

Polipropilenska vlakna u podgradi tunela Sveti Rok

Enes Seferović

Ključne riječi

polipropilenska vlakna, obloga tunela, žilavost, vatrootpornost, mikropukotina, habanje, trajnost

Key words

polypropylene fibers, tunnel lining, toughness, fire resistance, microcrack, wear, durability

Mots clés

fibres de polypropylène, soutènement du tunnel, ténacité, résistance au feu, microfissures, usure, durée de vie

Ключевые слова

полипропиленовые волокна, облицовка туннеля, вязкость, огнеустойчивость, микротрещина, истирание, долговечность

Schlüsselworte:

Polypropylenfasern, Tunnelauskleidung, Zähigkeit, Brandwiderstandsfähigkeit, Mikroriss, Verschleiss, Dauerhaftigkeit

E. Seferović

Polipropilenska vlakna u podgradi tunela Sveti Rok

Opisana su istraživanja primjene polipropilenskih vlakana u mikroarmiranom betonu za sekundarnu tunelsku oblogu tunela Sveti Rok. Posebno su prikazana istraživanja žilavosti i otpornosti takvog betona na djelovanje požara. Istaknuto je da takav beton ima povećanu otpornost na udar i habanje, mraz i soli te povećanu vodonepropusnost. Preporučuje se primjena toga za primarnu i sekundarnu oblogu tunela, što povećava vatrootpornost, smanjuje mikropukotine, a povećava trajnost.

E. Seferović

Polypropylene fibers in the support work for the Sveti Rok tunnel

The analysis of the use of polypropylene fibers in fiber reinforced concrete for the secondary lining of the Sveti Rok tunnel is presented. A special emphasis is placed on the study of toughness and resistance of such concrete to fire action. It is stressed that this type of concrete has an increased resistance to impact and wear, frost and salt, and is much more impermeable to water. Its use is recommended for the primary and secondary tunnel lining, as this will result in higher fire resistance, reduced microcracking, and increased durability.

E. Seferović

Fibres de polypropylène dans le soutènement du tunnel Sveti Rok

L'article décrit les études de la mise en œuvre d'une micro-armature de fibres de polypropylène dans le béton pour le soutènement secondaire du tunnel Sveti Rok. Les essais de ténacité et de résistance de ce béton à l'action du feu sont particulièrement détaillés. On souligne que ce béton présente une résistance augmentée aux chocs et à l'usure, au gel et aux sels, ainsi qu'une meilleure étanchéité à l'eau. On le recommande pour les soutènements primaire et secondaire du tunnel, car il permet d'augmenter la résistance au feu, de réduire les microfissures et de prolonger la durée de vie.

Э. Сеферович

Полипропиленовые волокна в крепи туннеля Свети Рок

В работе описаны исследования о применении полипропиленовых волокон в микроармированном бетоне для вторичной облицовки туннеля Свети Рок. Особенно показаны исследования вязкости и прочности такого бетона к действию пожара. Подчеркнуто, что такой бетон обладает повышенным сопротивлением удару и истиранию, действию низких температур и соли, а также повышенной водонепроницаемостью. Рекомендуется применение того бетона для изготовления первичной и вторичной облицовки туннеля, что повышает водонепроницаемость, снижает микротрещины, а повышает долговечность.

E. Seferović

Polypropylenfasern in der Zimmerung des Tunnels Sveti Rok

Beschrieben sind die Untersuchungen für die Anwendung von Polypropylenfasern im mikrobewehrten Beton für die sekundäre Auskleidung des Tunnels Sveti Rok. Besonders sind die Untersuchungen der Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit von solchem Beton gegen Brandwirkung dargestellt. Es wird hervorgehoben dass derartiger Beton höhere Widerstandsfähigkeit gegen Schlag und Verschleiss, Frost und Salz, sowie auch höhere Wasserundurchlässigkeit besitzt. Man empfiehlt seine Anwendung für die primäre und sekundäre Tunnelauskleidung, wodurch die Brandwiderstandsfähigkeit erhöht, Mikrorisse verringert und die Dauerhaftigkeit erhöht werden.

Pregledni rad

Subject review

Ouvrage de synthèse

Обзорная работа

Übersichtsarbeit

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

1 Uvod

Za izgradnju primarne podgrade i sekundarne obloge tunela može se osim normalnog betona rabiti mikroarmirani beton (MAB) a umjesto normalnog mlaznoga betona mikroarmirani mlazni beton (MAMB) primjenom čeličnih i polipropilenskih (PP) vlakana propisanih karakteristika [1, 2, 5].

Tijekom izgradnje tunela *Sveti Rok* obavljena su mnogobrojna istraživanja primjene čeličnih i polipropilenskih vlakana u primarnoj podgradi i sekundarnoj oblozi tunela.

S obje vrste navedenih vlakana izrađeno je na tunelu *Sveti Rok* više probnih dionica (svaka po 12 m) ukupne dužine približno 350 m. To su najopsežnija istraživanja te vrste obavljena kod nas do danas.

Na primarnoj tunelskoj podgradi istraživanja su obavljena s PP vlaknima u II. tunelskoj kategoriji u zamjenu za armaturnu mrežu. S navedenim vlaknima izrađeno je oko 100 m primarne tunelske podgrade. Rezultati navedenih istraživanja obrađeni su u posebnoj izvješću (3). Navedenim istraživanjima dokazano je da se u II. tunelskoj kategoriji, umjesto armaturne mreže, mogu koristiti polipropilenska vlakna.

Zatim, obavljena su istraživanja primjene čeličnih vlakana u primarnoj tunelskoj podgradi i dokazano je da se mogu rabiti u II. i III. tunelskoj kategoriji umjesto armaturnih mreža. Navedena istraživanja i njihovi rezultati obrađeni su u radu koji će biti objavljen u jednom od brojeva stručnog časopisa Građevinar.

U inozemstvu se u tunelogradnji čelična i PP vlakna rabe više desetaka godina, dok je kod nas to još u fazi istraživanja jer takvu vrstu betona i mlaznog betona, zbog neshvatljivih razloga, naši projektanti teško prihvaćaju.

Na kraju, izvršena su i opsežna istraživanja primjene PP vlakana u sekundarnoj oblozi tunela *Sveti Rok*. U ovom radu bit će prikazani rezultati istraživanja.

2 Kraći osvrt na polipropilenska vlakna

Polipropilenska se vlakna mogu proizvoditi raznih duljina i promjera. Polipropilen je polimer iz grupe plastomera ili termoplasta. Svojstva ove grupe polimera zagrijani do temperature omekšanja postaju plastična i prikladna za obradu ne mijenjajući pri tome svoju kemijsku strukturu niti mehanička svojstva.

Ona se proizvode postupkom ekstrudiranja. To je postupak kontinuiranog protiskivanja zagrijanog i omekšanog polimera kroz mlaznicu. Na kraju mlaznice je usnik kojim se formira željeni oblik polimera, tj. željeni oblik i veličina poprečnog presjeka i izgled površine vlakna. [4, 8].

Polipropilenska se vlakna proizvode:

- kao monofilamentna, različitih poprečnih presjeka (kružna, elipsasta, x presjeka) i različite obrade površine, glatka, valovita i
- kao mrežica (fibrilirana), koju čine veliki broj vlakana vrlo malog promjera

3 Prednosti primjene polipropilenskih vlakana u betonu

Vlakna se sastoje od 100% polipropilena sa specijalnim omotačem koji poboljšava obradivost betona, osigurava dobru homogenost mase, a u otvrdnutom betonu poboljšava prijanjanje vlakana i cementa.

Primjenjuju se u mlaznom betonu za primarnu tunelsku oblogu posebno u II. tunelskoj kategoriji umjesto armaturnih mreža, betone sekundarne obloge tunela za povećanje vatrootpornosti i smanjenje mikropukotina u mladom betonu, industrijske podove, estrihe, montažne elemente, podrumske zidove, zaštitni beton, vatrootporni beton i sl.

Prednosti primjene polipropilenskih vlakana u betonu su sljedeće [5,6]:

- smanjuju troškove gradnje
- poboljšavaju svojstva betona
- jednostavno se doziraju
- povećavaju žilavost mlaznog betona
- povećavaju otpornost na požar
- nema pojave površinske hrapavosti
- jednostavna obrada,
- nevidljiva su na betonskim površinama,
- smanjuju mikropukotine, posebno kod mladog betona a s tim u vezi
- povećavaju trajnost betona i armature
- homogeno se raspodjeljuju u betonu beton s vlaknima ima dobra svojstva pumpabilnosti
- proizvode se u svim duljinama i promjerima
- smanjuju utrošak rada i ubrzavaju napredovanje radova
- vlakna povećavaju vlačnu i smičnu čvrstoću betona
- u betonu (MAB) povećavaju otpornost betona na abraziju, koroziju, habanje i udarce.

4 program istraživanja

Na uzorcima očvrslog betona sa PP vlaknima i bez njih, ispitana su sljedeća svojstva:

- čvrstoća na tlak
- čvrstoća na vlak-savijanjem
- postpukotinska nosivost(žilavost)
- vatrootpornost.

5 Upotrijebljeni materijali

- agregat trofrakcijski iz tunelskog iskopa (maks. zrno do 16 mm)
- cement PC-30z-45 S
- PP vlakna
- superplastifikator melment L-10.

6 Rezultati ispitivanja

6.1 Ispitivanje čvrstoća na pritisak i savijanje

U tablici 1. prikazani su rezultati čvrstoća na pritisak i savijanje.

Tablica 1. Rezultati čvrstoće na pritisak i savijanje

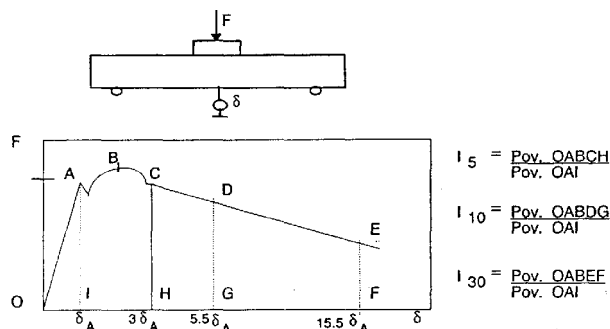
Br.	Opis uzorka	Čvrstoća na savijanje [N/mm ²]	Odnos [%]	Čvrstoća na pritisak [N/mm ²]	Odnos [%]
1.	bez PP vlakana	6,1	100	40,5	100
2.	sa PP vlakana	7,5	123	38,0	95

Iz prethodne se tablice vidi da su čvrstoće na savijanje veće kod uzoraka sa PP vlaknima nego kod uzorka bez PP vlakana, dok je čvrstoća na pritisak nešto niža kod uzoraka sa PP vlaknima.

6.2 Ispitivanje žilavosti (postpukotinske nosivosti)

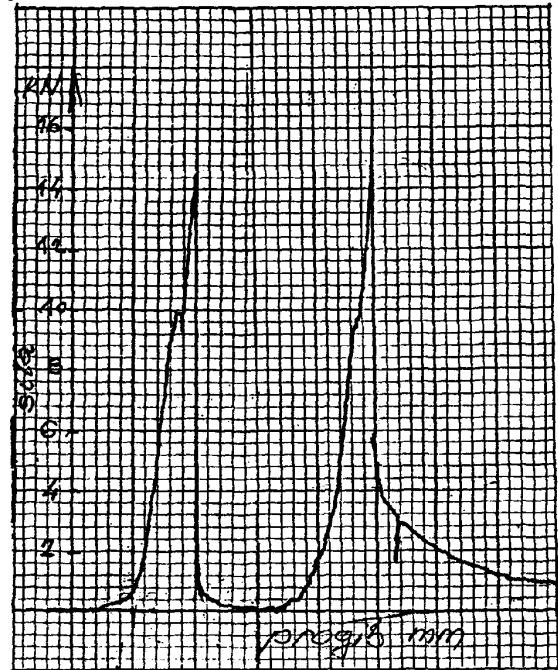
Žilavost je pokazatelj po kojem se najbolje razlikuje mikroarmirani od nearmiranog betona. Definirana je kao ukupna energija deformacija apsorbirana prije potpunog sloma uzorka. Jedan od načina određivanja žilavosti jest ukupna površina ispod radnog dijagrama na vlak ili savijanja prizama [9].

Za mikroarmirani beton žilavost se izražava uglavnom indeksom 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 slici 1. Definirana su 3 indeksa, i to I₅, I₁₀ i I₃₀ kako je prikazano na slici 1.



Slika 1. Teoretski radni dijagram

Na slici 2. prikazan je dijagram žilavosti za uzorke sa PP vlaknima i bez njih. Na slici 3. prikazan je uzorak za vrijeme ispitivanja, na kojem se vidi da se uzorak, zahvaljujući povećanoj žilavosti, usprkos velikoj pukotini nije razdvojio.



Slika 2. Dijagrami žilavosti bez i s PP vlaknima dobiveni ispitivanjima na preši



Slika 3. Prikaz uzorka za vrijeme ispitivanja žilavosti

Kada naprezanja u betonu dostignu vlačnu čvrstoću betona, nastaju pukotine u betonu. Na tim mjestima beton se relaksira, a naprezanja preuzimaju vlakna. Kod klasičnoga nearmiranog betona nema dodatne deformacije nego dolazi do razdvajanja polovica (nastaje krhki lom).

Iz dijagrama na slici 2. vidi se da je kod uzorka bez PP vlakana nakon pojave prve pukotine nastupio, krhki lom, dok se kod uzorka s PP vlaknima pojavljuje postpukotinska nosivost što se najbolje vidi iz veličine pukotine na slici 3.

6.3 Ispitivanje vatrootpornosti betona

Osim smanjenja mikropukotina u mladom betonu i s tim u vezi povećanja trajnosti betona primjenom PP vlakana u MAB, jedna od značajnih karakteristika primjene PP vlakana u betonu jest i velika vatrootpornost takvog betona [9,10].

Na gradilištu tunela *Sveti Rok*, izrađeni su betonski uzorci MB-30 dimenzija $60 \times 50 \times 30$ cm i to:

- uzorci bez PP vlakana i
- uzorci s PP vlaknima.

Uzorci su izrađeni s agregatom iz tunelskog iskopa podijeljenog u frakcije 0-4, 4-8 i 8-16 mm, cementom PC-30 dz 45 S, PP vlaknima, superplastifikatorom Melment L-10.

Ispitivanje vatrootpornosti obavljeno je u *Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz - Technische Universität - Wien* u prisutnosti autora ovoga rada.

Uzorci su ispitivani do temperature oko 1350°C 2 sata, u specijalno konstruiranoj peći od siporeks blokova obloženih s unutarnje strane keramičkim vlaknima i s plamenikom na prednjoj strani peći te otvorima na svakoj čeonjoj strani, radi otpuštanja pritiska u ložištu [9]. Prikaz peći sa uzorcima za vrijeme ispitivanja nalazi se na slici 4.



Slika 4. Prikaz peći s uzorcima za ispitivanje vatrootpornosti

U navedene uzorke ugrađene su sonde na 4,10 i 15 cm od površine uzorka, za mjerenje temperature tijekom ispitivanja.

Istovremeno su ispitivana dva betonska uzorka s PP vlaknima i bez PP vlakana. Tijekom ispitivanja mjerena je temperatura u unutrašnjosti peći i u unutrašnjosti probnih uzoraka, kao što je navedeno na 4,10 i 15 cm od opožarene površine.

Neposredno nakon završetka ispitivanja, probni su uzorci uklonjeni s peći te su učinjene snimke opožarene površine (slika 5.).

Tijekom ispitivanja zabilježene su promjene na uzorcima kako slijedi:

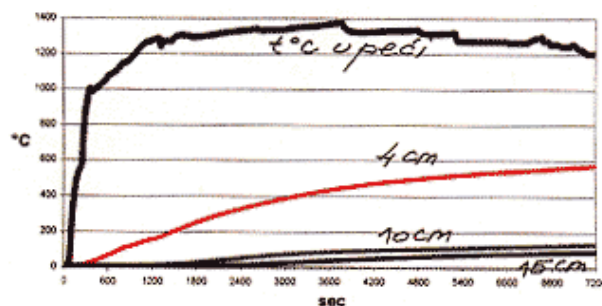
- nakon 2 min. javili su se prvi znaci ljuštenja
- nakon 6 min. pojavile su se male pukotine
- nakon 8 min. stvorio se kondenzat na donjoj strani uzorka
- nakon 10 min. isparava vodena para
- nakon 20 min. primijećeno je jako izlučivanje vode, probni se uzorci "znoje"
- nakon 70 min. opada izlučivanje vode i isparavanje
- nakon 90 min. tihi zvukovi ljuštenja
- nakon 100 min. nema promjena
- nakon 120 min. pukotine nepromijenjene, kraj ispitivanja.



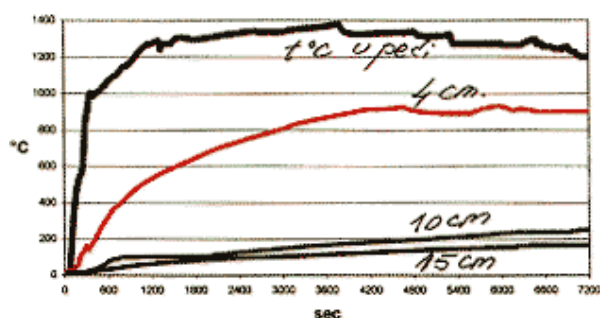
Slika 5. Izgled uzoraka nakon ispitivanja na utjecaj požara: lijevo uzorak s PP vlaknima i desno uzorak bez PP vlakana

Dijagrami temperatura prikazani su za uzorke bez PP vlakana na slici 6. i s PP vlaknima na slici 7. Iz dijagrama je vidljivo, da su temperature u uzorku bez PP vlakana znatno veće od temperatura u uzorku s PP vlaknima. Potom, temperature se smanjuju od površine prema unutrašnjosti uzorka.

Ta pojava uzrokuje velike razlike u oštećenju uzoraka sa PP vlaknima i bez njih, što se jasno vidi na slici 5.



Slika 6. Prikaz temperatura u uzorku betona sa PP vlaknima



Slika 7. Prikaz temperature u uzorku bez PP vlakana

Na slici se vidi da su na uzorcima bez vlakana nastali duboka ljuštenja i velika raspucanost, a armatura koja se nalazila na 4 cm od površine rastopila se, dok su na uzorcima s vlaknima nastala mala površinska oštećenja dubine 1-2 cm.

U prednapetim betonskim elementima napregnutim na tlak, koji se ispituju na požar mogu se očekivati dublja

ljuštenja te je potrebna nešto veća količina vlakana po m^3 betona. Dodavanjem PP vlakana povećava se otpornost na požar, ljuštenje a lom konstrukcije se smanjuje.

Zatim, smanjuju se troškovi saniranja oštećenja betona s PP vlaknima, budući da je potrebno sanirati samo jedan površinski sloj dubine 1-2 cm.

Za istraživanja utjecaja PP vlakana na vatrootpornost betona upotrijebljena su vlakna koja daju najveću klasu vatrootpornosti BB 2 (oštećenje 2% požarom tretirane površine), prema Smjernicama za mikroarmirani beton OVBB-a.

Oni koji razmišljaju o smanjenju troškova i opasnosti od požara pri izvedbi betonskih konstrukcija obvezatno trebaju primijeniti PP vlakna u betonu.

Tehnika izvedbe betona s mikrovlaknima ne postavlja nikakve nove zahtjeve na gradilištu. Dodavanjem mikrovlakana već u miješalicu betonare zajamčena je i kontinuirano visoka kvaliteta i homogenost takvog betona.

LITERATURA

- [1] Glavni projekt građevinskih radova tunela Sveti Rok, knjiga A, IGH-Zavod za prometnice, Zagreb, svibanj 1997.
- [2] Geotehnički projekt tunela Sveti Rok, IGH - Zavod za geotehniku, Zagreb, 1997.
- [3] Seferović, E.: Izvještaj br. 21-1383/2001 o ispitivanjima karakteristika mlaznog betona, 2001.
- [4] Lončar, A.: Eksperimentalno istraživanje adhezije PP vlakana i betonske matrice, magistarski rad na Građevinskom fakultetu u Zagrebu, 1995.
- [5] Plamenac M.: O mlaznom betonu -elementu podgradnog sistema podzemnih objekata. Ceste i mostovi broj 5 1993., 131.-135.
- [6] Seferović, E.: Izvješće br. 348 o primjeni PP vlakana u primarnoj podgradi tunela Sveti Rok, 1999.
- [7] Konstruktor-inženjering; Hidrelektro-niskogradnja: Tehnologija građenja tunela Sveti Rok, knjiga I i knjiga II, Zagreb- travanj 1997.
- [8] Dardare, ?.: Contribution a l'etude du comportement mecanique des betons renforces avec des fibres de polypropilene, Congres International du Beton Manufacture, Sresa-Italia, 1975.
- [9] Norme Europeenne EN 1363-1, August 1999.
- [10] Schneider, U.; Horvath, J.: Brandverhalten von Tunnelauskleidungen aus Beton mit Faserzusatz, Technische Universitat - Wien