

## **UTICAJ NAČINA PRIPREME ČELIČNE ARMATURE NA BRZINU KOROZIJE ISTE U CEMENTNOM MALTERU**

### **INFLUENCE WAY OF PREPARING STEEL REINFORCEMENT ON RATE OF CORROSION STEEL REINFORCEMENT IN CEMENT MORTAR**

**Farzet Bikić, vanredni profesor, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale u Zenici**

**Mirsada Rizvanović, redovni profesor, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale u Zenici**

**Kategorizacija rada:** Stručni rad

#### **SAŽETAK**

*U radu je prikazan uticaj načina pripreme čelične armature na brzinu korozije iste u cementnom malteru. Armature su pripremane mehanički i hemijski. Ispitivanje korozije čelične armature u cementnom malteru se sprovodilo na mjernom uređaju kojeg sačinjavaju elektrohemijaska ćelija i potenciostat/galvanostat EG&G PARC, model 263A. Korišteni elektrolit je zasićena otopina  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Priprema i njegovanje radnih elektroda kao i samo ispitivanje brzine korozije, vrši se po postupku koji propisuje JUS U.M1.044. Rezultati ispitivanja su dati u formi krivih anodne polarizacije čeličnih armatura u cementnom malteru, dobivenih metodom linearne voltmetrije. Ocjena rezultata ispitivanja intenziteta korozije pripremanih uzoraka je vršena po postupku koji propisuje standard JUS U.M1.035. Rezultati pokazuju da je brzina korozije značajno veća na čeličnoj armaturi pripremanoj hemijski.*

**Ključne riječi:** cementni malter, čelična armatura, linearna voltmetrija, anodna polarizacija.

#### **ABSTRACT**

*In this paper is presented influence way of preparing steel reinforcement on rate of corrosion steel reinforcement in cement mortar. Reinforcements were prepared mechanically and chemically. Testing of corrosion of reinforcing steel in cement mortar is executing on the measuring device which consists of an electrochemical cell and potentiostat/galvanostat EG & G PARC, model 263A. Electrolyte used in this case is saturation solution  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Preparation of working electrode and experiment are according to standard JUS U.M1.044. Results of experiments are presented in form of anode polarization curves of steel bars in concrete, using linear voltmeter method. Evaluation of the results of testing the intensity of corrosion is carried out according to the procedure prescribed by the standard JUS U.M1.035. The results show that the corrosion rate is significantly higher on chemically prepared steel reinforcement.*

**Keywords:** cement mortar, steel reinforcement, linear voltmetry, anode polarization.

#### **1. UVOD**

Prije izvođenja tehnološke operacije zaštite od korozije, metali se podvrgavaju tehnološkom zahvatu pripreme površine. Dovoljan je samo molekularni sloj nečistoća pa da nanese

zaštitni antikorozivni sloj ne prione dovoljno velikim adhezijskim silama [1]. Pri tome, nečistoćom se smatraju masne tvari i produkti korozije koji su mineralnog ili organskog porijekla. Razlikuju se tri postupka pripreme površine metala: mehanička, hemijska priprema, te odmašćivanje koje se izvodi organskim otapalima, alkalnim otopinama u vodi, vodenim emulzijama, spaljivanjem masnoća, elektrolitičkim odmašćivanjem te odmašćivanjem i čišćenjem ultrazvukom. Mehanička priprema se izvodi četkama od žice, brusnim papirima različite finoće brusnih zrnaca, krpama od jute, konoplje ili pamuka, čime se uklanjaju nečistoće s površina metala u onim slučajevima kad to nije moguće učiniti djelotvornijom tehnologijom. Čišćenje mlazom kremenog pijeska ili nekim drugim abrazivnim sredstvom, tzv. pjeskarenjem, vrlo djelotvorno se na brodovima i sličnim čeličnim konstrukcijama odstranjuju mehaničke nečistoće i tvrdi produkti poput stare prevlake, produkti korozije, a ujedno se površina ohrapavi da bi adhezija antikorozivnog premaza bila snažnija. Radi izbjegavanja stvaranja prašine koristi se postupak tzv. mokrog pjeskarenja.

Hemijska priprema podrazumijeva nagrivanje površine metala kiselinama. Oksidni slojevi na površinama čelika najčešće se odstranjuju nagrivanjem kiselinama, naročito na cijevima kod kojih nije moguće primjeniti postupak mehaničke pripreme sačmarenjem. Nagrivanjem kiselinama otapaju se oksid i čelik ispod oksidnog sloja. Da bi se to otapanje čelika usporilo, u otopinu se stavljaju inhibitori koji usporavaju proces nagrivanja stvaranjem tankog zaštitnog površinskog sloja. S porastom temperature djelovanje inhibitora slabi. Zbog toga temperatura elektrolita ne smije biti viša od 70 °C [2]. Nakon završetka procesa nagrivanja uzorci se neutraliziraju temeljitim pranjem vodom, a po potrebi i alkalnim otopinama fosfata čime se formira fosfatna prevlaka po površini koja sprječava razvoj procesa korozije i ujedno može služiti i kao podloga za boju.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

Za ispitivanje uticaja načina pripreme na brzinu korozije čelične armature u betonu korištena je glatka čelična armatura hemijskog sastava prikazanog u tabeli 1.

*Tabela 1. Hemijski sastav ispitivane čelične armature*

Hemijski sastav (mas.%)						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
0,20	0,30	0,65	0,015	0,042	0,07	0,06

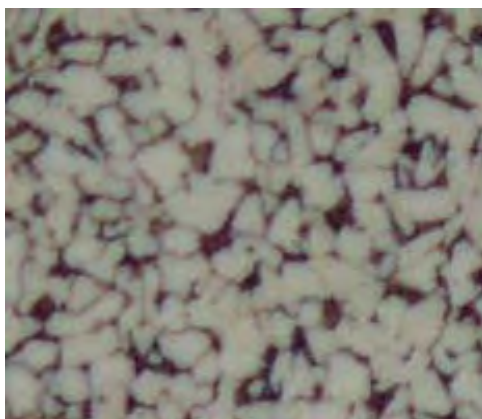
Cement korišten za spravljanje cementnog maltera je proizvod Cementare Kakanj, hemijskog sastava datog u tabeli 2.

*Tabela 2. Hemijski sastav cementa*

Klasa cementa	Hemijski sastav (mas.%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
PC 45	18,25	6,76	4,02	54,72	1,49	2,34	0,56	0,28

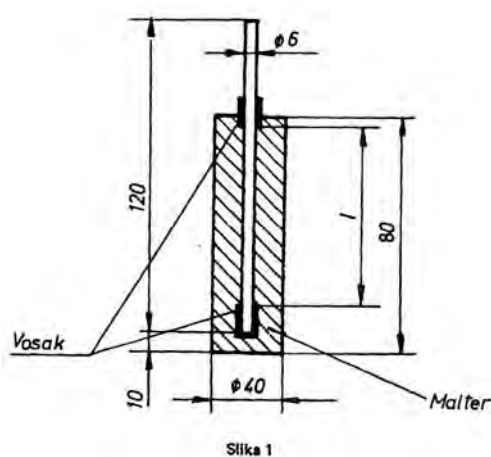
Agregat korišten za spravljanje cementnog maltera je standardni pijesak DIN EN 196-1.

Osim hemijske, urađena je i metalografska analiza, u nagrivenom stanju, čelične armature iz koje su pripremani uzorci. Nagrivanjem izbrusaka u 2 %-tnom etanolskom rastvoru nitratne kiseline dobivena je struktura prikazana na slici 1. Sa slike 1 se vidi da se radi o feritnoj strukturi s ostrvcima perlita.

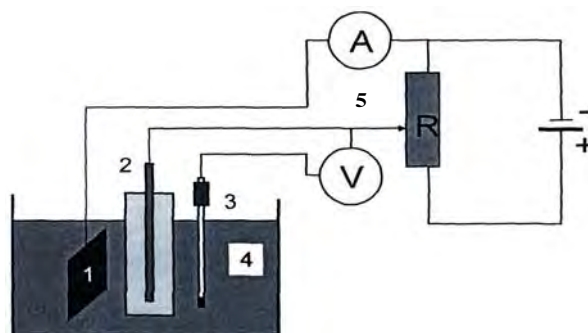


Slika 1. Snimak strukture glatke armature, uvećanje 100 X.

Ispitivanje korozije pripremanih uzoraka je vršeno u elektrohemijskoj ćeliji koja sadrži tri elektrode. Radnu elektrodu predstavlja uzorak čelične armature u cementnom malteru (Slika 2). Kao referentna elektroda u ovim ispitivanjima je korištena zasićena kalomelska elektroda (SCE) čiji je potencijal 0,2415 V prema standardnoj vodikovoj elektrodi. Treća elektroda je pomoćna ili kontra-elektroda od platine, čija je uloga da provodi električnu struju od strujnog izvora kroz rastvor do radne elektrode. Prije ugradnje u cementni malter, površine čeličnih armatura se obrađuju hemijski i mehanički. Hemijski su armature obrađivane na način da su potapane u otopinu 17 % HNO<sub>3</sub>. Temperatura na kojoj je vršena hemijska obrada je 50 °C, vrijeme obrade 5 min. Armatura je zatim temeljito isprana destilovanom vodom, odmašćena acetonom, a gornji i donji dio armature je premazan voskom. Mehanička priprema je podrazumijevala brušenje brusnim papirima određene granulacije. Mehanička priprema je vršena po postupku koji propisuje standard JUS U.M1.044 [3]. Radne elektrode, uzorci, su pripremane od cementnog maltera u kojem je odnos mase cementa i agregata 1:3. Malter se, u slojevima, ručno, ugradi u kalup u čiju sredinu se stavlja čelična armatura. Armatura je prečnika 6 mm, dužine 120 mm. Površina aktivnog dijela armatura je iznosila 9 cm<sup>2</sup>. Uzorci pripremljeni u kalupu odmah su stavljeni u prostor u kojem je temperatura između 18 i 22 °C a relativna vlažnost najmanje 90 %. U toj sredini kalupi su držani 24 sata do otvaranja. Uzorci su zatim stavljeni u zasićeni rastvor kalcijum-hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>), do 2/3 visine, u kojem su držani još daljih 20 do 24 sata do ispitivanja. Malter se pripremao sa destilovanom vodom. Ispitivanje korozije čelične armature u betonu se sprovodilo na mjernom uređaju kojeg sačinjavaju elektrohemijska ćelija i potencijostat/galvanostat EG&G PARC, model 263A (Slika 3).



Slika 2. Oblik i dimenzije radne elektrode [3]



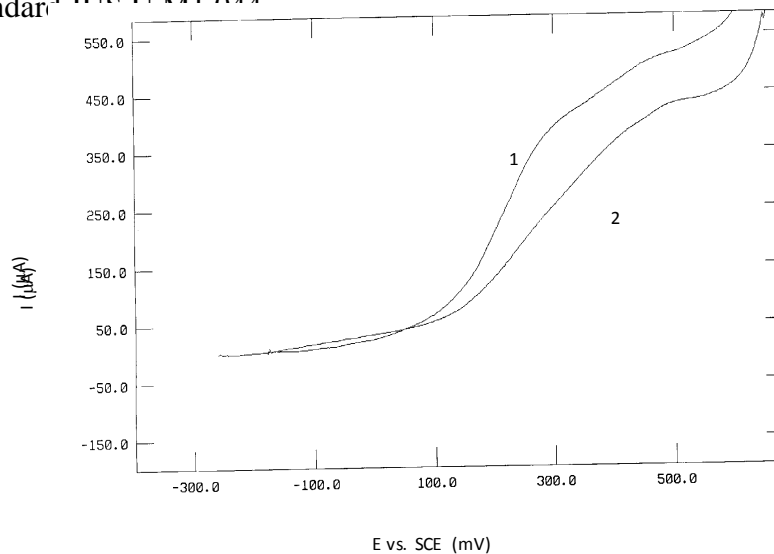
Slika 3. Shematski prikaz uređaja za snimanje krivih anodne polarizacije [3]

1 – pomoćna elektroda, 2 – radna elektroda,  
3 – referentna elektroda, 4 – elektrolit,  
5 – potencijostat/galvanostat PAR 263 A

Mjerenje se sprovodilo tako što se na potenciostatu očita potencijal otvorenog kruga. Zatim se potencijal radne elektrode mijenjao od potencijala otvorenog kruga u pozitivnu stranu brzinom od 5 mV/s do 800 mV, pri čemu se na voltamogramu registrovala struja u mikroamperima. Rezultati navedenih ispitivanja su predstavljeni u formi anodnih polarizacionih krivih uzoraka, radnih elektroda, odnosno čelične armature u cementnom malteru. Priprema i njegovanje radnih elektroda kao i samo ispitivanje brzine korozije je vršeno po postupku koji propisuje standard JUS U.M1.044 [3].

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 1 su prikazani rezultati ispitivanja načina pripreme čelične armature na brzinu korozije iste u cementnom malteru. Ispitivanje je provedeno u zasićenoj otopini  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  na sobnoj temperaturi. Prije nego se armatura stavi u cementni malter mora se pripremiti, hemijski ili mehanički. Hemijska priprema podrazumijeva potapanje armature u pogodnu hemikaliju pri čemu se sa njene površine skidaju produkti atmosferske korozije, ali i razna organska i neorganska onečišćenja. Mehanička priprema podrazumijeva brušenje papirom određene granulacije. Upoređivanjem nagiba i položaja krivih na dijagramima struja – potencijal, ocjenjuje se koroziona aktivnost na radnim elektrodama. Kriva s većim nagibom pokazuje veću korozionu aktivnost [4, 5]. Rezultati (Slika 4) pokazuju da je brzina korozije veća u slučaju kad se armatura priprema hemijski u odnosu na mehanički pripremljenu armaturu. Da je nagib anodne polarizacijske krive presudan za ocjenu intenziteta korozije na radnoj elektrodi dokaz je i standard JUS U.M1.035 koji na neki način vrši kvantifikaciju rezultata ispitivanja korozije čelične armature u betonu. Ocjena intenziteta korozije na čeličnoj armaturi u cementnom malteru se dakle vrši prema standardu JUS U.M1.035, koji se oslanja na standard JUS U.M1.044



Slika 4. Anodne polarizacijske krive uzoraka čelične armature u betonu  
1 – armatura pripremana hemijski 2 - armatura pripremana mehanički

Standard JUS U.M1.035 govori o tome da li određeni dodatak betonu utiče na odvijanje korozije na čeličnoj armaturi, pri čemu se kao relevantan podatak ocjene uzima gustina struje radne elektrode pri potencijalu 225 mV u odnosu na zasićenu kalomel elektrodu [6]. Ukoliko je gustina struje veća od  $60 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , tada određena vrsta i količina dodatka utiče na aktiviranje korozije čelične armature u betonu. Gustina struje pri 225 mV za radnu elektrodu pripremanu hemijski je veća nego gustina struje radne elektrode pripremane mehanički (Tabela 3). Očigledno je da niti mehanička niti hemijska priprema neće dalekosežno djelovati na koroziju armature u betonu. Međutim ono što je evidentno to je da je gustina struje korozije radne elektrode pripremane hemijski značajno veća od gustine struje korozije radne elektrode pripremane mehanički. Za razliku od gustine struje pri 225 mV u odnosu na SCE

potencijal otvorenog kruga u ovako kompleksnom sistemu kao što je čelična armatura u cementnom malteru nerelevantan je pokazatelj brzine korozije jer se mjeri tek nakon 48 sati od pripreme uzorka, a uzorak je kao što se zna jedan kompleksan elektrohemijski sistem. Relevantno bi svakako bilo praćenje promjene potencijala s vremenom, npr. u toku 24 sata što propisuje HRN EN 480-1:2007. Međutim standard koji se primjenjivao (JUS U.M1.044) je sasvim dovoljan i pouzdan pokazatelj ocjene korozione aktivnosti na čeličnoj armaturi u betonu. Isti se primjenjuje na institutima koji se bave ispitivanjem betona i betonskih konstrukcija [7].

*Tabela 3. Gustine struje pri 225 mV i potencijali otvorenog kruga radnih elektroda*

Način pripreme radne elektrode	$i$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$E(I=0)$ , mV
Mehanički	20,23	-260
Hemijski	32,53	-173,5

Postoji nekoliko razloga zbog čega je brzina korozije veća na armaturi pripremanoj hemijskim postupkom. Jedan od ključnih je taj što se mehaničkom obradom ne mogu ukloniti onečišćenja u pukotinama armature. Na mjestima koja nisu očišćena neće doći do korozije. Time je radna površina armature pripremane mehanički manja od radne površine armature pripremane hemijski. Smanjenjem aktivne površine elektrode smanjuje se količina elektriciteta izmijenjena na elektrodi a samim tim i brzina korozije. Sljedeći bitan razlog povećane brzine korozije armature pripremane hemijskim postupkom jest taj što se nagrivanjem kiselinama otapaju oksidni sloj i dijelom čelik ispod oksidnog sloja. Nagrivanjem armature kiselinama dolazi do bržeg aktiviranja površine armature što se direktno odražava na povećanje brzine korozije. Dalje, može takođe doći do nakupljanja kiseline, naročito u pukotinama armature, koja se na tim mjestima može zadržati i pored kasnijeg ispiranja armature vodom. U provedenom eksperimentu nisu korišteni inhibitori koji usporavaju proces nagrivanja stvaranjem tankog zaštitnog površinskog sloja.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Ispitivanjem uticaja načina pripreme čelične armature na brzinu korozije iste u cementnom malteru dokazano je da je brzina korozije značajno veća na uzorku pripremanom hemijski nego na uzorku pripremanom mehanički. Jedan od razloga tome je što se mehaničkom pripremom ne može aktivirati čitava radna površina armature, onečišćenja zaostaju u pukotinama, čime se direktno smanjuje količina izmijenjenog elektriciteta, odnosno brzina korozije. Nagrivanjem armature kiselinama dolazi do bržeg aktiviranja površine armature što se direktno odražava na povećanje brzine korozije. Takođe eventualno nakupljanja kiseline, naročito u pukotinama armature, dovodi do intenzivnijeg otapanja armature.

#### **5. LITERATURA**

- [1] S. Mladenović, M. Petrović, G. Rikovski: Korozija i zaštita materijala, Hemijsko tehnološki priručnik, Rad, Beograd, 1985.
- [2] Jelić Mrčelić G.: Korozija i zaštita materijala okoliša. Digitalni udžbenik, Pomorski fakultet, Split, 2011.
- [3] Standard: JUS U.M1.044, Dodaci Betonu, Ispitivanje uticaja dodatka na koroziju armature, 1982.
- [4] F. Bikić: Uticaj hemijskog vezivanja hlorida za aluminat u procesu hidratacije cementa na koroziju čelične armature u betonu, Hem. ind. 64 (1) 47–51 (2010).
- [5] F. Bikić, M. Rizvanović, M. Cacan: Utjecaj klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu uzrokovane prodiranjem klorida i sulfata iz okoline, Kem. Ind. 62 (1-2) 1–5 (2013)
- [6] Standard: JUS U. M1. 035, Dodaci betonu, Kvalitet i provjeravanje kvaliteta, 1982.
- [7] [www.institut-git.com.ba](http://www.institut-git.com.ba)