



Zastosowanie ługowania bakteryjnego do odpadów ze starych składowisk ekologicznych usytuowanych w regionie Karlove Vary

Application of Bacterial Leaching on Wastes from Old Ecological Loads Situated in the Karlovy Vary Region

Peter FEČKO¹⁾, **Vojtěch ZECHNER**²⁾, **Michal GUZIUREK**³⁾, **Barbora LYČKOVÁ**⁴⁾,
Eva PERTILE⁵⁾

1) Prof., Ing., CSc.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic

2) Ing.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic, e-mail: vojtech.zechner@vsb.cz, tel.: (+420) 597 323 575

3) Ing.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic, e-mail: michal.guziurek@vsb.cz, tel.: (+420) 597 323 519

4) Ing., Ph.D.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic, e-mail: barbora.lyckova@vsb.cz

5) Mgr., Ph.D.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic, e-mail: eva.pertile@vsb.cz, tel.: (+420) 597 325 188

Streszczenie

Referat opisuje zastosowanie ługowania bakteryjnego na dwóch wybranych próbkach ze starych ekologicznych składowisk znajdujących się w regionie Karlove Vary, a dokładnie ze zwalów w Prebuzach i Kralicach. Ługowanie bakteryjne zastosowano z użyciem bakterii *Acidithiobacillus ferrooxidans*, cały proces trwał 28 dni. Wyniki wskazują, że podana powyżej metoda jest odpowiednia dla odzyskania wartościowych metali z odpadów i może być pomocna w przypadku zagospodarowywania starych zwalów i usypisk.

Słowa kluczowe: ługowanie bakteryjne, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, hałdy odpadów górniczych

Wprowadzenie

Wydobycie zasobów mineralnych i wykorzystanie źródeł litosfery zawsze wiąże się z istotną ingerencją w strukturę geologiczną w dowolnym miejscu. Górnictwo naraża na niebezpieczeństwo zarówno złoża jak i środowisko naturalne. Powoduje ono zmniejszenie zasobów mineralnych, destrukcję pokrywy roślinnej, stanowi zagrożenie dla rolnictwa, lasów i gospodarki wodnej, osadnictwa, wywołuje pogorszenie warunków środowiska i skutkuje zmianą rzeźby terenu. Głównymi objawami wpływu górnictwa na geomorfologię są ruchy antropogeniczne spowodowane górnictwem podziemnym, zmiany w rzeźbie terenu (formy mimiczne), wpływ górnictwa i powstających odpadów na krajobraz (usuwanie nadkładów, zwalów, odpadów z przeróbki mechanicznej), zanieczyszczenia powstające na skutek procesów przygotowawczych, zapadanie skarp i tapnięcia [5, 6, 7, 8]. Rekultywowane formy antropo-

Summary

The paper deals with an application of bacterial leaching on two selected samples from old ecological loads situated in the Karlovy Vary Region. To be specific, they are heaps in Prebuz and Kraslice. Bacterial leaching was applied making use of *Acidithiobacillus ferrooxidans* bacteria and lasted 28 days. The results imply that the given method is suitable for the retrieval of valuable metals from waste and may help to deal with the issue of old heaps and dumps.

Keywords: Bacterial leaching, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, mining waste heaps

Introduction

Mining of mineral resources and utilization of lithospheric sources always represent a substantial interference with the geological conditions in any territory. Mining endangers both the deposits and the natural environment. It causes decreases in the land resources, destruction of the vegetation cover, damage to the agricultural, forest and water management, destruction of settlements, worse environmental conditions and results in the anthropogenic georelief. The major manifestations of the influence on the geomorphology by mining are anthropogenic movements caused by undermining, changes in the georelief (mimic forms), influence of mining and waste on the landscape (removal of overburden, heaps, preparation tailings), pollution by preparation processes, collapse of quarry slopes and induced bursts [5, 6, 7, 8]. The remediated anthropogenic forms of

geniczne krajobrazu pełnią różnorodne funkcje: ochrona zjawisk naturalnych, nietoksyczne składowiska odpadów, obszary pod uprawę rolnictwa, obiekty rekreacyjno-sportowe (place zabaw, pływalnie) lub mogą być użyte pod budowę parkingów itp. Zebrane szacunki wpływu nieczynnych kopalń na środowisko (głównie dla górnictwa materiałów budowlanych, rud, węgla i uranu) w Republice Czeskiej [2, 3] oraz [9, 10, 12] pokazały, że spośród 2000 pracujących kopalń w Republice Czeskiej 79% nie ma żadnego wpływu na środowisko, natomiast 20% nieznacznie i bez żadnych następstw oddziałuje na środowisko. Jedynie 0,5% prac górniczych jest szkodliwe dla otoczenia, powoduje powstawanie niebezpiecznych odpadów, żużla, zanieczyszczeń itp. Zaskakujący jest fakt, że tylko 1/3 niekorzystnego wpływu na środowisko stanowi górnictwo. Część przeważająca jest innego pochodzenia (nieautoryzowana gospodarka odpadami itp.). Konsekwencje górnictwa w niewielkiej skali są zacierane przez samoregulujące siły natury bez żadnej ingerencji człowieka. Z tego punktu widzenia ważne jest zaprojektowanie odpowiednich fundamentów środowiskowych dla użycia surowców w celu oszacowanie produktu krajowego brutto [1, 4, 8].

Jak wcześniej wspomniano, wszelkie wydobycie surowców mineralnych niesie ze sobą produkcję odpadów. Są one zwykle nazywane odpadami górniczymi. Mogą to być np. skała płonna, hałda kamienna, odpady z przeróbki mechanicznej itp. Tego rodzaju odpady składowane są na zwalach i hałdach. Często jednak można się spotkać z przypadkiem, że odpad może być bogaty w niektóre pierwiastki, np. miedź, złoto. W przeszłości pierwiastki pozostawały nieużyte ze względu na wysoki koszt ich odzyskiwania, jednak obecnie różnorodne metody mają tendencję by być zastosowanymi do odzyskiwania cennych pierwiastków. Niedawno jedną z najbardziej efektywnych metod było ługowanie bakteryjne [13, 14, 15]. Celem referatu jest zidentyfikowanie które pierwiastki i w jakich ilościach mogą być odnalezione w próbkach z powyżej wspomnianych hałd powstałych na skutek wydobycia miedzi i cyny w regionie Karlovy Vary, oraz jak odzyskać je dzięki metodzie ługowania bakteryjnego [2, 3].

Charakterystyka próbek

W referacie opisano dwie próbki pochodzące z okolic Prebuz i okolic Kraslic, a następnie przedstawiono wyniki odpowiednio dla dwóch badanych próbek.

Rys 1 pokazuje charakterystykę geologiczną okolic Prebuz.

Charakterystyka okolic Prebuz

Prebuz znajduje się w okręgu Sokolow, w regionie Karlovy Vary. Okolica górnicza mieści się 1 km na

landscape georelief may have various functions: protected natural phenomenon, non-toxic waste disposal site, agriculturally cultivated fields, recreation-sports facilities (playgrounds, swimming) or may be used as car parks, etc. A collected evaluation of the environmental impacts of abandoned mine workings (predominantly for mining of building materials, ores, coal and uranium) in the CR [2, 3] and [9, 10, 12] showed that out of 2,000 mine workings in the CR 79% of them do not influence the environment in any way, more than 20% only marginally and with no long-term consequences. Mere 0.5% of mine workings are critical, with hazardous wastes, slag, contaminants, etc. It is surprising that only 1/3 of the unfavourable influence on the natural environment is caused by mining. The prevailing part is of a different origin (unauthorized waste disposal sites, etc.). The consequences of mining are effaced by the autoregulative powers of the nature with no human intervention only in a low extent. From this point of view, it is necessary to project the environmental settlement for using lithospheric sources into the gross domestic product calculation system [1, 4, 8].

As mentioned above, any extraction of mineral resources produces waste along with the major component. This waste is usually called mining waste. For example, it is waste rock, spoil, preparation tailings, etc. This waste is usually disposed of on heaps and dumps. However, it is often the case that the waste may be rich some elements, e.g. copper, gold. In the past, the elements remained unused because of economic intensity of their retrieval, but at present various methods tend to be applied to retrieve the valuable elements. Recently, one of the most effective methods has been bacterial leaching [13, 14, 15]. The objective of the work is to identify what elements in which quantities are to be found in the samples from the above mentioned heaps related to extraction of copper and tin in the Karlovy Vary Region and how to extract them by means of bacterial leaching [2, 3].

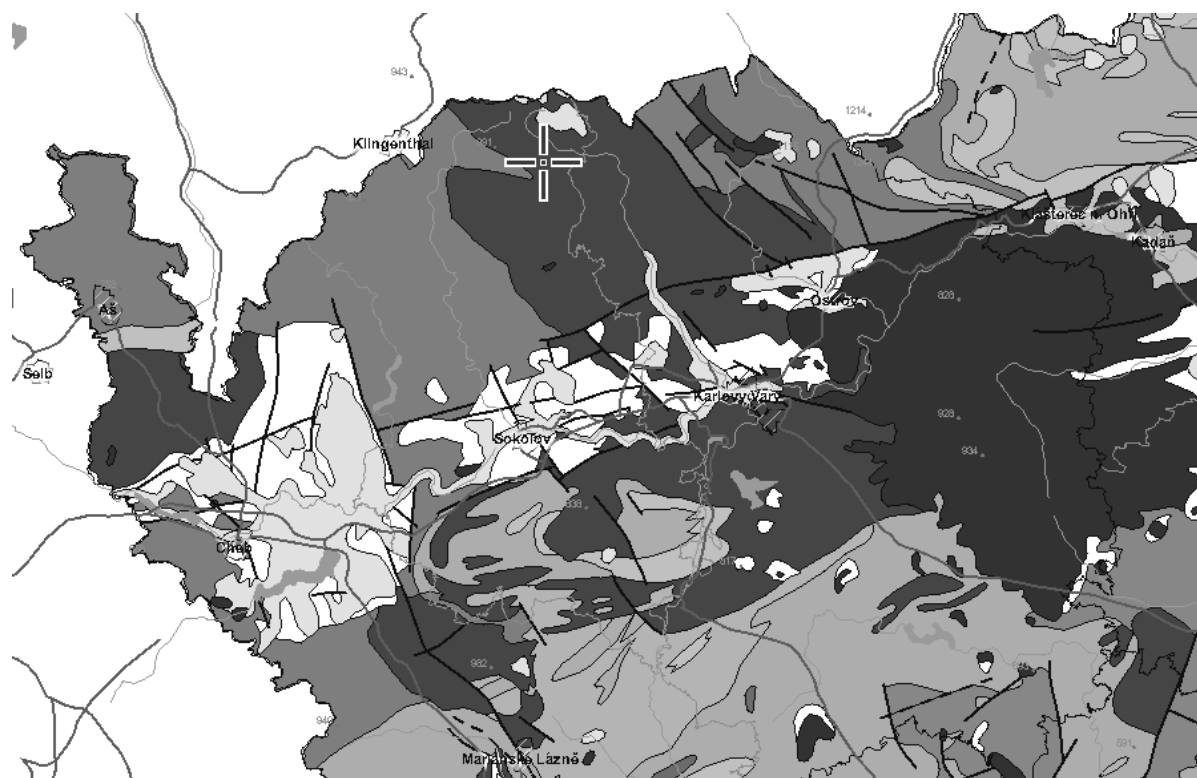
Sample characteristics

In the work two samples are described, namely from the locality of Prebuz and the locality of Kraslice, further referred to as the Prebuz sample and Kraslice sample respectively.

Figure 1 shows the geological characteristic of the locality of Prebuz.

Characteristic of the locality Prebuz

Prebuz is found in the district of Sokolov, in the Karlovy Vary Region. The mining locality is 1 km



Key GEOČR500

	diorite and gabbro		mica schist-gneiss, paragneiss to migmatite with calcite, amphibolite, quartzite, graphite
	granite, granodiorite		proteozoic rock
	granodiorite to diorite		tertiary rock (sand, clay)
	mica schist-gneiss, paragneiss to migmatite		tertiary rock (sandstone, shale)
	quaternary (loam, loess, sand, gravel)		dark granodiorite, syenite (durbachite series)
	sandstone, claystone		ultrabasic rocks
	sandstone, shale		tertiary volcanic rock (basalt, tuff, clinkstone)
	granulite, migmatite, ortho-gneiss		volcanic rocks, partly metamorphosed (amphibolite, diabase, toadstone, porphyre)
	mica schist, phyllite		granite
	shale, graywacke, quartzite, calcite		
	permian-carboniferous rocks (sandstone, claystone, agglomerate)		
Line			
		detected boundary	
		detected fault	
		supposed fault	

Rys. 1
Okolice Prebuz

Fig. 1
Locality of Prebuz

południowy-zachód od Prebuz u podnóży Hartelsberg Hill. Parkowanie umożliwiające jest przy skrzyżowaniach pomiędzy kościołem i cmentarzem, później należy iść pieszo przez 700 m wzdłuż skonsolidowanych dróg do lasu w kierunku południowo-zachodnim (w kierunku dawnego Bridlova). Znajduje się tam najważniejszy okręg wydobywania cyny w regionie. Widoczne są w tym miejscu pozostałości po zakrojonym na szeroką skalę

south-westwards from Prebuz at the foot of the Hartelsberg Hill. Parking is possible at the cross-roads between the church and cemetery and then walk 700 m along a consolidated road towards the forest in the direction of south-west (in the direction of former Bridlova). There is the most important tin district in the region. There are remnants of extensive mining and preparation activities from the

górnictwie i procesach przeróbki z okresu od XVI do XX wieku, tj. szyb Otto posiadający strukturę w dobrym stanie (zabytek techniczny), 45 rzędów zapadlisk, wejście do sztolni, hałdy po wydobywaniu rud i skały płonnej, struktura obróbcza rud, baseny szlamu, złoża okruszków cyny. Na zwalach (Rys 2) pośród skał plutonicznych KarlovychVar znajdują się granity (kompleks intrudowany wcześniej), mineralizacja rud (grejzeny cyny i kilka generacji żył wraz z mineralizacją Sn, As, W, Fe, Mn, U itp.). Można tu znaleźć rzadkie minerały (topaz, opal, minerały wtórne As, Cu, Bi, U, itp.). Jest to okolica ważna z punktu widzenia przeprowadzania badań dotyczących powstawania złóż cyny typu grejzenowego. Z punktu widzenia regionalnego podziału na strefy, jest to Masyw Czeski, kompleks krystaliczny i Prevariscan Paleozoic – saxothuringicum, pluton z Rudaw. Jeśli chodzi o stratygrafię, są one skałami magmowymi z wieku hercyńskiego. Rys. 2 ukazuje okolice, gdzie pobrano próbki w celu przeprowadzenia ługowania bakteriologicznego.

16th – 20th century, e.g. shaft Otto, the main shaft with a shaft frame construction in good repair (technical monument), 45 rows of cave-ins – surface depressions, drift entrance, heaps of as-mined ore and waste rock, ore preparation plant frame, sludge ponds, tin placers and a lade. On the heaps (Figure 2) there are granites in the Karlový Vary pluton (earlier intruded complex), ore mineralization (Sn-greisens and several generation veins with ore mineralization of Sn, As, W, Fe, Mn, U, etc. Rare minerals can be found there (topaz, opal, secondary minerals of As, Cu, Bi, U, etc.). It is a locality of supraregional importance to do research in the genesis of tin deposits of the greisens type. From the regional zoning point of view, it is the Bohemian Massif, crystalline complex and Prevariscan Paleozoic – saxothuringicum, Ore Mountains pluton. As for stratigraphy, they are igneous rocks of a Hercynian age. Figure 2 shows the locality where the sample was drawn for bacterial leaching.



Rys. 2
Miejsce pobrania próbki – zwal w pobliżu Prebuz

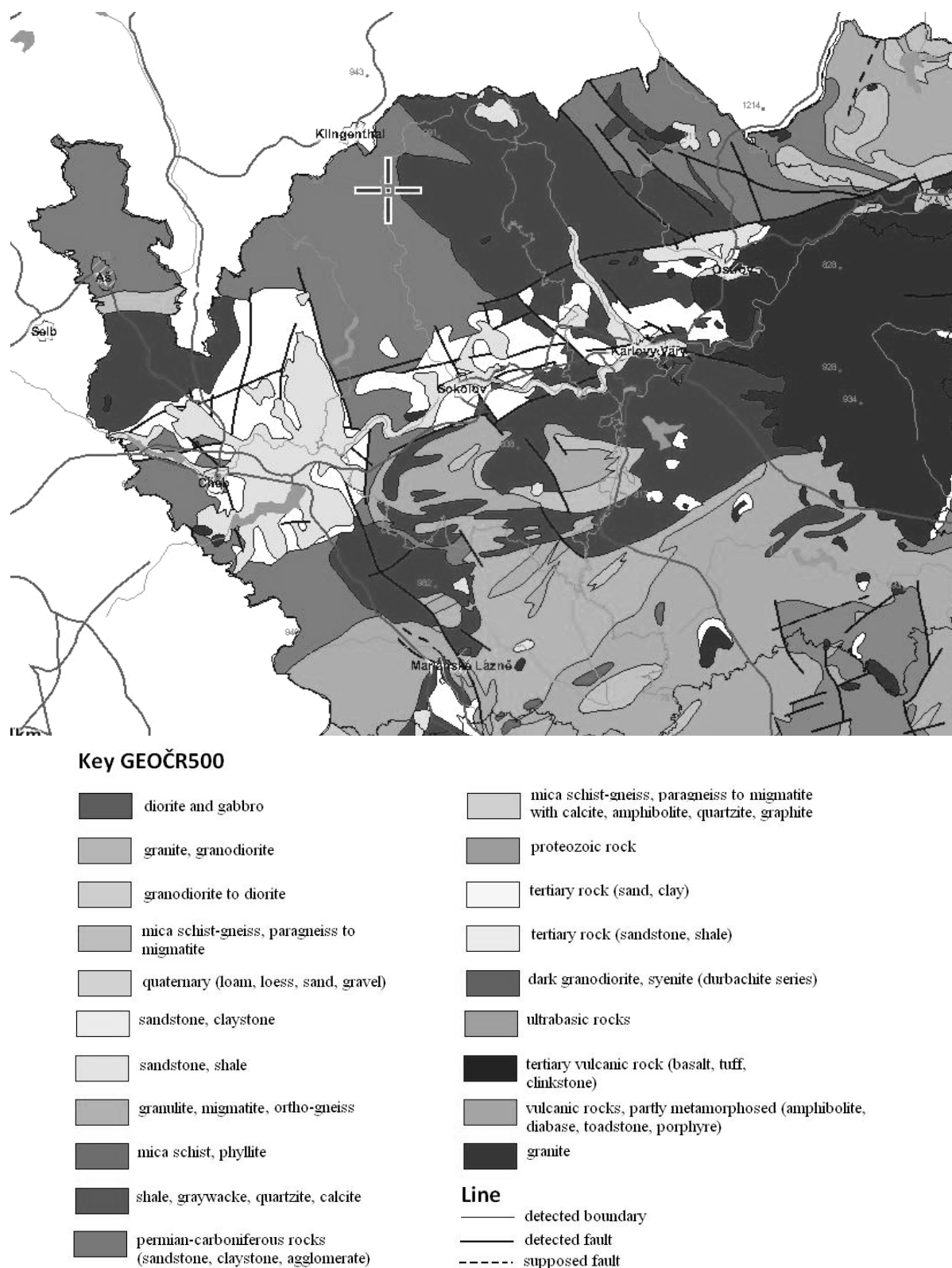
Fig. 2
Sampling locality – a heap near Prebuz

Charakterystyka próbki z okolic Kraslic

Rys. 3 przedstawia mapę geologiczną okolic Kralic.

Characteristic of the sample from the locality of Kraslice

Figure 3 shows the geological map of the locality of Kraslice.



Rys. 3
Okolice Kraslic

Fig. 3
Locality of Kraslice

Charakterystyka zwałów żużla w okręgu miedziowym Tisova niedaleko Kraslic.

Po intensywnym górnictwie średniowiecznym i kompaktacji rud miedzi w Tisovej powstały trzy zabezpieczone zwały z miejsc Adam i Georgi w Tisovej, każdy składający się z dziesiątków tysięcy ton żużla oraz mniejsza hałda Klinger w Bublavie. Żużel jest masywny, brązowy i posiada granulację od kilku centymetrów do 20 cm. Zawiera często występujące wgłębienia, pozostałości po węglu drzewnym i rzadkie naloty krystaliczne malachitu na czystych reliktach miedzi. Druga próbka testowanego materiału odpadowego została pobrana ze zwał żużla Adam.

Rysunki 4 i 5 przedstawiają charakter pobranych próbek z obu okolic.

Właściwości mineralogiczne próbek

Analizy mineralogiczne zostały wykonane z użyciem analizatora promieni rentgenowskich w laboratoriach Instytutu Inżynierii Geologicznej VSB-TU Ostrava. Wyniki zestawiono na rysunkach 6 i 7. Wskazują one, że próbka z okolic Kraslic zawiera baryt, cerusyt, galenit i kwarc. Próbka z Prebuz zawiera muskowit i chloryt.

Tabele 1 i 2 zestawiają zawartości procentowe poszczególnych minerałów w testowanych próbkach.

Characteristic of slag heaps in Cu-district Tisova near Kraslice

After intense medieval mining and compaction of copper ores in Tisova, there are three preserved slag heaps of the former copper works Adam and Georgi in Tisova, each with slag reserves amounting to tens of thousands tons and a smaller heap Klinger in Bublava. Slags are massive, brown and with granulation from a few centimetres to 20 cm. They contain frequent hollows, charcoal residues and rare efflorescence of malachite on pure copper relicts. The second sample of the tested waste material was drawn from the slag heap Adam.

Figures 4 and 5 show the character of the drawn samples from both the localities.

Mineralogical characteristics of the samples

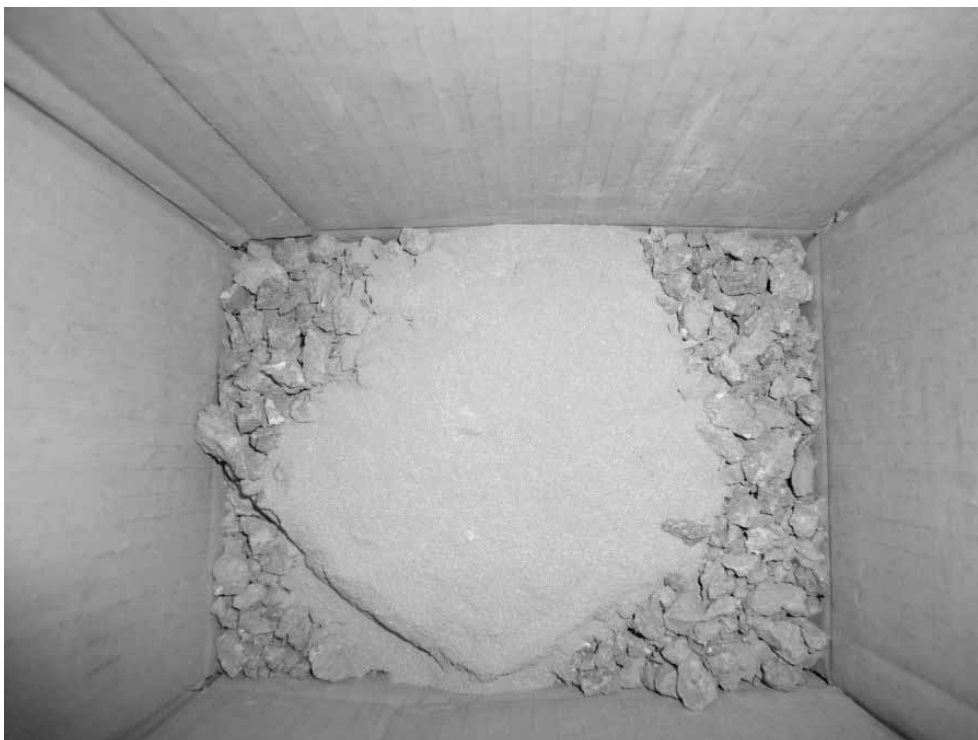
The mineralogical analyses were implemented using an X-ray analyser in the laboratories of the Institute of Geological Engineering of VSB-TU Ostrava. The results are in Figures 6 and 7. The results imply that the Kraslice sample contains barite, cerussite, galena and quartz. The Prebuz sample contains muscovite and chlorite.

Tables 1 and 2 state the percentages of the individual minerals in the tested samples.



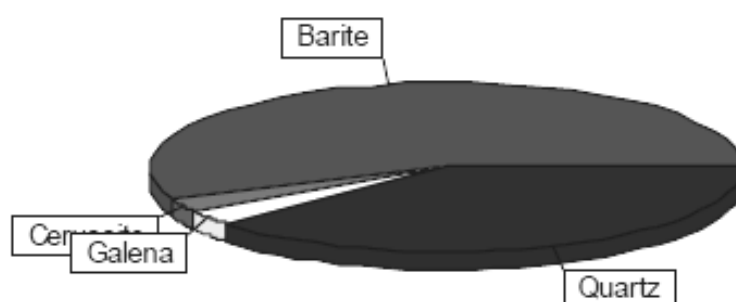
Rys. 4
Widok próbki po jej pobraniu
z okolic Kraslic

Fig. 4
Character of the sample after its drawing
from the locality of Kraslice



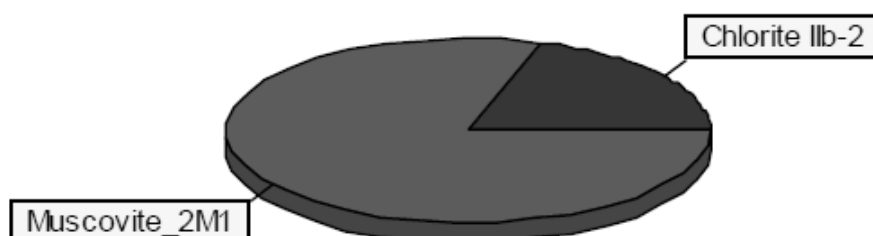
Rys. 5
Widok próbki po jej pobraniu
z okolic Prebuz

Fig. 5
Character of the sample after its drawing
from the locality of Prebuz



Rys. 6
Skład mineralogiczny próbki z okolic Kraslic

Fig. 6
Mineralogical composition of the Kraslice sample



Rys. 7
Skład mineralogiczny próbki z okolic Prebuz

Fig. 7
Mineralogical composition of the Prebuz sample

Tabela 1
Skład mineralogiczny próbki z okolic Kraslic

Skład Composition	Stosunek (%) Ratio (%)
Baryt Barite	56,40 ± 3,00
Cerusy Cerussite	2,39 ± 1,08
Galena Galena	2,92 ± 0,66
Kwarc Quartz	38,31 ± 2,97

Table 1
Mineralogical composition of the Kraslice sample

Tabela 2
Skład mineralogiczny próbki z okolic Prebuz

Skład Composition	Stosunek (%) Ratio (%)
Chloryt IIb-2 Chlorite IIb-2	20,20 ± 9,60
Muskowit 2M1 Muscovite_2M1	79,80 ± 9,60

Table 2
Mineralogical composition of the Prebuz sample

Metodologia ługowania bakteryjnego

Próbki posiadające stuprocentową zawartość ziaren wielkości poniżej 0,071 mm zostały przygotowane na potrzeby badania metodą ługowania bakteryjnego. Zastosowano czyste kultury bakterii *Acidithiobacillus ferrooxidans* pochodzące Czeskiej Kolekcji Mikroorganizmów w Brnie. Użyto 5-litrowy bioreaktor do którego wleto 500 ml kultur bakterii, następnie testowane próbki oraz czynnik Silverman 9K. Mieszanie w bioreaktorze zostało zapewnione dzięki pompom akwarijnym. Wartość pH roztworu została utrzymana w zakresie od 1,8 do 2,0 za pomocą 1M kwasu siarkowego podczas całego eksperymentu. Ługowanie bakteryjne przeprowadzono w temperaturze laboratoryjnej równej 20°C. Czas eksperymentu wynosił 28 dni, a po jego zakończeniu próbki poddano fluorescencji rentgenowskiej, natomiast oszacowane wyniki zsumowano w Tabelach 3 i 4.

Otrzymane wyniki pokazują, że w przypadku próbki z Kraslic wystąpił najwyższy współczynnik odzyskiwania Cu i Pb i wyniósł on ponad 40%. Prawdopodobnie wygodniej byłoby przedłużyć czas ługowania jeśli bakteria musiałaby się zaadaptować do materiału żużlowego, zwykle do 3 miesięcy.

W przypadku próbek z Prebuz otrzymano znacznie lepsze wyniki. Odzyskiwania było bardzo wysokie, niemal 100% dla większości pierwiastków z wyjątkiem Ca, Fe i Mn.

Methodology of bacterial leaching

Samples of 100% grain-size below 0.071mm were prepared for bacterial leaching. A pure bacterial culture of *Acidithiobacillus ferrooxidans* was applied, coming from the Czech Collection of Microorganisms in Brno. A 5-litre bioreactor was used, into which 500 ml of the bacterial culture were poured, followed by the tested samples and then Silverman medium 9K was added. Stirring in the bioreactor was ensured by means of aquarium pumps. The pH value of the solution was maintained at the range from 1.8 to 2.0 by means of 1M sulphuric acid during the overall experiment. Bacterial leaching was conducted at the laboratory temperature of 20°C. The time of the experiment was 28 days and having finished the experiment, the samples were analyzed on an X-ray fluorescence analyser and the evaluated test results are summarized in Tables 3 and 4.

The stated results reveal that from Kraslice sample there was the highest recovery of Cu and Pb, which was over 40%. It would be probably convenient to prolong the time of leaching as it was slag material to which the given bacteria usually need to adapt, often as long as 3 months.

In case of the Prebuz samples far better results were obtained. The recovery was high, almost 100% in the majority of the elements, except for Ca, Fe and Mn.

Tabela 3
Wyniki ługowania bakteryjnego próbek z okolic Kraslic

Table 3
Results of bacterial leaching of the Kraslice sample

Pierwiastek Element	przed ługowaniem (ppm) prior to leaching (ppm)	po ługowaniu (ppm) post leaching (ppm)	Odzysk (%) Recovery (%)
Ca	3686	3572	3,1
Ti	116102	112663	2,7
Cr	3342	2944	11,9
Mn	1653	1085	34,4
Fe	7148	5383	24,7
Ba	414756	330033	20,4
Cu	5332	3040	43,0
Zn	1545	1338	13,4
As	2752	2456	10,8
Pb	87988	48557	44,8
Sr	3099	2834	8,6
Sn	738	0,001	99,9
V	18849	17908	5,0

Tabela 4
Wyniki ługowania bakteryjnego próbek z okolic Prebuz

Table 4
Results of bacterial leaching of the Prebuz sample

Pierwiastek Element	przed ługowaniem (ppm) prior to leaching (ppm)	po ługowaniu (ppm) post leaching (ppm)	Odzysk (%) Recovery (%)
Ca	17801	15164	14,8
Ti	9637	1774	81,6
Cr	680	0,001	99,9
Mn	1680	1300	22,6
Fe	234998	148019	37,0
Ba	7947	0,001	99,9
Cu	2447	0,001	99,9
Zn	3606	300	91,7
As	207	74	64,3
Pb	1669	0,001	99,9
Sr	89	18	79,8
Sn	2988	0,001	99,9

Podsumowanie

Celem pracy było zbadanie metody ługowania bakteryjnego stosując bakterię *Acidithiobacillus ferrooxidans* na próbkach materiału odpadowego z okolic Kraslic i Prebuz. Otrzymane wyniki wskazują, że podana technologia jest odpowiednia dla materiału odpadowego pobranego z okolic Prebuz. W przypadku żużla z okolic Kraslic właściwym byłoby przedłużenie czasu procesu ługowania. Oczywiście jest, że stosując technologię ekologiczną możliwe jest odzyskanie wartościowych metali ze starych zwalowisk.

Conclusion

The objective of the work was to test bacterial leaching using waste material samples from the localities of Kraslice and Prebuz applying the bacteria of *Acidithiobacillus ferrooxidans*. The obtained results imply that the given technology is suitable for the waste material drawn from the locality of Prebuz. In case of the slag material from the locality of Kraslice, it would be advisable to prolong the time of leaching. It is apparent from the above mentioned that applying an ecological technology it is possible to retrieve valuable metals from old heaps.

Literatura – References

1. Závada, J., Bouchal, T.: *Chemické metody zpracování nerozpuštěných surovin a odpadů*, Ostrava, VŠB – TUO, 2010
2. Bosecker, K.: *Bioleaching: metal solubilization by microorganisms*. *FEMS Microbiology Reviews.*, 20, 1997, s. 591-604
3. Brombacher, C., Bachofen, R., Brandl, A.: *Biohydrometallurgical processing of solids: a patent review*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 48, 1997, s. 577-587
4. Fečko, P. a kol.: *Environmentální biotechnologie*, Ostrava, VŠB – TUO, 2004
5. Ledin, M., Pedersen, K.: *The environmental impact of mine waste - Role of microorganisms and their significance in treatment of mine wastes - survey*. Göteborg University, Lundeborg Institute, 1995, 104 s
6. Torma, A. E. *The role of Thiobacillus ferrooxidans in Hydrometallurgical Processes*. *Adv. Biochem. Eng.*, 1977, s.1-37
7. Crundwell, F. K., Holmes, P. R., Fowler, T. A.: *How do bacteria interact with minerals*. *The journal of the South Africa. Institute of Mining and Metallurgy*. 2000, s. 399-401
8. Boom, M.: *The mechanism of direct and indirect bacterial oxidation of sulfide minerals*. *Hydrometallurgy* 62, 2001, s. 67-70
9. Maršálek, J.: *Thiobacillus ferrooxidans a jeho kultivace v procesu biologického loužení rud*. Praha SNTL - Nakl. technické literatury, 1979, 143 s
10. BOROVEC, Z. *Mikrobiologická oxidace sulfidických rud*. *Rudy*, 1989, č. 9
11. Kraus, S.: *Metale pretioase-vol II. Matrix Rom, Bucuresti, Romania*, 2006, ISBN 973-755-019-6
12. Fečko, P. a kol.: *Biotechnologie v úprave uhlia*, Ostrava, VŠB – TUO, 2008
13. Hołda A., Kisielowska E.: *Biological removal of Cr(VI) ions from aqueous solutions by Trichoderma viride*. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*; ISSN 1643-1049. — 2013 vol. 49 iss. 1 s. 47–60
14. Hołda A., Kisielowska E., Niedoba T.: *Bioaccumulation of Cr(VI) ions from aqueous solutions by Aspergillus niger*. *Polish Journal of Environmental Studies*; ISSN 1230-1485. — 2011 vol. 20 no. 2 s. 345–349
15. Lewkiewicz-Małysa A., Winid B.: *Geologiczne i geochemiczne aspekty chłonności otworów wykorzystywanych do zatłaczania wód złożowych*, *Rocznik Ochrona Środowiska*; ISSN 1506-218X. — 2011 t. 13 cz. 2 s. 1985–1999