

Analiza właściwości betonu na bazie odpadów porcelanowych zbrojonych włóknami stalowymi różnego typu



WERONIKA EKMANN

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0005-4681-9489



ZUZANNA WRZESIEŃ

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0009-2680-7439



MARCELINA KUZIAK

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0007-9226-8045



KAROL FEDRAU

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0009-3155-8350



dr inż.

MATEUSZ ZAKRZEWSKI

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0000-0002-0419-5058

Celem wykonanych badań była analiza właściwości betonu na bazie odpadów porcelanowych zbrojonych włóknami stalowymi różnego typu. Odpady porcelanowe wykorzystano jako kruszywo do betonu. Badaniom poddano cztery mieszanki z różnym rodzajem włókien, kord stalowy pozyskiwany ze zużytych opon samochodowych, włókna falowane, haczykowate oraz mikrowłóknastalowe.

ochrona środowiska jest obecnie jednym z priorytetów w polityce Unii Europejskiej. Polityka zrównoważonego rozwoju wymusza zmianę przepisów dotyczących wielu gałęzi gospodarki. Wprowadzone zostały m.in. regulacje dotyczące gospodarki odpadami, w tym tzw. gospodarkę w obiegu zamkniętym [1]. Przepisy wymuszają na producentach poszukiwanie rozwiązań dotyczących zagospodarowania odpadów powstających w procesie produkcyjnym [2], [3]. Jednym ze sposobów jest wykorzystanie ich do produkcji materiałów budowlanych [4], [5]. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki badań nad zastosowaniem odpadów pochodzących z produkcji porcelany do wytworzenia betonu. W zakładzie, z którego pochodziła wykorzystana ceramika, aż 30% produkcji stanowią odpady. Wynika to z procesu technologicznego oraz wymogów dotyczących odchylek wymiarowych. Zagospodarowanie tych odpadów stanowi dla producenta istotny problem. Poszukiwanie alternatyw dla kruszyw mineralnych jest obecnie aktualnym

tematem podejmowanym przez naukowców z całego świata [6], [7], [8]. Niejednokrotnie zastosowanie kruszywa z materiałów odpadowych powoduje osłabienie parametrów wytrzymałościowych. Zmiany te są rekompensowane poprzez zastosowanie zbrojenia rozproszonego w postaci włókien [9]. Badane włókna również mogą pochodzić z recyklingu odpadów. Wykorzystanie odpadów jako kruszywa oraz zbrojenia czyni materiał bardziej ekologicznym [10], [11]. Niniejszy artykuł przedstawia analizę tego typu materiału z wykorzystaniem lokalnie dostępnych odpadów.

Użyte materiały odpadowe

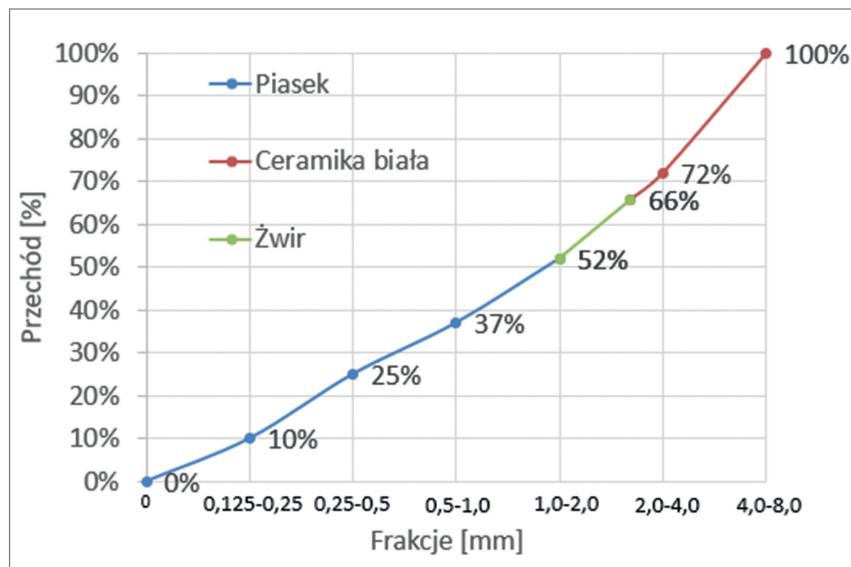
Do wytworzenia betonu wykorzystano dwa rodzaje odpadów. Odpady pochodzące z produkcji wyrobów porcelanowych oraz kord stalowy pozyskiwany podczas przetwarzania zużytych opon. Z odpadów porcelanowych przygotowano kruszywo, którym zastąpiono wybrane frakcje kruszywa mineralnego. Odpady porcelanowe zostały uprzednio odpowiednio przygotowane. Zostały pokruszone i następnie przesiane przez sита w celu oddzielenia niezbędnej do badań frakcji. Kruszywo przygotowywano, utrzymując stałe parametry kruszenia. Odpady były trzykrotnie kruszone w kruszarce szczękowej, a następnie przesiewane. Szczelina w kruszarce była ustawiona na minimalną wartość, tj. 10 mm. Beton przygotowano zgodnie z wytycznymi normy dla betonów wzorcowych [12]. Biorąc pod uwagę wnioski z poprzednich badań [4], [13], zdecydowano, że odpady zostaną wykorzystane jedynie do zastąpienia frakcji 2,0–4,0 i 4,0–8,0. Wynika to z ilości poszczególnych frakcji, jakie uzyskiwano podczas procesu kruszenia (tab. 1.).

Z uwagi na zastosowanie kruszywa odpadowego zdecydowano się na przygotowanie kruszywa mieszanego z uziarnieniem zgodnym z normą dla betonów wzorcowych [12]. Pierwsza z wykorzystywanych frakcji odpadowych (4,0–8,0 mm) pokrywała 100% zapotrzebowania na tę frakcję. Natomiast frakcja 2,0–4,0 mm pokrywała 70% zapotrzebowania, resztę uzupełniono naturalnym kruszywem mineralnym. Drobne frakcje od 0,125 do 2,0 stanowił tzw. piasek płukany pozyskiwany w procesie hydroklasyfikacji kruszywa w lokalnych kopalniach odkrywkowych. Ostateczny skład kruszywa w odniesieniu do normy dla betonów wzorcowych [12] przedstawiono na rys. 1. Z uwagi na specyfikę zasobów północno-zachodniej Polski, tzn. małe ilości kruszywa grubego (żwiru) oraz zalegające w kopalniach hałdy piasku płukanego, proponowany beton stanowi uzasadnioną alternatywę dla betontradycyjnego.

Zastosowany jako zbrojenie kord stalowy składa się z mieszanki cienkich stalowych włókien o różnym kształcie, średnicy

Tab. 1. Ilość poszczególnych frakcji uzyskiwana po procesie kruszenia i przesiewania odpadów porcelanowych

Próbka 20 kg	
Frakcja	Masa
> 8,0 mm	10,74 kg
4,0-8,0 mm	5,24 kg
2,0-4,0 mm	1,31 kg
<2,0 mm	2,72 kg



Rys. 1. Wykres procentowego udziału poszczególnych materiałów w krzywej przesiewu kruszywa zastosowanego do badanego betonu



Rys. 2. Zastosowane jako kruszywo odpady ceramiczne przed i po procesie kruszenia oraz przesiewania

i długości. Szczegółowy opis zastosowanych włókien został przedstawiony w publikacjach [14], [15]. Do badanych mieszanek zastosowano kord stalowy w postaci, w jakiej został dostarczony przez zakład recyklingu opon samochodowych. Kord nie został poddany selekcji pod względem geometrycznym oraz nie został dodatkowo oczyszczony. W mieszance kordu znajdują się niewielkie pozostałości granulatu gumowego z opon. Ideą było zastosowanie gotowego materiału w celu uniknięcia dodatkowych kosztów związanych z oczyszczaniem czy segregacją włókien. Wykorzystanie kordu wynika z jego

dostępności na rynku. Pozytywnym aspektem użycia tego rodzaju włókien jest zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powstałych w hucie przy produkcji komercyjnych włókien.

Receptura i program badań

Ostatecznie do badań przyjęto recepturę przedstawioną w tab. 2. W celu porównania wyników uzyskanych dla próbek zbrojonych kordem stalowym przygotowano próbki o identycznym składzie, ale z innymi rodzajami włókien stalowych. Poza kordem stalowym jako zbrojenie rozproszone zastosowano mikrowłókna stalowe (długość 10 mm;

Tab. 2. Receptura badanego betonu

Materiał	Ilość [kg/m ³]
Cement CEM I 42,5R	394,00
Woda	177,31
Włókna	78,50
Plastyfikator (1% masy cementu)	3,94
Żwir	260,82
Piasek	983,63
Odpady porcelanowe	647,07



Rys. 3. Włókna zastosowane jako zbrojenie rozproszone w badaniach.

średnica 0,4 mm), haczykowate włókna stalowe (długość 50 mm; średnica 0,8 mm) oraz falowane włókna stalowe (długość 20 mm; średnica 1,0 mm). Zgodnie z wytycznymi Model Code 2010 można zastąpić część tradycyjnego zbrojenia włóknami. Na podstawie analizy dostępnej literatury [16], [17] przyjęto zbrojenie rozproszone w ilości 1% objętości mieszanki. Do badań zastosowano cement CEM I 42,5 R zgodnie z wytycznymi normy [12]. Zastosowano również plastyfikator w celu poprawy urabialności mieszanki.

Program badań obejmował m.in. określenie wytrzymałości resztkowych betonu na bazie

odpadów porcelanowych z różnymi rodzajami zbrojenia rozproszonego (rys. 3). Dla każdej mieszanki określono wytrzymałość na ściskanie oraz moduł sprężystości na próbkach walcowych o wymiarach 150 × 300 mm. Do badań wykorzystano prasę wytrzymałościową z czujnikiem o zakresie 4000 kN. Do badania modułu sprężystości zastosowano dwuosiowy ekstensometr nasadowy. Dodatkowo podczas betonowania próbek określano konsystencję świeżej mieszanki metodą Ve-Be. Po betonowaniu próbki dojrzewały w warunkach podwyższonej wilgotności. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono po upływie 28 dni.

Wytrzymałości resztkowe zostały określone na maszynie wytrzymałościowej do testów zginania z czujnikiem siły o zakresie 200 kN. Rozstaw podpór w teście trzypunktowego zginania wynosił 50 cm. W środku rozpiętości belki wykonano karb o głębokości 25 mm. Wszystkie wymienione badania wykonano zgodnie z procedurami opisanymi w normach przedstawionych w tab. 3.

Wyniki badań

W tab. 4. przedstawiono wyniki badań konsystencji metodą Ve-Be. Ilość plastyfikatora została dobrana tak, aby uzyskać konsystencję gęstoplastyczną V3. Wyniki pokazują, że każda z próbek mieści się w granicy 6–10 s. Różnice w wynikach badania konsystencji są nieduże. Skrajne wyniki różnią się o 1s.

W tab. 4. przedstawiono również wyniki badań wytrzymałości na ściskanie. Wszystkie wartości mieściły się w granicach 47–60 MPa. Beton zbrojony kordem stalowym charakteryzuje się najwyższą średnią wytrzymałością na ściskanie spośród wszystkich badanych materiałów zbrojeniowych, osiągając wartość 59,54 MPa. W porównaniu z włóknami haczykowatymi uzyskana wartość różni się aż o blisko 12 MPa. Wytrzymałość betonu zbrojonego mikrowłóknami stalowymi była niższa o 4,42 MPa. Najbardziej zbliżoną wartość do próbek z kordem stalowym uzyskano dla próbek zbrojonych włóknami falowanymi. Może to wynikać z faktu, że włókna kordu stalowego mają nieregularny kształt. Co z kolei może wpływać na poprawę zakotwienia włókien, tak jak w przypadku włókien falowanych.

Beton zbrojony kordem stalowym cechuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi, co potwierdza uzyskany wynik średniego modułu sprężystości na poziomie 38,1 GPa. Jest to wartość większa niż ta uzyskana na próbkach zbrojonych mikrowłóknami stalowymi. Wyższe wartości uzyskano, badając próbki z zastosowaniem włókien falowanych (38,4 GPa) i włókien haczykowatych (40,4 GPa). Niemniej wytrzymałość na ściskanie i moduł sprężystości betonu zbrojonego kordem stalowym są odpowiednie dla większości zastosowań budowlanych.

Do określenia wpływu włókien na wytrzymałości resztkowe wykonano test trzypunktowego zginania zgodnie z normą [18]. W tab. 5. przedstawiono średnie wyniki uzyskane z 3 pomiarów dla każdej z mieszanek. Natomiast na rys. 4. przedstawiono wykresy zależności obciążenie–rozwarście szczeliny dla przeciętnych wyników każdej z mieszanek. Wyniki badania pokazały, że próbki zbrojone włóknami haczykowatymi charakteryzują się największą wytrzymałością na rozciąganie przy zginaniu. Występuje niewielki spadek siły obciążającej po pęknięciu próbki. Przebieg wykresu dla tych próbek jest najwyższy, tzn. wartości kolejnych wytrzymałości utrzymują się na stosunkowo wysokim poziomie

Tab. 3. Program badań dla każdego wariantu zbrojenia rozproszonego

Parametry	Rodzaj próbki	Wymiary [mm]	Ilość	Norma
Wytrzymałość na ściskanie	walec	Ø 150 x 300 mm	6	PN-EN 12390-3
Moduł sprężystości	walec	Ø 150 x 300 mm	3	PN-EN 12390-13
Wytrzymałości resztkowe	belka	150 x 150 x 600 mm	3	PN-EN 14651
Konsystencja badana metodą Ve-Be wg PN-EN 12350-3				

w odniesieniu do maksymalnej wytrzymałości na zginanie. Analiza wyników badań pokazuje, że próbki zbrojone kordem stalowym charakteryzują się wysoką granicą proporcjonalności. Spadek obciążenia po zarysowaniu jest niższy niż w przypadku próbek zbrojonych włóknami falowanymi oraz mikrowłóknami. Również dalszy przebieg krzywej jest wyższy niż w przypadku wspomnianych włókien. Zdecydowanie najniższe wartości wytrzymałości uzyskano dla elementów zbrojonych mikrowłóknami stalowymi. W przypadku elementów zbrojonych kordem stalowym oraz mikrowłóknami stalowymi zaobserwowano gwałtowny wzrost rozwarcia szczeliny natychmiast po pęknięciu próbki. W przypadku włókien falowanych taki wzrost również występuje, ale jest on zdecydowanie mniejszy. Elementy zbrojone włóknami falowanymi wykazały najwyższą granicę proporcjonalności (6,64 MPa), co oznacza, że były w stanie przenosić większe obciążenia, zanim doszło do pęknięcia próbki. Elementy z kordem stalowym oraz włóknami haczykowatymi również wykazały wysoką granicę proporcjonalności, odpowiednio 6,56 MPa oraz 6,42 MPa, co potwierdza ich skuteczność zastosowanych włókien jako zbrojenia rozproszonego, pozwalającego na uzyskanie dobrych wyników wytrzymałościowych przy początkowych obciążeniach. Elementy zbrojone mikrowłóknami stalowymi charakteryzowały się najniższymi wartościami granicy proporcjonalności (5,15MPa).

Zgodnie z klasyfikacją zawartą w Model Code 2010 [19] dla fibrobetonów badane betony można zakwalifikować do następujących klas:

- Beton zbrojony kordem stalowym 4b.
- Beton zbrojony włóknami haczykowatymi 5c.
- Beton zbrojony włóknami falowanymi 4a.
- Beton zbrojony mikrowłóknami stalowymi 2,5a.

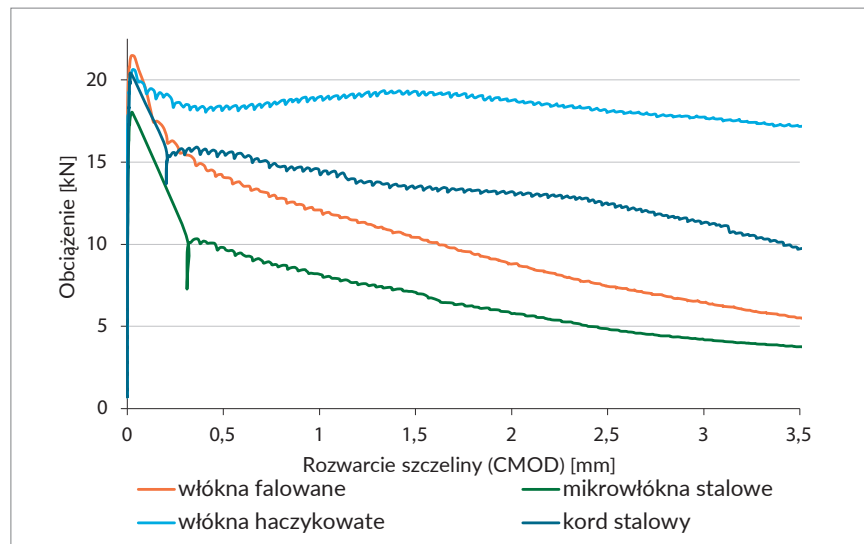
Według Model Code [19] wszystkie zastosowane włókna spełniają warunek $f_{R.3}/f_{R.1} > 0,5$ oraz $f_{R.1}/f_{R.LOP} > 0,4$, co oznacza, że można je zastosować w celu częściowego zastąpienia konwekcyjnego zbrojenia.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że beton wytworzony z kruszywa uzyskanego z odpadów porcelanowych, zbrojony kordem stalowym, ma parametry wytrzymałościowe zbliżone do tradycyjnych betonów.

Tab. 4. Wyniki badań konsystencji oraz cech wytrzymałościowych

Rodzaj zbrojenia rozproszonego	Konsystencja [s]	Średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Średni moduł sprężystości [GPa]
Włókna haczykowate	9,1	47,9	40,4
Włókna falowane	8,9	57,0	38,4
Mikrowłókna stalowe	9,6	52,6	35,9
Kord stalowy	9,9	59,5	38,1



Rys. 4. Wybrane krzywe zależności siła–rozwarcie szczeliny dla badanych mieszanek

Oznacza to, że zastosowanie takiego rodzaju betonu może być efektywną alternatywą w budownictwie, pozwalając przy tym zachować odpowiednią wytrzymałość konstrukcji. Dodatkowo analizy wykazały, że beton zbrojony kordem stalowym ma parametry wytrzymałościowe, które są na poziomie zbliżonym do betonów zbrojonych innymi typami włókien. Wytrzymałość na ściskanie elementów zbrojonych kordem stalowym jest wyższa od elementów zbrojonych włóknami haczykowatymi o 19,5%, włóknami falowanymi o 4,2%, mikrowłóknami stalowymi o 11,6%. Oznacza to, że kord stalowy może być skutecznie stosowany jako materiał zbrojeniowy w różnych typach betonu, nie ustępując innym popularnym rozwiązaniom pod względem wytrzymałości. Badania potwierdziły również, że zarówno materiały z włóknami komercyjnymi, jak i kord stalowy mogą być stosowane jako częściowe zamienniki tradycyjnego zbrojenia [19]. Najwyższe wyniki wytrzymałości resztkowych uzyskano

dla włókien haczykowatych. Może to wynikać z faktu, że po zarysowaniu elementu włókna natychmiast przenoszą naprężenia rozciągające. W przypadku włókien o nieregularnym kształcie musi dojść do wyprostowania włókna w obszarze pęknięcia, aby mogło przenieść obciążenie. Możliwość częściowego lub całkowitego zastąpienia tradycyjnego zbrojenia tymi materiałami otwiera nowe perspektywy w projektowaniu i realizacji konstrukcji betonowych, zapewniając przy tym niezbędne parametry nośności. Co więcej, wykorzystanie odpadów ceramicznych jako kruszywa do produkcji betonu może przyczynić się do znacznego zmniejszenia ilości odpadów trafiających na składowiska oraz ogranicza zużycie naturalnych surowców. W ten sposób stosowanie takiego betonu nie tylko wspiera ideę zrównoważonego rozwoju, ale również prowadzi do realnej ochrony środowiska naturalnego poprzez redukcję emisji CO₂ i oszczędność energii niezbędnej do produkcji nowych materiałów.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 2021/C 465/03 Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 10 lutego 2021 r. w sprawie nowego planu działania dotyczącego gospodarki o obiegu zamkniętym (2020/2077(INI)).
- [2] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- [3] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów.
- [4] M. Zakrzewski, J. Domski, Analysis of rheological properties of cement composites based on waste materials, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2023.
- [5] S. Seiti et al., Change of Fatigue and Mechanical Fracture Properties of a Cement Composite due to Partial Replacement of Aggregate by Red Ceramic Waste, „Periodica Polytechnica Civil Engineering”, Jan. 2019, doi: 10.3311/PPci.12450.
- [6] A.I. Çelik et al., Mechanical Behavior of Crushed Waste Glass as Replacement of Aggregates, „Materials”, vol. 15, no. 22, p. 8093, Nov. 2022, doi: 10.3390/ma15228093.
- [7] S.A. Hosseini, Application of various types of recycled waste materials in concrete constructions, „Advances in concrete construction”, vol. 9, no. 5, s. 479–489, 2020.
- [8] Ö. Zeybek et al., Influence of Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete, „Materials”, vol. 15, no. 21, p. 7513, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15217513.
- [9] T.K.M. Ali, N. Hilal, R.H. Faraj, and A.I. Al-Hadithi, Properties of eco-friendly pervious concrete containing polystyrene aggregates reinforced with waste PET fibers, „Innovative Infrastructure Solutions”, vol. 5, no. 3, p. 77, Dec. 2020, doi: 10.1007/s41062-020-00323-w.
- [10] A.A. Mohammed and A.A.F. Rahim, Experimental behavior and analysis of high strength concrete beams reinforced with PET waste fiber, „Constr Build Mater”, vol. 244, p. 118350, May 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118350.
- [11] J. Zhou, T. Kang, F. Wang, Pore structure and strength of waste fiber recycled concrete, „J Eng Fiber Fabr”, vol. 14, Jan. 2019, doi: 10.1177/1558925019874701.
- [12] EN 1766:2017, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Reference concretes for testing.
- [13] M. Zakrzewski, J. Domski, Cracking Behavior and Deflections in Recycled-Aggregate Beams Reinforced with Waste Fibers Subjected to Long-Term Constant Loading, „Materials”, vol. 16, no. 10, p. 3622, May 2023, doi: 10.3390/ma16103622.
- [14] M. Pająk, M. Krystek, M. Zakrzewski, J. Domski, Laboratory Investigation and Numerical Modelling of Concrete Reinforced with Recycled Steel Fibers, „Materials”, vol. 14, no. 8, p. 1828, Apr. 2021, doi: 10.3390/ma14081828.
- [15] J. Domski, J. Katzer, M. Zakrzewski, T. Ponikiewski, Comparison of the mechanical characteristics of engineered and waste steel fiber used as reinforcement for concrete, „J Clean Prod”, vol. 158, s. 18–28, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.165.
- [16] S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin, T.V. Zyzina, N.V. Mozgovoj, Flexural strength of fiber reinforced concrete structures, „J Phys Conf Ser”, vol. 1889, no. 2, s. 022075, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1889/2/022075.
- [17] W. Abbass, M.I. Khan, S. Mourad, Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete, „Constr Build Mater”, vol. 168, s. 556–569, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.164.
- [18] EN 14651:2005, Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual), 2005.
- [19] Model Code 2010. In Final draft, fib Bulletin 66, v. 2, 2012; Comité Euro-International du Béton – Fédération International de la Précontrainte: Paris, France, 2010.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.8450

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Ekman Weronika, Wrzesień Zuzanna, Kuziak Marcelina, Fedrau Karol, Zakrzewski Mateusz, 2024, Analiza właściwości betonu na bazie odpadów porcelanowych zbrojonych włóknami stalowymi różnego typu, „Builder” 12 (329). DOI: 10.5604/01.3001.0054.8450

STRESZCZENIE:

Celem wykonanych badań była analiza właściwości betonu na bazie odpadów porcelanowych zbrojonych włóknami stalowymi różnego typu. Odpady porcelanowe wykorzystano jako kruszywo do betonu. Badaniom poddano cztery mieszanki z różnym rodzajem włókien, kord stalowy pozyskiwany ze

zużytych opon samochodowych, włókna falowane, haczykowate oraz mikrowłókna stalowe. Program badań obejmował określenie wytrzymałości na ściskanie oraz modułu sprężystości na próbkach walcowych o wymiarach 150 × 300 mm. Ponadto określono wytrzymałości resztkowe badanych mieszanek. W tym celu przeprowadzono test trzypunktowego zginania na belkach o wymiarach 150 × 150 × 600 mm. Uzyskane podczas badań wyniki pozwoliły na sformułowanie wniosków, że zastosowanie materiałów odpadowych w postaci kruszywa odpadowego oraz kordu stalowego do produkcji betonu o parametrach wytrzymałościowych zbliżonych do betonu tradycyjnego w praktyce przyczyni się do redukcji odpadów oraz wykorzystania nieodnawialnych materiałów mineralnych.

SŁOWA KLUCZOWE:

fibrobeton, włókna odpadowe, materiały odpadowe, kord stalowy, wytrzymałość resztkowa

ABSTRACT:

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF CONCRETE BASED ON PORCELAIN WASTE REINFORCED WITH VARIOUS TYPES OF STEEL FIBERS. The conducted research aimed to analyze the properties of concrete based on porcelain waste reinforced with various types of steel fibers. Porcelain waste was used as aggregate for the concrete. Four mixtures with different types of fibers were tested: steel cord obtained from used car tires, wavy fibers, hook-shaped fibers, and steel microfibers. The research program included determining the compressive strength and modulus of elasticity on cylindrical samples with dimensions of 150 × 300 mm. Additionally, the residual strengths of the tested mixtures were determined. For this purpose, a three-point bending test was conducted on beams with dimensions of 150 × 150 × 600 mm. The results obtained from the research allowed for the formulation of conclusions that waste materials in the form of waste aggregate and steel cord in concrete production achieve strength parameters similar to traditional concrete. Applying such a solution in practice will contribute to waste reduction and the conservation of non-renewable mineral materials.

KEYWORDS:

fiber concrete, waste fibers, waste materials, steel cord, residual strength