

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADOWYCH SUBSTANCJI CERAMICZNYCH W KONSTRUKCJACH BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH BUDOWNICTWA TRANSPORTOWEGO**

### *Streszczenie*

*Zagadnienie wtórnego wykorzystania materii nieorganicznej, które dotyka w szczególności wielkie aglomeracje miejskie koncentruje się w ostatnich latach na racjonalnej gospodarce odpadami budowlanymi. Zagadnienie to nie omija również budowlanych materiałów ceramicznych.*

*Wyroby ceramiczne są materiałem dość specyficznym. Proces ich produkcji nie jest odwracalny. Zachodzące podczas niego reakcje wiązań ceramicznych nie są możliwe do powtórzenia, przez co wyroby te nie mogą wrócić do pierwotnej produkcji tak jak to dzieje się np. z wyrobami stalowymi. Ceramikę cechuje również brak możliwości bioutylizacji, którą można stosować w przypadku budowlanych odpadów organicznych (np. drewno). Wyroby ceramiczne są trwałe i niebiodegradowalne. Rosnący popyt na wyroby ceramiczne sprawia natomiast, że wraz ze wzrostem ich produkcji odnotowuje się wzrost ilości odpadów deponowanych na wysypiskach oraz na nielegalnych, samowolnych składowiskach odpadów budowlanych.*

*Przemysł komunikacyjny i budowa wszelkiego typu budowli i obiektów inżynierskich w budownictwie transportowym pochłania znaczne ilości betonu, jako podstawowego składnika budulcowego. Wykorzystanie w odpowiednich miejscach do produkcji betonu odpadowej materii ceramicznej mogłoby sprawić że przemysł komunikacyjny stałby się utylizatorem niechcianej zużytej materii ceramicznej.*

*W artykule przedstawiono ceramikę, jako materiał - jej podstawowe cechy oraz podział. Dokonano przeglądu wyników prac, w których autorzy badają betony wykonane na bazie odpadowych kruszyw ceramicznych. Na podstawie analizy porównawczej zarówno cech kruszyw jak i wymagań stawianych betonom używanym w różnych zastosowaniach budownictwa transportowego opracowano zestawienie możliwych zastosowań kruszyw ceramicznych do stosowania w budowlach i obiektach inżynierskich budownictwa transportowego.*

### **WSTĘP**

Zagadnienie wtórnego wykorzystania materii nieorganicznej, które dotyka w szczególności wielkie aglomeracje miejskie koncentruje się w ostatnich latach na racjonalnej gospodarce odpadami budowlanymi. Zagadnienie to nie omija również budowlanych materiałów ceramicznych. Choć materiały te są ekologicznie obojętne stanowią zaczynają coraz bardziej kłopotliwy odpad.

Wyroby ceramiczne są materiałem dość specyficznym. Proces ich produkcji nie jest odwracalny. Zachodzące podczas niego reakcje wiązań ceramicznych nie są możliwe do powtórzenia, przez co wyroby te nie mogą wrócić do pierwotnej produkcji tak jak to dzieje się np. z wyrobami stalowymi. Ceramikę cechuje również brak możliwości bioutylizacji, którą można stosować w przypadku budowlanych odpadów organicznych (np. drewno). Wyroby ceramiczne są trwałe i niebiodegradowalne, a ich rozkład w środowisku naturalnym szacuje się na około cztery tysiące lat. Rosnący popyt na wyroby ceramiczne sprawia natomiast, że wraz ze wzrostem ich produkcji odnotowuje się wzrost ilości odpadów deponowanych na wysypiskach oraz co stanowi większy problem na nielegalnych, samowolnych składowiskach odpadów budowlanych.

Wśród przyczyn powstawania odpadów prócz prozaicznej wymiany elementów na nowe zwraca się uwagę również na duże ilości powstających ceramicznych odpadów poprodukcyjnych.

Ceramika jak wynika z prowadzonych analiz jest materiałem trwałym o korzystnych cechach wytrzymałościowych, a jej użycie do mieszanek betonowych nie wymaga specjalnych zabiegów. Autorzy prac w badaniach potwierdzają przydatność recyklingowych kru-

szew ceramicznych do betonów, a wśród korzyści prócz powtóronego wykorzystania w wymieniony sposób substancji odpadowej wymienia się również zmniejszenie zużycia kruszyw ze złóż naturalnych.

### **1. PODZIAŁ I PODSTAWOWE CECHY MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH**

Produkcja wyrobów ceramicznych jest jednym z najstarszych rzemiosł. Według badań archeologicznych jego początki sięgają 15 000 lat przed naszą erą. Przypuszcza się, że zjawisko twardnienia gliny pod wpływem temperatury zostało odkryte przez człowieka wraz z opanowaniem ognia i początkiem osiadłego trybu życia. W czasie palenia ogniska zauważono, że miękkie gliniane podłoże stawało się twarde i spoiste. Człowiek wykorzystał to odkrycie do lepienia z gliny potrzebnych mu naczyń użytkowych, które później wypalał w ogniu. Z biegiem lat stosowano różne gliny, receptury oraz sposoby wypalania, pierwotny przemysł garncarski rozwijał się, a wyroby z wypalanej gliny zaczęły znajdować nowe zastosowania, w tym również, jako materiał budowlany.

Podstawowy surowiec do produkcji ceramiki jakim jest glina, ze względu na różne procesy geologiczne, podczas których powstawał ma wiele odmian i rodzajów.

Gliny pospolite – o zabarwieniu od brązowego do żółtego w VIII – V wieku przed naszą erą były na dużą skalę wykorzystywane do produkcji zarówno wyrobów garncarskich jak również do wyrobu cegieł. Obecnie gliny pospolite rzadko już wykorzystywane do produkcji wyrobów garncarskich, są masowo stosowane do produkcji szerokiego asortymentu materiałów budowlanych. Używając je jako głównego surowca wytwarza się z nich wyroby ceglarskie, klinkierowe, krzemionkowe, terakotowe itp.

Innym rodzajem glin są tzw. gliny szlachetne – białe, do których zaliczany jest kaolin. Jest on skalą osadową, zawierającą w swym składzie głównie kaolinit (minerał z gromady krzemianów, zaliczany do minerałów ilastych). Z wypalaniem glin szlachetnych związane jest powstanie porcelany.

Prócz opisanych wyrobów z glin pospolitych i szlachetnych do wyrobów ceramicznych zalicza się wyroby z mieszanin tych glin jak również z glin mieszanych z innymi składnikami. W tabeli 1 przedstawiono przykłady wyrobów budowlanych wykonanych z różnych rodzajów ceramiki sklasyfikowana ze względu na miejsce zastosowania.

**Tab. 1.** Przykłady wyrobów budowlanych wykonanych z różnych rodzajów ceramiki

Rodzaj ceramiki ze względu na miejsce zastosowania	Przykłady elementów budowlanych
Ceramika budowlana ścienna	cegła, pustaki ścienne
Ceramika budowlana stropowa	pustaki stropowe
Ceramika budowlana dachowa	dachówki
Ceramika budowlana okładzinowa	plytki ścienne
Ceramika budowlana posadzkowa	plytki posadzkowe
Ceramika budowlana kanalizacyjna	rury i kształtki
Ceramika kwasoodporna	krany, zlewy, wanny, przewody, płytki wykładzinowe i inne elementy stosowane w przemysłach: chemicznym, spożywczym, papierniczym i wszędzie tam, gdzie są wymagane wyroby o dużej odporności na działanie czynników chemicznych
Ceramika sanitarna	elementy wyposażenia łazienki i kuchni, tradycyjnie wykonywane z różnych rodzajów ceramiki pokrytej szkliwem: umywalki, zlewozmywaki, zbiorniki płuczące miski podwieszane, miski ustępowe stojące, kompakty wc, bidety, brodziki ceramiczne, wanny kąpielowe wykonane z ceramiki, ustępy tureckie.

Wśród ogólnie wymienianych właściwości ceramiki wyróżnia się w szczególności: wysoką odporność na działanie wysokich temperatur, wysoką odporność na działanie czynników chemicznych, dobre właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie nawet do 600MPa), właściwości dielektryczne i izolacyjne, wysoką twardość, oraz odporność na ścieranie. Jej wadami są mała wytrzymałość na rozciąganie i zginanie, podatność na uderzenia, kruchość oraz niska odporność na szoki mechaniczne i termiczne. Kruchość utrudnia obróbkę mechaniczną wyrobów i łączenie materiałów ceramicznych ze sobą lub z innymi materiałami.

## 2. ZASTOSOWANIE BUDOWLANYCH ODPADÓW CERAMICZNYCH DO BETONÓW

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. 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. Współcześnie kruszywo pochodzące z pokruszonych elementów budowlanych zaczęto ponownie używać do pro-

dukcji betonów po drugiej wojnie światowej w związku z dużą ilością materiału rozbiórkowego po zniszczeniach wojennych. Zastosowanie cegieł ceramicznych do betonu regulowane było nawet normą niemiecką z roku 1951 DIN 4163: „Beton ze skruszonymi ceglami – specyfikacja produkcji i użycia” [6].

Obecnie prowadzone prace badawcze nad zastosowaniem ceramiki w szczególności czerwonej koncentrują się głównie na efekcie ekologicznym [1,2,5,10]. 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 [1] 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 2. Betony badano na ściskanie, rozciąganie, badano także ich ścieralność.

Uzyskane wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie tak przygotowanych betonów wskazują na niekorzystną, niemal liniową zależność pomiędzy zawartością dodatku ceramicznego, a wytrzymałością. Wytrzymałości były tym mniejsze, im większa była zawartość kruszywa ceramicznego. Próbkę, w których zastosowano jedynie kruszywo ceramiczne, odznaczały się wytrzymałością stanowiącą tylko około 40% wytrzymałości na ściskanie i 26% wytrzymałości na rozciąganie próbek porównawczych, wykonanych w całości z kruszyw tradycyjnych.

**Tab. 2.** Skład betonów badanych w pracy [1]

Składnik	Frakcja	Masa, 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		
<b>Piasek</b>		633,8
<b>Cement</b>		346,7
<b>Woda</b>		208,0

W pracy [2] autorzy przedstawiają wyniki badań właściwości mechanicznych betonów, w których grubsze frakcje kruszywa (5-20mm) zostały zastąpione kruszywem przygotowanym ze słuczki 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 zastosowano jedynie kruszywo tradycyjne – żwirowe. W kolejnych mieszankach odpowiednio 3, 5, 7 i 9 procent kruszywa żwirowego zastępowano kruszywem ze słuczki sanitarnej. Zawartości kruszywa ceramicznego w mieszankach przedstawiono w tablicy 3. Wytrzymałości na ściskanie betonów uzyskanych z tak przygotowanych mieszanek badano po 14 oraz po 28 dniach od zaformowania. Z przedstawionych badań wynikało, 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.

**Tab. 3. Zawartość kruszywa z ceramiki sanitarnej w betonach badanych w pracy [2]**

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

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.

### 3. BETONOWE KONSTRUKCJE BUDOWLANE W BUDOWNICTWIE TRANSPORTOWYM

Budownictwo transportowe jest jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi Polskiej gospodarki. Spośród wielu kierunków budowy systemów komunikacyjnych, wśród których wymienić można systemy komunikacji morskiej, powietrznej, kolejowej itp. na szczególną uwagę zasługuje rozwój wszelkiego typu dróg kołowych i obiektów im towarzyszących. Ten stan rzeczy podyktowany jest szeregiem uwarunkowań prawnych. Inwestycje komunikacyjne, inaczej niż to jest z inwestycjami prywatnymi, są realizowane ze środków publicznych, a wytyczne co do ich realizacji nakładane są przez rząd oraz jak to się dzieje w przypadku dróg lokalnych przez władze samorządowe. Szczególne uwarunkowania rozbudowy oraz poprawy stanu dróg istniejących wymuszane są również przez wytyczne programowe Unii Europejskiej.

Istniejący obecnie system komunikacyjny samych dróg kołowych to ponad 412 tysięcy kilometrów dróg rozpostartych na terenie całego kraju (Tab.4) [16]. Wszystkim tym obiektom towarzyszy szereg obiektów współtworzących które w dużej mierze również w swej strukturze zawierają beton.

**Tab. 4. Ilość dróg publicznych w Polsce - stan na sierpień 2013 r [16].**

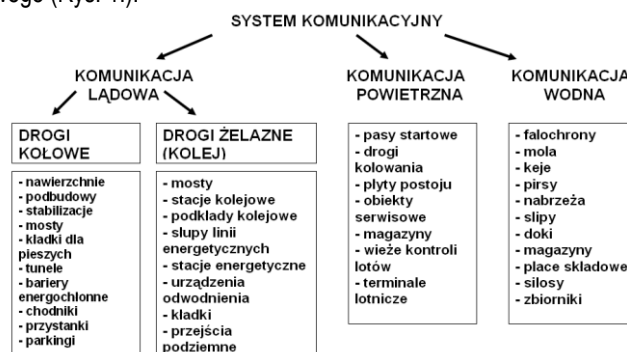
Kategoria drogi	km	udział (%)
Drogi krajowe	19 182	4,7
Drogi wojewódzkie	28 423	6,9
Drogi powiatowe	125 779	30,5
Drogi gminne	238 651	57,9
<b>Ogółem</b>	<b>412 035</b>	<b>100</b>

Wydatki ponoszone na inwestycje drogowe stanowią jeden z głównych elementów obciążających budżet Państwa. Podobnie jak w latach ubiegłych wydatki na lata przyszłe w inwestycjach komunikacyjnych planowane są z pewnym wyprzedzeniem i prognozą. Docelowy kształt sieci dróg krajowych określony został już w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych. Wszelkie inwestycje drogowe podlegają mu, a planowane inwestycje służą sukcesywnej realizacji przedstawionych w nim założeń.

Niezależnie od rodzaju dróg komunikacyjnych głównym celem, do którego dąży resort infrastruktury to budowa spójnego i nowoczesnego systemu dróg komunikacyjnych zapewniających efektyw-

ne funkcjonowanie transportu osobowego i towarowego. Planowana rozbudowa sieci połączeń ma w założeniach wpłynąć korzystnie na szerokie spektrum czynników warunkujących sprawne funkcjonowanie państwa oraz rozwój jego regionów. Realizacja planowanych w założeniach inwestycji ma pozwolić również zaspokoić oczekiwania mieszkańców związane z bezpieczną i szybką komunikacją. Szereg ponoszonych wydatków ma na celu zmniejszenie luki infrastrukturalnej pomiędzy krajami unii a Polską.

Beton jest podstawowym materiałem wykorzystywanym na szeroka skalę w budownictwie komunikacyjnym. Istnieje szereg przykładów na to że materiał ten stanowi kluczowy składnik zarówno obiektów budowlanych i inżynierskich budownictwa transportowego (Rys. 1.).



**Rys. 1. Zastosowanie kompozytów betonowych w budownictwie komunikacyjnym.**

W przypadku systemów komunikacji powietrznej czy wodnej budownictwo betonowe to w szczególności budowle portowe, lotniska oraz systemy obiektów obsługujących tego typu transport towarów i podróży. Wśród szerokiej gamy wymienionych budowli znajdziemy: płyty startowe, pasy postojowe, obiekty serwisowe, magazyny, terminale lotnicze, wieże kontroli lotów (transport powietrzny) czy też falochrony, nabrzeża mola doki (transport wodny).

Średnie zużycie betonów towarowych w Polsce wynosi około 18 mln m<sup>3</sup> rocznie z czego szacuje się, że około 14% całej produkcji pochłania budowa obiektów komunikacyjnych [17]. Odnosząc przedstawione wartości do cen średnich betonu towarowego obliczyć można, że na produkcję betonu w skali roku przeznaczają się około 630.000 tyś. zł w samym budownictwie komunikacyjnym. Szacuje się że około 5% wszystkich wydatków przeznaczanych na systemy komunikacyjne to wydatki ponoszone na zakup kompozytu betonowego w betoniarniach towarowych.

### 4. DROGOWY BETON TOWAROWY W BUDOWNICTWIE TRANSPORTOWYM

Jednym z bardzo prężnie rozwijających się kierunków rozwoju przemysłu betonu towarowego w budownictwie transportowym jest zastosowanie tego kompozytu do nawierzchni drogowych. Doświadczenia krajów europejskich takich jak Niemcy, Belgia, Austria, Wielka Brytania, w których udział dróg o nawierzchniach sztywnych przekracza 60% potwierdzają wiele korzyści płynących ze stosowania tego typu rozwiązań.

Jak dowodzą badania: trwałość nawierzchni betonowych jest około 2,5÷3,5 razy wyższa niż nawierzchni asfaltowych. Okres zatem czasu jaki występuje pomiędzy generalnymi remontami tych dróg jest kilkukrotnie wydłużony. Badania dowodzą również, że przy zastosowaniu betonów wysokowytrzymałych okres bez konieczności prac remontowych może wydłużyć się aż siedmiokrotnie w stosunku do nawierzchni asfaltowej. Z danych niemieckich wynika, że po 23 latach użytkowania tylko 5% nawierzchni betonowych

wymaga napraw. Dla nawierzchni asfaltowych wskaźnik ten wynosi od 80 do 100 %.

Najbardziej istotną cechą betonowych nawierzchni drogowych jest brak zjawiska koleinowania. Beton jest materiałem, który z trudem poddaje się odkształceniom nawet długotrwałym lub cyklicznym. Niezależnie od warunków pogodowych zachowuje swoje parametry wytrzymałościowe. W przypadku asfaltów ich struktura pod wpływem wysokich letnich temperatur staje się plastyczna – beton nie ulega takim zjawiskom.

Analizy ekonomiczne realizacji nawierzchni betonowych również wykazują znaczne korzyści płynące ze stosowania nawierzchni sztywnych. O tyle o ile koszt ich budowy jest w pierwszym stadium wykonawstwa niewiele niższy niż nawierzchni asfaltowych ich długoterminowa bezawaryjna eksploatacja rekompensuje się w znacznych oszczędnościach na pracach remontowych.

Zastosowanie betonowych nawierzchni dróg wpływa również na komfort jazdy użytkowników. Jak dowodzą badania poza brakiem kolein nawierzchnie tego typu są bardziej ciche niż nawierzchnie asfaltowe.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty władze rządowe również promują od niedawna tego typu rozwiązania [4]. W programie budowy dróg krajowych na lata 2014-2020 pojawia się 781,55 km dróg o nawierzchni sztywnej co już na etapie budowy ma przynieść około 670 mln zł oszczędności.

Obserwując tendencje rozwojowe tego typu rozwiązań, betonowe nawierzchnie dróg upatruje się jako potencjał, który znacznie zwiększy rynkowe zapotrzebowanie na beton towarowy. Specyfika tego rodzaju zastosowań przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań technologicznych może być skutecznym sposobem utylizacji wielu odpadowych substancji recyklingowych.

## 5. ZASTOSOWANIE ODPADOWYCH SUBSTANCJI CERAMICZNYCH W KONSTRUKCJACH BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH BUDOWNICTWA TRANSPORTOWEGO

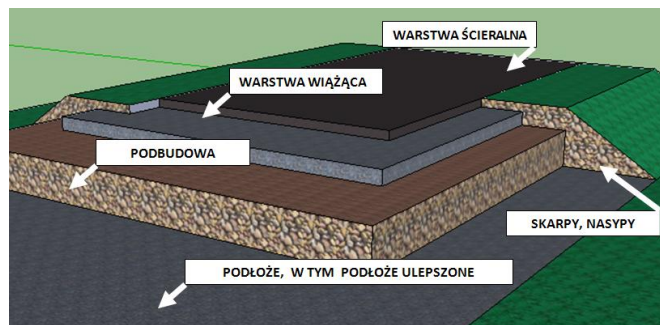
Od wielu lat prowadzone są badania, które mają na celu wdrożenie utylizacji odpadów za pośrednictwem budownictwa komunikacyjnego [18]. W związku ze specyfiką miejsca wykorzystania odpadów, rolą oraz celem utylizacji substancji recyklingowych wprowadza się podstawowe kryterium podziału ich zastosowań.

Pierwszy obszar, który od dość długiego okresu czasu funkcjonuje na rynku przemysłowym to tzw. szeroko pojęta niwelacja terenu. Budowa w szczególności obiektów komunikacyjnych liniowych (drogi kołowe, kolej) wymaga przemieszczenia dużych mas ziemnych. Niejednokrotnie zdarza się tak że bilans mas dla planowanego odcinka jest ujemny. W przypadkach takich najbardziej wygodnym rozwiązaniem jest sięganie do miejscowych złóż kruszyw naturalnych. Jeśli jednak takich złóż nie ma lub parametry występujących w nich kruszyw nie spełniają wymagań oczekiwanych sięga się po kruszywa recyklingowe. Najbardziej popularną w tym miejscu substancją odpadową jest tzw. destrukta betonowy powstały ze skruszenia elementów betonowych. Powszechnie jednak w miejscach tych są wykorzystywane również żużle z elektrociepłowni, łupki przywęglowe, odpadowe tynki, materiały ceramiczne czy będący mieszaniną tych substancji gruz budowlany.

Kolejną powszechną metodą wykorzystania odpadów w budownictwie komunikacyjnym, która dość skutecznie wykorzystywana jest na terenie Polski od lat 60-tych to wykorzystanie substancji aktywnych jako substytutu cementu. Tego typu rozwiązania stosuje się najczęściej przy stabilizacjach i ulepszeniach gruntów rodzimych o niskich parametrach nośności. W miejscach tych powszechnie stosowane są aktywne popioły z elektrowni, wapno pokarbidowe,

rozdrobione żużle z fluidalnego spalania czy osady porafineryjne przetworzone wapnem palonym. Zasadność tego typu rozwiązań w dużej mierze podyktowana jest ekonomią. Wymienione substancje pomimo znacznie niższej skuteczności ich działania są finalnie dużo tańsze od cementu przez co wykonawcy prac chętnie decydują się na tego typu rozwiązania.

Z dotychczasowych prac badawczych wynika, że szereg substancji odpadowych może być wykorzystana do produkcji betonów przenoszących obciążenia, które w budownictwie komunikacyjnym wykorzystuje się powszechnie do budowy betonowych obiektów inżynierskich jak i wymienionych nawierzchni drogowych (Rys. 2.).



Rys. 2. Miejsca zastosowania substancji odpadowych przy budowie dróg kołowych.

W pracach [19,20] autorzy przedstawiają wyniki badań eksperymentalnych betonów konstrukcyjnych w których jako kruszywo użyty został destrukta betonowy z betonów wysokich klas. Wyniki badań potwierdzają że parametry tak otrzymanych betonów nie różnią się od tych, jakie uzyskuje się dla betonów wytwarzanych przy użyciu dobrej jakości kruszyw tradycyjnych. Innym typem odpadu są żużle wielkopiecowe. Betony wytworzone z wykorzystaniem żużli jak pokazują prace [22] posiadają parametry fizyczne pozwalające na ich zastosowanie również jako betonów konstrukcyjnych. Wymienione i inne odpady przemysłowe badane w celu wykorzystania w budownictwie transportowym [23] znalazły szereg miejsc, w których z powodzeniem i korzyścią mogą być stosowane. Biorąc pod uwagę wyniki badań odpadowej materii ceramicznej również nie trudno zauważyć, że odpady te mogą być z powodzeniem wykorzystywane do wytwarzania obiektów budowlanych i inżynierskich budownictwa transportowego.

## 6. CECHY KRUSZYW ODPADOWYCH CERAMICZNYCH NA TŁE KRUSZYW TRADYCYJNYCH ORAZ ICH MOŻLIWE MIEJSCA STOSOWANIA W BUDOWNICTWIE TRANSPORTOWYM

Podczas opracowania analizy możliwości wykorzystania odpadowych substancji ceramicznych w konstrukcjach budowlanych i inżynierskich budownictwa transportowego w etapie pierwszym porównano cechy kruszyw ceramicznych z cechami kruszyw tradycyjnych powszechnie używanymi w budownictwie [1-7]. Cechą wyróżniającą tego typu kruszywa była stosunkowo wyższa nasiąkliwość. Przy analizie możliwości wykorzystania tych kruszyw szczególną uwagę zwrócono na potencjalne wykorzystanie materii odpadowej w budownictwie transportowym obiektów liniowych dróg.

Ze względu na planowane analizy wykonywane porównawczo potencjalne miejsca stosowania kruszyw recyklingowych zestawiono z miejscami stosowania dwóch najbardziej popularnych typów kruszyw. Jako podstawowe kruszywo porównawcze posłużyły powszechnie używane na betoniarniach towarowych lokalne piaski i żwir. Jako kruszywo również często obserwowane w towarowej produkcji betonów jednak znamienne dużo bardziej korzystnymi

parametrami wytrzymałościowymi, stosowane głównie do betonów wysokich klas (tj. powyżej 60MPa) podano grys bazaltowy. Pozostałe dodatkowe analizowane kruszywa pochodziły z recyklingu materiałów budowlanych oraz odpadów produkcji przemysłowej, które eksperymentalnie wprowadzane były już do przedstawianych zastosowań. Wśród kruszyw tych znalazły się: destrukty betonowy betonów wysokich klas, destrukty betonowy betonów niskich klas, odpady ceramiczne ceramiki czerwonej oraz odpady ceramiczne ceramiki szlachetnej. Na podstawie analizy porównawczej zarówno cech kruszyw jak i wymagań stawianym betonom używanym w różnych zastosowaniach budownictwa transportowego [8,9,11-14] posługując się wynikami badań betonów na kruszywach ceramicznych opisanymi w punkcie 2 niniejszego artykułu opracowano tabelę możliwych zastosowań kruszyw ceramicznych do stosowania w budowlach i obiektach inżynierskich budownictwa transportowego. (Tab. 5.).

**Tab. 5. Możliwe zastosowanie ceramicznych kruszyw recyklingowych w budownictwa transportowego.**

Rodzaj kruszywa / Cecha	Możliwość zastosowania	Kruszywo tradycyjne: piasek, żwir	Destrukt betonowy betonów niskich klas	Destrukt betonowy betonów wysokich klas	Grys bazaltowy	Kruszywo z recyklingu ceramiki	
						Ceramika tradycyjna czerwona	Ceramika szlachetna biała
<b>Podbudowa dróg</b>	tak/nie	tak	tak	tak	tak	tak	tak
<b>Warstwa wiążąca dróg kołowych</b>	tak/nie	tak	nie	tak	tak	nie	nie
<b>Warstwa ścierna dróg kołowych</b>	tak/nie	tak	nie	tak	tak	nie	nie
<b>Elementy betonowe, nie konstrukcyjne</b>	tak/nie	tak	tak	tak	tak	tak	tak
<b>Konstrukcje obiektów w budownictwie transportowym</b>	tak/nie	tak	nie	tak	tak	nie	tak

## 7. WNIOSKI

Odpadowe materiały ceramiczne odznaczają się wieloma cechami, które chętnie wykorzystuje się w budownictwie. Są nimi trwałość, odporność na agresywne czynniki środowiskowe oraz niebiodegradowalność. Cechy te sprawiają, że coraz częściej rozważa się możliwość przekruszenia ich i powszechnego stosowania jako kruszywa do betonów. Wstępne badania betonów wykonanych na kruszywach recyklingowych ceramicznych potwierdzają możliwości takich zastosowań. Stosowane na szeroką skalę tego typu rozwiązanie niesłoby za sobą wiele korzyści – z jednej strony wykorzystany byłby odpad z drugiej zmniejszyłoby się zużycie zasobów kruszyw naturalnych. Przemysł komunikacyjny i budowa wszelkiego typu budowli i obiektów inżynierskich w budownictwie transportowym pochłania wiele ton betonu, jako podstawowego składnika budulcowego. Wykorzystanie w odpowiednich miejscach do produkcji betonu odpadowej materii ceramicznej mogłoby sprawić że przemysł komunikacyjny stałby się utylizatorem niechcianej zużytej materii ceramicznej. Jak wynika z przeprowadzonej analizy nie wszystkie miejsca stosowania kruszyw ceramicznych są odpowiednie jak również nie wszystkie rodzaje ceramiki mogą być stosowane powszechnie do betonów.

## BIBLIOGRAFIA

- De Brito A., Pereira J., Correia R., Oliviera C., 2005: Mechanical behavior of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cement and Concrete Composites* 27, 429-433
- Guerra I, Vivar I., Llamas 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
- Halicka A., Ogrodnik P., Zegardło B., Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate, *Construction und Building Materials* 2013, vol. 48, s. 295-305
- Nita P., Poświęta A: Współczesne betonowe nawierzchnie lotnisk w Polsce. Konferencja "Dni Betonu - Tradycja i Nowoczesność". *Polski Cement*, Szczyrk 2002.
- 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
- Niemiecka norma budowlana 1951r - DIN 4163: „Beton ze skruszonymi ceglami – specyfikacja produkcji i użycia”
- Pacheco F., Torgal F., Jalali S., 2010: Reusing ceramic wastes in concrete, *Construction and Building Materials* 24, 832-838
- Nita P.: Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2000.
- Nita P.: Budowa lotniskowych nawierzchni betonowych oraz system ich technicznej oceny. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe*. Gdańsk 2006
- Senthamarai RM., Devadas M., Manoharan P., Gobinath D., 2011: Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties, *Construction and Building Materials* 25, 2413-2419
- PN-V 830002:1999 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego
- PN-EN 206-1:2003 Beton Cz.1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- PN- EN 13877-1:2007 Nawierzchnie betonowe. Cz.1: Materiały
- PN- EN 13877-2:2007 Nawierzchnie betonowe. Cz.2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- Kobiński W. , *Materiałoznawstwo*, Kraków 2010
- Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020 z dn. 4.11.2014. Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Departament dróg i autostrad. *Biuletyn Informacji Publicznej*.
- Rusecki P. „Produkcja betonów towarowych w Polsce” referat wygłoszony podczas Rozstrzygnięcia XI edycji kampanii Dobry Beton, Warszawa 20 marca 2014 r.
- Piestrzyński P., GDDKiA: Dywersyfikujemy technologię, *Budownictwo, Technologie, Architektura* nr 4/2014 (68) , s 56-57
- Sadowska – Buraczewska B. *Kruszywa z recyklingu w budownictwie.*, *Inżynieria Ekologiczna* Vol. 40, 2014, s 74–81
- Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., *Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. I. Inżynier Budownictwa* 2009, nr 2, s 65–69.
- Atis C., Strength properties of high – volume fly ash roller compacted and workable concrete and influence of curing condition., *Cement and Concrete Research*, vol. 35, 2005, s 1112,1121
- Giergiczny E., Góralna K. Mielony granulowany żużel wielkopiecowy – dodatek do betonu typu II, *Polski Cement* 2008, s 56-59
- Sybilski D., Kraszewski C, Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych., *Instytut badawczy Dróg i Mostów XI.2004* Warszawa

# ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING WASTE CERAMIC MATERIALS IN BUILDING CONSTRUCTION AND ENGINEER- ING CONSTRUCTION FOR TRANSPORT INDUSTRY

## *Abstract*

*The issue of secondary use of inorganic matter that particularly affects large cities focused in recent years on the rational management of construction waste. The issue is not unknown in the construction ceramic materials.*

*Ceramic products are the material quite specific. The process of production is not reversible. Reactions occurring during its ceramic bonds are not possible to re-perform, so that these products can not be returned to the original production like this happens, eg. of steel products. Ceramics are characterized by the inability to bioutylizacji which can be used for the construction of organic waste (eg. Wood). Ceramic products are durable and non-biodegradable. The growing demand for ceramic products makes, however, that with the increase in production recorded an increase in the amount of waste deposited in landfills and illegal, unauthorized construction waste landfills.*

*Industry of communication and construction of all types of buildings and civil engineering construction for transport industry consumes many tons of concrete as the basic constituent component. The use of appropriate places for the production of concrete waste ceramic material could make the communications industry would become consumed utylizator unwanted ceramic material.*

*The article presents ceramics as a material - its basic features and divisions. A review of the results of studies in which the authors examine concrete made on the basis of waste ceramic aggregates. The comparative analysis of both the characteristics of aggregates and requirements posed concretes used in various applications of construction of the transport developed Summary of possible applications of ceramic aggregate for use in building and in construction engineering objects transport.*

Autorzy:

dr inż. **Bartosz Zegardło** - Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Katedra Techniki Pożarniczej, Zakład Mechaniki Stosowanej

st. kpt. dr inż. **Paweł Ogrodnik** - Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Katedra Techniki Pożarniczej, Zakład Mechaniki Stosowanej