

## Badania właściwości betonu z dodatkiem odpadowej ceramiki czerwonej, zastępującej część kruszywa

### Investigation of the properties of concrete with waste red ceramics as a partial replacement of aggregate

**Słowa kluczowe:** beton zwykły, beton z dodatkiem ceramiki czerwonej, kruszywo z odpadowej ceramiki czerwonej

**Key words:** normal concrete, concrete with waste red ceramic addition, aggregate of red ceramic waste

#### 1. Wprowadzenie

Trudnym problemem współczesnego przemysłu są odpady produkcyjne i materiały, które nie ulegają biodegradacji. Przy narastającej wciąż skali produkcji, możliwości ich powtórnego wykorzystania mają duże znaczenie. Odpady ceramiczne są bardzo trwałe i ich rozkład w środowisku naturalnym szacuje się na około 4 tysiące lat. W Europie ocenia się, że odpady przemysłu ceramicznego stanowią 3-7% produkcji, co oznacza, że rocznie na wysypiskach składowane są miliony ton wypalanej gliny (1). Jednym z kierunków wykorzystania odpadów ceramicznych może być ich zastosowanie do wytwarzania materiałów budowlanych, w szczególności jako składnik do produkcji betonów. Takie wykorzystanie odpadów ma korzystny wpływ na środowisko: zmniejsza wydobycie kruszyw ze złóż naturalnych oraz ogranicza ilość składowanych na hałdach odpadów (2).

Z przeglądu literatury wynika, że odpady cegieł ceramicznych wytwarzane z wypalanych glin czerwonych (3) oraz odpady ceramiki sanitarnej wytwarzane z glin szlachetnych – „białych” (4–6), mogą być stosowane jako kruszywo do produkcji betonu. Podobnie zmielone odpady cegieł mogą stanowić zamiennik piasku do produkcji betonu. (7). Odpady ceramiczne wykorzystywane jako kruszywo do betonów nie muszą być w zasadzie przetwarzane. Ponadto, sam proces wytwarzania mieszanki betonowej nie wymaga zmian w stosunku do betonów wyprodukowanych z kruszywa tradycyjnego (8). Zastosowanie mączki ceglanej, będącej produktem ubocznym w procesie wytwarzania pustaków do przygotowania mieszanek geopolimerowych, wykazało ich korzystne właściwości mechaniczne obok oczywistych korzyści dla środowiska (9). Badania betonów z dodatkiem kruszywa z ceramiki czerwonej wykazują mniejszą wytrzymałość, natomiast z dodatkiem ceramiki sanitarnej większą wytrzymałość, w porównaniu do betonów produkowanych z kruszywa tradycyjnych (7, 10).

#### 1. Introduction

Non-biodegradable wastes and by-products from various production processes are serious problem in the modern industry. With constantly increasing scale of production, the possibilities of their re-use are of great importance. Ceramic wastes are very durable and time needed for their degradation in the natural environment is estimated to be about 4000 years. It is estimated that in Europe the wastes from the ceramics industry accounts about 3-7% of production, what means, that millions of tons of burnt clay are being stored in landfills every year (1). One of the directions of ceramic waste recycling may be their use in the production of building materials, especially as a component of concrete. Such use of wastes has a positive impact on the natural environment: it reduces the exhaustion of aggregates from natural resources and reduces the amount of wastes deposited on heaps (2).

The literature review shows that the wastes from ceramic bricks produced from red clays (3) and wastes of sanitary ceramic produced from rare “white” clays (4-6), can be reused as an aggregate for concrete production. Likewise, the ground waste bricks may be a substitute of sand for the concrete production (7). No special processing of the ceramic wastes, used as concrete aggregates, is required. Furthermore, concrete mix production process does not require any changes in relation to concrete made of traditional aggregates (8). The use of brick powder, a by-product from ceramic blocks production, for the preparation of geopolimer mixtures, besides the obvious environmental benefits, also showed its positive influence on the mechanical properties of final material (9). Results of research on concrete incorporating recycled red ceramics used as aggregates show lower strength, while the addition of sanitary ceramics as aggregates results in higher strength, comparing to concretes produced of traditional aggregates (7, 10).

Ponieważ dodatek odpadów ceramicznych do betonu ma wpływ na jego właściwości, celem badań było sprawdzenie przydatności odpadowej ceramiki czerwonej do produkcji betonu zwykłego, a tym samym zbadanie wybranych właściwości mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu, w którym część kruszywa naturalnego zastąpiono tymi odpadami. Sprawdzone wpływ dodatku pokruszonych cegieł w formie kruszywa na właściwości betonów zwykłych oraz określono możliwości uzyskania dobrej jakości betonów z tym dodatkiem.

## 2. Materiały i metody

Do badań zastosowano odpady ceramiki czerwonej powstające podczas produkcji cegieł. Jej wykorzystanie nie wymagało obróbki. Odpady te rozdrobniono, wysuszono w 105°C, a następnie wydzielono kilka frakcji, za pomocą przesiewania przez sita. Do sporządzenia mieszanki betonowej stosowano cement portlandzki CEM I 42,5R, kruszywo naturalne o uziarnieniu  $D_{max} = 16$  mm oraz kruszywo z cegieł o uziarnieniu 4-8 mm i 8-16 mm. Próbkę betonu do badań zaprojektowano jako beton zwykły klasy C20/25, zgodny z normą „PN-EN 206+A1:2016-12 (11), metodą trzech równań według Bukowskiego (12). Stosowano mieszankę betonową o konsystencji K2 – gęstoplastyczną, Analizę chemiczną odpadów ceramicznych podano w tablicy 1.

Uzyskane wyniki umożliwiły porównanie właściwości betonów zwykłych oraz betonów zawierających różny dodatek kruszywa ceramicznego. W tym celu przygotowano następujące rodzaje próbek betonów:

- beton bez żadnych dodatków – BZ (1),
- beton z dodatkiem odpadów ceramicznych frakcji 4-8 mm w ilości 10% i frakcji 8-16 mm w ilości 10% - PI 10% (2),
- beton z dodatkiem odpadów ceramicznych frakcji 4-8 mm w ilości 20% i frakcji 8-16 mm w ilości 20% - PII 20% (3),
- beton z dodatkiem odpadów ceramicznych 20% ceramiki frakcji 8-16 mm- PIII 20% (4).

Zastąpiono tylko frakcje grube kruszywa naturalnego, ponieważ zastosowanie rozdrobnionych cegieł drobniejszych frakcji kruszywa wtórnego wiąże się ze wzrostem wodożądności tak wykonanego betonu. W dwóch przypadkach próbek kruszywem z recyklingu zastąpiono mniej niż 25 % kruszywa naturalnego, co jest zalecane przez Niemiecką Komisję Żelbetu, dodatkowo w innym źródle podano, że zastosowanie takich ilości kruszywa wtórnego nie wymaga zmian w projekcie konstrukcyjnym budowli (13).

Mieszanki betonowe przygotowano w Laboratorium Budowlanym Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warsza-

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD CHEMICZNY ODPADÓW CERAMICZNYCH, %

CHEMICAL COMPOSITION OF CERAMIC WASTE, %

Składnik / Compound	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Pozostałe / Others
% masowy / % by mass	51,2	18,1	6,2	6,1	2,3	0,2	4,3	11,6

Since the addition of ceramic wastes to concrete has an impact on its properties, the aim of the present study was to check the suitability of waste red ceramics for the production of ordinary concrete, and examine some properties of concrete mixes as well as properties of hardened concrete, with partial replacement of natural aggregates with examined ceramic wastes. The influence of the crushed bricks addition as an aggregate on the properties of ordinary concretes was examined and the possibility of good quality concrete production with such addition was verified.

## 2. Materials and methods

The red ceramics waste, obtained during the production of bricks, was used in experiments. Its use did not require special processing. The waste was crushed, dried at 105°C, and then a few fractions were separated by screening. The CEM I 42.5R ordinary Portland cement, natural aggregates with grain size  $D_{max} = 16$  mm and the brick aggregates with grain size 4 mm – 8 mm and 8 mm – 16 mm were used to prepare the concrete mixes. Concrete of strength class C20/25 according to “PN-EN 206 – 1 + A1: 2016-12” (11) standard was designed, using the three equations method according to Bukowski (12). Consistency of concrete mix was S1 according to EN 206 – 1. Chemical analysis of ceramic wastes is given in Table 1.

Results obtained allowed to compare the properties of ordinary concrete and properties of concrete containing various additions of ceramic aggregates. For this purpose, the following types of concrete samples were prepared:

- concrete without additives - BZ (1),
- concrete with the ceramic waste addition: 10% of 4-8 mm fraction and 10% of 8-16 mm fraction - PI 10 (2),
- concrete with the ceramic waste addition: 20% of 4-8 mm fraction and 20% of 8-16 mm fraction - PII 20 (3),
- concrete with the ceramic waste addition: 20% of 8-16 mm fraction - PIII 20 (4).

Only the coarse fraction of the natural aggregate has been replaced, because the use of fine fractions of powdered recycled aggregate is associated with the increase of the concrete mix water demand. In the case of two of the mixes, less than 25% of natural aggregates was replaced with recycled aggregate, what is recommended by German Commission of Reinforced Concrete [DAfStb]. Another source reports that use of such amounts of recycled aggregate does not require changes of the construction design. (12).

Concrete mixtures were prepared in the Civil Engineering Laboratory of the Faculty of Civil and Environmental Engineering of the

wie. Właściwości mieszanki betonowej badano zgodnie z obowiązującymi normami: konsystencję według PN-EN 12350-2:2011 i PN-EN 12350-3:2011, zawartość powietrza metodą ciśnieniową według PN-EN 12350-7:2009. Ponadto oznaczono właściwości stwardniałego betonu, a mianowicie wytrzymałość na ściskanie według PN-EN 12390-3:2011, wytrzymałość na zginanie według PN-EN 12390-5:2011, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu według PN-EN 12390-6:2011, nasiąkliwość według PN-88/B-06250, głębokość wnikania wody według PN-EN 12390-8:2011 i DIN 1048-5:1991-06) oraz gęstość objętościową według PN-EN 206+A1:2016-12.

Na rysunku 1 pokazano uziarnienie stosowanego kruszywa do betonu wzorcowego oraz betonów z dodatkiem kruszywa ceramicznego, dobranego metodą iteracji. Składy betonów przedstawiono w tabelicy 2.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Wyniki badań mieszanki betonowej

Wyniki badań konsystencji poszczególnych mieszanek betonowych podano w tabelicy 3.

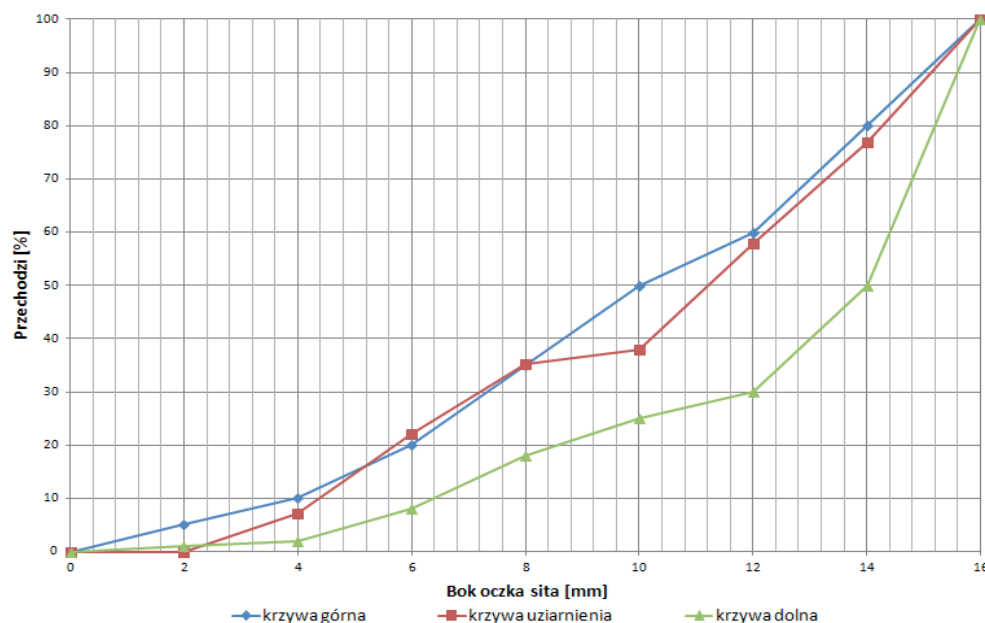
Z oznaczeń metodą Vebe wynika, że konsystencja mieszanki odpowiada klasie V2, natomiast metodą opadu stożka klasie S1. Na konsystencję mieszanki duży wpływ miał superplastyfikator – MasterGlenium ACE, dodany w ilości 0,5 % w stosunku do masy cementu. Zawartość powietrza w mieszance betonowej zależy w znacznym stopniu od dodatku kruszywa ceramicznego. Najwyższą zawartość powietrza (3,3 %) miał beton, w którym zawartość tego kruszywa była największa, a więc w próbkach o zawartości ceramiki wynoszącej 8,54 %. Najmniejszą zawartość powietrza (2,7%) zawierały próbki betonu bez kruszywa ceramicznego – tabela 3.

Tablica 2 / Table 2

SKŁADY BETONÓW

COMPOSITIONS OF CONCRETE MIXTURES

Rodzaj betonu Type of concrete	Woda / Water, dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Cement, kg/m <sup>3</sup>	Kruszywo naturalne / Natural aggregate, kg/m <sup>3</sup>				Ceramika Ceramic aggregate, kg/m <sup>3</sup>	
			0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	4-8 mm	8-16 mm
BZ (1)	166,7	361,7	706,7	381,6	364,9	446,0		
PI 10 (2)	166,7	361,7	706,7	381,6	328,4	401,4	36,5	44,6
PII20 (3)	166,7	361,7	706,7	381,6	291,9	356,8	73,0	89,2
PIII 20 (4)	166,7	361,7	706,7	381,6	364,9	356,8	-	89,20



Rys.1. Krzywa ziarnowa kruszywa

Fig. 1. The grain size distribution of aggregates

Warsaw University of Life Sciences. The properties of the concrete mixtures were tested in accordance with the applicable standards: consistency according to PN-EN 12350-2:2011 and PN-EN 12350-3:2011, air content by pressure method according to PN-EN 12350-7:2009. In addition, the compressive strength was determined according to PN-EN 12390-3:2011, flexural strength according to PN-EN 12390-5:2011, splitting-tensile strength according to PN-EN 12390-6:2011, absorptivity according to PN-88/B-06250, depth of water penetration according to PN-EN 12390-8:2011 and DIN 1048-5:1991-06 and density according to PN-EN 206+A1:2016-12. Fig. 1 shows the grain size distribution of the aggregates used for reference concrete and concrete with the ceramic aggregate addition. Gradation curve was designed using the iteration method. Mix proportions of concrete are shown in Table 2.

### 3. Results

#### 3.1. Results of examination of fresh concrete mix

The results of consistency examination for each concrete mix are presented in Table 3.

Tablica 3 / Table 3

WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI BETONOWEJ

PROPERTIES OF FRESH CONCRETE MIX

Mieszanka betonowa Concrete mix	Metoda Vebe / Vebe test		Metoda opadu stożka / Slump test /		Zawartość powietrza Air content
	Czas Vebe Vebe time, s	Klasa konsystencji Consistency class	Opad stożka slump, mm	Klasa konsystencji Consistency class	
BZ (1)	11,1	V2	20	S1	2,7
PI 10 (2)	14,2	V2	20	S1	3,0
PII 20 (3)	17,9	V2	10	S1	3,3
PIII 20 (4)	13,0	V2	20	S1	3,1

3.2. Wyniki badań betonu

Wytrzymałość na ściskanie

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na próbkach sześciennych 150x150x150 mm. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na ściskanie próbek betonu po 28 dniach dojrzewania.

Wytrzymałość na ściskanie betonu zwykłego bez dodatków wahała się od 50,2 do 51,3 MPa, przy średniej wytrzymałości 50,7 MPa. Zastąpienie części kruszywa naturalnego kruszywem z cegieł spowodowała zmniejszenie wytrzymałości. Beton z dodatkiem 10% ceramiki frakcji 4-8 mm i 10 % ceramiki frakcji 8-16 mm, wykazał spadek wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z betonem zwykłym wynoszący 12%. Podobny spadek wytrzymałości odnotowano w serii próbek, w których zastosowano 20 ceramiki frakcji 8-16 mm i wynosił on 13%. Najmniejszą wytrzymałość na ściskanie miał beton z dodatkiem 20% ceramiki frakcji 4-8 mm i 20% ceramiki frakcji 8-16 mm. Jego wytrzymałość wynosiła 41,7 MPa, co oznacza, że w porównaniu do betonu zwykłego wytrzymałość uległa zmniejszeniu o 18%.

Wytrzymałość na zginanie

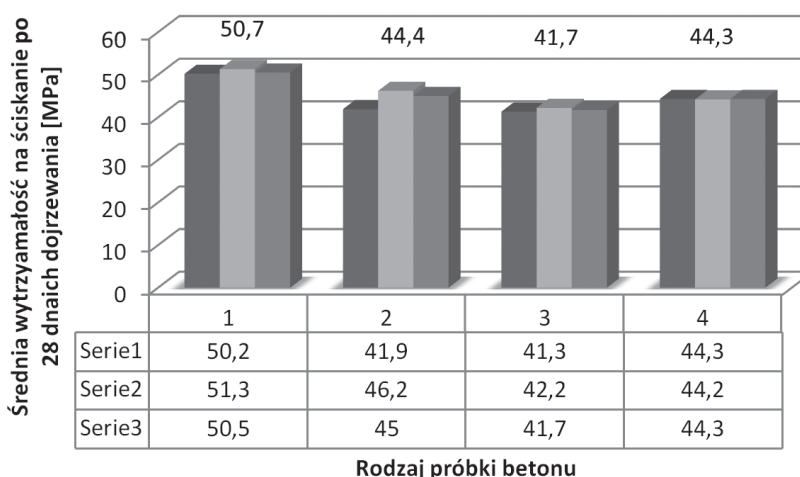
Na rysunku 3 pokazano wyniki wytrzymałości na zginanie betonowych próbek w kształcie prostokąta o wymiarach 100 x 100 x 500 mm, po 28 dniach dojrzewania.

Najmniejszą wytrzymałość na zginanie równą 5,0 MPa miał beton zwykły. Zastosowanie kruszywa ceramicznego w ilości 20%, wytrzymałość ta była największa i wyniosła 5,6 MPa. Zwiększona wytrzymałość na zginanie w betonie z dodatkiem ceramiki czerwonej, może wynikać z nieregularnego i podłużnego kształtu kruszywa, które klinuje się w mieszance, zwiększając jej wytrzymałość na zginanie.

Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 4.

Średnia wytrzymałość na rozciąganie betonu zwykłego wyniosła 3,7 MPa. Największą wytrzymałość 3,8 MPa miał beton z dodat-



Rys. 2. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania

Fig. 2. The average compressive strength of concrete samples after 28 days of curing

The results of the Vebe test and slump test show that the consistency of the fresh concrete mix corresponds to the V2 and S1 consistency class respectively. The addition of Master Glenium ACE superplasticizer in the amount of 0.5% of the cement mass greatly influenced the concrete mix consistency. The air content depends to a great extent on the amount of ceramic aggregates added to the concrete mix. The highest air content [3.3%] was noted for a concrete mix, in which the amount of the aggregate was the highest, thus in a sample with a ceramic content of 8.54%. The lowest air content [2.7%] was found for a concrete mix without ceramic aggregate addition - Table 3.

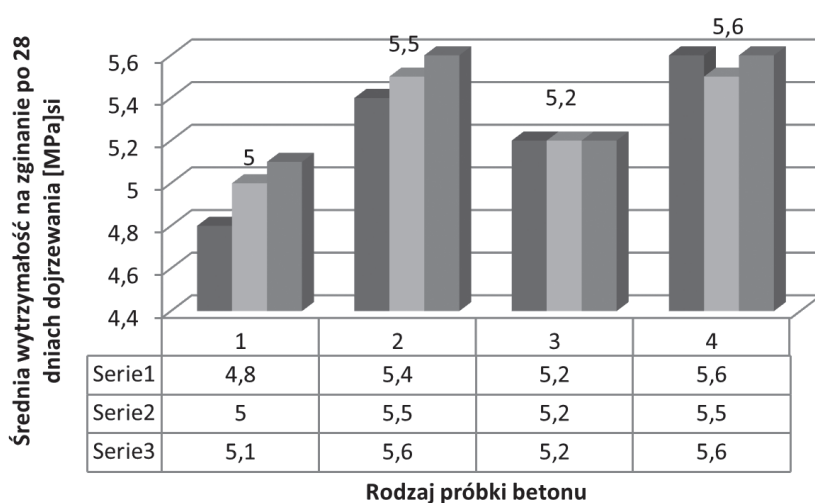
3.1. Results of hardened concrete examination

Compressive strength

The compressive strength was tested on 150 mm x 150 mm x 150 mm cubes. Compressive strength of concrete samples after 28 days of curing is presented in Fig. 2.

Compressive strength of ordinary concrete with no additives varied from 50.2 to 51.3 MPa, with an average strength of 50.7 MPa. Partial substitution of the natural aggregate with ceramic aggregate resulted in a reduction of strength. Concrete with 10% addition of ceramics with a fraction of 4 mm – 8 mm and 10% ceramics with





Rys. 3. Średnia wytrzymałość na zginanie

Fig. 3. Average flexural strength

kiem 10 % ceramiki frakcji 4-8 mm i 10 % ceramiki frakcji 8-16 mm. Beton z dodatkiem 40% ceramiki odznaczał się średnią wytrzymałością na rozciąganie równą 3,42 MPa. Najniższą uzyskał beton, w którym zastosowano 20 % ceramiki frakcji 8-16 mm, średnia wytrzymałość tych próbek wyniosła 3,16 MPa.

#### Głębokość wnikania wody pod ciśnieniem

Badania wykonano na próbkach sześciennych 150x150x150 mm po 28 dniach dojrzewania. Powierzchnia próbki poddawana była działaniu wody pod ciśnieniem, a następnie po jej rozłupaniu mierzona była głębokość do jakiej dotarła woda (tablica 5).

Beton zwykły miał najmniejszą głębokość wnikania wody równą 1,9 cm, a największą próbki z dodatkiem 20 % ceramiki frakcji 8-16 mm. Głębokość penetracji tych próbek wyniosła 3,3 cm. Zastosowanie ceramiki zamiast kruszywa naturalnego wpływa na mniejszą szczelność badanych próbek. Zgodnie z DIN 1048-5:1991-06, badane próbki to próbki betonu wodoszczelnego. Dopuszczalna granica penetracji wody pod ciśnieniem wynosząca 50mm nie została przekroczona.

#### Nasiąkliwość

Nasiąkliwość betonów jest niepożądaną właściwością, ponieważ zmniejsza jego odporność na działanie mrozu. Nasiąkliwość powinna być mniejsza od 5% dla betonów, które są narażone na działanie czynników atmosferycznych i nie większa niż 9% dla betonów, które nie są narażone na działanie czynników atmosferycznych (8). Badanie nasiąkliwości próbek rozpoczęto bezpośrednio po

Tablica 4 / Table 4

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE PRZY ROZŁUPYWANIU BETONU  
SPLITTING TENSILE STRENGTH OF CONCRETE

Rodzaj betonu Concrete type	BZ	PI 10	PII 20	PIII 20
Średnia wytrzymałość An average strength, MPa	3,70	3,81	3,42	3,16

a frakcji 8 mm – 16 mm, showed a 12% decrease of compressive strength, in comparison to the ordinary concrete. A similar decrease in strength [13%] was found in a series of samples with 20% of 8 mm – 16 mm ceramics. The lowest compressive strength was measured for concrete with 20% of 4 mm – 8 mm and 20% 8 mm – 16 mm ceramics addition. Its strength was 41.7 MPa, therefore, compared to ordinary concrete it was reduced by 18%.

#### Flexural strength

Figure 3 shows the flexural strength of 100 mm x 100 mm x 500 mm concrete bars, after 28 days of curing.

The lowest flexural strength of 5 MPa was measured for the ordinary concrete. The concrete samples with a 20% addition of ceramic aggregate, showed the highest strength equal to 5.6 MPa. Increased flexural strength of concrete with addition of red ceramics might be a result of irregular and longitudinal shape of the aggregates grains, which are wedged in the mixture, increasing its flexural strength.

#### Splitting tensile strength

The result of splitting tensile strength test are presented in Table 4.

An average splitting tensile strength of ordinary concrete was 3.7 MPa. The highest strength of 3.8 MPa was measured for concrete with addition of 10% of 4 mm – 8 mm ceramics and 10% of 8 mm – 16 mm ceramics. Concrete with 40% addition of ceramics was characterized by an average tensile strength of 3.4 MPa. The lowest splitting tensile strength was found for concrete with 20% of ceramics fraction of 8 mm – 16 mm. An average strength of these samples was 3.2 MPa.

#### Depth of water penetration under pressure

The test was performed on 150 mm x 150 mm x 150 mm cubes, after 28 days of hardening. The surface of the specimens was subjected to water under pressure and subsequently, after splitting the depth of water penetration was measured [Table 5].

The lowest depth of penetration [1.9 cm] was found for ordinary concrete, while the largest for the specimens with 20% addition of ceramics of a 8 mm – 16 mm fraction. The depth of water penetration for these samples was 3.3 cm. Substitution of natural aggregate with ceramics results in higher permeability of the investigated concrete. According to DIN 1048-5: 1991-06 the tested

Tablica 5 / Table 5

GŁĘBOKOŚĆ WNIKANIA WODY POD CIŚNIENIEM

DEPTH OF WATER PENETRATION UNDER PRESSURE

Rodzaj mieszanki betonowej Type of concrete mix	BZ	PI 10	PII 20	PIII 20
Głębokość / Depth, cm	1,9	3,0	2,2	3,3

zakończeniu okresu ich pielęgnacji przeprowadzonej zgodnie z PN-EN12390-2:2011. Z wykonanych pomiarów wynika, że nasiąkliwość wzrasta wraz ze wzrostem dodatku kruszywa z ceramiki w betonie. Beton zwykły uzyskał najmniejszą nasiąkliwość, równą 4,12%, beton z 20% dodatkiem ceramiki frakcji 4-8 mm i 8-16 mm największą, wynoszącą 4,73%. Wyniki badań nasiąkliwości zestawiono w tabelicy 6.

#### Gęstość objętościowa

Po 28 dniach dojrzewania próbki betonu wyjęto z wody w celu określenia gęstości betonu zgodnie z normą PN-EN 12350-7:2011. Największą gęstość uzyskał beton zwykły, 2,37 kg/dm<sup>3</sup>, najmniejszą – beton z 20% ceramiki czerwonej frakcji 4-8 mm i 20% frakcji 8-16mm, równą 2,27 kg/dm<sup>3</sup>. Wyniki podano w tabelicy 7.

## 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zastosowanie kruszywa z odpadów z produkcji cegieł poprawiło wyniki wytrzymałości na zginanie we wszystkich trzech seriach doświadczalnych. Najlepszy wynik uzyskał beton z dodatkiem 20% ceramiki frakcji 8-16 mm oraz próbki z kruszywem z ceramiki o frakcjach: 10% 4-8 mm i 10% 8-16 mm, co spowodowało wzrost wytrzymałości na zginanie o około 11 %. Wpływ na to mógł mieć bardziej podłużny kształt ziaren z ceramiki, co spowodowało klinowanie się kruszywa w mieszance betonowej.
2. Serie, w których zastosowano łącznie 20% ceramiki osiągnęły zbliżoną wytrzymałość na ściskanie, dodatek tego kruszywa spowodował spadek wytrzymałości betonu o około 12,5% w stosunku do betonu zwykłego. Natomiast w serii, w której zastosowano 20 % ceramiki frakcji 4-8 mm i 20% ceramiki frakcji 8-16 mm, spadek wytrzymałości na ściskanie wyniósł 17,5%. W przypadku dodatku 20% ceramiki frakcji 8-16 mm oraz betonu z dodatkiem 10% ceramiki o frakcji 4-8 mm i 10% ceramiki o frakcji 8-16 mm, łączna ilość dodatku jest taka sama i pomimo różnicowania zastosowanej frakcji otrzymane wyniki są bardzo podobne.
3. Dodatek odpadów z produkcji cegły spowodował zwiększenie wnikania wody pod ciśnieniem i nasiąkliwości. Będzie to miało niekorzystny wpływ na mrozoodporność betonu.
4. Gęstość betonu maleje w przypadku próbek z dodatkiem odpadowej ceramiki czerwonej i waha się w przedziale 2,27 – 2,31 kg/dm<sup>3</sup>. Wykonany beton spełnia wymagania dla klasy C20/25.

## Literatura / References

1. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, Reusing ceramic wastes in concrete, Constr. Build. Mat., **24**, 832–838 (2010).

samples are watertight, as the permissible limit of 50 mm of water penetration under pressure has not been exceeded.

#### Absorbability

Absorbability is undesired property of concrete, since it decreases its durability on freezing and thawing cycles. Absorbability should be lower than 5% for concrete subjected to atmospheric conditions, and not higher than 9% for concrete which is not subjected to atmospheric conditions (8). Determination of concrete absorbability started immediately after curing of concrete samples according to PN-EN 12390-2:11. According to obtained results it can be concluded, that the absorbability of concrete increases with the rise of ceramic aggregate addition. Ordinary concrete had the lowest absorbability equal to 4.1, concrete with 20% addition of ceramic aggregate of 4 mm – 8 mm and 8 mm – 16 mm fractions had the highest absorbability, equal to 4.7%. Results of absorbability test are presented in Table 6.

Tablica 6 / Table 6

#### NASIĄKLIWOŚĆ BETONÓW

#### ABSORBABILITY OF CONCRETE

Beton / Concrete	BZ	PI 10	PII 20	PIII 20
Średnia nasiąkliwość Average absorbability, %	4,12	4,37	4,73	4,72

#### Density

After 28 days of curing, concrete samples were removed from water in order to determine density of concrete, according to PN-EN 12350-7:2011. Reference concrete had the highest density equal to 2,4 kg/dm<sup>3</sup>. Concrete with 20% addition of ceramic aggregate of 4 mm – 8 mm and 8 mm – 16 mm fractions had the lowest density equal to 2.3 kg/dm<sup>3</sup>. Results are given in Table 7.

Tablica 7 / Table 7

#### GĘSTOŚĆ BETONU PO 28 DNIACH

#### DENSITY OF CONCRETE AFTER 28 DAYS

Rodzaj mieszanki betonowej	BZ	PI 10%	PII 20%	PIII 20%
Średnia gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,37	2,31	2,27	2,29

## 4. Conclusions

On the basis of results obtained, following conclusions may be drawn:

1. Addition of waste ceramic aggregate from brick production improved flexural strength of concrete in the case of all three concrete examined. Concrete with 20% addition of 8 mm – 16 mm ceramics as well as concrete with addition of 10% of 4 mm – 8 mm and 10% of 8 mm – 16 mm fractions had the hi-

3. G. Rutkowska G., P. Wichowski K. Świgoń, P. Sobieski, Properties of concrete with fly ash addition from sewage sludge thermal treatment, *Cement Wapno Beton*, **83**, 113-119 (2017).
4. A. M. Mustafa Al Bakri, M. N. Norazian, H. Kamarudin, M.A.A. Mohd Salleh, A. Alida, Strength of concrete based cement using recycle ceramic waste as aggregate, *Adv. Mater. Res.*, 740, 734-738 (2013).
5. A. Halicka, B. Zegardło: Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu, *Przegląd budowlany*, 7-8, 50-55 (2011).
6. C. Medina, M. Frías, M. I. Sánchez de Rojas, C. Thomas, J.A. Polanco, Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate, *Constr. Build. Mater.*, **37**, 597–605 (2012).
7. C. Medina, M.I. Sánchez de Rojas, M. Frías: Properties of recycled ceramic aggregate concretes: Water resistance, *Cem. Concr. Comp.*, **35**, 21-29 (2013).
8. J. De Brito, A. S. Pereira, J.R. Correia, Mechanical behavior of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cem. Concr. Comp.*, **27**, 429-433 (2005).
9. B. Zegardło, A. Halicka, Właściwości betonu z kruszywem uzyskanym z odpadów ceramiki sanitarnej, *Przegląd budowlany, Konstrukcje-elementy-materialy*, 24-28 (2012).
10. J. Fořt, E. Vejmelková, M. Keppert, R. Černý, Preparation of geopolymer mixes using by-products from brick factories *Cement Wapno Beton*, **83**, 457-465 (2017).
11. I. Guerra, I. Vivar, B. Lamas, A. Juan, J. Moran: Ecoefficient concretes: The effect of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste Management*, **29**, 643-646 (2009).
12. Z. Jamroży, *Beton i jego technologie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
13. R. Cava, D. Gallo, G. Spadea, G. Frigione: Recycled Aggregates with Fly - Ash: An Ecological and Energy Saving Concrete. 2nd International Conference on "Fracture and Damage of Concrete and Rock" Wiedeń, Austria 1992.

### **Normy**

- PN-EN 206+A1:2016-12: „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”,
- PN-EN 12350–2:2011: „Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badania konsystencji metodą opadu stożka”.
- PN-EN 12350-3:2011: Badania mieszanki betonowej -- Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe.
- PN-EN 12350 – 7:2009: „Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badania zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe”.
- PN-EN 12390 – 3:2011: „Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania”.
- PN-EN 12390 – 5:2011: „Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badania”.
- PN-EN 12390 – 6:2011: „Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania”.
- PN-88/B-06250: 1998: *Beton zwykły*.
- PN-EN 12390 – 8:2009: „Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem”.
- DIN 1048-5:1991-06 Testing concrete; testing of hardened concrete (specimens prepared in mould).

- ghest flexural strength, about 11% higher than for the ordinary concrete. Possible reason for this increase is the elongated shape of ceramic grains, what may cause interlocking within the mix.
2. Both concrete incorporating 20% of waste ceramic aggregate had similar compressive strength which was about 13% lower than strength of ordinary concrete. Despite the difference in gradation of ceramic aggregates, at the same level of replacement, strength of both concrete is almost the same. Concrete with addition of 20% 4 mm – 8 mm fraction and 20% 8 mm – 16 mm fraction had compressive strength lower by about 18% comparing to ordinary concrete.
  3. Addition of ceramic wastes form brick production resulted in the increased depth of water penetration under pressure. It will influence negatively on the freeze and thaw durability
  4. Density of hardened concrete is decreasing with the increasing addition of ceramic waste aggregate, and is within the range 2.27 – 2.31 kg/dm<sup>3</sup>. Investigated concrete fulfils strength class C20/25 demands.