

# POTENCIJALI PRIMENE CRVENOG MULJA ZA UKLANJANJE TEŠKIH METALA IZ OTPADNE VODE

<sup>1</sup>Maja Rajković, <sup>2</sup>Maja Đolić, <sup>2</sup>Milica Stojković, <sup>2</sup>Milica Karanac, <sup>2</sup>Vladimir Pavićević, <sup>1</sup>Marija Šljivić-Ivanović

<sup>1</sup>*Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju-Univerzitet u Beogradu*

<sup>2</sup>*Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*



# UVOD

## PROBLEM

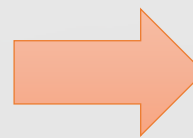
- Industrijalizacija i urbanizacija – ispuštanje Pb, Zn, Cr, Co, Cd, Ni, Hg u biosferu.
- Teški metali u otpadnim vodama – ugroženo zdravlje ljudi i kvalitet životne sredine.

## REŠENJE

- Zelena agenda i Poglavljem 27 – favorizuje se **iskorišćenje industrijskih otpadnih materija** dobrih karakteristika koji uz adekvatnu modifikaciju mogu naći širok opseg primene.
  - Uklanjanje teških metala iz industrijskih otpadnih voda, gde se ovi otpadni materijali koriste kao adsorbenti.



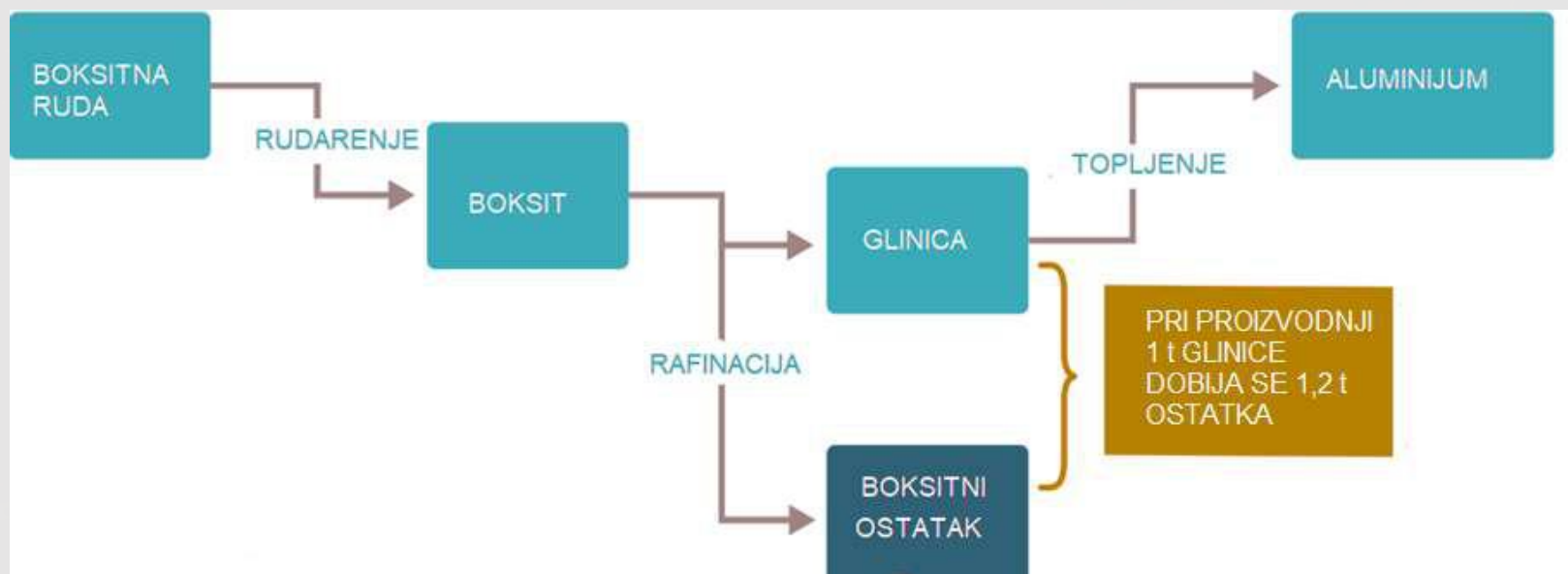
# CRVENI MULJ



Prema statističkim podacima Međunarodnog Instituta za Aluminijum: Godišnja produkcija Al je konstatna i za novembar 2023. iznosila je približno 6 miliona tona.



- **Crveni mulj** – industrijski otpad koji nastaje tokom procesiranja rude boksita primenom različitih metoda.



Slika 1. Šematski prikaz procesa prerade boksitne rude

# KARAKTERISTIKE

- Heterogena, porozna struktura, velika specifična površina, odgovarajuće površinsko naelektrisanje, kompaktni, sitnozrni, alkalni material sa raznovrsnim hemijsko-minerološkim sastavom.
- Tipičan hemijski sastav crvenog mulja podrazumeva:
  - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (20–60 mas%),
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10–30 mas%),
  - $\text{SiO}_2$  (2–20 mas%),
  - $\text{CaO}$  (2–8 mas%),
  - $\text{TiO}_2$  (tragovi – 28 mas%),
  - $\text{Na}_2\text{O}$  (2–10 mas%),
  - **mineralni sastav** diktiran primenjenim procesom prerade rude.



Upotreba termina "crveni mulj" od strane različitih autora može stvoriti zajedničku terminologiju, ali stvarna hemijska i minerološka kompozicija crvenog mulja može značajno varirati u zavisnosti od specifičnih izvora ruda boksita i primenjenih procesa rafinacije.

# ISKORIŠĆENJE CRVENOG MULJA



## Trenutna praksa

- Najčešći vid odlaganja ove visoko alkalne suspenzije jeste **deponovanje** – zauzimaju se velike površine tla, moguća je migracija različitih potencijalno toksičnih materija u medijume voda-vazduh-zemljište.



## Potencijali iskorišćenja

- U skladu sa principima cirkularne ekonomije teži se iskorišćenju crvenog mulja:
  - ✓ povraćaj Fe,
  - ✓ upotreba u građevinskoj industriji za proizvodnju cementa,
  - ✓ ekstrakcija retkih elemenata zemlje,
  - ✓ kao adsorbenta za uklanjanje različitih zagađujućih materija iz vode (teški metali, fenolna jedinjenja, bakterije i boje).

U ovom radu dat je pregled istraživanja iz oblasti opravdanosti primene crvenog mulja za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda.

Zemlja porekla	Modifikacija	Teški metal/i	Konc. metala	Optimalni uslovi	Efikasnost uklanjanja
Kina	Termalna aktivacija (200 – 900 °C)	Cd(II)	200 mg/L	Mod. 500 °C; ads. pH=6, T=20 °C, t=24 h, doza sorbenta 0,5 g/L	42,64 mg/g
Kina	/	Pb(II), Cd(II), Cu(II)	100 – 1000 mg/L	Veće doze sorbenta i viša temperatura	Pb(II) > Cd(II) > Cu(II)
Kina	Hidrotermalna metoda sa koloidnim rastvorom SiO <sub>2</sub> i NaOH	Pb(II)	250 mg/L	pH=5, T=25 °C, t=60 min	564,97 mg/g
Indija	Neutralizacija sa CO <sub>2</sub> i termalna aktivacija	As(V)	10 mg/L	pH=4, t=24 h, doza sorbenta 4 g/L	55,55 mg/g
Kina	1) Kalcinacija (200 – 800 °C) i HCl; 2) FeCl <sub>3</sub>	Cr(III)	100 – 300 mg/L	t=2 h, doza sorbenta 5 g/L	1) 17,47 mg/g; 2) 33,38 mg/g
Italija	/	As(V), Mn(II)	2 ppm Mn(II), 100 ppb As(V)	pH=6,5, t=24 h, doza sorbenta 10 g/L	Uklonjeni u potpunosti
Kina	Alkalna aktivacija natrijum-silikatom i NaOH	Cd(II), Pb(II), Cu(II), Cr(III)	0,25 mol/L	pH=7	Pb(II) > Cd(II) > Cu(II) > Cr(III)
Kina	Kalcinacija (500 – 800 °C)	U(V)	60 mg/L	Mod. 600 °C; ads. pH=2,5, T=45 °C, t=3 h, doza sorbenta 3 g/L	59,45 mg/g

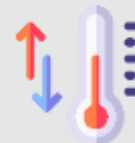
**Tabela 1** – pregled literature sa osvrtom na opravdanost primene crvenog mulja za uklanjanje teških metala iz vode

## REZULTATI I DISKUSIJA

- Parametri koji značajno utiču na proces adsorpcije teških metala na crveni mulj:



- modifikacija crvenog mulja – termalna (500 – 600 °C),



- pH vrednost – optimalno 5 – 7,

- temperatura – ambijentalna,



- doza adsorbenta – zavisi od koncentracije metala koji se uklanja,

- trajanje reakcije.

- Najčešći mehanizmi putem kojih se teški metali vezuju za crveni mulj:

- elektrostatičke interakcije,

- katjonska izmena,

- hemijska adsorpcija,

- kompleksiranje metala.

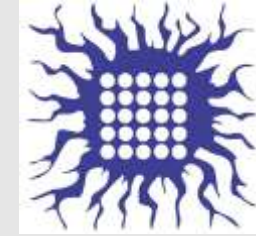
## ZAKLJUČAK

- ✓ Pregled literature ukazuje da se crveni mulj može efikasno koristiti kao adsorbent za uklanjanje teških metala (Pb, Cd, Cu, Cr, As, Mn, U) iz vodenih rastvora.
- ✓ Na efikasnost adsorpcije najveći uticaj imaju tip modifikacije crvenog mulja, vrsta analita koji se uklanja, kao i karakteristike otpadne vode.
- ✓ Najčešće korišćena i najefikasnija metoda modifikacije je termalna aktivacija (optimalno 500 – 600 °C).
- ✓ U procesu remedijacije industrijskih otpadnih voda u pogledu uklanjanja teških metala najčešće je nužna primena skupih tehnika, koje su karakterisane ili značajnim kapitalnim ulaganjima ili nabavkom skupih materijala poput komercijalnog aktivnog uglja – nameće se upotreba ekonomičnijih sorbenata poput crvenog mulja.



Република Србија

МИНИСТАРСТВО НАУКЕ,  
ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА И ИНОВАЦИЈА



## Zahvalnica

Istraživanje predstavljeno u ovom radu realizovano je uz finansijsku podršku Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije, uz finansiranje naučnoistraživačkog rada na Univerzitetu u Beogradu, Institutu za nuklearne nauke „Vinča“ (Ugovor br. 451-03-66/2024-03/200017).