



03 – 05. april 2024. godine, KRAGUJEVAC – Hotel „Šumarice“



# PRIMENA TESTA IZLUŽIVANJA ZA PROCENU UTICAJA MODIFIKOVANIH BETONSKIH KOCKI NA VODE U OKRUŽENJU

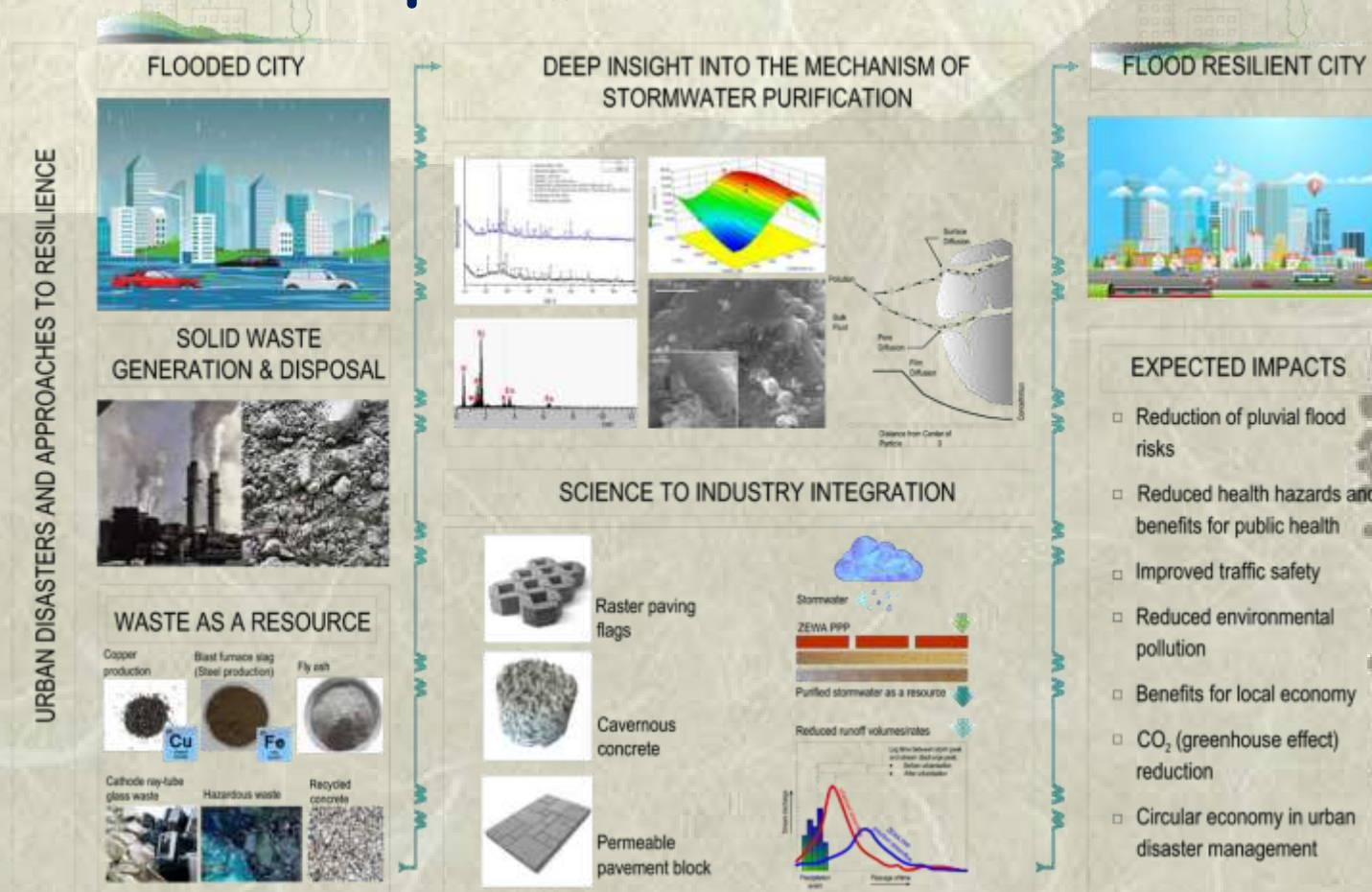


Dr Vladana N. Rajaković-Ognjanović,  
Dr Zorana Naunović, Ognjen Govedarica, Dr Marina Škondrić

Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11  
000 Beograd, E-mail: [vladana@grf.bg.ac.rs](mailto:vladana@grf.bg.ac.rs)

# Deo projekta:

## Multifunkcionalni materijali bazirani na primeni koncepta „NULA OTPADA“



Slika 1 Grafički abstrakt  
-opis postavke i ciljeva projekta "O-Waste-Water"



# Sadržaj predavanja

- **Objekat ispitivanja**
- **O testu izluživanja**
- **Rezultati analize**
- **Zaključak**



# Objekat ispitivanja

U ovom radu ispitani su različiti uzorci modifikovanih betonskih kocki.



Slika 2 Fotografija uzoraka tokom testa izluživanja

Ispitivanja su obuhvatila primenu testa izluživanja, odnosno rezultate koji su dobijeni nakon testa izluživanja. Ispitani uzorci su od kompozitnih materijala, koji su po sastavu većim delom od cementa, a jednim delom od recikliranog otpadnog praškastog materijala, neutrala.

Ispitivanja su obuhvatila uticaj kompozitnih materijala na kvalitet vode u šaržnom sistemu. Ispitani su ključni parametri na osnovu kojih se može oceniti uticaj na promenu kvaliteta vode.

Deo materijala čini i reciklirani otpadni materijal koji ima komercijalni naziv „neutral“. Neutral nastaje od sirovine koju predstavljaju različiti tipovi (često opasnog) otpada, koji se u reaktoru sa kalcijum-oksidiom prevodi u prah koji se može koristiti kao bezopasan. Ovo istraživanje predstavlja ispitivanja koja će ukazati na mogućnost korišćenja neutrala kao materijal koji bi, u kontaktu sa vodom, otpuštao zagađujuće materije u ekološki prihvatljivom obimu i/ili ne.

## O TESTU IZLUŽIVANJA

Testovi izluživanja se koriste za: klasifikaciju i potreban tretman opasnog otpada, za procenu upotrebe i za odluku o odlaganju otpada.

Izluživanje se definiše kao oslobađanje sastojaka iz čvrstog materijala u tečnu fazu. Testovi izluživanja se koriste za praćenje koncentracija zagađujućih materija koje pređu iz čvrste u tečnu fazu (pod određenim uslovima) u cilju određivanja mobilnosti zagađujućih materija.

Podaci koji se dobijaju testovima izluživanja imitiraju realne uslove, daju uvid u izluživanje materijala tokom eksploatacije. Na izluživanje, usled prisustva tečnosti i čvrste materije, utiču: rastvorljivost, adsorpcija čvrste faze, prisustvo različitih jedinjenja u tečnoj fazi (vodi), fizičke osobine materijala koje ograničavaju transport, uslovi u kojima se postiže ravnoteža i osobine kontaktne tečnosti.

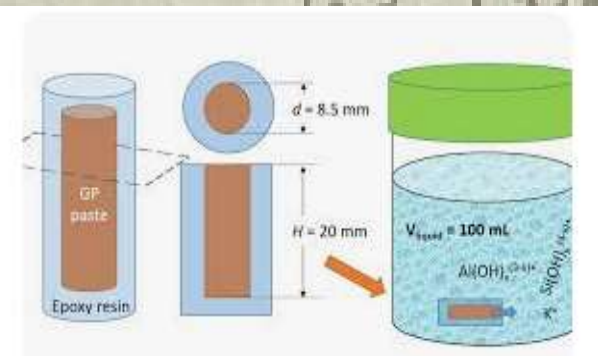
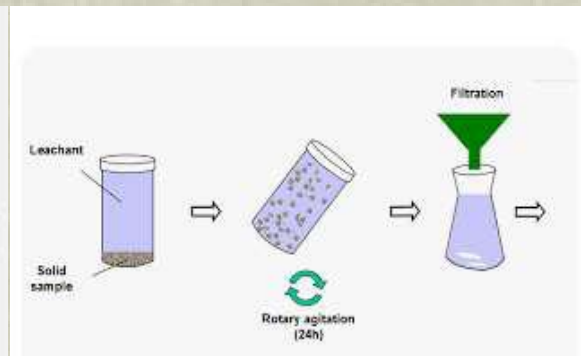
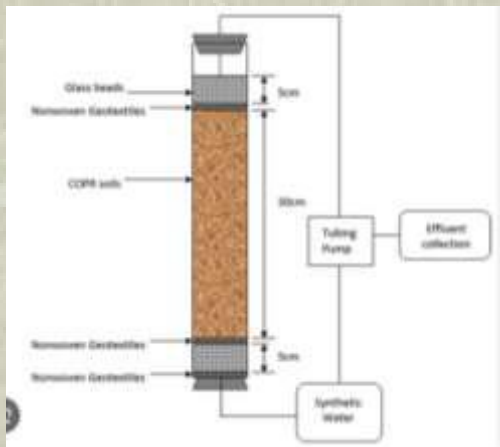
Čvrsti materijali koji se testiraju mogu biti različiti tipovi zemljišta ili sedimenti, otpad (gradski, industrijski, građevinski ili nuklearni materijal), tretirani otpad (otpad stabilizovan cementom, proizvodi iz različitih fizičkih/hemijskih/toplotnih postupaka), sekundarni materijali koji mogu da imaju korisnu upotrebu (šljaka, leteći pepeo u obliku uglja) ili građevinski materijali.

# O TESTU IZLUŽIVANJA

Testovi izluživanja se mogu podeliti na nekoliko kategorija:

- I. statički difuzioni testovi (šaržni testovi),
- II. dinamički difuzioni testovi (modifikovani šaržni testovi),
- III. perkolacioni testovi uzvodnog protoka (testovi u kolonama),
- IV. statički testovi izluživanja za monolitne uzorke, i
- v. testovi izluživanja monolita sa agitacijom (pospešeno mešanje) uz korišćenje magnetne mešalice.

Šaržni testovi izluživanja odnose se na potapanje monolitnog ili kompaktnog uzorka granulovanog otpada u određeni sud. Za razliku od većine testova za izluživanje, sud ne podleže rotaciji, već se difuzija zagađujućih materija odvija tokom vremena. Šaržnim testovima obično se procenjuje oslobađanje zagađujućih materija iz otpadnog materijala u monolitnom obliku ili u granulisanom obliku (kako bi se što približnije imitirali stvarni fizički uslovi).



# Materijali korišćeni za izradu predmetne betonske mešavine su:

- cement: CEM II 42,5 (A-L), Moravacem
- modifikovani solidifikat muljeva otpadnih voda
- agregat: rečni agregat, frakcija 0-4 mm
- ekspanzirana glina
- hemijski dodatak: superplastifikator i ubrzivač vezivanja
- voda iz gradskog vodovoda.

**Tabela 1 Sastav betonske mešavine**

Цемент	Модифик. солидификат	Додатак	Вода	Агрегат	
CEM II 42,5 (A-L), Moravacem (kg/m <sup>3</sup> )	Yunirisk (kg/m <sup>3</sup> )	Cementol Omega F 0.61% (kg/m <sup>3</sup> )		Речни 0/4 mm (kg/m <sup>3</sup> )	Експандирана глина (kg/m <sup>3</sup> )
350	80	2.15	170	1050	190

# Analize parametara vode

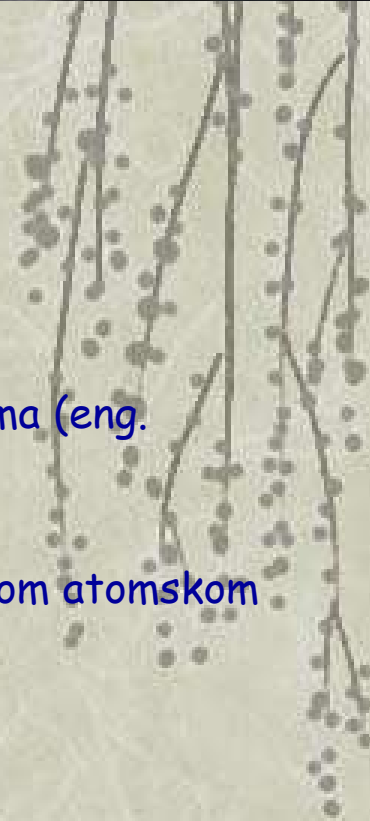
Voda koja je analizirana periodično je menjana tokom ukupnog perioda od 16 dana. Tečnost je potpuno menjana nakon 24, 72, 168 i 384 h inkubacije.

Na kraju svakog perioda uzorkovanja, analize su sprovedene za svako ponavljanje, uključujući:

- pH vrednost,
- električnu provodljivost,
- ukupnu alkalnost,
- hemijsku potrošnju kiseonika (eng. COD),
- i koncentraciju sulfatnih jona.

Analize su rađene primenom metodologije utvrđene Standardnim metodama (eng. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater).

Koncentracije hroma, kadmijuma, bakra, olova i cinka određene su plamenom atomskom apsorpcijom.



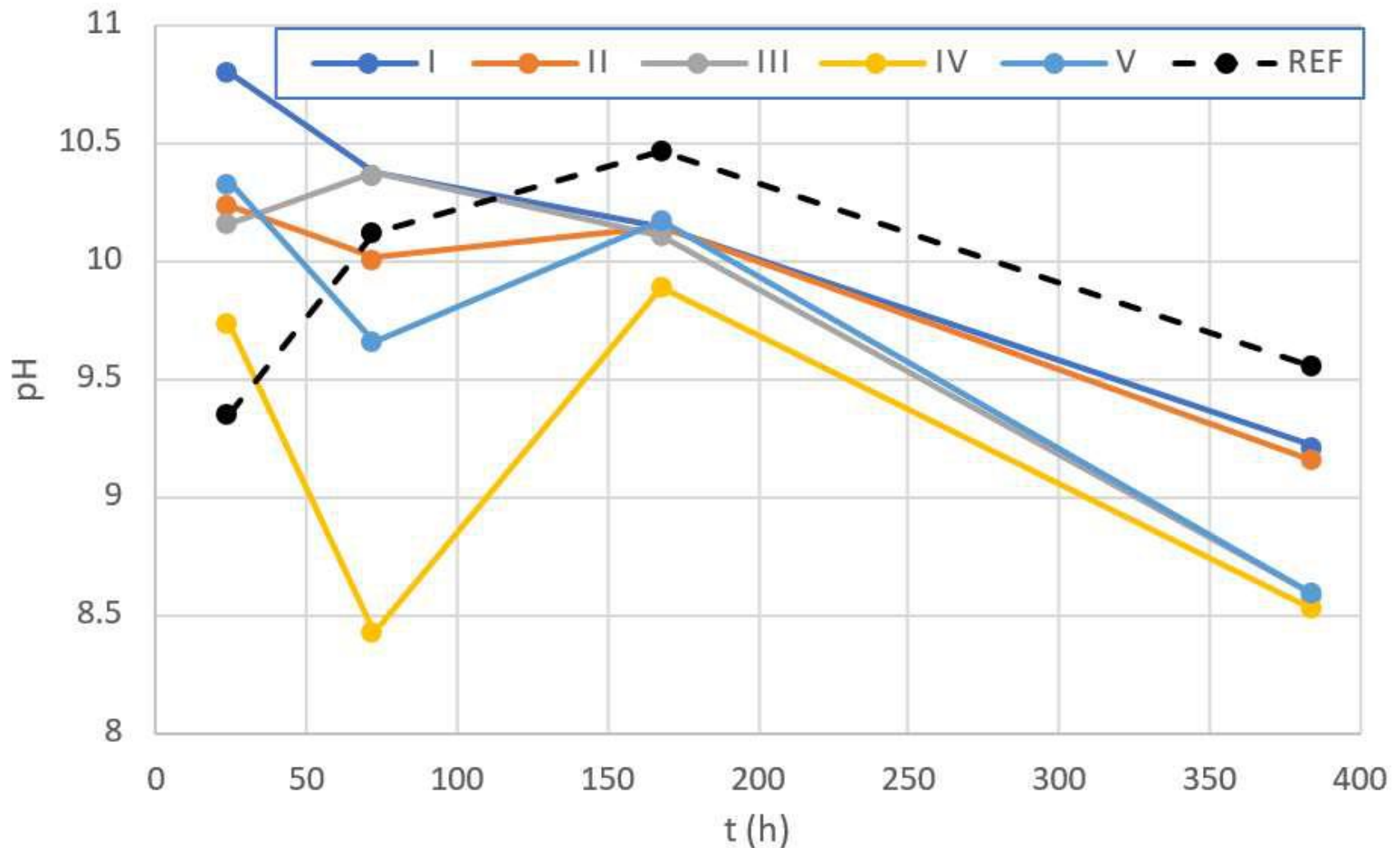
# Rezultati

Na slikama 3-10 su grafički prikazi zavisnosti:

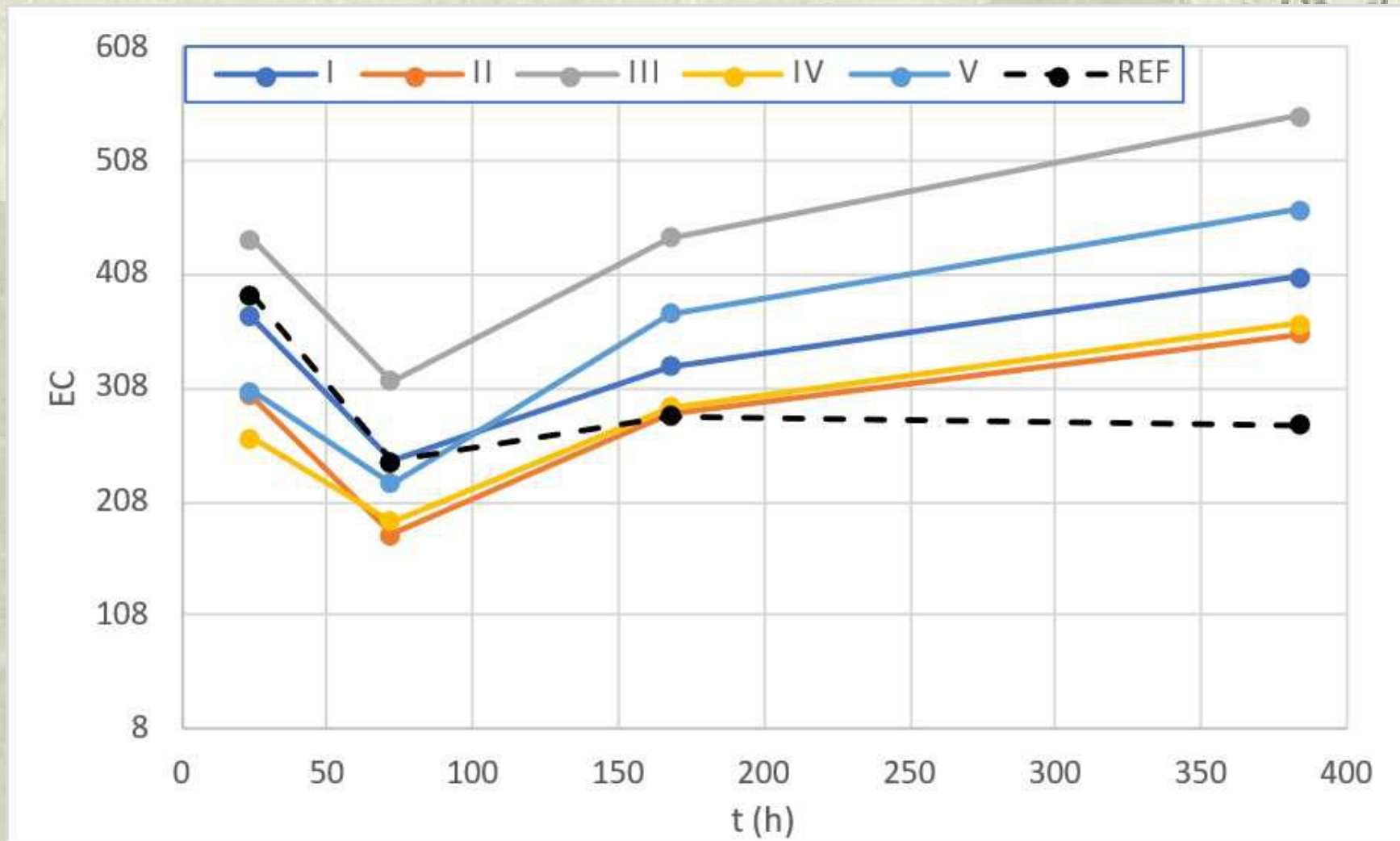
- pH vrednosti,
- električne provodljivosti,
- ukupne alkalnosti,
- hemijske potrošnje kiseonika (eng. COD),
- i koncentracije sulfatnih jona,

u vremenskim opsezima koji su definisani u standardu za test izluživanja uz vrednosti koje su dobijene za referentnu kocku (bez neutrala).

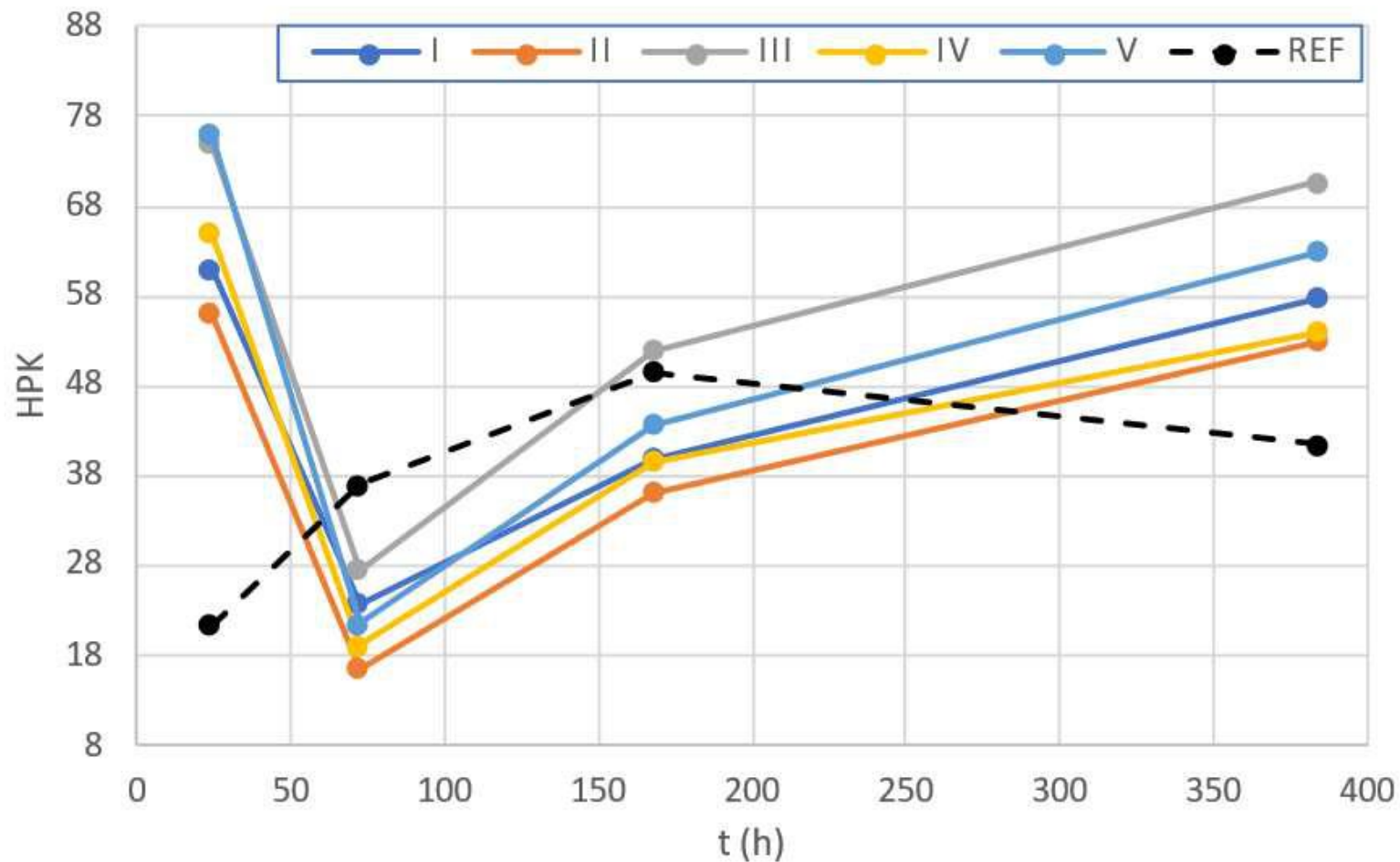
*Slika 3 Promena pH vrednosti u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku*



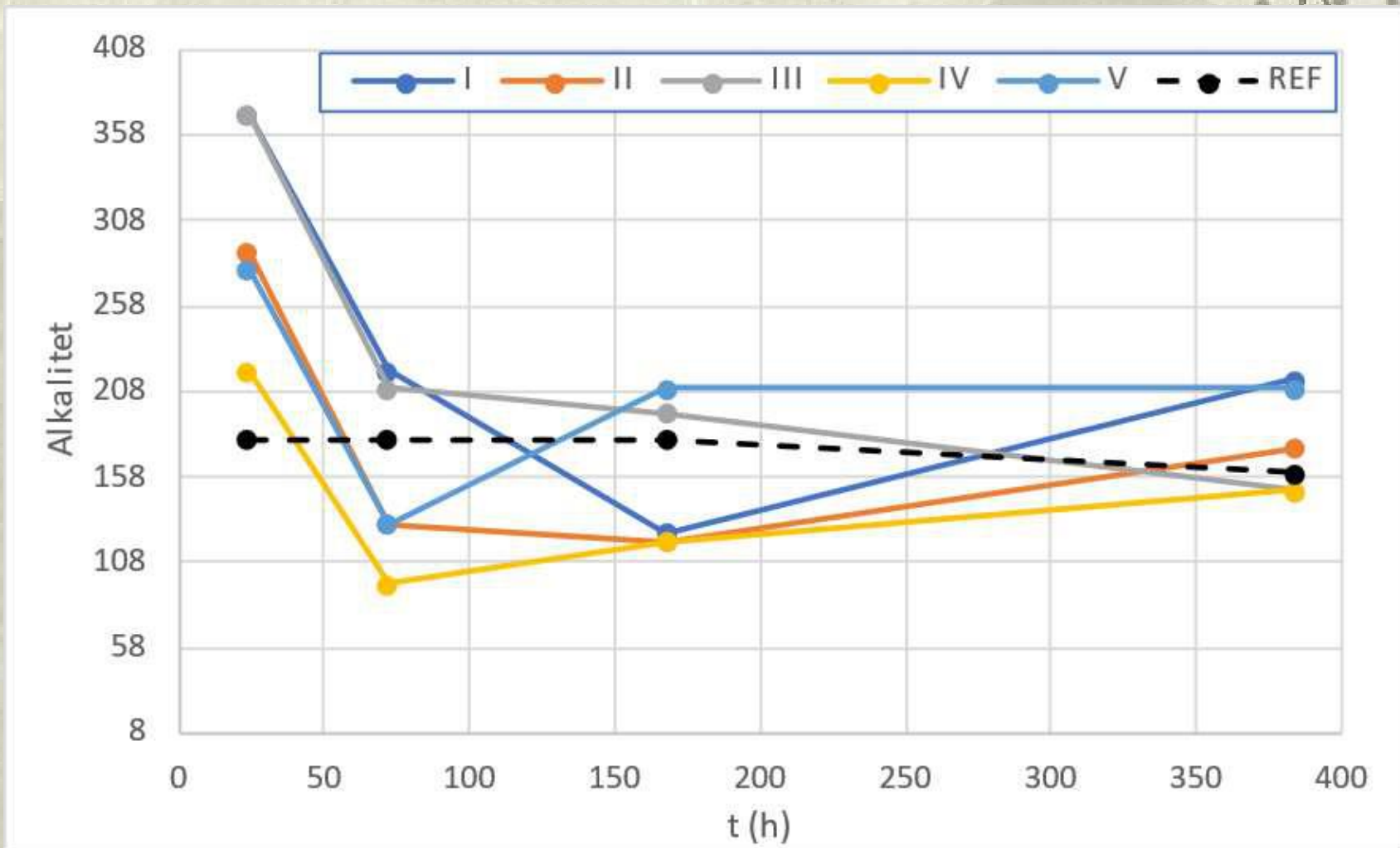
Slika 4 Promena EC vrednosti u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku



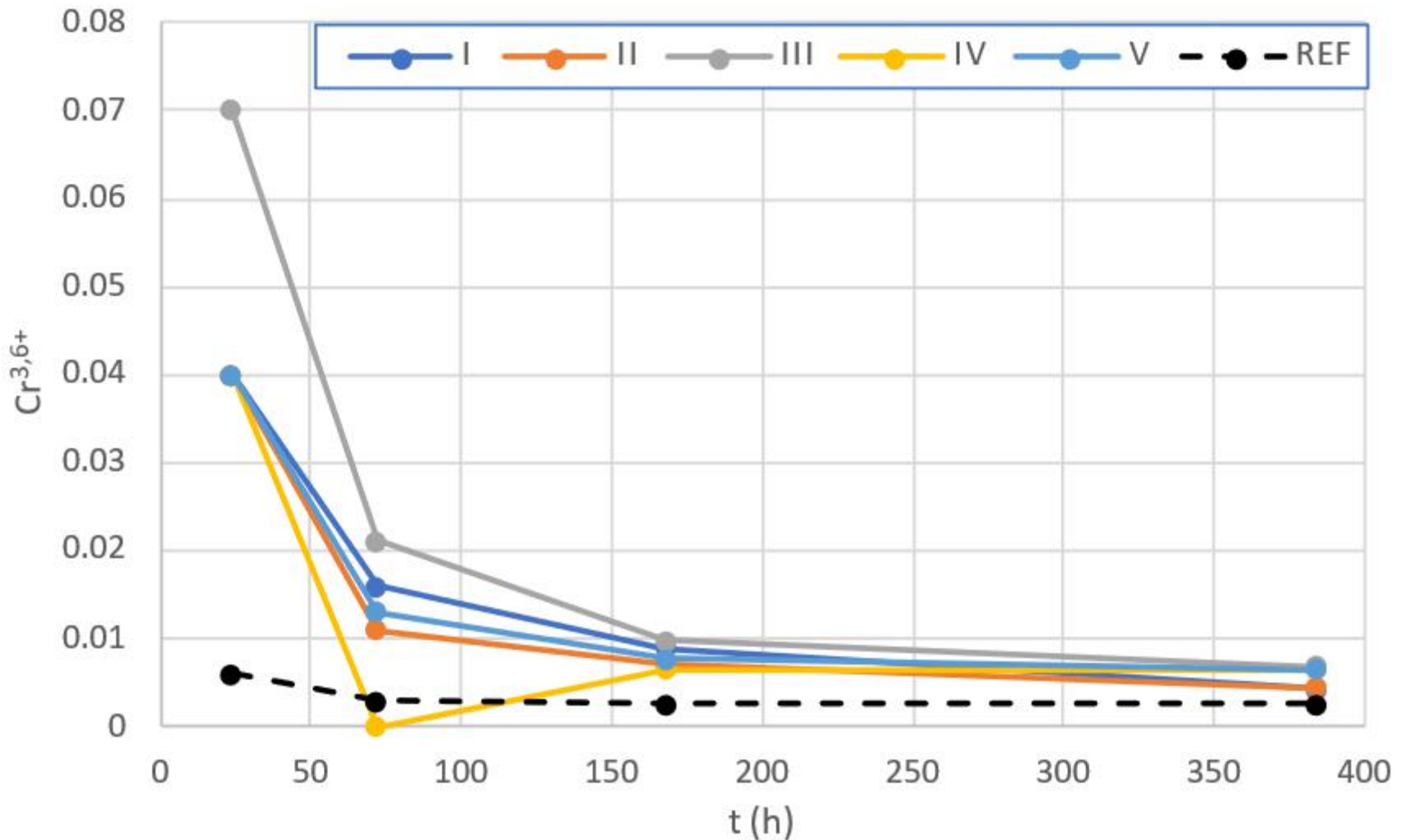
Slika 5 Promena HPK vrednosti u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku



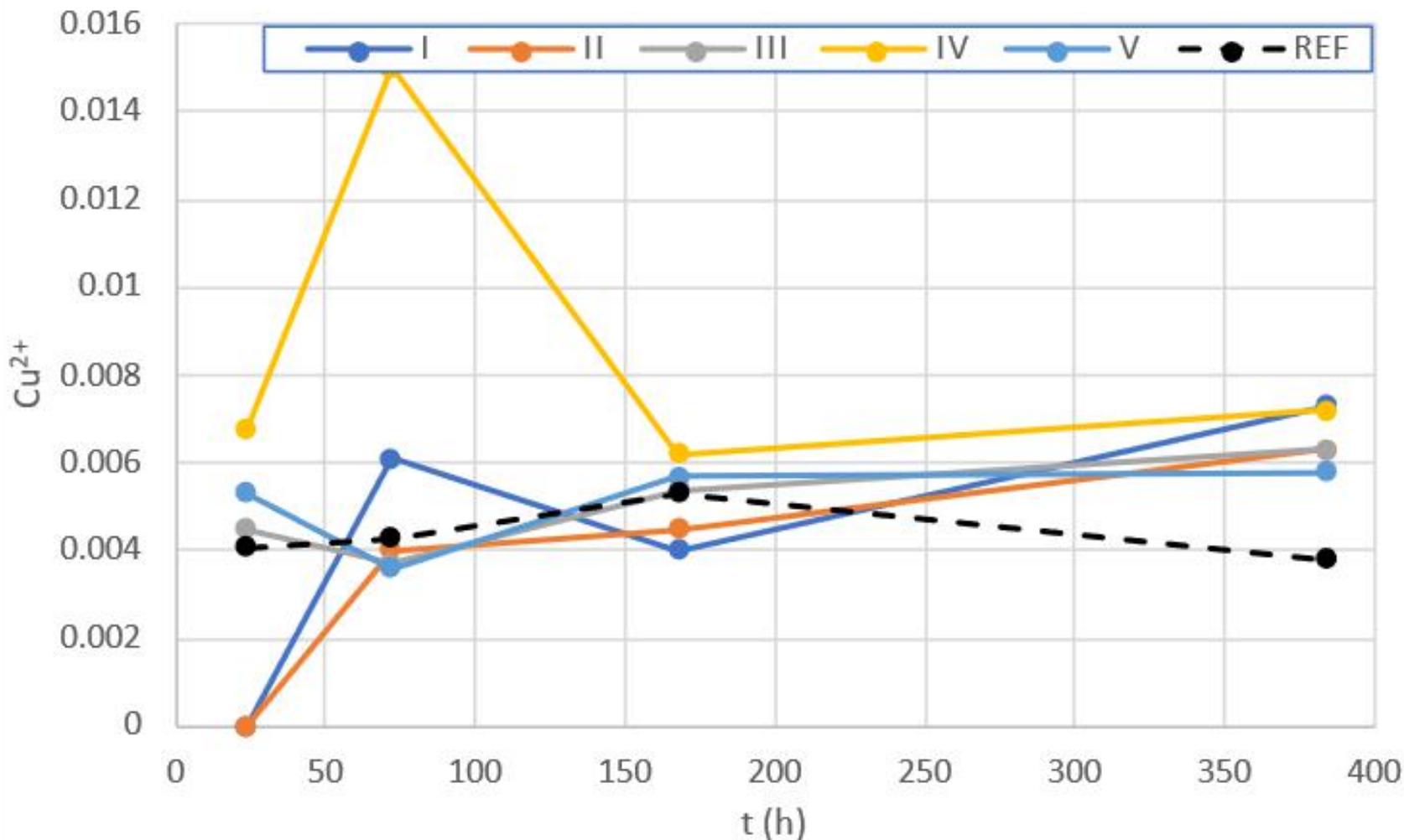
*Slika 6 Promena alkaliteta u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku*



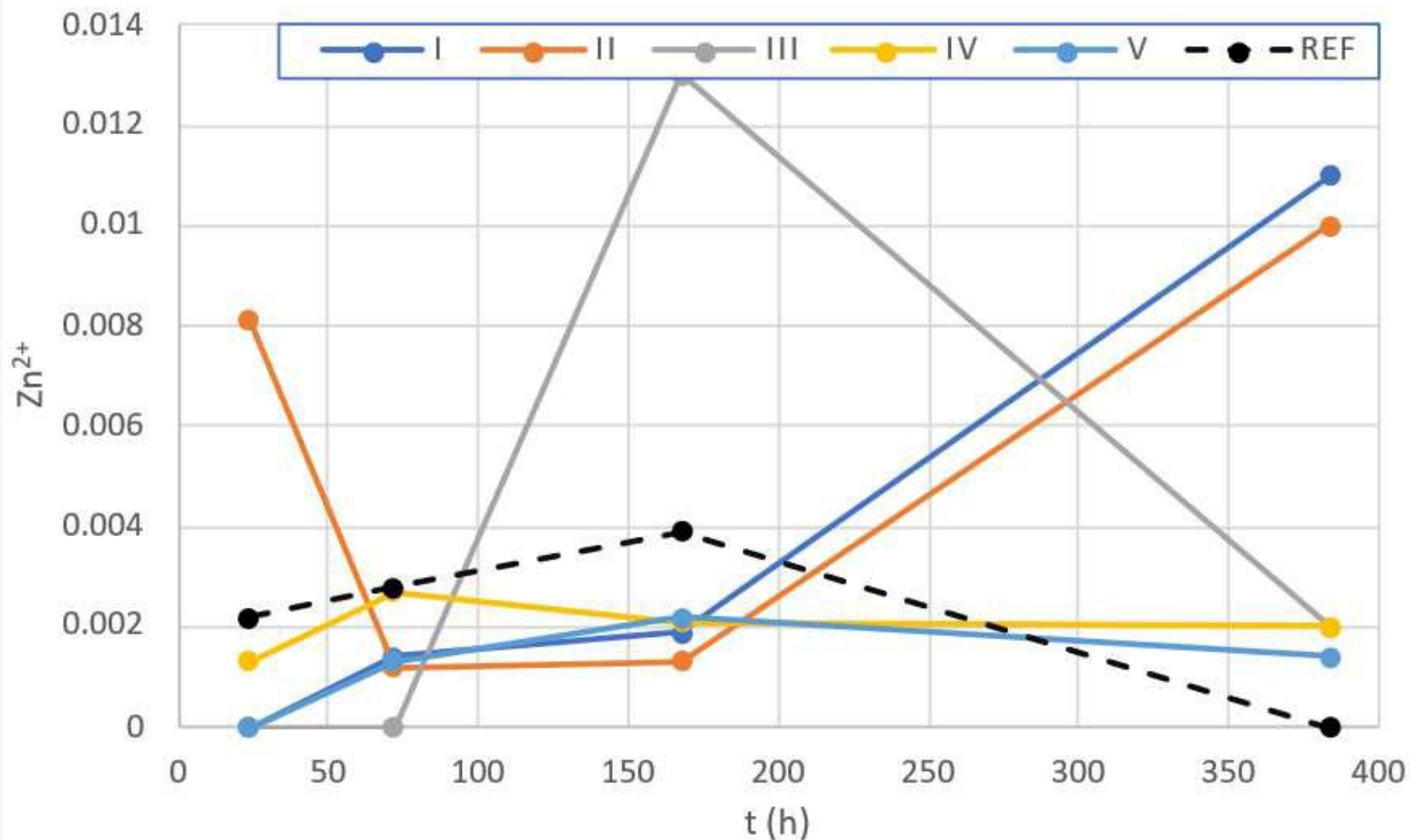
*Slika 7 Promena koncentracije hroma u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku*



*Slika 8 Promena koncentracije bakra u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku*



*Slika 9 Promena koncentracije cinka u zavisnosti od vremena u skladu sa testom izluživanja za modifikovane kocke i za referentnu kocku*



# Rezultati i zaključak

Dobijene vrednosti za merene hemijske parametre su veoma niskih koncentracija teških metala u eluatu.

Uvidom u rezultate za referentni materijal, odnosno za lakoagregatni beton koji pri proizvodnji nije modifikovan, koji u svom sastavu nema reciklirane komponente može se uočiti da je odstupanje kod modifikovanih materijala (kocaka) izuzetno malo.

Ispitivanje koje je rađeno pokazalo je da je udeo recikliranog materijala u betonu bezbedan sa aspekta izluživanja, odnosno da je ovako napravljen beton bezbedan i može se koristiti kao lakoagregatni beton klase izloženosti za unutrašnje konstruktivne elemente zgrada i inženjerskih objekata u suvoj sredini.

Ponašanje ovih materijala ukazuje da će tokom eksploatacije izluživanje ovih materijala još manje biti moguće i prisutno. Dakle, sve ukazuje da se dobijene vrednosti mogu u stvarnim uslovima eksploatacije umanjiti, s obzirom da je test izluživanja realno nemogući scenario.

Ispitani uzorak bio je izložen ekstremnim uslovima koji su pokazali da je materijal bezbedan za korišćenje sa ekološkog aspekta.

# HVALA NA PAŽNJI!!!

