

Primjena čeličnih vlakana u primarnoj podgradi tunela

Enes Seferović

Ključne riječi

mikroarmirani mlazni beton, žilavost, postpukotinska nosivost, energija, deformacija, hrvatske norme

Key words

fiber-reinforced shotcrete, ductility, bearing capacity after cracking, energy, deformation, Croatian standards

Mots clés

béton projeté renforcé par micro-armature, ductilité, capacité portante après postfissuration, énergie, déformation, normes croates

Ключевые слова

микроармированный струйный бетон, вязкость, послетрещинная несущая способность, энергия, деформация, хорватские нормы

Schlüsselworte:

mikrobewehrter Spritzbeton, Zähigkeit, Tragfähigkeit nach der Rissbildung, Energie, Verformung, kroatische Normen

E. Seferović

Pregledni rad

Primjena čeličnih vlakana u primarnoj podgradi tunela

Prikazana su istraživanja mikroarmiranog mlaznog beton (MAMB) armiranog čeličnim vlaknima. Istraživanja su pokazala prednosti primjene tako armiranog betona u odnosu na armiranje mrežama. U svijetu se već desecima godina upotrebljava mlazni beton na taj način armiran u zamjenu za armaturnu mrežu. Ovdje su prikazana u nas prva istraživanja te vrste MAMB-a i ona su pokazala prednosti ove armature pred armiranjem armaturnom mrežom. Takav MAMB primjenjen je na tunelu Sveti Rok.

E. Seferović

Subject review

Use of steel fibers in the primary support of tunnels

The study of shotcrete reinforced with steel fibers is presented. The analyses have shown that the use of the reinforced concrete is more advantageous when compared to steel fabric reinforcement. Such shotcrete has been used in the world for ten years now as a replacement for steel fabric. First studies of fiber reinforced concrete conducted in our country are presented. The studies show that this concrete presents more advantages than the fabric reinforcement. This type of shotcrete is currently used in the Sveti Rok tunnel.

E. Seferović

Ouvrage de synthèse

Utilisation des bétons renforcés de fibres d'acier pour les soutènements primaires des tunnels

L'article décrit les études du béton projeté renforcé par une micro-armature de fibres d'acier. Ces études ont révélé les avantages de ce type de béton par rapport aux treillis d'armature. Partout dans le monde on utilise depuis des décennies le béton projeté armé par cette méthode au lieu des treillis d'armature. On présente ici les premières études menées chez nous à ce sujet, qui ont d'ores et déjà présenté des avantages de cette armature par rapport aux treillis d'armature. Ce système a été utilisé pour le tunnel Sveti Rok.

Э. Сеферович

Обзорная работа

Применение стальных волокон в первичной крепи туннеля

В работе показаны исследования микроармированного бетона струйной укладки (MAMB), армированного стальными волокнами. Исследования показали преимущества применения бетона, армированного таким способом, по сравнению с армированием сетками. В мире уже десятилетиями применяется бетон струйной укладки, армированный таким образом вместо арматурной сетки. В этой работе показаны первые исследования такого типа MAMB, проведенные у нас, и они показали преимущества этой арматуры перед армированием арматурной сеткой. Такой способ применен на туннеле Свети Рок.

E. Seferović

Übersichtsarbeit

Anwendung von Stahlfasern in der primären Tunnelauszimmerung

Dargestellt sind Untersuchungen des mit Stahlfasern mikrobewehrten Spritzbetons (MAMB). Die Untersuchungen zeigten Vorteile des derartig bewehrten Betons im Vergleich mit der Netzbewehrung. In der Welt benutzt man schon seit Jahrzehnten derartig bewehrten Spritzbeton als Ersatz für Netzbewehrung. Hier sind die ersten Untersuchungen dieser Art des MAMB in Kroatien dargestellt, die Vorteile dieser Bewehrungsart im Vergleich zur Netzbewehrung zeigten. Solcher MAMB wurde im Tunnel Sveti Rok angewendet.

Autor: Mr. sc. **Enes Seferović**, dip. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za betonske i zidane konstrukcije, J. Rakuše 1. Zagreb

1 Uvod

Tunel "Sveti Rok" nalazi se na budućoj Jadranskoj autocesti na dionici Sveti Rok-Maslenica i najduži je tunel do sada izgrađen u Republici Hrvatskoj.

Tunel izvode dva izvoditelja: "Hidroelektra-niskogradnja" - Zagreb i "Konstruktor-inženjering"- Split.

Investitor tunela su Hrvatske auto ceste, a nadzor nad izgradnjom povjeren je Institutu građevinarstva Hrvatske iz Zagreba [1].

Prema dogovoru između predstavnika Investitora, Nadzora i Izvoditelja radova na gradilištu tunela "Sveti Rok" izvršena su sva potrebna istraživanja primjene čeličnih vlakana u primarnoj podgradi II. i III. tunelske kategorije u kojima se koriste armaturne mreže Q-139, Q-131 i sl.

Pored klasičnog mlaznog betona za osiguranje tunelskog iskopa (primarna podgrada) tunela "Sveti Rok", a prema geotehničkom projektu i troškovniku građevinskih radova izdanih od strane IGH – Zagreb, može se koristiti mikroarmirani mlazni beton sa čeličnim vlaknima (MAMB) [2].

Bez obzira na tu činjenicu ta vrsta mlaznog betona do danas se nije koristila niti na tunelu "Sveti Rok" niti na jednom, do sada izgrađenom, tunelu kod nas.

Mikroarmirani mlazni beton sa čeličnim vlaknima u zamjenu za armaturnu mrežu u svijetu se koristi više desetaka godina [3].

Prednosti primjene MAMB sa čeličnim vlaknima u zamjenu za armaturnu mrežu predmet je ovih istraživanja.

2 Prednosti primjene MAMB sa čeličnim vlaknima

Prednosti primjene MAMB sa čeličnim vlaknima u odnosu na mlazni beton armiran armaturnom mrežom su slijedeće:

- manji utrošak mlaznog betona (zbog potrebne manje debljine),
- armaturna mreža se uvijek postavlja na određenoj udaljenosti od stijene te je potrebno više mlaznog betona da se armaturna mreža prekrije (min. debljina 10 cm.),
- manji utrošak rada zbog nekorištenja armaturnih mreža (nije potrebna skela),
- s MAMB-om se bolje slijede neravnine iskopa, odnosno konfiguracija istog,
- rad je sigurniji s MAMB-om jer se armaturne mreže postavljaju u uvjetima nepotpune stabilizacije podzemnog iskopa te je utoliko opasniji rad,
- postiže se višestruka ušteda u vremenu ugradnje MAMB-a radi bržeg napredovanja radova na definitivnom osiguranju tunelskog iskopa,

- rad u skućenom prostoru lakše je organizirati uporabom MAMB-a [4, 5].

Da bi se dokazala efikasnost primjene MAMB-a sa čeličnim vlaknima u odnosu na klasični mlazni beton kao i razlike u nosivosti između MAMB-a sa čeličnim vlaknima i mlaznog betona armiranog armaturnom mrežom Q-139 izrađeni su svi potrebni uzorci na gradilištu tunela "Sveti Rok" i ispitani u gradilišnom laboratoriju i laboratorijima IGH u Zagrebu. Ispitivanja su vršena u skladu s važećim hrvatskim i stranim normama i propisima [6,7].

3 Cilj istraživanja

Ova istraživanja imaju za cilj saznati razlike mehaničkih karakteristika između klasičnog mlaznog betona i MAMB-a sa čeličnim vlaknima te razlike između nosivosti ploča armiranih MAMB sa čeličnim vlaknima i ploča od klasičnog mlaznog betona armiranih s armaturnom mrežom Q-139, a sve u skladu s metodom Europske specifikacije za mlazni beton (EFNARC,1997) [8].

4 Program istraživanja

Za određivanje odnosa sila-deformacija te apsorpcija energije-deformacija izrađene su ploče od mlaznog betona dimenzija 60x60x10 cm u skladu s Europskom specifikacijom za mlazni beton.

1. ploče od klasičnog mlaznog betona,
2. ploče izrađene od klasičnog mlaznog betona armirane, u sredini presjeka, s armaturnom mrežom Q-139,
3. ploče s MAMB sa čeličnim vlaknima tipa "Dramix".

U isto vrijeme kada su izrađene navedene ploče iz istih mješavina uzeti su uzorci za određivanje pritisne čvrstoće, čvrstoće na vlak savijanjem i uzorci za određivanje žilavosti-postpukotinske nosivosti.

Sva navedena ispitivanja obavljena su u gradilišnom laboratoriju i u laboratorijima IGH, Zagreb.

5 Upotrijebljeni materijali

Za spravljanje navedenih uzoraka od mlaznog betona korišteni su sljedeći materijali:

- cement PC-30dz-45S, proizvodnje Dalmacijacement Split,
- agregat trofrakcijski iz tunelskog iskopa,
- voda iz vodovoda,
- aditivi, superplastifikator melment L-10, proizvodnje "Kema" Puconci,
- čelična vlakna proizvodnje firme "Bekart" pod nazivom "Dramix", oznake RC-65/35 BN.

6 Rezultati istraživanja

6.1 Čvrstoća na pritisak i savijanje

U tablici 1. prikazani su rezultati ispitivanja, srednje vrijednosti od tri uzorka, na tlak i na savijanje nakon 28 dana starosti i to samo za betone pod br. 1 i 2 jer su betoni pod br. 1 i 3 identični.

Tablica 1. Rezultati ispitivanja na tlak i savijanje

Beton br.	Čvrstoća na	
	tlak	savijanje
1. bez čeličnih vlakana	40,2 N/mm ²	7,32 N/mm ²
2. s čeličnim vlaknima	41,5 N/mm ²	8,70 N/mm ²

6.2 Ispitivanje žilavosti (postpukotinska nosivost)

Žilavost (postpukotinska nosivost) je najbolji pokazatelj po kojemu se razlikuje MAMB od nearmiranog mlaznog betona.

Ona je definirana kao ukupna energija deformacija apsorbirana prije potpunog sloma uzorka.

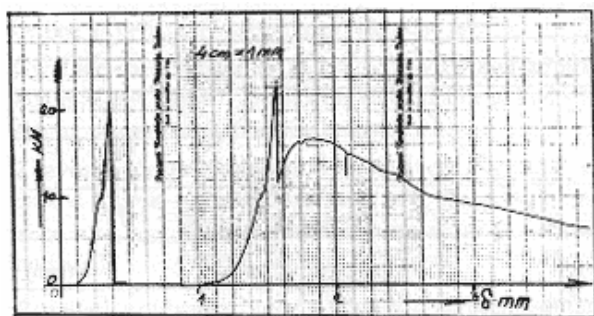
Kod mikroarmiranog mlaznog betona žilavost se izražava uglavnom preko indeksa žilavosti.

Prema ASTM C 1018 indeks žilavosti predstavlja omjer površine ispod radnog dijagrama na savijanje do neke odabrane veličine deformacije i površine do pojave prve pukotine.

Kad naprezanja u betonu dosegnu vlačnu čvrstoću betona, nastaju pukotine u betonu.

Na tim mjestima beton se relaksira, a naprezanja preuzimaju vlakna. Porastom deformacije rastu oštećenja u raspucanoj zoni, a ostali dijelovi uzorka se rasterećuju.

Dijagrami odnosa opterećenje –deformacija (radni dijagram) za mlazni beton bez čeličnih vlakana i za mlazni beton s dodatkom čeličnih vlakana prikazani su na slici 1.



Slika 1. Prikaz radnih dijagrama

Iz prikazanih dijagrama vidljivo je da je kod klasičnog mlaznog betona (bez čeličnih vlakana) nakon pojave prve pukotine nastupio krhki lom, što znači da u takvom betonu nema postpukotinske nosivosti.

Kod mlaznog betona sa čeličnim vlaknima (MAMB) uočava se znatna postpukotinska nosivost (žilavost).

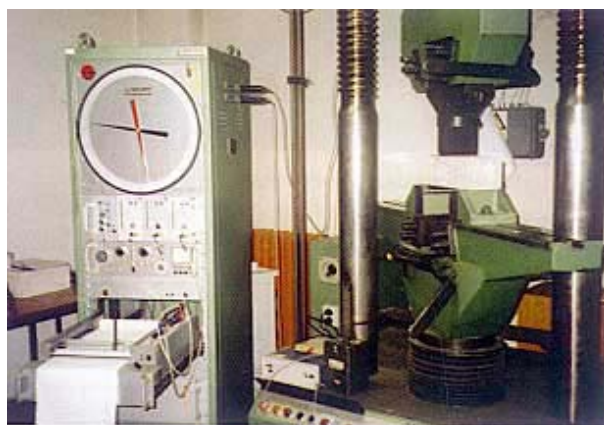


Slika 2. Prikaz uzorka mlaznog betona sa čeličnim vlaknima u fazi ispitivanja

Na slici 2. prikazan je uzorak mlaznog betona s čeličnim vlaknima u fazi ispitivanja.

Na slici se jasno vidi veličina pukotine nakon sloma uzorka što je razlog znatno velika žilavost MAMB-a, armiranog sa čeličnim vlaknima.

Na slici 3. prikazana je preša za ispitivanje žilavosti (postpukotinske) nosivosti uzorka.



Slika 3. Prikaz preše za ispitivanje žilavosti uzorka

6.3 Ispitivanje nosivosti (apsorpcija energije)

Za ova ispitivanja izrađene su ploče dimenzija 60 x 60 x 10 cm u skladu s Europskom specifikacijom za mlazni beton EFNARC, 1996. i to:

1. ploče od klasičnog mlaznog betona,
2. ploče od klasičnog mlaznog betona armirane u sredini presjeka s armaturnom mrežom Q-139,
3. ploče od klasičnog mlaznog betona uz dodatak čeličnih vlakana.

Ovim ispitivanjima su dobiveni odnosi opterećenje-deformacija (progib) i apsorpcija energije (kapacitet ploče) i deformacija [9].

Postupak ispitivanja ploča vidi se na slici 4. a na slici 5. vidi se automatski zapis odnosa sila - deformacija.



Slika 4. Faza ispitivanja nosivosti ploče



Slika 5. Aparatura za registriranje odnosa sila-deformacija

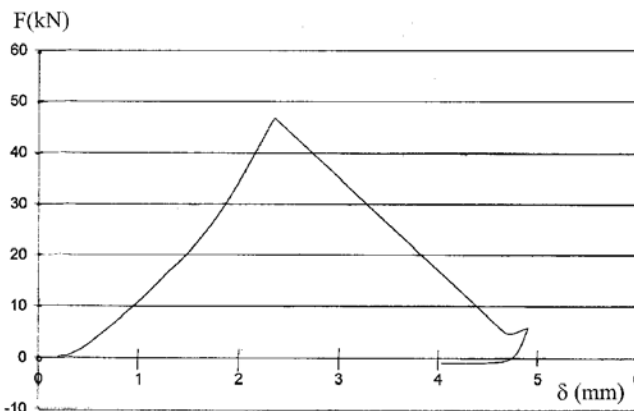
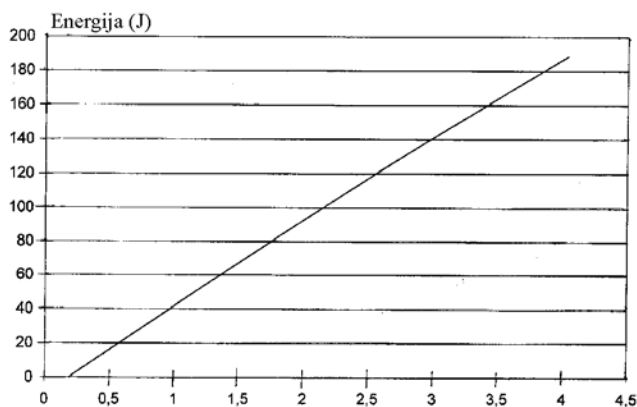
Na slici 6. prikazani su dijagrami odnosa sila-deformacija (progib) i energija-deformacija (progib) na betonskoj ploči izrađenoj od nearmiranog klasičnog mlaznog betona.

Na slici 7. prikazani su dijagrami odnosa sila-deformacija (progib) i energija-deformacija (progib) ispitani na betonskoj ploči izrađenoj od klasičnog mlaznog betona armiranog s armaturnom mrežom Q-139 u sredini presjeka ploče.

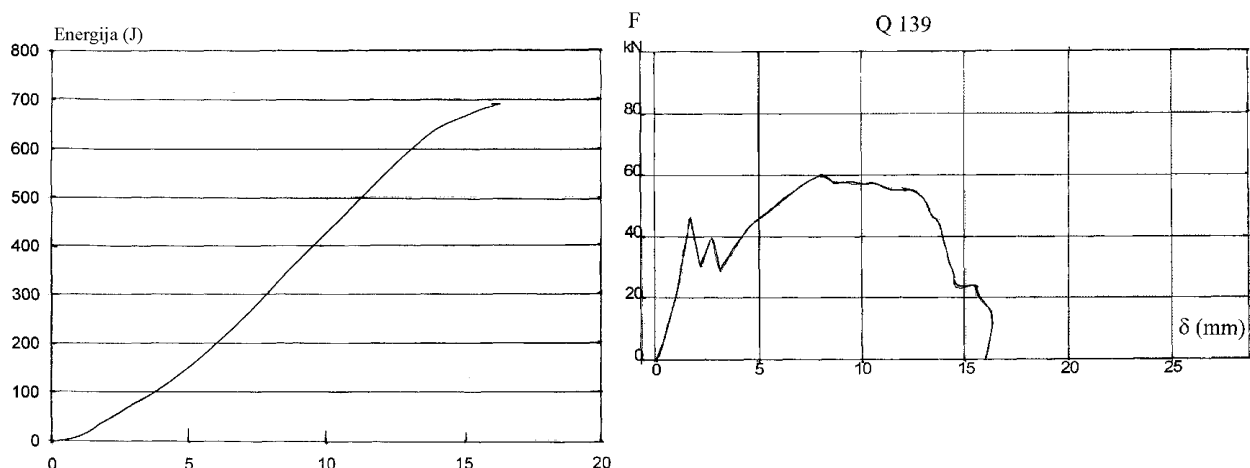
U tablici 2. prikazane su maksimalno ostvarene sile i energije.

Tablica 2. Prikaz rezultata ispitivanja nosivosti

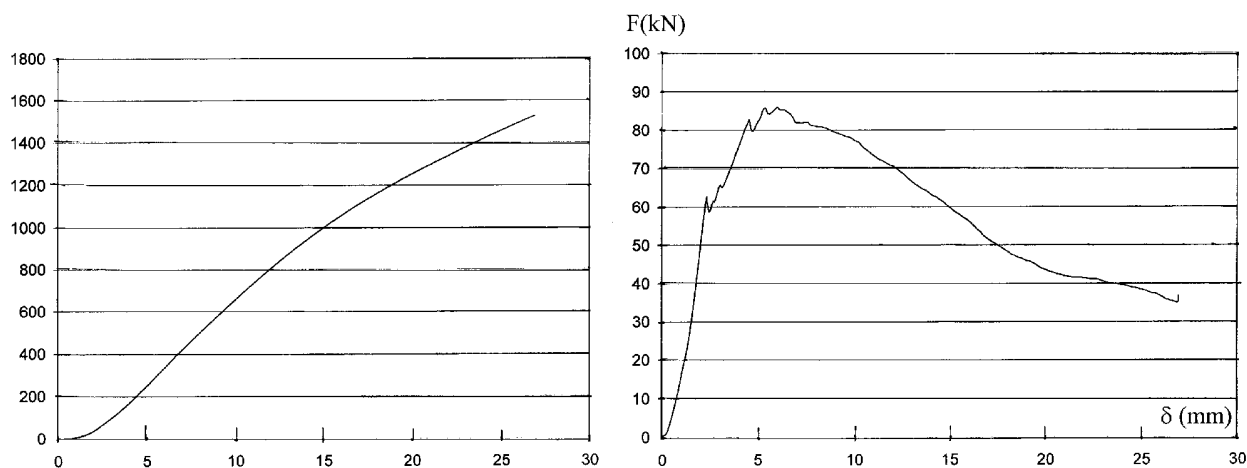
Laborat. broj uzoraka	Armatura	Pojave prve pukotine kod sile [kN]	Maks. ostvarena sila i energija	
			sila [kN]	energija [J]
1	Nema armature	15	47	190
2	Armaturna mreža Q-139	20	60	700
3	Čelična vlakna "Dramix" Rc-65/35-BN	50	87	1.500



Slika 6. Dijagrami ispitivanja nosivosti ploča od klasičnog nearmiranog mlaznog betona



Slika 7. Dijagrami ispitivanja ploča od klasičnog mlaznog betona armirane s armaturnom mrežom Q-39 u sredini presjeka ploče



Slika 8. Dijagrami ispitivanja ploča od klasičnog mlaznog betona armirane sa čeličnim vlaknima

Na slici 8. prikazani su dijagrami odnosa sila-deformacija (progib) i energija-deformacija (progib) na betonskoj ploči izrađenoj od klasičnog mlaznog betona uz dodatak čeličnih vlakana tipa "Dramix".

6 Zaključak

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

Čvrstoće na pritisak nearmiranog i armiranog mlaznog betona sa čeličnim vlaknima su praktično iste.

Čvrstoće na savijanje su za cca 15% veće kod armiranog mlaznog betona sa čeličnim vlaknima nego kod klasičnog nearmiranog mlaznog betona.

Žilavost odnosno postpukotinska nosivost je znatno veća kod mlaznog betona armiranog sa čeličnim vlaknima nego kod nearmiranog mlaznog betona, što je vidljivo na slici 1.

Rezultati ispitivanja ploča i odnosa opterećenje-deformacija i apsorpcija energije (kapacitet ploče)-deforma-

cija vidljivo je da ploča armirana sa čeličnim vlaknima u odnosu na ploču koja je armirana s armaturnom mrežom Q-139 daje znatno bolje rezultate.

Iz dijagrama na slici 6. vidljivo je da je ploča izrađena od klasičnog mlaznog betona pukla već kod sile od 47 kN dok je apsorpcija energije 190 jula.

Iz dijagrama na slici 7. vidljivo je da je ploča armirana u sredini presjeka s armaturnom mrežom Q-139 pukla kod maksimalne sile od 60 kN dok je apsorpcija energije 700 jula, što je znatno manje nego kod ploče armirane čeličnim vlaknima.

Iz dijagrama na slici 8. vidljivo je da je ploča armirana sa čeličnim vlaknima pukla kod maksimalne sile od 86 kN dok je apsorpcija energije 1 500 jula.

Na kraju se može konstatirati da se umjesto armaturne mreže Q-139 koja se isključivo koristi u II. i III. tunnelskoj kategoriji može koristiti mlazni beton uz dodatak

čeličnih vlakana tipa "Dramix" ili nekog drugog proizvođača ako se prethodno dokaže preko navedenih ispitivanja njihova učinkovitost.

Prema cijenama iz troškovnika za gradilište tunela "Sveti Rok" uporabom čeličnih vlakana u mlaznom betonu umjesto armaturne mreže u II. tunelskoj kategoriji ušteda je cca 37%, a u III. tunelskoj kategoriji ta ušteda je cca 61% ne računajući višestruku uštedu u vremenu ugradbe mlaznog betona i sigurnosti pri radu kao i znatna otpornost na udar u odnosu na nearmirani mlazni beton [4, 10].

LITERATURA

- [1] *Glavni projekt građevinskih radova tunela "Sv. Rok"*, knjiga A. (svibanj 1997), IGH Zavod za prometnice, Zagreb,
- [2] *Geotehnički projekt tunela "Sv. Rok"*, (1997), IGH Zavod za geotehniku, Zagreb
- [3] *Izveštaj br. 21-1383/2001 o ispitivanjima karakteristika mlaznog betona uz dodatak čeličnih vlakana na gradilištu tunela "Sveti Rok"*, IGH Zavod za betonske i zidane konstrukcije, Zagreb,
- [4] *Fibres d'acier pour la construction des tunnels et ouvrages souterrains*, "Dramix" - Bekaert S.A. 1998.
- [5] *Fibres d'acier trefile pour la construction des tunnels et ouvrages souterrains*, "Dramix"-Bekaert S.A. 1998.
- [6] *Beton avec fibres metalliques, normalisation francaise*, P18-409, Avril 1993.
- [7] *Essais des betons renforces de fibres* Norme Belge, NBN B 15-238/1992.
- [8] *Europaische richtlinie fur spritzbeton*, Deutsche Ubersetzung der EFNARC Richtlinie, 1997.
- [9] *La tchnologie et la mise en oeuvre du beton projete renforce de fibre*, M.Legrand, animateur du grupe de travail n°6, Tunnels et ouvrages souterrains N°126 1994.
- [10] *"Ciment et Beton renforces de fibres"*, par M. Venuat, Revue des materiaux de construction, N° 698, 1996.

S obzirom da su II. i III. tunelska kategorija u tunelu "Sveti Rok" i u lijevoj i u desnoj tunelskoj cijevi zastupljene više od 90% dužine tunela, ne treba naglašavati kolike bi bile uštede koristeći mlazni beton armiran čeličnim vlaknima umjesto armaturne mreže.

Ova istraživanja imaju za cilj da ukažu projektantima tunela na prednosti uporabe MAMB-a armiranog sa čeličnim vlaknima u zamjenu za armaturnu mrežu, posebno u II. i III. tunelskoj kategoriji.