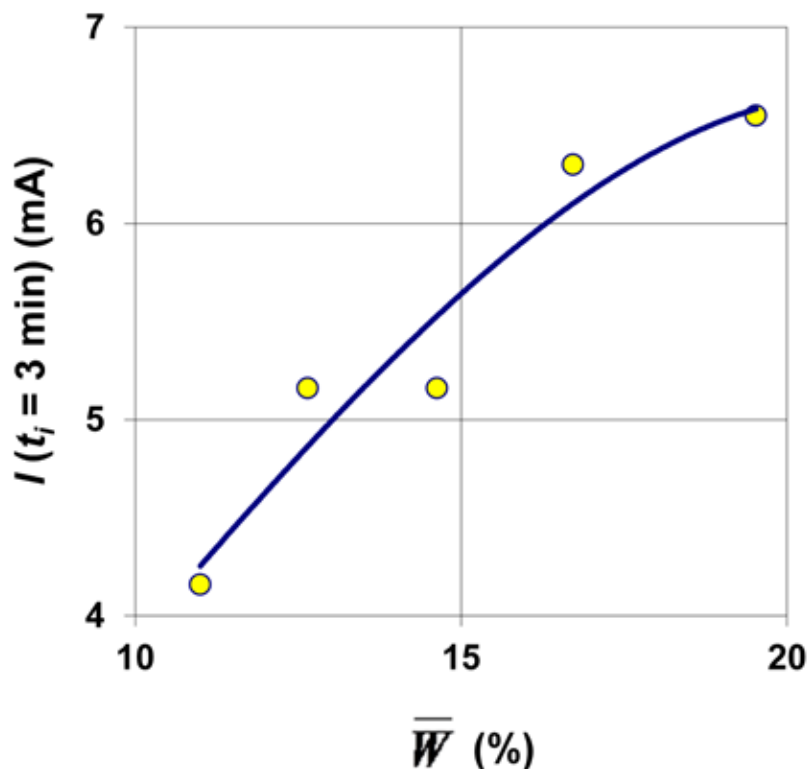
Obr. 1. Povodí říčky Čižina s místy měření označenými písmenem X. Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)



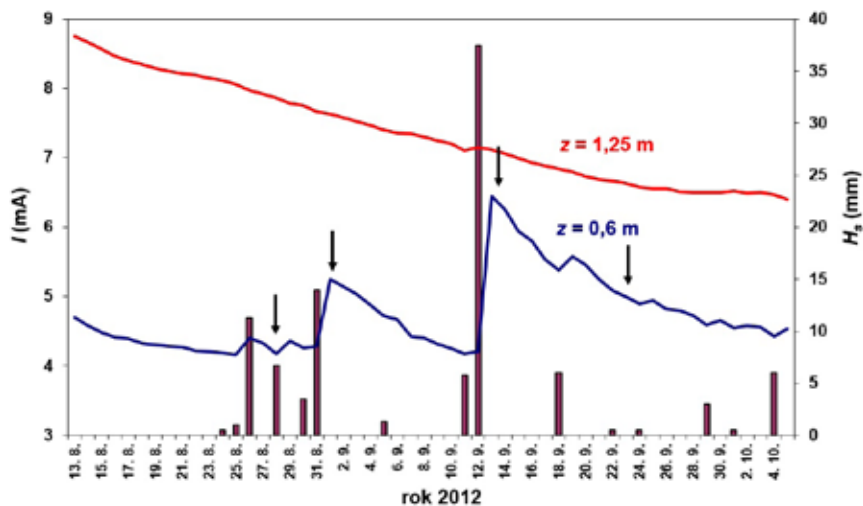
Obr. 2. Závislost vlhkosti půdy  $W$  na hloubce odběrů vzorků  $z$  (měřeno v roce 2012)

Vysvětlivky:  $\bar{W}$  – střední vlhkost půdy

odběrem vzorků půdy do hloubky po 0,1 m a následným klasickým vysoušením vzorků. Dosud bylo takto zpracováno cca 130 půdních profilů, tj. asi 800 vzorků.



Obr. 3. Závislost chronoamperometrického proudu  $I(t_i = 3 \text{ min})$  na střední vlhkosti pŕůdy  $\bar{w}$  v hloubce  $0 \div 0,7 \text{ m}$  (měřeno v roce 2012)



Obr. 4. Část výsledků měření srážkových úhrnů  $H_s$  v roce 2012 a průběhy křivek  $I$  (13. srpna až 5. října 2012) s elektrodami v hloubkách  $z = 0 \div 0,6 \text{ m}$  a  $z = 1,1 \div 1,25 \text{ m}$  na prvním stanovišti

Vysvětlivky: šipky označují data odběru vzorků pŕůdy pro stanovení vlhkosti klasickou metodou

Na obr. 2 je znázorněna závislost vlhkosti na hloubce odběru vzorků v roce 2012.  $\bar{w}$  představuje střední vlhkost v profilu  $0 \div 0,6 \text{ m}$ . Na obr. 3 je závislost proudu  $I$  na střední vlhkosti  $\bar{w}$ , což je základní kalibrace. Je nutno

upozornit, že odběr vzorků pro stanovení vlhkosti  $\bar{w}$  nelze provádět mezi elektrodami, protože bychom porušili pro další měření strukturu pŕůdy. Odběr se provádí vně elektrod v jejich blízkosti, což může způsobit menší odchylky od spojitě křivky. Z obr. 3 je zřejmé, že závislost proudu na vlhkosti pŕůdy je v intervalu  $\bar{w} \approx 12 \div 18 \%$  přibližně lineární. Pro  $\bar{w} = 10 \%$  a  $12 \%$  nejsou rozdíly od linearit příliš velké.

### Výsledky měření vlhkosti pŕůdy

Měření vlhkosti pŕůdy bylo prováděno od roku 2010 a z velkého souboru dat zde uvedeme pouze názorné příklady poklesu vlhkosti pŕůdy v hloubce  $1,1 \div 1,25 \text{ m}$  společně s průběhem vlhkosti pŕůdy v hloubce  $0 \div 0,6 \text{ m}$  a s denními srážkovými úhrny. Během měření ve vegetačních obdobích jednotlivých let vybereme časové intervaly v době trvání cca 1,5 měsíce. Následující výsledky na obr. 4 – 5 byly získány na prvním stanovišti.

V letech 2012 a 2013 byl v létě značný srážkový deficit (obr. 4), kde je dokumentován pokles vlhkosti v hloubce  $1,1 \div 1,25 \text{ m}$ . Na obr. 4 označují šipky dny, ve kterých byly odebírány vzorky pŕůdy pro stanovení vlhkosti klasickým způsobem vysoušením. Podrobněji je část měření v roce 2012 popsána v práci Kubičková (2013).

Z výsledků měření z roku 2014 s větším srážkovým úhrnem byl zjištěn proud v hloubce  $1,1 \div 1,25 \text{ m}$ , tj. vlhkost pŕůdy v této hloubce byla přibližně konstantní, což byl v této lokalitě poměrně vzácný případ. V roce 2015 byl koncem července a v prvé polovině srpna extrémní srážkový deficit, proto výsledky jsou obdobné jako na obr. 4.

Velice zajímavé a atypické byly srážky a naměřené proudy v roce 2016 (obr. 5). Od 26. června do 31. července 2016 vypadlo extrémní množství srážek  $H_s = 172 \text{ mm}$ . Přes tuto skutečnost začal proud  $I$  s elektrodami v hloubce  $1,1 \div 1,25 \text{ m}$  klesat od 1. srpna 2016 a tento pokles se zastavil až 20. října 2016 (obr. 5). Zde je nutno si všimnout, že od 3. října

2016 do 30. října 2016 vypadlo  $H_s = 111$  mm srážek a tento srážkový úhrn téměř neovlivnil značný deficit půdní vlhkosti v hloubce  $1,1 \div 1,25$  m. Vlhkost v této hloubce poklesla od 27. července do 20. října 2016 o cca 15 %, což je extrémní úbytek. Je zřejmé, že i značné množství srážek jen málo ovlivnilo půdní vláhový deficit v zóně aerace. Je vhodné zde také upozornit na skutečnost, že sněhová pokrývka v zimních obdobích byla pouze max.  $0,2 \div 0,3$  m.

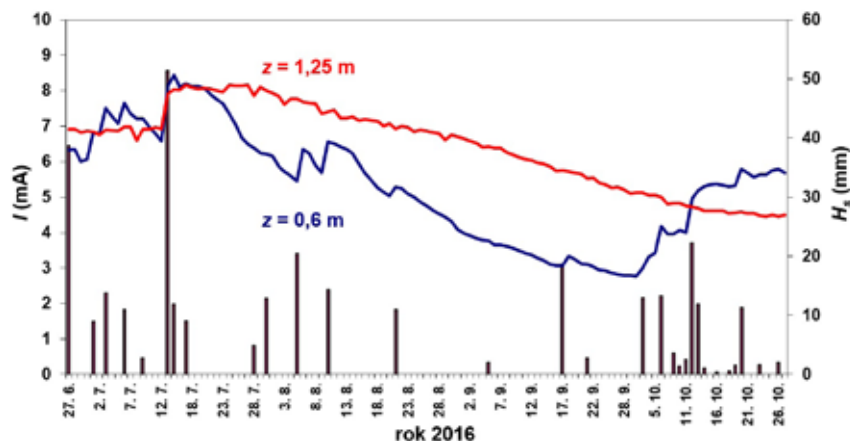
Výsledky měření na druhém stanovišti byly obdobné, pouze rozdíly ve velikosti proudu byly menší. Bylo to způsobeno tím, že dvojice elektrod byla zapuštěna do půdy  $0,2 \div 0,5$  m, resp.  $1,1 \div 1,4$  m, což přineslo obdobné výsledky.

\* \* \*

Měření vlhkosti půdy v hloubce do  $0,6$  m a  $1,1 \div 1,4$  m bylo prováděno od roku 2010 v lokalitě potoka Čižiny v pahorkatině Nížkého Jeseníku. Tato oblast byla v letech 1996 a 1997 postižena katastrofálními povodněmi a v současnosti bude mít tato lokalita díky protipovodňovým opatřením tři nové poldry se stavebními náklady cca 130 až 150 mil. korun.

Elektrická měření byla prováděna se zdrojem stejnosměrného napětí  $4,5$  V a při vzdálenosti kladné a záporné ocelové elektrody  $0,7$  m s proudem v řádu mA. Měřený proud se skládá z několika složek proudů a v elektrochemii se tato metoda nazývá chronoamperometrií. Bylo zjištěno, že lze ještě registrovat srážkové úhrny cca  $H_s = 1$  mm a změně vlhkosti půdy o 1 % odpovídá změna proudu o 8 %. Jsou to velice pozitivní vlastnosti použité metody, které umožňují jejich využití i k prognóze velikosti průtokových vln pomocí matematických modelů.

Pro studium vlhkosti půdy v zóně aerace, tj. hypodermické vody, mají velký význam dlouhodobě sledované vlhkosti v hloubce  $1,1 \div 1,4$  m a do  $0,6$  m. V důsledku srážkových deficitů v letních měsících v letech 2012, 2013, 2015 a 2016 byly zjištěny významné poklesy vlhkosti v hloubce  $1,1 \div 1,4$  m, tj. asi  $0,3 \div 0,6$  m nad úrovní podzemní vody v měřené lokalitě. Velice významné bylo léto v roce 2016, kdy byly v této oblasti extrémní srážkové úhrny střídány se srážkovými deficity. Přes tyto vydatné srážky vlhkost půdy v hloubce  $1,1 \div 1,4$  m téměř stále klesala a tento pokles představoval úbytek 15 % vlhkosti, což je velice negativní jev. Tím se jen potvrzují údaje z minulosti o úbytku vlhkosti půdy v jiných lokalitách, které byly často prezentovány i ve sdělovacích prostředcích.



Obr. 5. Výsledky měření srážkových úhrnů  $H_s$  v roce 2016 a průběhy křivek  $I$  (26. června až 26. října 2016) s elektrodami v hloubkách  $z = 0 \div 0,6$  m a  $z = 1,1 \div 1,25$  m na prvním stanovišti

Vysvětlivky: z obrázku je zřejmý značný srážkový deficit a následné intenzivní deště. V hloubce  $1,1 \div 1,25$  m je dlouhodobý výrazný pokles vlhkosti půdy

*Vzhledem k závažnosti sledované problematiky byla celá práce provedena bez dotace a nad rámec pracovních povinností autorů článku. Grantová agentura ČR neposkytla ani příspěvek na terénní práce a publikování.*

#### Literatura

- Galus, B.: Fundamentals of Electrochemical Analysis. 2nd Edition. New York: Ellis Horwood, Warsaw: Polish Scientific Publishers PWN, 1994, 281 p.
- Kubiček, P.: Generalization of the Cottrell's Equation by Taking into Account the Concentration Dependence of the Coefficient of Diffusion. Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry, 1977, 78, p. 161 – 165.
- Kubiček, P.: K problematice poldrů v povodí potoka Čižiny (okres Bruntál, ČR). Životné prostredie, 2016, 50, 4, s. 228 – 233.
- Kubičková, M.: Dílčí ověřování metody k rychlému stanovení vlhkosti půdy elektrickým obvodem pro přesnější predikce povodňových vln. Diplomová práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství, 2013, 50 s.
- Smolík, L.: Pedologie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957, 399 s.

**prof. Ing. Petr Kubiček, DrSc., [prof.kubicek@seznam.cz](mailto:prof.kubicek@seznam.cz)**  
bývalý pracovník Vědecko-výzkumného uhelného ústavu, a. s., Pikartská 1337/7, 716 07 Ostrava, Česká republika

**Ing. Marcela Kubičková, [marcela.kubickova@seznam.cz](mailto:marcela.kubickova@seznam.cz)**  
Ostrava, Česká republika

**prof. Ing. Jaromír Drápala, CSc., [jaromir.drapala@vsb.cz](mailto:jaromir.drapala@vsb.cz)**  
Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Tr. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, Česká republika