

Mirosław Symanowicz<sup>1</sup>, Bartosz Zegardło<sup>2</sup>, Ewa Zarzeka-Raczkowska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Collegium Mazovia Innowacyjna Szkoła Wyższa

<sup>2</sup>Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

<sup>3</sup>Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska

## ZASTOSOWANIE RECYKLINGOWYCH BETONÓW NA NIEKONWENCJONALNYCH KRUSZYWACH ODPADOWYCH W BUDYNKACH ROLNICTWA PRZEMYSŁOWEGO I IM TOWARZYSZĄCYCH

### Streszczenie

Budownictwo w rolnictwie stanowi bardzo pręźnie rozwijającą się gałąź przemysłu. Nowe technologie wprowadzane przez intensywny, nowoczesny chów trzody oraz nowoczesne systemy uprawy płodów rolnych wymagają szeregu nowatorskich rozwiązań w zakresie budowy budynków inwentarskich, uprawowych jak i obiektów im towarzyszących. Wielokrotnie obiekty takie wymuszają zastosowania specjalnie przygotowanych specjalistycznych materiałów budowlanych. Sytuacja ta odnosi się między innymi do jakości stosowanych betonów przygotowanych specjalnie tak, aby zapewniały szczelność oraz trwałość konstrukcji narażonej stale na agresywne czynniki środowiskowe. W artykule niniejszym podjęto rozważania nad możliwością zastosowania w takich miejscach tzw. „green concrete” (zielonych betonów) powstałych na bazie odpadowych niekonwencjonalnych kruszyw. W pracy przeanalizowano cechy betonów na bazie kruszyw ceramicznych oraz możliwości wykorzystania ich specyficznych cech do wspomnianych powyżej zastosowań. Wnioski z przeprowadzonych analiz potwierdzają możliwości użycia odpowiednio przygotowanych betonów na odpadowych kruszywach do zastosowań zarówno w budynkach inwentarskich jak i obiektach im towarzyszących.

**Słowa kluczowe:** kruszywa recyklingowe, betony niekonwencjonalne, green concrete, kruszywa ceramiczne, budownictwo w rolnictwie

### Wstęp

Obecne trendy gospodarcze bazujące na osiągnięciu możliwie dużych zysków z prowadzonej działalności przenikają również do rolnictwa. Od dziewiętnastego wieku obserwuje się kierunek silnego uprzemysłowienia tej gałęzi gospodarki. Po wejściu Polski do Unii Europejskiej szczególnie zauważalny jest pewnego rodzaju bum w rozwoju rolnictwa intensywnego. Sytuacja ta sprawiła, że również budownictwo w rolnictwie stało się bardzo pręźnie rozwijającą się gałęzią przemysłu. Nowe technologie wprowadzane przez nowoczesny chów trzody oraz nowoczesne systemy uprawy płodów rolnych wymagają szeregu nowatorskich rozwiązań w zakresie budowy budynków inwentarskich, uprawowych i obiektów im towarzyszących. Nowoczesne technologie gromadzenia odpadów rolnych oraz wprowadzane

metodologie ich odzysku sprawiają, że na rynku pojawiają się szeregi innowacyjnych systemów ich gromadzenia i przechowywania. Kierunki rozwoju gospodarczego nastawione na ekologię i ochronę środowiska sprawiają, że coraz częstszym widokiem w gospodarstwach rolnych są szczelne zbiorniki kompostowników czy biogazowni. Każdorazowo obiekty takie zbudowane są z odpowiedniej jakości betonów przygotowanych specjalnie do tych celów, aby zapewniać szczelność oraz trwałość konstrukcji narażonej stale na agresywne czynniki środowiskowe.

Stosunkowo nowym trendem w produkcji betonów o szczególnych wymaganiach jest próba wykorzystania do ich produkcji materiałów odpadowych. Prowadzone badania dowodzą, że niejednokrotnie użycie odpadowych niekonwencjonalnych kruszyw do betonów korzystnie wpływa na ich szczególne cechy, takie jak: szczelność, odporność na agresywne środowisko, czy odporność na ścieranie. Użycie takich betonów w tak prężnie rozwijającej się gałęzi przemysłu budowlanego jakim jest budownictwo w rolnictwie przemysłowym mogłoby przynieść wiele korzyści. Odbiorca otrzymywałby towar o jednakowych lub nawet lepszych parametrach w niższej przez wykorzystanie odpadów cenie. Jednocześnie zabieg ten mógłby stanowić utylizację zalegających opadów. Działanie takie uzasadnione byłoby zatem zarówno ekonomicznie jak i ekologicznie.

### **Budownictwo w rolnictwie przemysłowym**

Rolnictwo przemysłowe nazywane również intensywnym, to rolnictwo charakteryzujące się wysokim współczynnikiem wykorzystania środków produkcji w stosunku do zajmowanej powierzchni uprawowej lub hodowlanej. Początki rolnictwa przemysłowego Janick [2013] datuje się na pierwsze lata dziewiętnastego wieku, co było następstwem rewolucji przemysłowej i próbą wprowadzenia osiągnięć technicznych również do rolnictwa. Przełomem w dziedzinie rolnictwa było zastosowanie maszyn np. do zbioru i przerobu płodów rolnych. Pojawienie się w 1923 roku pierwszego uniwersalnego ciągnika zmieniło podejście liczebne do wykorzystania uprawowego arealów [Reid 2010]. Podobny trend rozwijał się również w branży hodowlanej. Intensywny chów zwierząt zwany także „fabryką rolniczą” zoptymalizowany został pod kątem osiągania maksymalnych efektów hodowlanych przy minimalnym wykorzystaniu powierzchni zajmowanej w tym celu. Zwierzęta hodowane zaczęły być w zamknięciu w olbrzymich obiektach mogących pomieścić niejednokrotnie kilka tysięcy sztuk. Ten typ „produkcji” wymagał skoncentrowania technik karmienia, pojenia zwierząt oraz innych zabiegów pielęgnacyjnych.

Wszystkie czynności i zabiegi praktykowane w rolnictwie intensywnym miały swoje odzwierciedlenie w budownictwie rolniczym. Intensywny chów zwierząt i roślin szklarniowych miał wpływ na powstanie wielkopowierzchniowych budynków chroniących przed czynnikami środowiskowymi. Konieczność gromadzenia i przechowywania płodów rolnych w niespotykanych do tych czasów ilościach sprawiła, że inżynierowie budowlani opracowali systemy budowy ogromnych silosów na zboża. Zapewnienie pokarmu dla skoncentrowanych w jednym miejscu dużych ilości zwierząt skłoniło do pojawienia się na farmach zbiorników na pasze i pokarmy. Tak duża intensyfikacja produkcji na niewielkim obszarze spowodowała również nienaturalną tendencję do gro-

madzenia się odpadów, które w środowisku naturalnym ulegałyby naturalnej biodegradacji. Czynniki ten również miał odzwierciedlenie w budownictwie. Aby zabezpieczyć środowisko przed nadmiernym zanieczyszczeniem pojawiły się budowle służące do gromadzenia odpadów biologicznych jak np. płyty gnojowe, zbiorniki na gnojowicę czy kompostowniki. Zintensyfikowane rolnictwo przemysłowe wymagało również wielokrotnie powstawania całych zespołów budowli hodowlanych z zapleczem budynków towarzyszących. Przy fermach rozrodczych, np. w hodowli drobiu, których celem jest produkcja jaj wylęganych niejednokrotnie powstają budynki wylęgarni oraz obiekty do wstępnego odchowania kurcząt. Podobna intensyfikacja w hodowli roślinnej przyczynia się wciąż do budowy charakterystycznych wielkopowierzchniowych obiektów, w których rośliny, jak np. grzyby jadalne uprawiane są piętrowo na specjalnie przygotowanych do tego celu regałach. Obiekty rolnicze przez specyfikę prowadzonych w nich zabiegów stawiają budownictwu niejednokrotnie dużo większe wymagania zarówno w odniesieniu do konstrukcji budynków jak i samych materiałów wykonawczych narażonych na specyficzne agresywne środowisko i prowadzone zabiegi technologiczne.

### **Wymogi dotyczące projektowania i wykonawstwa obiektów rolniczych**

Projektowanie i wykonawstwo obiektów rolniczych ze względu na wymienione powyżej czynniki charakteryzować się zatem powinno szczególną uwagą i troską. Zagadnienie to ma swoje odzwierciedlenie w przepisach prawnych. Obowiązującym aktem prawnym dotyczącym projektowania obiektów rolniczych jest: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie [Rozporządzenie 1997]. Dokument ten poza określeniem zależności usytuowania poszczególnych składowych obiektów budowlanych rolniczych i im towarzyszących wykazuje konieczność stosowania szczególnych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych w obiektach rolniczych. Pomimo braku konkretnych wskazań, co do zastosowanych materiałów do obiektów, wielokrotnie przytaczane są wymagania dotyczące stosowanych w budynkach betonów. Zasadniczymi wymaganiami są: zapewnienie wytrzymałości nie niższej niż B20 (obecne oznaczenie C16/20) oraz odpowiedniej szczelności. Wysoka minimalna wytrzymałość stosowanych betonów ma na celu nie tylko przenoszenie wysokich obciążeń ale i odpowiednie zabezpieczenie antykorozyjne stali zbrojeniowej. Odpowiednia szczelność ma natomiast zapewnić brak możliwości przenikania do gruntu niekorzystnych substancji odpadów towarzyszących hodowlom. Pomimo braku uwarunkowań prawnych należy przy projektowaniu i wykonawstwie obiektów rolniczych pamiętać również o inwazyjnych procesach technologicznych, które w obiektach takich są prowadzone. W rolnictwie przemysłowym niewiele prac wykonywanych jest ręcznie. Niemal wszystkie procesy prowadzone są przy pomocy ciężkiego sprzętu rolniczego. Takie działanie ma bardzo niekorzystny wpływ na niektóre elementy budowli jak posadzki czy murki opaskowe. Oczyszczanie obiektu po cyklu hodowlanym w sposób zmechanizowany naraża wymienione elementy na liczne zarysowania i uszkodzenia mechaniczne. Zalecane byłoby zatem stosowanie betonów o podwyższonej odporności na ścieranie.

## Zastosowanie odpadowych kruszyw ceramicznych do betonów specjalnych

Dzięki intensywnemu rozwojowi technologii betonu oraz chemii budowlanej możliwe jest komponowanie betonów o cechach specyficznych, różniących się od cech betonów zwykłych. Dotyczy to cech, parametrów i właściwości zarówno fizycznych, mechanicznych jak i chemicznych. Składy mieszanek betonowych modyfikowane są zarówno przez dobór cementu, kruszywa jak i zastosowanie dodatków lub domieszek. Modyfikacja ukierunkowana jest zwykle na osiągnięcie jednego lub kilku powiązanych ze sobą parametrów. Ze względu na ich specyficzne cechy, betony takie nazywane są specjalnymi. Ich zastosowania są także specjalne, zależne od wiodącej cechy betonu. Komponuje się więc betony wodoszczelne, samozagęszczalne, mrozo odporne, odporne na korozję (np. kwasoodporne czy siarczanoodporne), wysokowartościowe, betony chroniące przed promieniowaniem, betony izolacyjne, geobetony (czy gazobetony). Do betonów specjalnych należą także betony odporne na działanie wysokich temperatur oraz betony odporne na ścieranie.

Wykorzystanie odpadów ceramiki jako modyfikatora oraz dodatku do betonu sięga czasów starożytnych. W starożytnym Rzymie do przygotowania mieszanki betonowej używano głównie mieszanki piasku i drobnych kamieni z zaprawą wapienną, jako zaprawy używano również naturalnej pucolany pochodzącej z popiołów wulkanicznych. W okolicach odległych od wulkanów jako spoiwo wykorzystywano zużyte, drobno zmielone dachówki. Fakt ten na wiele lat pozostał jednak zapomniany.

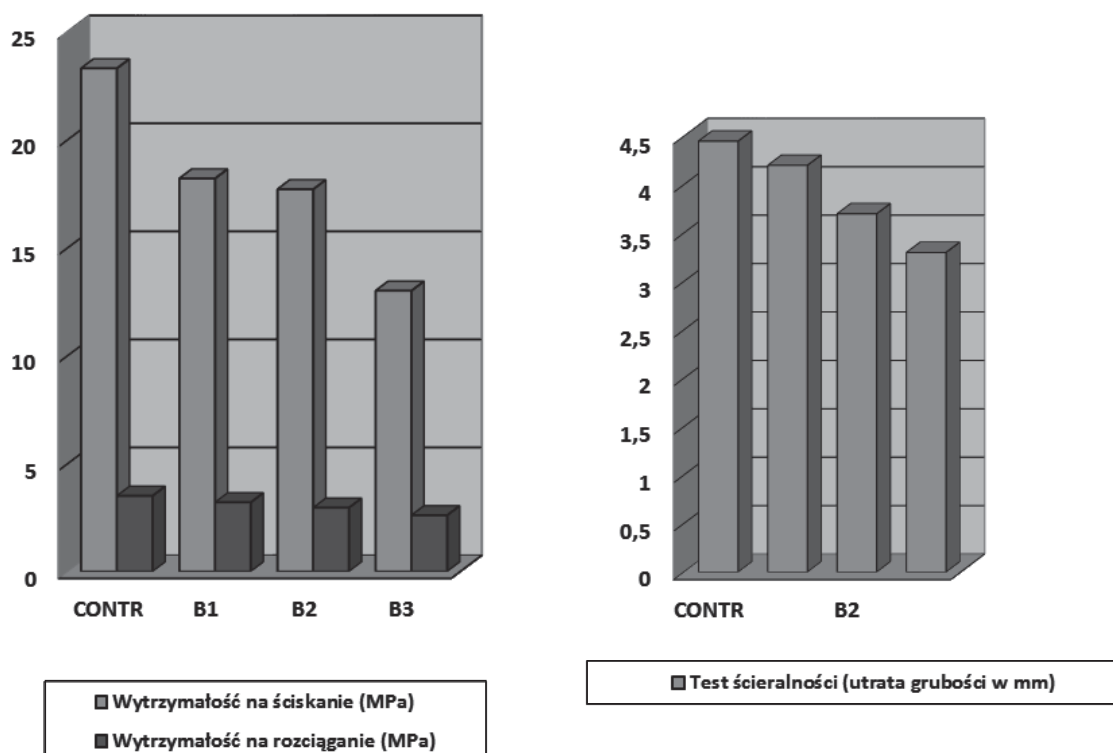
Współcześnie kruszywo pochodzące z pokruszonych elementów budowlanych zaczęto ponownie używać do produkcji betonów w związku z dużą ilością materiału rozbiórkowego po zniszczeniach drugiej wojny światowej. Zastosowanie cegieł ceramicznych do betonu regulowane było nawet normą niemiecką z roku 1951 DIN 4163: „Beton ze skruszonymi cegłami – specyfikacja produkcji i użycia” [Norma 1951].

Obecnie prowadzone prace badawcze nad zastosowaniem ceramiki, w szczególności czerwonej, koncentrują się głównie na efekcie ekologicznym [Senthamarai i in. 2010]. Ich głównym celem jest znalezienie potencjalnego sposobu deponowania odpadów ceramicznych bez uwarunkowań pochodnych takich jak uzyskanie specyficznych cech betonów. Jednakże mając na uwadze obniżenie kosztów przez zastosowanie materiału odpadowego w dużej skali produkcyjnej może nieść za sobą również efekt ekonomiczny. Poniżej przedstawiono przykłady takich badań.

Praca [De Brito i in. 2005] przedstawia wyniki doświadczeń, w których autorzy poddali badaniom betony sporządzone na bazie różnych odpadów ceramiki czerwonej. W skład kruszyw wchodziły między innymi dachówki ceramiczne oraz ściennie pustaki ceramiczne stanowiące substytut grubszych frakcji kruszywa wapiennego. W mieszance B1 1/3 kruszywa grubego zastąpiono kruszywem ceramicznym, w mieszance B2 - 2/3, a w mieszance B3 zastosowano 100% kruszywa ceramicznego. Dla porównania wyników wykonano mieszankę kontrolną – CONTR – która sporządzona była bez użycia ceramiki. Skład mieszanek przedstawiono w tabeli 1. Betony badano na ściskanie, rozciąganie oraz oceniano ich ścieralność. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 1.

**Tabela 1.** Skład betonów badanych w pracy [De Brito i in. 2005]

Składniki	Frakcje	Waga, kg
Kruszywo grube		
Mieszanka CONTR – 0% kruszywa ceramicznego	2,38-4,76 mm	206,8
Mieszanka B1 – 1/3 kruszywo ceramiczne	4,76-6,35 mm	337,8
Mieszanka B2 – 2/3 kruszywo ceramiczne	6,35-9,52 mm	508,9
Mieszanka B3 – 100% kruszywo ceramiczne		
Piasek		633,8
Cement		346,7
Woda		208,0



**Rysunek 1.** Porównanie wyników badań wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz testu ścieralności przedstawionych w pracy De Brito i in. [2005] (opis oznaczeń podano w tekście)

Uzyskane wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie tak przygotowanych betonów wskazują na niekorzystną, niemal liniową zależność pomiędzy zawartością dodatku ceramicznego, a wytrzymałościami. Wytrzymałości były tym mniejsze, im większa była zawartość kruszywa ceramicznego. Próbkę, w której zastosowano jedynie kruszywo ceramiczne, odznaczały się wytrzymałością stanowiącą tylko około 40% wytrzymałości na ściskanie i 26% wytrzymałości na rozciąganie próbek porównawczych, wykonanych w 100% z kruszyw tradycyjnych. Wyniki badań odporności na ścieranie wykazały natomiast pozytywny wpływ dodatku kruszywa ceramicznego na tą szczególną cechę betonu. Zmniejszenie grubości próbek podczas ścierania było tym mniejsze, im więcej kruszywa ceramicznego zawierał badany beton. Autorzy pracy, biorąc pod uwagę spostrzeżenia wskazali na zasadność wykorzystania kruszyw ceramicznych jedynie do betonów nie konstrukcyjnych, np. posadzkowych.

Interesujące badania betonów z dodatkiem składników uzyskanych z odpadów ceramicznych prezentuje praca [Pacheco, Jalali 2010]. Przeprowadzono je w dwóch seriach. W serii A pyłem ceramicznym zastąpiono część cementu, a w serii B kruszywem ceramicznym – część kruszywa tradycyjnego. Badano wytrzymałość na ściskanie, absorpcję wody, przepuszczalność wody oraz dyfuzję chlorków.

**Tabela 2.** Składy betonów serii A badanych w pracy [Pacheco i Jalali 2010]

Mieszanka kontrolna CONTR		Mieszanka z dodatkiem ceramicznego substytutu cementu	
Cement portlandzki	350,0 kg	Cement portlandzki	280,0 kg
		Proszek ceramiczny	70,0 kg
Kruszywo grube	1084,0 kg	1084,0 kg	
Drobny piasek	135,4 kg	135,4 kg	
Gruby piasek	568,0 kg	568,0 kg	
Woda	218,5 l	218,5 l	

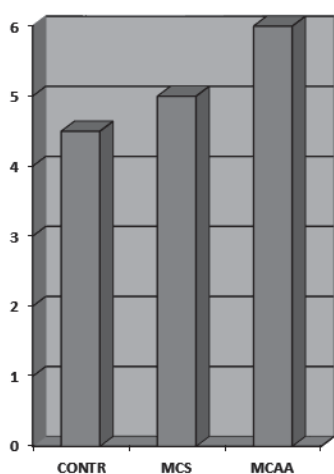
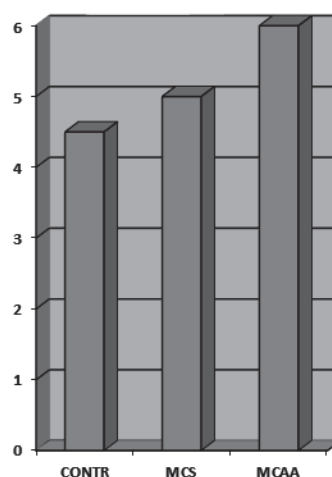
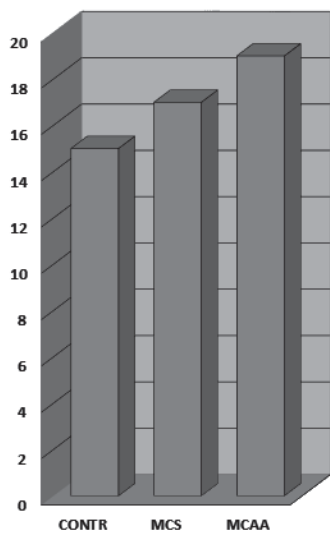
W serii A do mieszanki betonowej wprowadzono dodatek pyłu ceramicznego o granulacji poniżej 74µm jako substytut 20% cementu (tab. 2). Pył ceramiczny uzyskany był wariantowo z: cegieł ceramicznych (CB – ceramic bricks), białej kamionki podwójnie wypalanej (WSTA – white stoneware twice fired), wyrobów sanitarnych (SW – sanitary ware) i białej kamionki jednokrotnie wypalanej (WSOF – white stoneware once fired).

Badania wykazały, że wprowadzenie różnych rodzajów pyłów ceramicznych uzyskanych z ceramiki czerwonej jako substytutu cementu, nie wpływa pozytywnie na właściwości wytrzymałościowe betonu. Badania wytrzymałości na ściskanie potwierdziły 10-20% spadek wytrzymałości w porównaniu z próbkami kontrolnymi. Pozostałe badane cechy, tj: absorpcja wody, przepuszczalność oraz dyfuzja chlorków dały pozytywny wynik – generalnie były niższe niż dla próbek kontrolnych.

W serii B wprowadzono do mieszanki betonowej drobne kruszywo ceramiczne z ceramiki czerwonej jako substytut tradycyjnej frakcji piaskowej (MCS – mix ceramic sand) oraz grubszego kruszywa ceramicznego (MCCA – mix ceramic coarse aggregate). Proporcje użytych składników przedstawiono w tabeli 3.

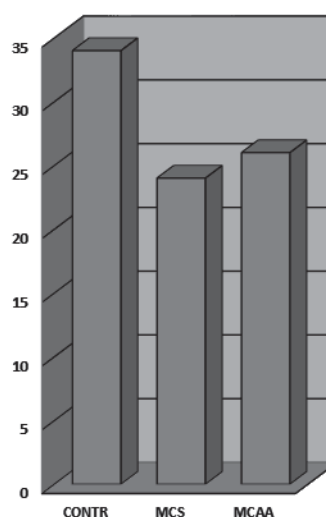
**Tabela 3.** Składy batonów serii B badanych w pracy [Pacheco i Jalali 2010]

Materiały	Mieszanka kontrolna CONTR	Mieszanka z piaskiem ceramicznym MCS	Mieszanka z dodatkiem ceramicznego kruszywa grubego MCAA
Cement portlandzki, kg/m <sup>3</sup>	350	350	350
Piasek, kg/m <sup>3</sup>	861	-	861
Piasek ceramiczny, kg/m <sup>3</sup>	-	729	-
Grube kruszywo, kg/m <sup>3</sup>	958	958	-
Grube kruszywo ceramiczne, kg/m <sup>3</sup>	-	-	820
Woda, kg/m <sup>3</sup>	175	75	175

■ Przepuszczalność wody (x10<sup>-17</sup>m<sup>2</sup>)■ Przepuszczalność wody (x10<sup>-17</sup>m<sup>2</sup>)

Absorbpcja wody (%)

■ Absorbpcja wody (%)



■ Dyfuzja chlorków...

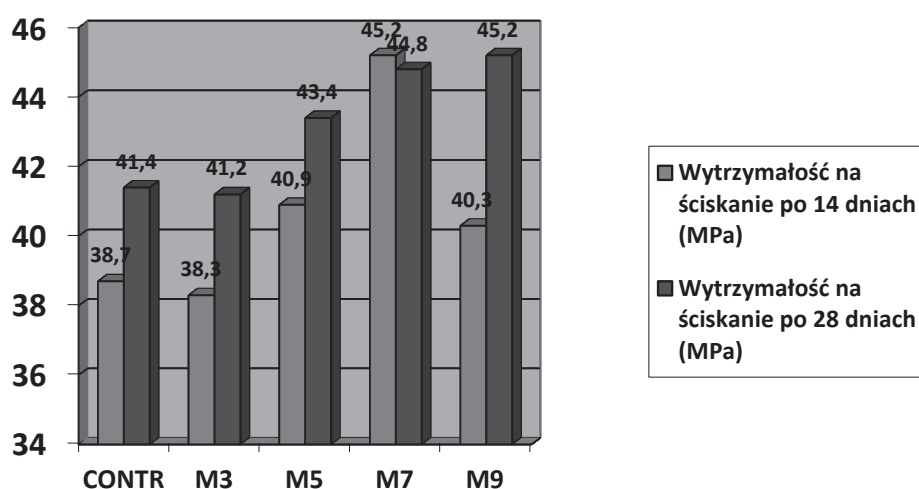
**Rysunki 2 i 3.** Wyniki serii B w badaniach [Pacheco i Jalali 2010] (opis oznaczeń podano w tekście)

Wyniki serii B przedstawiono na rysunku 3. Wskazały one, że zastąpienie frakcji grubej i frakcji piaskowej kruszywem z ceramiki czerwonej wpływa na zwiększenie wytrzymałości w porównaniu z próbkami kontrolnymi o około 10%. W przeciwieństwie do wyników serii A absorpcja oraz przepuszczalność wody w badanych próbkach były wyższe niż dla próbek kontrolnych, natomiast zauważono korzystny wpływ użycia kruszywa z ceramiki czerwonej na dyfuzję chlorków.

W pracy Guerra i in. [2009] autorzy przedstawiają wyniki badań właściwości mechanicznych betonów, w których grubsze frakcje kruszywa (5-20mm) zostały zastąpione kruszywem przygotowanym ze stłuczki sanitarnej. Podstawowy skład mieszanki był następujący: CEM I 52,5 – 370 kg/m<sup>3</sup>, woda – 162 kg/m<sup>3</sup>, piasek – 787 kg/m<sup>3</sup>, kruszywo grube – 1055 kg/m<sup>3</sup>. Program badań zakładał wykonanie pięciu mieszanek: w mieszance kontrolnej (CONTR) zastosowano jedynie kruszywo tradycyjne – żwirowe. W kolejnych mieszankach odpowiednio 3, 5, 7 i 9 procent kruszywa żwirowego zastępowano kruszywem ze stłuczki sanitarnej. Zawartości kruszywa ceramicznego w mieszankach przedstawiono w tabeli 4. Wytrzymałości na ściskanie betonów uzyskanych z tak przygotowanych mieszanek badano po 14 oraz po 28 dniach od zaformowania. Otrzymane wyniki badań ilustruje rysunek 4. Wynika z nich, że wraz ze wzrostem zawartości grubego kruszywa z ceramiki sanitarnej, parametry wytrzymałościowe betonu wzrosły. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach była większa o 2-8% w porównaniu z betonem z kruszywem tradycyjnym i rosła wraz z zawartością kruszywa ceramicznego.

**Tabela 4.** Zawartość kruszywa z ceramiki sanitarnej w betonach badanych w pracy [Guerra i in. 2009]

Oznaczenie mieszanki	Kruszywo tradycyjne kg/m <sup>3</sup>	Kruszywo ze stłuczki ceramiki sanitarnej	
		kg/m <sup>3</sup>	% całkowitej ilości kruszywa grubego
Mieszanka kontrolna (CONTR)	1055	0	0
M3	1024	32	3
M5	1000	53	5
M7	981	74	7
M9	960	95	9



**Rysunek 4.** Wyniki badań wytrzymałości betonu, w którym część kruszywa grubego zastąpiono kruszywem ze stłuczki ceramiki sanitarnej [Guerra i in. 2009]

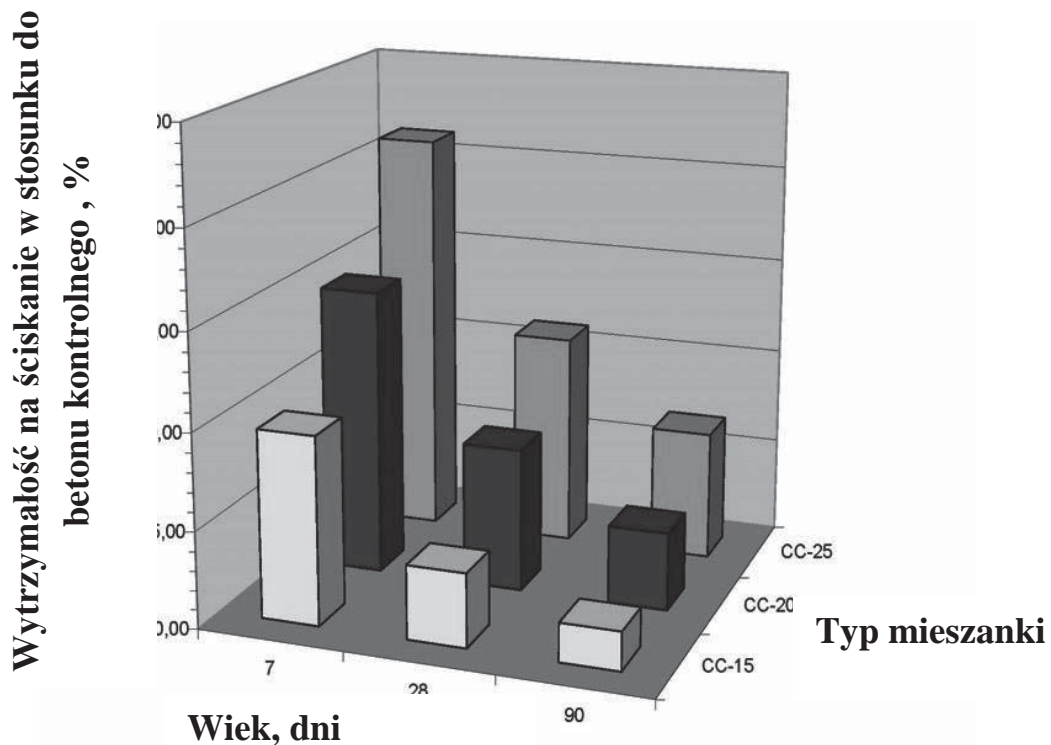


Zespół autorów [Lopez i in. 2007] przedstawił wyniki badań betonów, w których część tradycyjnego kruszywa zastąpiono pokruszoną stłuczka sanitarną, przy czym udział stłuczki sanitarnej był większy jak w pracy [Guerra i in. 2009] i wynosił 15, 20 i 25% (tab. 5).

**Tabela 5.** Skład betonów badanych [Lopez i in. 2007]

Mieszanka	Skład mieszanki betonowej					
	Piasek, kg/m <sup>3</sup>	Kruszywo grube tradycyjne żwirowe, kg/m <sup>3</sup>	Kruszywo ze stłuczki sanitarnej		Cement, kg/m <sup>3</sup>	Woda, kg/m <sup>3</sup>
			kg/m <sup>3</sup>	%		
Kontrolna CONTR	716,51	1115,82	00,00	0,0	398,52	205,00
CC-15	723,48	948,45	162,32	15	390,36	205,00
CC-20	725,81	892,66	216,43	20	387,64	205,00
CC-25	728,14	836,87	270,53	25	384,91	205,00

Otrzymane wyniki badań wytrzymałościowych tak przygotowanych mieszanek betonowych po 7, 28 i 90 dniach dojrzewania przedstawiono na rysunku 5. Wykazały one korzystny wpływ użycia kruszywa recyklingu ceramiki sanitarnej. W porównaniu z betonem sporządzonym na kruszywie tradycyjnym próbki z 15, 20 i 25% dodatkiem ceramiki sanitarnej wykazywały po 28 dniach większe wytrzymałości na ściskanie o odpowiednio o 2, 5, 11%, a po 90 dniach nawet o 20%.



**Rysunek 6.** Wyniki badań wytrzymałości betonu, w którym część kruszywa grubego zastąpiono kruszywem ze stłuczki sanitarnej

Podsumowując przedstawione wyniki badań stwierdzić można, że zastąpienie kruszywa naturalnego kruszywem z ceramiki czerwonej wpływa niekorzystnie na parametry wytrzymałościowe betonów, natomiast korzystnie wpływa na odporność betonu na ścieranie. Analiza badań wytrzymałościowych betonów komponowanych z udziałem kruszywa wytworzonego z odpadów ceramiki szlachetnej potwierdza korzystny wpływ tego typu kruszywa na wytrzymałość betonu. Parametry wytrzymałościowe takiego betonu są zbliżone lub nawet przewyższają parametry betonów na kruszywach tradycyjnych.

Wniosek ogólny płynący ze wszystkich prac potwierdza możliwość recyklingu odpadów ceramicznych przez użycie ich jako kruszyw do betonów. Analizy wyników badań wskazują jednak, że stosowanie kruszywa ceramicznego jako kruszywa do betonów powinno być każdorazowo poprzedzone badaniami wykorzystywanego materiału ceramicznego oraz starannym zaprojektowaniem składu betonu.

### Recyklingowy beton odporny na ścieranie – badania własne

Kruszywo zastosowane w badaniach własnych zostało przygotowane na bazie poprodukcyjnych odpadów ceramicznych przez rozdrobnienie za pomocą kruszarek szczękowych. Podczas procesu kruszenia wyodrębniono frakcję drobną od 0 do 4 mm oraz frakcję grubą od 4 do 8 mm. Kruszywo grubsze powyżej 8 mm trafiło powtórnie do kruszarki. Szczegółowe badania tak powstałego kruszywa zrelacjonowano w publikacji [Halicka i Zegardło 2011].

Składy mieszanek betonowych zaprojektowano metodą obliczeniowo-doswiadczalną optymalizując: proporcje ilości poszczególnych frakcji kruszywa, aby stos okruszowy był jak najbardziej szczelny oraz ilość zaczynu, aby uzyskać mieszkankę urabialną i szczelny beton. Ostatecznie ustalono następujące proporcje składników: kruszywo K = 1387,9 kg/m<sup>3</sup> (w tym kruszywo frakcji 0÷4 mm - 991,37 kg/m<sup>3</sup>, kruszywo frakcji 4÷8 mm - 396,55 kg/m<sup>3</sup>), woda W = 201,4 kg/m<sup>3</sup>, cement: C = 493,4 kg/m<sup>3</sup>.

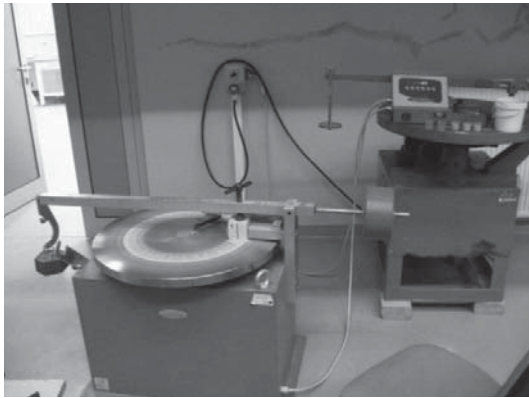
Bazując na tak dobranych proporcjach składników, przygotowano mieszanki betonowe, przy czym dla porównania wykonano również próbki zawierające w swym składzie kruszywo tradycyjne żwirowe dobrane w proporcjach uziarnienia analogicznie jak kruszywo ceramiczne. Badania wytrzymałości przeprowadzono na próbkach o wymiarach 40 x 40 x 160 mm, najpierw poddając je zginaniu trójpunktowemu, następnie otrzymane połówki próbek poddano ściskaniu. Wyniki badań wytrzymałościowych zastawiono w tabeli 6.

**Tabela 6.** Wyniki własnych badań wytrzymałościowych betonu na bazie kruszywa ceramicznego

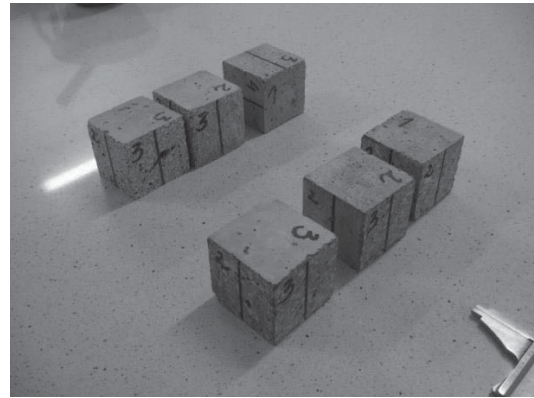
	Liczba próbek	Wytrzymałość średnia, MPa	Wskaźnik zmienności, %
Z kruszywem z żwirowym			
na ściskanie	3	42,8	8,36
na rozciąganie przy zginaniu	3	6,35	9,64
Z kruszywem ceramicznym			
na ściskanie	3	46,95	2,44
na rozciąganie przy zginaniu	3	6,52	6,35

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że beton zawierający w swym składzie kruszywo ceramiczne charakteryzuje się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi – wyższymi od tych jakie uzyskano dla betonu na kruszywie żwirowym. Kolejnym badaniem było badanie ścieralności betonu sporządzonego na bazie kruszywa z odpadów ceramiki sanitarnej. Badaniom poddano beton na cemencie portlandzkim i kruszywie ceramicznym o proporcjach składników podanych jw. Dla celów porównawczych, podobnie jak poprzednio, zbadano także beton na kruszywie żwirowym o tych samych proporcjach. Próbkę w trakcie badania oraz zestaw próbek badawczych po badaniu przedstawia fotografia 1.

a)



b)



**Fotografia 1.** Próbkę do badań odporności na ścieranie: a) w trakcie badania, b) po badaniach

Wyniki badań oraz porównanie z tabelarycznymi wykazami zastosowań wykazały, że obydwie badane betony zakwalifikować można do betonów odpornych na ścieranie, przy czym beton na kruszywie tradycyjnym jest odporny na ścieranie odpowiadające ruchowi średniemu, natomiast beton na kruszywie ceramicznym jest odporny na ścieranie nawet w przypadku ruchu ciężkiego.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych rozważań oraz przytoczonych badań i analiz stwierdzić można uzasadnioną przydatność zastosowania betonów opartych na niekonwencjonalnych odpadowych kruszywach ceramicznych do budowli rolniczych. Szczególną uwagę zwracają parametry betonów opartych na kruszywach odpadowych ceramiki szlachetnej. Cechują je wysokie parametry wytrzymałościowe (wytrzymałość na ściskanie rzędu 40MPa), tj. niemal dwukrotnie wyższe od wymaganych. Również istotnym czynnikiem jest 20% wzrost odporności na ścieranie. Ta cecha betonu może być w sposób szczególny wykorzystana w obiektach rolniczych obsługiwanych w sposób mechaniczny. Wzrost odporności betonu na ścieranie świadczy również bowiem o jego większej odporności na uszkodzenia mechaniczne.

W podsumowaniu rekomenduje się zastosowanie betonów recyklingowych na odpadowych kruszywach ceramicznych w zastosowaniach rolnictwa przemysłowego.

**Piśmiennictwo**

1. De Brito A., Pereira J., Correia R., Oliviera C., 2005: Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cement and Concrete Composites* 27: 429-433.
2. Guerra I., Vivar I., Lamas B., Juan A., Moran J., 2009: Eco-efficient concretes: The effect of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste management* 29: 643-646.
3. Halicka A., Zegardło B., 2011: Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu, *Przegląd Budowlany* 7-8/2011: 48-51.
4. Janick J., 2013: *Agricultural Scientific Revolution: Mechanical*, Purdue University: 1-4.
5. Lopez V., Llamas B., Juan A., Moran J., 2007: Eco-efficient Concretes: Impact of the Use of White Ceramic Powder on the Mechanical Properties of Concrete, *Biosystems Engineering* 96(4): 559-564.
6. Niemiecka norma budowlana 1951 r. - DIN 4163: „Beton ze skruszonymi cegłami – specyfikacja produkcji i użycia”.
7. Pacheco F., Torgal F., Jalali S., 2010: Reusing ceramic wastes in concrete, *Construction and Building Materials* 24: 832-838.
8. Reid J. 2009: “The Impact of Mechanization on Agriculture” . *The Bridge on Agriculture and Information Technology* 41: 13-31.
9. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie. Dz.U. nr 132, 877.
10. Senthamarai RM., Devadas M., Manoharan P., Gobinath D., 2011: Concrete made from ceramic industry waste: Durability propertis, *Construction and Building Materials* 25: 2413-2419.