

Utjecaj klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu uzrokovane prodiranjem klorida i sulfata iz okoline

KUI – 1/2013
Prispjelo 3. travnja, 2012.
Prihvaćeno 26. rujna, 2012.

F. Bikić,^{a*} M. Rizvanović^b i M. Cacan^c

^{a,b} Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici,
Travnička cesta 1, 72 000 Zenica, Bosna i Hercegovina

^c Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Sarajevu,
Zmaja od Bosne 33–35, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

U ovom je radu ispitan utjecaj klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu, uzrokovane prodiranjem klorida ili sulfata iz okoliša u već očvrslu cementni mort. Za ispitivanja su upotrijebljene tri klase portland-cementa, PC 35, PC 45 i PC 55. Radi navedenih ispitivanja cilindrični uzorci od cementnog morta s čeličnom armaturom u sredini tretirani su šest mjeseci na sobnoj temperaturi u sljedećim otopinama: $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2,1\%$ i $w(\text{Cl}^-) = 5\%$. Za ispitivanje brzine korozije čelične armature u cementnom mortu primijenjene su elektrokemijske tehnike potenciostatske polarizacije, i to tehnika ekstrapolacije Tafelovih krivulja i tehnika potenciodinamičke polarizacije. Ispitivanje je provedeno na potenciostatu/galvanostatu Princeton Applied Research 263A-2, programskim paketom PowerCORR[®]. Rezultati obje primijenjene tehnike pokazuju da su korozijski najaktivnije čelične armature u uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35 u obje tretirane otopine, dok su korozijski najstabilnije čelične armature u uzorcima pripremanim od cementa klase PC 55. Rezultate provedenih istraživanja treba smatrati preliminarnima. Radi davanja preporuka za gradnju armiranobetonskih konstrukcija u morskom okolišu, potrebno je provesti ispitivanja utjecaja sulfata na beton i armaturu, na betonskim i armiranobetonskim uzorcima.

Ključne riječi: *Klasa cementa, cementni mort, korozija čelične armature, kloridi, sulfati, prodiranje, polarizacija*

Uvod

Prema normiranoj specifikaciji ASTM C 150-95, obični portland-cement definiran je sljedećim opisom: "Portland-cement je hidraulički cement proizveden mljevenjem u prah klinkera koji se sastoji uglavnom od hidrauličkih kalcijevih silikata, a obično sadrži jedan ili više oblika kalcijeva sulfata, koji je dodan tijekom meljave".¹ Prema svojoj aktivnosti, koja se određuje na osnovi tlačne čvrstoće cementnog morta nakon 28 dana, cementi su podijeljeni u nekoliko klasa. Ispitivani portland-cement klase PC 35 je cement čija je tlačna čvrstoća nakon 28 dana 50,4 MPa. Uz klinker i regulator vezivanja sadrži i dodatke, elektrofilterski silicijski i kalcijev pepeo, u iznosu 27 %. Ispitivani portland-cement klase PC 45 je cement čija je tlačna čvrstoća nakon 28 dana 52,9 MPa. Uz klinker i regulator vezivanja sadrži i dodatke, elektrofilterski silicijski i kalcijev pepeo, u iznosu 25 %. Ispitivani portland-cement klase PC 55 je cement čija je tlačna čvrstoća nakon 28 dana 60,6 MPa. Sadrži najmanje 95 % klinkera uz dodatak regulatora vezivanja.

Korozija čelične armature u betonu je kompleksan elektrokemijski proces, kod kojeg brzina napredovanja ovisi o mineraloškom sastavu cementa, alkalnosti cementne paste koja je u dodiru s čeličnom armaturom, sastavu i vrsti okoline kojoj je beton izložen, poroznosti betona te o korozivnoj stabilnosti armature. Cementna pasta u fazi hidratacije, kao visokoalkalna okolina (pH od 12,5 do 13,5), pruža čeliku učinkovitu zaštitu od korozije.² U cementnom kamenu bazičnost stvaraju alkalijski oksidi i kalcijev hidroksid koji nastaje pri hidrataciji cementa. Sve dok postoji pasivna zaštita, čelik neće biti izložen koroziji. Smatra se da već pri pH $\approx 9,5$ zaštitni pasivni film željezova oksida, čvrsto vezan oko čeličnih šipki, učinkovito sprječava korozivni proces na armaturi u betonu.³

Depasivizaciju čelične armature mogu izazvati kloridi u betonu, koji mogu biti prisutni u betonu ako su uneseni preko komponenata betona ili ako iz okoline prodiru kroz pore betona.⁴ Smatra se da pri prodiranju klorida u beton posebnu ulogu ima difuzija kloridnih iona i da ona slijedi drugi Fickov zakon.⁵ U prisutnosti klorida "prirodni" pasivni sloj na površini čelične armature biva razaran kemijskom reakcijom klorida i oksida željeza, također i kod pH $\approx 9,5$, čime reaktanti (O_2 i H_2O) imaju izravan pristup armaturi i proces korozije započinje.³ Važno je napomenuti da koro-

* Autor za dopisivanje: doc. dr. Farzet Bikić
e-pošta: farzet.bikic@famm.unze.ba, farzet_bikic@yahoo.com

ziju na čeličnoj armaturi u betonu mogu izazvati samo slobodni kloridi, tj. kloridi koji nisu vezani ili apsorbirani produktima hidratacije.^{2,6} Osim klorida, veoma štetno djelovanje po čeličnu armaturu, izazivajući koroziju betona, uzrokuju sulfati. Napad sulfata na beton je složen proces koji uključuje niz različitih kemijskih reakcija. Postoje uglavnom dva reakcijska mehanizma napada sulfata na beton, a to su nastajanje kalcijeva sulfoaluminata hidrata (etringita) i gipsa.⁷ Pri nastajanju cementnog kamena u cementnom mortu ili betonu pri djelovanju otopine sulfata, sulfati, koji duboko prodiru u cementni kamen, reagiraju na svom putu s kalcijevim aluminatom hidratom gradeći novi spoj: kalcijev sulfoaluminat hidrat (etringit). Ako se sulfat ne nalazi u obliku gipsa, već u obliku natrijeva sulfata, magnezijeva sulfata ili druge soli, proces najprije teče uglavnom u smjeru nastajanja gipsa, a po stvaranju gipsa u pravcu nastajanja etringita. Etringit, čija je gustoća $1,73 \text{ g cm}^{-3}$ i molarna masa 1326 g mol^{-1} , za razliku od kalcijeva aluminata hidrata od kojeg nastaje, a čija je gustoća $2,52 \text{ g cm}^{-3}$ i molarna masa 378 g mol^{-1} , uzrokuje enormno povećanje obujma betona. Povećanje obujma čvrste faze uzrok je pojavi naprezanja, napetosti na kontaktima i širenju betona.⁸ Napad sulfata na beton u velikoj mjeri utječe na karakter procesa elektrokemijske korozije čelične armature. Sulfati narušavaju osnovnu zaštitu armature, alkalnost betona, a širenjem betona omogućava se još i brži dotok agensima korozije na površinu armature.⁹

Eksperimentalni dio

Uzorci za ispitivanja brzine korozije na čeličnoj armaturi u cementnom mortu, izazvane prodiranjem klorida ili sulfata iz okoline u već očvrslu beton, cilindrična su tijela od cementnog morta, odnosa masa cementa i agregata 1 : 3, dimenzija $80 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, a u sredini je ugrađena čelična armatura promjera 6 mm. Cementni se mort pripremao s destiliranom vodom, pri čemu je primijenjen vodocementni faktor 0,6 (masa vode/masa cementa). Mort se u slojevima ručno ugrađivao u kalup u čiju sredinu je stavljena čelična armatura. Prije ugradnje u cementni mort površina čelične armature očišćena je brusnim papirima oznake zrna 200, 500 i 600, odmašćena acetonom, isprana etil-alkoholom, pa destiliranom vodom, a gornji i donji dio armature je premazan, izoliran lakom. Površina čeličnih armatura u cementnom mortu izložena koroziji iznosila je po 9 cm^2 . Za navedena ispitivanja upotrijebljene su tri klase portland-cementa, PC 35, PC 45 i PC 55. Mineraloški sastavi osnovnih cementnih minerala upotrijebljenih portland-cemenata, a to su trikalcijev silikat (C_3S), dikalcijev silikat (C_2S), trikalcijev aluminat (C_3A) i tetrakalcijev aluminat (C_4AF), prikazani su u tablici 1.

Tablica 1 – Mineraloški sastavi portland-cemenata

Table 1 – Mineralogical compositions of portland cements

	w(cementni mineral) w(cement mineral)			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
PC 55	0,639	0,144	0,037	0,149
PC 45	0,624	0,107	0,060	0,131
PC 35	0,658	0,064	0,072	0,094

Mineraloške analize cemenata provedene su rendgenskim difraktometrom Siemens D5000. Za ispitivanje brzine korozije upotrijebljena je glatka čelična armatura sljedećeg kemijskog sastava: $w(\text{C}) = 0,08 \%$, $w(\text{Si}) = 0,12 \%$, $w(\text{Mn}) = 0,32 \%$, $w(\text{P}) = 0,019 \%$, $w(\text{S}) = 0,016 \%$, $w(\text{Cr}) = 0,03 \%$, $w(\text{Cu}) = 0,07 \%$, $w(\text{Ni}) = 0,04 \%$, $w(\text{Mo}) = 0,01 \%$. Agregat upotrijebljen za pripremu cementnog morta je standardni pijesak DIN EN 196-1. Uzorci pripremljeni u kalupima odmah su stavljeni u sušnicu u kojoj je relativna vlažnost iznosila najmanje 90 %, na sobnoj temperaturi. Dimenzije pripremljenih uzoraka kao i postupak njihove pripreme propisuje standard HRN U.M1.044.¹⁰ Nakon 24 sata držanja u sušnici uzorci su vađeni iz kalupa i potapani u sljedeće otopine: $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2,1 \%$, $w(\text{Cl}^-) = 5 \%$. Za pripremanje navedenih otopina upotrijebljeni su natrijev klorid p.a. i natrijev sulfat p.a. U navedene otopine uzorci su potapani do 2/3 svoje visine i ostavljeni u kontaktu s elektrolitom na sobnoj temperaturi sljedećih šest mjeseci do ispitivanja. Ispitivanje brzine korozije čelične armature u cementnom mortu provedeno je u korozijskoj ćeliji koja sadrži tri elektrode, potenciostat/galvanostatom Princeton Applied Research 263A-2, programskim paketom PowerCORR®. Radnu elektrodu predstavlja ispitivani uzorak, odnosno čelična armatura u cementnom mortu. Druga elektroda je referentna elektroda, čiji potencijal ostaje konstantan tijekom eksperimenta. Kao referentna elektroda u ovim ispitivanjima upotrijebljena je zasićena kalomel-elektroda, SCE. Treća elektroda je pomoćna ili protuelektroda, čija je uloga da provodi električnu struju od strujnog izvora kroz otopinu do radne elektrode. Kao pomoćne elektrode u ovim ispitivanjima upotrijebljene su dvije grafitne elektrode. Za ispitivanje brzine korozije čelične armature u cementnom mortu upotrijebljene su elektrokemijske tehnike potenciostatske polarizacije – ekstrapolacija Tafelovih krivulja i potenciodinamička polarizacija. Ekstrapolacijom Tafelovih krivulja obavljeno je skeniranje potencijala radne elektrode $\pm 250 \text{ mV}$ u odnosu na potencijal otvorenog kruga, brzinom $0,5 \text{ mV s}^{-1}$. Potenciodinamičkom polarizacijom provedeno je skeniranje potencijala radne elektrode u anodnom području, od potencijala otvorenog kruga do 250 mV , jer je to područje koje je zanimljivo sa stajališta korozije na armaturi, brzinom $0,5 \text{ mV s}^{-1}$. Eksperimentalne uvjete snimanja polarizacijskih dijagrama navedenim tehnikama kao i područja potencijala koja se pretražuju definiraju upotrijebljeni programski paket PowerCORR®. Navedeni softver je kompatibilan sa standardima ASTM-a, koji određuju ispitivanje korozije, uglavnom čelika, elektrokemijskim polarizacijskim metodama, a to su ASTM G5, ASTM G59, ASTM G61, ASTM G 82. Interpretacija rezultata ispitivanja korozije na čeličnoj armaturi u cementnom mortu primijenjenim tehnikama provedena je postupkom koji propisuje standard ASTM G3-89.¹¹

Rezultati i rasprava

Rezultati ispitivanja utjecaja klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu prikazani su na slikama 1 – 4 i u tablici 2. Jedan od najvažnijih parametara ocjene intenziteta korozije metala je gustoća struje korozije. Položaji gustoća struje korozije ispitivanih uzoraka mogu se odrediti s Tafelovih krivulja, slike 1 i 2. Povlačenjem normale iz presjeka tangenti katodne i anodne polarizacijske krivulje na os apscisu dobiva se logaritam

gustoće struje korozije. U tablici 2 prikazani su podaci o gustoćama struje korozije, i_{cor} , i potencijalima otvorenog kruga, E_{ocp} , dobiveni primjenom tehnike ekstrapolacije Tafelovih krivulja. Uspoređujući vrijednosti gustoća struje korozije radnih elektroda, tj. uzoraka pripremanih od cementa klase PC 35, PC 45 i PC 55 i tretiranih šest mjeseci u otopinama sulfata i klorida (slike 1 i 2, tablica 2), rezultati pokazuju da su korozijski najstabilnije čelične armature u uzorcima pripremanim od cementa klase PC 55, a da su korozijski najaktivnije armature u uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35. Da su korozijski najaktivnije armature u uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35, dokaz su i potencijali otvorenog kruga. Potencijal otvorenog kruga određuje se povlačenjem horizontale s mjesta spajanja anodne i katodne polarizacijske krivulje na Tafelovu dijagramu na os ordinatu. Potencijali otvorenog kruga najmanji su za uzorke pripremane od cementa klase PC 35 u obje tretirane otopine (slike 1 i 2, tablica 2).

Druga primijenjena tehnika ocjene brzine korozije na čeličnoj armaturi u cementnom mortu, tehnika potenciodinamičke polarizacije, dala je iste ovisnosti kao i prethodna. Rezultati ispitivanja utjecaja klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu navedenom tehnikom prikazani su na slikama 3 i 4.

Usporedbom nagiba krivulja anodne polarizacije na dijagramima gustoća struje/potencijal može se ocijeniti korozijska aktivnost na radnim elektrodama. S obzirom na to da je gustoća struje proporcionalna koncentraciji korozijskih produkata, krivulja s najvećim nagibom pokazuje najveću korozijsku aktivnost.¹² Uspoređujući anodne polarizacijske krivulje radnih elektroda tretiranih u obje otopine, slike 3 i 4, vidi se da je intenzitet korozije najveći na radnim elektrodama pripremanim od cementa klase PC 35, a najmanji na radnim elektrodama pripremanim od cementa klase PC 55. Na temelju izloženog može se zaključiti da je primjenom obiju tehnika ocjene brzine korozije na čeličnoj armaturi u cementnom mortu najveća brzina korozije zabi-

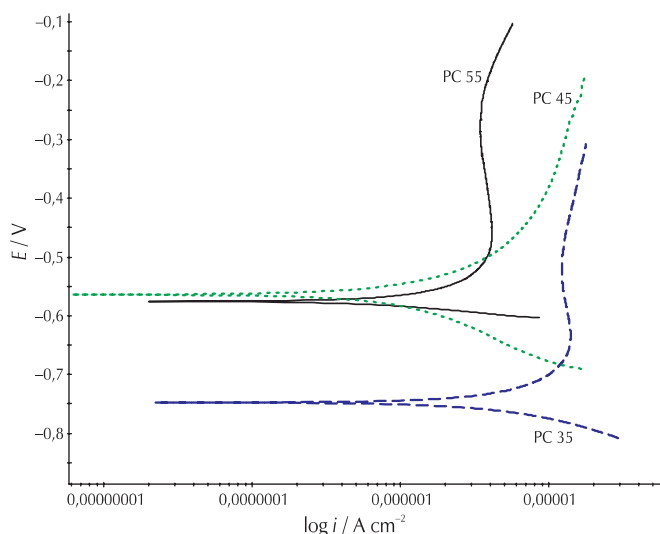
Tablica 2 – Gustoće struje korozije i potencijali otvorenog kruga ispitivanih uzoraka

Table 2 – Corrosion current densities and open-circuit potentials of the tested samples

Klasa cementa Class of cement	Otopine za tretiranje uzoraka Solutions for treatment of samples			
	$w(\text{SO}_4^{2-}) = 2,1 \%$		$w(\text{Cl}^-) = 5 \%$	
	$i_{cor} / \mu\text{A cm}^{-2}$	E_{ocp} / mV	$i_{cor} / \mu\text{A cm}^{-2}$	E_{ocp} / mV
PC 55	2,55	-575,7	5,11	-526,1
PC 45	17,01	-564,2	22,53	-628,2
PC 35	17,79	-747,9	23,9	-701,2

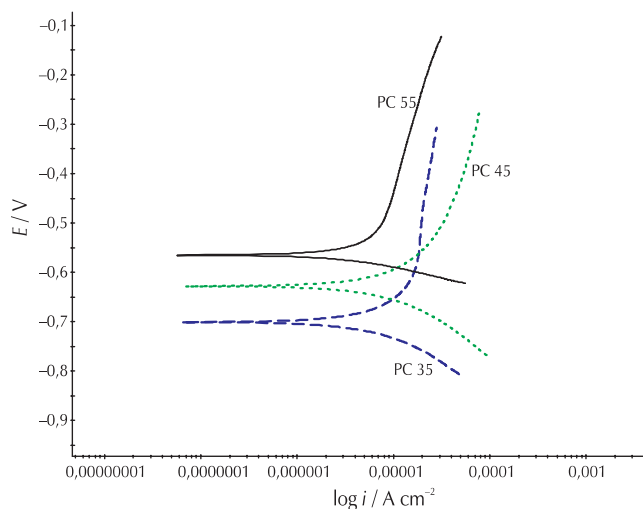
lježena na uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35, a da je najmanja brzina korozije zabilježena na uzorcima pripremanim od cementa klase PC 55.

Cement klase PC 55 čisti je klinker, za razliku od PC 45, a pogotovo PC 35, kod kojih su u određeni dodaci (elektrofilterski silicijski i kalcijski pepeo) smanjili sadržaj čistog klinkera. Smanjenjem ukupne količine čistog klinkera smanjuje se i količina nastalog $\text{Ca}(\text{OH})_2$. To znači da se time može brže narušiti visoki pH, koji daje $\text{Ca}(\text{OH})_2$, kod cementnog morta pripremljenog od cementa klase PC 35 u odnosu na mort pripremljen od cementa klase PC 55. Poznato je da smanjenjem pH cementnog morta dolazi do aktiviranja korozijskih procesa na čeličnoj armaturi. Dalje, smanjenjem količine nastalog $\text{Ca}(\text{OH})_2$, njegovim izluživanjem, beton postaje porozan, čime agensi korozije lakše dopijevaju do čelične armature. Kako se može očekivati da je količina $\text{Ca}(\text{OH})_2$ najmanja u uzorcima pripremljenim od cementa klase PC 35, jer sadrže najmanje čistog klinkera koji daje $\text{Ca}(\text{OH})_2$, može se očekivati i da je stupanj izluživanja, a samim tim i poroznost uzoraka pripremanih od navedenog cementa, najveća. To se moglo uočiti i



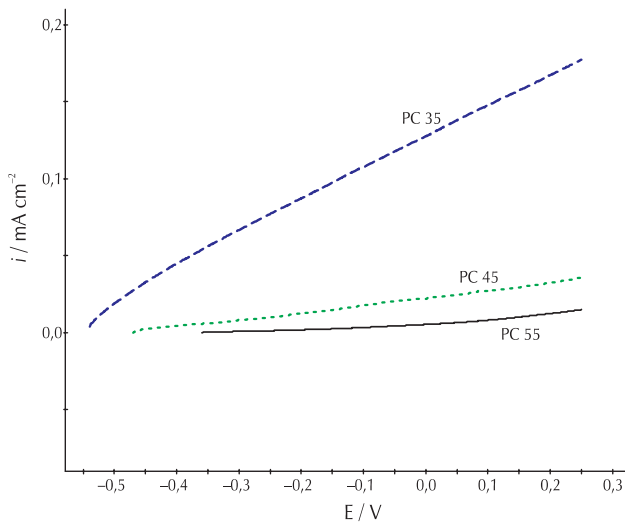
Slika 1 – Tafelove krivulje uzoraka tretiranih u otopini sulfata, $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2,1 \%$

Fig. 1 – Tafel curves of samples treated in sulphate solution, $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2.1 \%$



Slika 2 – Tafelove krivulje uzoraka tretiranih u otopini klorida, $w(\text{Cl}^-) = 5 \%$

Fig. 2 – Tafel curves of samples treated in chloride solution, $w(\text{Cl}^-) = 5 \%$



Slika 3 – Anodne potenciodinamičke polarizacijske krivulje uzoraka tretiranih u otopini sulfata, $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2,1\%$

Fig. 3 – Anodic potentiodynamic polarization curves of samples treated in sulphate solution, $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2.1\%$

vizualno, promatranjem uzoraka nakon šestomjesečnog tretiranja u otopinama s $w(\text{klorid}) = 5\%$. Najviše korozivskih produkata koji su s površine čelične armature difundirali kroz cementni mort na vanjsku površinu uzorka, obojavši i otopinu karakterističnom bojom hrđe, zabilježeno je upravo na uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35. Visoku otpornost cementnog morta pripremljenog od cementa klase PC 55, osobito u sulfatima, osigurava mineraloški sastav navedenog cementa. Najniži sadržaj trikalcijeva aluminata, $w = 3,7\%$, te najviši sadržaj dikalcijeva silikata, $w = 14,4\%$, u odnosu na ostala dva cementa, osigurava otpornost cementnog morta pripremljenog od cementa klase PC 55 na sulfatnu koroziju, što izravno kao posljedicu ima i smanjenje korozivskih aktivnosti na čeličnoj armaturi.

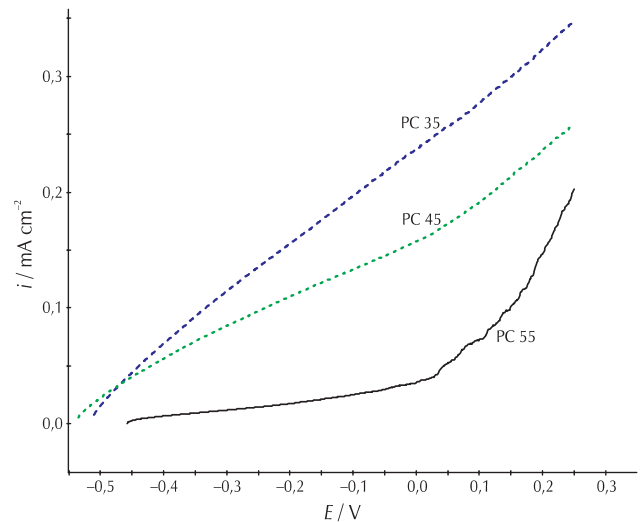
Zaključak

Ispitujući utjecaj klase portland-cementa na brzinu korozije čelične armature u cementnom mortu uzrokovano prodoranjem klorida ili sulfata iz okoliša u već očvrslu beton, izvodi se sljedeći zaključak: primjenom dviju tehnika ocjene brzine korozije na čeličnoj armaturi u cementnom mortu najveća brzina korozije je zabilježena na uzorcima pripremanim od cementa klase PC 35, a najmanja na uzorcima pripremanim od cementa klase PC 55.

Rezultate provedenih istraživanja treba smatrati preliminarnima. Za davanje preporuka za gradnju armiranobetonskih konstrukcija u morskom okolišu potrebno je provesti ispitivanja utjecaja sulfata na beton i armaturu, na betonskim i armiranobetonskim uzorcima.

ZAHVALA

Autori zahvaljuju Ministarstvu obrazovanja i nauke Federacije Bosne i Hercegovine, koje je financiralo ovaj rad putem znanstvenoistraživačkog projekta, Odluka br. 05-39-3949/10, od 30. 9. 2010. godine.



Slika 4 – Anodne potenciodinamičke polarizacijske krivulje uzoraka tretiranih u otopini klorida, $w(\text{Cl}^-) = 5\%$

Fig. 4 – Anodic potentiodynamic polarization curves of samples treated in chloride solution, $w(\text{Cl}^-) = 5\%$

Popis simbola i kratica

List of symbols and abbreviations

E	– potencijal, V – potential, V
E_{ocp}	– potencijal otvorenog kruga, V – open-circuit potential, V
i	– gustoća struje, A cm^{-2} , mA cm^{-2} – current density, A cm^{-2} , mA cm^{-2}
i_{cor}	– gustoća struje korozije, A cm^{-2} , mA cm^{-2} – corrosion current density, A cm^{-2} , mA cm^{-2}
w	– maseni udjel, 1, % – mass fraction, 1, %
C_2S	– dikalcijev silikat, Ca_2SiO_4 , $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – dicalcium silicate, Ca_2SiO_4 , $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
C_3A	– trikalcijev aluminat, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ – tricalcium aluminate, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
C_4AF	– tetrakalcijev alumoforit, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$, $2\text{CaO} \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$ – calcium aluminoferrite, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$, $2\text{CaO} \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$
SCE	– zasićena kalomel-elektroda – saturated calomel electrode

Literatura

References

1. A. Đureković, Cement, cementni kompozit i dodaci za beton, IGH – Školska knjiga, Zagreb, 1996., str. 1.
2. F. Bikić, Doktorska disertacija, Uticaj hemijskog vezivanja hlorida za aluminat u procesu hidratacije cementa na koroziju čelične armature u betonu, Fakultet za metalurgiju i materijale Univerziteta u Zenici, 2008., str. 36, 39.
3. J. Francišković, Zaštita armature od korozije u armiranobetonskim konstrukcijama, *Građevinar* **56** (2004) 743–748.

4. H. Hirao, K. Yamada, H. Takahashi, H. Zibara, Chloride binding of cement estimated by isotherms of hydrates, *J. Adv. Conc. Technol.* **3** (2005) 77.
5. E. P. Nielsen, M. R. Geiker, Chloride Diffusion in Partially Saturated Cementitious material, *Cement Concrete Res.* **33** (2003) 133–138.
6. F. Barberon, V. Baroghel-Bouny, H. Zanni, B. Bresson, J. B. Cailieriec, L. Malosse, Z. Gan, Interactions between chloride and cement-paste materials, *Magn. Reson. Imaging* **23** (2005) 267–272.
7. J. Prasad, D. K. Jain, A. K. Ahuja, Factors influencing the sulphate resistance of cement concrete and mortar, *Asian Journal of Civil Engineering* **7**(3) (2006) 259–268.
8. S. Mladenović, M. Pavlović, D. Stanojević, Korozija i zaštita betona i armiranog betona, *SISZAM*, Beograd, 2008., str. 124–125.
9. M. Pašić, Beton, kemija, struktura i osobine, Fakultet za metalurgiju i materijale Univerziteta u Sarajevu, Zenica, 2001., str. 78.
10. Norma *JUS U. M1. 044*, Dodaci betonu, Ispitivanje utjecaja dodatka na koroziju armature, 1982.
11. Norma *ASTM G3-89*, Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.
12. F. H. Bikić, Uticaj hemijskog vezivanja hlorida za aluminat u procesu hidratacije cementa na koroziju čelične armature u betonu, *Hem. Ind.* **64**(1) (2010) 47–51.

SUMMARY

Influence of Portland Cement Class on the Corrosion Rate of Steel Reinforcement in Cement Mortar Caused by Penetrating Chloride and Sulfate from the Environment

F. Bikić,^{a} M. Rizvanović,^b and M. Cacan^c*

The influence of portland cement class on the corrosion rate of steel reinforcement in cement mortar caused by penetrating chloride or sulfate from the environment in already hardened cement mortar is investigated in this paper. Three classes of portland cement have been used for the tests, PC 35, PC 45 and PC 55. Cylindrical samples of cement mortar with steel reinforcement in the middle were treated 6 months at room temperature in the following solutions: $w(\text{SO}_4^{2-}) = 2.1\%$ and $w(\text{Cl}^-) = 5\%$. Two techniques have been used for testing corrosion rate of steel reinforcement in cement mortar: Tafel extrapolation technique and potentiodynamic polarization technique. Investigations were conducted by potentiostat/galvanostat Princeton Applied Research 263A-2 with the software PowerCORR[®]. The results of both techniques indicate the most active corrosion of steel reinforcement in the samples prepared from cement PC 35 in both treated solutions, while the lowest corrosion of the steel reinforcement was observed in cement samples prepared from cement PC 55. This conclusion was drawn by analyzing the results shown in Figs. 1–4. Comparing corrosion current density of samples, working electrodes, Figs. 1 and 2, Table 2, the results show the most stable corrosion of steel reinforcement in samples prepared from cement PC 55, and the most active corrosion in samples prepared from cement PC 35. The most active corrosion in samples prepared from cement PC 35 is evident from the positions of the open circuit potentials whose values are less for samples prepared from cement PC 35 in both the treated solution, Figs. 1 and 2, Table 2. Comparison of the anodic polarization curves of the working electrodes in both the treated solutions, Figs. 3 and 4, also shows that the intensity of corrosion is the largest for the working electrodes prepared from cement PC 35 and the smallest for the working electrodes prepared from cement PC 55. Investigation results should be considered as preliminary. To make the recommendations for the construction of reinforced concrete structures in the maritime environment the impact of sulphates on concrete and steel bars should be investigated.

^{a,b} Faculty for Metallurgy and Materials Science,
University of Zenica, Travnička cesta 1, 72 000 Zenica,
Bosnia and Herzegovina

^c Faculty of Science, University of Sarajevo,
Zmaja od Bosne 33–35, 71 000 Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina

Received April 3, 2012
Accepted September 26, 2012