

# Beton zbrojony włóknami recyklingowymi PET z butelek po napojach

dr inż. Jacek Szpetulski, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska, dr hab. inż. Bohdan Stawiski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

## 1. Wprowadzenie

Żelazobeton jest dobrze znany jako podstawowy materiał konstrukcyjny w budownictwie. Stal zbrojeniowa w betonie przejmuje naprężenia rozciągające. Dobrze by było zastąpić stal zbrojeniową innym materiałem, mniej energochłonnym, a może nawet materiałem odpadowym zaśmiecającym środowisko, pochodzącym na przykład z butelek po napojach z politereftalanu etylenu, w skrócie PET. Oczywiście nie można liczyć na przeniesienie przez ten materiał tak dużych obciążeń jak przy stosowaniu stali zbrojeniowej, ale przecież często tylko nieznacznie trzeba wesprzeć beton w zakresie rozciągania, aby taki element kompozytowy mógł być elementem nośnym w budynku. Próby z wykorzystaniem materiału recyklingowego PET są wykonywane od pewnego czasu [1, 6, 8]. Rezultaty są obiecujące, ale nie satysfakcjonujące. Nie wiadomo jeszcze na przykład, jakie powinny być optymalne wymiary włókien pozyskiwanych z butelek, aby efekt współpracy odpadowego tworzywa sztucznego z betonem dawał najlepsze rezultaty w przenoszeniu obciążeń rozciągających kompozytu. Ponadto wiele innych pytań oczekuje odpowiedzi.

Z dotychczasowych badań wynika, że po zastosowaniu włókien zbrojeniowych do mieszanki betonowej otrzymuje się fibrobeton, który charakteryzuje się podwyższoną wytrzymałością na rozciąganie, jest bardziej odporny na pękanie, powstawanie rys [2, 4, 5]. Fibrobeton z takim zbrojeniem przenosi również większe obciążenia ścinające [2]. Pewnym mankamentem zbrojenia z odpadów PET jest słaba odporność tego materiału na hydrolizę w silnie zasadowym środowisku betonu. Wpływa to na obniżenie długotrwałej wytrzymałości fibrobetonu na rozciąganie [7, 8]. Już jednak wiadomo, że można temu zapobiegać przez pokrycie PET kopolimerem etylenu i octanu winylu, w skrócie EWA [7, 8].

## 2. Badania wpływu długości włókien recyklingowych PET na wytrzymałość betonu

Przygotowano recepturę betonu na kruszywie naturalnym o uziarnieniu od 0 do 32 mm z użyciem cementu CEM II/B-V 32,5R, wody i plastyfikatora Remicrete SP63 o składzie: cement 300 kg/m<sup>3</sup>, piasek 0–4 mm – 599,5 kg/m<sup>3</sup>, żwir 0–32 mm – 1334,3 kg/m<sup>3</sup>, woda 165 l i plastyfikator 1,4 kg/m<sup>3</sup>, zbrojenie

PET; beton bez zbrojenia rozproszonego oznaczono BZ. Z betonu o takim składzie wykonano pięć mieszanek serii M1–M5 zawierających tę samą ilość zbrojenia rozproszonego z włókien, wynoszącą 3,8 kg/m<sup>3</sup> betonu. Zbrojenie rozproszone w postaci włókien PET o szerokości 2 mm, w poszczególnych mieszankach różniło się długością pasków, które wynosiły: 38 mm – M1, 62 mm – M2 i 93 mm – M3. Dwie ostatnie serie mieszanek zawierały inne zbrojenie: M4 z rozproszonym zbrojeniem polipropylenowym PP 18 mm oraz M5 z rozproszonym zbrojeniem stalowym 25/0,4. Do przygotowania zbrojenia z butelek opracowano własny sposób pozyskiwania „włókien” w maszynie własnej konstrukcji. Otrzymano włókna bardzo dobrej jakości (rys. 1). Po zakończeniu mieszania składników poszczególnych mie-



Rys. 1. Włókna recyklingowe PET wycięte z butelek po napojach

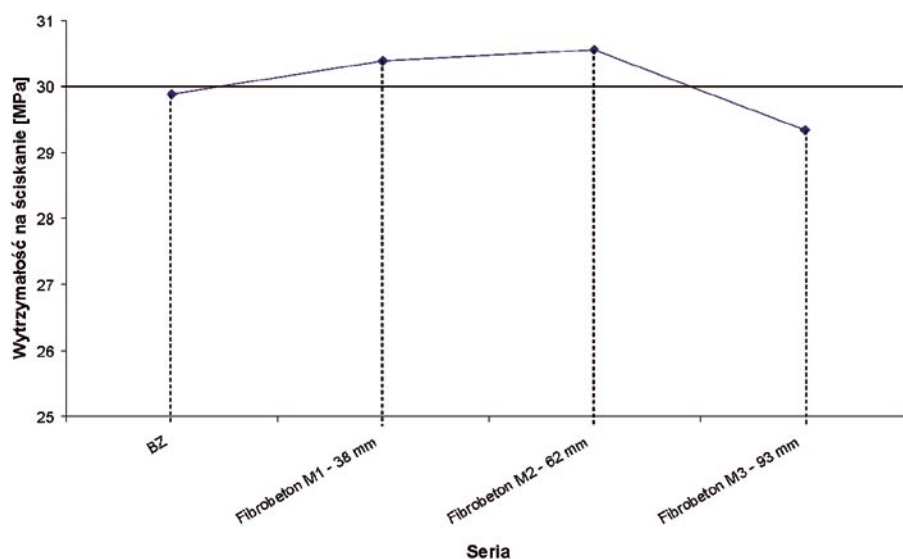
szanek betonowych sprawdzono ich konsystencję. Kolejnym etapem było zabetonowanie po trzy formy kostkowe 15x15x15 cm oraz trzy formy beleczkowe 10x10x50 cm zgodnie z normą [9]. Próbkę zostały zagęszczane na stole wibracyjnym. Dalej do 28 dni były pielęgnowane zgodnie z normą [10]. Badania betonu na ściszenie i zginanie wykonano zgodnie z normami [11, 12].

## 3. Porównanie badanych parametrów mechanicznych betonu z różnymi rodzajami zbrojenia

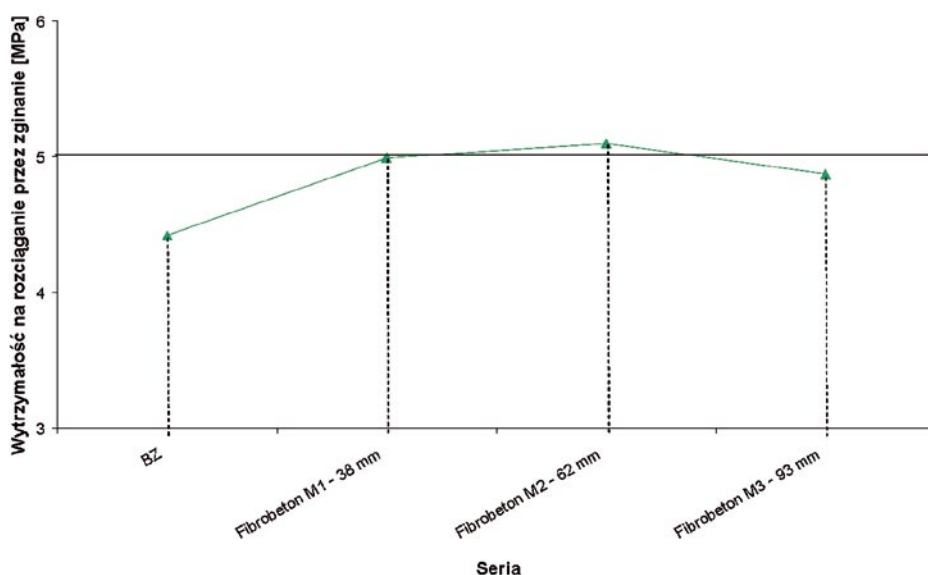
Badania wytrzymałości betonu bez zbrojenia i ze zbrojeniem włóknami z butelek PET (rys. 2) pokazują, że długość włókien ma wpływ na ściszenie.

Jest to zrozumiałe, gdyż zniszczenie betonu przy ściszeniu związane jest z rozciąganiem w kierunku prostopadłym do obciążenia. Z wykresu na rysunku 2 widać, że najkorzystniejszy

**Rys. 2.** Tendencja zmiany wytrzymałości na ściskanie betonu niezbrojonego – BZ i zbrojonego włóknami PET o różnej długości: 38 mm – M1, 62 mm – M2 i 93 mm – M3



**Rys. 3.** Tendencja zmiany wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu betonu niezbrojonego – BZ i zbrojonego włóknami PET o różnej długości: 38 mm – M1, 62 mm – M2 i 93 mm – M3



wpływ uzyskano przy włóknach o długości 62 mm. Interesujące jest to, że przy dłuższych włóknach uzyskuje się nieco gorszy wynik niż dla betonu bez zbrojenia. Prezentowane wyniki na wykresie (rys. 3) otrzymano w badaniach beleczek na zginanie, dokładnie na rozciąganie przez zginanie. Oczywiście zależności wyników nie mogły bardzo się różnić, gdyż w obu przypadkach o zniszczeniu próbek decydują naprężenia rozciągające.

Jak widać, w obu eksperymentach najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla serii M2, w której włókna zbrojeniowe PET miały długość 62 mm.

Do porównania fibrobetonu ze zbrojeniem PET z innymi rodzajami zbrojenia (PP i stal) przyjęto serię M2, czyli tę, która charakteryzowała się najkorzystniejszym przyrostem wytrzymałości na rozciąganie. Wytrzymałości na ściskanie porównano na rysunku 4, a wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu – na rysunku 5.

Duży efekt stalowego zbrojenia rozproszonego na wytrzymałość przy ściskaniu wynika z tego, że rozproszone druty stalowe w pewnej części ułożone wzdłuż kierunku ściskania

zwiększają wytrzymałość na ściskanie. Ułożone prostopadłe do kierunku ściskania przejmują naprężenia prostopadłe do kierunku ściskania, przejmują naprężenia rozciągające, przez co zwiększa się również nośność próbek.

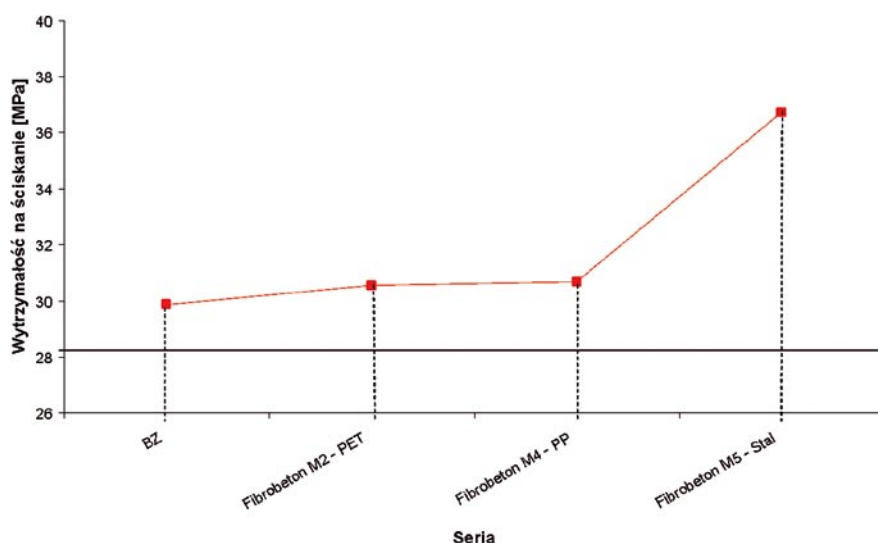
W przypadku próbek zginanych przyrost wytrzymałości na rozciąganie elementów z rozproszonym zbrojeniem stalowym jest mniejszy od spodziewanego. Rozproszone zbrojenie włóknem PET było korzystniejsze. Otrzymano nieco wyższe wytrzymałości niż na próbkach z rozproszonym zbrojeniem stalowym oraz PP.

#### 4. Podsumowanie

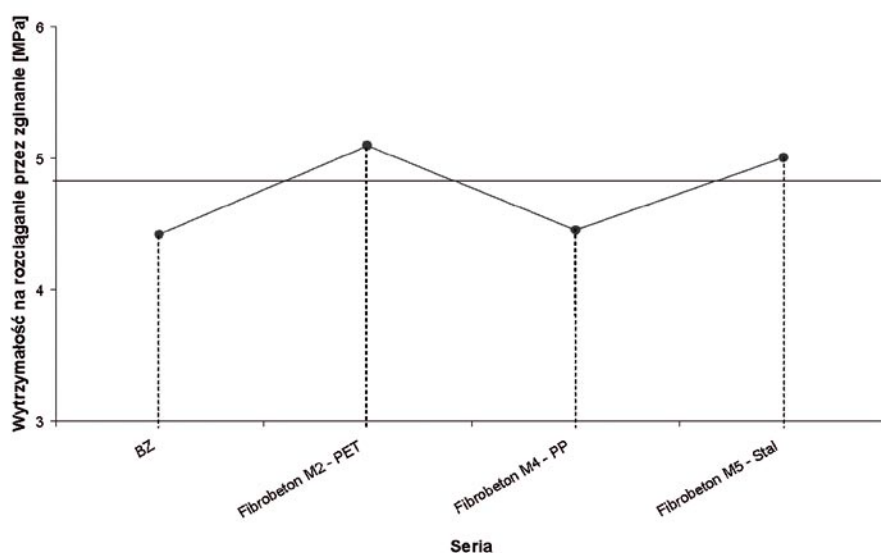
Otrzymane wyniki badań pokazały, że beton zawierający zbrojenie rozproszone w postaci włókien PET jest materiałem o obiecujących właściwościach mechanicznych.

Skoro fibrobeton zbrojony włóknami PET ma dużo lepszą wytrzymałość na rozciąganie niż beton bez zbrojenia, a nawet nieco lepszą niż fibrobeton ze zbrojeniem rozproszonym stalowym (rys. 5), może to oznaczać, że w takich

**Rys. 4.** Zmiana wytrzymałości na ściskanie betonu w zależności od rodzaju zbrojenia rozproszonego



**Rys. 5.** Zmiana wytrzymałości na rozciąganie w zależności od rodzaju zbrojenia rozproszonego



elementach, w których zbrojenie rozproszone jest stosowane głównie po to, aby przejmować rozciąganie od skurczu, zastąpienie drutu stalowego włóknami PET wydaje się ze wszech miar uzasadnione. Przykładami takich konstrukcji mogą być np. posadzki przemysłowe, w których stosowane zbrojenie stalowe nie zawsze jest w stanie przenieść wszystkie naprężenia rozciągające. Powstają liczne spękania. Posadzki takie często charakteryzują się siatkami rys.

Do celów utylizacji wyrobów z PET każde użytkowe zużycie tego materiału jest bardzo korzystne, ponieważ produkcja opakowań z politereftalanu etylenu jest tak duża, iż różne metody utylizacji nie nadążają z jego usuwaniem. Przyroda zostaje zaśmieczana wyrobami o bardzo długim okresie rozpadu. Jeżeli nawet nieduży procent tych odpadów dałoby się wbudować w budynki i budowle, w drogi, to byłoby to sukces.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Arun Kumar C., Ganesh Prabhu P., Pandiyaraj R., Rajsh P., Sasikumar L., Study on utilization of waste PET bottles fiber in concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 2/2014, str. 233–240
- [2] Brandt A. M., *Cement Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*, Taylor and Francis, London and New York, 2009
- [3] Dinh H. H., Parra-Montesinos G. J., Wight J. K., Shear Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement, *ACI Structural Journal* 107(5) 2010, str. 597–606
- [4] Glinicki M. A., *Beton ze zbrojeniem strukturalnym*, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2010
- [5] Jamróży Z., *Beton i jego technologie*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008
- [6] Jang C. I., Lee S. J., Lee S. W., Won J. P., Long-term performance of recycled PET fibre-reinforced cement composites. *Construction and Building Materials* 24/2010, str. 660–665
- [7] Łukowski P., Rokicki G., Wiliński D., Application of fibres from recycled PET bottles for concrete reinforcement. *Journal of Building Chemistry* 5/2016, str. 1–9
- [8] Wiliński D., Zastosowanie odpadów PET do wzmocnienia betonu, *Materiały Budowlane* 5/2012, str. 22–24
- [9] PN-EN 12390-1:2001: Badania betonu – Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form
- [10] PN-EN 12390-2:2019-07: Badania betonu – Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badania wytrzymałości
- [11] PN-EN 12390-3:2019-07: Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania
- [12] PN-EN 12390-5:2019-08: Badania betonu – Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań