

**Autori: Ray Schallon RCS Consulting&Construction Co. Inc.,
Jessy Meyer i Julie Holmquist, Cortec® Corporation Minnesota, USA**

Pripremio i preveo: Ivan Rogan, dipl. ing., CorteCros d.o.o., Zagreb

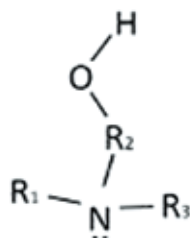
Produljenje životnog vijeka armiranog betona s migrirajućim inhibitorima korozije – MCI®

Migrirajući inhibitori korozije, koji se temelje na tehnologiji organskog amino alkohola i amino karboksilata, nude mnoge prednosti za produženje životnog vijeka betonskih konstrukcija

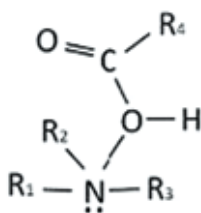
Ugroženost ugrađenog armiranog čelika predstavlja prijetnju svim vrstama armiranog betona, skraćivanjem vijeka trajanja strukture kao što su stvaranjem pukotina, ljuštenje površine betona i sl. Dok pH (>12) novog betona u početku štiti ugrađenu armaturu čelika stvaranjem prirodnog sloja pasivnog oksida, neizbježno se remeti zaštita karbonizacijom, izloženost kloridima, kisele kiše i drugim industrijskim zagađivačima. Iniciranim procesom korozije, slijedi destrukcija betona koja izaziva izdržljivost i sigurnost struktura. Razvijene su razne tehnologije za suzbijanje tog procesa, u rasponu od aditiva za inhibiranje korozije do katodne zaštite (CP). Kalcij nitrit (CNI), kao starija tehnologija aditiva, djelotvorna je protiv korozije izazvane kloridom, ali ima nedostatke u tome. Količina doziranja kalcij nitrita varira ovisno o očekivanoj izloženosti kloridu (što je veća izloženosti kloridu, to je veća količina doziranja). Kako se količina doziranja povećava, tako se povećavaju i nepoželjni učinci na fizikalna svojstva betona, kao što su dramatično povećanje stezanja i ubrzano vrijeme vezivanja. Tehnologija katodne zaštite zahtijeva kontinuitet i uključuje instalaciju mnogo ugrađenih galvanskih anoda ili primjenu utisnute struje, koja se mora kontinuirano pratiti.

TEHNOLOGIJA MIGRIRAJUĆIH INHIBITORA KOROZIJE (MCI®)

Migrirajući inhibitori korozije, koji se temelje na tehnologiji organskog amino alkohola



Slika 1. Ilustracija inhibitora amino alkohola, gdje R1,2,3 je H ili alkalna zaostala skupina kraj OH skupine



Slika 2. Ilustracija inhibitora amino karboksilata, gdje R1,2,3 je H ili alkalna zaostala skupina kraj OH skupine

i amino karboksilata, nude mnoge prednosti za produženje životnog vijeka betonskih konstrukcija.

Oni imaju postavljenu količinu doziranja, koja je od 5 do 30 puta niža od kalcij nitrita (CNI) i općenito ne utječu na fizikalna svojstva betona (čvrstoću, stezanje, osipanja). Neke verzije mogu odgoditi vrijeme veziva-

nja (NS), dok druge imaju uobičajeno vrijeme vezivanja.

Migrirajući inhibitori korozije (MCI®) dostupni su kao dodaci betonu ili mortu u dvije verzije – kao tekućina i kao prah, a također su dostupni za primjenu na postojećim strukturama.

Kada se dodaju u betonsku smjesu, oni se raspršuju kroz postupak miješanja, te se odlikuju sposobnošću migracije kroz betonske pore kroz kapilarno djelovanje i difuzijom para. Difuzija inhibitora korozije odvija se prema Fickovom drugom zakonu. Migrirajući inhibitori korozije (MCI®) iz područja visoke koncentracije migriraju na područja niske koncentracije, sve dok ne dođu u dodir s ugrađenom armaturom gdje se stvara mono-molekularni zaštitni film na površini metala.

Migrirajući inhibitori korozije smatraju se miješanim inhibitorima korozije, što znači da oni pružaju zaštitu od korozije u anodnim i katodnim područjima. Migrirajući inhibitori korozije (MCI®) se elektrokemijski vežu na ugrađeni metal u betonu i adsorbiraju se na njega.

Slike 1. i 2. prikazuju kemiju amino alkohola i amino karboksilata na metalnoj površini. Ova kemija omogućava migracijskim inhibitorima da formiraju čvrstu vezu koja štiti metal od interakcije s korozivnim elementima na anodi i katodi korozijske stanice. Taj zaštitni sloj također održava pH na površini armature na optimalnoj razini za sprečavanje korozije i smanjuje postojeće korozijske vrijednosti¹.

PREDNOSTI MIGRIRAJUĆIH INHIBITORA KOROZIJE (MCI®)

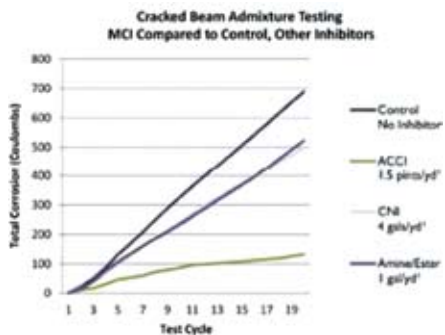
Tehnologija migrirajućih inhibitora korozije (MCI®) ima mnoge prednosti u pogledu učinkovitosti i primjenjivosti. Kao aditiv, MCI® može se lako dodati u beton ili druge betonske smjese pri relativno maloj količini doziranja u usporedbi s drugim aditivima (0,6 do 1 l/m³ za tekućine, 0,6 kg/m³ za praške). Oni ne utječu negativno na svojstva betona, te zadovoljavaju zahtjeve ASTM C1582/01582M2 kao što su čvrstoća na savijanje, tlačna čvrstoća, vrijeme stezanja i trajanje zamrzavanja i odmrzavanja³.

Migrirajući inhibitori korozije (MCI®) nisu štetni po okoliš i ekološki su prihvatljivi te uključuju biološke opcije proizvedene od nusproizvoda kukuruza.

Najnovija generacija na bazi amin-karboksilata aditiva za inhibiciju korozije certificirani su u skladu sa zahtjevima ANSI/NSF61 za sigurnu uporabu u strukturama koje dolaze u kontakt ili sadrže pitku vodu. Nedavna ispitivanja ukazuju da su određene tehnologije migrirajuće inhibicije korozije (MCI®) također kompatibilne sa sustavima katodne zaštite⁴.

PERFORMANSE INHIBICIJE KOROZIJE

Uporaba migrirajućih inhibitora korozije (MCI®) mogu udvostručiti ili utrostručiti vrijeme inicijacije korozije. Reduciraju inicijaciju korozije za pet do 15 puta u usporedbi s kontrolom¹ i u usporedbi s drugim aditivima kao što su kalcij nitrit (CNI) ili esteri amina, te su pokazuju iznimno dobro u skladu s modificiranim ASTM G109 ispitivanjima (vidi sliku 3).



Slika 3. Uobičajena verzija amino karboksilata, smjesa migrirajućih inhibitora korozije (ACCI) pokazala je znatno veću zaštitu od korozije kod modificiranog ispitivanja ASTM G 109 (Cracked Beam Testing), isto tako ubrzana intenzivna verzija ASTM G109 ispiranja slanom vodom

Ovim ispitivanjem ulaskom u pukotine betonskih uzoraka, olakšava korozivnim faktorima da dođu do površine armature u betonu. U testiranju, stupanj korozije za uzorke

tretirane s migrirajućim inhibitorom korozije ostao je znatno niži nego kod kalcij nitrita (CNI) i betona tretiranog s amin-esterom tijekom 20 ciklusa sa slanom vodom⁵.

KORIŠTENJE MIGRIRAJUĆIH INHIBITORA KOROZIJE (MCI®) KOD STROJNOG NANOŠENJA BETONA/MORTA

Tehnologija migrirajućih inhibitora korozije (MCI®) ima više od 30 godina povijesne uporabe u armiranom betonu i više od 15 godina uporabe s primjenom strojnog nanošenja betona.

Još 2001. godine, projekt obnavljanja armirano betonske konstrukcije koji koristi migrirajuće inhibitore korozije osvojio je nagradu ICRI Award of Excellence u kategoriji strojnog nanošenja. Projekt je uključivao popravak Crib Point Jetty mola u zapadnom Port Bayu (Victoria, Australija). Mol je bio znatno ispucan, a propadanje je uzrokovano korozijom u vrlo korozivnom okruženju za beton.

Oštećeni beton i čelična armatura uklonjeni su iz oštećenih betonskih stupova i greda, a po potrebi dodana su i nova pojačanja. Popravak je dovršen primjenom strojnog nanošenja morta koji je sadržavao migrirajuće inhibitore korozije (MCI®) kako bi se smanjila daljnja korozija u armirano betonskoj strukturi⁶.

TUNELI I MOSTOVI

U državi Pennsylvaniji, okrug 11 koristio se migrirajući inhibitor korozije (MCI®) u mrokroj



Slika 4. Liberty tunel prije popravka



Slika 5. Liberty tunel - završena sekcija

i suhoj formi primjenom strojnog nanošenja betona prije više od 8 godina. U područjima popravka, investitor je uključio anodni sustav kao dodatnu zaštitu.

Jedan od tih projekata bio je popravak tunela Liberty u Pittsburgu (vidi slike 4. i 5).

Uklonjen je površinski sloj oštećenog betona i potom strojnim nanošenjem nanosena je nova betonska smjesa koja sadrži migrirajuće inhibitore korozije. MCI® pomaže u zaštiti od kruga anodnog efekta, gdje dodavanje novog betona bez MCI® može produktivno poticati širenje korozije na susjedni beton.

Investitor u Pennsylvaniji također koristi strojno nanošenje betona s migrirajućim inhibitorima korozije na Rankin Bridge u Pittsburgu. Oštećena područja popravljena su tehnologijom strojnog nanošenja betona, te na završni sloj cjelokupne strukture nosača mosta (vidi slike 6. i 7.). Radove na oba projekta obavio je Mosites Construction Co., Pittsburgh, PA.



Slika 6. Rankin Bridge - popravak nosećih stupova



Slika 7. Rankin Bridge nakon popravka

ZABAVNI PARK VOLCANO

Zabavni park Kings Dominion u Doswellu, VA, Volcano izgrađen je prije više od 40 godina, koristeći 10 mm armaturu i gipsane letvice, s 50 mm debelim slojem betona. Montaža struktura napredovala je sasvim dobro sve dok se posljednji dio staze nije počeo montirati na oko 30 m visine. Rupe na kojima se cijevi oslanjaju za držanje staze za

vožnju bile su postavljene, a prije instaliranja cijevi postavljene su nove posebne gumene zaštite za cijevi.

Međutim, uvjeti promjena temperature (noć-dan) potaknuli su kondenzaciju oko nosača, što je uzrokovalo korodiranje čelične armature.

Područja koja su označena za popravak (vidi slike 8. do 10.) zahtijevaju 10 mm V-oblik žlijeba, armaturu 10 mm s razmakom od 300 mm i 50 mm debljine smjese silicijevog betona s inhibitorom korozije MCI®. Bojenje (za estetske svrhe) i vodonepropusnost primjenjuju se nakon ispunjenja zahtjeva za čvrstoću. Cijela radna zona pokrivena je i grijana tijekom popravaka, koji se mogu provoditi samo od 31. listopada do 15. ožujka dok je park zatvoren. Skele i zaštita uklanjaju se dan prije otvorenja parka. Specifikacija projekta zahtijevala je strojno dodavanje betona s jednim ili dva inhibitora korozije MCI®, bilo da se dodaje direktno u beton ili je već pripremljena mješavina pijeska, cementa i MCI® u vrećama.

Investitor Cemrock odabrao je postupak direktnog dodavanja MCI® kod izrade beto-

na, a izvođač gotove mješavine odabrao je inhibitor korozije na bazi kalcij nitrita (CNI), koji bi spriječio stvrdnjavanje betona tijekom strojnog nanošenja do postizanja specificirane čvrstoće betona.

Proizvođač gotove smjese uklonio je kalcij nitrit (CNI) iz projektirane smjese i dodao migrirajući inhibitor korozije MCI® na bazi amin-karboksilata u mješavinu u količini 0,62 l/m³. Zahtijevana čvrstoća betona postignuta je kod svakog punjenja.



Slika 8. Volcano park Kings Dominion bio je podijeljen u 8 radnih zona za budžetiranje



Slika 9. V okviru 10 mm, gumene obloge oko potpore cijevi i armatura koja se prekriva strojnim nanošenjem betona



Slika 10. Popravak Vulkano zone 2.



Slika 11. Pogled na završenu obojenu zonu zabavnog parka Volcano Kings Dominion u 2. i 3. zoni



Slika 12. Skele i plastična zaštita nad 'planinskim' područjima koja treba popraviti



Slika 13: Vulkano u 3. zoni završen i obojen

Na slici 11. vidljive su nove svjetlo obojene popravljene zone i stare tamne zone oštećene vremenom koje se još moraju popraviti i obojati. Budžet kojim se godišnje održavanje financira uključuje montažu i demontažu skela, plastičnu zaštitu i zagrijavanje popraavljenih betonskih površina, kao što je prikazano na slici 12. Svi radovi počinju 31. listopada i moraju biti gotovi do 15. ožujka (slika 13).

ZGRADA JC CENTURY

Zgrada JC Century u Binghamtonu, NY, podvrgnuta je kompletnoj obnovi i prenamjeni stare tvornice u kompleks apartmana. Arhitekt je predvidio da popravci moraju zadržati stari izgled konstrukcije, kao što su izložena opeka, kameni betonski stropovi, te



Slika 14. Izgradnja JC Century Bulding, izgled stropa prije početka radova



Slika 15. Izgled stropnih lukova



Slika 16. Prikaz završenih stropnih lukova koji izgledaju kao izvorna stara struktura

novi prozori s istim izgledom kao i stari tvornički prozori.

Utvrđeno je da će ručno nanošenje materijala za popravak betona na stropu biti preskupo i teško će se osigurati dobra veza s postojećom površinom. Ljuskava površina betona u stropu mehanički je u potpunosti uklonjena. Zatim je površina stropa pjeskarena, armatura betona očišćena visokim vodenim tlakom i ispuhana prije nego što je ugrađena.

U mješavinu za strojno nanošenje mješavine odabrana je primjena migrirajućeg inhibitora korozije (MCI®) na bazi amin-karbonsilata proizvođača Cortec Corporation.

Tanki nanoseni sloj završen je kako bi izgledao kao teksturirana žbuka (vidi slike 14. do 16.).

Inhibitor korozije (MCI®) bio je odabran da pruži zaštitu od korozije postojećem čeliku uz primjenu tankog sloja betona. Imovina je u vlasništvu tvrtke Regan Development Company, a izvođač radova je bio KHM INC. Binghamton, NY.

ZAKLJUČAK

Tehnologija migrirajućih inhibitora korozije (MCI®) bila je važno otkriće u zaštiti armiranog betona od korozije. Povećava praktičnost primjene inhibitora korozije specijalnim armirano betonskim građevinama ili u posebnim slučajevima popravaka/reperacija. Tehnologija uključuje bio-bazirane opcije i nudi kompatibilnost s katodnom zaštitom (CP), te ne utječe i ne šteti kvaliteti pitke vode.

Migrirajući inhibitori korozije upotrijebljeni su u različitim aplikacijama betona i pokazali su prednosti u postizanju potrebne čvrstoće betona nasuprot alternativnim inhibitorima korozije.

Ono što je najvažnije, migrirajući inhibitori korozije (MCI®) štite od korozije armirano betonske strukture s vrlo niskim doziranjem, bez utjecaja na važna svojstva betona kao

što je čvrstoća, trajnosti i otpornost na procese zamrzavanja i odmrzavanja. **PRO**

Reference:

1. Miksic, B.A., Improving Durability of Infrastructure with Migratory Corrosion Inhibitors (MCI®) Handbook, Cortec Corporation, Saint Paul, MN, 2014, pp. 7-8, 10.
2. ASTM C1582/C1582M, Standard Specification for Admixtures to Inhibit Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
3. Schaefer, G., Admixture to Inhibit Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete (ASTM C1582) Concrete Properties Testing Final Report, TCG # 09145, Tourney Consulting Group, Kalamazoo, MI, Feb. 8, 2011.
4. Abed, K.; Nagi, M.; Meyer, J.; Pynn, C., Evaluation of Interactions between Cathodic Protection and Corrosion, Presentation at NACE Concrete Service Life Extension Conference, New York City, NY, June 27-29, 2017.
5. American Engineering Testing, Inc., Report of Concrete Corrosion Inhibitor Testing, Aug. 13, 2003, 10 pp.
6. MBT Australia Pty Limited, Repair of Crib Point Jetty, ICRI 2001 Project Award Winner, International Concrete Repair Institute, St. Paul, MN, https://icri.site-ym.com/?AOE01_CribPointJetty. (July 3, 2017)