

Kompozyty cementowe z wypełniaczem organicznym ekologicznym materiałem budowlanym

Cement composites with organic filler as an ecological building material

dr inż. Anna Krupa, (ORCID: 0009-0005-3113-9472), Wydział Politechniczny, Państwowa Uczelnia Zawodowa im. prof. Edwarda F. Szczepanika w Suwałkach

DOI 10.5604/01.3001.0053.6992

Streszczenie: Energooszczędność budynków na przełomie lat stała się standardem współczesnego budownictwa. Związane jest to m.in. z zaostrzonymi wymaganiami dotyczącymi izolacyjności cieplnej przegród budowlanych. W artykule omówiono możliwość zastosowania wypełniaczy organicznych do produkcji ekologicznych pustaków na bazie kompozytów cementowych. Otrzymałe wyniki badań właściwości fizycznych i mechanicznych dają możliwość uzyskania materiału budowlanego o korzystnych parametrach. Zaproponowany pustak na bazie odpadów organicznych z wkładem styropianowym charakteryzuje się bardzo niskim współczynnikiem przenikania ciepła $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Słowa kluczowe: kompozyty cementowe, wypełniacz organiczny, trociny, trzcina, ekologiczny pustak.

Abstract: At the turn of the years, energy efficiency of buildings has become a standard of modern construction. This is related to e.g. with stricter requirements for thermal insulation of building partitions. The article discusses the possibility of using organic fillers for the production of ecological hollow bricks based on cement composites. The obtained results of tests of physical and mechanical properties make it possible to obtain a building material with favorable parameters. The proposed hollow brick based on organic waste with a polystyrene insert is characterized by a very low heat transfer coefficient $U < 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Keywords: cement composites, organic filler, sawdust, reed, ecological hollow brick.

1. Wprowadzenie

Działalność człowieka ma znaczący wpływ na otaczające środowisko naturalne. Postęp cywilizacyjny wpłynął na lekkomyślną eksploatację surowców, która spowodowała znaczne szkody w środowisku naturalnym, których skutki są nieodwracalne. Ważne jest zrozumienie konsekwencji tych działań, racjonalne korzystanie ze środowiska, a zwłaszcza właściwe gospodarowanie zasobami naturalnymi. Kształtowanie ekologiczne budynków polega zarówno na wyborze zdrowych, jak i energooszczędnych materiałów oraz metod budowy, które skutkują mniejszym zużyciem energii [1–3]. W budownictwie pożądane są technologie, które ograniczają zanieczyszczenie środowiska, nie wytwarzają odpadów i wykorzystują odpady poprodukcyjne [4, 5]. Preferowanymi materiałami są materiały pochodzenia naturalnego, co sprzyja stworzeniu warunków do życia w „zdrowym środowisku” [6, 7]. Ponadto ekologiczne produkty są ważnym elementem we wdrażaniu polityki zrównoważonej produkcji i konsumpcji w Unii Europejskiej. W niniejszym artykule przedstawiono możliwość wykorzystania materiałów odpadowych, takich jak trociny oraz materiałów organicznych w postaci trzciny do produkcji kompozytów cementowych.

2. Metodyka i wyniki badań kompozytów cementowych z wypełniaczem organicznym

W przedstawionym eksperymencie do wytworzenia mieszanki kompozytów cementowych na bazie wypełniaczy organicznych

zastosowano zmienną zawartość cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R i wody zarobowej oraz stałą zawartość kruszywa organicznego w postaci trzciny rzecznej i trocin, jak również stałą zawartość środków mineralizujących w postaci siarczanu glinu i wapna hydratyzowanego. Zastosowano następujące frakcje wypełniacza: 0–2 mm trociny z drzew iglastych (48,6%), 2–10 mm kruszywo drobne z trzciny (25,4%) i 10–20 mm kruszywo grube z trzciny (26%). Recepturę kompozytów cementowych na 1 m^3 mieszanki przedstawiono w tabeli 1. Dotychczasowe badania autora potwierdziły skuteczność stosowania dwustopniowej technologii mineralizacji materiału organicznego [8, 9]. Do procesu mineralizacji zastosowano 9% siarczanu glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ i 18% wapna hydratyzowanego $\text{Ca}(\text{OH})_2$ proporcjonalnie do masy wypełniacza organicznego, które rozpuszczano w wodzie zarobowej podzielonej na dwie równe części. W celu równomiernego powleczenia wypełniacza organicznego środkami mineralizującymi proces mineralizacji rozpoczynano od wymieszania wypełniacza z $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ przez 3 minuty do uzyskania jednorodnego nasycenia. Po odczekaniu 15 minut dodawano $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w celu zneutralizowania roztworu siarczanu glinu i mieszano przez następne 3 minuty. Po odczekaniu kolejnych 15 minut dodano cementu i ponownie mieszano wszystkie składniki przez 3 minuty do uzyskania jednorodnej masy. Zastosowanie środków chemicznych w ilości 9% siarczanu glinu i 18% wodorotlenku wapnia w stosunku do masy wypełniacza organicznego zmniejsza nasiąkliwość o 30%, zwiększa

Tabela 1. Receptury mieszanek kompozytów cementowych na 1m³ ze zmienną zawartością cementu

Seria	Cement CEM I 32,5R	Woda	C/W	Wypełniacz organiczny			Mineralizatory	
				Trociny 0–2 mm	Trzcina 2–10 mm	Trzcina 10–20 mm	Siarczan glinu Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	Wapno hydratyzowane Ca(OH) ₂
				48,6%	25,4%	26%	9%	18%
	[kg]	[dm ³]	[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	250	403,23	1,61	84,62	44,03	45,36	30,50	31,32
2	325	422,08	1,30	84,62	44,03	45,36	30,50	31,32
3	400	439,56	1,10	84,62	44,03	45,36	30,50	31,32

wytrzymałość kompozytu na ściskanie o około 70% oraz zabezpiecza wypełniacz przed procesami gnilnymi.

Następnie kompozyty cementowe zaformowano w formach, zagęszczając ręcznie każdą z trzech równych warstw przy użyciu metalowego ubijaka o masie 1,8 kg. Każdą warstwę zagęszczano 15 uderzeniami ubijaka spadającego swobodnie z wysokości około 10 cm na powierzchnię mieszanki. Próbkę rozformowano po 1 dniu, a następnie umieszczono na drewnianych podkładkach, gdzie dojrzewały w warunkach powietrzno-suchych przy wilgotności względnej $55 \pm 5\%$ i temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ przez kolejnych 27 dni.

Po 28 dniach sezonowania na próbkach o wymiarach 10x10x10 cm przeprowadzono badania gęstości pozornej i wytrzymałości na ściskanie. Natomiast do badania współczynnika przewodzenia ciepła λ wykorzystano trzy serie po 3 próbki o wymiarach 30x30x5 cm. Podstawowe cechy kompozytów cementowych z wypełniaczem organicznym w zależności od składu, określone na podstawie przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 2.

Przedstawione właściwości fizyczne i mechaniczne można modyfikować w zależności od dodatków mineralnych (popiół lotny, piasek kwarcowy) lub domieszek poprawiających właściwości mieszanki czy stwardniałego kompozytu [8–10].

3. Pustaki na bazie kompozytów cementowych z wypełniaczem organicznym

W ramach badań zaprojektowano pustak spełniający wymagania m.in. izolacyjności cieplnej, który formowano

Tabela 2. Podstawowe cechy kompozytów z wypełniaczem organicznym w zależności od składu

Seria	Gęstość pozorna	Wytrzymałość na ściskanie	Współczynnik prze- wodzenia ciepła
	$\rho_{p\acute{s}r}$ [kg/dm ³]	$f_{cm,28}$ [MPa]	$\lambda_{\acute{s}r}$ [W/m·K]
1	0,546	1,25	0,0979
2	0,646	1,75	0,1179
3	0,740	2,69	0,1369
Średnia	0,644	1,90	0,118
Wariancja	0,0071	0,381	0,0003
Odchylenie standardowe	0,084	0,617	0,017

Fot. A. Krupa

w specjalnie zaprojektowanych do tego celu formach, na stole wibracyjnym, na którym mieszankę zagęszczano przy standardowych parametrach drgań (częstotliwość 50 Hz, amplituda 0,5 mm) z jednoczesnym dociskiem płytą od góry, która pozwala na kontrolowanie wysokości pustaka (rys. 1). Stanowisko robocze daje możliwość stworzenia nowego produktu w postaci ekologicznych i energooszczędnych pustaków na bazie wypełniaczy organicznych, zastępując kruszywo skalne, m. in. trzcina rzeczna oraz trocinami. Zaprojektowane i wytworzone ekologiczne pustaki (rys. 2) pozwalają na wznoszenie jednowarstwowych ścian zewnętrznych pełniących funkcje izolacyjno-konstrukcyjne, ograniczając straty ciepła.

**Rys. 1.** Stanowisko do produkcji ekologicznych pustaków



Rys. 2. Wyprodukowany ekologiczny pustak

Pustaki mogą być układane warstwami zarówno na tradycyjnej zaprawie lub na zaprawie do murowania na sucho. Stanowią wypełnienie ustroju szkieletowego, w którym siły wewnętrzne przenoszone są przez słupy drewniane lub żelbetowe. Z ekologicznych pustaków można wznosić przegrody o dobrych parametrach termoizolacyjnych przy zachowaniu zalet ścian jednowarstwowych. Dodatkowym bodźcem do zastosowania zaproponowanych rozwiązań jest to, iż korzystanie z systemów energooszczędnych pozwala w znacznym stopniu zminimalizować emisję zanieczyszczeń oraz wpływa pozytywnie na środowisko naturalne. Przykładowy narożnik ściany wykonany z wytworzonych pustaków z ekologicznym wypełniaczem organicznym przedstawiono na rysunku 3.

Przegrody o niskim współczynniku przenikania ciepła wpływają na poprawę efektywności energetycznej budynku poprzez zmniejszenie kosztów jego eksploatacji i zużycia energii. Zaproponowane rozwiązanie materiałowe daje możliwość wznoszenia budynków o doskonałych parametrach cieplnych, spełniających wygórowane wymagania odnoszące się do współczynnika U . Zmniejszenie zużycia energii jest jednocześnie jednym z elementów wdrażania w budownictwie koncepcji zrównoważonego rozwoju, polegającej na oszczędnym wykorzystaniu energii i na ochronie środowiska.

4. Parametry termiczne przegrody zewnętrznej wykonanej z ekologicznych pustaków na bazie wypełniaczy organicznych

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U przeprowadzono na podstawie wytycznych zawartych w PN-EN ISO 6946:2017 [11], natomiast wartość współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ przyjęto na podstawie tablic zawartych w PN-EN 12524:2003 [12] oraz badań własnych przedstawionych w punkcie 2.

W obliczeniach współczynnika przenikania ciepła U uwzględniono przegrodę zewnętrzną wykonaną w szkieletowej metodzie realizacji obiektu z drewnianym szkieletem pełniącym funkcję części nośnej budynku z wypełnieniem



Rys. 3. Przykładowy narożnik ściany wykonany z wytworzonych pustaków z ekologicznym wypełniaczem organicznym

z zaprojektowanych ekologicznych pustaków. Zastosowano szkielet drewniany ze słupkami o przekroju kwadratowym o boku długości 15 cm i rozstawie osiowym co 88,5 cm. Pustaki stanowiące wypełnienie drewnianego szkieletu pełnią funkcję osłonową, są dodatkowo wypełnione materiałem termoizolacyjnym, np. wełną mineralną, ekofibrem lub innym, w analizowanym przypadku – styropianem. Kwadratowe otwory znajdujące się w centralnej części pustaka, w miejscach, gdzie nie ma słupków, wypełniane są pianką poliuretanową. Ponieważ analizowana przegroda jest przegrodą niejednorodną, obliczono kres górny i dolny całkowitego oporu cieplnego powtarzalnego wycinka przegrody (komponentu). Tym powtarzalnym wycinkiem jest komponent o szerokości równej szerokości pustaka. Analizowany fragment przegrody (część powtarzalna) podzielono na części jednorodne pod względem cieplnym, płaszczyznami prostopadłymi (sekcje – m) i równoległymi (warstwy – j) do powierzchni przegrody. Łącznie cały niejednorodny komponent składa się z mj jednorodnie cieplnych części. Sposób podziału komponentu na sekcje ($m = a, b, c, d$) i warstwy ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) przedstawiono na rysunku 4. Poszczególne sekcje mają odpowiednie względne pola powierzchni f_m , natomiast warstwy – grubości d_j .

Obliczona zgodnie z PN-EN ISO 6946:2017 [11] wartość współczynnika przenikania ciepła U , określającego stratę ciepła przez ścianę zewnętrzną, uwzględniając gęstość ($0,646 \text{ kg/m}^3$), grubość, współczynnik przewodzenia ciepła λ elementów składowych przegrody wykonanej z pustaków wytworzonych z kompozytów cementowych na bazie wypełniaczy organicznych, wynosi $U = 0,164 \text{ W/m}^2\text{K}$ i spełnia wymagania WT 2021, $U \leq 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Przy zastosowaniu kompozytów cementowych o niższej gęstości wynoszącej 546 kg/m^3 obliczona wartość współczynnika przenikania ciepła U wynosi $0,148 \text{ W/m}^2\text{K}$, dzięki czemu możliwe jest spełnienie wymagań w zakresie izolacyjności cieplnej dla standardu energetycznego NF40 (budynek niskoenergetyczny) $\rightarrow U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Natomiast przy gęstości 740 kg/m^3 , wartość U jest równa $0,176 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zestawienie wyników

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń współczynnika przenikania ciepła U

Gęstość pozorna ρ_p	Współczynnik przewodzenia ciepła λ	Współczynnik przenikania ciepła U
[kg/dm ³]	[W/m·K]	[W/m ² ·K]
0,546	0,0979	0,148
0,646	0,1179	0,164
0,740	0,1369	0,176

obliczeń współczynnika przenikania ciepła analizowanej przegrody przedstawiono w tabeli 3.

Przeanalizowano również wariant, w którym konstrukcję nośną budynku stanowiły słupy żelbetowe o gęstości 2400 kg/m³ i współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 2,5$ W/m·K. Jako wypełnienie zastosowano, jak poprzednio, zaprojektowane ekologiczne pustaki. Przy zastosowaniu kompozytów cementowych na bazie wypełniaczy organicznych o gęstości wynoszącej 546 kg/m³, obliczona wartość współczynnika przenikania ciepła $U = 0,170$ W/m²·K, przy gęstości 646 kg/m³ uzyskano wartość $U = 0,189$ W/m²·K, natomiast przy gęstości kompozytów cementowych 740 kg/m³ obliczony współczynnik przenikania ciepła U wynosi 0,20 W/m²·K.

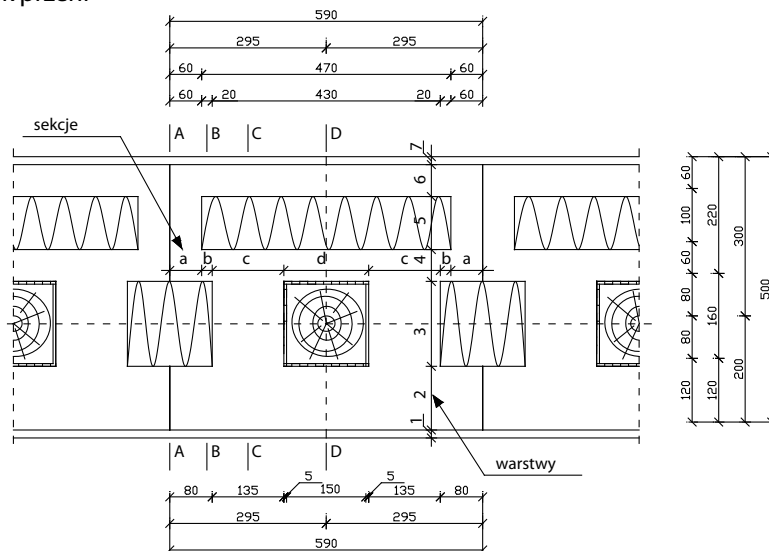
Rozwiązania, które powodują możliwość uzyskania wysokiego współczynnika efektywności energetycznej, wpływają na znaczną redukcję zapotrzebowania na energię pierwotną, co powoduje zmniejszenie emisji dwutlenku węgla oraz nadaje nowe kierunki rozstrzygnięcia problematyki budownictwa proekologicznego.

5. Podsumowanie

Zaproponowany kompozyt cementowy z wypełniaczem organicznym łączy w sobie wiele pozytywnych cech zarówno drewna, jak i betonu. Analizowane pustaki mogą być stosowane jako materiał izolacyjny i konstrukcyjny do budowy budynków do dwóch kondygnacji. Mają bardzo dobre parametry izolacyjności termicznej – współczynnik przenikania ciepła od 0,148 do 0,176 W/(m²·K), charakteryzują się niską gęstością produktu (przy korzystnej wytrzymałości), ich produkcja jest praktycznie bezodpadowa i mogą być wykonane z różnego rodzaju surowców odpadowych, w tym np. z popiołów lotnych.

Proponowany produkt o gęstości do 546 kg/m³ ma współczynnik przenikania ciepła U mniejszy niż 0,15 W/m²·K, co pozwala na spełnienie wymagań izolacyjności termicznej w przypadku standardu energetycznego NF40 – budynki niskoenergetyczne.

Zaproponowane pustaki można stosować na ściany zewnętrzne jednowarstwowe spełniające

Rys. 4. Schemat podziału przegrody na warstwy i sekcje

funkcje izolacyjne i konstrukcyjne oraz można je układać w murze zarówno na zaprawie do murowania na sucho, jak i na tradycyjnej zaprawie.

Produkcja bloczków na bazie wypełniaczy organicznych, trocin daje możliwość wykorzystania odpadów poprodukcyjnych oraz rozwoju rynku materiałów budowlanych o nowy, przyjazny środowisku produkt budowlany w przypadku budynków niskich.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kazmi S. M. S., Abbas S., Saleem M. A., Munir M. J., Khitab A., Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes, *Construction and Building Materials* 120/2016, str. 29–41
- [2] Masri T., Ounis H., Sedira L., Kaci A., Benchabane A., Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene waste, *Construction and Building Materials* 164/2018, str. 410–418
- [3] Gourlay E., Gle P., Marceau S., Foy C., Moscardelli S., Effect of water content on the acoustical and thermal properties of hemp concretes, *Construction and Building Materials* 139/2017, str. 513–523
- [4] Sá Ribeiro R. A., Sá Ribeiro M. G., Sankar K., Kriven W. M., Geopolymer-bamboo composite – A novel sustainable construction material, *Construction and Building Materials* 123/2016, str. 501–507
- [5] Behera M., Bhattacharyya S. K., Minocha A. K., Deoliya R., Maiti S., Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review, *Construction and Building Materials* 68/2014, str. 501–516
- [6] Liew K. M., Sojobi A. O., Zhang L. W., Green concrete: Prospects and challenges, *Construction and Building Materials* 156/2017, str. 1063–1095
- [7] Pajchrowski G., Noskowiak A., Lewandowska A., Strykowski W., Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings, *Construction and Building Materials* 52/2014, str. 428–436
- [8] Bołtryk M., Krupa A., Pawluczuk E., Modification of the properties of the cement composites with the organic filler, *Construction and Building Materials* 167/2018, str. 143–153
- [9] Pawluczuk E., Bołtryk M., Krupa A., Cement composites with the organic filler modified by fly ash and anionic bitumen emulsion addition, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, tom 17, 62/2017, str. 33–40
- [10] Bołtryk M., Pawluczuk E., Properties of a lightweight cement composite with an ecological organic filler, *Construction and Building Materials* 51/2014, str. 97–105
- [11] PN-EN ISO 6946:2017: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [12] PN-EN 12524:2003: Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe