



Wzbogacanie laterytów pochodzących z miejscowości Trstenik w Kosowie

Enrichment of laterite ore from Trstenik locality in Kosovo

Lukáš KOVAL¹⁾, Eliška KULOVÁ²⁾, Peter FEČKO³⁾

¹⁾ 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: lukas.koval.st@vsb.cz

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; tel.: (+420) 597 325 264, e-mail: eliska.kulova@vsb.cz

³⁾ 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; tel.: (+420) 597 323 575, e-mail: peter.fecko@vsb.cz

RECENZENCI: Dr Zbigniew TAJCHMAN; Doc. Ing. Vladimír ČABLIK, Ph.D.

Streszczenie

W artykule omówiono możliwości ekstrakcji niklu z laterytów, wydobywanych z miejscowości Trstenik w Kosowie. Region ten jest jednym z największych w Europie pod względem zasobów niklu. Dlatego konieczne jest prowadzenie badań nad optymalizacją procesów wzbogacania. Do wzbogacania laterytów postanowiono zastosować ługowanie chemiczne stosując następujące rodzaje odczynników chemicznych: kwas solny, kwas azotowy V, kwas siarkowy VI, kwas octowy, kwas szczawiowy, wodorotlenek amonu, wodorotlenek sodu, woda destylowana oraz gorąca woda. Woda królewska była stosowana w postaci mieszaniny kwasu HNO_3 i HCl w stosunku 1 do 3. Uzyskane wyniki sugerują, że przy zastosowaniu wody królewskiej możliwe jest uzyskanie roztworu o zawartości 72% Ni. Stosowanie kwasów nieorganicznych, wiąże się z uzyskaniem gorszych wyników ługowania.

Summary

The paper deals with possible extraction of nickel from laterites coming from the locality of Trstenik in Kosovo. This locality is one of the largest in Europe as for Ni content and thus, it is necessary to test certain beneficiation processes. With regard to the fact that it is the case of laterites, chemical leaching was applied testing the following types of chemical agents: hydrochloric acid, nitric acid, sulphuric acid, acetic acid, oxalic acid, ammonium hydroxide, sodium hydroxide, distilled water, warm up water. Aqua regia was applied in the form of acid mixture of HNO_3 and HCl in 1:3 proportion. The acquired results imply that applying aqua regia it is possible to retrieve 72% of Ni. Mineral acids provided partial results.

Słowa kluczowe: Nikiel, rudy laterytowe, złoża rud żelaza Trstenik, ługowanie chemiczne laterytu

Keywords: Nickel, locality Trstenik in Kosovo, chemical extraction of nickel from laterites

Wprowadzenie

Nikiel jest typowym ferromagnetykiem. Jest to srebrzystobiały, bardzo jasny metal, który można doskonale wypolerować. Jest kowalny, może być kuty, spawany, rolowany w „arkusze” lub ciągniony. Nikiel i jego stopy są słabymi przewodnikami prądu elektrycznego oraz ciepła.

Nikiel należy do grupy metali przejściowych, które posiadają elektrony walencyjne na podpowłoce d. W związkach, nikiel przeważnie jest dwuwartościowy (Ni^{+2}), ale występują również związki zawierające nikiel jednowartościowy (Ni^{+1}) lub trójwartościowy (Ni^{+3}). Związki zawierające nikiel trójwartościowy są niestabilne i działają silnie utleniająco.

W warunkach normalnej temperatury powietrza i wody nikiel jest stabilny i dlatego używany jest do ochrony powierzchni innych metali, w szczególności żelaza. Drobnorozdrobniony nikiel jest piroforyczny, a ogrzewany w strumieniu czystego tlenu ulega

Introduction

Nickel is a typical metallic ferromagnetic element. It is a silvery white, very bright metal which can be excellently polished. It is ductile, it can be forged, welded and rolled into sheet metal or pulled into wires. Nickel and its alloys are poor in conducting electric power and heat.

Nickel belongs among transition elements that have valence electrons in the d-sphere. In the compounds it predominantly occurs in Ni^{+2} valency, but there are also compounds of Ni^{+1} or Ni^{+3} . Substances containing Ni^{+3} are instable and act strongly oxidatively.

Under normal temperature of air and water, nickel is quite stable and thus it is used for surface protection of other metals, iron in particular. Finely dispersed nickel is pyrophoric and heated in pure oxygen nickel burns through sparking. With other

zapaleniu (iskrzenie). Z innymi pierwiastkami (np. chlorem, bromem, fosforem, arsenem, antymonem, glinem, borem, krzemem lub siarką) nikiel ulega reakcji syntezy w wyższych temperaturach. Ponadto jest raczej stabilny w reakcji z alkaliami i dlatego używa się go w urządzeniach służących do pracy z wodorotlenkami alkalicznymi oraz ługów.

Nikiel gąbczasty jest używany jako katalizator w reakcji hydrogenacji (uwodornienia) (Jursík, 2002).

Nikiel jest pierwiastkiem stosunkowo lekki, szeroko rozpowszechnionym w przyrodzie. Jego średnia zawartość w skorupie ziemskiej wynosi około 100 mg/kg, co odpowiada 99 mg/kg. Jest siódmym pierwiastkiem (pod względem rozpowszechnienia) na ziemi. W wodzie morskiej, jego stężenie wynosi około 5,4 g/l. Uważa się, że we wszechświecie 700 000 atomów wodoru jest proporcjonalnych do jednego atomu niklu.

Czysty nikiel rzadko występuje w przyrodzie. Głównie spotyka się go w meteorytach, które spadły na ziemię. Zwykle występuje w rudach pod postacią związków tlenku niklu z żelazem (np. limonit $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{O}(\text{OH})$ i garnieryt $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$) lub siarczku niklu i żelaza – pentlandyt $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$. Do najważniejszych rud niklu, zalicza się milleryt NiS , nikielin NiAs , breithauptyt NiSb , NiAs_2 chloantyt, gersdorfit NiAsS , smaltyn $(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe})$ i As_2 , ulmanit NiSbS . Geolodzy przypuszczają, że duża część niklu na Ziemi, koncentruje się w jądrze Ziemi i skorupie Ziemi w postaci FeNiCo (Jursík, 2002).

Lateryty

Lateryt (z języka łacińskiego „gleba”) występuje często w krajach tropikalnych. Tworzy się on poprzez intensywne i długotrwałe wietrzenie skał osadowych. Ze względu na wpływ wysokich temperatur oraz dużych opadów złoża osiągają większe grubości. Podczas wietrzenia chemicznego wysoki odsetek łatwo rozpuszczalnych pierwiastków takich jak – sód, potas, wapń, magnez i krzem, przepływa wraz z migrującą wodą. Pierwiastki trudno rozpuszczalne takie jak żelazo i aluminium, pozostają w złożu (ich stężenie w pozostałości wzrasta). Lateryty powstają ze wszystkich rodzajów skał na terytorium, które nie wykazuje negatywnego wpływu na proces lateryzacji, a tym samym te „odpady lądowe” pozostają w miejscu i nie ulegają degradacji. Lateryty znajduwane obecnie poza obszarem tropikalnym są produktami wcześniejszych epok geologicznych. Tlenki żelaza – getyt i hematyt – najczęściej zabarwiają lateryt na czerwono. Złoża laterytów mogą mieć kilka metrów grubości, ale również mogą osiągnąć znacznie większe miąższości. Gleby laterytowe tworzą się w górnej części laterytu i dlatego przez gleboznawców są one oznaczane jako latosole (oxisole).

Lateryty mogą być miękkie i kruche, jak również twarde i wytrzymałe mechanicznie. Lateryty mogą

elements (e.g. chlorine, bromine, phosphorus, arsenic, antimony, aluminium, boron, silicon or sulphur) nickel combines under higher temperatures. It is also rather stable in action with alkalis and thus it is used to make facilities to work with alkaline hydroxides and lyes.

Spongy nickel is used as a catalyst in hydrogenation (Jursík, 2002).

As a relatively light element, nickel is very abundant in the nature. Its average content in the earth's crust is around 100 mg/kg, which corresponds to 99 mg/kg and it occupies the 7th rank as for occurrence on earth. In the sea water, its concentration ranges about 5.4 g/l. It is expected that in the universe 700 000 hydrogen atoms are proportioned to one nickel atom.

Pure nickel is rare in the nature, namely in the form of meteorites falling down on earth. It usually occurs in ores as a nickel oxide compound with iron (e.g. limonite $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{O}(\text{OH})$ and garnierite $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$) or iron-nickel sulphide – pentlandite $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$. Among the most important nickel ores, there are millerite NiS , nickeline NiAs , breithauptite NiSb , chloanthite NiAs_2 , gersdorffite NiAsS , smaltite $(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ and ullmanite NiSbS . Geologists suppose that a large amount of nickel present on earth is concentrated in the place of its centre – in the earth core and crustal block FeNiCo (Jursík, 2002).

Laterites

Laterite (from Latin “later”) is frequent in the tropics where it forms through intense and long-term weathering of underlying rocks. Due to the effect of higher temperatures and higher precipitation depths it reaches bigger thicknesses. During the chemical weathering there is a high proportion of easily soluble elements – sodium, potassium, calcium, magnesium and silicon – seeping through water conducted lower which makes elements difficult to solve, such as iron and aluminium, remain (their residual concentration increases). Laterites are formed from all types of rocks in a territory that does not show negative impacts on the laterization process and thus landwaste remains in place and is not degraded. Laterites found nowadays outside the tropics are products of an earlier geological epoch. Iron oxides – goethite and hematite – most often provide laterite with a red colour. Laterites may be several metres thick, but they may reach significantly more prominent thicknesses as well. Soils on laterites make the top part of laterites and therefore in pedology they are labelled as latosols (oxisols).

Laterites are either soft to crumbly, or hard and mechanically durable. Laterite may be used as a

być wykorzystywane jako materiał budowlany, czego przykładem jest świątynia w Angkor.

Lateryzacja jest szczególnie istotna w tworzeniu złoża laterytowego. Boksyty są różnymi odmianami laterytów bogatych w aluminium. Aluminium może pochodzić z wielu różnych rodzajów skał, powstaje w warunkach, gdy przepływ wody jest szczególnie intensywny. Lateryzacja skał ultrazasadowych (serpentyt, dunit, perydotyt, o zawartości niklu w przedziale 0,2–0,3%) może prowadzić do koncentracji niklu. Wyróżnia się dwa rodzaje rud niklowo laterytowych: limonit i getyt. Limonity niklu są bardzo bogate w żelazo, zawierają od 1 do 2% Ni. Na skutek utleniania się faz żelaza niklowego na powierzchni limonitu tworzy się getyt. Pod strefą utleniania występuje strefa rud niklu i krzemianu o koncentracji Ni ponad 2%. (Bardossy, 1990).

Charakterystyka badanych laterytów

Badane próbki pochodzą z miejscowości Trstenik. Rudy żelaza w pobliżu Trstenik (Kosowo – Metohija) zawierają średnio (zgodnie z danymi literaturowymi) 40% żelaza, 1,0% niklu i 3,5% Cr_2O_3 . Stratygraficznie są to złoża soczewkowe zaliczane do paleozoicznych serpentynitów – perydotytów. Powstałe rudy są wynikiem naporu skorupy ziemskiej na produkty wietrzenia serpentynitów, które powstały w procesach glebotwórczych. Porównanie składu chemicznego materiału przekrojach pionowych złoża pokazało wpływ wietrzenia na migrację pierwiastków. Zróżnicowanie przestrzenne zawartości jest najbardziej charakterystyczne dla takich metali, jak Fe, Ni, Co i Cr. Główne składniki ilościowe rud w złożu to hematyt, spinel, węglany, krzem, jak również serpentyny i produkty jego rozkładu. Nikiel jest częściowo związany, zaś kobalt jest wyłącznie związany w milerytach. Obecność siarczków, syderytu i chamozytu wskazuje na występowanie warunków redukcyjnych podczas powstawania złoża. Hydrokrzemiany, hematyty i minerały ilaste stanowią inne źródło niklu. (Halbach, 2004).

Charakterystyka badanych próbek

Badaniu poddano pięć próbek laterytu pobranych w miejscowości Trstenik. Wykonano analizy rentgenowsko fluorescencyjne, wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Dyfrakcyjna analiza rentgenowska pokazała następujące wyniki (tabela 2).

Dane te zostały przedstawione na uproszczonym wykresie (rysunek 1) przedstawiającym zawartość poszczególnych pierwiastków w rudzie. Analiza wskazuje, że nikiel występuje w związkach z chlorem.

Lateryt analizowano za pomocą rastrowego mi-

building material too, an example being the temple in Angkor.

Laterization is especially significant for the formation of a lateral bed. Bauxites are a laterite variety rich in aluminium, which may originate from a number of rock types when the water drain is particularly intense. Laterization of ultramaphic rocks (serpentine, dunite, peridotite with 0.2–0.3% of Ni) may lead to nickel concentration. Two laterite nickel ore types are distinguished: nickel limonite very rich in iron containing 1–2% of Ni combined on goethite on the particle surface. Next, under this zone there is also a possible occurrence of nickel silicate ores with frequent Ni concentration of over 2% (Bardossy, 1990)

Characteristics of the tested laterite

The tested samples come from the locality of Trstenik. Sedimentary iron ores near Trstenik (Kosovo – Metohija) contain, according to literature, about 40% of iron, 1.0% of nickel and 3.5% of Cr_2O_3 on average. Stratigraphically this lenticular ore deposit belongs among Palaeozoic serpentine-peridotites and there is a connection with depositions. The ores are a result of a thrust of earth crust lateral weathering products by serpentinites which formed within soil-forming processes. The comparison of the chemical composition from the basement all the way to the ground is distinguished by an apparent exogenous effect of weathering by typical element migration. Those are characteristic by their most enormous spatial separation of metals, such as Fe, Ni, Co and Cr, in the lateral weathering profiles. The major quantitative phase in the locality is hematite, spinel, carbonates, silicon as well as serpentine and its degradation products. Ni is partially and Co is exclusively bound onto millerites. The presence of sulphides, siderite and chamosite indicates reduction conditions during origin. Hydro-silicates or hematites, or clay minerals in the basement may be other Ni carriers (Halbach, 2004).

Characteristics of the supplied samples

Five laterite samples were drawn from locality of Trstenik, which underwent an X-ray fluorescence analysis, as stated in Table 1.

The ore X-ray diffraction analysis provided the following results (tab. 2).

These data were transformed into a simplified chart of the individual element contents in the ore as apparent in Figure 1. The analysis implies that nickel is combined onto chlorite.

Laterite was analyzed by means of a raster

Tabela 1
Wyniki analizy fluoroscencyjnej

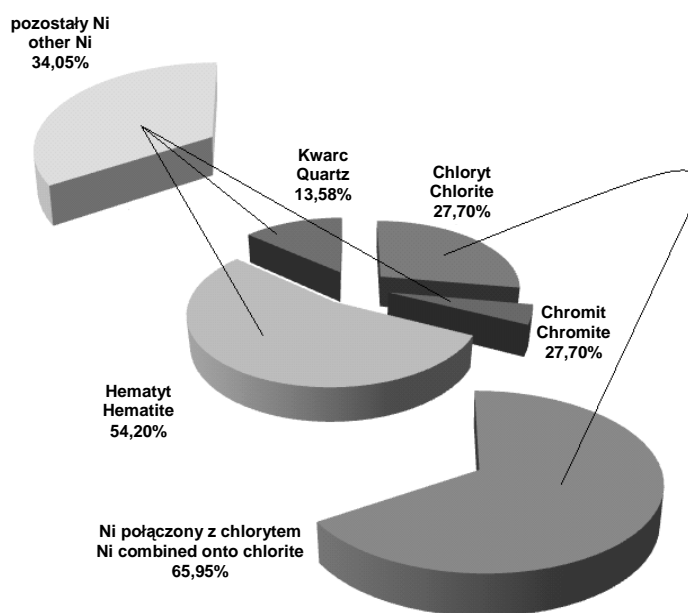
Table 1
X-ray fluorescence analysis results of laterite ore

| | Nadawa Input | A | B | C | D |
|-------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| ppm (mg/kg) | | | | | |
| Cr | 55984 (+-1430) | 51706 (+-1367) | 56386 (+-1481) | 66018 (+-1639) | 74005 (+-1764) |
| Fe | 385012 (+-9552) | 419671 (+-10746) | 408253 (+-10415) | 355384 (+-8617) | 318313 (+-7433) |
| Ni | 24215 (+-480) | 19015 (+-429) | 18562 (+-403) | 22899 (+-426) | 20494 (+-363) |
| Zn | 107 (+-28) | <84 | 90 (+-27) | 181 (+-26) | 311 (+-25) |
| Pb | 178 (+-17) | 200 (+-19) | 183 (+-17) | 119 (+-14) | 91 (+-12) |
| Bi | 93 (+-10) | 89 (+-10) | 84 (+-10) | 54 (+-8) | 29 (+-6) |
| Rb | 67 (+-6) | 71 (+-6) | 58 (+-5) | 61 (+-5) | 57 (+-4) |
| Sr | 17 (+-4) | <12 | 17 (+-4) | 26 (+-4) | 22 (+-3) |
| Ba | <2000 | <2000 | <2000 | 3030 (+-927) | <2000 |

Tabela 2
Wyniki dyfrakcji promieniami rentgenowskimi

Table 2
X-ray diffraction analysis results

| | | | |
|--------------------|-------|----------|------|
| Chloryt / Chlorite | 27,70 | +/- 3,60 | wt.% |
| Chromit / Chromite | 4,51 | +/- 0,69 | wt.% |
| Hematyt / Hematite | 54,20 | +/- 2,88 | wt.% |
| Silikon / Silicon | 13,58 | +/- 0,84 | wt.% |



Rys. 1
Zawartość elementów w rudzie

Fig. 1
Individual element contents

kroskopu elektronowego TESCAN VEGA TS 5130 LM oraz spektrometru z dyspersją energii OXFORD INCA Energy 350. Celem badań było określenie przestrzennego rozkładu pierwiastków: Ni, Cr, Fe, Si oraz wiązań Ni.

electron microscope TESCAN VEGA TS 5130 LM and energy-dispersive spectrometer OXFORD INCA Energy 350. The objective was to determine the spatial distribution of elements of Ni, Cr, Fe, Si and Ni bond by means of a spot analysis.

Analizę rentgenowską przeprowadzono na wszystkich próbkach, w całym przedziale uziarnienia. Wyniki pozwoliły na identyfikację przestrzennego rozkładu badanych pierwiastków chemicznych (Si, Cr, Fe, Ni). Jak wynika z map rentgenowskich, niektóre ziarna zawierające większy udział interesujących pierwiastków, ziarna te wyselekcjonowano i przeprowadzono ich analizę spot. Jak wynika z analizy nikiel jest częściowo połączony z cząstkami chloru. Stężenie osiąga najczęściej wartość w zakresie od 4 do 5% (RÁBL, 2007). Aby to zilustrować na rysunkach 2 do 6 przedstawiono wyniki analizy próbki nr 5. Rysunek 7 przedstawia ziarna millerytu, a także jego widmo dla najwyższej zawartości niklu (pokazanej w tabeli 3).

Dwa następne rysunki (rysunek 8 i 9) przedstawiają próbki rudy. Materiał oryginalny był reprezentowany przez ziarna o wielkości około 25 cm.

Ługowanie rudy

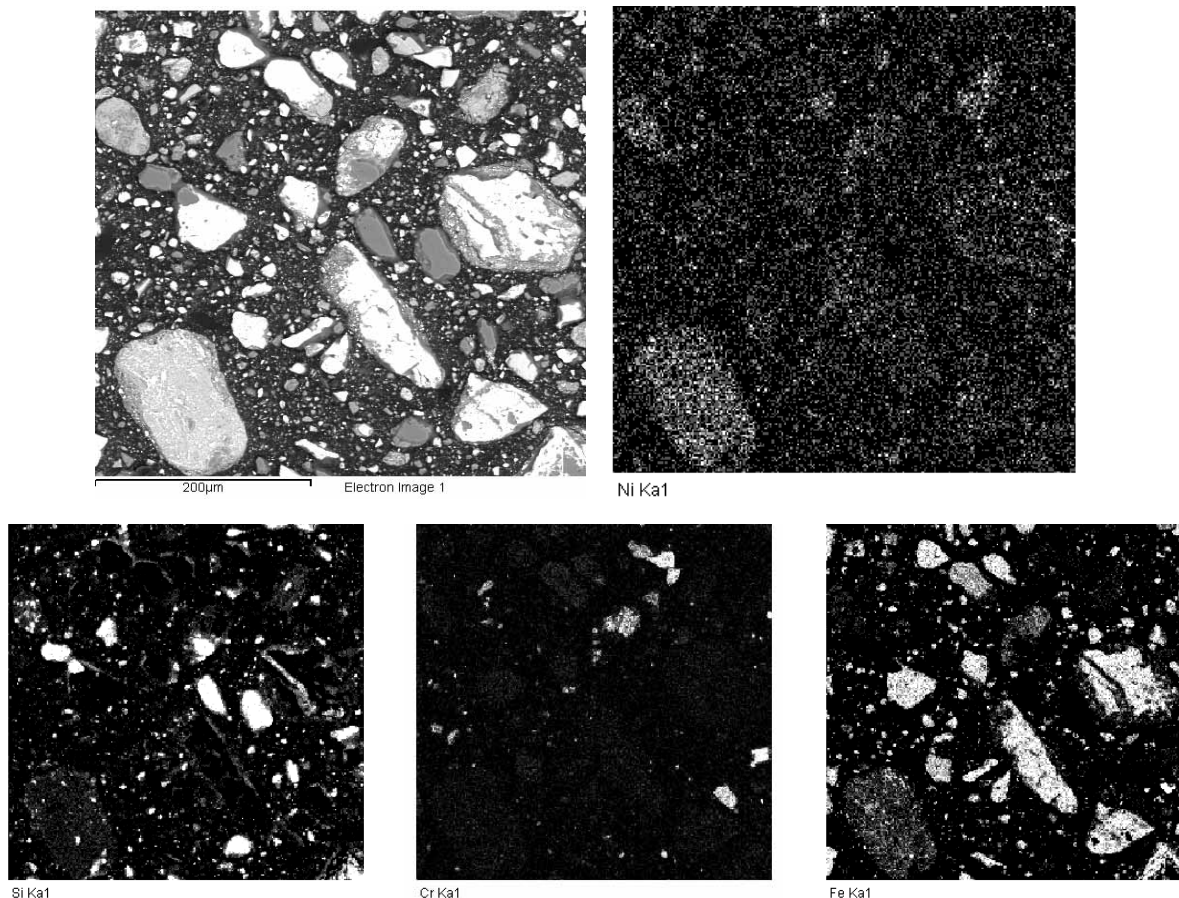
Próbki rudy o masie 10 gramów (i uziarnieniu poniżej 0.5 mm), zadano roztworem ługującym o objętości 100 ml. Do ługowania wykorzystano dziesięć roztworów o następujących stężeniach: 5%, 10% i 15% (woda królewska jedynie w roztworze

X-ray mapping was carried out with all the samples from three grains of a large size. This resulted in the identification of the spatial distribution of the required elements (Si, Cr, Fe, Ni). Out of the given X-ray maps, some grains with higher concentration of interest elements were selected and spot analyses were carried out. It is apparent from the analyses results that nickel is partially combined in chlorite particles. The concentration predominantly ranges from 4 to 5% (RÁBL, 2007). To be illustrative, Figures 2-6 display results of the analyses of sample No.5. Figure 7 shows a millerite grain and its spectrum with highest Ni content, as stated in Table 3.

The two following figures demonstrate lump ore. The original material was represented by larger lumps of about 25 cm, as shown in Figure 8-9.

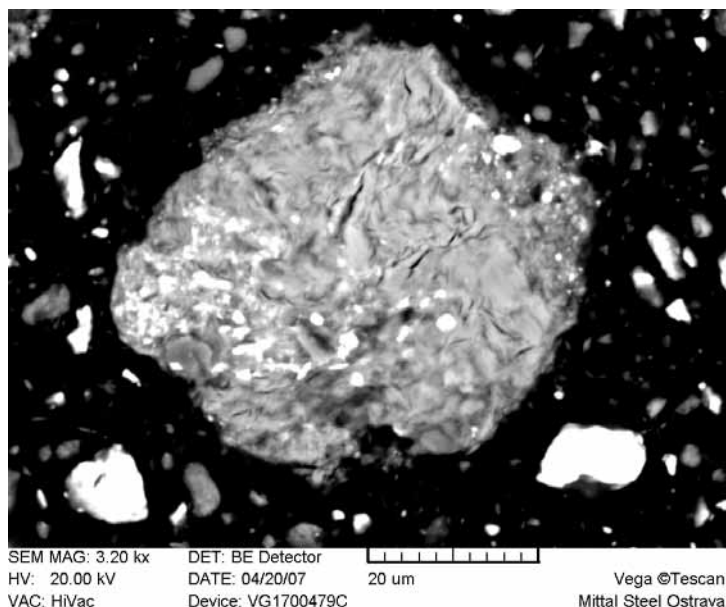
Ore leaching

Ore samples of 10g (fraction below 0.5 mm), which were added into 100 ml of leaching liquor, were used for the own leaching. The ore samples were leached in ten different liquors of the following concentrations: 5%, 10 % and 15 % (aqua regia was



Rys. 2-6
Rezultaty analizy próbki nr 5

Fig. 2-6
Results of the analyses of sample No.5



Rys. 7
Rezultaty analizy próbki nr 5

Fig. 7
Results of the analyses of sample No.5

Tabela 3
Widmo ziaren milleritu z najwyższą zawartością niklu

Table 3
Spectrum of millerite grain with highest Ni content

| Widmo Spectrum | O | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | V | Cr | Fe | Ni | Zn |
|----------------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|----|---|------|-------|------|----|
| Próbka nr 5 Sample No.5 | 38.18 | 0.24 | 5.83 | 9.99 | 14.83 | 0.26 | 0.46 | | | 0.93 | 24.49 | 4.79 | |



Rys. 8, 9
Ruda kawałkowa – materiał oryginalny (lateryt)

Fig. 8, 9
Lump ore – original material (laterite)

15%, dla wody destylowanej i ciepłej nie podano stężenia) (tab. 4).

Ługowanie przeprowadzono w zamkniętych plastikowych naczyniach przy zastosowaniu wstrząsarki EPLAN Laboratory Shaker Type 358S[®]. Wstrzą-

in 15 % concentration only; distilled water and warm tap water had no concentrations) (tab. 4).

Leaching was carried out in plastic enclosed vessels applying a shaker EPLAN Laboratory Shaker Type 358S[®], which was set for the following pa-

| Zastosowanie rozwiązań indywidualnych / Individual applied solutions | |
|--|--|
| chlorowódor / hydrochloric acid | HCl |
| kwaz azotowy III / nitric acid | HNO ₃ |
| kwaz siarkowy IV / sulphuric acid | H ₂ SO ₄ |
| wodorotlenek amonu / ammonium hydroxide | NH ₄ OH |
| wodorotlenek sodu / sodium hydroxide | NaOH |
| kwaz octowy / acetic acid | CH ₃ COOH |
| kwaz karboksylowy / oxalic acid | (COOH) ₂ |
| woda destylowana / distilled water | H ₂ O |
| ciepła woda / warm tap water | H ₂ O |
| woda królewska / aqua regia | mieszanina kwasu – 1 część HNO ₃ do 3 części HCl acid mix – 1 part of HNO ₃ to 3 parts of HCl |

sarka pracowała przy następujących parametrach: amplituda – 9, prędkość obrotowa – 170 obr/min.

Proces ługowania w przypadku wszystkich próbek wynosił kolejno 1, 3, 5, 10 i 24 godziny. W celu zapewnienia porównywalności warunków ługowania czas był ściśle przestrzegany.

Po skończonym procesie ługowania, naczynia zostały usunięte z wstrząsarki a ich zawartość została poddana filtracji a następnie analizie przy wykorzystaniu spektrofotometru AAS Varian.

Wyniki ługowania

Aby przedstawić skuteczność ługowania założono początkowa zawartość niklu w rudzie 1,63%. Wyniki ługowania przedstawiono na rysunku 10.

Jak wynika z rysunku 10, ze wszystkich zastosowanych czynników tylko kwasy mineralne miały znaczący wpływ na uwolnienie niklu do roztworu.

Największą wartość uzyskano dla wody królewskiej. Ługowanie 15% roztworem w czasie ługowania wynoszącym 24 godziny pozwoliła na odzyskanie około 72,08% niklu z rudy. W przypadku kwasu solnego i kwasu siarkowego około 36,96% i 28,37% niklu zostało przeprowadzone do roztworu.

Badania również dowiodły, że wodorotlenki nie nadają się do ługowania tego typu rud. Założenie to zostało zweryfikowane zastosowaniem roztworów NH₄OH i NaOH. Wartość wyzwolonego Ni w obu przypadkach przyniosła odwrotny skutek – niższe stężenie a większa ilość Niklu przeniknęła do roztworu.

Ponadto, kwasy organiczne również nie należą do efektywnych w procesie ługowania tego rodzaju rudy. Przy 15% stężeniu i czasie 24 godzin ługo-

rameters: „Amplitude – 9, Speed c.p.m. – 170“.

Leaching time in case of all the samples was 1, 3, 5, 10 and 24 hours. The time periods were strictly adhered to in order to secure comparable conditions.

Having finished leaching, the vessels were removed from the shaker and their contents were filtered through a filter and they were analyzed on an AAS spectrophotometer Varian.

Leaching results

To calculate leaching efficiency, the used starting value of Ni content in the ore was 1.63 %. The results of leaching efficiency are in Figure 10.

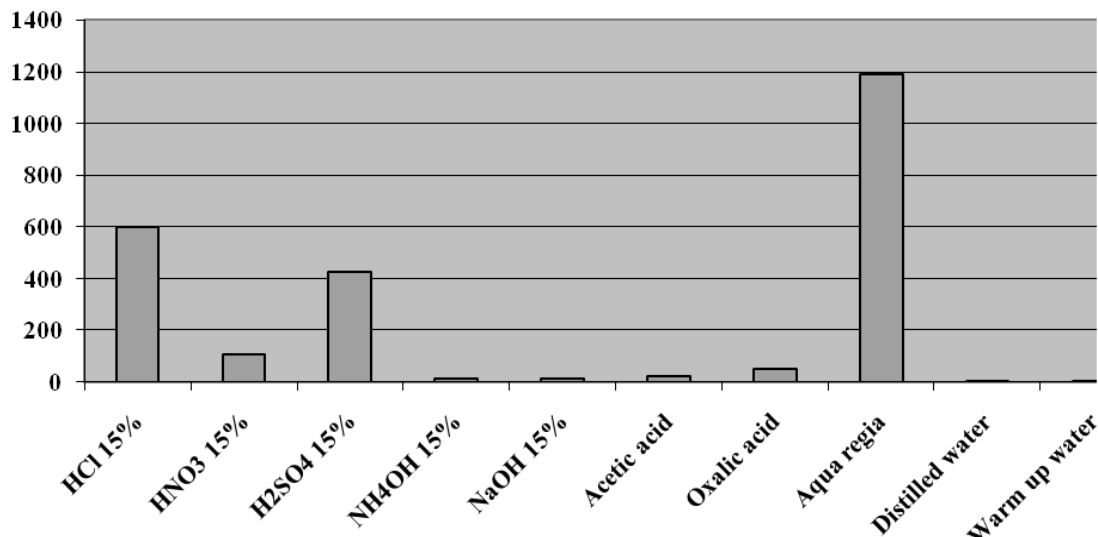
As apparent from Figure 10, out of all the applied agents only mineral acids had a favourable effect on the liberation of Ni into the solution.

Aqua regia explicitly dominated. At 15% concentration and leaching time of 24 hours it liberated about 72.08 % of Ni from the ore into the solution. In case of hydrochloric acid and sulphuric acid about 36.96% and 28.37% of Ni liberated into the solution (in both the cases the acid concentrations were 15%; leaching time was 24 hours).

The tests also confirmed an assumption that alkalis (hydroxides) are completely unsuitable for leaching of such types of ore. This assumption was verified applying a solution of NH₄OH and NaOH. The values of liberated Ni in the cases in question had a reverse progression – the lower the concentration, the higher amount of Ni passed into the solution.

In addition, organic acid (acetic acid) also showed as inconvenient. At 15% concentration and leaching time of 24 hours it released about 0.84% of

Ilość wyługowanego Ni [mg/l]
Quantity of leached out Ni [mg/l]



Rys. 10
Wykres przedstawiający wyniki ługowania (maksymalny koncentrat, czas ługowania 24 godziny)

Fig. 10
Chart of leaching results (maximum concentration, leaching time of 24 hours)

wania zostało uwolnione około 0.84% niklu. Podobną skuteczność uzyskano przy zastosowaniu kwasu szczawiowego - 1,82% w tych samych warunkach. Wyniki uzyskane przy zastosowaniu cieplej jak i destylowanej rudy również nie były zadowalające – wytrącenie Ni sięgało zaledwie setnych procenta.

Podobne wartości poszczególnych eksperymentów podano w Tabelach 5 do 14.

Legenda w poniższych tabelach:

| Eksperyment | | | Efekt [%] |
|-------------|----|---|-----------|
| HCl | 5% | 1 | 0,97 |

HCl – substancja użyta w procesie ługowania
5% – stężenie
1 – czas ługowania
0.97 – zawartość procentowa niklu jaka przeniknęła do roztworu.

Wnioski

Celem badań było przedstawienie możliwości wydzielenia niklu z rudy laterytu do roztworu w procesie ługowania oraz pobierania niektórych koncentratów w flotacji. Metody ługowania chemicznego mogą zostać uogólnione i wykorzystane do rud o zbliżonych parametrach, w takim przypadku konieczne będzie przeprowadzenie odpowiednich badań.

W tym eksperymencie wykazano możliwość pozyskania 72% Niklu w roztworze za pomocą ługowania chemicznego.

Tłumaczenie:

Maciej Celej, Paulina Łyko, Andrzej Biessikirski

Ni. A similar efficiency was obtained with oxalic acid. At 15% concentration and leaching time of 24 hours about 1.82% of Ni was liberated. Application of water (distilled and warm) showed as unsuitable as well. The liberation results of Ni ranged in the order of hundredths of a percent.

Similar values of the individual experiments are stated in Tables 5 – 14.

Captions for the Tables below:

| Sample designation | | | leached out [%] |
|--------------------|----|---|-----------------|
| HCl | 5% | 1 | 0,97 |

HCl – substance designation used in the leaching liquor
5% – concentration
1 – leaching time in hours
0.97 – percent representation of Ni quantity passing into the solution.

Conclusion

With regard to the set targets in article I am attempting to prove possible liberation of nickel from laterite into solution during leaching and a retrieval of certain concentrates in flotation. In general features, the data may be generalized and used for genetically identical ores. In such a case it is vital to verify the data with a validating set of experiments.

The own experiments and subsequent evaluation succeeded in proving possible liberation of up to 72% of Ni by means of leaching.

Tabele 5–10
Wyniki indywidualnych badań

Tables 5–10
Similar values of the individual experiments

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
| HCl 5% 1 | 1,48 | |
| HCl 5% 3 | 1,86 | |
| HCl 5% 5 | 2,24 | |
| HCl 5% 10 | 3,10 | |
| HCl 5% 24 | 7,42 | |
| HCl 10% 1 | 1,71 | |
| HCl 10% 3 | 2,44 | |
| HCl 10% 5 | 3,51 | |
| HCl 10% 10 | 6,11 | |
| HCl 10% 24 | 19,54 | |
| HCl 15% 1 | 1,94 | |
| HCl 15% 3 | 3,38 | |
| HCl 15% 5 | 6,34 | |
| HCl 15% 10 | 14,20 | |
| HCl 15% 24 | 36,96 | |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
| HNO ₃ 5% 1 | 1,00 | |
| HNO ₃ 5% 3 | 1,24 | |
| HNO ₃ 5% 5 | 1,28 | |
| HNO ₃ 5% 10 | 1,73 | |
| HNO ₃ 5% 24 | 2,82 | |
| HNO ₃ 10% 1 | 1,12 | |
| HNO ₃ 10% 3 | 1,42 | |
| HNO ₃ 10% 5 | 1,62 | |
| HNO ₃ 10% 10 | 2,06 | |
| HNO ₃ 10% 24 | 3,76 | |
| HNO ₃ 15% 1 | 1,23 | |
| HNO ₃ 15% 3 | 1,63 | |
| HNO ₃ 15% 5 | 1,79 | |
| HNO ₃ 15% 10 | 2,37 | |
| HNO ₃ 15% 24 | 4,64 | |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|---------------------------------------|------------------------------|--|
| H ₂ SO ₄ 5% 1 | 1,34 | |
| H ₂ SO ₄ 5% 3 | 1,89 | |
| H ₂ SO ₄ 5% 5 | 2,33 | |
| H ₂ SO ₄ 5% 10 | 3,14 | |
| H ₂ SO ₄ 5% 24 | 8,87 | |
| H ₂ SO ₄ 10% 1 | 1,46 | |
| H ₂ SO ₄ 10% 3 | 2,09 | |
| H ₂ SO ₄ 10% 5 | 2,81 | |
| H ₂ SO ₄ 10% 10 | 4,17 | |
| H ₂ SO ₄ 10% 24 | 17,54 | |
| H ₂ SO ₄ 15% 1 | 1,47 | |
| H ₂ SO ₄ 15% 3 | 2,16 | |
| H ₂ SO ₄ 15% 5 | 2,78 | |
| H ₂ SO ₄ 15% 10 | 3,14 | |
| H ₂ SO ₄ 15% 24 | 28,37 | |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
| NH ₄ OH 5% 1 | 0,02 | |
| NH ₄ OH 5% 3 | 0,06 | |
| NH ₄ OH 5% 5 | 0,06 | |
| NH ₄ OH 5% 10 | 0,14 | |
| NH ₄ OH 5% 24 | 0,15 | |
| NH ₄ OH 10% 1 | 0,02 | |
| NH ₄ OH 10% 3 | 0,02 | |
| NH ₄ OH 10% 5 | 0,02 | |
| NH ₄ OH 10% 10 | 0,07 | |
| NH ₄ OH 10% 24 | 0,07 | |
| NH ₄ OH 15% 1 | 0,02 | |
| NH ₄ OH 15% 3 | 0,01 | |
| NH ₄ OH 15% 5 | 0,01 | |
| NH ₄ OH 15% 10 | 0,01 | |
| NH ₄ OH 15% 24 | 0,05 | |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
| NaOH 5% 1 | 0,03 | |
| NaOH 5% 3 | 0,02 | |
| NaOH 5% 5 | 0,05 | |
| NaOH 5% 10 | 0,05 | |
| NaOH 5% 24 | 0,05 | |
| NaOH 10% 1 | 0,01 | |
| NaOH 10% 3 | 0,01 | |
| NaOH 10% 5 | 0,01 | |
| NaOH 10% 10 | 0,01 | |
| NaOH 10% 24 | 0,00 | |
| NaOH 15% 1 | 0,01 | |
| NaOH 15% 3 | 0,02 | |
| NaOH 15% 5 | 0,02 | |
| NaOH 15% 10 | 0,01 | |
| NaOH 15% 24 | 0,01 | |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] | |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
| KO 5% 1 | 0,15 | |
| KO 5% 3 | 0,20 | |
| KO 5% 5 | 0,24 | |
| KO 5% 10 | 0,28 | |
| KO 5% 24 | 0,39 | |
| KO 10% 1 | 0,37 | |
| KO 10% 3 | 0,47 | |
| KO 10% 5 | 0,60 | |
| KO 10% 10 | 0,69 | |
| KO 10% 24 | 0,83 | |
| KO 15% 1 | 0,37 | |
| KO 15% 3 | 0,43 | |
| KO 15% 5 | 0,50 | |
| KO 15% 10 | 0,73 | |
| KO 15% 24 | 0,84 | |

Uwaga: KO – kwas octowy

Note: KO – acetic acid

Tabele 11–14
Wyniki indywidualnych badań

Tables 11–14
Similar values of the individual experiments

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] |
|-----------------------------------|------------------------------|
| KŠ 5% 1 | 0,90 |
| KŠ 5% 3 | 1,14 |
| KŠ 5% 5 | 1,63 |
| KŠ 5% 10 | 1,58 |
| KŠ 5% 24 | 1,65 |
| KŠ 10% 1 | 0,99 |
| KŠ 10% 3 | 1,26 |
| KŠ 10% 5 | 1,80 |
| KŠ 10% 10 | 1,74 |
| KŠ 10% 24 | 1,82 |
| KŠ 15% 1 | 1,05 |
| KŠ 15% 3 | 1,28 |
| KŠ 15% 5 | 1,80 |
| KŠ 15% 10 | 1,75 |
| KŠ 15% 24 | 1,82 |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] |
|-----------------------------------|------------------------------|
| VVS 1 | 0,01 |
| VVS 3 | 0,03 |
| VVS 5 | 0,03 |
| VVS 10 | 0,03 |
| VVS 24 | 0,01 |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] |
|-----------------------------------|------------------------------|
| LK 1 | 3,77 |
| LK 3 | 6,59 |
| LK 5 | 12,36 |
| LK 10 | 27,70 |
| LK 24 | 72,08 |

| eksperyment sample designation | efekt [%] leached out [%] |
|-----------------------------------|------------------------------|
| VVT 1 | 0,01 |
| VVT 3 | 0,02 |
| VVT 5 | 0,01 |
| VVT 10 | 0,01 |
| VVT 24 | 0,01 |

Uwaga: KŠ – kwas szczawiowy, VVS – woda destylowana, VVT – ciepła woda, LK – woda królewska
Note: KŠ – oxalic acid, VVS – distilled water, VVT – warm up water, LK – aqua regia

Literatura – References

1. Jursík F.: *Anorganická chemie kovů. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2002. 1 - 152, ISBN 80-7080-504-8.*
2. Mikulčák J. et al.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky, Svoboda n.p., 1980, 1 – 346.*
3. Svoboda J.: *Encyklopedický slovník geologických věd A - M, Academia, Praha 1983, 1 – 920.*
4. Bardossy G., Aleva G. J. J.: *Lateritic Bauxites, Developments in Economic Geology 27, Elsevier 1990, 624 S ISBN 0-444-98811-4.*
5. Halbach P.: *Lagerstättenkundliche Charakterisierung des Ni- und Cr-haltigen Eisenerzvorkommens bei Trstenik (Jugoslawien), Mineralium Deposita, Springer Berlin/Heidelberg 2004, 141-153, ISSN 0026-4598.*
6. Kmeť S.: *Flotácia. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1992. 1 – 350, ISBN 80-05-00971-2.*
7. Rábl: *Protokol č. LP/07 – EO11/085, Hutní a chemické laboratoře 2007, 1 – 10.*
8. *HYDROMETALURGIE, 2007: Hydrometalurgie [online]. [cit. 2008-03-24]. From www: <<http://www.nom.wz.cz/Taveni/hydrometalurgie.htm>>*