

Novi Sad



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO

11

iNDiS 2009

PLANIRANJE, PROJEKTOVANJE,
GRAĐENJE I OBNOVA
GRADITELJSTVA

Jedanaesti nacionalni i Peti međunarodni naučni skup

ZBORNIK RADOVA

Novi Sad, 25 - 27. novembar 2009.

UREDNICI

R. Folč, V. Radonjanin, M. Malešev

iNDiS 2009

Ovaj Zbornik je štampan sredstvima Departmana za građevinarstvo FTN, Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i uz materijalnu pomoć donatora

Urednici:

Profesor emeritus Radomir Folić, dipl.inž.građ.
Prof. dr Vlastimir Radonjanin, dipl.inž.građ.
Prof. dr Mirjana Malešev, dipl.inž.građ.

ISBN 978-86-7892-220-6

CIP – Каталогизacija u publikaciji
Библиотека Матице српске, Нови Сад

69.05(082)
624(082)

НАЦИОНАЛНИ научни скуп ИНДИС (11 ; 2009 ; Нови Сад)

Planiranje, projektovanje, građenje i obnova graditeljstva : zbornik radova /
Jedanaesti nacionalni i Peti međunarodni naučni skup INDIS 2009, Novi Sad, 25-27.
Novembar 2009. ; [organizatori] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo ;
urednici R. Folić, V. Radonjanin, M. Malešev - Novi Sad : Fakultet tehničkih nauka,
Departman za građevinarstvo, 2009 (Novi Sad : Grid). - 535 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 250.

ISBN 978-86-7892-220-6

a) Индустијска градња - Зборници b) Грађевинске конструкције - Зборници

COBISS.SR-ID 244293383

Međunarodni naučni skup iNDiS 2009

Tehnički organizator skupa:

Departman za građevinarstvo, Fakultet tehničkih nauka – Novi Sad

Tehnički urednici zbornika radova:

Ivan Lukić

Aleksandar Drakulić

Izdavač:

Departman za građevinarstvo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Štampa:

Fakultet tehničkih nauka, Grafički centar "GRID" Novi Sad

Tiraž: 250 primeraka

Departman
organizuje je

Za razliku od
i kasnije održane
proširivana tema
graditeljstva.

Period u kojem
obuhvata problem
za tematiku
stručnjaka: proces
projektnata i
isto tako i iz oblasti
arhitekture, građevinarstva.

Raduje nas da
u pripremi skupa
radovima drugih
istraživanja koji su
modela ponašanja
oblastima graditeljstva.

Za ovaj skup
na engleskom jeziku
rezultati kolegama.

Nadamo se
stručnjaka u svetu
Svim autorima

Novi Sad, novembar 2009.

Ivica Despotović¹Zoran Grdić²Gordana Topličić-Ćurčić³Nenad Ristić⁴

RECIKLIRANI AGREGAT KAO KOMPONENTA ZA SPRAVLJANJE SAMOUGRAĐUJUĆEG BETONA

Rezime: Građevinski otpad koji nastaje kao posledica izgradnje novih i rušenja postojećih objekata predstavlja veliki ekološki problem. Upravljanje čvrstim građevinskim otpadom je podrazumevalo njegovo odlaganje na deponije čije su se površine svakodnevno povećavale oduzimajući dragoceno obradljivo zemljište, što osim ekološkog ima i ekonomski značaj. Razvijene države su reagovale u tom pravcu uvodeći takse na otpad koji se ne reciklira nego odlaze na deponijama. Upotreba agregata koji se dobija reciklažom „starog“ betona je u tom kontekstu od ogromnog značaja. Jedan od trendova savremenog građevinarstva je primena samougrađujućeg betona, koji jedino pod dejstvom sopstvene težine ispunjava oplatu, u potpunosti obavijajući armaturu. Zbog svojih karakteristika kao što su manje angažovanje radne snage i neuporedivo zdravije radno okruženje (odsusutvo vibriranja, smanjenje buke), samougrađujući beton se svakako može svrstati u moderne ekološke materijale. U ovom radu je ispitana mogućnost primene recikliranog agregata za spravljanje samougrađujućeg betona.

Ključne reči: samougrađujući beton, reciklirani agregat

RECYCLED AGGREGATE AS CONSTITUENT MATERIAL FOR SELF – COMPACTING CONCRETE

Abstract: Construction waste, which is appeared after building new objects or demolition already exist objects is big ecological problem. Control of construction waste meant it's placed at spoil areas, which became bigger every day, taking away important, cultivated areas, and except ecological, that is also an economical problem. Modern countries, reacted in that way, and brought taxes for garbage which is not recycled. In that sence, use of concrete recycled aggregate has a large role. One of modern trends in civil engineering is use of self-compacting concrete, which can fill formwork only by it's own weight, surrounding reinforcement bars completely. Because of it's characteristics, like less workers and healthier working environment (absence of vibration, decrease of noise), self-compacting concrete can be marked as modern ecological material. In this paper work is investigated possibility of use recycled aggregate as a material for self-compacting concrete.

Key words: self-compacting concrete, recycled aggregate

¹ mr, Građevinsko-arhitektonski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, e-mail: ivicka2006@yahoo.com

² dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet, e-mail: zoran.grdic@gaf.ni.ac.rs

³ dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet, e-mail: gordana.toplicic.curcic@gaf.ni.ac.rs

⁴ student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, e-mail: nenadristic82@yahoo.com

1. UVOD

Upotrebom recikliranog agregata se rešava problem otpadnog materijala i štede prirodni izvori. U recikliranju građevinskog otpada prednjače Holandija i Danska sa 85% recikliranog građevinskog otpada, a slede ih Belgija i Nemačka sa 75%. U evropskoj regulativi, agregati dobijeni recikliranjem su podgrupa agregata dobijenih iz sporednih izvora i podležu normama EN 12620, EN 13055-1 i EN 13242. Građevinski otpad se može upotrebiti kao agregat za izradu betona, asfalta ili za ostale radove u niskogradnji. Veoma interesantna i još uvek nedovoljno istražena je mogućnost korišćenja recikliranog agregata u proizvodnji samougrađujućeg betona (Self-Compacting Concrete - SCC).

2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Samougrađujući beton, po mnogim autorima „najrevolucionarnije otkriće betonske industrije XX veka“, ne zahteva vibriranje prilikom ugrađivanja i zbijanja. Pod dejstvom sopstvene težine u potpunosti ispunjava sve delove oplate čak i prisustvu gusto postavljene armature. Ovakva svojstva se postižu dodavanjem betonu hemijskih dodataka superplastifikatora, najčešće u kombinaciji sa novom vrstom aditiva za modifikaciju viskoziteta i/ili primenom određene količine finog mineralnog dodatka – praha [9,10].

Njegove prednosti su: brža gradnja, smanjenje broja potrebnih radnika, bolje finalne površine, lakše ugrađivanje, poboljšana trajnost, veća sloboda oblikovanja elemenata, smanjenje buke, odsustvo vibracija, i samim tim, zdravije radno okruženje. Razvijen tokom poslednje decenije dvadesetog veka u Japanu i kontinentalnom delu Evrope, samougrađujući beton se danas u značajnom obimu primenjuje kako u SAD i Velikoj Britaniji, tako i na Srednjem Istoku.

Koncept održivog razvoja, koji pored socioloških i ekonomskih aspekata, obuhvata uštedu energije, zaštitu okoline i očuvanje neobnovljivih prirodnih resursa, predstavlja strateško opredeljenje mnogih privrednih grana, među kojima se poseban doprinos očekuje od građevinarstva. Nedostatak prirodnog agregata u urbanim sredinama i sve veće rastojanje između nalazišta kvalitetnog prirodnog agregata i gradilišta prisilili su graditelje na razmatranje mogućnosti zamene prirodnog agregata recikliranim materijalima (građevinska keramika, zgrub beton itd.). Sa druge strane, u urbanim sredinama se često javlja velika količina starog betona čije uklanjanje i deponovanje predstavlja ekološki problem.

Recikliranje betona nastalog procesom rušenja se sastoji iz sledećih koraka: izbor otpadnog materijala, drobljenje betonskih blokova, uklanjanje nečistoća, mešanje sa prirodnim agregatom (slika 1). Svi ugrađeni delovi, kao što je armatura, se moraju ukloniti. Takođe je potrebno sprečiti mešanje sa drugim materijalima, poput gline, zemlje, stakla, drveta. Postrojenja za recikliranje agregata se ne razlikuju značajno od postrojenja koja proizvode drobljeni agregat iz prirodnih nalazišta. Ona mogu biti mobilna i smeštena u blizini objekta koji se ruši ili u blizini nove konstrukcije za koju će se upotrebiti reciklirani agregat, ili se može formirati centralno postrojenje koje ne mora biti blizu konstrukcije koja se ruši, ali će zbog automatizovanog procesa imati znatno veću produktivnost i time kompenzovati veću udaljenost od mesta primene agregata [5,6].

Reciklirani agregat treba da ispuni sve uslove kao i agregat iz prirodnih nalazišta. Isto tako beton spravljen sa ovim agregatom se na isti način meša, transportuje i ugrađuje kao i običan beton. Svojstva po kojima se reciklirani agregat razlikuje od običnog su: manja zapreminska specifična masa, veće upijanje vode, veća količina prašinih čestica, veći sadržaj organskih eventualno drugih štetnih materija, veća drobljivost, manja otpornost prema habanju i manja otpornost prema dejstvu mraza. Kvalitet i svojstva novog betona napravljenog sa recikliranim agregatom će direktno zavisi od svojstava i kvaliteta upotrebljenog agregata [3].

3. EKSPERIMENTI

Na Građevinskoj...
...mešanje sa ciljenim...
...samougrađujućeg betona...
...je sastav prikazan...
...kvalitetom recikliranog...
...kao krupan agregat, z...
...površinom tipu, (powd...

1947 N

Varijacija

Ukupna

Ukupna

Slika 1

Ukupna

U određivanju sasti

agregat treba da

maltera [8].

je smanjen sa pre

rasprostira

se zadržala ko

186 litara, o

vode je očeki

zastalag ce

betona

Mixing Ap

na dva dela i d

sa pastom

Sasta

Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

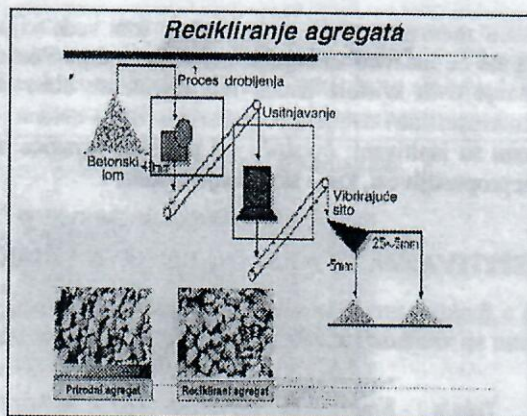
Ukupna

Ukupna

Ukupna

Ukupna

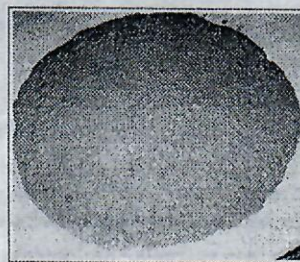
Ukupna



Slika 1 – Recikliranje agregata

3. EKSPERIMENT

Na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu u Nišu je organizovano eksperimentalno ispitivanje sa ciljem da se ispita mogućnost upotrebe recikliranog agregata za spravljanje samougradujućeg betona. Za ispitivanje su napravljene tri vrste trofrakcijskog betona: etalon E, čiji je sastav prikazan u gornjoj tabeli; beton P50, kod koga je frakcija 8/16 zamenjena istom količinom recikliranog agregata i beton P100, kod koga su i frakcija 4/8 i frakcija 8/16, dakle najkrupniji agregat, zamenjene recikliranim betonom. Projektovani beton pripada tzv. sušivom tipu, (powder type), jer ne sadrži modifikator viskoziteta (slika 2) [1].



Slika 2 – Izgled svežeg SCC betona sa recikliranim agregatom

Pri određivanju sastava samougradujućeg betona korišćene su Okamurine preporuke da najkrupniji agregat treba da učestvuje sa 30% u ukupnoj zapremini betona, a sitan sa 40% u zapremini maltera [8]. Predviđena je uobičajena količina cementa od 400 kg/m^3 . Vodopraškasti faktor je smanjen sa preporučenih 0,8-1,1 na 0,73, jer je proba sa 0,9 dala veliko izdvajanje vode (bleeding) i rasprostiranje.

Da bi se zadržala konzistencija etalona kod betona P50 i P100 je povećana količina vode na 178 litara i 186 litara, odnosno vodocementni faktor sa 0,41 na 0,43 i 0,45. Potreba da se poveća količina vode je očekivana posledica primene recikliranog agregata koji više upija vodu zbog prisustva zaostalog cementnog maltera sa značajnom poroznošću i pukotinama.

Za spravljanje betona sa recikliranim agregatom dostupna literatura preporučuje primenu tzv. Two Stage Mixing Approach postupka. Reč je o tome da se ukupna količina potrebne vode podeli na dva dela i dozira po fazama. U toku vezivanja i očvršćavanja nova cementna pasta nepre reaguje sa pastom zaostalom na zrnima recikliranog agregata što zahteva deo vode koji

ulazi u sastav betonske mešavine. Ovo za posledicu ima redukciju u formiranju $C_3S_2H_2$, etringita, CH i C_6S_3H što će izazvati smanjenje čvrstoće betona. Postupnim dodavanjem vode omogućeno je formiranje ovih kristala unutar mikrostrukture čime se delimično redukuju i poroznost i nastanak mikroprslina i dobijaju bolje karakteristike betona [4].

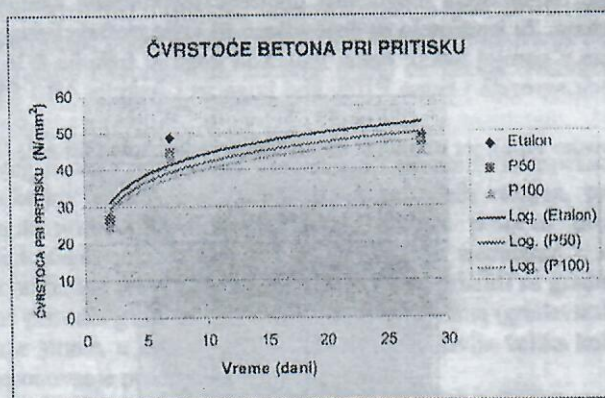
Na očvrslom betonu su ispitivani: čvrstoća pri pritisku, čvrstoća na zatezanje savijanjem, upijanje vode i vodonepropustljivost, kao i skupljanje betona.

4. REZULTATI ISPITIVANJA OČVRSLOG BETONA I DISKUSIJA

Promena čvrstoće u funkciji vremena se može izraziti formulom $f_p = a \cdot \ln(t) + b$, kao što se vidi na slici 3, pri čemu su vrednosti koeficijenata a i b kao i faktor verovatnoće R prikazani u tabeli 1.

Tabela 1 - Koeficijenti regresionih krivih za beton

Vrsta betona	a	b	R ²
E	8.2772	25.331	0.7526
P50	7.8395	23.979	0.8326
P100	7.5614	22.823	0.7960



Slika 3 - Čvrstoće betona pri pritisku nakon 2,7 i 28 dana

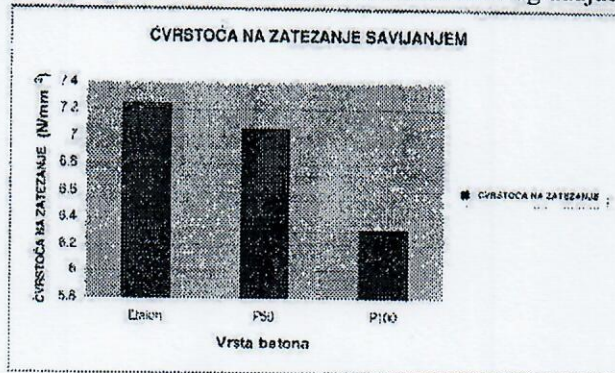
Razlike u čvrstoći za istu starost su male. Etalon ima veću čvrstoću za $1,92 \text{ N/mm}^2$, tj. $3,88\%$ u odnosu na P50, a za $4,23 \text{ N/mm}^2$, tj. $8,55\%$ u odnosu na P100 nakon 28 dana. Sve tri mešavine imaju brz priraštaj čvrstoće, nakon 7 dana dostižu više od 90% svoje čvrstoće pri starosti od 28 dana, što je posledica primene kamenog brašna.

Rezultati ispitivanja čvrstoće na zatezanje savijanjem su prikazani na slici 4. Ovi rezultati pokazuju da je čvrstoća pri savijanju etalona nakon 28 dana veća za $0,18 \text{ N/mm}^2$ ili $2,49\%$ u odnosu na beton sa 50% krupnog recikliranog agregata, a za $1,01 \text{ N/mm}^2$ ili $13,95\%$ u odnosu na beton sa 100% krupnog recikliranog agregata. Pad čvrstoće je prouzrokovan, isto kao i kod čvrstoće pri pritisku, promenom u mikrostrukтури betona.

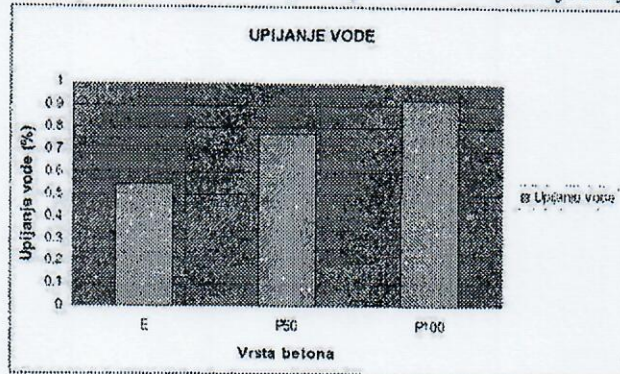
Rezultati dobijeni ispitivanjem upijanja vode su prikazani na slici 5 i pokazuju da je najveće upijanje vode izmereno kod probe P100, $0,92\%$, što je za $0,15\%$ veće od probe P50 i za $0,37\%$ veće od etalona. Najveće upijanje vode kod betona P100 je logična posledica primene recikliranog agregata sa većim upijanjem vode u odnosu na rečni ($5,88\%$ kod II frakcije recikliranog u odnosu na $0,94\%$ kod II frakcije rečnog agregata).

Ispitivanje vodonepropustljivosti je vršeno na uzorcima dimenzija $200 \times 200 \times 150 \text{ mm}$, pri starosti betona od 28 dana. Uzorci su 24 h izloženi dejstvu vode pod pritiskom od 1 bara,

... 48 h pritisku od 3 bara, i na kraju poslednja 24 h ispitivanja, pritisku od 7 bara. Nakon toga se polome i meri dubina prodora vode. Na uzorcima P50 i P100 nije registrovan nikakav prodor vode, dok je kod etalona on iznosio 10 mm, tako da se može zaključiti da su svi uzorci nepropustljivi, što je u potpunosti u skladu sa strukturom samougrađujućeg betona.

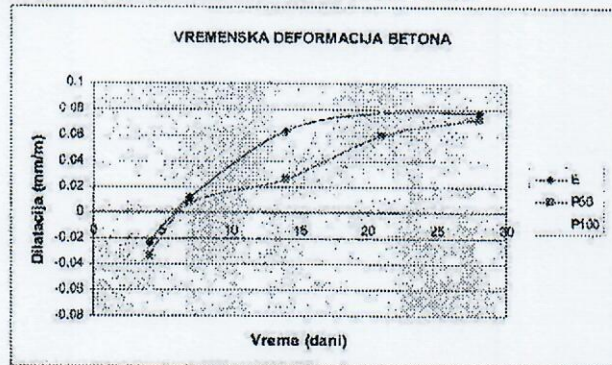


Slika 4 – Grafički prikaz rezultata ispitivanja čvrstoće na zatezanje savijanjem



Slika 5 -- Grafički prikaz rezultata ispitivanja upijanja vode

Rezultati ispitivanja skupljanja betona su prikazani na slici 6.



Najbrži priraštaj skupljanja je bio kod etalona, a najmanji kod betona P50. Nakon 21 dana etalon i beton sa 100 % krupnog recikliranog agregata su imali isto skupljanje, za 22 % veće od skupljanja betona sa 50 % krupnog recikliranog agregata. Nakon 28 dana, najveće skupljanje je imao beton P100, za 12 % veće od skupljanja etalona, i za 17 % veće od skupljanja P50. Uopšte, razlika skupljanja svih uzoraka nakon 28 dana je mala.

... miranju C_3S ...
... davanjem v...
... reduku...
... savijanj...

b, kao što...
R prikazan

R
7526
8326
7960

N/mm²...
... Sve tr...
... čvrstoće p:

Ovi rezult...
... li 2,49 %...
... 5 % u odnos...
... isto kao i ko:

da je najveće...
... 0 i za 0,37%...
... primena...
... II frakcije

150 mm, pr...
... od 1 bara.

5. ZAKLJUČAK

Sve betonske mešavine su nakon 28 dana imale čvrstoću veću od 45 MPa i odlične mehaničke karakteristike (upijanje vode, vodonepropustljivost, vrednost čvrstoće na zatezanje savijanjem) što je posledica ostvarene homogene i kompaktne strukture zbog upotrebe prašinstih čestica koje su obavezna komponenta samougrađujućeg betona.

Kvalitet betona sa recikliranim agregatom direktno zavisi od kvaliteta originalnog betona od koga je dobijen agregat. Originalni beton visokih performansi upotrebljen za spravljanje agregata daje izvanredne mehaničke karakteristike novospravljenih betona. Pre projektovanja betonskih mešavina neophodno je detaljno ispitati reciklirani agregat kako bi se dobile smernice za sastavljanje mešavine (od posebnog je značaja podatak o upijanju vode).

Eksperimentalni rezultati pokazuju da se reciklirani agregat svakako može upotrebiti za spravljanje samougrađujućeg betona, pri čemu se pravilnim izborom svih komponenti postižu visoke fizičko – mehaničke karakteristike betona, pri čemu ovako spravljeni betoni imaju značajnu ekološku vrednost.

6. POPIS LITERATURE

- [1] Grdić Z., Topličić-Čurčić G., Despotović I.: *Properties of Self-Compacting Concrete with different type of additives*; Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering Vol.6, N°2; 2008; pp. 173-177.
- [2] Grdić Z., Topličić-Čurčić G., Despotović I.: *Metode ispitivanja SCC betona prema standardu EFCA (Evropske asocijacije za beton)*; DIMK: Simpozijum o istraživanjima primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala konstrukcija; Zbornik radova; 2008; str. 515-522.
- [3] Halavanja I., Rosković R.: *Reciklirani agregat iz građevnog otpada*; Konferencija: CONWAS: Razvoj održivog sustava upravljanja građevnim otpadom u Republici Hrvatskoj; 2006.
- [4] Jevtić D., Zakić D., Savić A.: *Specifičnosti tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata*; Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 52-62.
- [5] Malešev M., Radonjanin V.: *Reciklirani beton kao agregat za dobijanje konstrukcijskog betona*; Konferencija Savremena građevinska praksa 2007; Zbornik radova; Novi Sad 2007; str. 201-221.
- [6] Radonjanin V., Malešev M.: *Beton sa agregatom od recikliranog betona: Sastav, svojstva i primena*; Građevinski kalendar; 2008; str. 48-91.
- [7] Okamura H., Ouchi M.: *Self-Compacting Concrete*; Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1 N° 1; 2003; pp.5-15.
- [8] Ouchi M., Nakamura S., Osterberg T., Hallberg S., Lwin M.: *Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and The United States*.
- [9] Rilem Technical Committee: *Final report of RILEM TC 205-DSC: Durability of self-compacting concrete*; Materials and Structures 41; 2008; pp. 225-233.
- [10] Rilem Technical Committee: *Final report of RILEM TC 188-CSC: Casting of Self-Compacting Concrete*; Materials and Structures 39; 2006; pp. 937-954.

JEDANAESTI
PETI MEĐUNARODNI
NAUČNI SKUP

Boje Dinulović
Ana Pilipović²

MEĐUNARODNI
KLAS) I "NOV
OKVIR

Projekat
Organisat
zemljan
zgradam
STAT Ce
eta umetno
U projek
im tezama
en centru C
reel" (New
tehnologije
programski
reći: Pozoriš

INTERNACIONAL
THEATRE
RESEARCH

Theatre
des Scenarist
ries, with the help
was also
Scene
fell as
cludes
ents'
Issue
the
in
with
catr

nicki
stou
alte
4-

Topić¹
Curčić²
Topličić-Čurčić³
Ivicki⁴

ABRAZIJA BETONA KOD HIDROTEHNIČKIH KONSTRUKCIJA

Summary: Abrazija ili abrazivna erozija je površinska erozija uzrokovana udarima čvrstih čestica vodom o betonsku površinu. Oštećenja hidrotehničkih objekata od betona uzrokovana ovim javljaju se u različitoj meri kod gotovo svih hidrotehničkih objekata. Zato je potrebno detaljno proučiti mehanizam nastanka 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 istraživanja abrazivne otpornosti hidrotehničkih betona, sa posebnim osvrtom na tehnologiju koja radi postizanje bolje otpornosti na abraziju i mere za prevencije.

Keywords: abrazija, hidrotehnički objekti, abrazivno-otporni betoni, prevencija abrazije

CONCRETE ABRASION OF HYDRAULIC STRUCTURES

Abstract: Abrasion or abrasive erosion is a surface erosion caused by collision of hard waterborne particles with concrete surfaces. Damage of hydraulic structure caused by abrasion occurs to a different extent in all hydraulic structures. That is why it is necessary to study in detail the mechanism of occurrence of damage, establish the examination methods, test various materials to resistance to abrasion, give suggestions how to remedy the existing damaged hydraulic structures and how to construct the new ones. The paper gives a brief review of the methods for examination of abrasion resistance of hydraulic concretes, with the special accent on the improvement of concrete technology in order to enhance abrasion resistance and on the preventive measures.

Key words: abrasion, hydraulic structures, abrasion-resistant concretes, prevention of abrasion

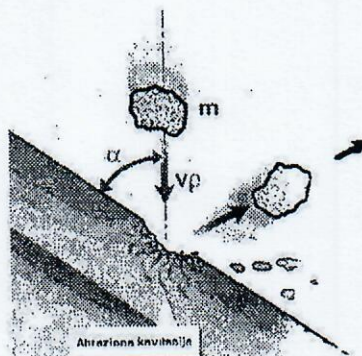
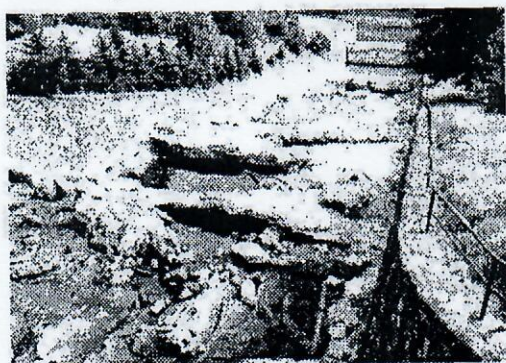
¹ student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, nenadrstic82@yahoo.com
² dr. Građevinsko-arhitektonski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, 018 588-202, zoran.grdic@gaf.ni.ac.rs
³ dr. Građevinsko-arhitektonski fakultet, gordana.toplicic.curcic@gaf.ni.ac.rs
⁴ mr. Građevinsko-arhitektonski fakultet, ivicka2006@yahoo.com

1. UVOD

Abrazivna erozija betonskih površina je uzrokovana česticama koje su nošene vodom. Oštećenja hidrotehničkih objekata od betona usled abrazije javljaju se u različitoj meri na gotovo svih hidrotehničkih objekata, slika 1 levo. Kod hidrotehničkih konstrukcija to su najčešće prednji zid preliva, blago nagnute ploče bazena, kanali i bočni zidovi brana. U izvoru abrazivne erozije čestice 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, kao i otpadni šut od stanovništva. Do danas nisu pronađeni dovoljno efektivne protivmere za sprečavanje oštećenja hidrotehničkih objekata abrazijom. Abrazioni proces je moguće usporiti zaštitnom oblogom betonske mase, planiranim i izvršenim, a ne samo predviđenim, radovima, ali je njegovo spreženje sa drugim vrstama betona, kao što je gvoždjeno, teško. U ovom radu dat je pregled do sada izvršenih istraživanja u svetu čiji je predmet izučavanja bila abrazija betona kod hidrotehničkih objekata.

2. 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 poslednje 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 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 (tvrdoća), kao i oblik čestica takođe utiču na stepen abrazije betonske površine. U analizi 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 predstavljena studija koja istražuje abrazivno-erozivnu otpornost visokih čvrstoća kod kojih je deo cementa zamenjen sa 15%, 20%, 25% i 30% letećeg pepela klase F. U zavisnosti od udela pepela, čvrstoća betona pri pritisku posle 28 dana iznosi od 80 N/mm². Eksperimentalni rezultati pokazuju da je abrazivno-erozivna otpornost mešavine sa dodatkom letećeg pepela poboljšana sa povećanjem čvrstoće pri smanjenjem vodocementnog faktora. Abrazivno-erozivna otpornost betona sa zamena-

15% je slična onaj
sadrže...
edenog...

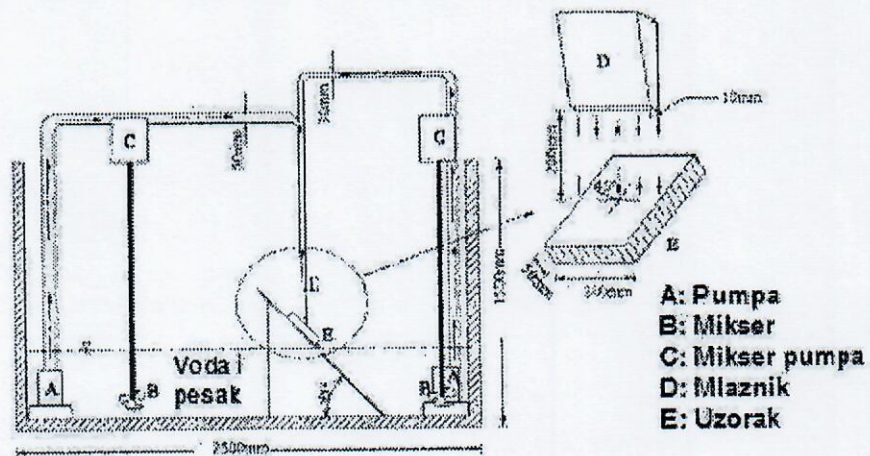
Aluminat...
mentima...
vne. Poge...
re i ispus...
ngatom p...
anom p...
metnim...
na, ali je...
g gvožđa...
erzitetu...
Abraziv...
a Tajvan...
nskih p...
[4],...

reša...
bug...
abi...
p...
je...
d...
ak...
s

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 svojstvima 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, zastave i ispusni tuneli). Ispitivanja pokazuju 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 predmetnim konstrukcijama. 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 čeljenog 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.

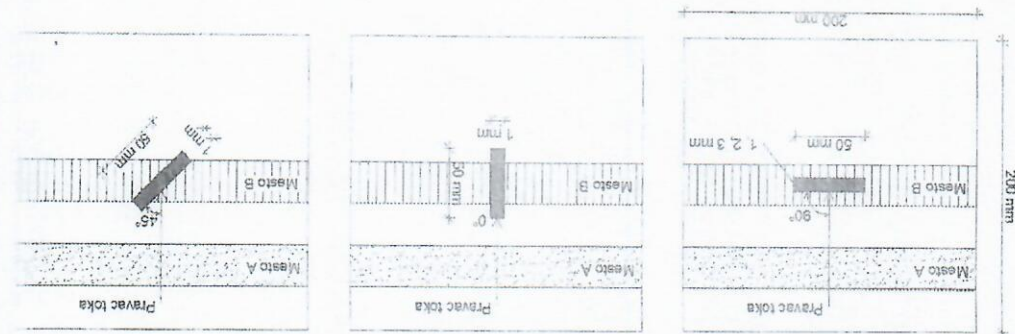
Na Tajvanu je rađen naučni eksperiment sa ciljem da se ispita uticaj različitih tipova površinskih pukotina, kao i različitog sadržaja kvarcnog peska u vodi na otpornost betona prema abraziji [4], [5]. Šematski prikaz aparature koja je korišćena za predmetna ispitivanja dat je na slici 2.



Slika 2 - Aparatura za testiranje abrazije betona vodom i peskom

Mlaz mešavine vode i peska udara pod uglom od 45° na površinu betonske ispitne ploče preko pravougaone mlaznice dimenzija 10 x 200 mm. Smatra se da mehanizam loma površine betona pod uticajem abrazije smatra nastaje formiranjem plastičnih kratera koji se dalje zaravnjavaju i skidanjem površinskih pločica-ljuspica betona, slika 3.

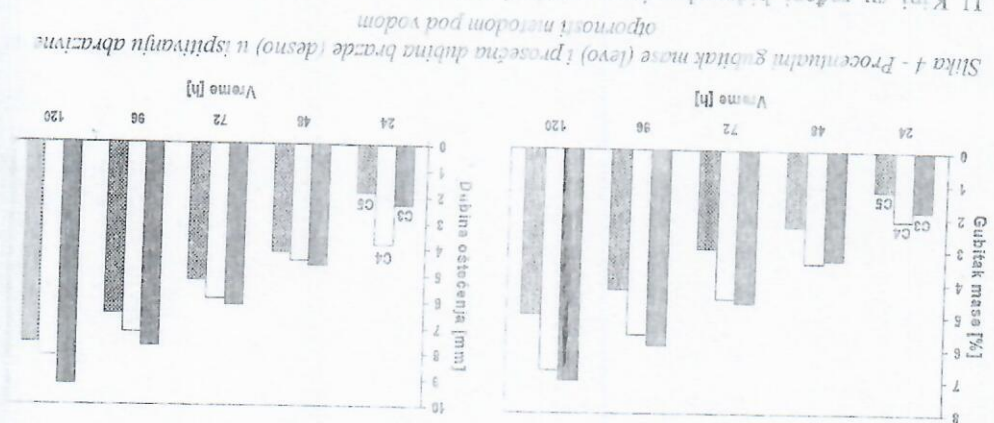
Rezultati testova su pokazali da vodeni mlaz i pesak koji deluju direktno na pukotinu izazivaju njeno proširenje usled otpadanja cementnog kamena i sitnog agregata. Stepem abrazije se značajno povećava kada uzorak ima postojeće pukotine, a veći je i kada vodeni mlaz deluje direktno na pukotinu nego kada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



Slika 3 - Tip pukotine na površini betona

U nastavku eksperimenta uzorci betona su ispitani vodenim mlazom sa dodatkom peska trajanju od 3 sata, pri brzini vodenog mlaza od 10 m/s pri temperaturi vode od 30°C. Za ocenjivanje stepena abrazivne erozije korišćen je podatak o gubitku mase ispitanih uzoraka. Istraživanje je pokazalo da beton spravljen sa mineralnim dodacima poput leteceg 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 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 Šćedin u Poljskoj radeno je istraživanje betona visokih čvrstoća različitih dodatka vlakana i dimenzija elemenata [6]. Na slici 4 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 kg/m³ ćeličastih vlakana MIE 30/50 i ME 50/1.00.

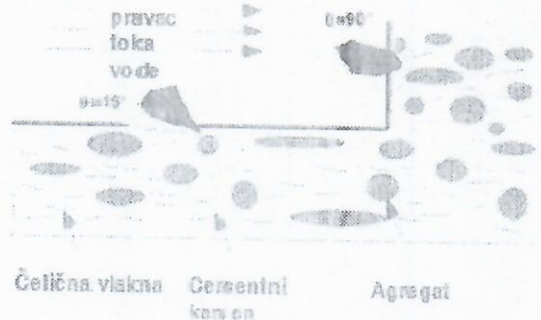
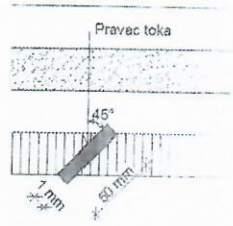


Slika 4 - Procentualni gubitak mase (levo) i prosečna dubina brazde (desno) u ispitivanju abrazivne otpornosti metodom pod vodom

U Kimi su radeni hidro-abrazivno erozivni testovi na nearmiranom betonu i betonu sa dodatkom ćeličnih vlakana, pri čemu su utvrđene erozivne karakteristike materijala pri različitim ispitivnim uslovima [7]. Razmatran je i efekat promene brzine suspenzije u vodi, udarni ugao i sadržaj same suspenzije, slika 5. Upadni ugao mlaza vode prilikom ispitivanja u odnosu na ispitnu površinu betona je bio $\theta = 15^\circ$ (što odgovara uslovima kada je tok vode paralelan betonskom elementu - zidovi hidrauličkih konstrukcija) i $\theta = 90^\circ$ (što odgovara uslovima kod kolena i uglova betonskih elemenata u hidrauličkim konstrukcijama).

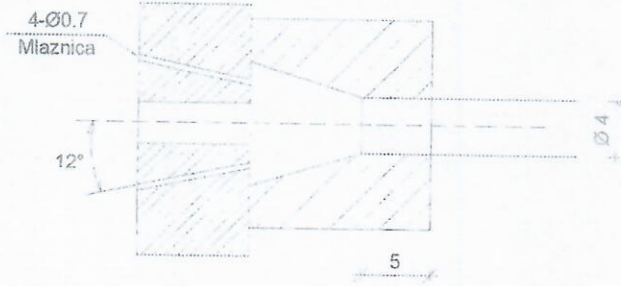
3. ZAKLJUČAK

Na osnovu proučene i maksimalno mogućih i dodatnim faktorom i dodatke, posebni faktorom. Abrazivni i ispitivanju abrazivne



Slika 5 - Erozivni uslovi

Izgled aparature (pogon - vakuumaska pumpa sa visokim pritiskom) korišćene u eksperimentu prikazana je na slici 6. Uzorci betona ispitivani su mlazom mešavine vode i abraziva (garnet-brusni kamen, nepravilnog oblika prosečnog prečnika 0.212 mm tvrdoće 7.5). Istraživanjem se došlo do zaključka da dodatak čeličnih opiljaka doprinosi erozivnoj otpornosti pri malim udarnim uglovima (15°). Za velike udarne uglove (90°) dodavanje čeličnih opiljaka nije uvek svrsishodno i može se generalno reći da se ne preporučuje za uglove i kolena betonskoh konstrukcija. Utvrđeno je da mikroarmiranje ne poboljšava приметно erozivnu otpornost pri malim brzinama toka.



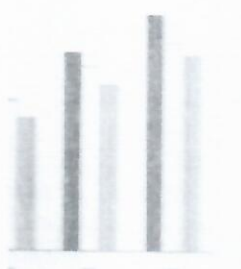
Slika 6 - Konstrukcija i dimenzije instrumenta za mešanje i ubrzanje

sa dodatkom peska... de od 30°C. Za... toraka. Istraživanje... pepela ima povećana... anje poroznosti... vrđeno je da se stepen... or poveća sa 0.23 na... otpornosti na abraziv... je značajan.

visokih čvrstoća radi... modula elastičnosti... ti ispitivanja gubika... enih sa mešanom... rže 70 kg m čelčnih...

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu proučene literature može se zaključiti da abrazivno otporan beton treba spravljati sa maksimalno mogućom količinom najtvrdjeg dostupnog krupnog agregata i što nižim vodocementnim faktorom. Kada visoko kvalitetan agregat nije dostupan efikasno je koristiti mineralne dodatke, posebno silikatnu prašinu, kako bi se poboljšale performanse cementne paste u 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 poluretani, malteri od epoksidnih smola, akrilni 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.



... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

4. POPIS LITERATURE

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

JEDANAEST
 I PETI MIED
 NAUCNI SM

Marijana Serić
 Irina Stipanović
 Dubravka Bje

BETONU

Rezime: Kor
 kao jedan od
 sve veće troš
 pronalazaženju
 Jedan od nači
 konstrukcija j
 vrsta korozijs
 mogućnosti u
 sklopu europs
 Ključne reči:

COR
 R

Abstract: Ch
 reinforced cor
 safety issues a
 wide range of
 structures and
 One of these
 reinforcement
 reinforcement
Key words: c
 induced corros

Materials Depo
 Croatia, e-mail:
 PhD, Materials
 e-mail: irina.sti
 PhD, Materials
 Zagreb, Croatia
 Croatia, e-mail