

mgr inż. Mateusz Moj^{1*)}
 ORCID: 0000-0002-4228-8044
 inż. Tomasz Walerus¹⁾
 ORCID: 0009-0007-9452-7952

Investigation into the influence of vinyl polyester fibers on the basic properties of cement composites

Badanie wpływu włókien winylowo-poliestrowych na podstawowe właściwości kompozytów cementowych

DOI: 10.15199/33.2025.09.12

Abstract. The purpose of this study was to evaluate the effect of vinyl-polyester waste fibers on the properties of fresh and hardened cement mortars. Mortars containing 1%, 2% and 4% fibers of different fractions were analyzed. The results showed that the addition of up to 1% does not significantly affect mortar parameters, while higher dosage causes deterioration. These fibers may be a useful component of mortars in the context of recycling waste materials and reducing the environmental impact of construction.

Keywords: fibers; waste material; mechanical performances; cement composite; concrete.

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wpływ włókien winylowo-poliestrowych pochodzących z odpadów na właściwości świeżych i stwardniałych zapraw cementowych. Analizie poddano zaprawy zawierające 1, 2 i 4% włókien o różnej frakcji. Wyniki wykazały, że dodatek do 1% nie wpływa istotnie na parametry zaprawy, natomiast większe dozowanie powoduje ich pogorszenie. Badane włókna mogą stanowić użyteczny składnik zapraw w kontekście recyklingu materiałów odpadowych i ograniczania wpływu budownictwa na środowisko.

Słowa kluczowe: włókna; materiał odpadowy; parametry mechaniczne; kompozyt cementowy; beton.

Despite the development of the media and the Internet, posters are an integral part of mass media [1]. A large number of vinyl and polyester posters are particularly visible during election campaigns or large-scale advertising campaigns. According to available data, up to 3,000 tons of posters are used in Poland during a single election campaign, and there is still no clear path for their recycling [2]. Other countries are also struggling with this problem, and, like Poland, are introducing the obligation to remove materials from public spaces shortly after the elections [1]. After their useful life, these materials should be dismantled, at which point they become waste that is difficult to store, for which no preferred method of recycling or reuse has been specified.

Cement composites are one of the most widely used materials in the world [3]. Interest in them is also growing in terms of the opportunity to utilize or store waste materials of various origins [4]. Recently, there has been a particular increase in interest in this topic (Figure 1), which may be related to the trend towards sustainable development and environmental protection. Materials treated as post-production waste or municipal waste have been used in the production of cement composites since the 1970s [5]. The most popular methods of using additives in concrete and mortar are as a cement substitute [6], aggregate substitute [7], or as an additional material [8]. The form of the additive depends mainly on how it is obtained. Among the various forms of textile materials, fibers are the most common [9].

Pomimo rozwoju mediów i internetu plakaty są nieodłączną częścią środków masowego przekazu [1]. Duża liczba plakatów z materiałów winylowo-poliestrowych jest szczególnie widoczna m.in. w okresie kampanii wyborczych lub szeroko zakrojonych akcji reklamowych. Z dostępnych danych wynika, że w Polsce podczas jednej kampanii wyborczej zużywa się nawet do 3 tys. ton tworzyw sztucznych, a kwestie ich recyklingu wciąż nie mają jasno określonej ścieżki postępowania [2]. Z tym problemem zmagają się również inne kraje, które podobnie jak Polska wprowadzają obowiązek usuwania materiałów z przestrzeni publicznej w krótkim okresie po wyborach [1]. Po okresie przydatności materiały te powinny być zdemontowane, a wtedy stają się uciążliwym w składowaniu odpadem, w przypadku którego nie określono preferowanego sposobu recyklingu lub ponownego użycia.

Kompozyty cementowe są jednym z najbardziej rozpowszechnionych materiałów na świecie [3]. Zwiększa się również zainteresowanie nimi w kategorii szansy na utylizację lub magazynowanie w nich materiałów odpadowych różnego pochodzenia [4]. W ostatnim czasie obserwuje się wzrost zainteresowania tym tematem (rysunek 1), co może być związane z trendem zrównoważonego rozwoju i dbania o środowisko. Materiały traktowane jako odpady poprodukcyjne lub odpady gospodarcze już od lat siedemdziesiątych znajdują zastosowanie w produkcji kompozytów cementowych [5]. Najczęściej dodatki do betonów i zapraw stosowane są jako zamiennik cementu [6], kruszywa [7] lub jako materiał dodatkowy [8]. Forma dodatku zależy głównie od sposobu jego pozyskania. Najbardziej rozpowszechnione są włókna [9].

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Correspondence address: mateusz.moj@pwr.edu.pl

When analyzing keywords in the Scopus database, despite considerable interest in the utilization of waste materials in concrete, the topic of fibers that can be obtained, for example, from polyester-vinyl election posters is not recognized (Table 1). Publications on polyester fibers focus mainly on materials from the textile and clothing industry, ignoring waste that also contains vinyl. The suggestion that these fibers behave problematically in concrete at volumes of up to 0.6%, causing hairline microcracks, should not cause drastic changes in strength properties [10].

For fresh mixtures, it has been observed that there is a correlation between an increase in the quantity and size of fibers and a decrease in the workability of the mixture [11]. The use of fibers requires determining the appropriate quantity in concrete. An important aspect may be the brittleness of the finished material. Due to the limited knowledge of the use of waste additives in the form of polyester-vinyl fibers on the properties of cement composites, it is difficult to determine the predicted impact and conditions for adding this material to the mixture.

This study concerns the effect of adding waste vinyl-polyester fibers from shredded election posters in a weight ratio of 1 – 4% of the mixture on the basic properties of fresh and hardened cement mortars. It is an attempt at a sustainable approach to the environmentally friendly disposal of waste from posters and banners. The result of this work may be the identification of a simple and innovative method of dealing with the above-described waste material.

Materials and methods

Materials. CEM I 42.5 cement was used as a binder for the tests. The cement composition includes 95% Portland clinker and up to 5% secondary additives. The initial setting time of the cement used exceeds 60 minutes. Axton sand with a fraction range of 0.5 – 1.4 mm was used as aggregate. Water from the municipal water supply system was used to prepare the composites. The water-cement ratio for all samples is 0.5. In addition, Soudaplast MZ Soudal plasticizer was used. The exact proportions of the prepared mortars are given in Table 2.

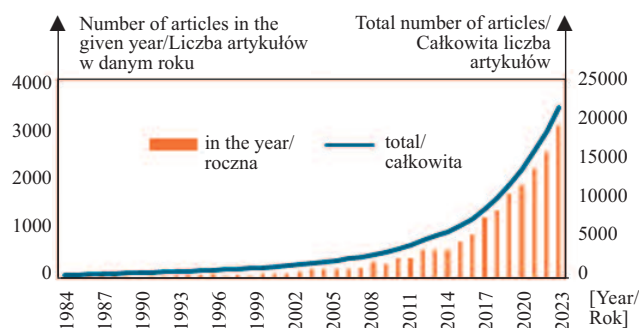


Fig. 1. Research interest in the topic of waste disposal in concrete based on publications in the Scopus database

Rys. 1. Zainteresowanie tematyką utylizacji odpadów w betonie na podstawie publikacji w bazie Scopus

Table 1. Results of publication searches based on keywords in the Scopus database

Tabela 1. Wyniki wyszukiwania publikacji na podstawie słów kluczowych w bazie Scopus

Keywords/Słowa kluczowe	Search results/Wyniki wyszukiwania
Concrete + waste material/ Beton + materiał odpadowy	22 272
Concrete + waste material + fibers/ Beton + materiał odpadowy + włókna	3 056
Concrete + waste material + fibers + polyester/ Beton + materiał odpadowy + włókna + poliester	70
Concrete + waste material + fibers + polyester + vinyl/ Beton + materiał odpadowy + włókna + poliester + winyl	0

ga określenia odpowiedniej ich ilości w betonie. Istotnym aspektem może być kruchość gotowego materiału. Ze względu na znikome rozpoznanie zastosowania dodatków odpadowych w formie włókien poliestrowo-wynylowych na właściwości kompozytów cementowych trudno jest określić prognozowany wpływ i warunki dodawania tego materiału do mieszanki.

Artykuł dotyczy wpływu dodatku odpadowych włókien winylowo-poliestrowych, pochodzących z rozdrobnionych plakatów wyborczych, w ilości wagowej 1 – 4% mieszanki na podstawowe właściwości świeżych i stwardniałych zapraw cementowych. Jest to próba zrównoważonego podejścia do utylizacji odpadów z plakatów i banerów w sposób przyjazny środowisku. Efektem pracy może być wskazanie jednocześnie prostej i innowacyjnej metody postępowania z opisanym materiałem odpadowym.

Materiały i metody badań

Materiały. Do badań użyto cementu CEM I 42,5 jako spoiwa. Skład cementu obejmuje zawartość do 95% klinkieru portlandzkiego oraz do 5% dodatków wtórnych. Czas początku wiązania zastosowanego cementu przekracza 60 min. Jako kruszywo zastosowano piasek o frakcji w zakresie 0,5 – 1,4 mm. Do przygotowania kompozytów użyto wody pobranej z miejskiej sieci wodociągowej. Stosunek wodno-cementowy wszystkich próbek wynosi 0,5. Dodatkowo, zastosowano plastifikator. Dokładne proporcje przygotowanych zapraw zawarto w tabeli 2.

Analizując słowa kluczowe w bazie Scopus, można zauważyć, że mimo dużego zainteresowania utylizacją materiałów odpadowych w betonie, temat włókien, jakie można pozyskać np. z plakatów wyborczych o konstrukcji poliestrowo-wynylowej, nie jest rozpoznany (tabela 1). Publikacje dotyczące włókien poliestrowych skupiają się przede wszystkim na materiałach z branży tekstylnej i odzieżowej, pomijając odpady zawierające również winyl. Zastosowanie włókien w betonie w ilości do 0,6% jego objętości powoduje mikropęknięcia włoskowate, ale nie powinno prowadzić do drastycznych zmian w przypadku właściwości wytrzymałościowych [10].

W przypadku świeżych mieszanek zauważono, że istnieje zależność między zwiększeniem ilości i rozmiaru włókien a obniżeniem urabialności mieszanki [11]. Stosowanie włókien wymaga





The tests consist of adding a variable amount of fibers to the mortar, which were obtained by shredding advertising and election banners. These banners consist mainly of two materials – vinyl film and polyester mesh [12] (Photo 1). A mechanical cup device with a rotating blade was used for shredding. The fibers were then further segregated by screening through 4 mm (CVF) and 1 mm (VF). During screening, the polyester itself was discarded, as after shredding it formed compact clumps resembling cotton wool, which would be difficult to distribute evenly in the mixture.

Preparation of samples.

The tests were carried out for mixtures with three fiber proportions: 1%, 2%, and 4% in relation to the total weight of the cement mixture components (4.5%, 9%, and 18% in relation to the weight of cement, respectively), modifying the reference mortar with a composition compliant with standard [13]. The preparation of the mixture began with the accurate weighing of individual components, i.e., cement, sand, water, plasticizer, and polyester-vinyl fibers. Next, the prepared dry components (cement, sand, fibers) were poured into the mixer, while the water and plasticizer, which are liquid components, were mixed separately in a separate vessel. The first stage was the initial mixing of the dry components with the addition of approximately 1/3 of the volume of mixed water with a superplasticizer. Then, the remaining liquid components were added and mechanical mixing was continued. In the second stage, samples measuring 40 × 40 × 160 mm were formed. First, the molds were coated with a non-stick coating. The concrete mixture was placed in the molds in two layers – halfway up and to the full height of the mold, compacting after each stage. After demolding, they were cured in water for 28 days.

The symbols used in the series description are as follows: numbers from 1 to 4 indicate the percentage by weight of fibers added to the mortar calculated in relation to the weight of all components of the reference mixture. The designation VF is used for fine vinyl fibers, while the designation CVF is used for coarse vinyl fibers.

Consistency. The consistency test was performed using the flow table method. After preparing and compacting the mixture in the mold, 15 cycles of raising and lowering the table plate were performed. Finally, the flow was measured in two perpendicular directions, which allowed the consistency to be determined in accordance with the standard [14].

Table 2. Composition of the tested cement mixtures

Tabela 2. Skład badanych mieszanek cementowych

Series/ Seria	CEM I [g]	Fine aggregate [g]/ Kruszywo drobne [g]	W/C [-]	Plasticizer [g]/ Plastyfikator [g]	Vinyl polyester fibers [g]/Włókna winylovo- -poliestrowe [g]
REF					–
VF1					20,4
VF2					40,8
VF4	450	1350	0,5	14,5	81,6
CVF1					20,4
CVF2					40,8
CVF4					81,6

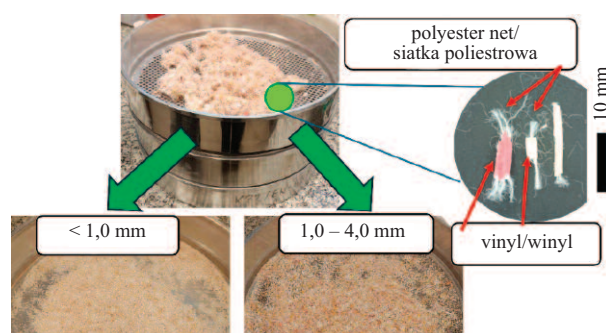


Photo 1. Polyester-vinyl fibers after mechanical shredding and sieving

Fot. 1. Włókna poliestrowo-winyłowe po mechanicznym rozdrobieniu i przesiewaniu

Badania polegają na dodaniu do zaprawy zmiennej ilości włókien, które uzyskano przez rozdrobienie banerów reklamowych i wyborczych. Banery te składają się głównie z dwóch materiałów – folii winylowej oraz siatki poliestrowej [12] (fotografia 1). Do rozdrobienia zastosowano mechaniczne urządzenie kielichowe z obrotowym ostrzem. Następnie włókna zostały poddane dalszej segregacji przez przesiew przez sita 4 mm (CVF) i 1 mm (VF). Podczas przesiewu odrzucono poliester, przypominający po rozdrobieniu watę, którą trudno byłoby rozproszyc równomiernie w mieszance.

Przygotowanie próbek.

Przeprowadzono badania mieszanek zawierających 1, 2 i 4% włókien w stosunku do całkowitej masy składników mieszanki cementowej (odpowiednio 4,5, 9 i 18% względem masy cementu), modyfikując zaprawę referencyjną o składzie zgodnym

z normą [13]. Wykonywanie mieszanki rozpoczęto dokładnym odważeniem poszczególnych składników, tj. cementu, piasku, wody, plastyfikatora oraz włókien poliestrowo-winyłowych. Następnie wsypano do mieszalnika suche składniki (cement, piasek, włókna), natomiast wodę i plastyfikator, stanowiące składniki ciekłe, wymieszano osobno w oddzielnym naczyniu. Pierwszym etapem było wstępne mieszanie suchych składników z dodatkiem ok. 1/3 objętości zmieszanej wody z superplastyfikatorem. Następnie dodano pozostałą część składników ciekłych i dalej mieszano mechanicznie. W drugim etapie przystąpiono do formowania próbek o wymiarach 40 × 40 × 160 mm. W pierwszej kolejności zabezpieczono formy powłoką antyadhezyjną. Mieszanke betonową umieszczano w formach w dwóch warstwach – do połowy wysokości i do pełnej wysokości formy, zagęszczając po każdym etapie. Po rozformowaniu pielęgnowano je w wodzie przez 28 dni.

Oznaczenia stosowane w opisie serii są następujące: liczby od 1 do 4 określają wartość procentową masy dodanych włókien do zaprawy, obliczoną w stosunku do masy wszystkich składników mieszanki referencyjnej, VF przyjęto jako włókna winylovo-poliestrowe frakcji drobnej (ang. *vinyl fibers*), natomiast CVF, to włókna frakcji grubej (ang. *coarse vinyl fibers*).

Konsystencja. Badanie konsystencji przeprowadzono za pomocą metody stolika rozplywowego. Po przygotowaniu i zagęszczeniu mieszanki w formie, wykonano 15 cykli podnoszenia i opuszczania płyty stolika. Na zakończenie zmierzono rozpliw w dwóch prostopadłych kierunkach, co pozwoliło określić konsystencję zgodnie z normą [14].



Density of the cement mixture. The density test is performed using a vessel of known volume and mass, which is filled with cement mixture and then compacted. After the mold is completely filled, the mass of the mixture is measured and the density is calculated [15].

Absorption capacity. Water absorption was determined as the percentage ratio of the mass of water filling the pores in the sample to the mass of the sample in a dry state. Samples are dried to a constant mass at $105 \pm 5^\circ\text{C}$. After measuring and weighing the sample, it is placed in water until it is fully saturated, i.e., until the change in sample mass fluctuates within 0.5% of the previous measurement. For the tested samples, this occurred after 48 hours. Immersion was carried out gradually so as not to trap air in the pores of the cement mortar [16].

Flexural strength, compressive strength, and brittleness. Bending and compression strength tests were performed on three beams for each mixture in accordance with standard [17]. Brittleness describes the way in which a material breaks under load, i.e., the relationship between the basic mechanical properties of concrete. The lower the brittleness, the greater the number of cracks that appear on the element. The brittleness index is calculated as the ratio of flexural strength to compressive strength.

Results

Consistency. Figure 2 shows a graph of changes in the consistency of the mixture depending on the fraction and amount of additive used. It can be seen that as the volume of fiber additive increases, the flow value of the mixture decreases and its workability decreases. This may be due to the ability of the polyester part of the polyester-vinyl fiber to absorb mixing water, which has already been observed in studies on polyester fibers [18]. When 1% of fine fibers are added (sample VF1), the flow value decreases within the measurement error of 10 mm. For sample CVF1, the change is already 34 mm compared to the reference sample. At the same time, only in this case (CVF1) does the consistency of the sample with coarse fibers differ significantly from that with fine fibers (24 mm). The flow value of the mixture between VF2 and CVF2 in relation to the reference sample decreases by approx. 30%, and in the case of the mixture VF4 and CVF4 by approx. 40%. The above are average percentages, as the difference in flow between mixtures containing fine fibers (VF) and mixtures containing coarse fibers (CVF) when using the same amount of additive is within the reading error (5 mm), indicating that mixtures containing coarse fibers achieve slightly better workability.

It is assumed that the visible decrease in workability with an increase in the amount of

Gęstość mieszanki cementowej. Badanie gęstości wykonano z wykorzystaniem naczynia o znanej objętości i masie, które wypełnia się mieszanką cementową, a następnie zagęszcza. Po całkowitym wypełnieniu formy dokonuje się pomiaru masy mieszanki i oblicza gęstość [15].

Nasiąkliwość masową określono jako procentowy stosunek masy wody wypełniającej pory w próbce do masy próbki w stanie suchym. Próbkę suszy się do stałej masy w temperaturze $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Po zmierzeniu i zważeniu umieszcza się je w wodzie do pełnego nasączenia, czyli do momentu, w którym zmiana masy próbki waha się w granicach 0,5% do poprzedniego pomiaru. Na badanych próbkach następowało to po czasie 48 h. Zanurzanie odbywało się stopniowo, aby nie doprowadzić do zamknięcia powietrza w porach zapraw cementowych [16].

Wytrzymałość na zginanie i ściskanie oraz kruchość. Badanie wytrzymałości na zginanie i ściskanie przeprowadzono na trzech beleczkach w przypadku każdej z mieszanek zgodnie z normą [17]. Kruchość opisuje sposób, w jaki materiał ulega zniszczeniu pod wpływem działającego obciążenia, czyli zależność między podstawowymi właściwościami mechanicznymi betonu. Im mniejsza kruchość, tym większa liczba pęknięć pojawiających się na elemencie. Wskaźnik kruchości oblicza się jako stosunek wytrzymałości na zginanie do wytrzymałości na ściskanie.

Wyniki badań

Konsystencja. Rysunek 2 przedstawia zmianę konsystencji mieszanki w zależności od frakcji i ilości zastosowanego dodatku. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem objętości włókien, zmniejsza się wartość rozplywu mieszanki oraz jej urabialność. Może to być spowodowane zdolnością do pochłaniania wody zarobowej przez część poliestrową włókna poliestrowo-winylowego, co zauważono już w badaniach nad włóknami poliestrowymi [18]. Przy zastosowaniu 1% dodatku drobnych włókien (próbka VF1), wartość rozplywu zmniejsza się w granicach błędu pomiarowego 10 mm. W przypadku próbki CVF1 zmiana wynosi już 34 mm w stosunku do próbki referencyjnej. Jednocześnie tylko w tym przypadku (CVF1) konsystencja próbki z włóknami grubymi różni się znacznie od tej z włóknami drobnymi (24 mm). Wartość rozplywu mieszanki między VF2 i CVF2 zmniejsza się o ok. 30% w porównaniu z próbką referencyjną, a w przypadku mieszanki VF4 i CVF4 o ok. 40%. Podano uśrednione wartości procentowe,

ponieważ różnica rozplywu między mieszankami zawierającymi włókna drobne (VF) i włókna grube (CVF), przy zastosowaniu takiej samej ilości dodatku jest w granicach błędu odczytu (5 mm). Niewiele większą urabialność osiągają mieszanki zawierające włókna frakcji grubej.

Przypuszcza się, iż widoczny spadek urabialności, wraz ze wzrostem ilości dodanych włó-

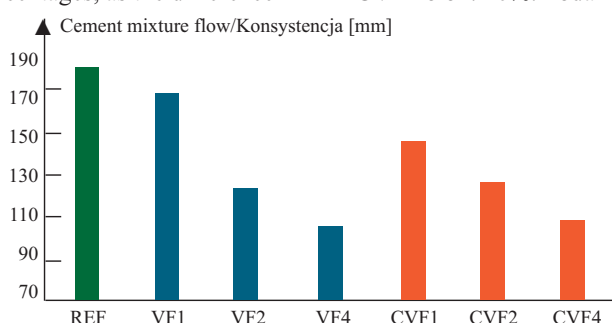


Fig. 2. Concrete mix consistency for the spread table method

Rys. 2. Wykres konsystencji mieszanki betonowej określona metodą stolika rozplywowego



added fibers is due to the water absorption of the fibers, especially the polyester part. A similar situation was described in an article describing the share of fibers from ground polyvinyl tarpaulin in concrete [19].

Density of the cement mixture. The test results are presented in Figure 3. Compared to the reference sample, the cement mixture with 1% fiber content (VF and CVF) increases its density by 0.05 g/cm³. Mixtures with a fiber content of 2% oscillate around a density equal to the REF series, while mixtures with a content of 4% achieve a density lower than the reference mixture by an average of 0.10 g/cm³. The slight increase in density for the VF1 and CVF1 samples may be related to the filling of free pores in the cement mixture with polyester-vinyl fibers. Increasing the amount of additive leads to a decrease in density, which may be related to the lower weight of the fibers compared to the other components of the mixture. A similar result was obtained by researchers adding cellulose fibers to cement composites [20].

Absorption capacity.

The average results of the calculated porosity are presented in Figure 3. The samples were compared with each other in terms of fraction and amount of additive used. It was noted that for VF samples, porosity increases with the amount of fiber additive in hardened cement mortars. For samples containing fibers of the 1 – 4 mm fraction, there is no such linear relationship. A significant increase in porosity was only observed when 4% fibers were added. In addition, greater porosity was obtained in composites with a fine fiber fraction of 2% and 4% compared to the coarse fraction with the same amount. This may be due to the increased amount of fine polyester filament fibers, which ended up in the <1 mm fraction during the screening process. A correlation was observed between density and mass water absorption (particularly in samples with fine fiber fractions), as mass water absorption of cement mortars increases with decreasing density.

Flexural strength, compressive strength, and brittleness. The results of flexural strength $f_{ct,f}$ and compressive strength f_{ck} tests (Table 3) were used to determine the brittleness of the composites. Photo 2 shows the samples after the strength tests. With an

kien, powstaje wskutek chłonności wody włókien, szczególnie części poliestrowej. Podobną sytuację ukazano w artykule opisyującym udział w betonie włókien pochodzących ze zmielonej plandeki poliwinylowej [19].

Gęstość mieszanki. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3. Względem próby referencyjnej mieszanka cementowa z zawartością 1% włókien (VF i CVF) zwiększa swoją gęstość o 0,05 g/cm³. Mieszanki z zawartością włókien 2% oscylują wokół gęstości równej serii REF, natomiast mieszanki z zawartością 4% osiągają gęstość mniejszą niż mieszanka referencyjna średnio o 0,10 g/cm³.

Niewielki wzrost gęstości w przypadku próbek VF1 i CVF1 może mieć związek z wypełnieniem wolnych porów mieszanki cementowej włóknami poliestrowo-winyłowymi. Zwiększenie ilości dodatku prowadzi do zmniejszenia gęstości, co może być związane z mniejszą wagą włókien w porównaniu z pozostałymi składnikami mieszanki. Podobny rezultat uzyskali badacze, dodając włókna celulozowe do kompozytów cementowych [20].

Nasiąkliwość masowa.

Uśrednione wyniki obliczonej porowatości przedstawiono na rysunku 3. Próbkę porównano ze sobą ze względu na frakcję i ilość zastosowanego dodatku. Zauważono, że w przypadku próbek VF wraz z wzrostem ilości dodatku włókien w stwardniałych zaprawach cementowych zwiększa się porowatość. W próbkach zawierających włókna frakcji 1 – 4 mm nie ma takiej zależności liniowej. Znaczny wzrost porowatości odnotowano dopiero przy dodaniu 4% włókien. Dodatkowo, zwiększenie porowatości uzyskano w kompozytach z drobną frakcją włókien w ilości 2 i 4% w porównaniu z frakcją grubą o tej samej ilości. Może to być spowodowane zwiększoną ilością włoskowatych włókien poliestrowych o drobnej frakcji, które w procesie przesiewania trafiły do zbioru < 1 mm. Zauważono korelację między gęstością a nasiąkliwością masową (szczególnie w próbkach z włóknami frakcji drobnej), ponieważ wraz ze zwiększeniem gęstości zwiększa się nasiąkliwość masowa zapraw cementowych.

Wytrzymałość na zginanie i ściskanie oraz kruchość. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie $f_{ct,f}$ i ściskanie f_{ck} (tabela 3) posłużyły do określenia kruchości kompozytów. Na fotografii 2 przedstawiono próbki po badaniach wytrzymałości.

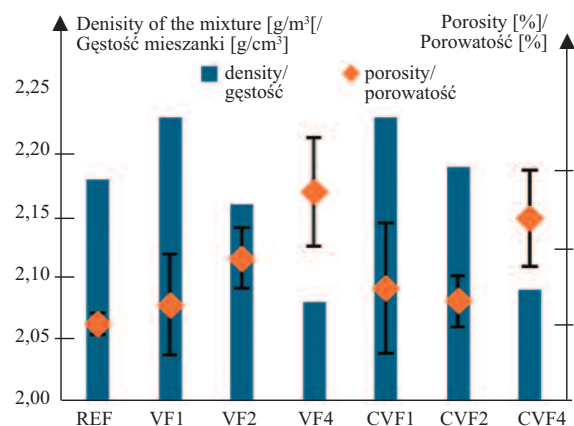


Fig. 3. Density of the concrete mix and porosity of the hardened cement composite for individual samples

Rys. 3. Gęstość mieszanki betonowej oraz porowatość stwardniałego kompozytu cementowego poszczególnych próbek

Table 3. The strength results of the tested cementitious composites

Tabela 3. Wyniki badania wytrzymałości kompozytów cementowych

Series/Seria	$f_{ct,f}$ [MPa]	f_{ck} [MPa]
REF	3,67	24,72
VF1	3,28	23,55
VF2	3,52	21,07
VF4	2,81	15,53
CVF1	3,52	21,93
CVF2	3,05	20,33
CVF4	2,58	14,20

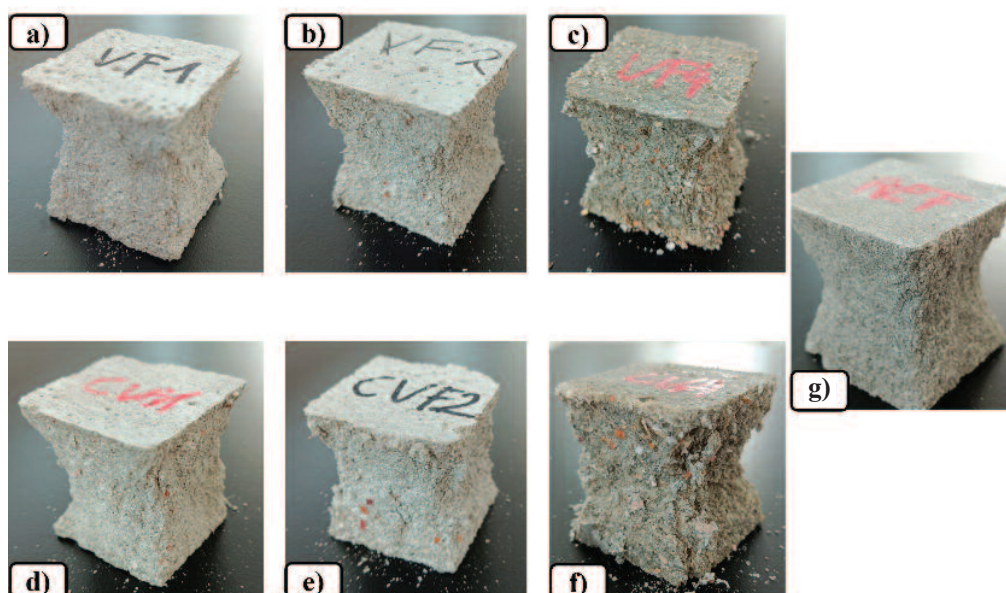


Photo 2. Samples after compressive strength testing: a) VF1; b) VF2; c) VF4; d) CVF1; e) CVF2; f) CVF4; g) REF
 Fot. 2. Próbkę po badaniu wytrzymałości na ściskanie: a) VF1; b) VF2; c) VF4; d) CVF1; e) CVF2; f) CVF4; g) REF

increase in the amount of additive, the shape of the ideal hourglass (REF) becomes more irregular and jagged, which is a result of the composite structure. A similar effect on cement composites was observed in a study of polyvinyl tarpaulin fiber additives [19], where the result was a reduction in compressive strength of approximately 10%. This is more than twice the decrease observed in this study, despite the use of an approximate amount of fiber additive relative to the cement mass (5% in [19] and 4.5% in this study (Figure 4)). The observed differences may be the result of different methods of fiber preparation.

The B brittleness results for the mortars are compared with their compressive strength results in Figure 5. It can be seen that the VF1 composite is the only one that is more brittle than the reference sample. The CVF2 sample achieved the same brittleness as the reference sample, while the other samples achieved a higher value for this indicator. The

Wraz ze wzrostem ilości dodatku kształt z idealnej klepsydry (REF) staje się bardziej nieregularny i postrzępiony, co jest pochodną struktury kompozytu. Podobny wpływ na kompozyt cementowy zaobserwowano w badaniu dodatku włókien z plandeki poliwinylowej [19], gdzie skutkiem było zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o ok. 10%. To ponaddwukrotnie większy spadek niż w przypadku badanym w tej pracy mimo zastosowania przybliżonej ilości dodatku włókien względem masy cementu (5% w [19] oraz 4,5% w prezentowanych badaniach) – rysunek 4. Zaobserwowane różnice mogą być efektem zróżnicowanych sposobów przygotowania włókien.

Wyniki kruchości B zapraw zestawiono z ich wynikami wytrzymałości na ściskanie na rysunku 5, z którego wynika, że kompozyt VF1 jest jako jedyny bardziej kruchy niż próbka referencyjna. Próbkę CVF2 osiągnęła taką samą kruchość jak referencyjna, a pozostałe uzyskały większą

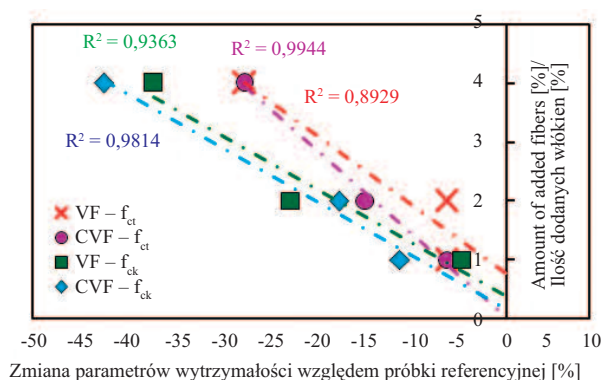


Fig. 4. The change in concrete compressive and flexural strength depending on the amount and type of fibers

Rys. 4. Zmiana wytrzymałości betonu na ściskanie i zginanie w zależności od ilości i rodzaju włókien

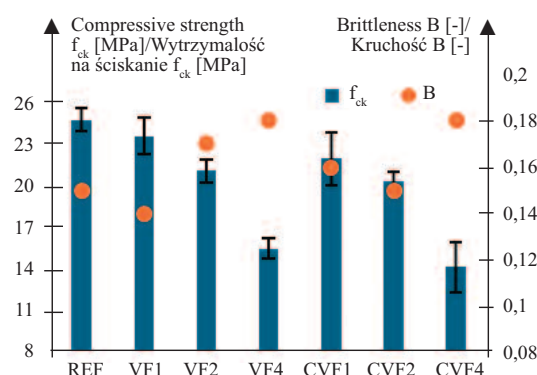


Fig. 5. Average compressive strength and brittleness
 Rys. 5. Średnia wytrzymałość na ściskanie i kruchość



lowest B brittleness was achieved by composites with the addition of polyester-vinyl fibers in an amount of 4% of the composite mass. The change in this property was approximately 20% compared to the REF sample. A similar relationship was observed by researchers [21] describing the effect of polypropylene fibers on concrete, where an addition of 1.5 kg/m³ resulted in the lowest brittleness. In these studies, as the amount of fiber added increased, the brittleness decreased, but significant decreases in compressive strength do not allow this fact to be considered a significant advantage.

Conclusions

After analyzing the results of tests on cement composites containing 1% to 4% polyester-vinyl fibers by weight of the composite, the following conclusions were developed, which are listed below.

- the disposal of advertising posters and banners in the form of shredded fibers is possible. It is recommended not to exceed 1% of the additive relative to the weight of the composite. This additive content has been determined as the limit value that does not contribute to a significant deterioration in the parameters of the finished material;
- as the fiber additive content increases, the consistency of the cement mixture decreases. This visible trend may be due to the ability of polyester to absorb mixing water. The solution to this problem would be to increase the amount of plasticizer in the mixture. Another solution could be to refine the method of grinding polyester-vinyl posters by separating their components, thus reducing the amount of polyester in the mixture;
- volume density shows an inverse relationship with porosity, indicating a clear correlation between these parameters. The highest density of the cement composite was obtained for mortars with 1% fiber addition, regardless of fraction distribution. At the same time, these mortars had the lowest porosity, which may be due to the filling of empty spaces with thin fibers. Increasing the amount of additive to 2% and 4% resulted in a decrease in density and an increase in mass water absorption, probably caused by the formation of new pores around the “flake-shaped” fibers;
- the highest brittleness among the tested samples with polyester-vinyl fibers was achieved by variant VF1. This means that the additive used had a greater impact on flexural strength than on compressive strength. The other samples containing the fiber additive showed lower brittleness compared to the reference sample. The increased air pore content causes significant decreases in compressive strength, while the fibers themselves have a much smaller effect on flexural strength, acting as dispersed reinforcement;
- it was considered valuable to conduct tests in the range of 0.1 – 1% of polyester-vinyl fiber additive in order to determine the optimal volume of these fibers. It was assumed that the optimal value falls within this range, based on the

wartość tego wskaźnika. Najniższą kruchość B uzyskały kompozyty z dodatkiem włókien poliestrowo-winylowych w ilości 4% masy kompozytu. Zmiana tej właściwości wynosiła ok. 20% względem próbki REF. Podobną zależność zauważyli badacze [21], opisujący wpływ włókien polipropylenowych na beton, u których dodatek w ilości 1,5 kg/m³ spowodował najmniejszą kruchość. W tych badaniach, wraz z wzrostem ilości dodatku włókien, zmniejszała się kruchość, ale duże spadki wytrzymałości na ściskanie nie pozwalają przyjąć tego jako zaletę.

Wnioski

Po analizie wyników badań kompozytów cementowych zawierających 1 ÷ 4% włókien poliestrowo-winylowych względem masy kompozytu opracowano następujące wnioski:

- utylizacja plakatów i banerów reklamowych w formie rozdrobnionych włókien jest możliwa. Zaleca się nie przekraczać wartości 1% dodatku względem masy kompozytu, gdyż taka zawartość dodatku została określona jako graniczna, która nie przyczynia się do znacznego pogorszenia parametrów gotowego materiału;
- wraz z wzrostem zawartości dodatku włókien następuje spadek konsystencji mieszanki cementowej. Rozwiązaniem tego problemu byłoby zwiększenie ilości plastyfikatora w mieszance. Innym rozwiązaniem może być dopracowanie metody rozdrabniania plakatów o konstrukcji poliestrowo-winyłowej, separując części składowe, tym samym ograniczając ilość poliestru w wykonanej mieszance;
- gęstość objętościowa wykazuje zależność odwrotną niż porowatość, co wskazuje na istnienie wyraźnej korelacji między tymi parametrami. Największą gęstość kompozytu cementowego uzyskano w przypadku zapraw z dodatkiem 1% włókien niezależnie od podziału na frakcje. Jednocześnie te zaprawy zanotowały najmniejszą porowatość, co może być spowodowane wypełnianiem pustych przestrzeni cienkimi włóknami. Zwiększając ilość dodatku do 2 i 4% odnotowano zmniejszenie gęstości oraz wzrost nasiąkliwości masowej spowodowany prawdopodobnie tworzeniem się nowych porów przy włóknach o kształcie „platkowym”;
- największą kruchość spośród badanych próbek z włóknami poliestrowo-winyłowymi osiągnął wariant VF1. Oznacza to większy wpływ zastosowanego dodatku na wytrzymałość na zginanie niż wytrzymałość na ściskanie. Pozostałe próbki zawierające dodatek włókien wykazywały mniejszą kruchość w porównaniu z próbą referencyjną. Zwiększona zawartość porów powietrza powoduje znaczne zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie, natomiast same włókna w znacznie mniejszym stopniu wpływają na wytrzymałość na zginanie, działając jak zbrojenie rozproszone;
- za wartościowe uznano badania próbek zawierających 0,1 – 1% dodatku włókien poliestrowo-winylowych, aby określić optymalną ilość objętościową tych włókien. Za-

literature cited in the study and the results of tests indicating a clear deterioration in the tested parameters when the limit value of 1% is exceeded.

Photos: authors

This article was supported by funding from a project supported by the National Center for Research and Development, No. LIDER 14/0084/2023: Synergy of plastic waste, construction waste from demolition, and other industrial waste for the construction of sidewalks and bicycle paths made from 100% recycled materials.

Received: 29.04.2025

Revised: 18.06.2025

Published: 19.09.2025

łożono, że wartość optymalna mieści się w tym przedziale, opierając się na przytoczonej w pracy literaturze i wynikach badań, wskazujących jednoznacznie pogorszenie badanych parametrów przy przekroczeniu wartości granicznej 1%.

Fot. autorzy

Artykuł został wsparty przez dofinansowanie w ramach projektu nr LIDER 14/0084/2023 Synergia odpadów tworzyw sztucznych, odpadów budowlanych z rozbiórki oraz innych odpadów przemysłowych do wykonywania chodników i ścieżek rowerowych w 100% z recyklingu, wspieranego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Artykuł wpłynął do redakcji: 29.04.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 18.06.2025 r.

Opublikowano: 19.09.2025 r.

Literature

- [1] Holtz-Bacha C, Johansson B. Posters: From Announcements to Campaign Instruments. In: Election Posters Around the Globe. Cham: Springer International Publishing. 2017; https://doi.org/10.1007/978-3-319-32498-2_1.
- [2] <https://samorzad.pap.pl/kategoria/aktualnosci/co-zrobic-z-banarami-wyborczymi-wsrod-rozwiazan-ekotorby-i-wzmocnienia-okopow> – data dostępu: 24.07.2025.
- [3] Petek Gursel A, Masanet E, Horvath A, Stadel A. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. Cem Concr Compos. 2014; <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2014.03.005>.
- [4] Ahmad W, Ahmad A, Ostrowski KA, Aslam F, Joyklad P. A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. Case Studies in Construction Materials. 2021; <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2021.E00683>.
- [5] Gutt W. The use of by-products in concrete. Resources Policy. 1974; [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(74\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0301-4207(74)90005-1).
- [6] Paris JM, Roessler JG, Ferraro CC, Deford HD, Townsend TG. A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. J Clean Prod. 2016; <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.013>.
- [7] Harrison E, Berenjian A, Seifan M. Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials. Environmental Science and Ecotechnology. 2020; <https://doi.org/10.1016/J.ESE.2020.100064>.
- [8] Abdulfattah O, Alsurakji IH, El-Qanni A, Samaaneh M, Najjar M, Abdallah R, Assaf I. Experimental evaluation of using pyrolyzed carbon black derived from waste tires as additive towards sustainable concrete. Case Studies in Construction Materials. 2022; <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E00938>.
- [9] Suksiripattanapong C, Phetprapai T, Singsang W, Phetchuay C, Thumrongvut J, Tabyang W. Utilization of Recycled Plastic Waste in Fiber Reinforced Concrete for Eco-Friendly Footpath and Pavement Applications. Sustainability (Switzerland). 2022; <https://doi.org/10.3390/su14116839>.
- [10] Bayraktar OY, Tunçtan M, Benli A, Türkel I, Kizilay G, Kaplan G. A study on sustainable foam concrete with waste polyester and ceramic powder: Properties and durability. Journal of Building Engineering. 2024; <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.110253>.

- [11] Fode TA, Chande Jande YA, Kivevele T. Physical, mechanical, and durability properties of concrete containing different waste synthetic fibers for green environment – A critical review. Heliyon. 2024; <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E32950>.
- [12] Bompa DV, Xu B, Elghazouli AY. Constitutive modelling and mechanical properties of cementitious composites incorporating recycled vinyl banner plastics. Constr Build Mater. 2021; <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122159>.
- [13] PN-EN 196-7:2016 Metody badania cementu – Część 7: Metody pobierania i przygotowania próbek cementu. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [14] PN-EN 1015-3:2000 Metody badań zapraw do murów – Część 3: Określenie konsystencji świeżej zaprawy. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [15] PN-EN 1015-6:2000 Metody badań zapraw do murów – Część 6: Określenie gęstości objętościowej świeżej zaprawy. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [16] PN-85/B-04500 Zaprawy budowlane. Badanie cech fizycznych i wytrzymałościowych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [17] PN-EN 1015-11:2020 Metody badań zapraw do murów – Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [18] Dhakal HN, Zhang ZY, Richardson MOW. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. Compos Sci Technol. 2007; <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITECH.2006.06.019>.
- [19] Salim TA, Abas NH, Shahidan S, Deraman R, Hasmori MF, Nagapan S, Ghing TY, Abas NA. Investigation on the Influence of Non-Degradable Polyvinyl Tarpaulin in Concrete Mixture. Sustainable Construction and Building Technology. 2018; 71; 71 – 82.
- [20] Hospodarova V, Stevulova N, Briancin J, Kostelanska K. Investigation of waste paper cellulosic fibers utilization into cement based building materials. Buildings. 2018; <https://doi.org/10.3390/buildings8030043>.
- [21] Chajec A, Sadowski Ł. The effect of steel and polypropylene fibers on the properties of horizontally formed concrete. Materials. 2020; <https://doi.org/10.3390/ma13245827>.

