

1. REGIONALNA KONFERENCIJA HIDROTEHNIKA I GEOTEHNIKA H&G 2026

Obrada otpadne vode iz proizvodnje streljiva
kombiniranim procesom elektrokoagulacije i
adsorpcije

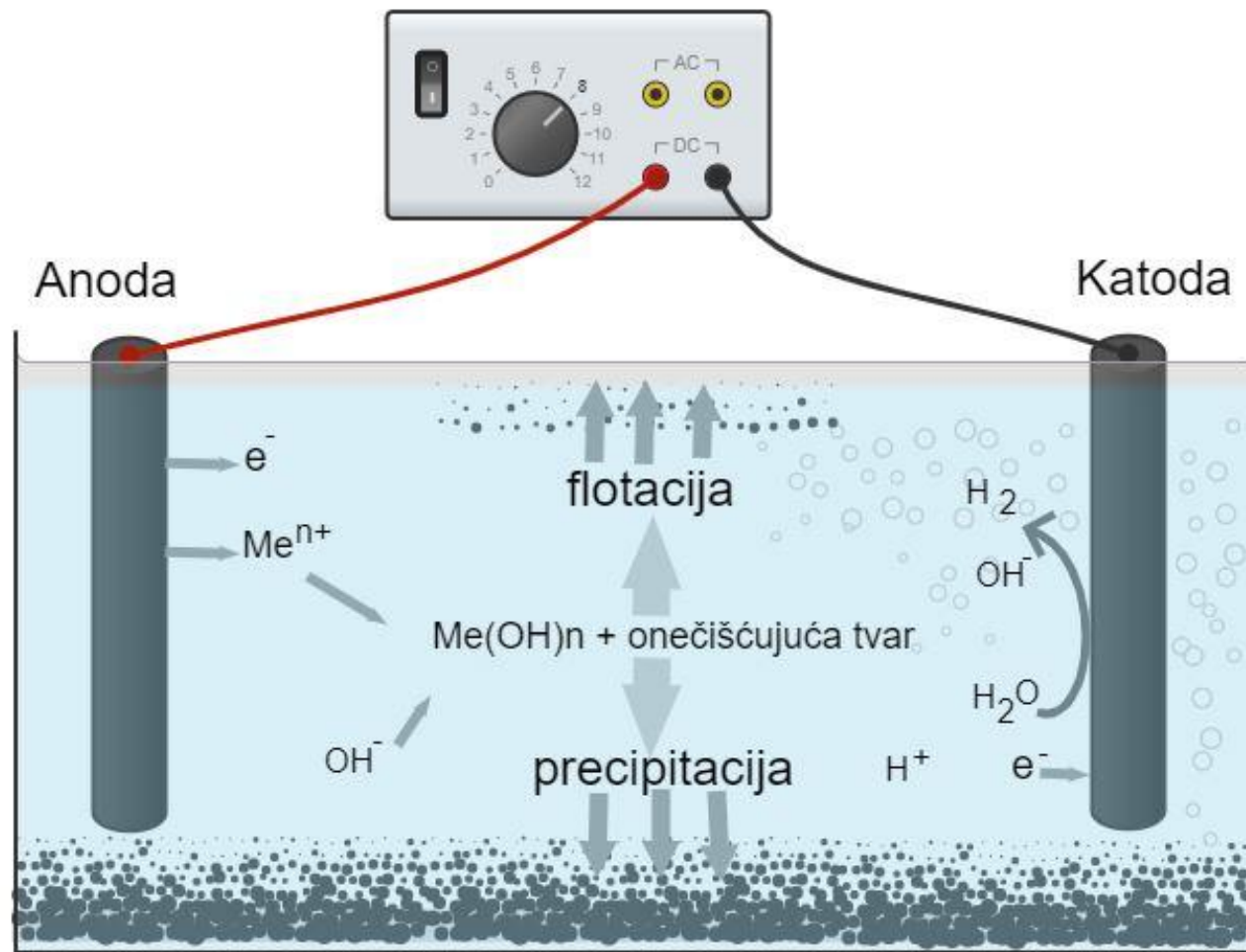
*Dražen Vouk, Katarina Licht, Maja Bešlić, Antonela Mitrović, Luka Zelić,
Domagoj Nakić, Hana Posavčić, Ivan Halkijević*

Otpadne vode iz proizvodnje streljiva

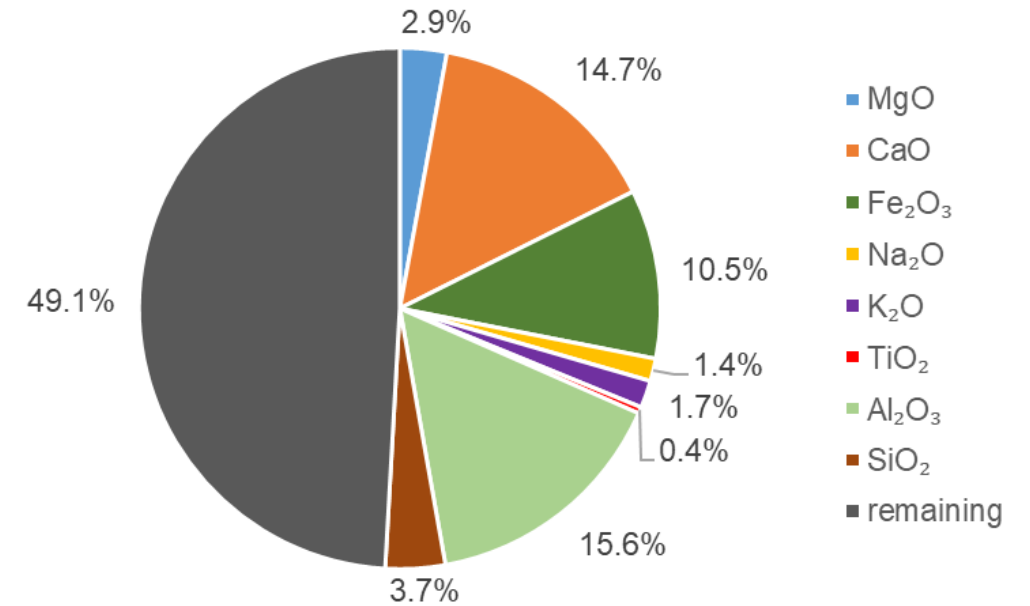
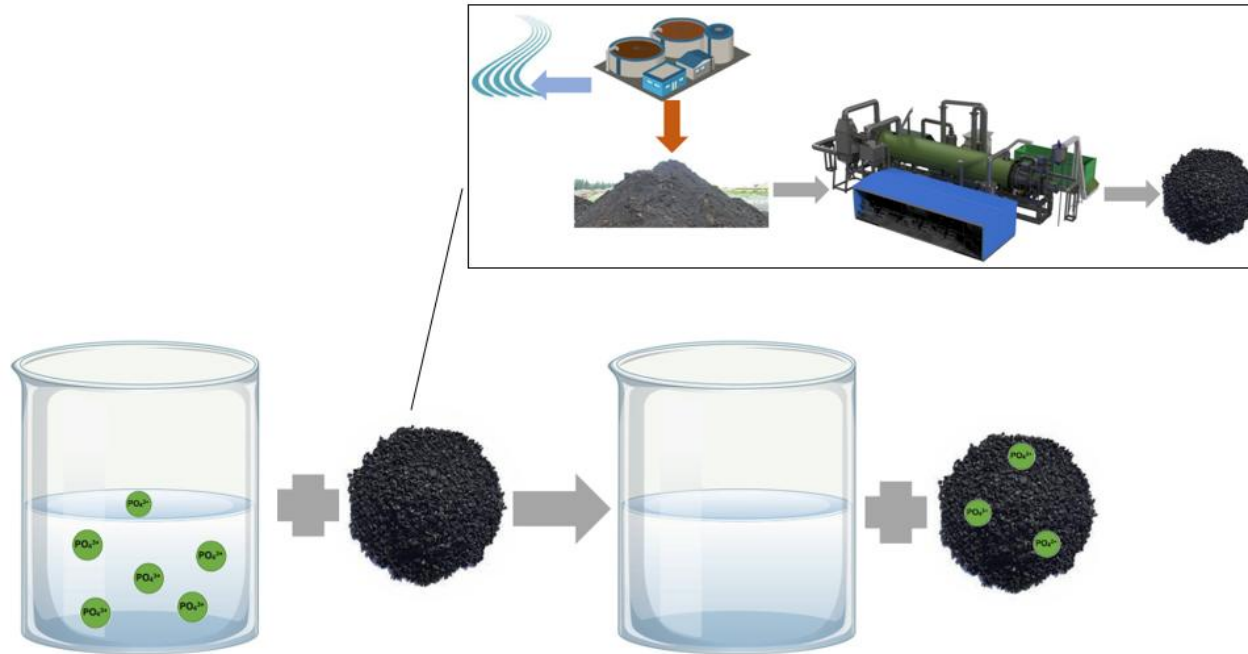
- ✎ Složen sastav i visoka toksičnost
 - ostaci eksploziva
 - teški metali
 - organska otapala
 - nitrati, sulfati, perklorat
 - kiseline i lužine
 - suspendirane tvari
- ✎ Nedovoljna učinkovitost klasičnih postupaka pročišćavanja otpadnih voda



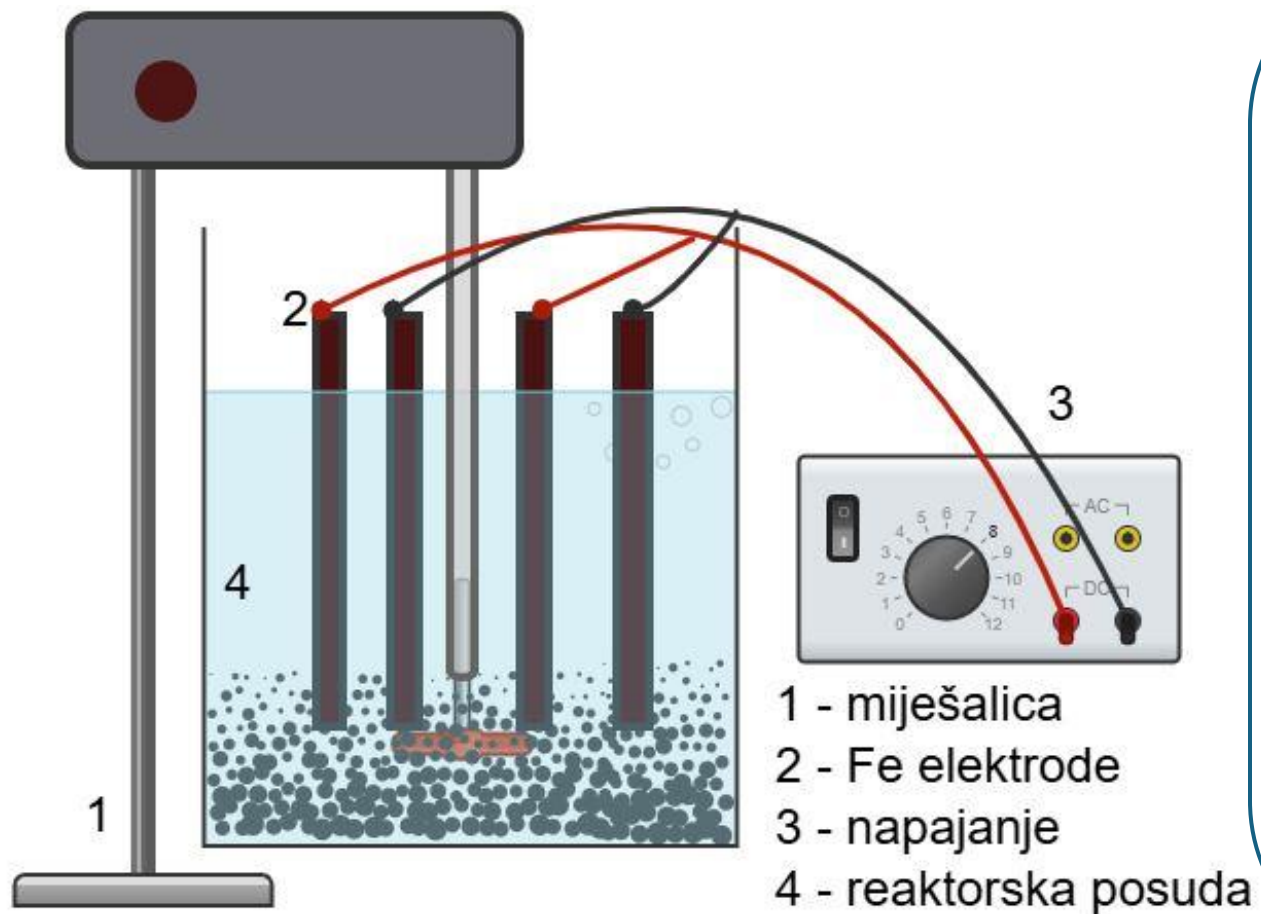
Elektrokoagulacija



Adsorpcija na biougljenu



Eksperimentalni dio



Elektrokoagulacija + adsorpcija

Adsorpcija



Elektrokoagulacija

Elektrokoagulacija



Adsorpcija

Ispitivani parametri:

$t = 10 - 30 \text{ min}$

$A = 5 - 15 \text{ A}$

$\text{pH} = 2 - 10$

3 L realne otpadne vode iz tvornice streljiva

Doza adsorbensa: 3 g/L

4 željezne perforirane pločaste elektrode
razmaknute 1 cm

Pokus	A:t	B:l	C:pH	D:metoda	KPK	Zn	Cu	sulfati
1	30	5	2	EK+ads	32,57	5,56	99,13	6,06
2	20	5	10	EK-->ads	24,85	99,89	100,00	17,98
3	30	5	10	EK+ads	40,98	59,85	67,91	11,54
4	30	10	2	ads-->EK	54,82	99,78	99,97	8,97
5	10	5	6	EK+ads	2,75	85,25	99,87	6,81
6	30	5	2	EK-->ads	40,96	99,89	90,78	17,00
7	10	10	6	EK-->ads	24,07	96,37	88,42	3,40
8	20	15	2	EK-->ads	30,03	99,98	97,92	10,23
9	10	15	6	ads-->EK	53,22	94,77	80,39	10,64
10	30	15	6	EK+ads	27,64	79,39	57,17	5,00
11	30	15	10	ads-->EK	44,68	98,74	98,95	12,85
12	20	5	2	ads-->EK	40,32	30,39	98,84	6,00
13	10	15	2	EK+ads	40,74	98,63	98,66	23,93
14	30	15	10	EK-->ads	63,12	100,00	100,00	12,00
15	10	10	10	ads-->EK	35,74	100,00	95,60	10,45
16	20	10	6	EK+ads	35,21	99,80	100,00	9,00
17	30	10	6	EK-->ads	36,4	99,95	99,94	11,05
18	20	10	6	EK+ads	37,45	100,00	99,80	8,70
19	30	5	6	ads-->EK	48,09	73,48	16,34	15,44
20	10	15	10	EK+ads	41,13	99,96	99,88	8,78
21	20	10	6	ads-->EK	57,38	99,94	99,95	17,71
22	20	10	6	EK-->ads	31,04	99,35	100,00	21,05
23	20	10	6	EK+ads	34,57	99,90	99,98	8,38

Rezultati

KPK

63,12 %

najviše u EK→ads
30 min • 15 A • pH 10

Cu

100 %

potpuno uklanjanje
u više pokusa

Zn

100 %

potpuno uklanjanje
u više pokusa

Sulfati

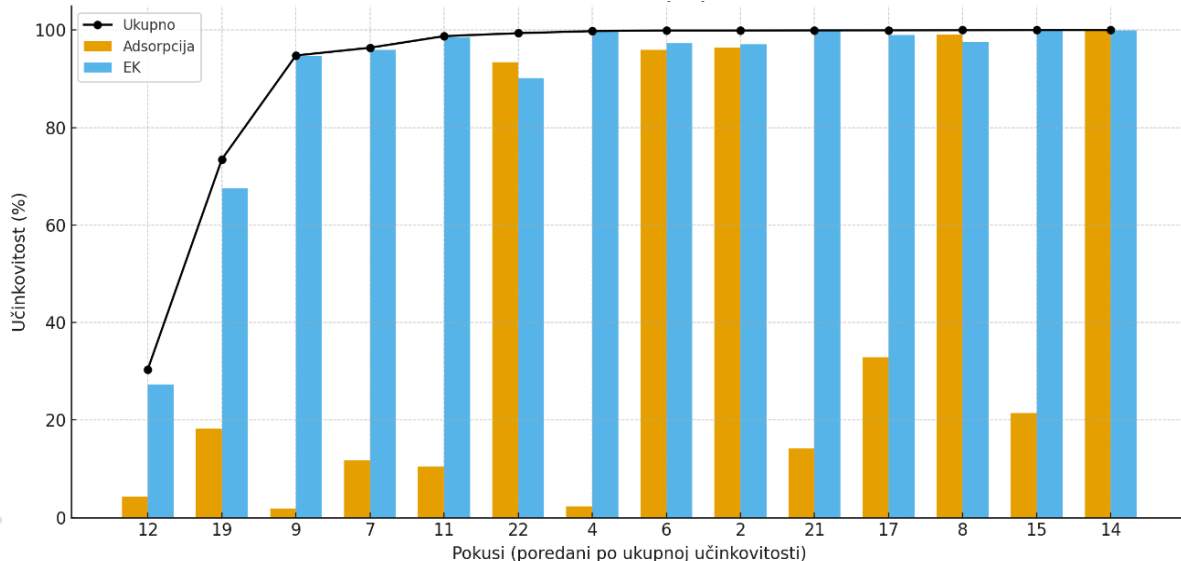
23,93 %

najviše u EK+ads
10 min • 15 A • pH 2

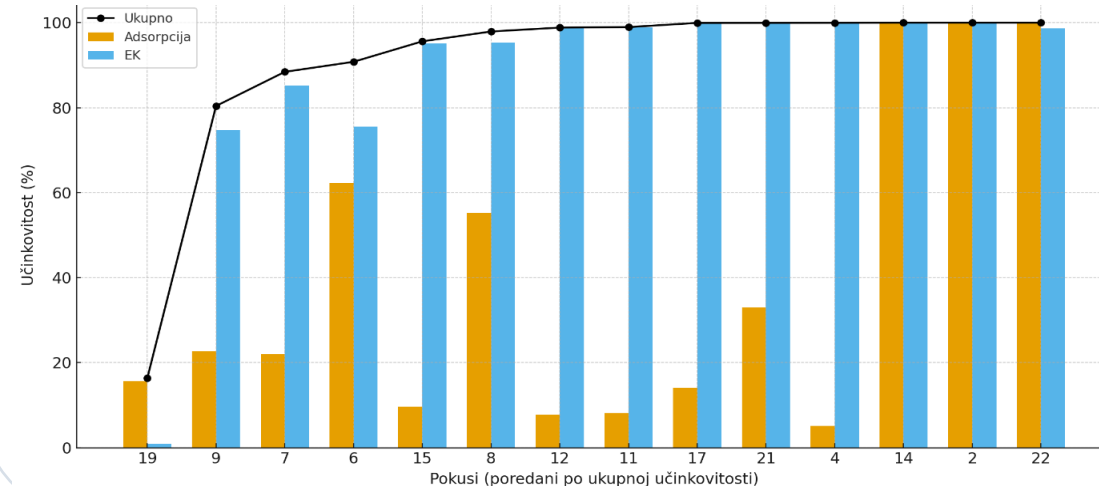
Rezultati – uklanjanje teških metala

- ✎ Za oba metala EK je dominantan mehanizam uklanjanja.
- ✎ Potpuno uklanjanje kroz 20 – 30 min pri 10 A

Cink (Zn)

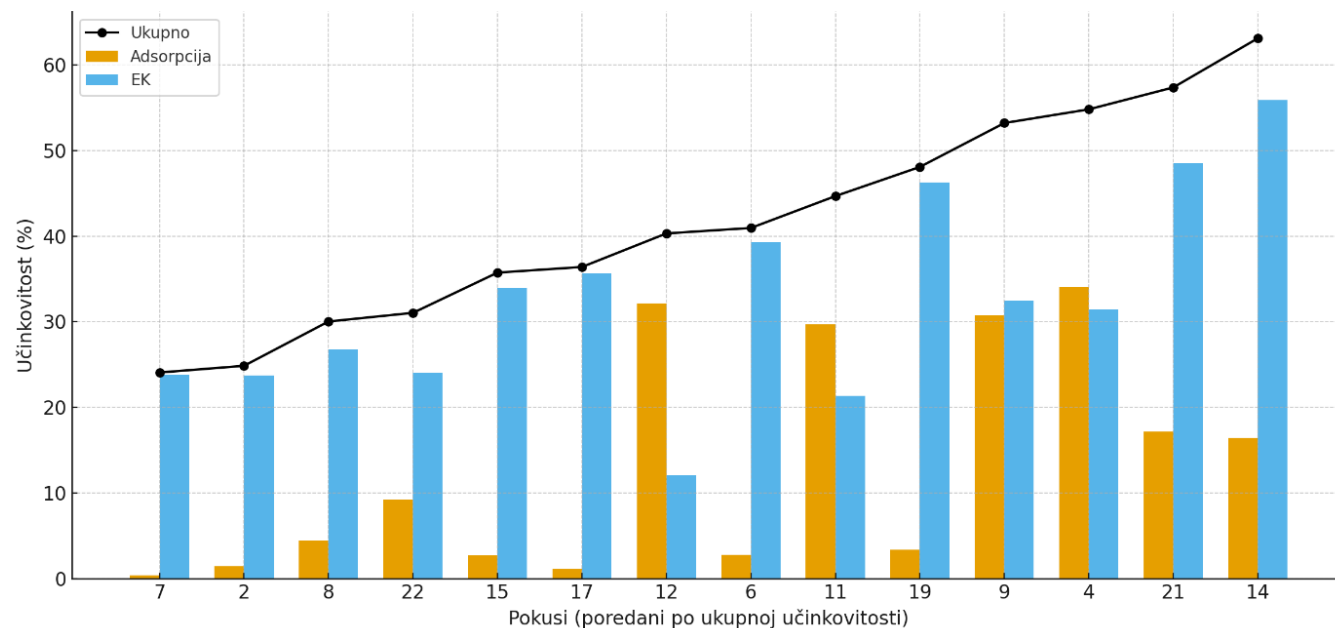


Bakar (Cu)



Rezultati – uklanjanje organskog onečišćenja

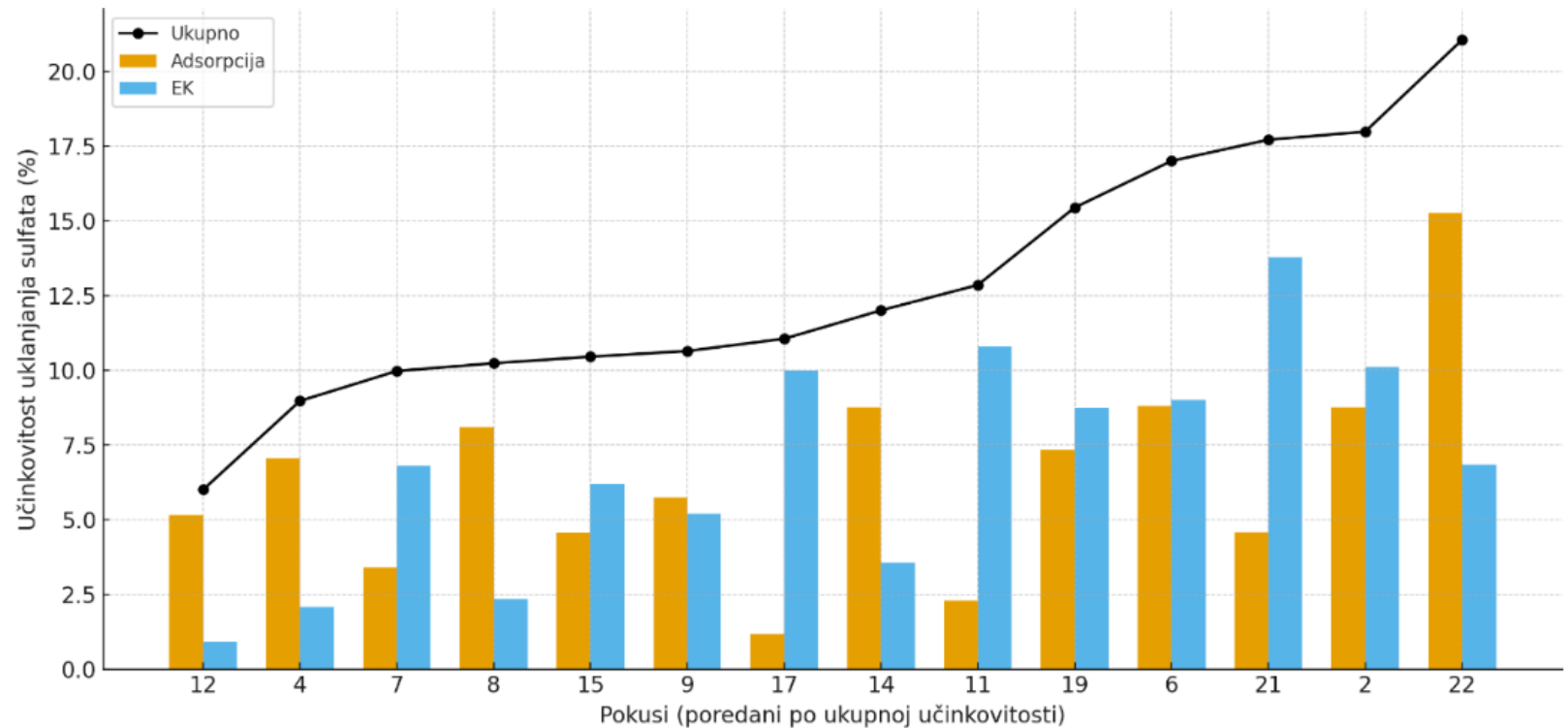
- ✎ Praćeno kroz smanjenje vrijednosti KPK
- ✎ Učinkovitosti od 2 do 63 %
- ✎ Viši pH, duže vrijeme i veća jakost struje pogoduju uklanjanju organskog onečišćenja
- ✎ Simultani EK+ads je uglavnom slabiji od sekvencijalnih postupaka
- ✎ Najstabilnija i najučinkovitija kombinacija EK → ads



Rezultati – uklanjanje sulfata

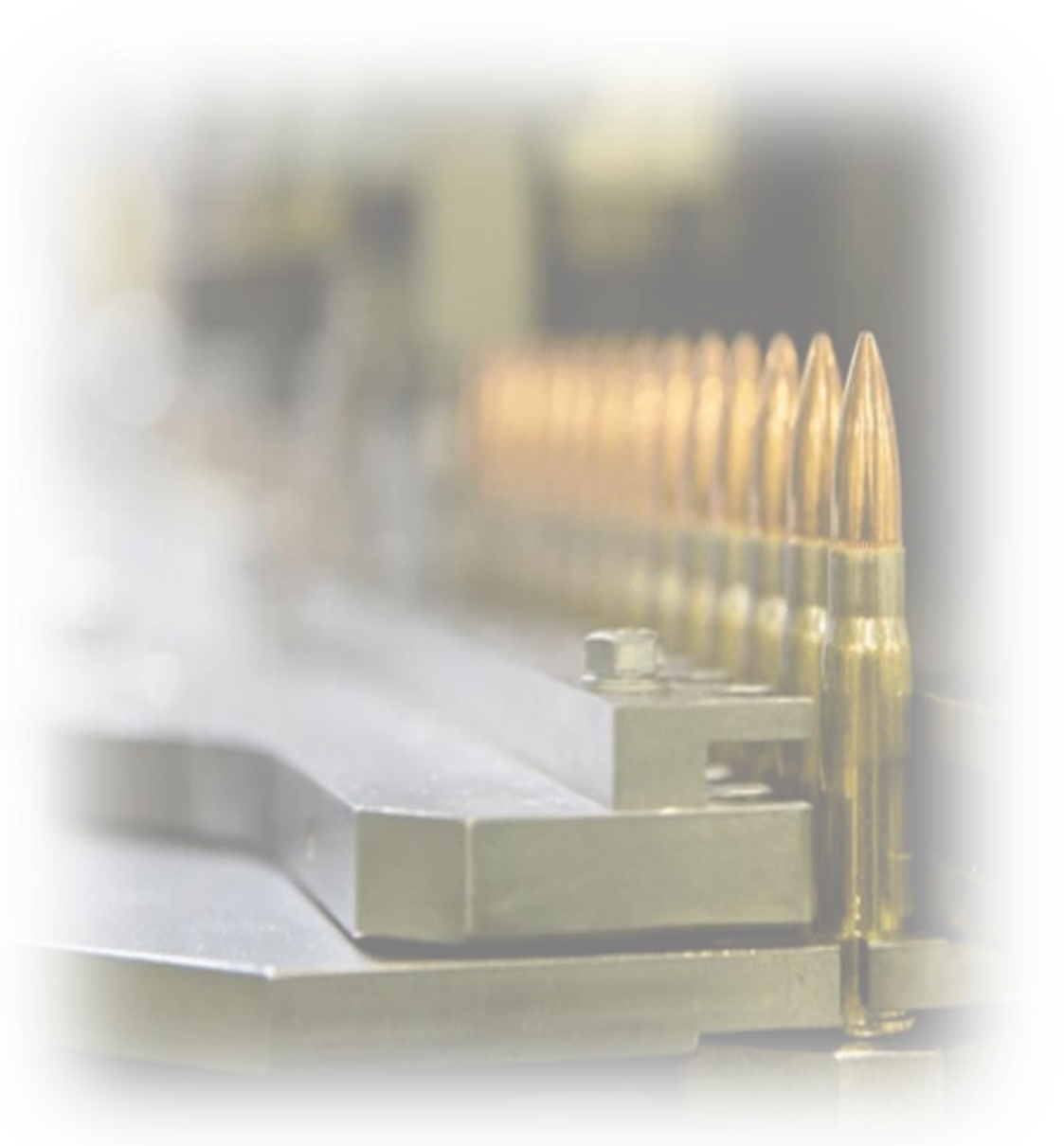
- Učinkovitost rijetko prelazi 20 %
- Najpovoljniji su kiseli uvjeti te simultani EK+ads postupak

Sulfat je stabilan i visoko topljiv anion te je njegovo uklanjanje elektrokoagulacijom prirodno ograničeno i traži dodatnu optimizaciju.



Zaključak

- ✎ Ek se pokazala kao dominantan mehanizam uklanjanja organskog onečišćenja i metala, ali naknadna adsorpcija dodatno poboljšava učinkovitost.
- ✎ Za uklanjanje sulfata je potrebna dodatna optimizacija; kiseli uvjeti pomažu, ali učinkovitost ostaje niska.
- ✎ EK u kombinaciji s adsorpcijom ima visok potencijal za ovu vrstu industrijske otpadne vode, ali optimalni uvjeti moraju biti definirani prema ciljnom onečišćivalu.



Hvala na pažnji!



Ovo istraživanje provedeno je u okviru Institucionalnog istraživačkog projekta za podizanje znanstvene izvrsnosti na Sveučilištu u Zagrebu Građevinskom fakultetu – “Napredno pročišćavanje otpadnih voda iz proizvodnje streljiva primjenom integriranih elektrokemijskih i adsorpcijskih tehnologija” (akronim: Armor), a koji je sufinanciran sredstvima iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. – 2026. Financira Europska unija – NextGenerationEU. Izneseni stavovi i mišljenja samo su autorova i ne odražavaju nužno službena stajališta Europske unije ili Europske komisije. Ni Europska unija ni Europska komisija ne mogu se smatrati odgovornima za njih.



**Funded by
the European Union**
NextGenerationEU