Zoran Avramović[*1], *Aca Živić*[2],
Tihomir Milošević[2], *Vlada Marković*[3]

[1]*Topionica i rafinacija bakra Bor, RTB Bor, Bor, Srbija,*
[2]*Izogradnja plus, Niš, Srbija,* [3]*COMTECH Beograd, Srbija*

Stručni rad
ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585
UDC: 620.193:691.32:669.347
doi: 10.5937/zasmat1903287A

Zastita Materijala 60 (3)
287 - 296 (2019)

Korozija i zaštita betona u pogonu za proizvodnju katodnog bakra

IZVOD

Najkompleksniji vid korozije u pogonima Topionice i rafinacije bakra u Boru prisutan je u pogonu Elektrolitičke rafinacije bakra, gde rastvor bakar(II)-sulfata izaziva koroziju betona i betonske armature kao i primenjenih čeličnih materijala. Posebno su izraženi procesi korozije i destrukcije betonskih površina. Korozija betonske armature prepoznaje se kao glavni uzrok degradacije betonske strukture u mnogim slučajevima, kako pod uticajem sulfata, tako i pod uticajem hloridnih jona. U tom pogledu i sistem zaštite zahteva poznavanje korozione problematike, kako čeličnih, tako i betonskih površina. Sistem zaštite koji se primenjuje u pogonima elektrolize bakra sastoji se od polaganja kiselootpornih pločica u epoksidnu masu, na prethodno prajmerisanu betonsku podlogu. Ovakav sistem zaštite pruža trajnost zaštite od minimum 10 godina.
U ovom radu su prezentovani problemi korozije betonskih konstrukcija koji se svakodnevno javljaju u pogonima Elektrolitičke rafinacije bakra u Boru i metode zaštite od korozije.
Ključne reči: *elektrolitička rafinacija bakra, beton, korozija, zaštita, epoksidne mase.*

1. UVOD

Kvalitet betona u agresivnoj sredini, kakva je hala Elektrolitičke rafinacije bakra u Boru, ima značajnu ulogu u nesmetanom procesu proizvodnje bakra. U zavisnosti od agresivnosti sredine, projektuje se i odgovarajuća zaštita betona. Izuzimajući najranije periode zaštite betonskih površina, zaštita se uglavnom izvodila polaganjem kiselootpornih pločica u odgovarajuće mase. Na ovom polju vršen je veliki broj laboratorijskih i poluindustrijskih ispitivanja odgovarajučih masa i na osnovu dobijenih rezultata određivane su one koje će biti i primenjene. Pojavom epoksidnih, poliestarskih, katran-epoksidnih i poliuretanskih sistema zaštite, sam vid zaštite betonskih površina dobija na kvalitetu. Treba napomenuti da i sama tehnološka disciplina pri procesu vođenja elektrolitičkog taloženja katodnog bakra igra izuzetnu ulogu u trajanju sistema zaštite betona.

Pojava kiselootpornih materijala na bazi epoksidnih smola, dovela je do njihove intenzivne primene na polju zaštite betonskih površina. Takav sistem zaštite našao je primenu i u pogonima Elektrolitičke rafinacije bakra u Boru.

*Autor za korespondenciju: Zoran Avramović
E-mail: zavramovic@ptt.rs
Rad primljen: 22. 10. 2018.
Rad revidiran: 25. 02. 2019.
Rad prihvaćen: 10. 04. 2019.
Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

Agresivnost sredine, izražena velikom kiselošću rastvora bakar(II)-sulfata, prisustvom hloridnih jona i visokom temperaturom, uključujući i mogućnost mehaničkog oštećenja betonskih površina padom anode ili katode težine preko 200 kilograma sa visine od preko pet metara, dovela je do toga da se iznađe mogućnost kvalitetne zaštite koja bi omogućila nesmetan rad pogona. Na taj način, došlo se do izbora epoksidnih masa i kiselootpornih pločica koji formiraju zaštitni sistem na betonskim površinama.

U delu rada koji sledi, prikazan je način na koji je izvodena sanacija dela podova u Elektrolizi bakra, opis postupka, kao i opis primenjenih materijala.

2. SASTAV BETONA

2.1. Osnovni pojmovi

Tri glavna sastojka su potrebna za spravljanje betona [1,2]:

- agregat
- voda
- vezivo (cement)

U zavisnosti od potreba industrije, danas se proizvodi veliki broj različitih vrsta betona: standardni beton, teški beton, laki beton, svež beton, očvrsli beton, itd.

2.1.1. Agregat za beton

Agregat igra značajnu ulogu u vezi trajnosti betona, što je uslovljeno odvijanjem alkalno-

agregatnih reakcija u očvrslom betonu [1,2]. Agregati se u evropskom standardu definišu kao EN-12620, a po svom poreklu mogu biti prirodni (potiču iz mineralnih nalazišta nastalih taloženjem), nastali kao proizvod mešavine agregata, reciklirani i kao filer (kameno brašno) [2]. Pogodan agregat za spravljanje betona je onaj materijal koji ne ometa očvršćavanje cementa, koji dovoljno čvrsto prijanja za očvrslu cementnu pastu, te koji ne umanjuje otpornost i kvalitet betona u bilo kom pogledu. Od kvaliteta materijala upotrebljenog za agregate, zavisi njegova koroziona otpornost, što se ne može izolovano razmatrati od korozione otpornosti betona, koja, između ostalog, zavisi i od hemijskih dodataka betonu.

2.1.2. Voda za spravljanje betona

Mogućnost primene različitih tipova vode za pripremu betona, usklađuje se sa evropskim standardom EN-1008, u kome se navode sledeće vrste voda: voda za piće, reciklirana voda (korišćena u betonskoj industriji), podzemna voda, prirodna površinska i voda iz industrijskih postrojenja, morska ili slana voda (koja se koristi za izradu nearmiranog betona), otpadna voda [1,2]. Da bi se određena voda koristila za izradu betona, potrebno je izvršiti njenu hemijsku analizu, osim za pijaću vodu. pH-vrednost vode za beton ne sme biti manja od 4.

2.1.3. Veziva

Vezivo koje se koristi za proizvodnju betona je cement i sastoji se od: krečnjaka, laporca i gline, koji se mešaju u određenom odnosu. Evropski standard za cement ENV 197-1 (sastav, specifikacije i kriterijumi usklađenosti), cemente deli u pet glavnih tipova: CEM-I (portland cement), CEM-II (portland-kompozitni cement), CEM-III (metalurški cement), CEM-IV (pucolanski cement) i CEM-V (kompozitni cement). Navedene kategorije cementa [2] mogu sadržavati i sporedne komponente, kao što su: prirodni neorganski mineralni materijali koji nastaju proizvodnjom klinkera, silikatnu prašinu, leteći pepeo, zguru visokih peći, krečnjak, itd. S obzirom na povećan sadržaj SO_4^{2-}-jona u pogonu elektrolize bakra, preporučuje se primena sulfatnootpornog portland cementa, sulfatnootpornog metalurškog cementa, aluminatnog cementa ili supersulfatnog cementa [3].

3. NEKI OBLICI KOROZIJE BETONA

U zavisnosti od načina i mesta primene betona, prisutni su i različiti oblici korozije. Tako postoje sledeći vidovi korozije betona: elektrohemijska korozija i hemijska korozija (alkalno-agregatna korozija, kiselinska korozija, sulfatna korozija, korozija koja nastaje dejstvom morske vode i hlorida), fizička korozija, mehanička korozija i biološka korozija [4,5,6]. Pod korozijom betona podrazumeva se degradacija betona i betonskih konstrukcija izloženih različitim agresivnim delovanjima.

S obzirom da se pri elektrolizi bakra kao radni elektrolit koristi kiseli rastvor bakar(II)-sulfata, uz dodatak hloridnih jona, u ovom delu rada posebno će biti razmatrane elektrohemijska i kiselinsko-sulfatna korozija. Hemijski sastav radnog elektrolita, za elektrolizu bakra, je: 1.7M H_2SO_4, 0.5M $CuSO_4$, 35mg/dm^3 Cl^--jona, tiokarbamid i želatin, uz pH-vrednost manju od 2 i temperaturu elektrolita od 59^{0}C.

3.1. Elektrohemijska korozija

Pod elektrohemijskom korozijom betona, podrazumeva se korozija armature u betonu. Na čelicima ugrađenim u beton korozija se manifestuje formiranjem korozionih produkata koji imaju 2-4 puta veću zapreminu od čelika, bez dobrih mehaničkih osobina. Korozija, takođe, izaziva formiranje tačaka ili otvora na površini armature, smanjujući njegovu jačinu kao rezultat smanjenja poprečnog preseka. U armiranom betonu, zaštitu armaturne konstrukcije obavlja sam beton [3]. Za izradu armature koriste se ugljenični i nisko legirani čelici. Čelična armatura betona obezbeđuje njegovu strukturnu čvrstinu. Kada armatura korodira, formirani produkti korozije dovode do gubitka veze između čelika i betona, a zatim i njihovog razdvajanja i drugih oštećenja. Čelik u betonu obično ne podleže koroziji jer je u pasivnom stanju. Takođe, armirani beton se često koristi u različitim sredinama, pa čak i u prisustvu morske vode[7].

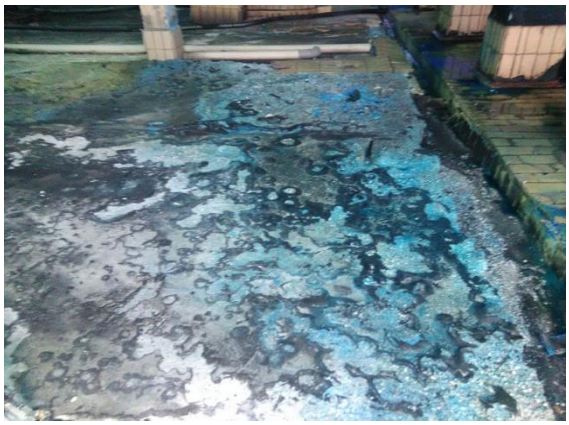
Karbonizacija čelika je drugi slučaj korozije čelika u betonu. Ovaj proces se ubrzava ako se u zaštitnom sloju betona nalaze naprsline koje olakšavaju dotok vazduha u dubinu sloja [3]. Na uzorcima betona obične gustine karbonizovan sloj se pojavljuje na površini, a sa vremenom se njegova debljina povećava. Pod ovim uslovima čelik se ne nalazi u pasivnom stanju i njegova brzina korozije se povećava. Brzina korozije izazvana karbonizacijom je sporija od korozije izazvane hloridnim jonima.

3.2. Kiselinsko-sulfatna korozija

Kao što je već napomenuto, u pogonu Elektrolitičke rafinacije bakra, elektrolit koji se koristi, po sastavu je kiseli rastvor bakar(II)-sulfata, odnosno rastvor Cu^{2+}-jona i sumporne kiseline. Sumporna kiselina je snažan korozioni agens [8], kako metala, tako i nemetala i ovde će biti prikazano kako sulfatni jon utiče na koroziju betona. Na slikama (1, 2, 3 i 4) prikazani su neki delovi pogona izloženih dejstvu kiselog rastvora bakar(II)-sulfata:

Slika 1. Dejstvo kiselog rastvora na pločice

Figure1. Effect of acidic solution to tiles



Slika 2. Dejstvo kiselog rastvora na beton

Figure 2. Effect of acidic solution to concret

Slika 3. Izgled nosećih stubova nakon dejstva radnog elektrolita

Figure 3. The appearance of the pillars after the effect of working electrolyte

Hemijske reakcije koje se javljaju kod sulfatne korozije betona najčešće su različite, što zavisi od tipa sulfata.

Slika 4. Izgled kanala za odvod elektrolita

Figure 4. The appearance of channel for the outlet of electrolyte

Najčešće se radi o reakciji nastalog kalcijum-sulfata sa hidratisanim kalcijum-aluminatom (C_3AH_6), pri čemu se formira jedinjenje kalcijum-hidrosulfoaluminat ("etringit"). Ukoliko sulfat potiče od neke soli, kao što su natrijum-sulfat, magnezijum-sulfat i druge, proces teče preko obrazovanja gipsa, na šta se nadovezuje formiranje "etringita", što se može predstaviti i sledećom jednačinom [8]:

$$3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 3CaO \cdot Al_2O_3 + 26H_2O =$$
$$= 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Uvećanje zapremine produkata reakcije ide i do 55% pa dovodi do pojave naprezanja, širenja betona i pucanja. U pogonu elektrolize bakra poseban problem je slučaj kada pod dejstvom kiselog rastvora bakar(II)-sulfata, dođe do njegovog prodiranja u unutrašnjost betona, a zatim u periodu sušenja do pojave kristalizacije, što dovodi do dodatnih napona u unutrašnjosti betona i njegovog pucanja (slike 5 i 6):

Slika 5. Pucanje betonske ploče pod dejstvom kristalizacije bakar-sulfata

Figure 5. Shoveling of concrete block under the influence of crystallization of copper sulfate

Slika 6. Pucanje pločica pod dejstvom kristalizacije bakar-sulfata

Figure 6. Shoveling of tiles under the influence of crystallization of copper sulfate

Pucanje i raspadanje betona ne mora uvek biti jedini proces njegovog propadanja, već se proces korozije može manifestovati i "pretvaranjem" njegovih komponenti u želatinoznu masu. U takvom obliku, beton nema nikakvu zaštitnu niti tražene konstrukcione osobine.

4. ZAŠTITA BETONSKE ARMATURE OD KOROZIJE

Zaštita armature u betonu ima veliki značaj za trajnost betonske konstrukcije, posebno ako se ista primenjuje u agresivnoj sredini. Prva odbrana betonske armature od korozije je kvalitetan beton i njegova dovoljna gustina oko armature. Kvalitet betona određuje se na osnovu vodeno-cementnog faktora (w/cm) koji treba da predstavlja dovoljnu vrednost da uspori prodiranje hloridnih jona i razvoj karbonizacije. Odnos w/cm treba biti manji od 0.5 da bi se usporio proces karbonizacije i manji od 0.4 da umanji prodiranje Cl^--jona kroz beton. Betoni sa malim w/cm faktorom mogu se proizvesti povećanjem sadržaja cementa, smanjenjem sadržaja vode ili upotrebom većih količina pepela, šljake ili drugih cementnih dodataka [9]. Drugi postupak za dobijanje kvalitetnog betona je njegova aeracija, kojom se sprečava njegovo zamrzavanje. Još od 1960. godine, kada je prvi put prepoznata korozija armature u betonu, mnoge metode su korišćene u nameri prevencije korozije armature. Te metode mogu se svrstati u četiri različite kategorije, na osnovu načina zaštite [6,10,11]:

a. Alternativna (preventivna) armatura, koja uključuje: materijal koji obavlja izolaciju čelika u betonu i predstavlja barijeru za hloridne jone, materijal koji galvanski štiti armaturu i materijal koji ima daleko veću korozionu otpornost od konvencionalnih armaturnih čelika. U alternativne materijale pripadaju: epoksidni premazi, primena nerđajućih čelika, galvanski čelik, kao i nemetalna armatura (karbonska vlakna).
b. Metoda barijere, koja štiti armature od korozije uklanjanjem vlage, kiseonika i hloridnih jona iz okruženja armature.
c. Elektrohemijska metoda, koja štiti betonsku armaturu upotrebom struje čak i u prisustvu hloridnih jona.
d. Metoda primene korozionih inhibitora čija je uloga da povećavaju otpornost pasivnog filma na čeliku tako što formirajući zaštitnu barijeru, povećavaju stepen zaštite od dejstva hlorida, blokiraju dejstvo i pristup kiseonika. U svojstvu inhibitora korozije čelika u betonu mogu se koristiti nitrati, hromati, benzoati, borati [3]. Efikasnost inhibitora zavisi od pH-vrednosti sredine, na osnovu čega se i vrši njihov odabir.

5. ZAŠTITA BETONA OD KOROZIJE

Osnovni načini zaštite betona od korozije zasnivaju se na [3]:

- Izmeni strukture betona.
- Sprovođenju profilaktičkih mera kojima se smanjuje agresivnost spoljašnje sredine.
- Primeni zaštitinih i izolacionih prevlaka.
- Elektrohemijskoj zaštiti.
- Primeni inhibitora korozije.

U zavisnosti od agresivnosti sredine, proizvodnog procesa i uslova eksploatacije primenjivaće se i odgovarajući sistemi zaštite betona od korozije, uključujući i armaturu.

Izmena strukture betona podrazumeva povećanje njegove gustine, nepropustljivosti i hemijske otpornosti, što se ostvaruje uvođenjem površinski aktivnih supstanci (perezit, oleinska kiselina, glukoza), neorganskih jedinjenja i polimerizovanih materijala.

U profilaktičke mere ubraja se ugradnja aparata za smanjenje vlažnosti okolnog vazduha.

Primena zaštitnih i izolacionih prevlaka uslovljena je njihovom hemijskom otpornošću, inertnošću prema betonu i dovoljnom gustinom. Ova zaštita se ostvaruje primenom hemijski postojanih premaza (epoksidi, poliuretani…), ili izolacijom koja se sastoji od više slojeva traka na bazi bitumena, bitulita ili polietilena.

Elektrohemijska zaštita se primenjuje na zaštiti čelične armature u betonu i može se ostvariti anodnom ili katodnom zaštitom. Koji način će biti primenjen, zavisi od uslova eksploatacije betona i sredine u kojoj se nalazi.

Efikasnost inhibitora korozije čelika zavisi od toga kolika je pH-vrednost sredine. Kao efikasni inhibitori korozije primenjuju se: nitriti, benzoati, hromati, odnosno, anodni inhibitori.

5.1. Zaštita betonskih površina u pogonu Elektrolitičke rafinacije bakra

Koroziono najekstremniji uslovi proizvodnje bakra u pogonima RTB-a Bor, postoje u pogonu elektrolize bakra, pre svega zbog hemijskog sastava radnog elektrolita koji se koristi za elektrolitičko taloženje katodnog bakra [12, 13].

Kao radni elektrolit u proizvodnji bakra koristi se kiseli rastvor bakar(II)-sulfata, čiju osnovu čini sumporna kiselina koncentracije 1.7mol/dm^3 i bakar(II)-jona koncentracije 0.7mol/dm^3. Pored ovih sastojaka u elektrolitu se nalaze, i: hloridni joni, joni gvožđa i nikla, silicijum, i drugi. Agresivno dejstvo kiselog rastvora bakar(II)-sulfata (slika 7), može se umanjiti ispravnim vođenjem tehnološkog procesa, posebno kada se radi korekcija radnog elektrolita dodavanjem hlorovodonične i sumporne kiseline. Najosetljivija mesta u pogonu elektrolitičke rafinacije bakra su kanali za odvod elektrolita prema zbirnim jamama (slika 8).

Slika 7. Dejstvo kiselog rastvora bakar(II) sulfata na betonsku površinu

Figure 7. The influence of the acidic solution of copper (II) sulfate solution onto the concrete surfaces

Sve betonske površine zaštićene su kiselootpornim pločicama položenim u kiselootpornu masu. Do sada su korišćene katran-epoksidne, epoksidne, furanske i poliesterske mase. Najbolji rezultati postignuti su sa epoksidnim masama, koje osim hemijske otpornosti, u kombinaciji sa kiselootpornim pločicama, daju i izvrsnu mehaničku otpornost. Kada se ne koriste kiselootporne pločice, primenjeni sistem zaštite sastoji se u postavljanju epoksidnog premaza - “samoliva”. Ovakav vid zaštite betona pokazao se kao veoma efikasan u pogonu za proizvodnju zlata, gde nema velikih mehaničkih opterećenja. Kod zaštite nosećih stubova i greda elektrolitičkih kada, koristi se tzv. ”kzs masa”, koja predstavlja smesu bitumena, bitulita, azbesta, kvarcnog peska i kvarcnog brašna. Smesa se nanosi vrućim postupkom i daje zadovoljavajuće rezultate u zaštiti betonskih nosećih stubova i greda.

Slika 8. Izgled oštećenog kanala za odvod elektrolita prema zbirnoj jami

Figure 8. The appearance of damaged channel for the outlet of electrolyte according to the collecting hole

Na slikama 9 i 10 prikazano je razarajuće dejstvo bakar-sulfata, prouzrokovano neblagovremenom zamenom oštećenih kiselootpornih pločica.

Slika 9. Oštećene pločice i beton

Figure 9. Damaged tiles and concrete

Slika 10. Naprsle pločice usled dejstva kristalizacije bakar-sulfata

Figure 10. Cracked tiles due to the effects of crystallization of copper sulfate

Noseći stubovi i noseće grede elektrolitičkih kada, zbog prelivanja elektrolita, izloženi su direktnom dejstvu kiselog elektrolita (slike 11 i 12). Ukoliko to dejstvo traje u dužem vremenskom intervalu, dolazi do "spiranja" "kzs mase", pri čemu se oštećenja manifestuju i u samim temeljima stubova. Sanacija takvih oštećenja zahteva vreme i stručnost, a u mnogim slučajevima sanacija se mora obaviti i dok je pogon u funkciji.

Slika 11. Oštećeni noseći stubovi kada

Figure 11. Damaged pillars of the tub

Slika 12. Izgled nosećeg stuba ispod podne ploče

Figure 12. Appearance supporting pillars below the concrete panel

Slika 13. Oštećeni kanal za odvod elektrolita

Figure 13. Damaged channel for the outlet of electrolyte

Bakarsulfatni elektrolit koji prodire ispod kiselootpornih pločica kristališe, povećavajući zapreminsku masu, što dovodi do destrukcije betonskih podova i kanala, i prodora elektrolita u same temelje nosećih stubova (slike 13 i 14). Ova pojava je posebno izražena tokom letnjih meseci.

Slika 14. Dejstvo elektrolita na noseći stub na dubini većoj od jednog metra

Figure 14. The effect of electrolyte on the pillar deeper than one meter

Prvi korak u sanaciji betonskih podova jeste skidanje oštećene kiselootporne zaštite i slojeva betona i zemlje, do dubine od jednog metra, u zavisnosti od zakišeljenosti zemljišta (slike 15 i 16). Na pojedinim mestima, na dubini od jednog metra, pH vrednost zemljišta je bila manja od 2, i iz tog razloga nastavljeno je uklanjanje zakišeljenog zemljišta i na većim dubinama. Prilikom ovih radova posebno se vodilo računa o stanju temelja nosećih stubova, s obzirom da se radilo sa "teškom" mehanizacijom.

Slika 15. Uklanjanje oštećene zaštite

Figure 15. Removing damaged protection

Slika 16. Uklanjanje zakišeljenog betona

Figure 16. Removing acidified concrete

Drugi korak je bio neutralizacija zemljišta rastvorom natrijum-hidroksida, koncentracije 10-15%. Granule natrijum-hidroksida bile su rastvorene tehničkom vodom i rastvor je kao takav posebnim pumpama raspršivan po celoj površini zakišeljenog zemljišta. Posle svakog takvog tretiranja, sa pauzama od 3-4 sata, merena je pH-vrednost zemljišta, sve dok se ne dostigne vrednost 5-6. Tek nakon 3 uzastopna merenja u kojima se pH-vrednost zemljišta ne menja, pristupalo se sledećem koraku sanacije.

Treći korak sastojao se u formiranju tzv. “tampon zone”, nasipanjem smeše kvarcnog peska i šljake, koja se dobija pri topljenju bakra u pogonu Topionice bakra (slika 17). Šljaka je odabrana i zbog svojih kiselootpornih svojstava. “Tampon zona” se specijalnim kompaktorima dobro nabije, pazeći da gornji-završni sloj uvek bude sloj kvarcnog peska. Kod izvođenja ovih radova nastoji se da kvarcni pesak bude suv i da šljaka bude što sitnije granulacije (ispod 3cm).

Slika 17. Nasipavanje “tampon zone”

Figure 17. Filling up a "tampon zone"

Slika 18. Postavljanje hidroizolacije I

Figure 18. Lining of waterproofing I

Slika 19. Postavljanje kiselinske izolacije

Figure19. Lining of acidic isolation

Slika 20. Postavljenja hidroizolacije II

Figure 20. Lining of waterproofing II

Četvrti korak se sastojao u izradi podloge ispod podne ploče nearmiranim betonom marke MB-15

(tzv.”mršavi beton”) u sloju debljine 6 cm, koja služi kao podloga za hidroizolaciju (slike 18, 19 i 20).

Izrada horizontalne hidroizolacije, peti korak, sastoji se od dva sloja geotekstila, jedne PE folije debljine 0.25mm i jedne PVC membrane debljine 1.50mm, preko prethodno pripremljene podloge, sa potrebnim fiksiranjem i kitovanjem oko stubova.

Šesti korak predstavljao je betoniranje armirano betonske podne ploče debljine 15cm, marke betona MB-30 sa upotrebom potrebne ivične oplate (slika 21) i kanala (slika 22). Nagib betona iznosi 2%, prema odvodnim kanalima.

Slika 21. Betoniranje armirano betonske ploče

Figure 21. Concreting of the reinforced concrete panel

Slika 22. Betoniranje odvodnih kanala

Figure 22. Concreting of outlet of electrolyte

Nakon potrebnog sazrevanja betona od minimum 28 dana, dolazi se do sedmog koraka, koji obuhvata nanošenje prajmera na betonsku podlogu i polaganje kiselootpornih pločica u kiselootpornu epoksidnu masu. Potrošnja kiselootporne epoksidne mase iznosi 4kg/m^2, uz dodatak 11kg kvarcnog pesak i 1.5kg kvarcnog brašna. Tako se dobija smeša mase od oko 16kg materijala, dovoljna za polaganje 1m^2 kiselootpornih pločica, dimenzija 240x115x30mm (slike 23 i 24). Tako pripremljen pod spreman je za eksploataciju nakon sedam dana.

Slika 23. Postavljanje pločica na horizontalnoj površini

Figure 23. Lining tiles on the horizontal surface

Slika 24. Postavljanje pločica u kanal

Figure 24. Lining of tiles in the channel

Osmi korak se sastojao u zaštiti nosećih stubova i greda “kzs masom” (slike 25 i 26). Postupak se izvodi na toplo, a sastoji se u istovremenom grejanju mase i njenom nanošenju na pripremljenu betonsku površinu. Nakon nanošenja “kzs mase” nastavlja se sa njenim grejanjem, plamenikom sa udaljenosti od pola metra. Time se postiže bolja adhezija mase za beton.

Slika 25. Nanošenje "kzs mase" na noseće stubove

Figure 25. Application of "kzs mass" on the pillars

Slika 26. Zaštita greda i stubova "kzs masom"

Figure 26. Protection of joist and pillars with "kzs mass"

6. ZAKLJUČAK

Problem korozije u pogonima za elektrolitičko taloženje bakra veoma je izražen. Agresivnost sredine ispoljava se kroz dejstvo visokih temperatura, visokih koncentracija agenasa korozije (hloridni joni), niske pH-vrednosti elektrolita i mehaničkih uticaja. Da bi se proces korozije usporio potrebno je koristiti kvalitetne materijale za zaštitu betonskih konstrukcija (epoksidne premaze, kiselootporne pločice, samolive na bazi epoksida, poliestera…), pravilno voditi tehnološki proces i primenjivati adekvatne sisteme zaštite. Koji sistem zaštite će biti upotrebljen zavisi od uslova rada, kao i od praktičnih iskustava i eksperimentalnih istraživanja. Na osnovu našeg višegodišnjeg iskustva, kao i laboratorijskih ispitivanja, sistem zaštite polaganjem kiselootpornih pločica u kiselootpornu epoksidnu masu, opisan u radu, pokazao je odlične rezultate. Prethodna priprema zemljišta, u kojem su fundirani noseći betonski elementi postrojenja, uz postavljanje hidro i kiselinskih folija, su osnova za kiselinsku zaštitu betonskih površina. Zaštita betonskih stubova i nosećih greda "kzs masom" predstavlja efikasan i jeftin način njihove zaštite.

Prosečan vek trajanja zaštite betonske konstrukcije u pogonu Elektrolize bakra izvedene na način opisan u radu iznosi više od 10 godina.

7. LITERATURA

[1] D.Jeftić (2012) Monografija "Korozija i zaštita materijala", ITNMS, Beograd, str.261-296.

[2] SIKA, Priručnik o betonima (2012) T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber, Sika Services AG, Switzerland, str.5-17.

[3] S.Mladenović, M.Pavlović, D.Stanojević (2008) Korozija i zaštita betona i armiranog betona, SISZAM, Beograd.

[4] Z. Grdić (2012) Monografija "Korozija i zaštita materijala", ITNMS, Beograd, str.297-331.

[5] D.Jeftić (2008) Osnovni oblici korozije betonskih konstrukcija sa metodama zaštite, Zbornik radova sa savetovanja "Korozija i zaštita materijala u toku eksploatacije", Požarevac.

[6] C.M.Hansson, A.Poursaee, S.J.Jaffer (2007) "Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete", Portland Cement Associations, Skokie, Illinois, USA, p.33-56.

[7] A.Rosenberg, C.M.Hansson, C.Andrade (1989) Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete, The materials Science of Concrete, The American Ceramic Society, p. 285-313.

[8] J.Monteny, E.Vincke, A.Beeldens, N.Belie, L.Taerwel (2000) Chemical, Microbiological and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete, cement and Concrete Research, 30, 623-634

[9] Concrete in Practice, CIP 25-Corrosion of Steel in Concrete (1995) (https://www.nrmca.org/ /aboutconcrete/cips/25p.pdf)

[10] S.Mladenović (1985) Korozija i zaštita materijala, IRO Rad, Beograd.

[11] L.J.Kepler, D.Darwin, C.E.Locke (2000) Evaluation of corrosion protection methods for reinforced concrete highway structures, Structural Engineering and Engineering Material SM Report No.58, University of Kansas Center for research, inc Lawrance, Kansas, USA, p.104-108.

[12] Z.Avramović, M.Antonijević, M.Avramović (2013) 1st MME SEE 2013, Characteristics of Materials Used for Corrosion Protection of Metal and Concrete Structures in Aggressive Environment, Metalurgical Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade, p.262-266.

[13] Z.Avramović, M.Antonijević (2009) "Koroziona problematika u pogonima Topionice i rafinacije bakra u Boru ", XI YUCORR, Konferencija sa medjunarodnim učešćem, Tara, Srbija.

ABSTRACT

CORROSION AND CORROSION PROTECTION OF CONCRETE IN THE CATHODE COPPER PRODUCTION PLANT

The most complex type of corrosion in the plants of Copper Smelter and Refineries in Bor is present in the plant of Electrolytic Copper Refinery, where the solution of copper (II) sulfate causes the corrosion of concrete and concrete reinforcement as well as the applied steel materials. The processes of corrosion and destruction of concrete surfaces are particularly pronounced. Corrosion of concrete reinforcement is recognized as the main cause of degradation the concrete structure in many cases, both under the influence of sulfates and the influence of chloride ions. Regarding to this, the protection system also requires a knowledge on corrosion problems, both steel and concrete surfaces. The protection system applied in the Copper Electrolysis Plants consists of laying the acid-resistant plates in the epoxy mass, on a previously primed concrete base. This protection system provides minimum 10 years of a protection durability.

This work will present the problems of corrosion of concrete structures that occur daily in the plants of Copper Electrolytic Refinery in Bor, the method they are solved and the method of applying the protection systems.

Keywords: *electrolytic refining of copper, concrete, corrosion protection, epoxy mortar.*

Professional paper
Paper received: 22. 10. 2018.
Paper corrected: 25. 02, 2019.
Paper accepted: 10. 04.2019.
Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal

© 2019 Authors. Published by Engineering Society for Corrosion. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)