



Драгана Божић¹, Љиљана Аврамовић²
Вања Трифуновић³, Зоран Стевановић⁴
Емина Пожега⁵, Весна Марјановић⁶, Зоран Аврамовић⁷

Оригинални научни рад
DOI: 10.5937/VIK25285B

НЕУТРАЛИЗАЦИЈА ОТПАДНИХ ВОДА ДОБИЈЕНИХ НАКОН ПРОЦЕСА ЦЕМЕНТАЦИЈЕ

Резиме: Овај рад истражује процес неутрализације отпадних вода које настају након цементације у процесима металургије бакра. Узорак отпадних вода мешан је са проточним индустријским водама из постројења за пречишћавање отпадних вода у различитим односима (10:1 и 20:1). Мешавине су неутралисане до pH 8,5 додавањем 10% раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, уз накнадно додавање флокуланта. Резултати су показали значајно смањење концентрација бакра, цинка, хрома и гвожђа. Код мешавина у односу 20:1, концентрације свих испитиваних метала биле су испод прописаних граничних вредности емисије (ГВЕ). Истраживање потврђује да је неутрализација $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ефикасан метод за обезбеђење усклађености са еколошким стандардима пре испуштања отпадних вода у природне реципијенте.

Кључне речи: пречишћавање отпадних вода, цементација, неутрализација, тешки метали, заштита животне средине

NEUTRALIZATION OF WASTEWATER OBTAINED AFTER THE CEMENTATION PROCESS

Abstract: This study investigates the neutralization of wastewater generated after the cementation process in copper metallurgy. Samples of wastewater were mixed with influent wastewater from the industrial wastewater treatment plant at different ratios (10:1 and 20:1). The mixtures were neutralized with 10% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution to pH 8.5, followed by the addition of a flocculant. The results demonstrated

¹ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, dragana.bozic@irmbor.co.rs, ORCID:0000-0003-1055-8449

² Институт за рударство и металургију Бор, Бор, ljiljana.avramovic@irmbor.co.rs, ORCID:0000-0002-3747-1530

³ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, vanja.trifunovic@irmbor.co.rs, ORCID:0000-0003-4839-8751

⁴ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, zoran.stevanovic@irmbor.co.rs, ORCID:0000-0001-5317-6884

⁵ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, emina.pozega@irmbor.co.rs, ORCID: 0000-0001-6797-2435

⁶ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, vesna.marjanovic@irmbor.co.rs, ORCID: 0000-0001-8005-5244

⁷ Институт за рударство и металургију Бор, Бор, zoran.avramovic@irmbor.co.rs, ORCID: 0009-0006-7585-976X



that the concentrations of copper, zinc, chromium, and iron decreased significantly. For mixtures at a 20:1 ratio, the concentrations of all examined metals were below the prescribed emission limit values (ELVs). The study confirms that neutralization with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is an effective treatment method for ensuring compliance with environmental standards before discharge into natural recipients.

Key Words: wastewater treatment, cementation, neutralization, heavy metals, environmental protection

1. Увод

Индустријске отпадне воде представљају један од највећих изазова савремене металургије и заштите животне средине. У процесима добијања и прераде метала настају значајне количине ефлуента који, уколико се не третирају, могу да угрозе квалитет површинских и подземних вода. Посебно су проблематичне отпадне воде које садрже тешке метале, јер они показују високу токсичност, биоаккумулативни потенцијал и дуготрајну постојаност у екосистемима [1]. Због тога су у већини земаља прописане веома строге граничне вредности за њихов садржај у пречишћеним водама. Цементација се широко примењује у хидрометалургији бакра као ефикасан поступак за издвајање бакра из раствора [2]. Међутим, након цементације у растворима заостају одређене концентрације бакра и других метала (нпр. Zn, Cr, Fe), што захтева додатни третман пре испуштања у реципијенте. Неутрализација алкалним реагенсима, најчешће калцијум-хидроксидом, једна је од најједноставнијих и најефикаснијих метода за смањење концентрације растворених метала, јер доводи до њиховог таложења у облику хидроксида. Поред тога, додатак флокуланата омогућава побољшано уклањање суспендованих и колоидних честица.

У овом раду испитивана је ефикасност неутрализације отпадних вода добијених након процеса цементације. Посебан акценат стављен је на утицај односа мешања са дотоком из постројења за пречишћавање отпадних вода и на могућност постизања прописаних граничних вредности за метале Cu, Zn, Cr и Fe [3]. Резултати истраживања треба да допринесу унапређењу поступака третмана отпадних вода у металуршкој индустрији и бољој заштити животне средине.

2. Материјали и методе

Коришћена су два типа узорака:

- киселе воде након цементације
- испирне воде након цементације

Ови узорци мешани су са проточним индустријским водама на улазу у постројење за пречишћавање отпадних вода у односима 10:1 и 20:1 (проточне воде: постцементационе воде).

Свакој мешавини запремине 1 L додаван је раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ концентрације 10% до рН 8,5. Почетне вредности рН кретале су се од 3,0 до 5,6. Утрошак реагенса кретао се у распону од 1,7 до 20 mL. Сваком узорку додато је и 6 mL флокуланта, након чега су вршене анализе после 30 минута. Концентрације метала (Cu, Zn, Cr, Fe) одређене су стандардним аналитичким методама и упоређене са прописаним граничним вредностима емисије (ГВЕ).



3. Резултати и дискусија

Ефикасност процеса неутрализације испитивана је у четири експеримента (I–IV). Почетне и коначне концентрације метала приказане су у табели 1.

Табела 1. Утицај односа мешања на ефикасност процеса неутрализације
Table 1. The influence of mixing ratio on the efficiency of the neutralization process

Експеримент	Однос	Почетне конц, mg/L			Концентрације на крају, mg/L			на ГВЕ, mg/L		
		Cu	Zn	Cr	Cu	Zn	Cr	Cu	Zn	Cr
I	10:1	18,5	200	7,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	1,0	0,5
II	20:1	11,7	109	3,1	<0,1	0,11	<0,1	0,5	1,0	0,5
III	10:1	35,2	146	0,56	0,42	3,3	<0,1	0,5	1,0	0,5
IV	20:1	25,5	105	0,47	<0,1	0,43	<0,1	0,5	1,0	0,5

На слици 1. приказан је изглед узорка током процеса неутрализације. Уочено је да након додавања $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и флокуланта долази до интензивног таложења и издвајања суспендованих честица, што потврђује ефикасност процеса уклањања јона метала (3).



Слика 1. Неутрализација узорка након цементације
Figure 1. Neutralization of the sample after cementation

Видљиво је формирање пахуљастог талогa и смањење мутноће раствора, што одговара резултатима хемијских анализа које показују значајно смањење концентрација Cu, Zn, Cr и Fe.

Резултати показују значајно смањење концентрација тешких метала након неутрализације:

- Cu: у свим експериментима концентрације су смањене испод ГВЕ.
- Zn: у експерименту III (однос 10:1) добијена је вредност од 3,3 mg/L, што је изнад ГВЕ, док су у осталим случајевима резултати били у складу са прописима.
- Cr: у свим експериментима концентрације су биле испод ГВЕ.



- Fe: концентрације гвожђа (неспецифициране у табели обзиром да је гвожђе додато приликом процеса цементације) такође су се значајно смањиле – са неколико стотина mg/L на мање од 2 mg/L.
- Уочава се да је однос мешања имао пресудан утицај. При односу 20:1 (експерименти II и IV), добијени су потпуно усаглашени резултати са прописаним граничним вредностима.

4. Закључак

Сprovedена истраживања показала су да је неутрализација $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ом ефикасан метод за третман отпадних вода које настају након процеса цементације. Концентрације бакра, цинка, хрома и гвожђа значајно су смањене, а у случају мешања у односу 20:1 добијени су резултати који у потпуности задовољавају законски прописане ГВЕ за испуштање у реципијенте.

Овај метод, у комбинацији са правилним избором односа мешања и додавањем флокуланта, представља практично решење за унапређење еколошке заштите у металуршким постројењима.

Захвалница

Овај рад је финансијски подржан од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, по Уговору о реализацији и финансирању научноистраживачког рада Института за рударство и металургију Бор у 2025. години, број: 451-03-136/2025-03/200052.

5. Литература

- [1] Fu F, Wang Q, Removal of heavy metal ions from wastewater: a review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418, 2011.
- [2] Habasi F, *Hidrometalurgija*. Metallurgie Extractive Quebec, 1999.
- [3] Правилник о граничним вредностима загађујућих материја у отпадним водама *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012.