

---

**DGKS**

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH  
KONSTRUKTERA SRBIJE**

---

**SIMPOZIJUM**

**VRNJAČKA BANJA  
19-21. SEPTEMBAR**

**2012.**

**S  
I  
M  
P  
O  
Z  
I  
J  
U  
M**

**2012**

U SARADNJI SA:



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM  
UNIVERZITETA U BEOGRADU**



**INŽENJERSKOM KOMOROM  
SRBIJE**

**ZBORNİK  
RADOVA**

**PUT INŽENJERING**

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

69(082)

624(082)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије.  
Симпозијум (2012 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova / DGKS Društvo  
građevinskih konstruktera Srbije, simpozijum,  
Vrnjačka Banja, 19-21. septembar, 2012. ;  
[urednici Miloš Lazović, Boško Stevanović]. -  
Beograd : Društvo građevinskih konstruktera  
Srbije : Grafički centar, 2012 (Beograd :  
Grafički centar). - 348 str. : ilustr. ; 25  
cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 300. -  
Napomene uz tekst. - Bibliografija uz većinu  
radova. - Summaries.

ISBN 978-86-85073-15-1 (GC)

а) Грађевинарство - Зборници  
COBISS.SR-ID 193278476

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktera Srbije**  
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**  
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička  
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema  
za štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: 300 primeraka  
Beograd, septembar 2012.

*Dimitrije Zakić<sup>1</sup>, Dragica Jevtić<sup>2</sup>, Aleksandar Savić<sup>3</sup>, Aleksandar Radević<sup>4</sup>*

## **ISPITIVANJE KVALITETA MIKROARMIRANOG BETONA UGRAĐENOG U KONSTRUKCIJU**

### ***Rezime:***

U radu su prikazani standardni i nestandardni postupci koji se mogu primeniti za ispitivanje i ocenu kvaliteta mikroarmiranog betona ugrađenog u konstrukciju. S obzirom da se ovaj tip kompozita najčešće koristi za izradu industrijskih podova, temeljnih ploča i cementnih košuljica, razmatran je - kao opšti, slučaj ispitivanja konstrukcije tipa betonske ploče na zemlji.

*Ključne reči: Mikroarmirani beton (MAB), ispitivanje in situ, ocena kvaliteta betona, industrijski podovi, betonske konstrukcije.*

## **QUALITY ASSESSMENT OF FIBER REINFORCED CONCRETE IN SITU**

### ***Summary:***

Several standard and non-standard methods which may be used for testing and quality assessment of fiber reinforced concrete inside the concrete structure are presented in this paper. Having in mind the fact that this type of composite is mainly used for industrial floors, foundation plates and cement screeds, the general case of testing the concrete plate on the ground is analyzed.

*Key words: Fiber reinforced concrete (FRC), testing in situ, concrete quality assessment, industrial floors, concrete structures.*

---

<sup>1</sup> Doc. dr, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, dimmy@imk.grf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Prof.dr, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, dragica@imk.grf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Asist.prip., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, sasha@imk.grf.bg.ac.rs

<sup>4</sup> Asist.pr., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, aradevic@imk.grf.bg.ac.rs

## 1 UVOD

Poznata je činjenica da mikroarmirani betoni (MAB) predstavljaju kompozitne materijale dobijene ojačanjem cementne matrice pomoću ravnomerno raspoređenih - dispergovanih vlakana. Ova vlakna mogu biti prirodnog ili veštačkog porekla, a danas se u građevinarstvu najviše primenjuju čelična, sintetička (obično polipropilenska) i staklena vlakna.

S obzirom da se mikroarmirani kompoziti najčešće koriste za izradu industrijskih podova, temeljnih ploča i cementnih košuljica (preko 90% slučajeva primene u razvijenim zemljama), u radu će u daljem biti razmatran - kao opšti slučaj, primer ispitivanja industrijskog poda, odnosno konstrukcije tipa betonske ploče na zemlji.

Industrijski podovi su u principu višeslojni sistemi, koji se najčešće primenjuju u industrijskim halama, skladištima, garažama, prodajnim i izložbenim prostorima i sličnim objektima. Ovakve konstrukcije se projektuju i izvode tako da izdrže često ekstremna opterećenja, a da pri tome zadovolje i sve neophodne zahteve investitora u pogledu trajnosti, funkcionalnosti i estetskih parametara. S tim u vezi, izražena je potreba za stalnim usavršavanjem svojstava materijala koji se primenjuju u ovoj oblasti, a u koje spadaju i mikroarmirani betoni. S druge strane, primena savremenih materijala podrazumeva i nove metode za ispitivanje i ocenu kvaliteta tih materijala, kako u laboratorijskim uslovima, tako i prilikom ispitivanja in situ (na gradilištu, odnosno u okviru već izgrađenog objekta).

U oblasti industrijskih podova javljaju se uticaji koji se po svom karakteru, intenzitetu i frekvenciji pojavljivanja u velikoj meri razlikuju od opterećenja karakterističnih za, na primer, zgradarstvo ili mostogradnju. Naime, oštećenja industrijskih podova najčešće su posledica intenzivnog saobraćaja, učestalih udara, pokretanja i zaustavljanja (odnosno podizanja i spuštanja) teških tereta, delovanja agresivnih supstanci (kiselina, baza i sl.) i/ili temperaturnih promena.

S obzirom na specifičnosti mikroarmiranog betona kao kompozitnog materijala, a takođe imajući u vidu i prethodno navedena svojstva industrijskih podova kao specifičnih betonskih konstrukcija, u daljem tekstu će biti analizirane neke standardne i nestandardne metode koje se mogu primeniti za ispitivanje i ocenu kvaliteta već ugrađenog mikroarmiranog betona.

Kada se govori o aktuelnosti problematike o kojoj je ovde reč, treba naglasiti činjenicu da su - naročito počev od 80-tih godina prošlog veka pa sve do danas, održani brojni međunarodni kongresi i savetovanja koji se bave industrijskim podovima, a podjednako brojni su bili i skupovi koji se bave tematikom mikroarmiranja. Pored toga, 1999. godine formirana je i tehnička komisija RILEM-a TC 184-IFE ("Industrijski podovi otporni na agresivne uticaje, uključujući sanaciju i održavanje"), čiji je cilj harmonizacija postojećih nacionalnih metoda i formulisanje međunarodnih preporuka za ispitivanje i ocenu kvaliteta materijala i konstrukcija. U tom smislu, jedan od najvažnijih ciljeva ove Komisije predstavlja usvajanje metodologije procene performansi i relevantnih svojstava materijala koji se koriste za izvođenje industrijskih podova, kao i utvrđivanje jednostavnih i pouzdanih postupaka ispitivanja – po mogućstvu tipa metoda bez razaranja koje su primenjive in situ.

Slojevi industrijskog poda, kako pojedinačno, tako i kao celina, moraju imati zadovoljavajuća svojstva u pogledu: čvrstoće pri pritisku, čvrstoće pri savijanju, adhezije (prijanjanja), udarne otpornosti, habanja (abrazije), vodonepropustljivosti, skupljanja, hemijske otpornosti, žilavosti, elektroprovodljivosti, otpornosti na klizanje, ravnosti, itd.

## 2 STANDARDNE METODE ISPITIVANJA

Potreba da se ispita kvalitet i performanse betona koji je već ugrađen u konstrukciju (in situ), sve češće se javlja u savremenom građevinarstvu. To je naročito izraženo kod industrijskih i drugih tipova podova (skladišta, garaža), kod kojih nakon noseće betonske ploče koja je armirana klasičnom i/ili mikroarmaturom, sledi još jedan ili više slojeva poda napravljenih od različitih materijala (kompozita na bazi cementa, epoksidne smole, poliuretana, poliestra, gume, asfalta, keramičkih pločica, itd.). Naime, pre ugradnje ovih slojeva, praktično je obavezno da se proverí kvalitet podloge – betona, barem u smislu osnovnih mehaničkih svojstava - čvrstoće pri pritisku i athezije (prianjanja).

Uobičajene tehnike, odnosno standardne metode ispitivanja, podrazumevaju da se u takvim slučajevima napravi kombinacija destruktivnih i nedestruktivnih metoda ispitivanja. To najčešće znači da se na licu mesta vadi određen broj uzoraka betona iz konstrukcije (tzv. kernova), na kojima je kasnije moguće u laboratorijskim uslovima ispitati čvrstoću pri pritisku, čvrstoću pri zatezanju cepanjem, modul elastičnosti, zapreminsku masu, itd. Istovremeno, in situ se primenjuju i jedna ili više metoda bez razaranja (sklerometar - Šmitov čekić, ultrazvuk), odnosno metoda lokalne destrukcije ("pull-off", "pull-out" ili "break-off" test).

S obzirom da su ove metode standardizovane i već uglavnom dobro poznate stručnoj javnosti, one ovom prilikom neće biti detaljnije razmatrane. Međutim, treba naglasiti činjenicu da, kada je reč o ispitivanju mikroarmiranih betona, napred navedene metode nisu ni u kom slučaju dovoljne da bi se izvršila ocena kvaliteta ovakvog betona ugrađenog u konstrukciju, odnosno da bi se dao merodavan sud o efektima mikroarmiranja. Naime, brojna ispitivanja su pokazala da se čvrstoća pri pritisku betona malo ili uopšte ne menja nakon dodavanja vlakana u cementnu matricu. S druge strane, čvrstoća pri zatezanju (koju možemo da ispitamo na kernovima pomoću metode cepanja – tzv. "Brazilskog opita"), može se u većoj ili manjoj meri povećati mikroarmiranjem, ali to zavisi od brojnih parametara (najviše od vrste i količine upotrebljenih vlakana). Međutim, s obzirom da se u većini slučajeva betonu dodaju relativno male količine mikroarmature (na primer: 700-900 g/m<sup>3</sup> polipropilenskih ili 20-30 kg/m<sup>3</sup> čeličnih vlakana), to će samo u manjoj meri uticati na povećanje čvrstoće pri zatezanju takvog betona.

Što se tiče nedestruktivnih metoda, ako se uporedno ispitaju betoni istog sastava – pri čemu je jedan spravljen sa vlaknima, a drugi bez dodatka mikroarmature, rezultati ispitivanja u principu neće pokazati značajne razlike. Samo kod metoda lokalne destrukcije (na pr. kod najčešće upotrebljavane "pull-off" metode), dodatak vlakana može da doprinese znatnom povećanju sile čupanja – mada i ovakav stav treba uzeti sa rezervom, ukoliko se primenjuju napred navedene minimalne količine mikroarmature.

Zbog svega što je prethodno izloženo, jasno je da u slučaju ispitivanja već ugrađenog mikroarmiranog betona obavezno treba primeniti i neke druge, specifične metode za ocenu kvaliteta i performansi predmetnog betona. To ne znači da uobičajene, klasične metode ispitivanja in situ ne treba koristiti - već ih samo treba dopuniti novim, uglavnom još uvek nestandardnim metodama, koje će nam pomoći da u potpunosti sagledamo kvalitet ugrađenog betona i ocenimo efekte njegovog mikroarmiranja.

Poboljšanje performansi mikroarmiranih kompozita u odnosu na njihove pandane spravljen bez dodatka vlakana, najviše se očituje u vidu povećanja njihovog kapaciteta da apsorbuju energiju tokom loma (tj. u vidu povećanja duktilnosti betona). U daljem tekstu biće prikazane dve nestandardne metode koje se mogu koristiti za ocenu duktilnosti (odnosno žilavosti) već ugrađenog mikroarmiranog betona.

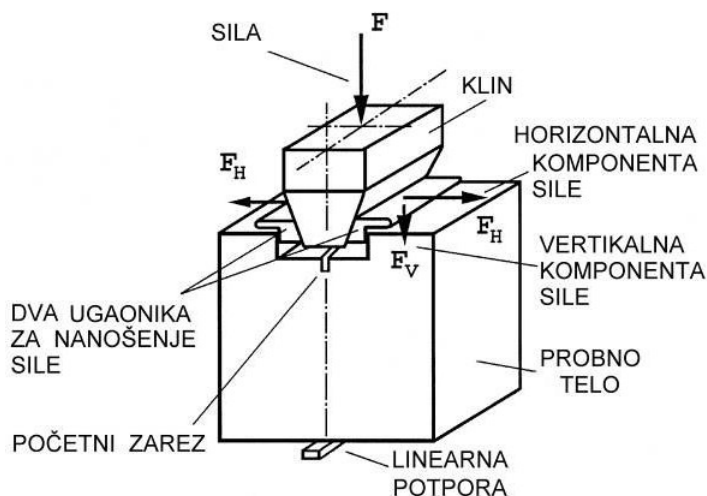
### 3 NESTANDARDNE METODE ISPITIVANJA

Kao što je poznato, jedan od osnovnih razloga za primenu mikroarmature kod betona i maltera je nastojanje da se poboljša kapacitet apsorbovanja energije cementne matrice. Uobičajeno je da se veličina energije, apsorbovane tokom ispitivanja materijala do loma, kvantifikuje preko površine ispod  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagrama (napon-dilatacija), ili odgovarajuće površine zahvaćene dijagramom  $P$ - $\Delta l$  (sila-izduženje, odnosno sila-ugib). Sposobnost kompozita da izdrži određene deformacije pre nego što dođe do njegovog otkaza, definiše se, u okviru brojnih standardizovanih i nestandardizovanih metoda, preko različitih parametara koji se najčešće nazivaju indeksi žilavosti.

Ipak, značajan problem kod određivanja parametara žilavosti betona predstavlja činjenica da većina (naročito standardnih) metoda, nije primenljiva u slučaju ispitivanja in situ. Naime, radi se uglavnom o metodama zasnovanim na ispitivanju prizmatičnih uzoraka pri savijanju, a takve uzorke je veoma teško izvaditi iz već gotove konstrukcije. S druge strane, postoje i metode u okviru kojih se mogu koristiti cilindrični uzorci (tj. kernovi koje uobičajeno vadimo iz konstrukcije), ili metode koje se koriste direktno na konstrukciji bez njenog oštećenja.

U prvu grupu metoda spada metoda CK ("Cepanje pomoću klina" ili "*Wedge-splitting test*"), koju su razvili Tschegg i Linsbauer, u cilju karakterizacije ponašanja betona u domenu mehanike loma. Metoda CK prihvaćena je i preporučena za praktičnu primenu od strane tehničkog komiteta RILEM 50-FMC.

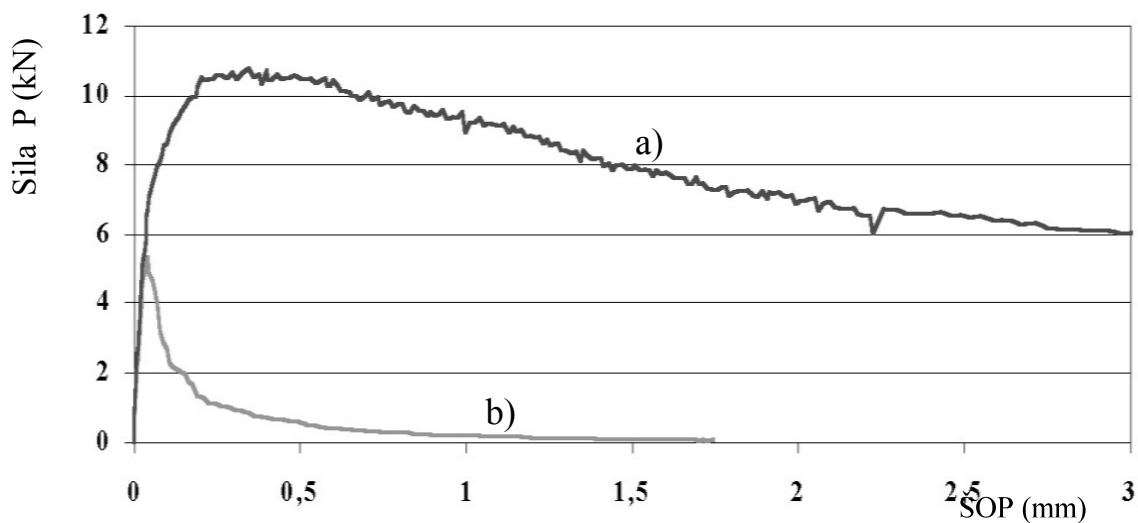
Dispozicija koja se koristi kod ove metode prikazana je na slici 1. Ispitivanje može da se vrši na probnim telima oblika kocke ili cilindra, kod kojih je prethodno urezan pravougaoni žljeb sa početnim zarezom. Sila cepanja prenosi se sa hidraulične prese na uzorak putem specijalnog čeličnog klina koji se utiskuje u žljeb (sa gornje strane uzorka), dok je sa donje strane uzorak linijski oslonjen preko odgovarajuće čelične šipke. Čelični ugaonici preko kojih se vrši prenošenje vertikalne sile, a koji se postavljaju unutar žljeba, prouzrokuju cepanje betonskog uzorka tokom utiskivanja klina, duž unapred zadate pukotine - zareza. Klin prenosi silu ( $F$ ) na probno telo na taj način što je horizontalna komponenta ( $F_H$ ) - koja cepa probno telo, znatno veća od vertikalne komponente ( $F_V$ ) kojom se dodatno stabilizuje pravac propagacije pukotine u ravni koju određuju oslonac i početni zarez. Ukoliko je ugao klina dovoljno mali, vertikalna komponenta sile ( $F_V$ ) u principu ne utiče na rezultate testa, što je potvrđeno eksperimentima autora predmetne metode.



Slika 1 – Dispozicija ispitivanja kod metode CK

Za evaluaciju duktilnosti, kod metode CK koriste se dijagrami  $\sigma-w$  (napon-lokalno razdvajanje), koji se dobijaju tako što se tokom cepanja probnog tela pomoću klina, registruje promena širine otvora prsline na mestu zareza (*ŠOP*). Ova promena meri se u pravcu dejstva sile  $F_H$  upotrebom elektronskih deformetara (*LVDT*). Lokalno razdvajanje, odnosno promena širine prsline na mestu zareza (*ŠOP*), automatski se registruje tokom celog eksperimenta u funkciji povećanja sile  $F$  i koristi se kao feedback - tako da se brzina deformacije održava konstantnom za sve vreme trajanja testa.

Kao i kod većine drugih metoda ispitivanja duktilnosti, i ovde površina ispod dijagrama sila-deformacija predstavlja meru apsorbovane energije betona. Kao osnovni parametar duktilnosti kompozita, definiše se njegova ekvivalentna čvrstoća za unapred definisanu (zadatu) veličinu deformacije (*ŠOP*). Što neki kompozit ima veću ekvivalentnu čvrstoću, to je veća njegova otpornost prema širenju prsline, a samim tim i njegova duktilnost (žilavost). Na narednoj slici 2, prikazani su karakteristični dijagrami za dva betona istog sastava, od kojih je jedan spravljen sa dodatkom čeličnih vlakana, a drugi bez mikroarmature.



Slika 2 - Karakteristični dijagrami  $P-\dot{S}OP$  za slučaj betona sa (a) i bez vlakana (b)

Osim statičkih metoda ispitivanja duktilnosti mikroarmiranih kompozita (među koje spada i napred prikazana metoda CK), aktuelni su i različiti dinamički postupci ispitivanja. Međutim, i u ovom slučaju većina metoda vezana je za laboratorijska istraživanja i nisu primenjive u slučaju ispitivanja betona in situ. Izuzetak predstavlja metoda udarne mase - tzv. "*Drop-weight test*", pomoću koje je moguće obaviti dinamičko ispitivanje duktilnosti već ugrađenih mikroarmiranih kompozita (na pr. u okviru AB ploče ili cementne košuljice).

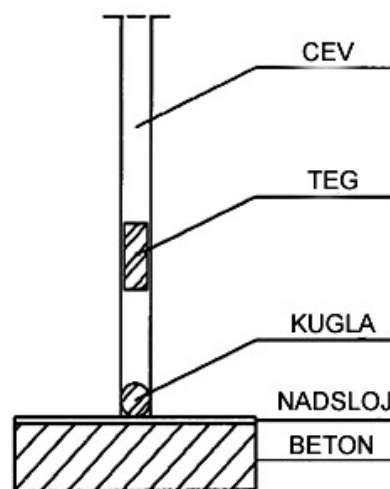
Postupak ispitivanja kod predmetne metode ogleda se u sledećem: teg konstantne mase pada na podlogu s različitih visina ili se visina drži konstantnom, a varira se masa tega (prvi slučaj je prikladniji za primenu in-situ, dok se drugi može primenjivati u laboratorijskim uslovima). Teg pada kroz cev postavljenu direktno iznad čelične kugle koja leži na površini uzorka na mestu ispitivanja (videti sliku 3). Svaki udar mora biti izveden na novom, neoštećenom mestu na podlozi koja se ispituje (u skladu sa odredbama standarda ASTM D 2394). Ako pri prvom udaru ne dođe do oštećenja, povećava se visina za jedan korak (15 cm), a u suprotnom se smanjuje i nakon toga se ispituje sledeće mesto. Za svaku novu visinu ispitivanja, vrši se vizuelno-makroskopski pregled podloge i beleži se svako eventualno nastalo oštećenje (udubljenje, prslina, delaminacija, drobljenje itd.). Kriterijum za ocenu ostvarenih rezultata ispitivanja vezan je za vrstu registrovanih oštećenja i dimenzije udubljenja nastalih

usled dejstva udarnog opterećenja. Kao konačan rezultat ispitivanja, sračunava se energija koja je potrebna za nastanak prve prsline (ili nekog drugog, značajnijeg oštećenja - kao što su drobljenje, odlamanje i sl.) na ispitivanoj podlozi.

Ukupna energija koja je utrošena nakon  $N$  udaraca tega mase  $m$  (koji pada sa visine  $h$ ), neophodnih da dođe do unapred definisanog oštećenja (ili loma) ispitivanog materijala, određuje se kao:

$$E_N = N \cdot E = N \cdot m \cdot g \cdot h,$$

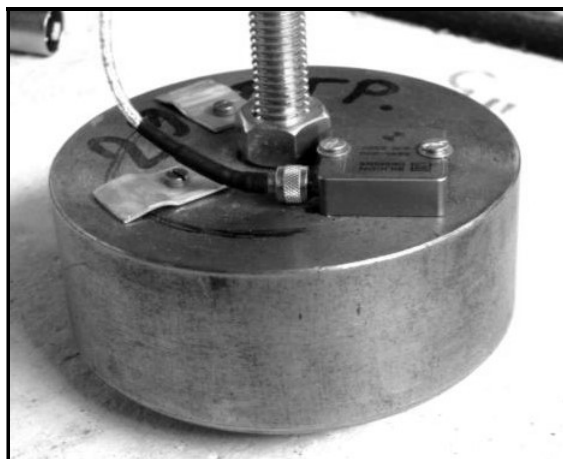
U cilju klasifikacije industrijskih podova, registrovana količina energije potrebna za pojavu oštećenja na ispitivanoj podlozi (na pr. na finalnom nadsloju izvedenom preko betonske ploče), može se uporediti sa graničnim vrednostima definisanim u standardu EN 1504-2. Naime, ovaj standard definiše 3 klase otpornosti na udar obloga (nadslojeva) koje se nanose preko betonskih podova: Klasa 1 ( $E = 4 \text{ Nm}$ ), Klasa 2 ( $E = 10 \text{ Nm}$ ) i Klasa 3 ( $E = 20 \text{ Nm}$ ).



Slika 3 – Ispitivanje industrijskih podova metodom udarne mase

Prikazana metoda modifikovana je za potrebe ispitivanja mikroarmiranih betona tako da se, umesto tega i čelične kugle, kao udarna masa koristi samo jedan teg – mase 3kg koji je na vrhu zaobljen (kao metak). Ovaj teg pada sa konstantne visine od 30 cm kroz plastičnu cev, pri čemu je sa gornje, ravne strane tega pričvršćen akcelerometar - koji je odgovarajućim kablom povezan sa uređajem za akviziciju podataka i kompjuterom (videti sliku 4). Svaki udar registruje se automatski i obrađuje pomoću odgovarajućeg softvera. Istovremeno, nakon svakog nanesenog udarnog opterećenja vrši se vizuelno-makroskopski pregled površine betona (pomoću lupe i jakog osvetljenja), u cilju detekcije eventualno nastalih oštećenja. U ovom slučaju, pod oštećenjem se smatra jasno izražena i vidljiva prsline, delaminacija ili drobljenje na površini poda. Kriterijum za ocenu ostvarenih rezultata ispitivanja vezan je za broj udaraca do nastanka prve prsline (odnosno oštećenja).





Slika 4 – Teg od kaljenog čelika mase 3 kg na koji je pričvršćen akcelerometar

Primer izgleda dijagrama promene ubrzanja udarne mase tokom vremena dat je na slici 5. Sa slike se može videti da impuls koji se registruje pomoću akcelerometra ima svoj maksimum neposredno nakon samog udara, zatim pada na nulu i menja znak (što predstavlja, u stvari, odskok udarne mase od površine betona), da bi se postepeno smirio tokom serije oscilacija znatno nižeg intenziteta od početnih.



Slika 5 – Tipičan dijagram promene ubrzanja udarne mase tokom vremena

Osim napred navedenih metoda, tehnička komisija RILEM-a TC 184-IFE predlaže još čitav niz uglavnom nedestruktivnih postupaka za ocenu kvaliteta industrijskih i drugih podova, kao što su: infracrvena termografija, video endoskopija (pomoću optičkih vlakana), impakt-eho metoda, radarsko snimanje (GPR), metoda radioaktivnog zračenja, spektralna analiza površinskih talasa, itd. Međutim, sve ove metode podrazumevaju veoma skupu opremu i obučene stručnjake koji umeju da je pravilno koriste i da interpretiraju dobijene rezultate ispitivanja.

#### 4 ZAKLJUČAK

U savremenom građevinarstvu, evidentna je potreba da se formulišu i standardizuju metode i tehnike pomoću kojih je moguće što jednostavnije i preciznije izvršiti ispitivanje i ocenu kvaliteta betona ugrađenog u konstrukciju. To je posebno izraženo u slučaju mikroarmiranih kompozita, kod kojih su klasične metode nedovoljne za takvu ocenu, a neke druge - specifične metode i tehnike su još uvek uglavnom nestandardizovane.

Stoga je u ovom radu učinjen pokušaj da se prikažu dve relativno nove, nestandardne metode za ocenu kvaliteta mikroarmiranog betona in situ – koje su pogodne, pre svega, za ispitivanje mehaničkih svojstava industrijskih podova (betonske ploče i njenih nadslojeva), ali se svakako mogu primeniti – uz određene modifikacije, i na druge elemente konstrukcija izvedenih od mikroarmiranog betona. Prednost prikazanih metoda ("Cepanja klinom" i "Udarne mase"), ogleda se i u činjenici da ne zahtevaju prevelika ulaganja u opremu i obuku kadrova, pa se prema tome mogu uspešno primeniti i u našim uslovima.

U svakom slučaju, da bi napred navedene, kao i neke metode koje ovom prilikom nisu detaljnije analizirane, postale standardne - treba izvršiti dodatna istraživanja i uspostaviti dobre korelacije između laboratorijskih testova i svojstava materijala utvrđenih in situ.

## 5. ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: "Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji".

## LITERATURA

- [1] *Istraživanje parametara duktilnosti i udarne otpornosti sitnozrnih betona mikroarmiranih sintetičkim vlaknima/ Zakić D.// Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.*
- [2] *RILEM TC 184-IFE "Industrial Floors" - State of the art report N° 33, 2006.*
- [3] *Relevantne statičke i dinamičke metode za ocenu žilavosti mikroarmiranih betona/ Jevtić D., Zakić D., Savić A.// Građevinski materijali i konstrukcije br.1/2011, str. 3-27, ISSN 0543-0798, UDK: 624.012.45; 666.982.2; 620.178.2=861.*
- [4] *Tensile strength testing of fiber reinforced concrete/ Zakić D., Jevtić D.// Proceedings of the XXV Congress of DIMK Srbija, Tara, 19-21. 10. 2011, pp. 89-98, ISBN 978-86-87615-02-1.*
- [5] *Eksperimentalno istraživanje parametara duktilnosti kod betona mikroarmiranih sintetičkim vlaknima/ Zakić D.// Savremeno graditeljstvo, godina III, br. 07-2011, str. 24-37, Originalni naučni rad, UDK: 624.012.45.04, ISSN 1986-5759.*
- [6] *State-of-the-art in the Field of Toughness Evaluation of Fiber Reinforced Cement Composites/ Jevtić D., Zakić D., Savić A.// 10<sup>th</sup> International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2010, Proceedings – Volume 1, Donji Milanovac, 16-19. septembar 2010, str. 128-140, ISBN 978-86-60075-017-6, Plenarno predavanje po pozivu, www.satcip.com.*
- [7] *New Equipment for Fracture Tests on Concrete/ Tschegg, E.K.// Materialprüfung 33, N°. 11 - 12, München, 1991, pp. 338 - 342.*
- [8] *Vlaknasti betoni visokih uporabnih svojstava/ Šušteršič J.// Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1998.*
- [9] *Testing Impact Resistance of Industrial Floors Overlays/ Štirmer N., Ukrainczyk V.// 5<sup>th</sup> Intern. Colloquium, Technische Akademie Esslingen, 2003, Vol. II, pp. 627-637.*