

**XI YUCORR**

**INTERNATIONAL CONFERENCE**

**PROCEEDINGS**

**COOPERATION OF RESEARCHES OF DIFFERENT  
BRANCHES IN THE FIELDS OF CORROSION,  
MATERIALS PROTECTION AND  
ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**KNJIGA RADOVA**

**SARADNJA ISTRAŽIVAČA RAZLIČITIH  
STRUKA NA PODRUČJU KOROZIJE,  
ZAŠTITE MATERIJALA I ŽIVOTNE SREDINE**

*Pod pokroviteljstvom*

**MINISTARSTVA ZA NAUKU I TEHNOLOŠKI RAZVOJ  
REPUBLIKE SRBIJE**

*Under auspices of*

**MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGICAL  
DEVELOPMENT REPUBLIC OF SERBIA**

**TARA, 17. 05. - 20. 05. 2009.**

## NAUČNO-STRUČNI SIMPOZIJUM X YUCCOR

### IZDAVAČ

SAVEZ INŽENJERA SRBIJE ZA ZAŠTITU  
MATERIJALA (SITZAMS), 11000 BEOGRAD,  
KNEZA MILOŠA 7a/II, tel/fax: +381 11 3230 028  
E-mail: [sitzams@eunet.rs](mailto:sitzams@eunet.rs)  
[www.sitzam.org.rs](http://www.sitzam.org.rs)

### ZA IZDAVAČA

*Prof. dr MIOMIR PAVLOVIĆ, predsednik SITZAMS*

### ORGANIZACIONI ODBOR

*Prof. dr Časlav Lačnjevac, prof. dr Miomir Pavlović, dr Vladimir Panić, dr Nebojša  
Nikolić, dr Miodrag Stojanović, Zagorka Bešić, dipl inž., Miomirka Anđić, dipl. inž.,*

### UREDNICI

*Prof. dr Miomir Pavlović  
Prof. dr Časlav Lačnjevac*

### OBLAST

*KOROZIJA I ZAŠTITA MATERIJALA*

**GODINA IZDANJA: 2009.**

### KOMPJUTERSKA OBRADA

*Dušan Karadžić*

### ŠTAMPA

*„FOTO FUTURA“  
E-mail: [karadzici@nadlanu.com](mailto:karadzici@nadlanu.com)*

### TIRAŽ

*300 primeraka*

ISBN 978-86-82343-

**Autori snose punu odgovornost za originalnost  
i sadržaj sopstvenih radova**

INSTITU

# OCENA KOROZIJE ARMATURE U BETONU NEDESTRUKTIVNOM METODOM UPOTREBOM INSTRUMENTA CANIN

## DETERMINATION OF CORROSION PROCESS IN REINFORCED CONCRETE BY NON-DESTRUCTIVE METHOD APPLYING THE CANIN DEVICE

Zoran Grdić<sup>1</sup>, Gordana Topličić-Čurčić<sup>2</sup>, Iva Despotović<sup>3</sup>, Nenad Ristić<sup>4</sup>

### IZVOD

Pod određenim uslovima u armirano betonskim konstrukcijama može doći do pojave korozije armaturnog čelika. Stepen 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 korozivne 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.

### ABSTRACT

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.

### UVOD

Poznato je da pod određenim uslovima u armirano-betonskim konstrukcijama ili pojedinim konstruktivnim elementima može doći do pojave korozije armaturnog čelika. Stepen korozije može biti veoma različit, od početnog do veoma uznapredovalog, u zavisnosti od čega treba preduzeti različite mere zaštite ili sanacije konstrukcije. Postoje različite metode za određivanje korozije armature u betonu. U ovom

<sup>1</sup> dr, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>2</sup> dr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>3</sup> dipl.inž.grad, stipendista Ministarstva nauke, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>4</sup> dipl.inž.grad, stipendista Ministarstva nauke, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

radu je detaljnije pr  
armaturnog čelika  
Princip metode je ba  
ršini betona i koji n  
Metoda je primenjen  
konstruktivnim ele  
postojanje uslova z  
armature još nije z

### METODE ZA O

Korozij je pro  
korozije sreće se l  
okolinom formirju  
fizičk i hemijsk s  
ktstrofina, često s  
i armature se ne d  
istovremeno i uzr  
obavezno korozij  
betona, kada je z  
pojave, kada u b  
postojanja korozij  
i eksperata za me

### Metoda diska (

Kod metode  
i meri otpor izm  
jem čelijske kon  
ture) koja mož  
konstante nije n  
malnu tačnost, i  
poznate otporn  
čelijska konstar  
= 0.1 R, gde je

### Metoda dve e

U principu  
površini beton  
Praktično, ova  
ne preporučuju

U  
OM

S IN  
METHOD

rad Ristić<sup>4</sup>

može doći do  
ličit, od počet-  
ličite mere zaš-  
ktivna metodu  
CANIN (Cor-  
ju električnog  
lica elektrohe-

the reinforced  
om the initial  
ction or reme-  
non-destruct-  
etermination,  
inciple of the  
ed on the sur-  
ical corrosion

strukcijama ili  
e armaturnog  
uznapredov-  
sancije kon-  
osu. U ovom

radu je detaljnije prikazana nedestruktivna metoda određivanja korozivne 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.

## METODE ZA ODREĐIVANJE KOROZIJE ARMATURE U BETONU

Korozija je proizvod reakcije između materijal i njegovog okruženja. Najčešći primer korozije sreće se kod čelika, jer je on najzastupljeniji tehnički metal. Čelik reaguje s okolinom formirajući jedinjenje koje su oksidi, sulfidi i hloridi pri čemu gubi početna fizička i hemijska svojstva. Od otkrivajućih konstrukcija koje nastaju usled korozije mogu biti katastrofalna, često se radi o vrlo sporim procesima, koji se mogu otkriti pre hvatanja. 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 istovremeno i 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. Postoje različite metode za utvrđivanje postojanja korozije armature u betonu. RILEM (Međunarodno udruženje laboratorija i eksperata za materijale i konstrukcije) preporučuje sledeće metode:

### Metoda diska (jedna spoljašnja elektroda)

Kod metode diska elektroda (disk) postavlja na površinu betona, preko armature i meri otpor između diska i armature. Otpor može da se prevede u otpornost korišćenjem čelijske konstante koja zavisi od debljine zaštitnog sloja (sloja betona preko armature) koja može da varira i prečnika armature. Precizno sračunavanje čelijske konstante nije moguće zato što nije moguće predvideti tačan protok struje. Za maksimalnu tačnost, čelijska konstanta se određuje empirijski korišćenjem betonskih ploča poznate otpornosti. Za pokrivni sloj, disk i prečnik armature između 10 i 50 mm, čelijska konstanta je otprilike 0.1 m, tako da se otpornost može sračunati po formuli:  $R = 0.1 \cdot R$ , gde je R otpor između diska i armaturene šipke.

### Metoda dve elektrode

U principu, otpornost se može izmeriti korišćenjem dve elektrode postavljene na površini betona. Dokazano je da veličina elektroda znatno utiče na merene vrednosti. Praktično, ova metoda je manje pouzdana i teško se može potpuno isto ponoviti, pa se ne preporučuje.

## Metoda četiri elektrode

Po ovoj metodi, otpornost se računa prema sledećem izrazu:  $= 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$ , gde je  $a$  razmak elektroda a  $R$  otpor srečunat kao  $R = \Delta V/I$ . Zbog nehomogenosti betona i određene veličine elektrode, rezultat ne predstavlja tačnu otpornost, greška je u okviru 25 %. Zbog toga što je armatura mnogo bolji provodnik od betona, armaturne šipke će ometati ravnomeran protok struje. O Ovome posebno treba voditi računa prilikom postavljanja elektroda, jer ako je elektroda preko šipke na razmaku 10-20 mm, greška može da bude 2-6 puta. Preporuka je da elektrode budu na razmaku 30-50 mm i nijedna da se ne postavi direktno iznad armature. Analiza rezultata je prikazana u tabeli 1:

Tabela 1: Analiza rezultata ispitivanja

Otpornost betona ( $\Omega m$ )	Rizik od pojave korozije
< 100	visok
100-500	priličan
500-1000	nizak
> 1000	nema rizika

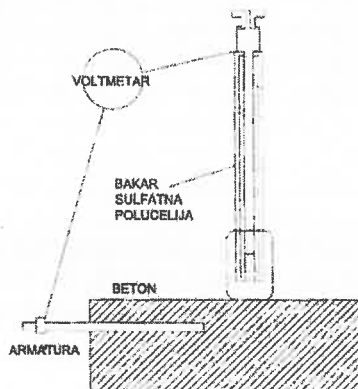
## PRINCIP RADA APARATA CANIN – (PREMA STANDARDIMA ASTM)

Aparatura za ispitivanje stepena korozije čelika u betonu (slika 1) mora da ima tzv. polućeliju, najčešće bakar-bakar sulfatnu, u obliku bakar sulfatnog rastvora u sudu od materijala koji sa njim ne reaguje. Metod koristi činjenicu da se pri polućelijskoj reakciji:



javlja potencijal zasićene bakar-bakar sulfatne polućelije koji se može izraziti u voltima. Potencijal se može meriti i korišćenjem drugih, a ne samo bakar-bakar sulfatne polućelije, ali se merene vrednosti konvertuju u ekvivalentni potencijal koji odgovara korišćenju bakar-bakar sulfatne polućelije.

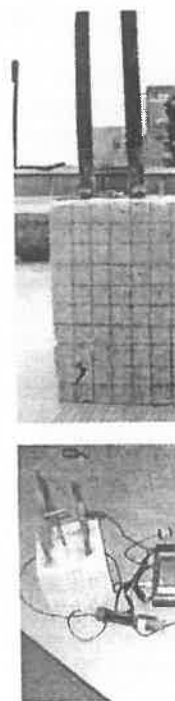
Slika 1. Galvanski element od armature i bakar sulfatne elektrode sa voltmetrom (šematski prikaz)



Usled korozije potencijal između potrebno je zatvoriti (žice) ostvari veza avlja se voltmetar polućelije treba postavljala most izm enja natopi rastv polućelije i obezbe pritiskom na povr elektrode na betor za merenje, formi ili na neki drugi n

Razmak izm konkretnog sluča imati smisla, jer č strane, ako je ras korozije u odred slučaju, razmak definiše kao num

Za potrebe p ivice 20 cm iz ist (armatura) na me



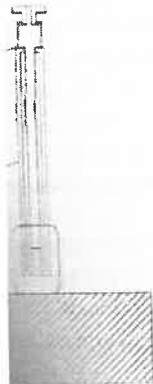
$a \cdot R$ , gde je  
 osti betona i  
 za je u okviru  
 urne šipke će  
 ana prilikom  
 ) mm, greška  
 30-50 mm i  
 prikazana u



**(ASTM)**

mora da ima  
 istvora u sudu  
 polučelijskoj

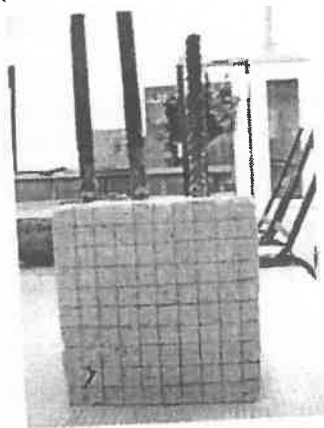
može izraziti u  
 kar-bakar sul-  
 potencijal koji



Usled korozije dolazi do polučelijske reakcije koja za posledicu ima ravnotežni potencijal između elektrolita i metala. Da bi se veličina potencijala mogla izmeriti potrebno je zatvoriti strujno kolo. To se može uraditi tako što se pomoću provodnika (žice) ostvari veza između armature i polučelije. Na relaciji armatura – polučelija postavlja se voltmetar pomoću kojeg se meri električni potencijal. Takođe, između betona i polučelije treba obezbediti prisustvo tečnosti niskog električnog otpora, koja bi predstavljala most između betona i polučelije. U tu svrhu se koristi sunder koji se pre merenja natopi rastvorom niskog električnog otpora. Sunder treba da obavije vrh polučelije i obezbedi kontinuitet između vrha polučelije i betonskog elementa čvrstim pritiskom na površinu betona. Dužina trajanja pritiska sunderastim delom polučelijske elektrode na beton mora biti dovoljna da se na displeju, koji je sastavni deo aparature za merenje, formira grafički prikaz izmerenog potencijala, što aparat indikuje zvukom ili na neki drugi način.

Razmak između mernih mesta nije tačno definisan i on se određuje zavisno od konkretnog slučaja. Ipak, merenje sa suviše malim rastojanjem mernih mesta neće imati smisla, jer će se dobijati gotovo iste vrednosti za susedna merna mesta. S druge strane, ako je rastojanje mernih mesta isuviše veliko, može se prevideti postojanje korozije u određenom delu konstruktivnog elementa koji se ispituje. U svakom slučaju, razmak mora ostati konstantan na elementu koji se ispituje. Merenje se definiše kao numerisani folder u aparatu.

Za potrebe probnog ispitivanja u laboratoriji napravljene su dve betonske kocke ivice 20 cm iz istog mešungaa, beton klase C 25/30. U kocke su ugrađene čelične šipke (armatura) na međusobnom rastojanju od 5 cm (slike 2,3).



Slika 2. Izgled jednog betonskog tela sa ugrađenom armaturom



Slika 3. Izgled aparature



Da bi se rezultati mogli interpretirati u odnosu na realno fizičko stanje uzoraka izmerena je koroziona aktivnost odmah po očvršćavanju betona i 3 nedelje kasnije. Kako bi se napravila i registrovala razlika u korozionoj aktivnosti između uzoraka, jedan je negovan u običnoj vodi, dok je drugi negovan u slanoj vodi, da bi joni hlora ubrzali proces korozije. Izvedena merenja su pokazala da postoji bitna razlika u izmerenim vrednostima električnog potencijala na ova dva uzorka. Na uzorku koji je negovan u slanoj vodi izmerena je oko 2 puta negativnija vrednost potencijala, što potvrđuje prethodno iznete stavove.

## 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. Postoje različite metode koje omogućavaju utvrđivanje korozije armature u betonu, i shodno tome različite preporuke, bazirane na višegodišnjim proučavanjima. Jedna od njih je i upotreba specijalne aparature tipa CANIN, koja je u ovom radu prezentovana. Učinjen prvi korak u primeni ove metode, kao i interpretaciji 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.

## 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. Grdić Z., Topličić-Ćurčić G., Ristić N., Despotović I.: „Korozija armature u betonu i jedna od metoda njenog određivanja”, Savetovanje: Korozija i zaštita materijala u toku eksploatacije, Zbornik radova, Požarevac 2008, str. 109-118.

## IZVOD

*Abrazivna erozija u betonskim konstrukcijama. Oštećenja se u različitoj meri manifestuju na površinama visokih brana. Ova istraživanja su pokazala da postoji bitna razlika u izmerenim vrednostima električnog potencijala na ova dva uzorka. Na uzorku koji je negovan u slanoj vodi izmerena je oko 2 puta negativnija vrednost potencijala, što potvrđuje prethodno iznete stavove.*

## ABSTRACT

*Abrasion erosion damage of hydraulic structures. The extent of damage is very high. It is established how to remedy the damage. This paper provides the abrasion resistance examination results.*

## UVOD

*Abrazivna erozija u betonskim konstrukcijama. Oštećenja se u različitoj meri manifestuju na površinama visokih brana. Ova istraživanja su pokazala da postoji bitna razlika u izmerenim vrednostima električnog potencijala na ova dva uzorka. Na uzorku koji je negovan u slanoj vodi izmerena je oko 2 puta negativnija vrednost potencijala, što potvrđuje prethodno iznete stavove.*

- <sup>1</sup> dipl.inž.grad.,
- <sup>2</sup> dr, vanredni profesor,
- <sup>3</sup> dr, docent, Gr,
- <sup>4</sup> dr, asistent, Gr,
- <sup>5</sup> dipl.inž.grad.,





inje uzoraka  
elje kasnije.  
du uzoraka,  
bi joni hlora  
dlika u izme-  
koji je nego-  
encijala, što

od objekata  
višegodišnje  
metode koje  
azličite pre-  
treba speci-  
rvi korak u  
om verovat-  
postizanja  
ophodno je  
ma već i na

nd Calcium  
ch", Corro-  
straints (SP-

Resistance  
ington, DC.

ell Potntials

: Applicable

Prevention,  
Ministry of

ss in Rein-  
March-April

are u betonu  
rijala u toku

## MERE ZA PREVENCIJU ABRAZIJE HIDROTEHNIČKIH BETONA

### PREVENTION MEASURES FOR HYDRAULIC CONCRETE ABRASION

Nenad Ristić<sup>1</sup>, Zoran Grdić<sup>2</sup>, Jelena Marković-Branković<sup>3</sup>,  
Gordana Topličić-Ćurčić<sup>4</sup>, Iva Despotović<sup>5</sup>

#### IZVOD

*Abrazivna erozija je površinska erozija uzrokovana česticama koje su nošene vodom. Oštećenja hidrotehničkih objekata od betona uzrokovana abrazijom javljaju se u različitoj meri, kod gotovo svih hidrotehničkih objekata. Godišnji troškovi održavanja betonskih površina kanala, tunela, prelivnih objekata ili temeljnih ispusta visokih brana mogu biti jako visoki. Neophodno je detaljno proučiti mehanizam nastanka ovih oštećenja, utvrditi metode istraživanja, testirati različite materijale na abrazivnu otpornost, dati predloge kako sanirati postojeće oštećene hidrotehničke objekte i kako izvoditi nove. U ovom radu je dat kratak pregled metoda ispitivanja abrazivne otpornosti hidrotehničkih betona, sa posebnim osvrtom na tehnologiju betona radi postizanja bolje otpornosti na abraziju i mere za prevencije.*

#### ABSTRACT

*Abrasion erosion is the surface erosion caused by the solids carried by water. Damage of hydraulic concrete structures caused by abrasion occurs to a variable extent at almost all the hydraulic structures. The yearly costs of maintenance of concrete surfaces of channels, tunnels, overflow structures or footings of high dams can be very high. It is necessary to study the mechanism of occurrence of that damage, establish the research methods, test various materials to abrasion resistance, propose how to remedy the damaged hydraulic structures and how to construct the new ones. This paper provides the short review of the hydro technical concrete abrasion resistance examination methods, with the special accent on the concrete technology so that the abrasion resistance could be improved, as well as prevention measures.*

#### UVOD

Abrazivna erozija betonskih površina je uzrokovana česticama koje su nošene vodom. Oštećenja hidrotehničkih objekata od betona usled abrazije javljaju se u različitoj meri kod gotovo svih hidrotehničkih objekata, slika 1 levo. Kod hidroteh-

<sup>1</sup> dipl.inž.grad., stipendista Ministarstva nauke, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>2</sup> dr. vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>3</sup> dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

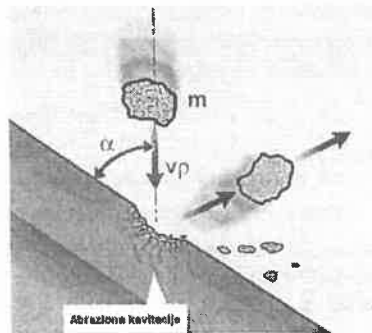
<sup>4</sup> dr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

<sup>5</sup> dipl.inž.grad., stipendista Ministarstva nauke, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

ničkih konstrukcija to su najčešće prednji zid preliva, blago nagnute ploče bazena, kanali i bočni zidovi brana. U izvore abrazivnih čestica ubraja se i sama konstrukcija tj. njen otpali materijal, kameni nabačaj koji se vraća u bazen zbog dejstva vrtložnih struja nastalih zbog nepovoljnog hidrauličkog režima i asimetričnog pražnjenja bazena, otpadni šut od stanovništva. Do danas nisu pronađene efektivne protivmere za sprečavanje oštećenja hidrotehničkih objekata abrazijom. Abrazioni proces je moguće usporiti zaštitnom oblogom betonske mase, planom manevrisanja hidromehaničkom opremom, periodičnim održavanjem i povremenim popravkama. U industrijskim razvijenim zemljama godišnji troškovi održavanja betonskih površina kanala, tunela, prelivnih objekata ili temeljnih ispusta visokih brana mogu biti jako visoki. Kod nas su takođe evidentirana oštećenja hidrotehničkih konstrukcija različitog stepena koja zahtevaju sanaciju i trenutno se realizuje naučnoistraživački projekat čiji rezultati treba da pomognu rešavanje ovog praktičnog problema. U ovom radu dat je pregled do sada urađenih istraživanja u svetu čiji je predmet izučavanja bila abrazija betona kod hidrotehničkih objekata.

### ISTRAŽIVANJA U OBLASTI PREVENCIJE ABRAZIJE

U radu [1] prikazana je studija koja sadrži sveobuhvatnu analizu abrazije hidrotehničkih objekata uključujući i ispitivanja na terenu. Ispitano je pet različitih vrsta betona iz domena savremene tehnologije u toj oblasti: beton sa dodatkom silikatne prašine, uvaljani beton, beton visokih čvrstoća, mikroarmirani beton i polimerni beton. Najpre je definisan mehanizam nastanka abrazivne erozije, kao i postupak ispitivanja otpornosti betona na abraziju. Uticaj čvrste čestice je uglavnom definisan njenom masom, brzinom i napadnim uglom, pri čemu brzina i napadni ugao zavise od karakteristika vodnog toka. Čvrstoća čestica i površinska čvrstoća betona, kao i oblik čestica takođe utiču na stepen abrazije betonske površine uzrokovane jednom jedinom česticom. Prilikom analize treba uzeti u obzir ukupan broj dinamičkih kontakata u jedinici vremena, koncentraciju čestica i raspodelu veličine i oblika čestica, slika 1 desno.



Slika 1. Abrazivna erozija rečnog korita (levo) i mehanizam nastanka abrazije (desno)

U radu [2] je istraženo uticaj betona visokih čvrstoća i letećeg pepela na erozivna otpornost betona. Ispitivanja su dana iznosila je 4-10% letećeg pepela. Erozivna otpornost betona sa dodatkom letećeg pepela je 15% letećeg pepela. Treba imati u vidu da je potreba imati u vidu

Aluminatni cementa. Betoni sa dodatkom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iskoristiti za odobrenje u oblasti preka u oblasti pokazuju da se betoni od betona sa dodatkom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pa čak i betoni sa dodatkom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i gvožđa) koje se koriste na Univerzitetu su dva puta veće

Na Tajvanu su istraženi tipovi površinske otpornosti betona pre predmetna ispitivanja



S

Rezultati ispitivanja pukotinu izaziva gata. Stepen at

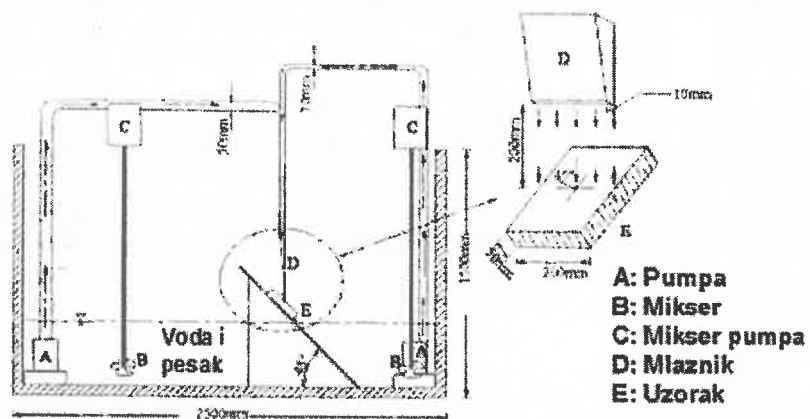
ite ploče bazena, ama konstrukcija dejstva vrtložnih ičnog pražnjenja vne protivmere za idromehaničkom industrijskim raz- a kanala, tunela, o visoki. Kod nas itog stepena koja ekat čiji rezultati du dat je pregled a abrazija betona

abrazije hidrote- t različiti vrsta datkom silikatne eton i polimerni o i postupak ispi- avnom definisan ni ugao zavise od etona, kao i oblik jednom jedinom škkih kontakata u a čestica, slika 1

U radu [2] je predstavljena studija koja istražuje abrazivno-erozivnu otpornost betona visokih čvrstoća kod kojih je deo cementa zamenjen sa 15%, 20%, 25% i 30% letećeg pepela klase F. U zavisnosti od sastava čvrstoća betona pri pritisku posle 28 dana iznosila je 40 do 80 N/mm<sup>2</sup>. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je abrazivno-erozivna otpornost betonske mešavine sa dodatkom letećeg pepela poboljšana sa povećanjem čvrstoće pri pritisku i smanjenjem vodocementnog faktora. Abrazivno-erozivna otpornost betona sa zamenom cementa do 15% je slična onoj kod etalon betona koji je spravljen bez dodatka letećeg pepela, dok betoni koji sadrže više od 15% letećeg pepela pokazuju manju abrazivno-erozivnu otpornost. Pored navedenog treba imati u vidu značaj utroška letećeg pepela sa aspekta očuvanja životne sredine.

Aluminatni cementi [3] se bitno razlikuju po hemijskom sastavu od portland cementa. Betoni sa ovim cementima pokazuju veoma visoke performanse koje se mogu iskoristiti za određene specifične namene. Pogodni su za sanaciju hidrauličkih prepreka u oblastima osetljivim na abraziju (prelivi, ustave i ispusni tuneli). Ispitivanje pokazuje da se beton sa aluminatnim cementom i kvalitetnim agregatom ponaša bolje od betona sa portland cementom (čak i od visokokvalitetnih betona sa silikatnom prašinom), pa čak bolje nego granitni blokovi koji se često upotrebljavaju u ovakvim slučajevima. Upotreba ovih betona je 2,5 puta skuplja od konvencionalnog betona, ali je znatno jeftinija od nekih drugih varijanti (granitni blokovi, čelične ili ploče od livenog gvožđa) koje se često koriste u oblastima izloženim jakoj abraziji. Ispitivanja urađena na Univerzitetu u Hong-Kongu pokazuju da betoni sa aluminatnim cementom imaju i do dva puta veću abrazivnu otpornost od portland cementnih betona iste čvrstoće.

Na Tajvanu je rađen naučni eksperiment sa ciljem da se ispita uticaj različitih tipova površinskih pukotina, kao i različitog sadržaja kvarcnog peska u vodi na otpornost betona prema abraziji [4], [5]. Šematski prikaz aparature koja je korišćena za predmetna ispitivanja dat je na slici 2.



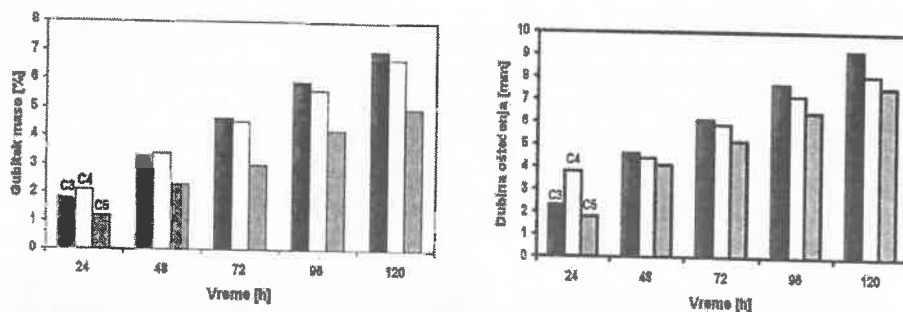
Slika 2. Aparatura za testiranje abrazije betona vodom i peskom

Rezultati testova su pokazali da vodeni mlaz i pesak koji deluje direktno na pukotinu izazivaju njeno proširenje usled otpadanja cementnog kamena i sitnog agregata. Stepen abrazije se značajno povećava kada uzorak ima postojeće pukotine, a veći

je i kada vodeni mlaz deluje direktno na pukotinu nego kada deluje iznad nje kada više strada njena donja ivica. Utvrđeno je i to da povećanje širine pukotine doprinosi, pod ostalim nepromenjenim uslovima, više izraženoj abraziji i do 40%, naročito u slučaju kada vodeni mlaz ne deluje direktno na pukotinu. Ova studija takođe pokazuje da dodatak silikatne prašine betonu povećava njegovu abrazivnu otpornost i u uslovima postojanja površinskih pukotina i do 25% u odnosu na referentni beton.

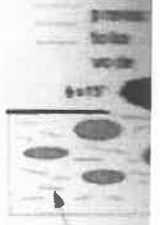
U nastavku eksperimenta uzorci betona su ispirani vodenim mlazom sa dodatkom peska u trajanju od 3 sata, pri brzini vodenog mlaza od 10 m/s i temperaturi vode od 30°C. Za ocenu stepena abrazivne erozije korišćen je podatak o gubitku mase ispitnih uzoraka. Istraživanje je pokazalo da beton spravljen sa mineralnim dodacima poput letećeg pepela ima povećanu abrazivnu otpornost kao rezultat poboljšanja kvaliteta cementne paste, manje poroznosti i jače veze između cementne paste i zrna agregata. Varijacijom sastava betona utvrđeno je da se stepen abrazivne erozije se povećava skoro dvostruko kada se vodocementni faktor poveća sa 0,28 na 0,50. Povećanje veličine najvećeg zrna agregata takođe doprinosi većoj otpornosti na abraziju kod običnih betona, dok je kod betona visokih čvrstoća ovaj parametar manje značajan.

Na Univerzitetu Šćećin u Poljskoj rađeno je istraživanje sa betonima visokih čvrstoća radi utvrđivanja zavisnosti abrazivne otpornosti od njihove pritiskne čvrstoće, modula elastičnosti, dodatka vlakana i dimenzija elemenata [6]. Na slici 3 prikazani su rezultati ispitivanja gubitka mase i dubine oštećenja tri različita betona visokih čvrstoća spravljenih sa metalurškim cementom ( $w/c = 0,26$ ). Beton C3 je spravljen bez vlakana, a C4 i C5 sadrže  $70 \text{ kg/m}^3$  čeličnih vlakana ME 30/50 i ME 50/1.00.



Slika 3. Procenualni gubitak mase (levo) i prosečna dubina brazde (desno) u ispitivanju abrazivne otpornosti metodom pod vodom

U Kini su rađeni hidro-abrazivno erozivni testovi na nearmiranom betonu i betonu armiranom čeličnim vlaknima i identifikovane su erozivne karakteristike materijala pri različitim erozivnim uslovima [7]. Razmatran je i efekat promene brzine suspenzije u vodi, udarni ugao i sadržaj same suspenzije, slika 4. Istraživanjem se došlo do zaključka da dodatak čeličnih opiljaka doprinosi erozivnoj otpornosti pri malim udarnim uglovima ( $15^\circ$ ). Za velike udarne uglove ( $90^\circ$ ) dodavanje čeličnih opiljaka nije uvek svrsishodno i može se generalno reći da se ne preporučuje za uglove i kolena betonskih konstrukcija. Utvrđeno je da mikroarmiranje ne poboljšava приметно erozivnu otpornost pri malim brzinama toka.



Čelična vlakna

## ZAKLJUČAK

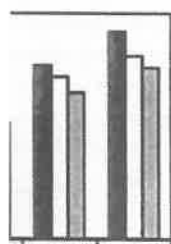
Abrazivno najtvrdog dostupnih acijama kada v eralne dodatke mentne paste i mernih betona ment betona. I nego običan et stacionarnih b erozijom betor u uslovima lab od epoksidnih području prim na pre njihove

## LITERATURA

1. Preventin research/fluid/
2. T. Yen, T. sion resistance 458-463.
3. K. Scriverium aluminat
4. Y. W. Lu Cement and C
5. Y.W. Lui face crack by
6. E. Horsztures, Wear 2:
7. X.G. Hu hydraulic con

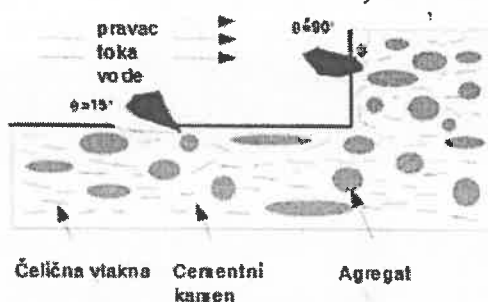
ad nje kada više  
doprinosi, pod  
ročito u slučaju  
de pokazuje da  
ost i u uslovima  
n.

om sa dodatkom  
eraturi vode od  
tu mase ispitnih  
lodacima poput  
jšanja kvaliteta  
i zrna agregata.  
ije se povećava  
0,50. Povećanje  
na abraziju kod  
nje značajan.  
tonima visokih  
ve pritnisne čvr-  
[6]. Na slici 3  
nja tri različita  
(= 0,26). Beton  
lakana ME 30/



u ispitivanju

anom betonu i  
e karakteristike  
promene brzine  
aktivanjem se  
otpornosti pri  
čeličnih  
za uglove  
poboljšava



Slika 4. Erozivni uslovi

## ZAKLJUČAK

Abrazivno otporan beton treba da spravlja sa maksimalno mogućom količinom najtvrdog dostupnog krupnog agregata i što manjim vodocementnim faktorom. U situacijama kada visoko kvalitetan agregat nije dostupan veoma je efikasno koristiti mineralne dodatke, posebno silikatnu prašinu, kako bi se poboljšale performanse cementne paste i samog betona. Abrazivno erozivna otpornost vakuum betona, polimernih betona i betona modifikovanih polimerima je zvanično bolja od običnih cement betona. Mikroarmirani beton pokazuje manju otpornost na abrazivnu eroziju nego običan etalon beton. Zato mikroarmirani beton ne treba da se koristi za sanaciju stacionarnih bazena ili drugih hidrauličkih konstrukcija sa izraženom abrazivnom erozijom betona. Neki tipovi površinskih obloga pokazuju dobru abrazivnu otpornost u uslovima laboratorijskih ispitivanja. U tu svrhu mogu se koristiti poliuretani, malteri od epoksidnih smola, akrilik malteri i fero betoni. Međutim, postoje poteškoće u području primene površinskih obloga kao rezultat nepravilne pripreme površine betona pre njihovog nanošenja, kao i toplotne nekompatibilnosti između betona i obloge.

## LITERATURA

1. Preventing hydraulic structures from abrasive concrete erosion, [www.vaw.ethz.ch/research/fluid/abrasion/wb](http://www.vaw.ethz.ch/research/fluid/abrasion/wb)
2. T. Yen, T.H. Hsu, Y.W. Liu, S.H. Chen. Influence of class F ash on the abrasion-erosion resistance of high-strength concrete, *Construction and Building Materials* 21 (2007) 458–463.
3. K. Scrivener, J.L. Cabiron, R. Letourneux. High performance concretes from calcium aluminate cements, cement and *Concrete Research* 29 (1999) 1215–1223.
4. Y. W. Lui, T. Yen, T. H. Hsu. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1814–1820.
5. Y.W. Lui. Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume, *Construction and Building Materials*, 2006.
6. E. Horszczaruk. Abrasion resistance of high-strength concrete in hydraulic structures, *Wear* 259 (2005) 62–69.
7. X.G. Hu, A.W. Momber, Y.G. Yin. Hydro-abrasive erosion of steel-fibre reinforced hydraulic concrete, *Wear* 253 (2002) 848–854.

