

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (4), 452–462
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (4), 452–462
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.4.43

**Bartosz ZEGARDŁO¹, Tomasz DRZYMAŁA², Wojciech ANDRZEJUK³,
Daniel TOKARSKI³, Jerzy NITYCHORUK³, Beata JAWORSKA⁴**

¹Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
Faculty of Natural Sciences, Siedlce University of Natural Sciences and Humanities

²Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Faculty of Fire Safety Engineering, The Main School of Fire Service

³Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża
Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Faculty of Economics and Technical Sciences, Pope John Paul II State School of Higher
Education in Biała Podlaska

⁴Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska,
Faculty of Civil Engineering, Warsaw University of Technology

Ceramiczne odpady budowlane powstające w procesie rewitalizacji miasta – badanie możliwości ich wykorzystania jako substytutu cementu do betonów i zapraw

Ceramic wastes arising in the process of urban regeneration – possibility of using them as cement substitute for concrete and mortar

Słowa kluczowe: kompozyty cementowe, odpady ceramiczne, pyły ceramiczne, zaprawy budowlane, własności wytrzymałościowe

Key words: cement composites, ceramic waste, ceramic dust, building mortars, mechanical properties

Wprowadzenie

Zmiany ustrojowe oraz gospodarcze obserwowane w Polsce na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia wywołały nagły rozwój

miast. Wraz z rozwojem przemysłu oraz masowym napływem ludności prężnie rozwiało się budownictwo. Był to okres rozwoju zarówno sektora mieszkaniowego, jak i budownictwa przemysłowego. Najlepszym dowodem złotego okresu rozwoju było podwojenie się w tym okresie liczby mieszkańców wielu aglomeracji miejskich. Rozwój przemysłu dawał ludności napływowej miejsca pracy. Powstanie nowych osiedli mieszkaniowych zapewniało wygodne warunki życia.

Obiekty wybudowane w wymienionym okresie są nadal ciekawe z punktu widzenia przyszłych inwestorów, pomimo że napływ ludności i zainteresowanie nieruchomościami są obecnie mniejsze. Główną tego przyczyną jest ich dogodna lokalizacja. Prowadzone prace rewitalizacyjne mające na celu dostosowanie dawnych obiektów do obecnych standardów. Proces ten wymaga dużego zaangażowania remontowego. Termomodernizacje, rozbiórki i przebudowy są przyczyną powstawania dużych ilości substancji odpadowej, które trafiają na wysypiska śmieci lub co gorsza na nielegalne składowiska odpadów.

W niniejszym artykule przedstawiono propozycję zagospodarowania odpadowej materii ceramicznej przez jej wtórne wykorzystanie w produkcji betonów i zapraw. Z odpadowej materii rozbiórkowej i remontowej wyselekcjonowano najczęściej występujące w niej odpady ceramiczne. Z odpadów tych wytworzono pyły. Według zasad, jakie stosuje się dla popiołów lotnych dodawanych do cementów, zbadano wskaźnik aktywności pozyskanych pyłów recyklingowych. Pomimo że wyniki badań były niższe niż tolerancje normowe, stwierdzono, że pył ceramiczny może być utylizowany przez użycie go w kompozytach cementowych.

Opisany sposób recyklingu odpadów miałby pozytywny, wielopoziomowy wpływ na ochronę środowiska przyrodniczego. Z jednej strony zmniejszyłaby się ilość zalegających odpadów na wysypiskach, z drugiej zaś użycie recyklatu do produkcji zapraw redukowałoby ilości kruszyw pozyskiwanych obecnie z ich pokładów naturalnych.

Budowlane materiały ceramiczne

Asortyment budowlanych materiałów ceramicznych jest bardzo bogaty (Awgustinik, 1980). Ze względu na odporność ceramiki na czynniki oddziałującego środowiska zewnętrznego nie ma ograniczeń w zastosowaniu – były i są one stosowane zarówno w elementach zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Ze względu na bardzo dobre parametry wytrzymałościowe wyroby ceramiczne cenione są przez konstruktorów, którzy stosują je w elementach przenoszących obciążenia. Szeroki wachlarz barw i struktur materiałów ceramicznych ceniony jest także przez architektów, którzy chętnie używają ich do wykończenia wnętrz i elewacji obiektów. Budowlane materiały ceramiczne znaleźć można w instalacjach elektrycznych i sanitarnych (Węgrowski i Przeddziecka 1979; Maksymiuk, 1997). W tabeli 1 przedstawiono przykłady wyrobów budowlanych wykonanych z różnych rodzajów ceramiki z podziałem ze względu na miejsce zastosowania (Awgustinik, 1980).

Budowlane wyroby ceramiczne w aspekcie substancji recyklingowej są materiałem dość specyficznym. Proces ich produkcji nie jest odwracalny. Zachodzące podczas niego zmiany w materiale uniemożliwiają jego powtórne zastosowanie w procesie pierwotnej produkcji, tak jak to się dzieje np. z wyrobami stalowymi. Ceramikę cechuje również niemożliwość 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. W aspekcie ochrony śro-

TABELA 1. Przykłady wyrobów budowlanych wykonanych z różnych rodzajów ceramiki
 TABLE 1. Examples of construction products made of various types of ceramics

Rodzaj ceramiki budowlanej ze względu na miejsce zastosowania The type of building ceramic due to the place of application	Przykłady elementów budowlanych Przykłady elementów budowlanych
Ceramika ścienna Wall ceramics	cegła, pustaki ścienne brick, wall blocks
Ceramika stropowa Ceiling ceramics	pustaki stropowe ceiling blocks
Ceramika dachowa Roof ceramics	dachówki roof tiles
Ceramika okładzinowa Liner ceramics	płytki ścienne wall tiles
Ceramika posadzkowa Flooring ceramics	płytki posadzkowe floor tiles
Ceramika kanalizacyjna Sewage ceramics	rury i kształtki pipes and fittings
Ceramika kwasoodporna Acid-proof ceramics	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 taps, sinks, tubs, pipes, carpet tiles and other elements used in industries: chemical, food, paper and wherever products with high resistance to chemical agents are required
Ceramika sanitarna Sanitary ceramics	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 elements of bathroom and kitchen equipment, traditionally made of various types of ceramic covered with enamel: washbasins, sinks, rinsing tanks, suspended bowls, standing toilet bowls, toilet compacts, bidets, ceramic shower trays, bath tubs made of ceramics

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Awgustinik (1980).
 Source: Own study based on Awgustinik (1980).

dowiska przyrodniczego odpady takie, pomimo że nie wprowadzają do środowiska substancji zagrażających faunie i florze, w sposób bezpośredni sprawiają, że ich obecność w naturze bez ingerencji człowieka będzie długoterminowa. Jeśli pozostają one w miejscu do tego nieprzeznaczonym, np. na samowolnych składowiskach gruzu budowlanego, należy liczyć się z tym, że pomimo oddziaływań czynników środowiskowych będą estetycznie zaburzać krajobraz przez długie lata.

Proponowane kierunki wykorzystania budowlanych odpadów ceramicznych

Ze względu na ilości odpadów budowlanych powstających podczas procesów rewitalizacyjnych wiele zespołów badawczych podjęło próbę ich utylizacji (Pereira i Correia, 2005, Correia, Brito i Pereira, 2006; Brito, Bektas, Wang i Ceylann, 2009; Cachim, 2009). Najczęściej proponowanym w tym przypadku rozwiązaniem jest wykorzystanie odpadowej materii ceramicznej jako substytutu kruszyw tradycyjnych używanych do produkcji betonów. Takie rozwiązanie sugerowane w coraz bardziej licznych pracach badawczych nie byłoby zabiegiem trudnym do wprowadzenia do działań przemysłowych. Producenci betonów nie musieliby czynić dodatkowych szczególnych zabiegów, aby uruchomić takie działania. Poza odebraniem kruszyw z wyznaczonych miejsc ich składowania, rozkruszeniem i zastosowaniem w produkcji betonów jako substytutu kruszyw tradycyjnych nie wymagane byłyby inne czynności.

Źródła literaturowe opisujące możliwości wykorzystania odpadów ceramicznych do produkcji betonów

w przypadku ceramiki czerwonej koncentrują się głównie na efekcie ekologicznym (Brito i in., 2005; Correia i in., 2006). Wyniki prowadzonych badań dowodzą, że tego typu dodatek niezależnie od formy, w jakiej go wprowadzono do mieszanki betonowej, zasadniczo pogarsza cechy wytrzymałościowe betonu. Autorzy podkreślają jednak, że takie rozwiązanie mogłoby być korzystne zarówno pod względem ekonomicznym i ekologicznym. Zalety ekonomiczne byłyby osiągalne dla producentów betonu, ponieważ mieliby oni możliwość pozyskania bez kosztowego substratu do swojej produkcji. Zalety ekologiczne pozwalałyby na utylizację zalegających niechcianych odpadów, jak również zmniejszyłyby wydobycie kruszyw tradycyjnych ze złóż naturalnych.

Część doświadczalna

Surowce

Celem badań własnych było wyselekcjonowanie najczęściej spotykanych budowlanych odpadowych materiałów ceramicznych, wytworzenie z nich pyłu oraz sprawdzenie jego aktywności jako substancji wiążącej wprowadzanej do betonów i zapraw jako substytut określonej części cementu. Opisane działania miały na celu analizę możliwości wdrożenia nowego sposobu recyklingu wymienionej materii, który ograniczyłby jej zaleganie w środowisku naturalnym.

Wyboru materiału do badań dokonano, segregując odpady zalegające na wysypiskach materiałów budowlanych. Wśród odpadów ceramicznych największy odsetek stanowiły odpady ceramiki czerwonej w postaci skruszonych cegieł,

pusztek ceramicznych oraz odłamki dachówek.

Tak pozyskane odpady poddano procesowi kruszenia w kruszarkach szczękowych. Praca maszyny kruszącej pozwalała na segregację uziarnienia kruszywa na dwa rodzaje: uziarnienie drobne 0–2 mm oraz uziarnienie grube 4–8 mm. Odłamki ceramiczne o średnicy większej niż 8 mm powtórnie trafiły do kruszarki. Odpady ceramiczne pozyskane z wysypisk oraz kruszywo ceramiczne o uziarnieniu 4–8 mm uzyskane w procesie kruszenia przedstawiono na rysunku 1.

Do pozyskania pyłów wykorzystano zestaw sit ze wstrząsarką. Z uziarnienia 0–4 mm odseparowano ziarna o uziarnieniu 0–0,125 mm, które stanowiły badane pyły ceramiczne. Wybór opisanego uziarnienia spowodowany był możliwościami technicznymi zasobów sprzętowych laboratorium badawczego.

Jako spoiwa do mieszanki użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5R. Cement ten cechuje się odpowiednim czasem wiązania, dobrymi parametra-

mi wytrzymałości wczesnej i końcowej, małą zawartością alkaliów oraz dużą odpornością na agresywne czynniki chemiczne. Cechy te sprawiają, że produkt ten jest popularnie wykorzystywany produkcji towarowej mieszanek betonowych. Szczegółowe parametry fizykochemiczne cementu zestawiono w tabeli 2.

Do przygotowania mieszanki przygotowano również wodę wodociągową oraz normowy piasek kwarcowy o uziarnieniu 0–2 mm.

Metodyka badań

Badania wskaźnika aktywności zmielonej ceramiki budowlanej przeprowadzono według metody dla popiołów lotnych zgodnej z normą PN-EN 450-1:2012. Jest to metoda fizyczna opierająca się na pomiarze zmian właściwości wytrzymałościowych zaprawy normowej po zmodyfikowaniu jej składu poprzez zastąpienie 25% masy cementu badanym materiałem (Tkaczewska, 2011). Wynikiem badania jest wyrażony w procentach stosunek



RYSUNEK 1. Odpadowe materiały ceramiczne: a – w formie odpadu; b – w formie kruszywa grubego (opracowanie własne)

FIGURE 1. Waste ceramic materials: a – in the form of waste; b – in the form of coarse aggregate (own study)

TABELA 2. Parametry fizykochemiczne cementu CEM I 42,5R (opracowanie własne na podstawie karty technicznej cementu)

TABLE 2. Physicochemical parameters of CEM I 42.5R cement (own study based on a technical sheet of cement)

Właściwość Property	Jednostka Unit	Wynik średni Average result	Wymagania Requirements
Początek wiązania Beginning of binding	min	233	> 60
Koniec wiązania End of binding	min	291	
Wodożądność Water demand	%	27,5	
Stołość objętości Stability of volume	Mm	1,1	< 10
Powierzchnia właściwa Specific surface	cm ² ·g ⁻¹	3688	
Wytrzymałość na ściskanie: po 2 dniach Compressive strength: after 2 days	MPa	23,9	<10
Wytrzymałość na ściskanie: po 28 dniach Compressive strength: after 28 days	MPa	55,9	> 42,5–< 62,5
Analiza chemiczna: SO ₄ ²⁻ Chemical analysis: SO ₄ ²⁻	%	2,77	< 3,0
Analiza chemiczna: Cl Chemical analysis: Cl	%	0,070	< 0,10

wytrzymałości na ściskanie zaprawy zmodyfikowanej do zaprawy normowej. Wykonano cztery komplety beleczek: sześć beleczek z zaprawy zmodyfikowanej (przewidziano po trzy beleczki do badania po 28 i po 90 dniach) oraz sześć beleczek z zaprawy normowej. Badania wytrzymałości przeprowadzono na trzech beleczkach z każdego kompletu po 28 dniach i na trzech beleczkach po 90 dniach od rozformowania próbek, co było zgodne z wymienioną normą. Na rysunek 2 przedstawiono stanowisko badawcze wraz z zintegrowanym elektronicznym układem pomiarowym.

Badania wytrzymałości na zginanie wykonano po 28 i 90 dniach od rozformowania za pomocą prasy hydraulicznej

z układem łamiącym. Osuszone lignią próbki zważono, zmierzono i umieszczano kolejno na dolnych podporach, obciążając je przez wałek górny aż do zniszczenia. Dla każdej zaprawy otrzymano trzy wartości obciążenia niszczącego. Na rysunku 3 przedstawiono próbkę zaprawy w momencie badania wytrzymałości na zginanie.

Badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na uzyskanych po zginaniu połówkach beleczek. Próbki umieszczono kolejno między płytkami dociskowymi o powierzchni 1600 mm² i obciążano do zniszczenia. Otrzymano sześć wyników dla każdej zaprawy.



RYSUNEK 2. Stanowisko badawcze oraz zintegrowany elektroniczny układ pomiarowy (opracowanie własne)

FIGURE 2. Test stand and integrated electronic measuring system (own study)



RYSUNEK 3. Próbką zaprawy w momencie badania wytrzymałości na zginanie (opracowanie własne)

FIGURE 3. A sample of mortar at the moment of testing the bending strength (own study)

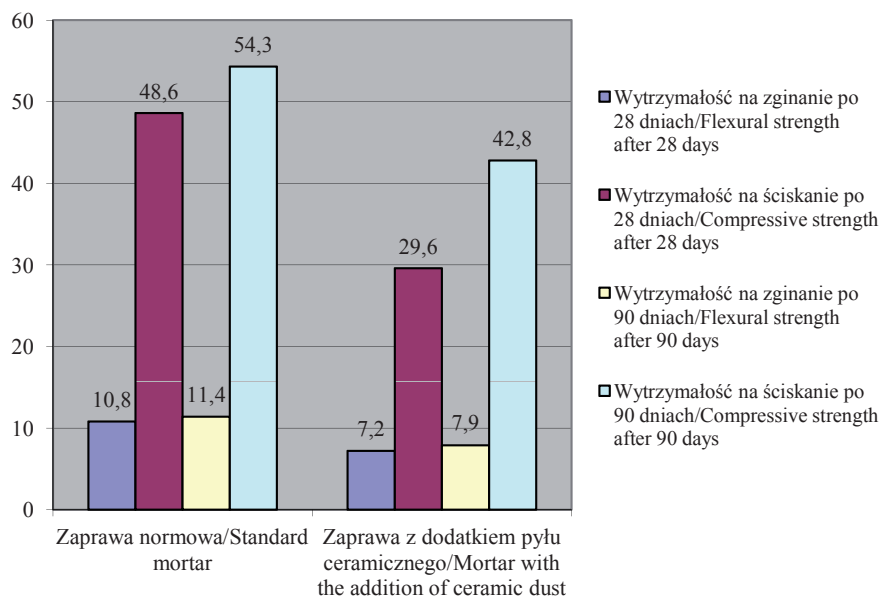
Wyniki

Wyniki badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie beleczek z zaprawy normowej i zmodyfikowanej po 28 i 90 dniach przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunku 4.

Dla obu rodzajów zapraw wytrzymałość na ściskanie zwiększyła się wraz z upływem czasu, co jest związane z dojrzewaniem beleczek i dalszą hydratacją cementu. Zgodnie z przewidywaniami wytrzymałość na ściskanie zaprawy zmodyfikowanej, w której 25% cemen-

TABELA 3. Uśrednione wyniki wytrzymałości badanych zapraw (opracowanie własne)
 TABLE 3. Average strength results of tested mortars (own study)

Rodzaj zaprawy Type of mortar	Test	Liczba próbek Number of samples	Wytrzymałość średnia Medium strength [MPa]	
			po 28 dniach after 28 days	po 90 dniach after 90 days
Zaprawa normowa Standard mortar	zginanie bending	3	10,8	11,4
	ściskanie compressing	6	48,6	54,3
Zaprawa z dodatkiem pyłu ceramicznego Mortar with the addition of ceramic dust	zginanie bending	3	7,2	7,9



RYSUNEK 4. Wyniki badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie beleczek z zaprawy normowej i zmodyfikowanej po 28 i 90 dniach (opracowanie własne)

FIGURE 4. The results of the bending and compressive strength test for standard tile beams and modified after 28 and 90 days (own study)

tu zastąpiono pyłem ceramicznym, była mniejsza niż wytrzymałość zaprawy normowej. Na podstawie stosunku tych wartości obliczono wskaźnik aktywności

po 28 i po 90 dniach. Wyniki zestawiono w tabeli 4 z wymaganiami normowymi dla popiołu lotnego.

TABELA 4. Wskaźnik aktywności uzyskanego pyłu ceramicznego po 28 i 90 dniach (opracowanie własne)

TABLE 4. Activity rate of the ceramic dust obtained after 28 and 90 days (own study)

Wskaźnik aktywności Activity indicator	Pył ceramiczny Ceramic dust	Wymagania dla popiołu lotnego wg PN-EN 450-1:2012 Requirements for fly ash according to PN-EN 450-1: 2012
Po 28 dniach After 28 days	60,9%	≥ 75%
Po 90 dniach After 28 days	78,8%	≥ 85%

Wnioski

Pomimo tego, że zarówno wskaźnik aktywności zbadany dla zapraw po 28 dniach wynoszący 60,9% jak i wskaźnik zbadany po 90 dniach wynoszący 78,8% nie spełniają wymagań normowych, jakie stosuje się dla popiołów lotnych będących powszechnymi zamiennikami cementu, zwraca się uwagę na bardzo dobre parametry wytrzymałościowe otrzymanych zapraw. Wytrzymałość zaprawy zbadana po 28 dniach wynosząca 29 MPa jest większa niż wytrzymałość zapraw tradycyjnych. Norma klasyfikację zapraw rozpoczyna od zapraw klasy najniższej możliwej do stosowania o symbolu M5, co oznacza, że zaprawa ta po 28 dniach ma 5 MPa wytrzymałości na ściskanie. Wytrzymałość zaprawy zbadanej, jaką odnotowano zarówno po 28, jak i po 90 dniach, znacznie przekracza wymienioną wartość.

Biorąc pod uwagę zadawalające wartości parametrów wytrzymałościowych badanych zapraw oraz w szczególności względy ekologiczne, rekomenduje się recykling pyłów ceramicznych przez ich użycie w produkcji zapraw cementowych i betonów niekonstrukcyjnych – nie jako substancja o właściwościach wiążących,

ale jako kruszywo. Zastosowanie takiego rozwiązania w przemyśle mogłoby przyczynić się do utylizacji zalegających odpadów, a także do ograniczenia używania kruszyw naturalnych.

Literatura

- Awgustinik, A.J. (1980). *Ceramika*. Warszawa: Arkady.
- Bektas, F., Wang, K. i Ceylann, H. (2009). *Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability*. *Construction Build Mater*, 23, 1909-1914.
- Brito, J., Pereira, A. i Correia, J. (2005). *Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates*. *Cement Concrete Composites*, 27(4), 429-433.
- Cachim, P. (2009). *Mechanical properties of brick aggregate concrete*. *Construction Build Mater*, 23, 1292-1297.
- Correia, J., Brito, J. & Pereira, A. (2006). *Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates*. *Materials and Structures*, 39, 169-177.
- Maksymiuk, J. (1997). *Aparaty elektryczne w pytaniach i odpowiedziach*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- PN-EN 450-1:2012. *Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności* [Fly ash for concrete. Definition, specifications and conformity criteria].
- Tkaczewska, E. (2011). *Metody badań aktywności pucolanowej dodatków mineralnych*. *Materiały Ceramiczne*, 63, 536-541.

Węgrowski, W. i Przedziecka, K. (1979). *Szkló i ceramika*. Warszawa: Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych.

Streszczenie

Ceramiczne odpady budowlane powstające w procesie rewitalizacji miasta – badanie możliwości ich wykorzystania jako substytutu cementu do betonów i zapraw. W artykule zasygnalizowano problematykę rewitalizacji obszarów miejskich na przykładzie byłego miasta wojewódzkiego. Szczególną uwagę zwrócono na zagrożenia środowiska przyrodniczego powodowane przez trudności zagospodarowania odpadów budowlanych powstających podczas tego procesu. Podczas prac badawczych z odpadowej materii rozbiórkowej pochodzącej z remontów oraz przebudowy obiektów wyselekcjonowano ceramiczne odpady budowlane. Materiały te rozkruszono i wytworzono z nich pył. Celem pracy było badanie wskaźnika aktywności, tj. badania, jakie prowadzi się dla pyłów uzyskiwanych np. w procesach hutniczych. Opisany parametr był wyznacznikiem możliwości stosowania pyłów jako recyklingowego substytutu cementu w betonach oraz zaprawach budowlanych.

Materiał badawczy stanowiły poremontowe odpady ceramiczne. Odpady odebrano ze składowiska i posegregowano. Wyodrębniono odpady ceramiki czerwonej w postaci uszkodzonych cegieł, pustaków i dachówek. Z tak przygotowanych odpadów wytworzono pył. Metodyka badawcza prowadzona była zgodnie z normą PN-EN 450-1:2012.

Wskaźnik aktywności pokruszonego pyłu ceramicznego po 28 dniach wynosił 60,9%, po 90 dniach 72%.

Biorąc pod uwagę nieznaczne zmiany parametrów wytrzymałościowych badanych zapraw oraz szczególne względy konieczności utylizacji odpadu opisany recykling pyłów ceramicznych uważa się za rozwiązanie możliwe do wdrożenia przy produkcji

zapraw budowlanych oraz betonów niekonstrukcyjnych. Wprowadzenie wyników niniejszych prac do działań rynkowych może przyczynić się do zmniejszenia ilości odpadów deponowanych na wysypiskach.

Summary

Ceramic wastes arising in the process of urban regeneration – possibility of using them as cement substitute for concrete and mortar. The article indicates the issue of revitalization of urban areas on the example of the former provincial city. Particular attention was paid to threats to the natural environment caused by difficulties in managing construction waste arising during this process. During the research work on waste demolition material from repairs and reconstruction of buildings, ceramic construction waste was selected. These materials were crushed and dust was generated from them. The purpose of the work was to study the activity indicator, i.e. the research that is carried out for dusts obtained, e.g. in metallurgical processes. The parameter described was a determinant of the possibility of using dust as a recyclable cement substitute in concretes and mortars.

The research material was ceramic waste. The waste was picked up from the landfill and sorted. Wastes of red ceramics were isolated in the form of damaged bricks, hollow bricks and roof tiles. Dust was produced from such prepared waste. The research methodology was carried out in accordance with the standard PN-EN 450-1:2012.

The activity index of crushed ceramic dust after 28 days was 60.9%, after 90 days 72%.

Given the slight change in the strength parameters of mortars and special considerations of the necessity of waste utilization, the described ceramic dust recycling is considered as a solution possible to implement in

the production of mortars and non-structural concretes. Introduction of the results of these works to market activities may contribute to the reduction of waste deposited on landfills.

Authors' address:

Tomasz Drzymała
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego
ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa
Poland
e-mail: t.drzymala@sgsp.edu.pl
tomekdrzymala@wp.pl