



СЪПОСТАВЯНЕ НА ЯКОСТНИТЕ И ДЕФОРМАЦИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ФИБРОБЕТОНА СПРЯМО СТОМАНОбЕТОНА ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В ТУНЕЛНОТО СТРОИТЕЛСТВО

Чавдар Колев, Невена Бабунска-Иванова

ch_kolev@vtu.bg, babunska@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“

ул. „Гео Милев“ 158, София 1574

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

***Ключови думи:** пробни тела, фибробетон, лабораторни изследвания, огъване, първична облицовка*

***Резюме:** Докладват се резултатите от лабораторни изследвания на девет броя пробни тела от фибробетон с размери 50/40/30 см за първична облицовка на тунели. Пробните тела са отлежавали до набирание на пълната си якост в автентичната среда на новостроящ се тунел. Потърсено е оптималното съдържание на различни количества фибри в бетоновия разтвор. Направен е обзор за приложението на фибрите в пръскания бетон за изпълнението на тунелни облицовки, като са посочени техните предимства. Поставен е акцент върху Норвежкия тунелен метод, при който основно се използва пръскан бетон, армиран с фибри. Якостите на огъване на пробните тела са изследвани опитно в лабораторни условия до разрушение чрез натискови преси. В резултат на проведеното изпитване са получени деформациите при огъване на пробните тела. Разработени са съответните графики, представящи зададените натоварвания и получените в следствие на тях деформации. Определена е носимоспособността на огъване на бетонно сечение 40/30 см с дължина 50 см и подпорно разстояние 40 см, армирано с единична армировка. Доказано е, че фибробетонните сечения са равностойни на стоманобетонните. Направени са полезни изводи за технологията за полагане на първичната облицовка на тунелите и пряката ѝ връзка с безопасността и ефективността на работата.*

I. УВОД

При строителството на тунели в целия свят фибробетонът намира все по-широко приложение поради значителното съкращаване на времето за една атака в забоя и по-добрите технологически характеристики. У нас фибробетонът все още не е намерил полагащото му се признание поради липсата на нормативна уредба и липса на натрупан опит в проектирането и изпълнението на подобни конструкции (крепежни и пътни). Приложението на фибробетона като част от първичната облицовка на тунелите води не само до по-бързо изпълнение, но и решително подобрява безопасността на труда, като елиминира до най-висока степен ръчните операции при забоя на тунела.

II. КРАТЪК ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Армирането на пръскания бетон повишава носимоспособността му от 30% до 40%. Армираният пръскан бетон може да се изпълни със заварени стоманени мрежи или с фибри [1].

Все по-широкото приложение на пръсканият фибробетон през последните години се дължи на безспорните му качества:

- Фибрите редуцират обрушванията и намаляват отскока, премахват риска за работниците, монтиращи стоманените мрежи [2];

- Фибрите позволяват нанасянето на по-равномерен слой пръскан бетон, както и на по-тънък слой, тъй като мрежите или прътите изискват осигуряване на необходимото покритие на армировката [2], [3];

- Пръсканият фибробетон позволява напълно механизано изпълнение, което води до съкращаване на времето на строителство [4];

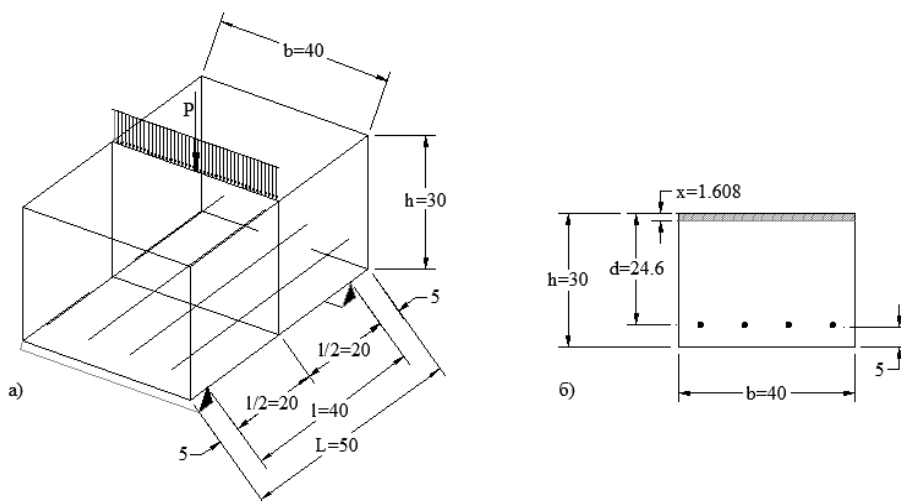
- Фибрите не се влияят от околната влага и евентуалното проникване на вода (с изключение на металните фибри), за разлика от армировката, която корозира при наличието на вода [5], [6];

- Доказано е, че пръсканият бетон, армиран с фибри, е по-евтин в сравнение с този армиран с мрежи при изпълнение на първичната облицовка [3], [4].

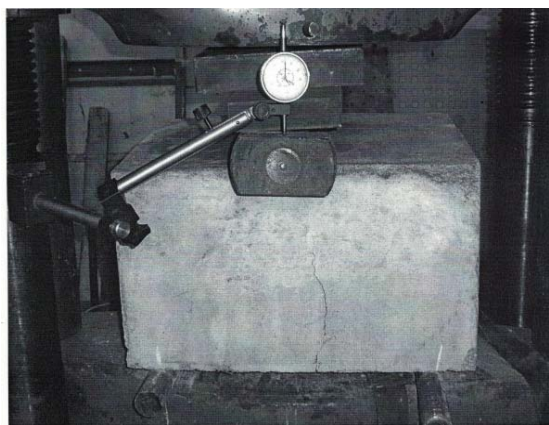
Един от методите за строителство на тунели, при който се използва изцяло пръскан фибробетон е Норвежкия тунелен метод, базиран на *Q-системата* на Barton [7]. На базата на *Q-системата Grimstad* и Barton (1993) според качеството на скалния масив, определят вида на крепежната конструкция [8]. По-късно *Grimstad* и колектив (2000) променят графиката за оценка на вида на крепежа, като е акцентирано върху абсорбцията на енергия [9], т.е. поемането на енергия, която се реализира от скалния масив върху тунелната облицовка. Последното обновяване е направено през 2022г. от *Норвежкия геотехнически институт (Norwegian Geotechnical Institute)* [10].

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

В рамките на това изследване бяха извършени лабораторни изследвания с 9 броя пробни тела с размери 50/40/30 см (фиг. 1а), изработени от бетон С30/37, армирани със синтетични фибри, съответно по 4kg/m^3 , 6kg/m^3 и 8kg/m^3 . Телата бяха изготвени в тръбата на строящия се тунел „Железница“, където отлежаха 28 дни до набирането на пълната якост. От всеки вид фибробетон бяха направени по 3 тела. Готовите пробни тела бяха подложени на огъване с преса в лаборатория, за да се установи якостта им на огъване (фиг.2).



Фиг. 1 а) Размери и статическа схема на пробните тела 50/40/30 см
б) Оразмерително напречно сечение



Фиг. 2 Изпитване на пробното тяло 50/40/30 cm с преса в лаборатория

В резултат на изпитването са определени деформациите при огъване на пробните тела съгласно БДС EN 12390-5:2019 Изпитване на втвърден бетон. Част 5: Якост на опън при огъване на пробни тела [11].

III.1. Резултати от изпитването

Резултатите от изпитването на огъване на трите типа пробни тела са показани в Таблица 1.

Определена е носимоспособността на огъване M_{rd} [12] за сечение 40/30 cm на проста греда с дължина $L=50$ cm и подпорно разстояние 40 cm, армирана с 4ф8 през 10 cm с единична армировка (фиг.1б, табл. 1).

Таблица 1. Резултати от изпитването на огъване

№	Описание на пробата	Сила на огъване [kN]		Носимоспособност на огъване/Огъващ момент [kN.m]		Напрежение на огъване σ [kPa]	
		Средна	Максимална	Средна	Максимална	Средно	Максимално
1	Бетон C30/37 с 4 kg/m ³ фибри	308,33	275	30,83	27,50	5 138,89	4 583,33
2	Бетон C30/37 с 6 kg/m ³ фибри		300		30,00		5 000,00
3	Бетон C30/37 с 8 kg/m ³ фибри		350		35,00		5 833,33
4	Бетон C30/37 - армиран с 4ф8 По изчисление:	209,60		$M_{rd} = 20,96$		3493,33	

Критериите и оценките за резултатите са представени в Таблица 2.

Таблица 2. Критерии и оценки на резултатите за пробните тела

Описание на пробата	Оценка	Критерий за оценка	Забележки
Пробни тела 50/40/30 [cm]			
Бетон C30/37 с 4 kg/m ³ фибри	Добра	$\sigma > 3493,33$	Фибрите са синтетични.
Бетон C30/37 с 6 kg/m ³ фибри	Добра	$\sigma > 3493,33$	
Бетон C30/37 с 8 kg/m ³ фибри	Добра	$\sigma > 3493,33$	

III.2. Анализ на резултатите от изпитването

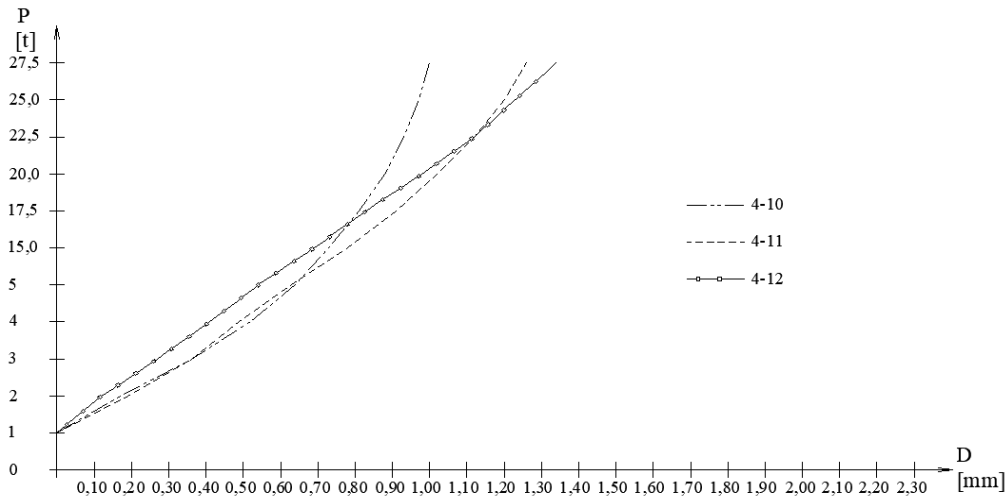
Видно е, че осреднената максимална сила на огъване за трите типа тела е $30,0 \text{ t} = 300 \text{ kN}$.

Колкото по-висока е концентрацията на фибрите, толкова по-разсеяни са резултатите за отделните проби от един и същи тип (фиг.3а, б, в).

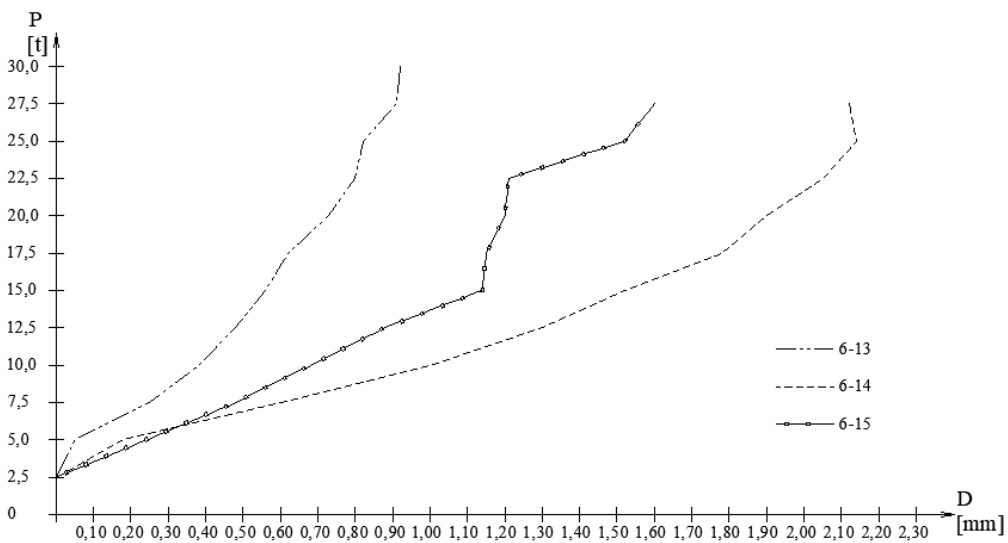
За най-високата концентрация от 8 kg/m^3 дори при две от трите проби не е постигната средно установената сила на огъване от 275 kN , а стойностите са само 225 kN до 250 kN . Констатираните зависимости говорят, че оптималното количество фибри не надхвърля 6 kg/m^3 и следва да се търси около 5 kg/m^3 .

Постигнатата носимоспособност на огъване в напречното сечение на фибробетона е по-голяма от изчислената за армираното с $4\phi 8$ сечение от същия бетон. Следователно, фибробетонът може да служи като равностоен заместител на стоманобетона.

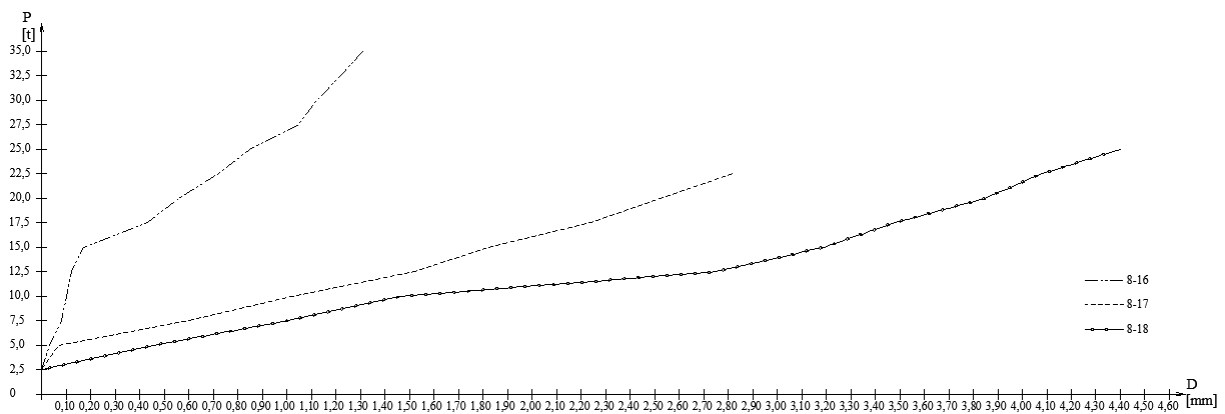
Нарастването на процента на армиране прогресивно уякчава стоманобетона. Фибробетонът, обаче има оптимална стойност на съдържание на фибри, което е около 5% , т.е. 5 kg/m^3 , и дава средно нормално напрежение на огъване около 3500 kPa . На фибробетонните тела съответства стоманобетон с процент на армиране $\mu=0,1675\%$.



а) Фибробетон с 4 kg/m^3 фибри



б) Фибробетон с 6 kg/m^3 фибри



в) Фибробетон с 8 kg/m³ фибри

Фиг. 3 Резултати от изпитванията на пробните тела – деформация при огъване

IV ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фибробетонът може успешно да замества стоманобетона и притежава редица технологически предимства. Особено подходящ е за приложение като първична облицовка на тунели и като настилки на пътища и индустриални подови настилки.

Резултатите от изследването могат да намерят пряко приложение при проектирането и изпълнението на първична тунелна облицовка от пръскан фибробетон. Така се избягва прилагането на армировка от заварени мрежи, чието монтиране губи време и крие реална опасност за работниците от аварии при забоя под тунелния свод. Наблюдават се примери за подобни аварии у нас, дори и напоследък.

Себестойността на фибробетона също намалява.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Тотев Й., Ю. Тотев. Тунели, второ издание, София, ВТУ, 2012.
- [2] Kanalli S., R. Palankar, B. Kumar, P. Kumar, S. Prakash. Comparative Study of Polymer Fibre Reinforced Concrete with Conventional Concrete Pavement. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Issue: 01, ISSN: 2319-1163 (2014).
- [3] Майдъл Б., М. Тевес, У. Майдъл. Ръководство по тунелно строителство, Том 1: Конструкции и методи, Първо издание, Българска асоциация за геотехническо и тунелно строителство, 2013.
- [4] Namli M., Evaluation of the effect of using fiber reinforcement in tunnel linings for metro projects. Underground Space, Volume 6, Issue 6, Pages 732-750 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2021.08.002>.
- [5] Moghadam M., R. Izadifard. Prediction of the Tensile Strength of Normal and Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to High Temperatures. International Journal of Concrete Structures and Materials 15, Article number: 47, Springer Open, (2021), DOI <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00485-6>.
- [6] Shah S, Mian A. Gul, T. Naqash, Z. Khan, M. Rizwan. Effects of Fiber Reinforcements on the Strength of Shotcrete, Civil Engineering and Architecture 9(1): 176-183 (2021), DOI: 10.13189/cea.2021.090115.
- [7] Barton N., E. Grimstad, G. Aas, O.A. Opsal, A. Bakken, L. Pesersen, E.D. Johansen. Norwegian method of tunnelling. WT Focus on Norway, Word Tunnelling, June/August (1992).

- [8] Grimstad E., N. Barton. Updating of the Q-System for NMT. Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete, Fagernes, pp.46-66, 1993.
- [9] Grimstad, E., Kanker K., Bhasin R., Magnussen, A., Kaynia, A., Rock Mass Quality Q Used in Designing Reinforced Ribs of Sprayed Concrete and Energy Absorption. NGI Pub., 2000.
- [10] Using the Q-system. Rock mass classification and support design, 54p., Revised and new edition, Oslo, NGI, 2022, www.ngi.no.
- [11] БДС EN 12390-5:2019 Изпитване на втвърден бетон. Част 5: Якост на опън при огъване на пробни тела.
- [12] Велинов К., Н. Ангелов, А. Георгиев. БДС EN 1992-1-1: Указания, Второ допълнено издание, КИИП, 2021.

COMPARISON OF THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF FIBER REINFORCED CONCRETE VERSUS REINFORCED CONCRETE FOR APPLICATION IN TUNNELLING

Chavdar Kolev, Nevena Babunska-Ivanova
ch_kolev@vtu.bg, babunska@vtu.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *test bodies, fiber reinforced concrete, laboratory tests, bending, primary lining*

Abstract: *The results of laboratory tests on nine 50/40/30 cm fiber reinforced concrete test bodies for primary tunnel lining are reported. The test bodies were aged until they reached their full strength in the authentic environment of a newly constructed tunnel. The optimum content of different amounts of fiber in the concrete mortar was sought. An overview of the application of fibers in sprayed concrete for the performance of tunnel linings is given, and their advantages are indicated. Emphasis is placed on the Norwegian tunnel method, which mainly uses fiber-reinforced sprayed concrete. The flexural strengths of the specimens were investigated experimentally under laboratory conditions to failure by compression presses. As a result of the testing, the flexural deflections of the test bodies were obtained. Corresponding graphs have been developed representing the specified loads and the resulting deformations. The bending capacity of a 40/30 cm concrete section with a length of 50 cm and a support distance of 40 cm reinforced with single reinforcement was determined. It has been proven that fiber concrete sections are equivalent to reinforced concrete.. Useful conclusions have been drawn about the technology for laying the primary lining of tunnels and its direct relationship to safety and performance.*