Armiranje mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima

Seferović, Enes; Šandrk Nukić, Ivana; Mračkovski, Dejan; Macan, Darka

Source / Izvornik: **Građevinar, 2011, 63, 63 - 68**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:659088

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**

GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

UDK 666.97.033.14.00223 *Primljeno 17. 12. 2009.*

Armiranje mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima

Enes Seferović, Ivana Šandrk Nukić, Dejan Mračkovski, Darka Macan

Ključne riječi

mikroarmirani mlazni beton (MAMB), makrosintetička vlakna, postpukotinska nosivost, upijanje energije, vlakna Enduro 600, tunel Puljani

E. Seferović, I. Šandrk Nukić, D.Mračkovski, D. Macan *Stručni rad*

Armiranje mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima

Prikazani su rezultati istraživanja mlaznog betona armiranog makrosintetičkim vlaknima kojima se dokazuje prednost primjene makrosintetičkih vlakana u odnosu na čelične mreže. To se prije svega odnosi na svojstva postpukotinske nosivosti i upijanja energije. Istodobno, uz tehničke prednosti, ostvaruju se i značajne financijske i vremenske uštede. Prikazana ispitivanja provedena su 2009. godine na probnoj dionici u tunelu Puljani primjenom makrosintetičkih vlakana Enduro 600.

Key words

fibre reinforced shotcrete (FRS), macrosynthetic fibres, post-cracking bearing capacity, energy absorption, Enduro 600 fibres, Puljani Tunnel

E. Seferović, I. Šandrk Nukić, D.Mračkovski, D. Macan *Professional paper*

Shotcrete reinforcement with macrosynthetic fibres

Results obtained during the study of shotcrete reinforced with macrosynthetic fibres are presented, and advantages of using macrosynthetic fibres rather than steel fabric are described. This first of all concerns properties relating to the post-cracking bearing capacity and energy absorption. In addition to technical advantages, significant financial and time-related savings have also been realized. The testing presented in the paper was conducted in 2009 at a test section in the Puljani Tunnel using macrosynthetic fibres type Enduro 600.

Mots clés

béton projeté renforcé de fibres (BPRF), fibres macrosynthétiques, capacité portante après fissurage, absorption d'énergie, fibres Enduro 600, tunnel de Puljani

E. Seferović, I. Šandrk Nukić, D.Mračkovski, D. Macan *Ouvrage professionel*

Renforcement de béton projeté aux fibres macrosynthétiques

Les résultats obtenus au cours de l'étude du béton projeté renforcé par des fibres macrosynthétiques sont présentés, et les avantages de l'emploi des fibres macrosynthétiques au lieu de treillis d'acier sont décrites. Cela concerne en premier lieu les propriétés relatives à la capacité portante après fissurage, et l'absorption d'énergie. En plus des avantages techniques, les économies notables de temps et de finances ont également été réalisées. Les essais présentés dans l'ouvrage ont été conduits au cours de l'an 2009 sur le tronçon d'essai dans le tunnel de Puljani en utilisant les fibres macrosynthétiques de type Enduro 600.

Ключевые слова

микроармированный торкрет бетон (MAMB), макросинтетические волокна, несущая способность после трещинообразования, энергопоглощение, волокна Enduro 600, туннель Пульани

Е. Сеферович, И. Шандрк Нукич, Д. Мрачковски, Д. Мацан *Отраслевая работа*

Армирование торкрет бетона макросинтетическими волокнами

Приведены результаты исследований торкрет бетона, армированного макросинтетическими волокнами, доказывающие преимущества применения макросинтетических волокон по сравнению с использованием стальных сеток. Прежде всего, это относится к свойствам несущей способности после трещинообразования и энергопоглотительным свойствам. Наряду с техническими преимуществами имеет место и значительная экономия финансовых средств и времени. Описаны испытания с применением макросинтетических волокон Enduro 600, проведенные в 2009 г. на экспериментальном участке туннеля Пульани.

Schlüsselworte

mikrobewehrter Spritzbeton (MAMB), makrosynthetische Fasern, Nachrisstragfähigkeit, Energieabsorption, Fasern Enduro 600, Tunnel Puljani

E. Seferović, I. Šandrk Nukić, D.Mračkovski, D. Macan *Fachbericht*

Bewehrung von Spritzbeton mit makrosynthetischen Fasern

Dargestellt sind Forschungsergebnisse des Spritzbetons bewehrt mit makrosynthetischen Fasern, mit welchen man den Vorteil der Anwendung von makrosynthetischen Fasern im Bezug zu Stahlnetzen beweist. Das bezieht sich vor allem auf die Eigenschaften der Nachrisstragfähigkeit und die Energieabsorption. Gleichzeitig realisiert man, neben technischen Vorteilen, auch bedeutende Finanz- und Zeitersparnisse. Die dargestellten Prüfungen wurden 2009. an der Probestrecke im Tunnel Puljani unter Anwendung der makrosynthetischen Fasern Enduro 600 durchgeführt.

Autori: Mr. sc. **Enes Seferović**, dipl. ing. građ., CSS d.o.o. Zagreb; mr. sc. **Ivana Šandrk Nukić**, dipl. oec; **Dejan Mračkovski**, dipl. ing. građ.; **Darka Macan**, dipl. ing. građ., Werkos d.o.o. Osijek

1 Razvoj mikroarmiranog betona

Prvi iskopi tunela i drugih podzemnih građevina datiraju još iz drevnog doba, ali klasične metode iskopa u današnjem smislu razvijene su tek u 19. stoljeću. Najpoznatije su klasične metode svakako stara austrijska metoda, belgijska metoda, njemačka, talijanska te engleska metoda. Zajednički element svih tih metoda jest da se najprije probija podgrađeni rov radi upoznavanja geotehničkih uvjeta, a nakon toga obavlja se podgrađivanje i završna obloga tunela.

U 20. stoljeću dolazi do intenzivnoga tehnološkog razvoja i razvoja inženjerske prakse. U skladu s novim teorijskim spoznajama, ali i suvremenim građevnim materijalima, bitno su izmijenjene i klasične metode iskopa te primat preuzimaju tzv. nova austrijska tunelska metoda i norveška metoda.

Inženjer Rabcewicz, jedan od utemeljitelja nove austrijske tunelske metode, zaslužan je, između ostalog i za intenzivnu primjenu mlaznog betona u podzemnim građevinama te je metodu mlaznog betona čak i patentirao.

U posljednjih nekoliko desetljeća primjene mlaznog betona napredovale su što se tiče mikroarmiranoga mlaznog betona (MAMB). Mikroarmirani se mlazni beton pneumatski utiskuje velikom brzinom na podlogu, i to beton koji sadrži diskontinuiranu armaturu u obliku vlakana ravnomjerno raspodijeljenih u smjesi betona. Tako raspoređena vlakna čine prostornu matricu i osiguravaju trodimenzionalnost armature čime se stabilizira stijenska masa uz minimalne rizike. Budući da se armiranje obavlja istodobno s nanošenjem mlaznog betona, ostvaruju se i velike vremenske uštede.

Mikroarmirani mlazni beton oduvijek je podrazumijevao isključivo upotrebu čeličnih vlakana za osnovnu armaturu konstrukcije odnosno malih polipropilenskih vlakana za poboljšanje trajnosti i otpornosti na požar betonske podgrade. Međutim, posljednja riječ tehnologije unazad desetak godina u svijetu, a odnedavno i u nas, podrazumijeva upotrebu makrosintetičkih vlakana za osnovnu armaturu mlaznog betona.

Općenito uzevši, premda miješanje vlakana u svježem betonu pričinjava određene teškoće, njihova uporaba u mlaznom betonu ima i brojne prednosti. Pri tome u II. i III. tunelskoj kategoriji vlakna mogu u potpunosti zamijeniti armaturnu mrežu, dok se u tunelima IV. i V. kategorije mogu primijeniti u kombinaciji s čeličnim lukovima i armaturnom mrežom ili bez nje. Najvažniji učinci vlakana na mehanička svojstva MAMB su:

- trodimenzionalno armiranje dovodi do povećane nosivosti pri velikim deformacijama
- povećana je otpornost na udar i zamor
- povećana je otpornost na nastanak pukotina
- bitno je poboljšana preostala čvrstoća (čvrstoća nakon puknuća)
- povećane su žilavost (duktilnost) i posmična čvrstoća
- povećana je sposobnost apsorpcije energije
- povećana je čvrstoća na savijanje
- znatno je smanjeno skupljanje MAMB-a
- kod MAMB-a bitno je manji utrošak betona iz dva razloga: vlakna poboljšavaju prionljivost betona, a uz to mikroarmirani mlazni beton savršeno slijedi konfiguraciju tla pa ga je moguće nanositi u tanjem sloju od onog kad se rabe armaturne mreže
- mnogo je manji i utrošak radnih sati pri ugradnji mikroarmiranoga mlaznog betona u odnosu na ugradnju mlaznog betona kroz mrežu što dovodi do povećanoga radnog kapaciteta izvođača
- primjenom MAMB-a puno je veća i sigurnost na radu u odnosu na tradicijski način armiranja jer se armaturne mreže ugrađuju u uvjetima nepotpune stabilizacije podzemnog iskopa
- rad u skučenom prostoru bez upotrebe armaturnih mreža lakše je organizirati.

2 Makrosintetička vlakna za armiranje mlaznog betona

U stručnoj i znanstvenoj literaturi dosta se pisalo o vlaknima i mikroarmiranom betonu, ali, kao što je u uvodu spomenuto, makrosintetička vlakna najnovije su dostignuće diskontinuirane armature čiju primjenu tek treba provjeriti. Ovaj će se rad koncentrirat na makrosintetička vlakna tržišnog imena Enduro 600 (slika 1.) te njihovu primjenu na izradi probne dionice u tunelu Puljani, na spojnoj cesti čvor Ploče – Luka Ploče, autoceste A10, granica BiH – Ploče.



Slika 1. Makrosintetička vlakna Enduro 600

U mnogim slučajevima makrosintetička vlakna potpuno zamjenjuju čeličnu mrežu, odnosno čelična vlakna, čineći sama po sebi osnovnu armaturu betona. Kao i čelična

vlakna, i ova vlakna moguće je kombinirati s mikrosintetičkim vlaknima da bi se uz strukturalnu podršku postiglo eliminiranje mikropukotina i povećala otpornost na požar te tako izvele betonske konstrukcije najpovoljnijih svojstava.

Prema tehničkoj specifikaciji proizvođača, osnovna kemijska i fizikalna svojstva promatranih makrosintetičkih vlakana Enduro 600 jesu:

- duljina: 50 mm
- promjer: 0,95 mm
- sastav: polipropilen i polietilen
- boja: siva
- gustoća: 910 kg/m^3
- električna vodljivost: mala
- otpornost na soli i kiseline: velika
- otpornost na lužine: potpuna
- apsorpcija: 0
- točka taljenja: 164 ^{o}C
- točka paljenja: > 550 ^{o}C
- toplinska vodljivost: mala.

Makrosintetička vlakna Enduro 600 pakirana su tako da su jednake količine vlakana omotane ovojnicom organskog podrijetla koja se u dodiru s vodom iz betonske smjese rastapa i oslobađa vlakna. Vlakna se pri miješanju betona homogeniziraju, a njihov valovit oblik dovodi do kvalitetnog sidrenja u matricu MAMB-a, unapređujući time njegova mehanička svojstva.

Zapravo, uz uobičajene prednosti do kojih se dolazi primjenom vlakana za armiranje mlaznog betona, upotrebom makrosintetičkih vlakana postižu se i neke dodatne koristi svojstvene sintetičkim vlaknima:

- ne oštećuju gumene cijevi na pumpi za prskanje mlaznog betona
- imaju malu obujamsku masu te ih se, u odnosu na čelična vlakna, dodaje 5-6 puta manje na m^3 mlaznog betona, a to uvelike olakšava posao na terenu
- uobičajenih 5 kg/m^3 makrosintetičkih vlakana dobro se homogenizira u betonskoj masi i postoji manja vjerojatnost stvaranja gruda (ježeva) nego kod čeličnih vlakana
- makrosintetička vlakna su kompatibilna s betonskom matricom i kemijski su inertna
- makrosintetička vlakna stabilna su u alkalnoj okolini betona i hidrofobne su površine pa ne upijaju dio vode iz betona
- nema magnetskih svojstava i svojstava vodiča
- povećavaju požarnu otpornost MAMB-a u slučaju požara.
- nema rizika od korozije.

3 Program ispitivanja mikroarmiranoga mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima

Zbog svih gore navedenih prednosti, IGH Zagreb je proveo ispitivanja karakteristika MAMB-a s makrosintetičkim vlaknima Enduro 600 za primjenu u mlaznom betonu za izradu primarne podgrade tunela, stabilizacije pokosa i drugih građevina. Ispitivanja su provedena tijekom svibnja i lipnja 2009. godine u laboratoriju IGH Zagreb te *in situ* na probnoj dionici tunela Puljani, prema sljedećem programu ispitivanja:

I. Izrada uzoraka izravno na betonari za ispitivanje:
   - čvrstoće na tlak, prema EN HRN 12390-3
   - preostale vlačne čvrstoće na savijanje prema HRN EN 14845-2 (EN 14651)
   - vodonepropusnosti prema HRN EN 12390-8
   - trošenje energije prema HRN EN 14488-5
   - otpornosti betona na djelovanje mraza i soli prema HRN EN 13877-2

II. Izrada uzoraka *in situ* (slika 2.) za ispitivanje:
   - tlačne čvrstoće na izbušenim uzorcima prema HRN EN 12390-3
   - preostale vlačne čvrstoće na ispiljenim uzorcima prema HRN EN 14845-2 (EN 14651)
   - vodonepropusnosti prema HRN EN 12390-8
   - otpornosti MAMB-a na djelovanje mraza i soli prema HRN EN 13877-2

III. Ispitivanja na mjestu ugradnje MAMB-a, i to:
   - prionjivosti MAMB-a na stijensku masu prema HRN EN 14488-4
   - sadržaja vlakana u MAMB-u prema HRN EN 14488-3 (slika 3.)

Za izradu mikroarmiranog betona rabljene su sljedeće komponente:

- cement, CemII/A-S 42,5R, proizvodnje 450 kg/m^3 betona, Dalmacijacement Split
- agregat, sa separacije tunela, frakcionirani drobljeni, frakcija 0-4 mm i 4-8 mm
- makrosintetička vlakna Enduro 600, 5 kg/m^3, proizvođača Propex Concrete Systems koji zastupa Werkos d.o.o. Osijek
- superplastifikator Glenijum SKAJ, 0,6 % na količinu cementa, proizvodnje BASF
- ubrzivač Meyco 183, 5 % na količinu cementa, proizvodnje BASF.

Pri nanošenju MAMB-a rabljen je uobičajeni mokri postupak zbog sljedećih prednosti:

- ne dolazi do velikog gubitka mase MAMB-a, uz stvaranje velike prašine što se događa pri suhom postupku (odskok više od 35 %)

- gubitak mase MAMB-a je znatno manji (max 5-10 %) te se tako postiže i veći radni učinak
- obradivost površine MAMB-a znatno je bolja
- utrošak aditiva i cementa znatno je manji (oko 10 %)
- zbog manjeg trenja u cijevima za transport MAMB-a potrebne su manje količine komprimiranog zraka što rezultira uštedom energije.



Slika 2. Izrada uzoraka MAMB *in situ*



Slika 3. Izgled poprečnog presjeka MAMB-a

4 Rezultati istraživanja

Zbog opsežnosti istraživanja, ovdje su prikazani samo rezultati najznačajnijih karakteristika MAMB-a, a to su:

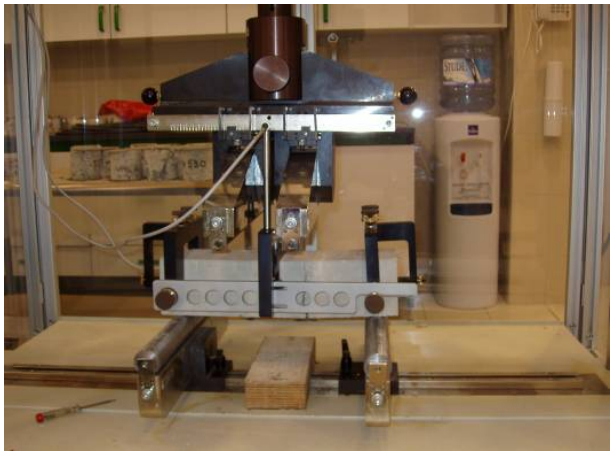
1. postpukotinska nosivost (zaostala deformacija, duktilnost ili žilavost)
2. trošenje (apsorpcija) energije

4.1 Ispitivanje postpukotinske nosivosti (slika 4.)

Postpukotinska je nosivost najvažniji pokazatelj po kojemu se MAMB razlikuje od nearmiranoga mlaznog betona. Ona je definirana kao ukupna energija deformacija apsorbirana prije potpunog sloma uzorka.

Žilavost MAMB-a izražava se uglavnom preko indeksa žilavosti. Prema ASTM C 1018, indeks žilavosti jest omjer ploštine ispod radnog dijagrama na savijanje do neke odabrane veličine deformacije i ploštine do pojave prve pukotine.

Kad naprezanja u betonu dosegnu vlačnu čvrstoću betona, nastaju pukotine u betonu te na tim mjestima naprezanja preuzimaju vlakna. Porastom deformacije rastu oštećenja u raspucanoj zoni, a ostali dijelovi uzorka se rasterećuju.



Slika 4. Ispitivanje postpukotinske nositvosti MAMB-a

Podaci o ispitivanju vlačne čvrstoće i žilavosti dani su u tablici 1., a odnos opterećenje-deformacija prikazan je dijagramom na slici 5.

Tablica 1. Ispitivanje vlačne čvrstoće i žilavosti

Srednje vrijednosti (3 uzorka)	Sila (kN)		Vlačna čvrstoća (MPa)	
Maksimalna	P_{ult}	8,3	f_{ult}	5,2
Prvi vrh	P_{fp}	8,3	f_{fp}	5,2
Preostala (0,5-1) mm	P_{r1}	1,2	f_{r1}	0,8
Preostala (1-2) mm	P_{r2}	1,2	f_{r2}	0,8
Preostala (2-4) mm	P_{r4}	1,6	f_{r4}	1,1



Slika 5. Odnos opterećenje-deformacija

Kod običnog nearmiranog betona nema dodatne deformacije nego dolazi do razdvajanja (nastaje krhki lom betona), dok kod MAMB-a betonska konstrukcija i nakon nastanka pukotine ima određenu nosivost. Jedna je to od najvažnijih karakteristika MAMB-a.

4.2 Ispitivanje utroška energije

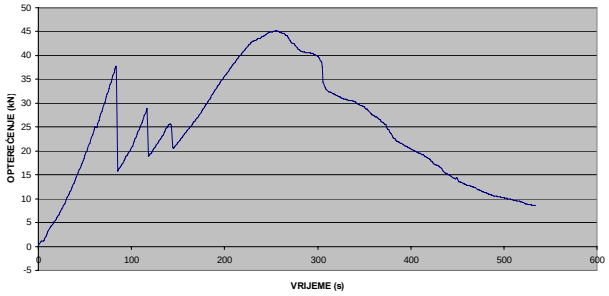
U skladu s Europskom specifikacijom za mlazni beton za ova su ispitivanja izrađene ploče dimenzija 60 x 60 x 10 cm. Ispitivanjem su dobiveni odnosi opterećenje – vrijeme (progib), apsorpcija energije (kapacitet ploče) i deformacija. Način ispitivanja prikazan je na slici 6., a rezultati su dani u tablici 2. i dijagramima na slici 7.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja utroška energije za normirani progib ispitnog uzorka

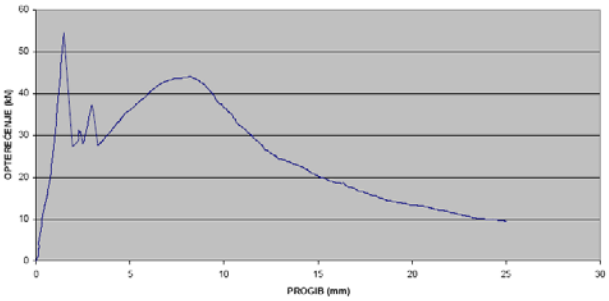
Oznaka uzorka	Opterećenje pri pojavi prve pukotine [kN]	Sila pri slomu uzorka savijanjem [kN]	Energija (otpornost) za progib od 25 mm [J]
P-AE-002/09/1-3	37,74	45,15	619,04
P-AE-002/09/2-3	49,58	49,58	560,86
P-AE-002/09/3-3	54,53	54,53	628,76
Srednja vrijednost	47,28	49,75	602,89



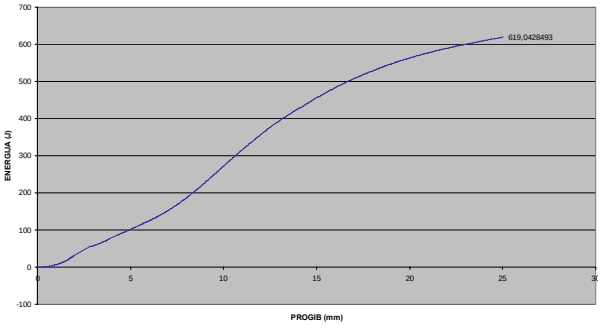
Slika 6. Ispitivanje utroška energije za normirani progib uzorka MAMB



Odnos opterećenje – vrijeme



Odnos opterećenje – progib



Odnos energija – progib

Slika 7. Rezultati ispitivanja

5 Zaključak

Proizvodnjom i ugradnjom mikroarmiranog betona s makrosintetičkim vlaknima Enduro 600 u jednom od tunela na spojnoj cesti čvor Ploče – Luka Ploče, autoceste A10, granica BiH – Ploče, dokazano je da se proizvedeni MAMB može kvalitetno ugraditi s opremom za obični mlazni beton koja je na raspolaganju na gradilištu.

Uporabom makrosintetičkih vlakana u mlaznom betonu postižu se povećane nosivosti pri velikim deformacijama betona uz povećanu otpornost prema nastanku pukotina u odnosu na nearmirani mlazni beton primarne podgrade tunela, a ispitivanja uzoraka pokazuju poboljšanu preostalu čvrstoću, žilavost (duktilnost) te osobito apsorpciju energije također u odnosu prema nearmiranom mlaznom betonu primarne podgrade tunela.

Nadalje, moguće je opravdano govoriti i o dodatnim prednostima zbog upotrebe makrosintetičkih vlakana u mlaznom betonu u odnosu na nearmirani mlazni beton

odnosno mlazni beton armiran čeličnim vlaknima. Tu se prije svega misli na kemijsku inertnost i stabilnost u alkalnoj okolini čime makrosintetička vlakna ne utječu na zahtijevana svojstva mlaznog betona. Osim što makrosintetička vlakna u potpunosti eliminiraju magnetska i električna svojstva te korozivnost čelikom armiranog betona, ne oštećuju opremu za nanošenje mlaznog betona te povećavaju požarnu otpornost MAMB-a.

Prikazani tehnički aspekt makrosintetičkih vlakana Enduro 600 svakako je bitan, ali ne i dovoljan uvjet njihove primjene. Zbog toga na kraju treba istaknuti da upotrebom makrosintetičkih vlakana dolazi i do znatnih financijskih ušteda. One prije svega proizlaze iz velikih količinskih ušteda mlaznog betona s obzirom da se MAMB nanosi u puno tanjim slojevima nego mlazni beton armiran armaturnim mrežama, a i gubitci pri nanošenju (odskok) MAMB-a su zbog veće pronljivosti za stijensku masu mnogo manji nego kod klasično armiranoga mlaznog betona. U konačnici, financijske uštede rezultat su i manjih manipulativnih troškova te manjih troškova radnih sati jer je smanjeno vrijeme ugradnje MAMB-a u usporedbi sa ugradnjom klasično armiranoga mlaznog betona.

Uz navedene je prednosti velika prednost MAMB-a pred klasično armiranim mlaznim betonu i to što dovodi do povećanoga radnog učinka izvođača te povećane sigurnosti na radu jer nema rada ljudi pod stijenskom masom koja još nije stabilizirana.

Očito je da, unatoč još uvijek prisutnom otporu struke, svjedočimo još jednom prodoru primjene polimernih materijala u području u kojem je donedavno to bilo nezamislivo.

LITERATURA

[1] Zbornik radova drugog BiH kongresa o cestama, Sarajevo, 24.-25. 9. 2009.

[2] M.Hudec, D.Kolić, S.Hudec: *Tuneli – iskop i primarna podgrada*, Hrvatska udruga za betonsko inženjerstvo i tehnologiju građenja, Zagreb, 2009.

[3] HRN EN 12390-3:2002 *Ispitivanje očvrsloga betona - 3.dio*: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka.

[4] HRN EN 12390-8 *Ispitivanje očvrsnulog betona - 8. dio*: Dubina prodiranja vode pod tlakom

[5] HRN EN 13877-2 *Funkcionalni zahtjevi za betonski kolnik*

[6] HRN EN 14488-3:2007 *Ispitivanje mlaznoga betona - 3. dio*: Čvrstoća na savijanje (prvi vrh, konačna i preostala) vlaknima ojačanog uzorka grede (mikroarmiranoga betona)

[7] HRN EN 14488-4 *Ispitivanje mlaznoga betona -4. dio*: Vlačna čvrstoća prionljivosti kidanjem

[8] HRN EN 14488-5 *Ispitivanje mlaznog betona - 5.dio*: Određivanje sposobnosti upijanja energije vlaknima ojačanog uzorka ploče (mikroarmiranog betona)

[9] HRN EN 14845-2 *Ispitne metode za vlakna u betonu - 2. dio*: Utjecaj na beton

[10] ASTM C 1018 Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (povučena 2006.g., bez zamjene)

[11] Testing of fibre reinforced shotcrete – Byggforsk, Norwegian building research institute, Report O-11211 3E, 2004.

[12] Fibre reinforced shotcrete tests with Enduro 600, TSE Report Number 184B, 2007.

[13] Concrete Society Technical Report No.65, Guidance on the use of Macro-synthetic Fibre Reinforced Concrete, 2007.

[14] Concrete Society Technical Report No.56, Construction and repair with wet-process sprayed concrete and mortar, 2002.