

**PREDLOG TEHNOLOŠKE ŠEME
ZA VALORIZACIJU CINKA I BAKRA
IZ HETEROGENIH SEKUNDARNIH SIROVINA**

**VALIDATION OF THE TECHNOLOGICAL ROUTE
FOR COPPER AND ZINC VALORIZATION
FROM HETEROGENEOUS SECONDARY RAW MATERIALS**

**Nataša Gajić^{*1}, Miloš Marković², Dragana Radovanović¹, Jovana Đokić³,
Marija Štulović¹, Nikola Jovanović¹, Željko Kamberović²,**

¹Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd

²Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

³Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Hemijskog fakulteta, Beograd

Kao odgovor na rastuću potražnju za obojenim metalima uz sve siromašnija prirodna nalazišta rude, raste interesovanje za alternativne izvore, kao što su heterogeni otpadni materijali. Ovi materijali nude i ekološke i ekonomske prednosti kroz selektivnu valorizaciju materijala i metala. Ovaj rad se fokusira na razvoj hidrometalurške rute za selektivnu ekstrakciju bakra (Cu) i cinka (Zn) iz heterogenih otpadnih materijala kao sekundarnih sirovina. Na samom početku urađena je fizička priprema materijala, uključujući mlevenje, sušenje i homogenizaciju, nakon čega je usledila hemijska karakterizacija. Srž procesa uključuje kiselo oksidaciono luženje, u dve faze. Početni testovi utvrđivanja udela vodo-rastvornih jedinjenja urađeni su primenom dejonizovane vode. Nakon toga, urađeni su testovi luženja sumpornom kiselinom uz dodatak oksidansa: vodonik peroksida (H₂O₂) ili azotne kiselina (HNO₃) u cilju ekstrakcije metala. Parametri procesa su unapred određeni na osnovu karakterizacije materijala i termodinamičkog modelovanja. Ovi parametri uključuju koncentraciju sumporne kiseline (1,0 -2,5 mol·dm⁻³), temperaturu luženja (<50°C), pH (<1,2), Eh (>0,5V) i dodatak oksidansa. Brzina mešanja od 300 rpm, odnos čvrsto/tečno od 1:5 i vreme luženja od 10 sati bili su konstantni. Efikasnost luženja, određena računski metodologijom masenog bilansa, pokazuje visoku efikasnost procesa: oko 75% Cu i preko 99% Zn je transferovano u tečnu fazu, pogodnu za dalju preradu u cilju proizvodnje soli bakra i cinka, poput CuSO₄×5H₂O i ZnSO₄×7H₂O. Procesni parametri definisani na laboratorijskom nivou ispitani su uvećanim laboratorijskim eksperimentom, potvrđujući efikasnost hidrometalurškog postupka za valorizaciju Cu i Zn. Ovaj rad naglašava efikasnost hidrometalurških procesa u ekstrakciji i valorizaciji bakra i cinka iz heterogenog otpadnog materijala, približavajući održivo korišćenje resursa.

Ključne reči: reciklaža; obojeni metali; hidrometalurgija; kiselo luženje

* Corresponding author:

ngajic@tmf.bg.ac.rs

<https://orcid.org/0000-0001-7546-9186>

Dragana Radovanović: <https://orcid.org/0000-0002-2935-7711>

Jovana Đokić: <https://orcid.org/0000-0001-6949-668X>

Marija Štulović: <https://orcid.org/0000-0002-7647-999X>

Nikola Jovanović: <https://orcid.org/0000-0001-8167-9913>

Željko Kamberović: <https://orcid.org/0000-0003-0507-5346>

In response to the escalating demand for non-ferrous metals among declining ore deposits, there is a growing interest in alternative sources, such as heterogeneous waste materials. These materials offer both environmental and economic benefits through selective material and metal valorization. This study focuses on developing a hydrometallurgical approach for the selective extraction of copper (Cu) and zinc (Zn) from heterogeneous wastes as secondary materials. The process was initiated with physical preparation, including milling, drying, and homogenization, followed by chemical characterization to understand the material's composition. The core of the process involves oxidative acid leaching conducted in two stages: initial screening tests using deionized water to assess water-soluble compounds, and subsequent sulfuric acid leaching with oxidizing agents such as hydrogen peroxide (H₂O₂) or nitric acid (HNO₃) to extract leachable metals. Process parameters are predetermined based on material characterization and thermodynamic modeling. These parameters include a sulfuric acid concentration (1.0-2.5 mol·dm⁻³), a leaching temperature (<50°C), pH (<1.2), Eh (>0.5V), and oxidant addition. The stirring speed of 300 rpm, a solid/liquid ratio of 1:5, and a leaching time of 10 hours were constant. Leaching efficiency, evaluated using mass balance methodology, demonstrates high process efficiency: approximately 75% of Cu and over 99% of Zn were transferred into the liquid phase, suitable for further processing aiming to produce copper and zinc salts, namely CuSO₄·5H₂O and ZnSO₄·7H₂O. Laboratory-scale optimization results are validated through large-scale experiments, confirming the efficacy of the hydrometallurgical route for valorizing Cu and Zn from heterogeneous waste materials. This study underscores the effectiveness of hydrometallurgical processes in extracting and valorizing copper and zinc from heterogeneous waste material, offering promising avenues for sustainable resource utilization.

Key words: recycling; non-ferrous metals; hydrometallurgy; acid leaching