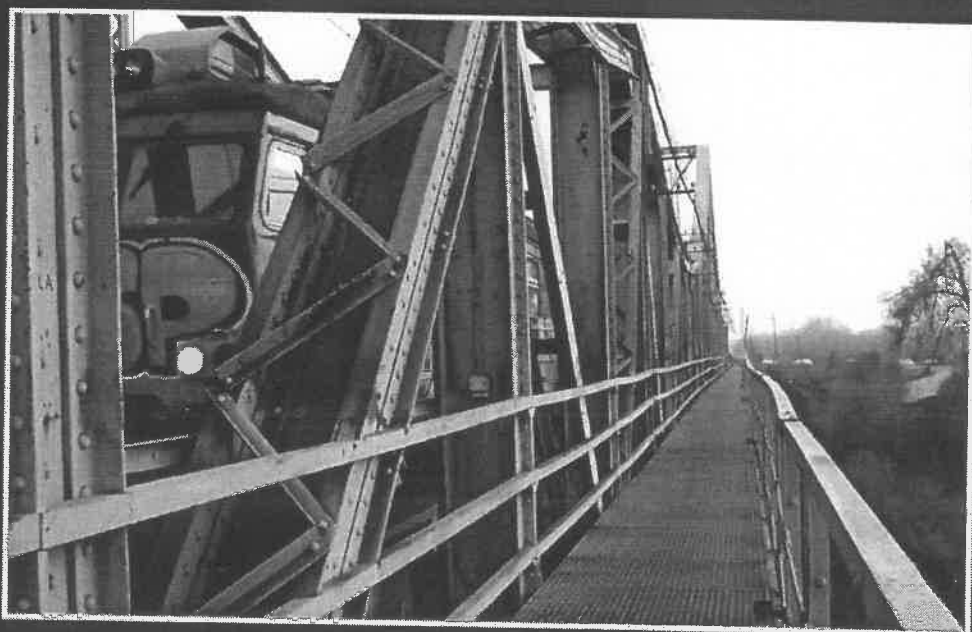




**НАРОДНА ТЕХНИКА  
ПОЖАРЕВАЦ**

**САВЕТОВАЊЕ  
КОРОЗИЈА И ЗАШТИТА МАТЕРИЈАЛА  
У ТОКУ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ**

**ЗБОРНИК РАДОВА**



Пожаревац, 2008.

**Саветовање: Корозија и заштита материјала у току експлоатације**  
**Зборник радова**

*Издавач*

Народна техника, Пожаревац  
Пожаревац Вељка Дугошевића 14

*За издавача*

Мр Владан Ђулаковић, дипл. инг. пољ., председник НТ  
Мирољуб Трифуновић, дипл. инг. мет., секретар НТ

*Уредник*

Мирољуб Трифуновић, дипл. инг. мет.

*Област*

Корозија и заштита материјала

*Табеле, слике и формуле: Аутори*

*Припрема за штампу:*

Милан Грујић, инг. информатике, ВТШ Пожаревац

*Штампа*

''Kompromis design'', Požarevac

*Тираж: 500 примерака*

ISBN 978-86-912-123-0-8

Пожаревац, 2008.

Предговор .....

Мирољуб ТРИФУНОВИЋ  
Стање заштите  
Пожареваца.....  
Miroљub TRIFUNOV  
THE STATE OF  
GOODS THE

Миомир Г. ПАВЛЈОВИЋ  
Неки аспекти  
Miomir G. PAVLOVIĆ  
SOME ASPECTS  
AND METAL

Часлав М. Лачњевац  
Можљивост де

Nedeljko Krstajić  
Korozija term

Др Драгица Јевтић  
Основни облици  
са методама заштите  
Dr Dragica Jevtić  
BASIC TYPES OF  
PROTECTIO

Зорица КОВАЧЕВИЋ  
Корозија у цепама  
израђеним од  
ZORICA KOVAČEV  
CORROSION  
MADE FROM

Zoran Grdić, Gordana  
Korozija armature  
njenog odredi

...ivanje delovanja  
...i, Međunarodno  
str. 173-178.  
...81.  
(2007) Korozija  
32.

*Investigation of  
boiler pipes by  
on Mining and  
str. 443-448.*

*sphitic corrosion  
z cast iron, 40<sup>th</sup>  
gy, Soko Banja-*

stitute for metals

Newnes limited,

## I CAST IRON

...ortant role. This  
ion. So, cast iron  
At the begginig  
years they were  
gray cast iron is  
water suppying

...tructure changes  
d the changes in  
ven less. Such  
hanges, partly to

...ipes already are  
stage and further

...pplying pipes

Zoran Grdić<sup>2</sup>  
Gordana Topličić-Čurčić<sup>3</sup>  
Nenad Ristić<sup>4</sup>  
Iva Despotović<sup>3</sup>

## KOROZIJA ARMATURE U BETONU I JEDNA OD METODA NJENOG ODREĐIVANJA

*Rezime: Pod određenim uslovima u armirano betonskim konstrukcijama može doći do pojave korozije armaturnog čelika. Stepem korozije može biti veoma različit, od početnog do veoma uznapredovalog, u zavisnosti od čega treba preduzeti različite mere zaštite ili sanacije konstrukcije. U ovom radu je prikazana nedestruktivna metoda određivanja korozione aktivnosti armaturnog čelika primenom aparata CANIN (Corrosion Analysing Instrument). Princip metode je baziran na merenju električnog potencijala koji se detektuje na površini betona i koji nastaje kao posledica elektrohemijskog procesa korozije armature.*

*Ključne reči: armirano betonske konstrukcije, korozija armature, CANIN*

## CORROSION PROCESS IN REINFORCED CONCRETE AND ONE METHOD OF ITS DETERMINATION

*Summary: Corrosion of the rebar steel may occur under certain conditions in the reinforced concrete structures. The degree of reinforcement can be very varied, from the initial phase to the very advanced corrosion, on which bases the various protection or remedial structural measures should be undertaken. This paper presents the non-destructive method of the reinforcement steel corroding process activity determination, applying the CANIN device (Corrosion Analysing Instrument). The principle of the method is base on themesuring of the electric potential which is detected on the surface of concrete and which is generated as a result of the electro-chemical corrosion proces of the reinforcement.*

*Key words: reinforced concrete structures, reinforcement corrosion, CANIN*

<sup>2</sup> Van.prof., Dr, dipl.inž.grad., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva br.14, 18000 Niš, Srbija

<sup>2</sup> Ass., Mr, dipl.inž.grad., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva br.14, 18000 Niš, Srbija

<sup>3</sup> Stipendista Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, dipl.inž.grad., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva br.14, 18000 Niš, Srbija

## UVOD

Poznato je da pod određenim uslovima u armirano-betonskim konstrukcijama ili pojedinim konstruktivnim elementima može doći do pojave korozije armaturnog čelika. Stepem korozije može biti veoma različit, od početnog do veoma uznapredovalog, u zavisnosti od čega treba preduzeti različite mere zaštite ili sanacije konstrukcije. U ovom radu je prikazana nedestruktivna metoda određivanja korozione aktivnosti armaturnog čelika primenom aparata CANIN (Corrosion Analysing Instrument). Princip metode je baziran na merenju električnog potencijala koji se detektuje na površini betona i koji nastaje kao posledica elektrohemijskog procesa korozije armature. Metoda je primenjiva kako u laboratoriji, tako i na terenu na svim armirano-betonskim konstruktivnim elementima. Preciznost aparata je takva da omogućava da se detektuje postojanje uslova za koroziju armature u betonu i u slučajevima kada korozija same armature još nije započela ili je u najranijoj fazi.

## TEORIJSKA RAZMATRANJA

Korozija je proizvod reakcije između materijala i njegovog okruženja. Najčešći primer korozije sreće se kod čelika, jer je on najzastupljeniji tehnički metal. Čelik reaguje sa okolinom formirajući jedinjenja kao što su oksidi, sulfidi i hloridi pri čemu gubi početna fizička i hemijska svojstva. Mada otkazivanja konstrukcija koja nastaju usled korozije mogu biti katastrofalna, često se radi o vrlo sporim procesima, koji se mogu otkriti pre havarija.

Beton i armature se ne degradiraju istom brzinom. Uzročnici korozije betona ne moraju biti istovremeno i uzročnici korozije armature. S druge strane, korozija armature ne prati obavezno koroziju betona.

Korozija armature može nastati, najčešće, kod poroznog betona, kada je zaštitni sloj betona nedovoljno deo, kada nastaju elektrolitičke pojave, kada u betonu postoje naprsline, itd.

Korozija gvožđa u armiranom betonu nastaje najčešće u zoni u kojoj postoji kapilarno vlaženje betona u vlažnoj atmosferi, naročito ako su prisutni i gasovi, kao što su CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO itd.

Korozija armature je intenzivnija kada je relativna vlažnost vazduha 80 – 90%. Armirano betonske konstrukcije kod kupatila, vešernica, instalacije za bojenje, fabrike hartije i hemijskih postrojenja, izložene su mnogo više koroziji.

Uzroci korozije armature u betonu mogu biti usled:

- karbonatizacije – reakcije Ca(OH)<sub>2</sub> sa ugljendioksidom, uz formiranje kalcijum karbonata - Ca(OH)<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> → CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O;
- opadanja alkaliteta betona – ukoliko je pH < 9, dolazi do korozije armature u betonu, uz uslov da budu prisutni CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> i vlaga;
- prisustva hlorida u betonu.

Bazičnost betona potiče od prisustva Ca(OH)<sub>2</sub> u betonu. Rastvor Ca(OH)<sub>2</sub> u betonu je rezultat hidrolize u procesu vezivanja i očvršćavanja cementa. U svežem betonu je pH > 12. Utroškom Ca(OH)<sub>2</sub> iz svežeg betona karbonatizacijom, usled delovanja pucolana ili delovanja kiselih agresivnih rastvora, prvenstveno iz atmosfere (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO itd.), alkalitet betona opada. Ukoliko je pH > 9,5, ne

postoji opasnost od  
Sloj rde je u slučaju  
armature, tako da se  
U procesu

pH < 9,5 :  
rde u odnosu na g  
betona za armaturu  
Korozija i  
svuda u okolini (N  
kao aditiv betonu, i

Korozija h  
Fe<sup>3+</sup>  
FeC

Poznato je c  
alkalnosti pri čemu  
korozije [1]. Među  
hemijske materije.  
produkti korozije  
konstrukcije. Joni l  
odmrzavanje koja s  
agregat i dr.) su n  
betonu).

Korozija čeli  
koja predstavlja r  
Posledica ovog proc  
dovoljnoj meri ugra  
prodiranja jona hlo  
manji u odnosu na o  
Korozija pre  
materijala i okoline  
faza. Korozija može  
pripada elektrohem  
sredinama.

Ako čelik d  
vlažne sredine on će

Fe - 2e → Fe

U sistemu u l  
vlažnoj sredini, nast

Fe<sup>++</sup> + OH<sup>-</sup>

Kako je Fe((  
kiseonika i prelazi u

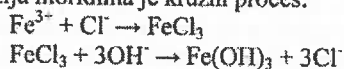
Fe(OH)<sub>2</sub> + H

postoji opasnost od korozije armature, jer se sloj  $Fe_2O_3$  (rđa) oko armature pasivizira. Sloj rđe je u tako visoko bazičnoj sredini ( $pH_1 > 9.5$ ) veoma gust i čvrsto prijanja za armature, tako da je štiti od daljeg rđanja.

U procesu karbonatizacije i rđanja gvožđa, ako padne pH ispod 9.5, tj. za  $pH < 9.5$  :  $2Fe + 3/2 O_2 + H_2O \rightarrow 2FeOOH$ , uz 2.5 puta povećanje zapremine rđe u odnosu na gvožđe, i odvajanja zaštitnog sloja betona, smanjuje se prionljivost betona za armaturu.

Korozija hloridima je naročito opasna i rasprostranjena, jer hlorida ima svuda u okolini (NaCl se, na primer, koristi za otapanje snega i leda), zatim  $CaCl_2$  kao aditiv betonu, itd.

Korozija hloridima je kružni proces:



Poznato je da beton obezbeđuje dobru zaštitu ugrađenom čeliku zbog svoje alkalnosti pri čemu se formira pasivan sloj na površini čelika, koji ga štiti od dalje korozije [1]. Međutim, beton je u većoj ili manjoj meri propustljiv za agresivne hemijske materije. Joni nekih od njih depasiviziraju čelik, počinje korozija i kada produkti korozije u dovoljnoj meri zamene čelik nastaje oštećenje betonske konstrukcije. Joni hlora, posebno u slučaju kada potiču iz natrijumhlorida (so za odmrzavanje koja se koristi u zimskom periodu, morske voda, neki aditivi, ponekad agregat i dr.) su najagresivniji posmatrano sa aspekta korozije čelika (armature u betonu).

Korozija čelika u betonu takođe može biti izazvana karbonatizacijom betona koja predstavlja reakciju alkalija iz betona sa ugljendioksidom iz atmosfere. Posledica ovog procesa je snižavanje pH-vrednosti betona tako da on više ne štiti u dovoljnoj meri ugrađeni čelik [1]. Proces karbonatizacije betona je mnogo sporiji od prodiranja jona hlora tako da je broj primera korozije izazvane karbonatizacijom manji u odnosu na onu izazvanu agresivnim dejstvom jona hlora.

Korozija predstavlja oštećenje koje je posledica interakcije konstrukcionog materijala i okoline i polazi sa površine materijala. To je reakcija na granici između faza. Korozija može biti hemijska i elektrohemijska. Najveći broj korozionih procesa pripada elektrohemijskoj koroziji koja može nastati samo u elektroprovodnim sredinama.

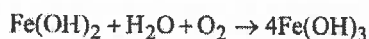
Ako čelik dođe u kontakt sa hemijski aktivnijom supstancom u uslovima vlažne sredine on će izgubiti dva elektrona i postaje pozitivno naelektrisan:



U sistemu u kojem se pozitivno naelektrisan čelik nalazi okružen vodom, tj. u vlažnoj sredini, nastaju uslovi za izdvajanje hidrosilnih jona sa kojima čelik reaguje:



Kako je  $Fe(OH)_2$  nestabilno jedinjenje, ono reaguje sa vodom u prisustvu kiseonika i prelazi u hemijski stabilnije jedinjenje:



Formirano jedinjenje  $Fe(OH)_2$  je zapravo rđa koja nastaje prethodno opisanim tipičnim mehanizmom korozije čelika.

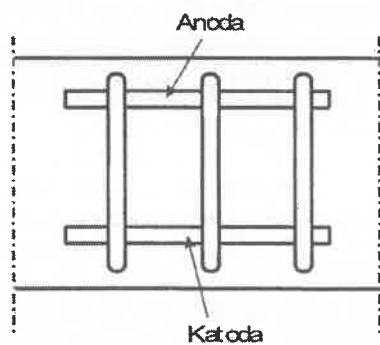
Ukoliko je čelik okružen betonom, u čijim se porama nalazi vodeni rastvor visoke pH-vrednosti, on se prevlači slojem oksida  $Fe_2O_3$  koji ga štiti od dalje korozije, tj. pasivizira ga.

Da bi proces korozije mogao da se nastavi treba prvo da se čelične šipke depasiviziraju, pri čemu joni hlora imaju odlučujuću ulogu. Naime, potrebno je da kiseonik, voda i joni hlora budu prisutni i da beton bude nedovoljno otporan prema takvoj agresiji. Naravno, svi ovi uslovi treba da budu ispunjeni istovremeno, ali je najvažniji faktor prodiranje jona hlora.

Proces kojim se depasivizira čelična armatura nije potpuno razjašnjen. Nekoliko teorija je predstavljeno da bi se objasnila uloga jona hlora. Prvi uslov, prema svim teorijama, je da joni hlora dopru do čelične armature, npr. kroz vodu u porama betona i kroz prsline u betonu. Prema teoriji oksidnog sloja, joni hlorida probijaju oksidni film. Sa te tačke gledišta čelične šipke bivaju depasivizirane i korozija može da počne. Prema teoriji prolaza kompleksa joni hlorida imaju ulogu katalizatora. Joni hlora se kombinuju sa jonima gvožđa formirajući rastvorljivi kompleks gvožđe-hlorida, koji difunduje do površine metala. Naredno razlaganje hlorida gvožđa oslobađa jone hlora za ponovno formiranje hlorida gvožđa i korozija otpočinje.

U realnim uslovima, korozija armature je često prisutna kod betonskih mostova. Koncentracija jona hlora u preseku betonskih mostova nije jednaka. Hloridi obično prodiru sa gornje strane mosta usled upotrebe soli za odmrzavanje u toku zime, tako da je armatura u gornjem delu mosta izloženija hloridima nego armatura u donjoj zoni. Tako se uspostavlja galvanski tip korozione čelije, tzv. makročelija, pri čemu se zatvara kolo električne struje u kome armatura predstavlja elektrode, a beton elektrolit, slika 1.

Uslovi za depasiviziranje šipki armature se stvaraju i kada ugljendioksid prolazi kroz zaštitni sloj betona i rastvara se u vodi u porama betona pri čemu se formira ugljena kiselina. Kiselina reaguje sa bazama iz cementa, formiraju se karbonati i smanjuje se pH-vrednost betona. Kada baznost dostigne dovoljno nizak nivo, čelična armatura se depasivizira i u prisustvu vode i kiseonika odpočinje korozija.



Slika 1. Galvanski tip korozione čelije, makročelija

Najsavremenije razvijene u Japanu moguće dobiti nego elektrohemija AE se rade i merenja se obavljaju rezonance 1 MHz. Pokazatelji testa s amplitude. Moguća amplituda) i prosečno. Ubrzani test korozivni rastvor NaCl. mA. Merenja se u bakarsulfatnim elektrodama srednji napon od -veća od 90%. U testu vlaženja i a, a zatim nedelju se ne dostigne razl

Aparatura z ima tzv. polučeliju u sudu od materij polučeljskoj reakc



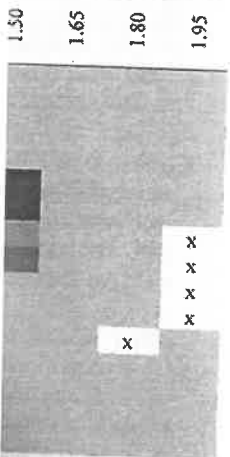
javlja potencijal z voltima. Potencijal sulfatnim polučelij koji odgovara koriš

Slika 2. Galvanski



o fizičko stanje  
etona i 3 nedelje  
ktivnosti između  
lanoj vodi, da bi  
da postoji bitna  
ativnija vrednost  
orozijske armature

6.4s	3.0s
3.5r	3.0r
>450	450



## Korozija u zaštita materijala u toku eksploatacije

### Preporuke za projektovanje, izvođenje i održavanje armirano betonskih konstrukcija u agresivnim sredinama

Prof. Al. Steopoe navodo niz preporuka vezano za projektovanje izvođenje i održavanje armirano betonske konstrukcije u agresivnim sredinama. Ukratko, te preporuke svode se na sledeće:

#### A. Prethodna istraživanja

1. Teren na kome će se graditi mora se detaljno istražiti, uključujući i režim podzemnih voda. Utvrđuje se da li je teren propustljiv ili ne, a ako su vode agresivne za beton, pratiće se njihov nivo za duže vreme.
2. Treba prostudirati tehnološki proces u slučaju industrijskih objekata i utvrditi eventualnu agresivnost svih produkata za konstrukciju i, na osnovu toga, izvršiti izbor materijala koji dolaze u obzir za izgradnju objekta, uz saradnju specijalizovanih instituta.

#### B. Preporuke za projektante

1. U slučaju očigledne agresivne sredine, treba predvideti paralelne načine zaštite. Pored kompaktnog betona, predvideće se antikorozivna zaštita.
2. Projektovanje receptura za beton vršiće se, ne samo prema potrebnim mehaničkim karakteristikama, već i prema potrebnim hemijskim osobinama. Prvenstveno treba imati na umu kompaktni beton i odgovarajuću zaštitu armature.
3. Izbegavaće se predviđanje elemenata konstrukcije sa roglastim oblicima, već će se primenjivati zaobljeni oblici.
4. Po savetu instituta, primenjivaće se odgovarajući aditivi za zaštitu armature.
5. Antikorozivna zaštita treba da se proteže na ceo teren, a po vertikali do određene visine, i za zidove i stubove, kako bi se sprečilo prodiranje i dodir sa korozivnim vodama.

#### C. Preporuke za izvođače

1. U principu se treba držati ne samo propisa i standarda već, ako je potrebno, koristiti i naučna dostignuća.
2. Izvođači su dužni da znački realizuju traženi kvalitet betona, imajući u vidu da najkvalitetnije komponente nisu same po sebi dovoljne za dobijanje kvalitetnog betona.
3. Posebnu pažnju treba posvetiti obuci radnika i kontroli njihovog rada.
4. Poželjno je da se snabdevanje betonom izvrši iz jednog centralizovanog mesta, gde se dozaža vrši po masi, a ne zapreminski, i gde je mogućnost pravilne dozaže savršena.
5. Svi materijali moraju biti atestirani, a neki će se ispitati i na samom gradilištu.
6. Gradilišne laboratorije imaju za cilj:
  - stalnu kontrolu kvaliteta materijala,
  - kontrolu ujednačenosti kvaliteta betona,
  - korektno spravljanje, negovanje i čuvanje epruveta,
  - ažurna i kompletna evidencija rezultata ispitivanja, uključujući



i statističku obradu podataka,  
- ukazivanje na sve utvrđene nepravilnosti.

#### D. Preporuke za investitore

1. Investitor mora da prati, kroz vreme, ponašanje konstrukcija i elemenata konstrukcija na koroziju.
2. Investitor mora da predvidi odgovarajuća finansijska sredstva za održavanje konstrukcija, koje su, evidentno, izložene koroziji.
3. Trebalo bi objavljivati, u specijalizovanoj literaturi, sva zapažanja vezana za koroziju objekata, kao i metode zaštite.

### ZAKLJUČAK

Korozija armature u armirano betonskim konstrukcijama, posebno kod objekata putne infrastrukture i kod određenih industrijskih objekata, posle njihove višegodišnje eksploatacije i neadekvatnog održavanja česta je pojava. Jedna od mogućnosti za njeno pravovremeno detektovanje i preduzimanje adekvatnih mera zaštite je i upotreba specijalne armature tipa CANIN, koja je u ovom radu prezentovana. Učinjen prvi korak u primeni ove metode kao i interpretacija rezultata, ukazuje da se sa velikom verovatnoćom može detektovati koroziona aktivnost armature u betonu. U cilju postizanja veće pouzdanosti u interpretaciji izmerenih vrednosti potencijala neophodno je mnogo više eksperimentalnog rada i to ne samo u laboratorijskim uslovima već i na stvarnim konstrukcijama od armiranog betona. Treba napomenuti da su prilikom rada sa aparatom korišćeni američki standardi.

### LITERATURA

1. Holm J.: "Comparison of the Corrosion Potential of Calcium Chloride and Calcium Nitrate-Based Non-Chloride Accelerator - A Macro-Cell Corrosion Approach", Corrosion, Concrete, and Chloride - Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints (SP-102), American Concrete Institute, Detroit, MI, 1987, pp. 35-48.
2. Thompson N.G., Lankard D.R.: "Improved Concretes for Corrosion Resistance (Report No. FHWA-RD-96-207)", Federal Highway Administration, Washington, DC, 1997, 176 pp.
3. ASTM C 876 - 91 (Reapproved 1999): Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
4. ASTM G 3 - 89 (Reapproved 1999): Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.
5. 3C15: Committee on Corrosion, Chairman: D. G. Manning, Corrosion Prevention, J. P. BROOMFIELD, Corrosion Consultant, D. G. MANNING, Ontario Ministry of Transportation.
6. Ohtsu M., Tomoda Y.: Phenomenological Model of Corrosion Process in Reinforced Concrete Identified by Acoustic Emission, ACI Materials Journal, March-April 2008.
7. Đorđević S.: Građevinski materijali II - postojanost materijala, Niš 1995.

Корозија  
дејством споља  
свим облицима  
Заступљена је  
зависности од  
заштите.

Кључне  
корозије

Корозија  
носећој челици  
заступљена је  
средини, темпе  
се одговарајући  
систем, силико

Једна  
агресивном деј  
Функција мос

Мост  
раскладне водо  
вина пепела и  
Локација мос  
Мост  
депоније пепел

Техничке кар  
Укупна дужина  
- дужина мост  
- дужина мост  
- тежина мост  
- ширина мост

Конструкција  
• Прел  
• Глав  
• Прел