

WŁAŚCIWOŚCI NISKOKLINKIEROWYCH ZAPRAW CEMENTOWYCH ZAWIERAJĄCYCH GRANULAT KAUCZUKU NATURALNEGO JAKO CZĘŚCIOWY SUBSTYTUT KRUSZYWA

europa
student
magazine

ISSN 2956-834X

Numer 2 / 2025

Edyta Jastrzębska¹, Paulina Bartosiak², Iga Jasińska^{3*}

¹Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Mechaniczny, SKN NOWOTECHBUD, Polska, edyta.jastrzebska12@gmail.com

²Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Mechaniczny, SKN NOWOTECHBUD, Polska, paulina.bartosiak2003@gmail.com

³Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Mechaniczny, Stasieckiego 54, 26-600 Radom, Polska, i.jasinska@urad.edu.pl

*Corresponding author

Streszczenie – W artykule przedstawiono badania nad wpływem dodatku granulatu kauczuku naturalnego jako częściowego zamiennika kruszywa na wybrane właściwości niskoklinkierowej zaprawy cementowej. Sprawdzone wpływy dodatku w ilości 5% i 20%. Określono właściwości zarówno świeżych jak i stwardniałych zapraw, tj. gęstość, konsystencja, wytrzymałości na ściskanie i zginanie, przewodność cieplna oraz nasiąkliwość. Badania potwierdziły, że niewielka ilość granulatu może być korzystnym dodatkiem w zaprawach cementowych, zwiększając ich efektywność i ekologiczność.

Słowa kluczowe – zaprawa, cement niskoklinkierowy, kauczuk, właściwości mechaniczne

WSTĘP

Recykling oraz zmniejszenie śladu węglowego produktu to istotny element ochrony środowiska naturalnego. Dzięki recyklingowi oraz zastosowaniu w masie materiałów budowlanych składników o obniżonej emisyjności cieplnej możemy w znacznym stopniu ograniczyć eksploatację zasobów naturalnych, zmniejszyć ilość odpadów trafiających na wysypiska, a tym samym - zminimalizować nasz negatywny wpływ na środowisko.

Lateks jest emulsją, czyli stabilną dyspersją mikroskopijnych cząsteczek polimerowych zawieszonych w wodzie, występującą w przyrodzie zarówno naturalnie jak i produkowaną syntetycznie. Kauczuk naturalny jest wykorzystywany w wielu branżach, przede wszystkim w przemyśle gumowym, gdzie znajduje zastosowanie do produkcji opon samochodowych, uszczelek, a także piątek kauczukowych.

Potencjał zastosowania granulatu kauczuku naturalnego można doszukiwać się w wynikach badań znanych w literaturze naukowej. Badania przeprowadzone przez Kantatham i in. [1] wykazały, że przy niewielkim udziale NRL w masie mieszanki betonowej właściwości mechaniczne otrzymanych próbek znacznie wzrosły. W szczególności zauważono wzrost wytrzymałości na ściskanie, zginanie oraz rozciąganie, co czyni beton bardziej odpornym na różnorodne obciążenia i czynniki zewnętrzne. Wprowadzenie granulatu kauczuku naturalnego do betonu wpływa także na jego mikrostrukturę, wykazując gęstszą i bardziej zwartą matrycę w betonie modyfikowanym granulatem. Dzięki tym właściwościom, beton wzbogacony w granulaty może oferować lepszą trwałość i odporność na uszkodzenia, co czyni go bardziej efektywnym i ekonomicznym

materiałem budowlanym.

Z kolei badania przeprowadzone przez Awoyera i in. [2] wykazały pozytywny wpływ na zmianę właściwości izolacyjnych zapraw.

Mając na uwadze powyższe celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dodatku granulatu kauczuku naturalnego na wybrane właściwości zaprawy cementowej, w której granulaty zostały zastosowane w ilościach 5% i 20%. Oznaczono właściwości świeżej zaprawy, tj. gęstość oraz konsystencję, jak również właściwości stwardniałej zaprawy - wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, nasiąkliwość oraz przewodność cieplną wyrażoną współczynnikiem λ .

I. MATERIAŁY I ZAKRES BADAŃ

Do wykonania próbek referencyjnych oraz próbek badawczych wykorzystano cement portlandzki o obniżonej zawartości klinkieru portlandzkiego zawierający takie dodatki jak żużel wielkopiecowy i popiół lotny krzemionkowy CEM II/B-M(S-V) 42,5R, którego producentem jest CEMEX, piasek o frakcji normowej w zakresie wielkości ziaren 0 - 2 mm oraz wodociągową. Jako częściowy substytut kruszywa drobnego (piasku) zastosowano granulaty kauczukowe o frakcji 0 - 2 mm uzyskany poprzez starcie piątek kauczukowych za pomocą tarki. Taki dobór cementu jest szczególnie ważny ze względu na jego obniżoną zawartość klinkieru portlandzkiego dzięki czemu zmniejsza się emisyjność dwutlenku węgla oraz wpisuje się w cele zrównoważonego rozwoju, a także dekarbonizacji przemysłu cementowego.

Do przeprowadzenia badań wykonano zarówno próbki referencyjne jak i badawcze modyfikowane granulatem kauczuku naturalnego. Składniki zaprawy dozowano

metodą wagową, co zapewnia wysoką precyzję i powtarzalność próbek. Stosunek składników wynosił odpowiednio 1 : 3 : 0,55 (cement : kruszywo : woda). Mieszanie przeprowadzono mechanicznie, co pozwoliło na uzyskanie jednolitej konsystencji zaprawy.

Przygotowano trzy rodzaje próbek (tabela 1):

- próbki referencyjne (bez dodatku kauczuku),
- próbki badawcze z 5% zawartością kauczuku jako substytutu kruszywa drobnego (piasku),
- próbka z 20% zawartością kauczuku jako substytutu kruszywa drobnego (piasku).

Na przygotowanych masach świeżej zaprawy przeprowadzono badania konsystencji oraz gęstości, a następnie uformowano w prostopadłościenną próbkę o wymiarach 40 × 40 × 160 mm. Po 28 dniach dojrzewania próbki poddano badaniom wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie, nasiąkliwości oraz oznaczeniu współczynnika przewodności cieplnej. Otrzymane wyniki badań odniesiono do właściwości próbek referencyjnych.

Tabela 1. Proporcje składników zaprawy cementowej wg proporcji w masie próbek

	Cement	Kruszywo drobne		Woda
		piasek	kauczuk	
Stosunek wagowy	1	3		0,55
Próbka referencyjna	CEM II/B-M (S-V) 42,5R	100%	0%	Woda wodociągowa
5% Kauczuku		95%	5%	
20% Kauczuku		80%	20%	

II. METODYKA BADAŃ

Określenie gęstości pozornej świeżej zaprawy wykonano zgodnie z normą PN-EN 12350-6 [3], wykorzystując cylinder o objętości 1 dm³. Obliczenia wykonano według wzoru (1).

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- m_1 - masa pojemnika [kg],
- m_2 - masa pojemnika wraz z zawartą w nim próbką mieszanki [kg],
- V - objętość pojemnika [m³]

Konsystencję zaprawy oznaczono metodą stolika rozpliwu według normy PN-EN 1015-3 [4]. Miarą konsystencji jest wielkość rozpliwu określana na podstawie pomiaru średnicy próbki świeżej zaprawy umieszczonej na tarczy stolika po poddaniu tej próbki wstrząsom. Wyniki oznaczenia odniesiono do klasy konsystencji zgodnie z tabelą (tabela 2).

Na stwardniałych próbkach prostopadłościennych

o wymiarach 40 × 40 × 160 mm wykonano badanie wytrzymałości na zginanie (zgodnie z normą PN-EN 12390-5 [5]), poddając próbki działaniu momentu zginającego.

Tabela 2. Zestawienie klas konsystencji dla metody stolika rozpliwowego [4]

Klasa	Średnica rozpliwu [mm]
F1	≤ 340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6	≥ 630

Oznaczeni wytrzymałości na ściskanie wykonano zgodnie z PN-EN 196-1 [6], gdzie próbki zostały poddawane działaniu siły ściskającej poprzez zastosowanie obciążenia pionowego. Otrzymane wyniki wartości siły niszczonej wykorzystano do obliczenia wytrzymałości na ściskanie zgodnie ze wzorem (2).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

gdzie:

R_c - wytrzymałość na ściskanie [MPa],

F_c - siła niszcząca [N],

1600 - powierzchnia płytek ściskających (40 × 40 mm).

Nasiąkliwość próbek określono zgodnie z normą PN-B-06250 [7]. Oznaczeni polegało na wysuszeniu próbek do stałej masy, a następnie ułożeniu ich w naczyniu wannowym i stopniowym zanurzeniu wodą. Po osiągnięciu stałej masy próbki mokre zostały ponownie zważone, a nasiąkliwość obliczono według wzoru (3).

$$n_w = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

gdzie:

G_1 - średnia masa próbek suchych,

G_2 - średnia masa próbek nasyconych wodą.

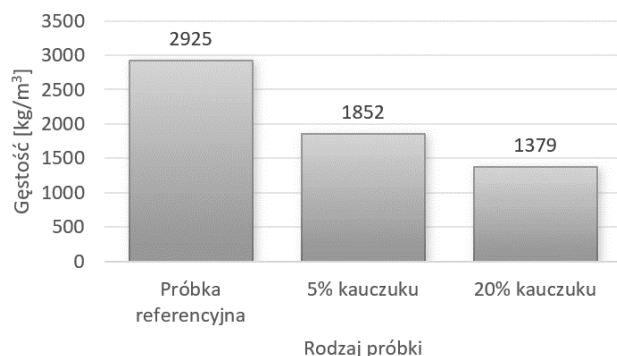
Badanie przewodności cieplnej wykonano za pomocą punktowego aparatu pomiarowego typu sonda.

W próbce o wymiarach 40 × 40 × 160 mm wywiercono otwór. Miernik urządzenia pokryto pastą termoprzewodzącą, a następnie umieszczono czujnik w wywierconym wcześniej otworze. Wyniki pomiarów w postaci wartości współczynnika λ uzyskano na wyświetlaczu przyrządu.

III. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

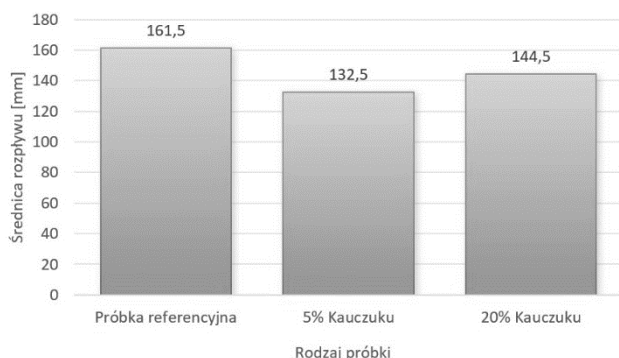
Otrzymane wyniki oznaczeń właściwości świeżej zaprawy modyfikowanej granulatem kauczuku naturalnego pozwoliły na zaobserwowanie zależności pomiędzy ilością tego dodatku a zmianą właściwości otrzymanych zapraw w odniesieniu do próbek referencyjnych.

Przedstawione wyniki badań wskazują na wyraźny spadek gęstości pozornej świeżej zaprawy wraz ze wzrostem zawartości kauczuku (Rys. 1). Próbka referencyjna osiągnęła gęstość 2925 kg/m³, natomiast przy zawartości 20% kauczuku gęstość zmniejszyła się do 1379 kg/m³, co stanowi 53% gęstości próbki referencyjnej.



Rys. 1. Gęstość pozorna świeżej zaprawy

Wyniki oznaczenia konsystencji świeżej zaprawy pozwoliło na stwierdzenie, że próbka referencyjna wykazała najwyższą płynność, osiągając średnią wartość rozptywu 161,5 mm (Rys. 2). Dodatek 5% kauczuku spowodował spadek rozptywu do 144,5 mm, a przy 20% dodatku rozptyw zmniejszył się do 132,5 mm. Nie mniej jednak wszystkie badane próbki klasyfikują się jako klasa konsystencji F1 (tabela 3). Można zatem stwierdzić, że zwiększająca się zawartość kauczuku wpływa nieznacznie na obniżenie konsystencji świeżej zaprawy.



Rys. 2. Średnica rozptywu badanych próbek za pomocą stolika rozptywu

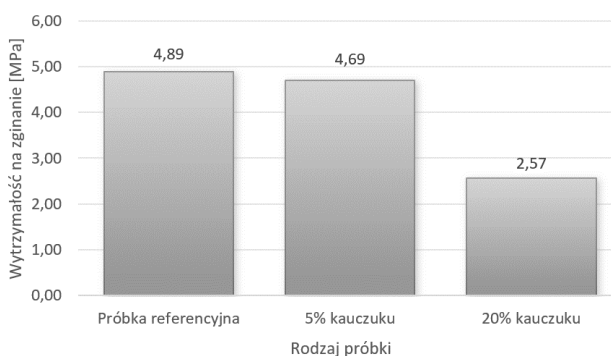
Tabela 1. Proporcje składników zaprawy cementowej wg proporcji w masie próbek

Wielkość rozptywu	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	D [mm]	Klasa konsystencji
Próbka referencyjna	160	163	161,5	F1
5% Kauczuku	130	135	132,5	F1
20% Kauczuku	144	145	144,5	F1

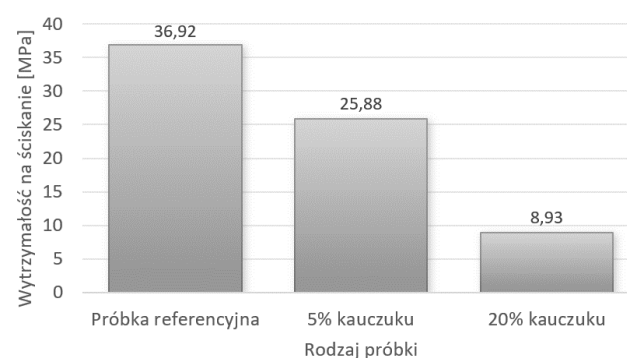
Przeprowadzone badanie wytrzymałości na zginanie pozwoliło wskazać, że najwyższa wartość tej właściwości uzyskano dla próbek referencyjnych (Rys. 3). Uzyskane wyniki dla tych próbek są zgodne z danymi literaturowymi zawartymi w pracy [8]. Zaobserwowano korzystny wpływ modyfikacji, gdyż 5% zawartość kauczuku w masie kruszywa spowodowała nieznacznie obniżenie wytrzymałości na ściskanie do 4,67 MPa, co może wynikać ze zdolności granulatu do absorbowania naprężeń rozciągających. Dwudziesto-procentowa substytucja kruszywa drobnego poskutkowała jednak spadkiem wytrzymałości na zginanie do 2,57 MPa, co stanowi ok.

52,6 % wartości wytrzymałości na zginanie charakterystycznej dla próbek referencyjnych. Praca [8] potwierdza korzystny wpływ niższych zawartości (0,5 – 2 %) kauczuku na wytrzymałość mechaniczną zapraw. Natomiast badania przedstawione w [9] wskazują na degradację struktury powyżej pięcio-procentowej zawartości granulatu kauczuku naturalnego. Według autora pracy [9] obserwowane w badaniach zjawiska wynikają zarówno z zawartości granulatu kauczuku naturalnego oraz podwyższonej temperatury, w której dane próbki dojrzewały.

Dodatek kauczuku jako substytutu kruszywa drobnego wpłynął znacząco na zmianę wytrzymałość na ściskanie, wskazując na obniżenie tego parametru w stosunku do wartości charakterystycznej dla próbek referencyjnych (Rys. 4). Pięcioprocentowa zawartość kauczuku w masie kruszywa drobnego spowodowała zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o niemal 30%. Z kolei przy 20% zawartości kauczuku odnotowano 75%-owy spadek wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek referencyjnych, co może być skutkiem nadmiernej porowatości i braku ciągłości struktury cementowej. Takie wyniki świadczą o krytycznym wpływie ilości dodatku na nośność kompozytu.



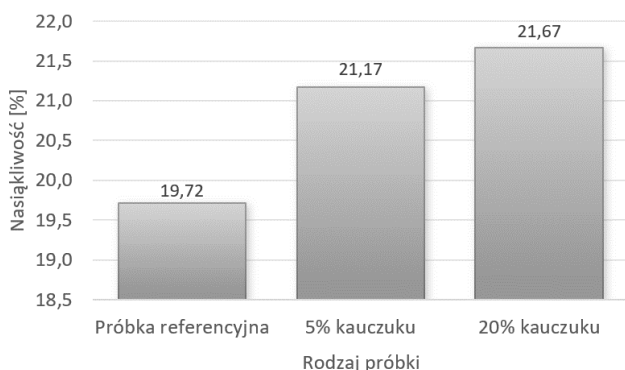
Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie badanych próbek



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie badanych próbek

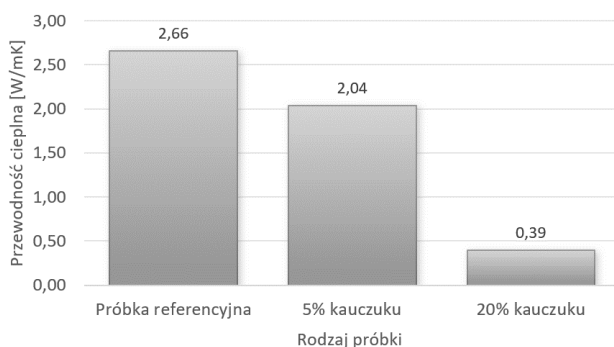
Udział kauczuku natomiast nie wpłynął znacząco na nasiąkliwość badanych próbek. Z przedstawionych na wykresie wyników badań (rys. 5) wnioskuje się, że 5 %-owa substytucja kruszywa kauczukiem spowodowała wzrost nasiąkliwości o 7,3 % do wartości 21,17 %, a dalszy udział kauczuku w masie próbki spowodował niewielki wzrost nasiąkliwości do 21,67 %. Zmiany te mogą być jednoczesną zwiększoną porowatością próbek

oraz zastosowaniem w masie próbek kruszywa (kauczuku) o mniejszej nasiąkliwości. Podobne wyniki badań otrzymali Pan i in. [10] wskazując na wzrost porowatości i nasiąkliwości w miarę zwiększania zawartości kauczuku.



Rys. 5. Nasiąkliwość badanych próbek

Wyniki oznaczenia wartości współczynnika przewodzenia ciepła wskazują na korzystną zmianę tego parametru wraz z rosnącym udziałem kauczuku w masie próbek. Jak można zauważyć na wykresie 6, już przy 5 % udziale kauczuku w masie kruszywa wartość współczynnika λ zmniejszyła się o ponad 23 % uzyskując średni wynik 2,04 W/mK, a 20 % udział kauczuku spowodował zmniejszenie współczynnika λ do 0,39 W/mK, co stanowi 14 % wartości współczynnika przewodzenia ciepła charakterystycznego dla próbek referencyjnych. Wyniki te są zbliżone z danymi zawartymi w pracy [11] potwierdzającej korzystny wpływ granulatu kauczuku naturalnego na właściwości termoizolacyjne mieszanek cementowych. Oznacza to, że granulaty kauczuku naturalnego może pełnić rolę skutecznego dodatku obniżającego przewodność cieplną zapraw i betonów.



Rys. 6. Średnia przewodność cieplna badanych próbek

IV. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć kilka kluczowych wniosków:

1. Dodatek kauczuku naturalnego wpływa na właściwości zaprawy - zarówno w stanie świeżym jak i stwardniałym.
2. Przy 5% zawartości korzystnie zmniejsza się gęstość pozorną świeżej zaprawy i wartości współczynnika

przewodzenia ciepła zaprawy stwardniałej, co może stanowić podstawę do zastosowania zaprawy w miejscach o niewielkich obciążeniach narażonych na zmiany temperatury po obu stronach przegród budowlanych.

3. Udział granulatu kauczuku naturalnego nieznacznie wpływa na zmianę konsystencji powodując jej niewielkie zgęstnienie.
4. Wraz ze spadkiem gęstości wytrzymałość na zginanie i ściskanie istotnie maleje.
5. Wraz ze wzrostem ilości kauczuku w masie próbki nasiąkliwość nieznacznie rośnie co związane może być z jednoczesnym wzrostem porowatości próbek jak i niską nasiąkliwością dodatku.

PROPERTIES OF LOW-CLINKER CEMENT MORTARS CONTAINING NATURAL RUBBER GRANULATE AS A PARTIAL SUBSTITUTE FOR AGGREGATE

The article presents a study on the effect of adding natural rubber granulate as a partial replacement for aggregate on selected properties of low-clinker cement mortar. The impact of an addition in the amount of 5% and 20% was examined. The properties of both fresh and hardened mortars were determined, including density, consistency, compressive and flexural strength, thermal conductivity, and water absorption. The research confirmed that a small amount of granulate can be a beneficial additive in cement mortars, increasing their efficiency and environmental performance.

Key words: mortar, low-clinker cement, rubber, mechanical properties

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kantatham K., et al. (2024) "Natural Rubber Latex-Modified Concrete with Bottom Ash for Sustainable Rigid Pavements", Civil Engineering Journal. doi: 10.28991/CEJ-2024-010-08-05
- [2] Awoyera P.O., et al. (2023) "Potential of natural rubber latex in cement mortar for thermal insulating material in buildings". Frontiers in Materials. doi: 10.3389/fmats.2023.1152492
- [3] PN-EN 12350-6:2019. (2019) "Badania mieszanki betonowej- Część 6: Gęstość". Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [4] PN-EN 1015-3:2000 Metody badań zapraw do murów- Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozpląwu)". Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [5] PN-EN 196-1:2017-07. (2016) "Metody badania cementu, Część 1. Oznaczanie wytrzymałości". Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [6] PN-EN 12390-5:2019-08 (2019) „Badania betonu- Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań”. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [7] PN-B-06250:1988 (1988). "Beton zwykły". Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [8] Mathew L.A., Joseph G. (2024) "Natural rubber latex for the development of high performance cement mortar". Innovative Infrastructure Solutions. doi: 10.1007/s41062-024-01398-5

- [9] Muhammad B., et al. (2011) "Elastomeric influence of natural rubber latex on cement mortar at high temperatures using thermal degradation analysis". Construction and Building Materials, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.006.
- [10] Pan, Z., et al. (2024) "Performance Evaluation of Thermal Insulation Rubberized Mortar Modified by Fly Ash and Glass Fiber". Buildings. doi: 10.3390/buildings14010221
- [11] Khamput P., Suweero K., Properties of Mortar Mixing with Medium Ammonia Concentrated Latex, Energy Procedia, 2011, 9, doi: 10.1016/j.egypro.2011.09.065