

ZAŠTITA I SANACIJA AB-KONSTRUKCIJA MCI®-INHIBITORIMA I AK-MATERIJALIMA

Sanacija AB-konstrukcija modula br.3 obale br.5 u Luci Ploče



Sažetak

U radu se razmatra zaštita armature od korozije u AB-konstrukcijama primjenom MCI®-inhibitora (migracijskih korozijskih inhibitora) i AK-materijala (antikorozijskih materijala) sa sadržajem ovih inhibitora.

Razmatra se sastav i kriteriji kvalitete AK- materijala i sustava za zaštitu novih i sanaciju starih/postojećih AB-konstrukcija.

Postupak sanacije modula br.3 obale br.5 u Luci Ploče MCI®-inhibitorima i materijalima sa sadržajem ovih inhibitora

Dr Jure Francišković, dipl ing tehn., LONGUS, Zagreb

Boris Mikšić, dipl. ing. CORTEC CORPORATION, St. Paul Minnesota, USA

Ivan Rogan, dipl ing. CORTECROS/CORTEC, Zagreb

Mijo Tomičić, ŠKILJO-GRADNJA, Zagvozd

1 – Uvod

Prema statističkim pokazateljima oštećenja AB-konstrukcija uzrokovana korozijom armature čine >80% svih oštećenja AB-konstrukcija. Korozija armature i štete koje uzrokuje na AB-konstrukcijama su prvenstveno gospodarsko pitanje i čine znatnu stavku u proračunu svake zemlje.

Do prije ca 30 godina mišljenje stručne javnosti bilo je da su beton i AB-konstrukcije «vječni». Pojave oštećenja AB-konstrukcija i građevinske štete upozorili su da beton i AB-konstrukcije ipak nisu «vječni» - počela su sustavna istraživanja uzroka i mehanizama procesa oštećivanja: zasluge za to ima građevinska fizika, kemija i termodinamika. Rezultati istraživanja su novi načini i postupci te materijali za zaštitu i sanaciju AB-konstrukcija koje imamo danas a u funkciji su debljine sloja zaštitnog betona poviše armature te njihova fluido(ne)propusnost (za vodu, vodenu paru, plinopropusnost/CO₂, SO_{2/3}, N_xO_y, O₂, difuzija topivih soli posebice klorida, etc.) te dodatna zaštita površine betona premazima, običnim i hidrobojnim impregnacijama, katodna zaštita armature, primjena nehrđajuće i armature iz drugih korozijskih postojanih materijala, etc. Istovremeno se istražuju mehanizmi i procesi korozije armature te uloga i način utjecaja agresivnih supstancija kod čega su kloridi nezaobilazni predmet istraživanja.

Zaštita armature od korozije i zaštita novih i sanacija starih AB-konstrukcija MCI®-inhibitorima korozije i antikorozijским materijalima i sustavima sa sadržajem ovih inhibitora predstavlja bitan doprinos i veliki iskorak u produžetku trajnosti životnog vijeka AB-konstrukcija a time istovremeno značajnom smanjenju troškova održavanja i efikasnosti korištenja objekta.

MCI®-inhibitori korozije i antikorozijски materijali i sustavi tj. oni koji sadrže MCI®-inhibitore za zaštitu armature od korozije i zaštitu novih i sanaciju starih AB-konstrukcija uspješno se primjenjuju u Svijetu već preko 20 godina.

2 – Uvodni pojmovi i definicije

2.1.-Korozija je nenamjerno trošenje materijala uzrokovano prirodnim ili/i umjetnim utjecajima agresivnih supstancija okoliša na materijal pri datim termodinamskim uvjetima.

2.2.-Korozija armature je kemijska – ispravnije elektrokemijska reakcija oksidacije (hrđanje, korozija) armature (željeza) sa kisikom u prisutnosti vlage pri datoj temperaturi.

-Ovisno o termodinamskim uvjetima i razlikama elektropotencijala između sastavnica redox-sustava elektrokemijski proces korozije može se prikazati sumarnom jednačbom reakcije oksidacije/korozije:

- anodni proces: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ i

- katodni proces: $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$

odn. uz sudjelovanje klorida:

- Fe^{++} (odn. $\text{Fe}(\text{OH})_2$) + $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2$

- $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$

- $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ anoda

- $1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$ katoda

2.3.-Produkt korozije željeza/Fe je željezni oksid/Fe_xO_y: $2 \text{Fe} + 1 \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{toplina} \rightarrow 2 \text{FeOH}$
1 vol ca 2,5 vol

-«Čisti» željezni oksid ima ca 2,5 puta veći volumen od metalnog željeza.

-Armatura nije čisto željezo već njegova legura: čelik.

-Produkti korozije su smjesa željeznih oksida ovisno o sastavu i koncentraciji reaktanata te o termodinamskim uvjetima pri kojima se odvija elektrokemijska reakcija korozije i volumen nastalih korozijskih produkata je ca 3-12 puta veći od početnog volumena armature/željeza..

-Pojava korozije na površini armature uzrokuje ne samo smanjivanje adhezije/prionljivosti između armature i betona kao i smanjivanje presjeka armature nego također – radi velikog povećavanja volumena korozijskih produkata u odnosu na početni volumen armature – ogromne pritiske koji uzrokuju pojavu pukotina, odvajanja, raspucavanja i ljuštenja zaštitnog sloja betona poviše armature.

2.4.-Pasivni (zaštitni) sloj željeznog oksida na površini armature nastaje oksidacijom armature u alkalnom mediju (pH > 9,5).

Pasivni sloj je veoma gust i fluidonepropustan za reaktante korozije (O₂, H₂O) te time štiti armaturu od korozije pri «normalnom»/neagresivnom okolišu. Ova zaštita funkcionira samo pri alkalnosti betona pH > 9,5 i bez prisutnosti klorida (max koncentracija Cl⁻ treba biti manja od 0,4% na cement) i drugih agresivnih supstancija kao na pr. CO₂, SO_{2/3}, N_xO_y, etc., općenito kiselih sastojaka okoliša koji uzrokuju karbonizaciju i smanjivanje alkaliteta betona ili čak kemijsku reakciju razgradnje ili/i fizikalnu degradaciju betona.

2.5.-**Armirani beton** je kompozitni materijal sastavljen od dva osnovna sastojka: betona i armature.

Beton se sastoji od slijedećih osnovnih komponenti:

- očvrslag cementnog veziva (cementni kamen, cementni matriks) nastalog kemijskom reakcijom hidratacije cementa (mljevenog klinkera/spojeva Ca-silikata i -aluminata) sa vodom tvoreći Ca-hidrosilikate i -aluminate (cementni matriks) te vrlo važni Ca-hidroksid/vapno $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (odgovornog za pH/alkalitet betona), vrlo reaktivnog sastojka koji reakcijom sa CO_2 iz zraka prelazi u CaCO_3 tj. karbonatizira beton i tako snižuje pH-vrijednost betona čime omogućuje koroziju armature u betonu kod alkaliteta $\text{pH} < 9,5$.
- kamenog agregata definirane kvalitete i granulometrijskog sastava koji daje što gušće pakovanje i
- poroziteta odgovornog za mnoga svojstva betona: vodoupojnost, plinopropusnost, difuziju klorida, otpornost na atmosferilije, smrzavice i topive soli te druge agresivne utjecaje okoliša.

Betonu se dodaju i razni drugi dodaci prije svega aditivi za reguliranje reoloških svojstava mase svježeg betona i smanjivanje V/C-faktora kao i dodaci za postizanje ciljanih visokovrijednih svojstava očvrslag/otvrdnutog betona, na pr. mikrosilika, polimerna i čelična vlakanca, dodaci za sprječavanje deformacija/stezanje betona, etc.

2.6.-**MCI[®]-inhibitori** (migracijski korozijski inhibitori) su kemijski spojevi na bazi amina (na pr. aminokarboksilati, aminoalkoholi, i dr.) koji se procesom kemijske adsorpcije tzv. kemisorpcije »vežu«/adsorbiraju na površinu armature/željeza (i drugih metala) tvoreći na površini postojan i otporan mikrosloj debljine ca 20 μm rezistentan na mnoge agresivne supstancije okoliša prvenstveno na utjecaj klorida u prirodi sveprisutnog a istovremeno vrlo agresivnog na okside željeza koje kemijski razara.

MCI[®]-inhibitori korozije štite armaturu od korozije u oba oksidacijska područja: katodnom i anodnom za razliku od nekih drugih tipova inhibitora korozije kao na pr. nitrita – stoga se **MCI[®]-inhibitori** korozije označavaju i kao miješani inhibitori korozije.

MCI[®]-inhibitori korozije na bazi aaminskih spojeva spadaju u grupu tzv. katodnih odn. katodno-anodnih inhibitora koji se adsorbiraju (kemisorpcijom) na površini armature sprječavajući difuziju reaktanata korozije (O_2 , H_2O) do armature i time je štite od oksidacijskih procesa za razliku od anodnih inhibitora na bazi nitrita i/ili kromata koji štite armaturu od korozije anodnom pasivizacijom tako što sami sudjeluju u anodnom procesu tj. oksidiraju umjesto osnovnog metala.

MCI[®] je registrirano/zaštićeno ime inhibitora korozije na bazi amina prirodoznog američke tvrtke CORTEC Corporation, Minnesota, USA. Zastupnik tvrtke CORTEC je tvrtka CORTECROS, Zagreb a ovlašteni distributer **MCI[®]-inhibitora** je tvrtka LONGUS, Zagreb.

-Naprijed je navedeno da je korozija armature oksidacijski/korozijski proces kemijske/elektrokemijske reakcije željeza (armature) i kisika u prisutnosti vlage pri datoj temperaturi.

-Pored koncentracije reaktanata (Fe , O_2 , H_2O) i temperature brzina reakcije korozije armature ovisi i o alkalnosti/pH-vrijednosti medija/porne vode u betonu: kod $\text{pH} > 9,5$ na površini armature formira se vrlo gusti za reaktante korozije nepropusni sloj željeznog oksida tzv. pasivni sloj koji štiti armaturu od korozije sprječavajući difuziju reaktanata (O_2 , H_2O) do armature – ovo ali vrijedi samo za vrijednost $\text{pH} > 9,5$.

-Ako i kada pH-vrijednost betona padne ispod 9,5 – na pr. karbonatizacijom betona reakcijom CO_2 iz zraka i kalcijeva hidroksida/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ u betonu ili utjecajem kiselih komponenti okoliša na beton na pr. oksida $\text{SO}_{2/3}$, N_xO_y i sl. – slabi i razara se zaštitni pasivni sloj (u pravilu mješavina željeznih oksida)- i započinje reakcija oksidacije/korozije armature jer je otvoren put reaktantima do armature.

-U prisutnosti klorida (klor iona Cl^- u vodenoj otopini) koncentracije $> \text{ca } 0,4\%$ na cement «prirodni» pasivni sloj na površini armature biva razaran kemijskom reakcijom klorida i oksida željeza također i kod $\text{pH} > 9,5$ čime reaktanti (O_2 , H_2O) imaju direktan pristup armaturi i proces korozije započinje – reaktanti većeg termodinamskog potencijala (Fe , O_2 , H_2O) reakcijom oksidacije prelaze u kemijski stabilniji spoj nižeg termodinamskog potencijala (Fe_xO_y).

-Kloridi ne reagiraju kemijski direktno sa željezom/armaturom tj. kloridi nisu oksidanti željeza već pri koncentraciji klorida $> \text{ca } 0,4\%$ na cement (ca $0,7 \text{ kg/m}^3$ betona) kemijski reagiraju sa pasivnim slojem željeznog oksida razarajući ga i time omogućuju pristup reaktanata korozije armaturi uzrokujući kemijsku reakciju tj. koroziju armature. Naime, produkti kemijske reakcije klorida i Fe-oksida/pasivni sloj su topivi u vodi (FeCl_2 odn. $\text{Fe}(\text{OH})_2$) te tako omogućuju napredovanje i ubrzanje procesa korozije (v. t. 2.2.).

3 – Način djelovanja i primjene **MCI[®]-inhibitora**

3.1.- Način djelovanja **MCI[®]-inhibitora**

-**MCI[®]-inhibitori** korozije difundiraju u obliku tekuće i parne faze kroz strukturu betona uključivo i najgušće strukture betona vrlo duboko u konstrukciju do armature s kojom fizikalno- kemijski reagiraju (kemisorpcija) tvoreći na njenoj površini vrlo gusti za agresivne supstancije i reaktante korozije nepropusni i rezistentni mikrosloj debljine ca 20 μm štiteći armaturu od korozije.

-MCI®-inhibitori difundiraju i kroz „zdravi“ korozijski sloj na armaturi stupnja čistoće ca Sa2 i St3. Ovime se otvaraju osnove za nove kriterije kvalitete u pripremi podloge kod sanacijskih radova: uklanjanje samo degradiranih od armature odvojeni sloj zaštitnog betona a armatura čisti do navedenih stupnjeva čistoće. Površinu korodirane armature gdje je adhezija zaštitnog sloja betona i armature zadovoljavajuća tj. $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ nije potrebno (kao do sada) otvarati i čistiti do navedenog stupnja čistoće već je dovoljno očišćenu površinu betona samo impregnirati sa odgovarajućim MCI®-inhibitorom budući da inhibitor difundira i kroz «zdravi» sloj korozije do armature gdje formira zaštitni sloj rezistentan na koroziju.

-Tako na pr. kod sanacija AB-konstrukcija kontaminiranih kloridima vrlo duboko ispod površine i iza armature - u ekstremnim slučajevima kontaminiranost kloridima je kroz cijeli presjek sloja betonske konstrukcije – i vrlo visoke koncentracije klorida ($>0,4\%$ na cement) više nije potrebno primjenjivati (dosadašnji) kriterij kojim se traži uklanjanje kloridima kontaminiranog sloja betona sve do podloge betona koncentracije klorida $<0,4\%$ na cement ili/i do sloja nekarbonatiziranog betona $\text{pH}>9,5$: uklanjanje samo mehanički degradirani sloj betona do međusobne i adhezije za armaturu $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$, a zatim se:

- 1- očišćena i ohrapvljena podloga impregnira MCI®-inhibitorom
- 2- reprofiliira betonska površina i zatvara otvorena armatura reparaturnim mortom sa sadržajem MCI®-inhibitora te
- 3- završno površinski obrađuje zaštitno-ukrasnim premazom ili hidrofbnom impregnacijom oba sa sadržajem MCI®-inhibitora u cilju zaštite AB-konstrukcije od navlaživanja, utjecaja atmosferilija, smrzavica, soli i drugih agresivnih supstancija okoliša.

Bitno je naglasiti da zaštitu armature od korozije i zaštitu novih odn. sanaciju starih AB-konstrukcija treba izvršiti cjelovitim zaštitnim sustavom kao navedeno tj. ugraditi materijale za sve tri navedene faze a ne samo parcijalno jer jedino puni zaštitni sustav dugotrajno i efikasno štiti armaturu od korozije i AB-konstrukciju od degradacije/oštećenja.

3.2.- Načini primjene MCI®-inhibitora

MCI®-inhibitori za zaštitu armature od korozije bilo kod novih ili sanacije starih oštećenih AB-konstrukcija primjenjuju se u principu na dva načina:

- 1-direktnim dodavanjem MCI®-inhibitora u beton, cementni ili PC-mort odn. građevinske materijale na bazi drugih veziva pri njihovom spravljanju bilo na gradilištu ili pogonu i
- 2-primjenom industrijskih proizvedenih materijala (koji već sadrže MCI®-inhibitore) za zaštitne i sanacijske radove AB- konstrukcija, na pr. reparaturne mortove, zalijevne i podljevne mortove, injekcijske mase, zaštitno-ukrasne premaze, hidrofbne impregnacije, ljepila, etc.

Potrebno je još jednom naglasiti da je pouzdana i trajna zaštita armature od korozije u AB-konstrukcijama osigurana samo kada svi slojevi građevinskog sustava/konstrukcije sadrže MCI®-inhibitore:

- beton osnovne AB-konstrukcije (kod novih konstrukcija MCI®-inhibitor se dodaje kod zamješavanja betona a kod sanacijskih radova očišćeni beton se impregnira MCI®-inhibitorom),
- reparaturni mortovi kod sanacijskih radova
- te završni površinski premaz ili hidrofbnu impregnaciju za zaštitu novih i starih AB-konstrukcija od navlaživanja, atmosferilija, smrzavica, soli i drugih agresivnih utjecaja.

3.3.-Kriteriji zaštite armature od korozije

1- Kriteriji zaštite izraženi korozijskom strujom $I/\mu\text{A}/\text{cm}^2$:

- Prema ASTM STP 1065 (Andrade):
 - $I = < 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ pasivizacija/nema korozije armature
 - $I = 0,2 - 0,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ mala do umjerena korozija armature
 - $I = 0,5 - 1,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ umjerena do pojačana korozija armatre
 - $I = > 1,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ vrlo jaka korozija armature
- Prema ASTM C 09 0384 i ASTM G 109:
 - tijekom testa: $I = < 10 \mu\text{A}$
 - na kraju testa: $I = < 2 \mu\text{A}$
 - korodiranost armature na kraju testa u odnosu na kontrolni uzorak: $< 15\%$

- Prema Bavarian: stupnjevi oštećenja korozijom

Jačina korozijske struje, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$:

< 0,5
0,5-2,7
2,7-27
> 27

Stupanj oštećenja korozijom:

Ne očekuje se oštećenje korozijom
Oštećenja korozijom moguća su za 10-15 godina
Oštećenja korozijom očekuju se za 2-10 godina
Oštećenja korozijom očekuju se za 2 godine i prije

2- Kriteriji zaštite izraženi elekropotencijalom korozije E/mV:

- Prema ASTM C-876:

- E = > - 200 mV:.....> 95% vjerojatnosti da nema pojave korozije
E = od - 200 mV do - 350 mV:.....50% vjerojatnosti pojave korozije (nesigurno područje)
E = < - 350 mV > 90% vjerojatnosti da je korozija nastupila

3- Kriteriji zaštite temeljem polarizacijske otpornosti Rp/kΩcm (Broomfield 1994., Andrade 1999.):

- Rp = > 100 kΩcm:.....nije moguće utvrditi koroziju između aktivnog i pasivnog područja
Rp = 50 – 100 kΩcm:.....mali stupanj korozije
Rp = 10 – 50 kΩcm:.....srednji do visoki stupanj korozije gdje je još aktivan čelik
Rp = > 10 kΩcm:.....otpornost nije moguće kontrolirati uz pomoć stupnja korozije .

4 – **Kriteriji kvalitete antikorozijskih sanacijsko-zaštitnih materijala i sustava:**

4.1.-Kriteriji kvalitete očišćene betonske podloge i armature AB-konstrukcija za prihvata AK-sanacijsko-zaštitnih sustava sa sadržajem MCI-inhibitora:

- 1-Vlačna čvrstoća betonske podloge i prionkljivost betona i armature: $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$
- 2-Hrapavost površine - ovisno o debljini sloja reparaturnog morta: ca 5mm za slojeve debljine ca 10-50 mm a ca 1mm za slojeve debljine 2-10 mm
- 3-pH: alkalno područje, >9
- 4-Koncentracija klorida: bez ograničenja (neki autori navode max 1%)
- 5-Otvorenost strukture betonske površine: >50% vidljivih zrnaca agregata , obuhvaćenost zrnaca cementnim matriksom ca 2/3 volumena zrna
- 6-Stupanj čistoće očišćene armature: min Sa2 odn. St3 (prema međunarodnim standardima ISO 8501-1, SIS 05 59 00 1967, DIN 55 928-Teil 4, ASTM D 2200-67, SSPC VIS) ovisno o metodi čišćenja: pjeskarenje, sačmarenje, hidrodinamički, ručno.

4.2.-Kriteriji kvalitete antikorozijskog sanacijsko-zaštitnog sustava/ materijala slojeva poviše armature: betona odn. reparaturnog morta, zaštitno-ukrasnog premaza odn.hidrofobne impregnacije svi sa sadržajem MCI-inhibitora:

- 1-Fluidonepropusnost: koeficijent plinopropusnosti $\leq 1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ (EN 993-4)
- 2- Difuzija klorida: $< 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (GF)
- 3-Koeficijent kapilarne vodoupojnosti: $< 10^{-1} \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$ (HRN.U.M8.300)
- 4-Alkalnost: pH > 9,5
- 5-Antikorozijska zaštita armature izražena jačinom/gustoćom korozijske struje:
- prema ASTM STP 1065: $< 0,1 \mu\text{A/cm}^2$

5 – **Tehnološki postupak ugradnje antikorozijskih sanacijsko-zaštitnih sustava**

5.1.-Antikorozijska zaštita armature novih AB-konstrukcija:

- 1-Dodavanje MCI[®]-inhibitora zamješavanjem pri proizvodnji betona za AB-konstrukcije.
Debljina zaštitnog sloja betona poviše armature min 2 cm.
PS: Umjesto dodavanja inhibitora u beton tijekom njegova spremanja zaštitu armature od korozije novih AB-konstrukcija može se izvesti naknadno nakon njene izvedbe impregnacijom površine zaštitnog sloja MCI[®]-inhibitorom. Poželjno je da se impregnacija učini na suhom i očvrslom betonu.
- 2-Obrada betonske površine zaštitno-ukrasnim premazom ili hidrofobnom impregnacijom oba sa sadržajem MCI[®]-inhibitora u cilju dodatne zaštite armature od korozije i sprječavanja upijanja atmosferskih oborina te time zaštita betona AB-konstrukcija od utjecaja vlage, atmosferilija, smrzavica, topivih soli i drugih utjecaja.

5.2.-Antikorozijska zaštita armature pri sanaciji postojećih/oštećenih AB-konstrukcija:

- 1- Priprema betonske površine u cilju prihvata sloja reparaturnog morta na način i do kriterija kvalitete kao u t.4.1. opisano.
- Ev. injektiranje pukotina injekcijskom smolom
- 2-Impregnacija cjelokupne betonske površine - dubinski očišćene uklanjanjem degradiranog površinskog/zaštitnog sloja betona ili samo površinski očišćene - sa MCI[®]-inhibitorom
- 3-Reprofiliranje betonske površine uključivo i zatvaranje otvorene i očišćene armature reparaturnim mortom sa sadržajem MCI[®]-inhibitora

4-Završna obrada betonske površine zaštitno-ukrasnim premazom sa sadržajem MCI®-inhibitora ili hidrofobnom impregnacijom također sa sadržajem MCI®-inhibitora u cilju dodatne zaštite armature od korozije i spriječavanja upijanja atmosferskih oborina te time zaštita betona AB-konstrukcija od utjecaja vlage, atmosferilija, smrzavica i topivih soli.

Zaštitno-ukrasni premazi mogu biti tankoslojni (debljine do ca 0,5 mm) ili debeloslojni (debljine sloja ca 2-3 mm) elastični koji pored zaštite od agresivnog okoliša premoštavaju i time brtve mikropukotine (širine do ca 1 mm).

6 – Monitoring

Kod projektiranja AB-konstrukcija, posebice značajnijih objekata, neophodno je projektirati održavanje objekata tijekom njihova životnog vijeka također ugradnjom senzora u AB-konstrukcije putem kojih će se pratiti stanje korozijske zaštite armature i stanje sanacijskog/zaštitnog sustava i pravovremeno poduzimati mjere zaštite i obnove korozijske zaštite armature novom impregnacijom sa MCI-inhibitorom odn. reparaturom oštećenih elemenata sanacijskog odn. zaštitnog sustava.

Na taj način stjecati će se praktično iskustvo neophodno za pravilno razumijevanje i tumačenje procesa korozijske zaštite armature MCI®-inhibitorima i za poduzimanje mjera za razvoj antikorozijskih materijala i sustava sa sadržajem MCI®-inhibitora – ovo tim više što smo mi ovdje na samom početku primjene ove obećavajuće tehnologije koja se u svijetu nedvojbeno dokazala i u praktičnoj primjeni. Navedimo samo primjer zaštite AB-konstrukcija zgrade PENTAGONA u Washingtonu, ca 100.000 m²: do primjene je moglo doći samo temeljem jasnog znanstveno-teorijskog objašnjenja i pozitivnog praktičnog iskustva u primjeni MCI®-inhibitora.

Uređajem GECOR-6 razvijenom u projektu Eureka/Eurocare EU-401 mjeri se stupanj korozije *in situ*. Ovim uređajem se mogu mjeriti slijedeći parametri

- Jačina/gustoća korozijske struje $I/\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Elektropotencijal korozije E/mV
- Polarizacijski otpor $R_p/\text{k}\Omega\text{cm}$
- Temperatura, $T/^{\circ}\text{C}$
- Relativna vlažnost, %RH

7- Postupak sanacije AB-konstrukcija modula br.3 obale br.5 u Luci Ploče izvršenih tijekom 2005. godine

Radove sanacije izvršila je tvrtka ŠKILJO-GRADNJA, Zagvozd prema Projektu sanacije koji je uradila tvrtka GEOKON, Zagreb. Kvalitetu primjenjenih materijala i kvalitetu izvedenih radova ispitivao je i kontrolirao IGH-Poslovni centar, Split.

1- Pripremni radovi: Čišćenje betonske površine i armature hidrodinamičkim uklanjanjem degradiranog materijala mlazom vode visokog pritiska (>2000 bara) za prihvrat materijala sanacijsko-zaštitnog sustava: uklanjao se od armature odvojeni i degradirani sloj zaštitnog betona sve do zdrave, čiste i čvrste podloge (kriterij kvalitete: vlažna čvrstoća betonske površine i prionljivost betona za armaturu $\geq 1,5$ N/mm²) hrapavosti ca 3-5mm ovisno o debljini sloja reparaturnog morta, otvorene strukture površine/ $>50\%$ vidljivih zrnaca agregata obuhvaćenih sa ca 2/3 volumena cementnim matriksom. Korodirana armatura čistila se hidrodinamički mlazom vode do stupnja čistoće min Sa2 odn. ručno do St3.

Visokotlačna pumpa nalazila se na plovilima sa kojih se vršila i ugradnja reparaturnog morta i završna površinska obrada zaštitno-ukrasnim premazom odn. hidrofbnom impregnacijom.

Transport materijala i komunikacija ljudi obavljala se kroz otvore u AB-ploči.

2- AKZ armature obavljena je sa PC premazom koji sadrži MCI inhibitor. Nanos u 1-2 sloja četkom, utošak cca 0,2 kg/m², za armaturu promjera 12 mm.



3- Impregnacija cjelokupne betonske površine sa vodenom otopinom (1:4) inhibitora korozije MCI – u prahu. Nanos četkom ili valjkom u 2-3 sloja ukupne izdašnosti cca 25 m²/kg.



4- Reprofiliranje betonske površine i zatvaranje otvorene armature vršilo se reparaturnim mortom sa na bazi 1-k PC-veziva sa sadržajem MCI-inhibitora ručnim nanošenjem u 1-3 sloja ovisno o ukupnoj debljini sloja morta (bilo je površina i do 8cm debljine morta). Svježe ugrađeni reparaturni mort u unutrašnjosti i podgledu konstrukcije gotovo da nije trebalo „njegovati“/štititi od prebrzog sušenja i gubitka tehnološke vlage jer je betonska konstrukcija u prostoru sa visokom relativnom vlažnošću zraka. Na betonskim površinama lica obale koje su izložene insolaciji i strujanju zraka svježe ugrađeni reparaturni mort, štitio se od prebrzog sušenja/“pregorijevanja“ vlaženjem, vlagonepropusnim pokrivkama ili obradom sa curingom na bazi sojina ulja koji sadrži MCI inhibitor nanosom sa četkom ili valjkom u jednom sloju, izdašnost ca 5 m²/l.



5- Zaštita cjelokupne površine tj. betonske i reprofilirane reparaturnim mortom od utjecaja vlage i atmosferilija vršila se zaštitno-ukrasnim premazom ili hidrofbnom impregnacijom:

- *Lice obale* obrađivano je zaštitno-ukrasnim premazom (svjetlo siva boja) na bazi 1-k akrilatnog veziva sa sadržajem MCI-inhibitora nanosom četkom ili valjkom u dva sloja ukupne izdašnosti ca 8 m²/l a,

- *Betonske površine u podgledu i unutrašnjosti konstrukcije* zaštićivane su obradom sa hidrofbnom impregnacijom na bazi silan-siloxana u vodenom mediju sa sadržajem MCI-inhibitora nanosom četkom ili valjkom u 1-2 sloja, obrađena površina ne mijenja izgled niti boju, izdašnost ca 3,5m²/l.

Napomena: Posebno treba naglasiti vrlo otežane uvjete izvođenja radova: s jedne strane uski prostori stiješnjeni morem i betoskom pločom i gredama a s druge strane neprekidno uplovljavanje i isplovljavanje brodova koji podižu valove, zatim jugo i plima i oseka koji podižu/mijenjaju nivo mora te konačno prilagođavanje ritmu rada luke tako da je izvođač primoran često prekidati radove.



6- Izveštaj IGH-PC, Split o kontroli kvalitete ugrađenog materijala i kvaliteti izvedenih radova je pozitivan, tako stoji u:

- t.2.1. Prethodna provjera kvalitete odabranog materijala: na osnovi dobivenih rezultata ispitivanja zaključuje se da sanacijski antikorozijski reparaturni mort zadovoljava kriterije navedene u Izvedbenom projektu projektantske tvrtke GEOKON

- t.2.2. Prethodna provjera kvalitete pripremljenosti podloge: vlačna čvrstoća betonske podloge „pull off“ iznosi $> 1,5 \text{ N/mm}^2$ čime zadovoljava traženi kriterij kao i koncentracija klorida koja iznosi $< 0,4\%$

- t.2.3. Kontrolna ispitivanja kvalitete ugrađenog materijala: na osnovi dobivenih tekućih rezultata ispitivanja kvalitete reparaturnog morta zaključuje se da reparaturni mort ugrađen na obali br.5 modulu br.3 u luci Ploče zadovoljava uvjete i kriterije date u Izvedbenom projektu

- t.2.4. Kontrola kvalitete izvedenog sanacijskog sustava: na osnovi svakodnevnih dobivenih tekućih rezultata ispitivanja kvalitete reparaturnog morta zaključuje se da reparaturni mort ugrađen u svakom šahtu modula br.3 na obali br.5 u luci Ploče zadovoljava uvjete i kriterije date u Izvedbenom projektu

- t.3. Završna ocjena kakvoće tekuće kontrole: potvrđuje se da je kakvoća materijala i radova dokazana propisanim i dokumentiranim ispitivanjima i da je u skladu sa uvjetima i kriterijima datim u Izvedbenom projektu Sanacija podgleda i lica AB-konstrukcije obale br.5 izrađenog od strane tvrtke GEOKON iz Zagreba.

7 – Literatura

- 1- Bjegović D., Mikšić B., Ukrainczyk V., Zaštita armature od korozije migracijskim inhibitorima
- 2- Bjegović D., Projektiranje životnog vijeka armiranobetonskih objekata na prometnicama, Znanstveno-istraživački projekt
- 3- Haynes M., (1997), Use of migratory corrosion inhibitors, Konstruktion Repair July/August
- 4- Mikšić B., Gelner L., Bjegović D., Sipos L., Migrating Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, Proceedings of the 8th European Symposium on Concrete Inhibitors, University of Ferrara, Italy, 1995
- 5- Broomfield J., The pros and cons of corrosion Inhibitors, Konstruktion Repair July/August, 1997
- 6- Alonso C., Andrade C., Effect of Nitrite as a Corrosion Inhibitor in Contaminated and Chloride-free Carbonated Mortars, American Concrete Institute Materials Journal, 1990
- 7- Rosenfeld I.L., Corrosion Inhibitors, McGraw-Hill Inc. New York, 1981
- 8- Berke N., Corrosion Inhibitors in Concrete, Concrete International 7, 1991
- 9- Concrete Manual, Cortec Corporation, St. Paul, 1996
- 10- Tehnička dokumentacija tvrtke CORTEC Corporation, Minnesota, USA
- 11- Izveštaj IGH-PC-Split o rezultatima ispitivanja kvalitete primjenjenih materijala i izvedenih radova sanacije u 2005.