

dr hab. inż. Waclaw Brachaczek, prof. ATH<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-4782-8409

mgr inż. Adam Chleboś<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0003-3429-8098

# Badania nad zastosowaniem włókien odpadowych i z recyklingu w płytach cementowych i gipsowych

## *Research of using waste and recycled fibers in cement and gypsum boards*

DOI: 10.15199/33.2022.03.05

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu włókien odpadowych z branży garbarskiej i tekstylnej na wytrzymałość na zginanie zapraw cementowych i gipsowych w aspekcie wykorzystania ich do produkcji płyt okładzinowych. Badania przeprowadzono na próbkach zapraw zawierających spoiwo cementowe i gipsowe o wymiarach 12 x 75 x 150 mm. Większy wpływ na poprawę właściwości wytrzymałościowych miały włókna odpadowe w kompozytach zawierających cement. Stwierdzono, że pomimo znacznego zróżnicowania włókien ich dodatek poprawił wytrzymałość na zginanie, co uzasadnia ich zastosowanie w produkcji materiałów stosowanych w budownictwie.

**Słowa kluczowe:** włókna odpadowe; włókna wełniane; zaprawy cementowe; zaprawy gipsowe; wytrzymałość na zginanie.

**Abstract.** The article presents the results of research on the influence of waste fibers from the tanning and textile industries on the flexural strength of cement and gypsum mortars in terms of their use for the production of facade boards. The tests were carried out on samples of mortars containing cement and gypsum with dimensions of 12 x 75 x 150 mm. Waste fibers in cement-containing composites had a greater impact on the improvement of strength properties. It was found that despite the significant diversification of fibers, their addition improved the flexural strength, which justifies their use in the production of building materials.

**Keywords:** waste fibers; wool fibers; cement mortars; gypsum mortars; flexural strength.

Zastosowanie włókien różnego pochodzenia pozwala na znaczną modyfikację właściwości zapraw cementowych. Prefabrykaty włókno-cementowe stosowane są w budownictwie od wielu lat. W celu poprawy ich właściwości mechanicznych stosowane są głównie włókna syntetyczne lub szklane w postaci rozproszonej [1]. Ideą zbrojenia rozproszonego jest otrzymanie materiału o dużej wytrzymałości na zginanie i rozciąganie. Włókna syntetyczne produkowane są na ogół z polimerów na bazie ropy naftowej, co związane jest z emisją CO<sub>2</sub>. Idealnym rozwiązaniem zapewniającym oszczędność energii i surowców oraz ograniczającym straty środowiskowe jest zastosowanie włókien pochodzących z recyklingu. Należą do nich m.in. włókna odpadowe z branży kuśniersko-garbarskiej mające szczególnie negatywny wpływ na środowisko. W ostatnich latach coraz częściej podejmowane są próby wykorzystywania wełny w różnej postaci w przemyśle budowlanym m.in. w celu wygłuszenia pomieszczeń oraz izolacji ciepł-

nej [2]. Wełna charakteryzuje się dużą elastycznością, odpornością chemiczną na działanie kwasów, dużą paroprzepuszczalnością, ognioodpornością oraz wytrzymałością na zrywanie [2, 3, 4]. Wiele doniesień w literaturze wskazuje na dobrą współpracę i przyczepność gipsu do włókien wełny owczej [5]. Ich dodatek wpływa na poprawę właściwości mechanicznych oraz izolacyjności termicznej kompozytów cementowych [6].

W artykule przedstawiono wyniki badań nad poprawą właściwości mechanicznych zapraw cementowych i gipsowych z zastosowaniem odpadowych włókien wełnianych, aramidowych, bawełnianych i poliestrowych oraz wykonanych z nich elementów do przegród budowlanych. W przypadku takich wyrobów bardzo istotne są właściwości mechaniczne, gęstość, stabilność wymiarowa, aspekty BHP czy palność. Warunkami koniecznymi do poprawnego funkcjonowania kompozytu jest współpraca wybranych włókien pochodzenia odpadowego z zaprawą cementową oraz gipsową i umieszczenie warstwy zbrojącej w strefie występowania naprężeń rozciągających [7].

### Metoda badań

Do badań wykorzystano wełnę garbarską, wełnę ze strzyży, włókna poliestrowe

będące produktem utylizacji butelek PET, szarpankę z włókien aramidowych powstałą w procesie utylizacji kamizelek kuloodpornych oraz szarpankę z włókien mieszanych (wełny, bawełny oraz włókien syntetycznych). Dobór zastosowanych materiałów wynikał z ich dostępności oraz potencjalnie korzystnego wpływu na właściwości fizyczne kompozytu. Wełnę garbarską pozyskano w wyniku strzyżenia wyprawionych skór owczych, natomiast wełna ze strzyży pochodziła ze strzyżenia żywych owiec. Różnica pomiędzy tymi dwoma rodzajami włókien polegała na ich czystości. Włókna wełny ze strzyży były nieprane; zawierały na powierzchni resztki lanoliny i naturalnego wosku, wytwarzanego przez gruczoły łojowe zwierząt. Włókna poliestrowe pochodziły z recyklingu i również nie były poddawane obróbce. Sprawdzano możliwość wykorzystania tych włókien jako zbrojenia rozproszonego do wzmocnienia zapraw w aspekcie zastosowania ich do produkcji płyt okładzinowych. Badano wpływ dodatku włókien odpadowych na wytrzymałość przy trójpunktowym zginaniu zapraw cementowych i gipsowych. Badania przeprowadzono na próbkach o wymiarach 12 x 75 x 150 mm. Ich grubość wynikała z zamiaru zastosowania włókien do produkcji płyt o zbliżonej grubości, a pozo-

<sup>1)</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

<sup>2)</sup> Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska ATH w Bielsku-Białej

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: wbrachaczek@ath.bielsko.pl

stałe wymiary z technologii tworzenia i badania próbek. Do wykonania próbek cementowych zastosowano cement CEM I 42,5, piasek normowy o uziarnieniu nieprzekraczającym 2 mm oraz wodę w proporcjach masowych: 1: 3: 0,5. W celu uzyskania jednakowej konsystencji zapraw zastosowano superplastifikator (konsystencja była plastyczna; rozplływ ok. 140 mm). Rozwłókniony materiał równomiernie, jednokierunkowo (wzdłuż dłuższej krawędzi beleczki) wprowadzono do zapraw w ilości 0,5% masy świeżej. Do wykonania próbek gipsowych zastosowano gips budowlany o zawartości siarczanu wapnia > 50% zmieszany z wodą w proporcji 1 : 0,6. W tym przypadku konsystencję regulowano również przez zastosowanie superplastifikatora, będącego pochodną kwasów polikarboksylowych. Z uwagi na początkową fazę badań i dążenie do uzyskania uniwersalnego materiału, wykazującego jednakowe właściwości fizyczne niezależnie od kierunku montażu, zdecydowano się na umieszczanie zbrojenia w połowie grubości próbki. Odpowiednia konsystencja oraz niewielki ciężar włókien pozwoliły zatapiać je niemal idealnie w środku grubości próbki bez ryzyka opadania w kierunku dna formy. W formie umieszczano połowę zaprawy, którą poziomowano i wyrównywano jej powierzchnię, a następnie umieszczano włókna, po czym wylewano resztę zaprawy. W przypadku każdej serii wykonano po 5 próbek, które przed pomiarami sezonowano przez 28 dni zgodnie z [8].

Wyniki badań porównywano z próbkami referencyjnymi, tzn. niezawierającymi włókien. Charakterystykę włókien użytych do zbrojenia zapraw zestawiono w tabeli 1. W celu wyjaśnienia wpływu włókien na zmianę właściwości wytrzymałościowych zapraw oraz uwzględniając ewentualne ryzyko wpływu alkaliczności cementu na degradację włókien naturalnych [9], przeprowadzono obserwacje mikroskopowe z zastosowaniem elektronowego mikroskopu skaningowego JEOL JSM-5500 LV.

## Wyniki badań

Uśrednione wyniki pomiarów wytrzymałości na zginanie przedstawiono w tabeli 2. Największy wpływ na wy-

**Tabela 1. Zestawienie włókien użytych do zbrojenia**

Table 1. Specification of fibers used for reinforcement

Rodzaj włókna	Pochodzenie	Opis włókien	Grubość [μm]
Wełna garbarska	odpad powstały przy strzyżeniu wyprawionych skór owczych	włókna pozagatunkowe, różnej grubości i długości	ok. 25
Wełna ze strzyży	powstała podczas strzyżenia owiec	wełna góraska pozagatunkowa, nieprana, rozwłókniona, włókna o różnej grubości i długości	ok. 47
Włókna poliestrowe	surowiec do produkcji włókien powstaje w procesie recyklingu odpadów PET	włókna o różnej grubości, długość deklarowana przez producenta 64 mm	24 – 29
Szarpanka tekstylna	powstała w procesie recyklingu, szarpania odpadów tekstylnych	mieszanka włókien wełnianych, bawełnianych i syntetycznych, w nieznanej proporcji, o różnej grubości i długości	w zależności od rodzaju włókna 15 – 30
Szarpanka aramidowa	włókna pozyskane w procesie recyklingu przedawnionych kamizełek kuloodpornych	włókna o różnej długości, brak możliwości zakupu na skalę przemysłową	11

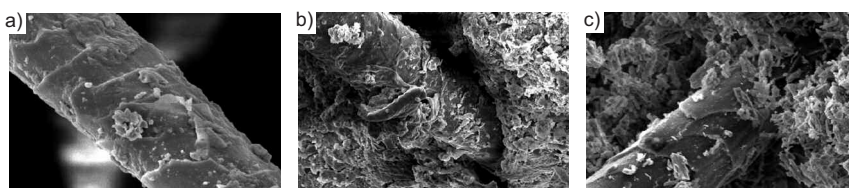
**Tabela 2. Zestawienie wyników wytrzymałości na zginanie próbek cementowych i gipsowych zbrojonych włóknami**

Table 2. Summary of the results of the flexural strength of cement and gypsum fiber-reinforced samples

Rodzaj próbki	Rodzaj włókna	Gęstość próbki [kg/m <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]
Włókno w zaprawie cementowej	próbka referencyjna bez włókien	1454	4,01
	wełna garbarska	1309	4,70
	wełna ze strzyży	1383	4,61
	włókna poliestrowe	1388	5,61
	szarpanka tekstylna	1465	5,08
Włókno w zaprawie gipsowej	szarpanka aramidowa	1565	5,01
	próbka referencyjna bez włókien	1110	4,06
	wełna garbarska	1119	4,67
	wełna ze strzyży	1001	2,84
	włókna poliestrowe	1014	3,76
	szarpanka tekstylna	1002	3,92
	szarpanka aramidowa	1104	2,50

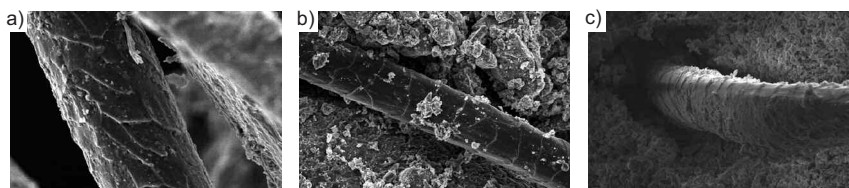
trzymałość na zginanie zapraw cementowych miały włókna poliestrowe. W porównaniu z próbkami referencyjnymi, wytrzymałość zwiększyła się o ponad 40%. W przypadku włókien wełnianych garbarskich i ze strzyży, wpływ na wytrzymałość był zbliżony, a wytrzymałość na zginanie zwiększyła się o ok. 15%. Dodatek szarpanki tekstylnej oraz aramidowej nie wpłynął w istotny sposób na zmianę wytrzymałości. W przypadku próbek gipsowych dodatek włókien z wełny garbarskiej zwiększył wytrzymałość na zginanie o 15% w porównaniu z próbką referencyjną. Pozostałe włókna wpłynęły na obniżenie wytrzymałości próbek.

Z analizy mikroskopowej wynika, że włókna wełny garbarskiej i pochodzącej ze strzyży nie uległy degradacji w środowisku cementowym (fotografie 1 i 2). Łuskowata struktura włókien wełnianych nie uległa degradacji w zasadowym



**Fot. 1. Zdjęcie mikroskopowe włókien wełny garbarskiej: a) przed badaniem; b) w zaprawie cementowej; c) w zaprawie gipsowej**

Photo 1. Microscopic photo of tanning wool fibers: a) before testing; b) in cement mortar; c) in gypsum mortar



**Fot. 2. Zdjęcie mikroskopowe włókien wełny ze strzyży: a) przed badaniem; b) w zaprawie cementowej; c) w zaprawie gipsowej**

Photo 2. Microscopic photo of wool fibers from shears: a) before testing; b) in cement mortar; c) in gypsum mortar

środowisku cementowym. W przypadku próbek cementowych produkty hydratacji dobrze przylegały do porowatej mikrostruktury obu rodzajów włókien. Włókna wełny garbarskiej wykazywały dobrą przyczepność również do zaprawy gipsowej, co tłumaczyłoby ich korzystny wpływ na wytrzymałość przy zginaniu. Znacznie gorzej łączyły się z nią włókna wełniane ze strzyży (fotografia 2c). W tym przypadku wokół pojedynczych włókien widoczne są wolne przestrzenie, czego nie zauważono w próbkach cementowych. Mniejszą adhezję wełnianych włókien pochodzących ze strzyży można powiązać z ich niedostateczną czystością. Resztki tłuszczów i wosków mogły wywierać większy wpływ na zmniejszenie przyczepności włókien do zaprawy gipsowej.

Na fotografii 3 przedstawiono mikrostrukturę luźnych włókien poliestrowych oraz zatopionych w zaprawach. W odróżnieniu od włókien wełnianych są one gładkie. Na powierzchni luźnych włókien widoczne są drobne zanieczyszczenia (fotografia 3a). O ile włókna te dobrze przylegają do zaprawy cementowej, to w przypadku gipsu pomiędzy zaprawą a włóknem widoczne były wolne przestrzenie, które mogą wywierać negatywny wpływ na wytrzymałość przy zginaniu. Dodatek tych włókien wywarł największy wpływ na poprawę wytrzymałości próbek cementowych.

Na fotografii 4 przedstawiono gładkie włókna aramidowe pochodzące z szar-

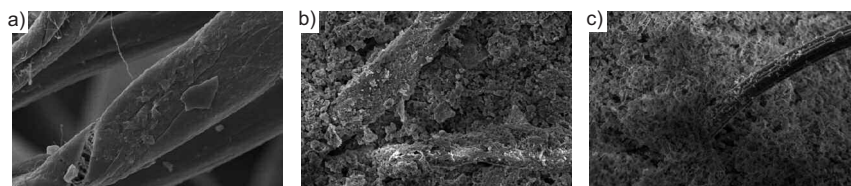
panki. W tym przypadku wokół włókien w kompozytach gipsowych widoczne są również drobne szczeliny, co świadczy o słabej współpracy zaprawy gipsowej z włóknami. Większy wpływ dodatku włókien aramidowych na wytrzymałość w kompozytach cementowych można powiązać z obecnością dobrze przylegających produktów hydratacji do powierzchni włókien, czego nie zaobserwowano w przypadku próbek gipsowych.

Włókna znajdujące się w szarpance tekstylnej będące mieszanką wełny, bawełny oraz syntetyków są złej jakości. Na fotografii 5a widoczne są wyraźne uszkodzenia mechaniczne włókien bawełny, z dużą liczbą pęknięć i rozszczępień. Podobne uszkodzenia stwierdzono na włóknach wełnianych. Dodatek tych włókien w większym stopniu wpływa na poprawę wytrzymałości w przypadku kompozytów cementowych. W związku z tym, że skład poszczególnych włókien jest przypadkowy (brak powtarzalności szarpanki) oraz ze względu na zróżnicowaną jakość włókien i występujące

w szarpance drobne zanieczyszczenia, trudno jest wytłumaczyć ich wpływ na zmianę wytrzymałości kompozytów.

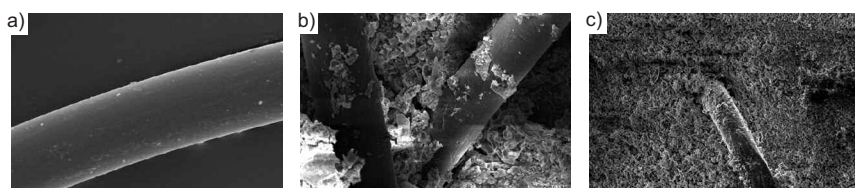
## Analiza wyników

Najkorzystniejszy wpływ na wytrzymałość kompozytów cementowych odnotowano w przypadku jednorodnych włókien poliestrowych pozyskanych w procesie recyklingu butelek PET. Uzyskane wyniki badań wskazują, że uciążliwe do utylizacji wełniane odpady pogarbarskie i ze strzyży mogą znaleźć zastosowanie w produkcji półfabrykatów budowlanych zawierających cement bez konieczności jakiegokolwiek obróbki chemicznej. Wstępne przygotowanie takich włókien wiązałoby się z koniecznością obróbki mechanicznej polegającej na rozwłóknianiu. Szczególnie obiecujące są wyniki badań z włóknami wełnianymi będącymi odpadami pogarbarskimi. W odróżnieniu do wełny ze strzyży, wełna pogarbarska jest zdecydowanie bardziej czystsza, z mniejszą ilością tłuszczów i wosków. W związku z tym ich dodatek wpływał korzystnie na wytrzy-



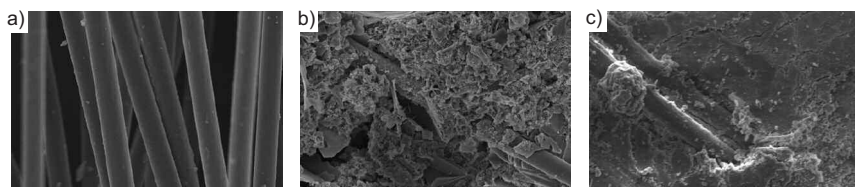
Fot. 5. Zdjęcie mikroskopowe szarpanki tekstylnej: a) przed badaniem; b) w zaprawie cementowej; c) w zaprawie gipsowej

Photo 5. Microscopic photo of the textile stock: a) before testing; b) in cement mortar; c) in gypsum mortar



Fot. 3. Zdjęcie mikroskopowe włókien poliestrowych: a) przed badaniem; b) w zaprawie cementowej; c) w zaprawie gipsowej

Photo 3. Microscopic photo of polyester fibers: a) before testing; b) in cement mortar; c) in gypsum mortar



Fot. 4. Zdjęcie mikroskopowe szarpanki aramidowej: a) przed badaniem; b) w zaprawie cementowej; c) w zaprawie gipsowej

Photo 4. Microscopic photo of aramid stock: a) before testing; b) in cement mortar; c) in gypsum mortar

małość zapraw cementowych i gipsowych.

W przypadku kompozytów gipsowych jedynie użycie wełny garbarskiej przyniosło oczekiwaną poprawę wytrzymałości na zginanie. Była ona bardzo zbliżona do efektu uzyskanego w kompozycie cementowym i wynosiła ok. 15%. Na zdjęciach mikroskopowych włókna z wełny garbarskiej były w najbardziej regularny sposób pokryte produktami krystalizacji gipsu.

Współpraca surowych, nieobrobionych chemicznie włókien odpadowych z zaprawą gipsową jest dużo gorsza niż z zaprawą cementową. Włókna sztuczne o gładkiej powierzchni wykazywały małą adhezję z zaprawą gipsową. Można wnioskować, że obecność takich włókien w kompozytach gipsowych albo nie

wywierała większego wpływu na wytrzymałość (włókna poliestrowe i szarpanka tekstylna), albo też włókna oddziaływały w zaprawie w podobny sposób jak pory powietrzne. Szczególnie niekorzystne oddziaływanie zaobserwowano w przypadku szarpanki aramidowej oraz wełny ze strzyży. Wpływ czystości włókien wydaje się mieć większy wpływ w przypadku współpracy z zaprawą gipsową niż cementową. Szczególnie wyraźnie widoczne jest to w przypadku włókien wełnianych.

Włókna wchodzące w skład mieszanek tekstylnej charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem pod względem rodzaju i stopnia zniszczenia. Uniemożliwia to wyciągnięcie jednoznacznych wniosków w aspekcie wpływu włókna na wytrzymałość na zginanie. Włókna odpadowe wywierają wpływ na urabialność zapraw z uwagi na dużą chłonność. W związku z tym, w celu zachowania konsystencji konieczne jest stosowanie domieszek poprawiających rozplływ. Istotną cechą kompozytów cementowych i gipsowych ulegającą zmianie w wyniku dodawania włókien jest obok wytrzymałości gęstość, co wynikało przede wszystkim z różnej gęstości włókien. Zasadne wydaje się badanie wpływu rodzaju i ilości włókien odpadowych na zmianę współczynnika przewodzenia ciepła oraz współczynnika tłumienia hałasu tych kompozytów.

## Wnioski

Dobra współpraca włókien odpadowych z zaprawą cementową pozwala realnie myśleć o zastosowaniu ich w budownictwie. Największą uniwersalnością wykazały się włókna z wełny garbarskiej – jedynie one spowodowały poprawę właściwości fizycznych zarówno kompozytów cementowych, jak i gipsowych. Efektywniejszego wpływu włó-

kien odpadowych na zmianę właściwości kompozytów cementowych i gipsowych upatrywać można we wstępnej obróbce chemicznej, polegającej na usunięciu substancji zmniejszających adhezję.

## Literatura

- [1] Schabowicz K., T. Gorzelańczyk. 2015. „Płyty włókno-cementowe jako okładziny wewnętrzne”. *Izolacje* 20.5: 42 – 44.
- [2] Cholewińska Paulina, et al. 2018. „Badanie impedancji, ciepłochronności i naprężenia zrywającego wełny jednolitej i mieszanej”. *Wiadomości Zootechniczne* 56.2: 62 – 67.
- [3] Molik E., A. Potocka. 2019. „Wybrane zagadnienia związane z możliwością wykorzystania wełny owczej”. *Przegląd Hodowlany* 87.3: 31 – 33.
- [4] Wasilewska A. W., B. L. Pietruszka. 2017. „Materiały naturalne w ekobudownictwie”. *Przegląd Budowlany* 88.10: 50 – 53.
- [5] Fantilli Alessandro P., Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Piotr Denis. 2021. „Bio-Fibres as a Reinforcement of Gypsum Composites”. *Materials* 14.17: 4830.
- [6] Cardinale Tiziana, et al. 2017. „Investigations on thermal and mechanical properties of cement mortar with reed and straw fibers”. *International Journal of Heat and Technology* 35. S1: S375 – S382.
- [7] Orłowski Jeanette, Michael Raupach. „Beton zbrojony tkaniną – od badań do zastosowania Textile reinforced concrete – from research to application”. *Cement, wapno, beton* R. 16/78 6: 323 – 331.
- [8] PN-EN 196-1:2005 Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.
- [9] Fantilli Alessandro P., Daria Józwiak-Niedźwiedzka. 2021. „Influence of Portland cement alkalinity on wool-reinforced mortar”. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials* 174.3: 172 – 181.
- [10] Cardinale Tiziana, et al. 2017. „Investigations on thermal and mechanical properties of cement mortar with reed and straw fibers”. *International Journal of Heat and Technology* 35. S1: 375 – 382.
- [11] Józwiak-Niedźwiedzka Daria, Alessandro P. Fantilli. 2020. „Wool-reinforced cement based composites”. *Materials* 13.16: 3590.
- [12] Rajabinejad Hossein, Ingrid-Ioana Bucîșcanu, Stelian Sergiu Maier. 2019. „Current approaches for raw wool waste management and unconventional valorization: a review”. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)* 18.7: 1439 – 1456.

Przyjęto do druku: 20.02.2022 r.



**SODASIL – TiO<sub>2</sub> Extender**

– lepsze krycie, wzrost stopnia białości,  
– obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu udziału TiO<sub>2</sub>



**Rettenmaier Polska**

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arboce@jrs.pl

**Od 2022 r. artykuły naukowe  
znajdują się**

**w otwartym dostępie na**

**[www.materiałybudowlane.info.pl/science](http://www.materiałybudowlane.info.pl/science)**