

Zaštita armature od korozije u armiranobetonskim konstrukcijama

Jure Francišković

Ključne riječi

armiranobetonske konstrukcije, armatura, korozija, zaštita, korozijski inhibitori, antikorozivski materijal

Key words

reinforced-concrete structures, reinforcement, corrosion, protection, corrosion inhibitors, anticorrosive material

Mots clés

ouvrages en béton armé, ferrailage, corrosion, protection, inhibiteurs de corrosion, matériau anti-corrosif

Ключевые слова

железобетонные конструкции, арматура, коррозия, защита, коррозионные ингибиторы, антикоррозионный материал

Schlüsselworte

Stahlbetonkonstruktionen, Bewehrung, Korrosion, Schutz, Korrosionsinhibitoren, Antikorrosionsstoff

J. Francišković

Stručni rad

Zaštita armature od korozije u armiranobetonskim konstrukcijama

U radu se razmatra postupak zaštite armature od korozije u armiranobetonskim konstrukcijama primjenom inhibitora korozije na bazi amina (migracijskih korozivskih inhibitora) i antikorozivskih materijala sa sadržajem ovih inhibitora. Razmatra se sastav i kriteriji kvalitete antikorozivskih materijala i sustava za zaštitu novih i sanaciju postojećih armiranobetonskih konstrukcija. Opisuje se tehnološki postupak pripreme i ugradnje ovih materijala te kvaliteta betonske podloge.

J. Francišković

Professional paper

Corrosion protection in reinforced-concrete structures

The procedure for protecting reinforcement against corrosion in reinforced-concrete structures using corrosion inhibitors based on amines (migratory corrosion inhibitors) and anticorrosive materials containing such inhibitors, is described in the paper. Quality criteria and composition of anticorrosive materials and systems for the protection of both new and existing reinforced-concrete structures are considered. The technological procedure used for the preparation and placement of such materials, and the quality of concrete bedding, are also described.

J. Francišković

Ouvrage professionnel

Protection anticorrosion pour les ouvrages en béton armé

Le procédé anticorrosion pour les ouvrages en béton armé, dans lequel on utilise les inhibiteurs de corrosion se basant sur les amines (inhibiteurs de corrosion migratoires), et les matériaux anticorrosifs contenant ces inhibiteurs, sont décrits dans l'ouvrage. Les critères de qualité et la composition des matériaux anti-corrosifs, ainsi que les systèmes pour la protection des ouvrages en béton armé tant existants que nouveaux, sont considérés. Le procédé technologique utilisé pour la préparation et la mise en oeuvre de ces matériaux, et la qualité de l'assise en béton, sont également décrits.

Ю. Францишкович

Отраслевая работа

Защита арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях

Здесь рассматривается способ защиты арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях применением метода ингибитора коррозии на базе амина (миграционных коррозионных ингибиторов) и антикоррозионных материалов с содержанием этих ингибиторов. Рассматривается состав и критерии качества антикоррозионных материалов и системы по защите новых и санации существующих железобетонных конструкций. Описывается технологический способ подготовки и вмонтировки этих материалов, а также качество бетонного основания.

J. Francišković

Fachbericht

Korrosionsschutz der Bewehrung in Stahlbetonkonstruktionen

Im Artikel betrachtet man ein Verfahren des Korrosionsschutzes der Bewehrung in Stahlbetonkonstruktionen unter Anwendung von Korrosionsinhibitoren der Amin-Basis (Wanderkorrosionsinhibitoren) und Antikorrosionsstoffen die solche Inhibitoren enthalten. Man betrachtet die Zusammensetzung und die Qualitätskriterien der Antikorrosionsstoffe und der Systeme für den Schutz von neuen und die Sanierung von bestehenden Stahlbetonkonstruktionen. Beschrieben ist das technologische Verfahren der Vorbereitung und des Einbaus dieser Stoffe, sowie die Qualität der Betonunterlage.

Autor: Dr. sc. Jure Francišković, dipl. ing. chem., savjetnik tvrtke Longus d.o.o., Zagreb, Sachsova 4

1 Uvod

Prema statističkim pokazateljima oštećenja armiranobetonskih konstrukcija uzrokovana korozijom armature čine više od 80% svih oštećenja. Korozija armature i štete koje ona uzrokuje na armiranobetonskim konstrukcijama ponajprije su gospodarsko pitanje i čine znatnu stavku u proračunu svake zemlje.

Do prije otprilike 30 godina mišljenje stručne javnosti bilo je da su beton i armiranobetonske konstrukcije «vječni». Pojave oštećenja i građevinske štete upozorili su da beton i armiranobetonske konstrukcije ipak nisu «vječni» - počela su sustavna istraživanja uzroka i mehanizama procesa oštećivanja.

Rezultati istraživanja su novi načini i postupci te materijali za zaštitu i sanaciju armiranobetonskih konstrukcija koje imamo danas, a u funkciji su debljine zaštitnog sloja betona te njihova fluido(ne)propusnost (za vodu, vodenu paru, plinopropusnost/CO₂, SO_{2,3}, N_xO_y, O₂, difuzija topivih soli posebice klorida itd.) te dodatna zaštitna površine betona premazima, običnim i hidrofobnim impregnacijama, katodna zaštita armature, površinska zaštita armature EP-smolama, primjena nehrđajuće armature i armature iz drugih korozijski postojanih materijala itd. Istovremeno se istražuju mehanizmi i procesi korozije armature te uloga i način utjecaja agresivnih supstancija pri čemu su kloridi nezaobilazni predmet istraživanja.

Danas je posve normalno da se u projektima i troškovnicima radova nalaze i projekti zaštite novih odnosno sanacije starih armiranobetonskih konstrukcija.

Pitanje zaštite armature inhibitorima korozije danas je približno takvo kao što je bilo pitanje zaštite armiranobetonskih konstrukcija prije 30 i više godina.

Zaštita armature od korozije, zaštita novih i sanacija starih armiranobetonskih konstrukcija aaminskim inhibitorima korozije i antikorozijskim materijalima i sustavima sa sadržajem ovih inhibitora bitan je doprinos i veliki iskorak u produžetku trajnosti životnog vijeka tih konstrukcija, a time istodobno značajno smanjenje troškova održavanja i efikasnost iskorištavanja objekta.

Aaminski inhibitori korozije i antikorozijski materijali i sustavi, tj. oni koji sadrže aminske inhibitore za zaštitu armature od korozije, zaštitu novih i sanaciju starih armiranobetonskih konstrukcija, uspješno se primjenjuju u svijetu već više od 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 određenim termodinamičkim uvjetima.

2.2 *Korozija armature* jest kemijska (ispravnije: elektrokemijska) reakcija oksidacije (hrđanje, korozija) armature (željeza) s kisikom u prisutnosti vlage pri određenoj temperaturi.

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

- anodni proces: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ i
- katodni proces: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ odnosno uz sudjelovanje klorida:
- Fe^{++} (odnosno $\text{Fe}(\text{OH})_2$) + $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2$
- $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$
- $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ 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* jest željezni oksid/Fe_xO_y: $2\text{Fe} + 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{toplina} \rightarrow 2\text{FeOH}$
1 vol oko 2,5 vol.

- «Čisti» željezni oksid ima približno 2,5 puta veći obujam 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 termodinamičkim uvjetima pri kojima teče elektrokemijska reakcija korozije; obujam nastalih korozijskih produkata je oko 3-12 puta veći od početnog obujma armature/željeza.
- Pojava korozije na površini armature ne uzrokuje samo smanjivanje prionljivosti (adhezije) između armature i betona i smanjivanje presjeka armature, nego također – zbog velikog povećavanja obujma korozijskih produkata u odnosu na početni obujam armature – goleme pritiske koji uzrokuju pojavu pukotina, odvajanja, raspućavanja 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) i time štiti armaturu od korozije pri «normalnom»/neagresivnom okolišu. Ova zaštita funkcionira samo pri alkalnosti betona pH > 9,5 i bez prisutnosti klorida (najveća koncentracija Cl⁻ treba biti manja od 0,4%) i drugih agresivnih supstancija kao primjerice CO₂, SO_{2,3}, N_xO_y itd., općenito kiselih sastojaka okoliša koji uzrokuju karbonatizaciju 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 sljedećih osnovnih komponenata:

- očvrslog cementnog veziva (cementni kamen, cementni matriks) nastalog kemijskom reakcijom hidratacije cementa (mljevenog klinkera/spojeva Ca-silikata i -aluminata) s 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 pri alkalitetu $\text{pH} < 9,5$,
- 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, dodaci za postizanje ciljanih visokovrijednih svojstava očvrslog/otvrdnutog betona, npr. mikrosilika, polimerna i čelična vlakanca i dodaci za sprječavanje deformacija/stezanje betona, itd.

2.6 *Aminski su inhibitori* (migracijski korozijski inhibitori) kemijski spojevi na bazi amina (primjerice. 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 oko 20 μm , rezistentan na mnoge agresivne supstancije okoliša ponajprije na utjecaj klorida u prirodi sveprisutnog a istodobno vrlo agresivnog na okside željeza koje kemijski razara.

Aminski inhibitori korozije štite armaturu od korozije u oba oksidacijska područja: katodnom i anodnom za razliku od nekih drugih tipova inhibitora korozije kao npr. nitrita, stoga se aminski inhibitori korozije označavaju i kao miješani inhibitori korozije.

Aminski inhibitori korozije na bazi aminskih spojeva pripadaju grupi tzv. katodnih odnosno katodno-anodnih inhibitora koji se adsorbiraju (kemisorpcijom)

na površini armature, sprječavajući difuziju reaktanta 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.

- Naprijed je navedeno da je korozija armature oksidacijski/korozijski proces kemijske/elektrokemijske reakcije željeza (armature) i kisika u prisutnosti vlage pri određenoj temperaturi.
- Osim koncentracije reaktanta (Fe , O_2 , H_2O) i temperature brzina reakcije korozije armature ovisi i o alkalnosti/pH-vrijednosti medija/porne vode u betonu: pri $\text{pH} > 9,5$ na površini armature formira se za reaktante korozije vrlo gusti nepropusni sloj željeznog oksida, tzv. pasivni sloj, koji štiti armaturu od korozije sprječavajući difuziju reaktanta (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 – primjerice karbonatizacijom betona reakcijom CO_2 iz zraka i kalcijeva hidroksida/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ u betonu, ili utjecajem kiselih komponenata okoliša na beton npr. oksida $\text{SO}_{2/3}$, N_xO_y i sl. – slabi i razara se zaštitni pasivni sloj (uglavnom 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 $>$ oko 0,4%, «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 termodinamičkoga potencijala (Fe , O_2 , H_2O) reakcijom oksidacije prelaze u kemijski stabilniji spoj nižega termodinamičkoga potencijala (Fe_xO_y).
- Kloridi ne reagiraju kemijski direktno sa željezom/armaturom, tj. kloridi nisu oksidanti željeza već pri koncentraciji klorida $>$ oko 0,4% na cement (otprilike 0,7 kg/m^3 betona) kemijski reagiraju s pasivnim slojem željeznog oksida razarajući ga i time omogućuju pristup reaktanta korozije armaturi uzrokujući kemijsku reakciju tj., koroziju armature. Naime, produkti kemijske reakcije klorida i Fe-oksida/pasivni topiv su sloj u vodi (FeCl_2 odnosno $\text{Fe}(\text{OH})_2$) te tako omogućuju napredovanje i ubrzanje procesa korozije (vidi 2.2.).

3 Način djelovanja i primjene aminskih inhibitora

3.1 Način djelovanja aminskih inhibitora

- Aminski 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 njezinoj površini vrlo gust za agresivne supstancije i reaktante korozije nepropusni i rezistentni mikrosloj debljine oko 20 μm , štiteći armaturu od korozije.
- Aminski inhibitori difundiraju i kroz «zdravi» korozijski sloj na armaturi stupnja čistoće otprilike Sa2 i St3. Ovime se otvaraju osnove za nove kriterije kvalitete u pripremi podloge pri sanacijskim radovima: uklanja se samo degradirani 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 odgovarajućim aminskim inhibitorom budući da inhibitor difundira i kroz «zdravi» sloj korozije do armature gdje formira zaštitni sloj rezistentan na koroziju.
- Tako, primjerice, sanacijama armiranobetonskih 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 ($>0,4\%$) više nije potrebno primjenjivati (dosadašnji) kriterij kojim se traži uklanjanje kloridima kontaminiranog sloja betona sve do podloge betona koncentracije klorida $<0,4\%$ ili/i do sloja nekarbonatiziranog betona $\text{pH}>9,5$: uklanja se samo mehanički degradirani sloj betona do međusobne adhezije i adhezije za armaturu $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$, a zatim se:
 - 1 očišćena i ohrapavljena podloga impregnira aminskim inhibitorom
 - 2 reprofilira betonska površina i zatvara otvorena armatura reparaturnim mortom sa sadržajem aminskog inhibitora te
 - 3 završno površinski obrađuje zaštitno-ukrasnim premazom ili hidrofobnom impregnacijom oba sa sadržajem aminskog inhibitora, radi zaštite armiranobetonske konstrukcije od navlaživanja, utjecaja atmosferilija, smrzavica, soli i drugih agresivnih supstancija okoliša.

Bitno je istaknuti da zaštitu armature od korozije i zaštitu novih odnosno sanaciju starih armiranobetonskih kons-

trukcija treba izvršiti cjelovitim zaštitnim sustavom, 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 armiranobetonsku konstrukciju od degradacije/oštećenja.

3.2 Načini primjene aminskih inhibitora

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

1. direktnim dodavanjem aminskog inhibitora u beton, cementni ili PC mort odnosno građevinske materijale na bazi drugih veziva pri njihovu pripremanju bilo na gradilištu ili u pogonu i
2. primjenom industrijski proizvedenih materijala (koji već sadrže aminske inhibitore) za zaštitne i sanacijske radove armiranobetonskih konstrukcija, npr. reparaturne mortove, mortove za zalijevanje i podlijevanje, zaštitno-ukrasne premaze, hidrofobne impregnacije, ljepila, itd.

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

- beton osnovne armiranobetonske konstrukcije (kod novih se konstrukcija aminski inhibitor dodaje pri zamješivanju betona, a kod sanacijskih radova očišćeni se beton impregnira aminskim inhibitorom),
- reparaturni mortovi pri sanacijskim radovima
- te završni površinski premaz ili hidrofobnu impregnaciju za zaštitu novih i starih armiranobetonskih konstrukcija od navlaživanja, atmosferilija, smrzavica, soli i drugih agresivnih utjecaja.

3.3 Kriteriji zaštite armature od korozije

1. Kriteriji zaštite izraženi jačinom/gustoćom korozijske struje $I/\mu\text{A}/\text{cm}^2$:

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 armature
- $I = > 1,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 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 korozivne struje $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Stupanj oštećenja korozijom:
$< 0,5$	ne očekuje se oštećenje korozijom
$0,5-2,7$	oštećenja korozijom moguća su za 10-15 godina
$2,7-27$	oštećenja korozijom očekuju se za 2-10 godina
> 27	oštećenja korozijom očekuju se za 2 godine i prije

- 2 Kriteriji zaštite izraženi elektropotencijalom korozije E/mV:

Prema ASTM C-876:

$E = > -200 \text{ mV}$: $> 95\%$ vjerojatnosti da nema pojave korozije

$E = \text{od } -200 \text{ mV do } 350 \text{ mV}$: 50% vjerojatnosti pojave korozije (nesigurno područje)

$E = < -350 \text{ mV}$ $> 90\%$ vjerojatnosti da je korozija nastupila

3. Kriteriji zaštite na temelju polarizacijske otpornosti $R_p/k\Omega\text{cm}$ (Broomfield, 1994., Andrade, 1999.):

$R_p = > 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$: nije moguće utvrditi koroziju između aktivnog i pasivnog područja

$R_p = 50 - 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$: mali stupanj korozije

$R_p = 10 - 50 \text{ k}\Omega\text{cm}$: srednji do visoki stupanj korozije gdje je još aktivan čelik

$R_p = > 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$: 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 armiranobetonskih konstrukcija za prihvat antikorozijskih sanacijsko - zaštitnih sustava:

1. vlačna čvrstoća betonske podloge: $\geq 1,5 \text{ N}/\text{mm}^2$,
2. hrapavost površine - ovisno o debljini sloja reparaturnog morta: ca 5mm za slojeve debljine ca 10-50 mm, a oko 1mm za slojeve debljine 2-10 mm,

3. pH: alkalno područje [9],
4. koncentracija klorida: bez ograničenja (neki autori navode najviše 1% [9]),
5. otvorenost strukture betonske površine: $>50\%$ vidljivih zrnaca agregata, obuhvaćenost zrnaca cementnim matriksom otprilike 2/3 obujma zrna,
6. stupanj čistoće očišćene armature: min Sa2 odnosno 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 odnosno reparaturnog morta, zaštitno-ukrasnog premaza odnosno hidrofobne impregnacije

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: $< 10^{-1} \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}^{1/2}$ (HRN.U.M8.300),
4. alkalnost: pH $> 9,5$,
5. antikorozijska zaštita armature izražena jačinom/gustoćom korozivne struje: - prema ASTM STP 1065: $< 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

5 Tehnološki postupak ugradnje antikorozijskih sanacijsko-zaštitnih sustava

5.1 Antikorozijska zaštita armature novih armiranobetonskih konstrukcija:

1. Dodavanje aminskih inhibitora zamješavanjem pri proizvodnji betona za armiranobetonske konstrukcije. Debljina zaštitnog sloja betona poviše armature jest najmanje 2 cm.

PS: Umjesto dodavanja inhibitora u beton tijekom njegova spremanja zaštitu armature od korozije novih armiranobetonskih konstrukcija može se izvesti naknadno nakon njezine izvedbe impregnacijom površine zaštitnog sloja aminskim inhibitorom. Poželjno je da se impregnacija obavi na suhom i očvrslom betonu.

2. Obrada betonske površine zaštitno-ukrasnim premazom ili hidrofobnom impregnacijom sa sadržajem aminskog inhibitora radi dodatne zaštite armature od korozije i sprječavanja upijanja atmosferskih oborina te time zaštita betona

armiranobetonskih konstrukcija od utjecaja vlage, atmosferilija, smrzavica, topivih soli i drugih utjecaja.

5.2 Antikorozijska zaštita armature pri sanaciji postojećih/oštećenih armiranobetonskih konstrukcija:

1. Priprema betonske površine radi prihvata sloja reparaturnog morta na način i do kriterija kvalitete kao u t.4.1. Eventualno injektiranje pukotina injekcijskom smolom.
2. Impregnacija cjelokupne betonske površine – dubinski očišćene uklanjanjem degradiranoga površinskog/zaštitnoga sloja betona ili samo površinski očišćene - aminskim inhibitorom.
3. Reprofiliranje betonske površine uključivo i zatvaranje otvorene i očišćene armature reparaturnim mortom sa sadržajem aminskog inhibitora.
4. Završna obrada betonske površine zaštitno-ukrasnim premazom sa sadržajem aminskog inhibitora ili hidrofobnom impregnacijom također sa sadržajem ovoga inhibitora, radi dodatne zaštite armature od korozije i sprječavanja upijanja atmosferskih oborina te time zaštita betona armiranobetonskih konstrukcija od utjecaja vlage, atmosferilija, smrzavica i topivih soli.

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

6 Monitoring

Pri projektiranju armiranobetonskih konstrukcija, posebice značajnijih objekata, nužno je projektirati održavanje objekata tijekom njihova životnog vijeka također ugradnjom senzora u armiranobetonske konstrukcije putem kojih će se pratiti stanje korozijske zaštite armature i stanje sanacijskog/zaštitnog sustava te pravodobno poduzimati mjere zaštite i obnove korozijske zaštite armature novom impregnacijom s aminskim inhibitorom odnosno reparaturom oštećenih elemenata sanacijskog odnosno zaštitnog sustava.

Na taj će se način stjecati praktično iskustvo prijeko potrebno za pravilno razumijevanje i tumačenje procesa korozijske zaštite armature aminskim inhibitorima i za poduzimanje mjera za razvoj antikorozijskih materijala i sustava sa sadržajem aminskih inhibitora, to više što smo mi ovdje na samom početku primjene ove obećavajuće tehnologije koja se u svijetu nedvojbeno dokazala i u praktičnoj primjeni.

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

- jačina/gustoća korozijske struje $I/\mu A/cm^2$,
- elektropotencijal korozije E/mV ,
- polarizacijski otpor $R_p/k\Omega cm$,
- temperatura, $T/^\circ C$,
- relativna vlažnost, %RH.

LITERATURA

- [1] Rosenfeld, I. L.: *Corrosion Inhibitors*, McGraw-Hill Inc., New York, 1981.
- [2] Alonso, C.; Andrade, C.: *Effect of Nitrite as a Corrosion Inhibitor in Contaminated and Chloride-free Carbonated Mortars*, American Concrete Institute Materials Journal, 1990.
- [3] Berke, N.: *Corrosion Inhibitors in Concrete*, Concrete International 7, 1991.
- [4] Bjegović, D.: *Projektiranje životnog vijeka armiranobetonskih objekata na prometnicama*, znanstveno-istraživački projekt, ugovor br. 345-03-03-8044/94 između Javnog poduzeća Hrvatske ceste i Odjela za materijale Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, listopad 1994., 137 stranica
- [5] 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.
- [6] Haynes, M.: *Use of migratory corrosion inhibitors*, Construction Repair, July/August 1997.
- [7] Broomfield, J.: *The pros and cons of Corrosion Inhibitors*, Construction Repair, July/August 1997.
- [8] Bjegović, D.; Mikšić, B.; Ukrainczyk, V.: *Zaštita armature od korozije migracijskim inhibitorima*, Građevinar 50 (1998) 4, 193-202.
- [9] Bavarian, B.; Reiner, L.: *Migrating Inhibitor Protection of Steel Rebar in Concrete*, Materials Performance, Feb. 2003., p.3-5
- [10] Yongmo, X.; Hailong, S.: *Comparison of Amin- and Nitrite-Inhibitors in Carbonation-Induced Corrosion*, China Building Materials Academy, Materials Performance, Jan. 2004., p.42-46