

KRUSZYWA POMIEDZIOWE Z ŻUŻLI SZYBOWYCH – CHARAKTERYSTYKA I ZASTOSOWANIE W BUDOWNICTWIE DROGOWYM

THE AGGREGATES FROM SHAFT POST – COPPER SLAGS: CHARACTERISTICS AND USE IN ROAD CONSTRUCTION

ANDRZEJ DUSZYŃSKI¹, WIKTOR JASIŃSKI¹, ANETA PRYGA-SZULC¹

Abstrakt. Przedmiot artykułu stanowią kruszywa pomiedziowe z żużli szybowych z bezpośredniej produkcji oraz ze składowisk. Celem artykułu jest wskazanie na zasadnicze właściwości tych kruszyw związane z możliwością stosowania ich jako pełnowartościowych kruszyw dla budownictwa drogowego, badanych wg norm PN-EN oraz klasyfikowanych wg Wymagań Technicznych GDDKiA.

Słowa kluczowe: kruszywo, pomiedziowy żużel szybowy, badania, klasyfikacja.

Abstract. The paper deals with aggregates from shaft post – copper slags made during direct slag production and from landfills. The aim of the article is to indicate the essential properties of these aggregates related to the possibility of using as full value aggregates for road construction, tested according to PN-EN standards and classified according to GDDKiA Technical Requirements.

Key words: aggregate, shaft post copper slag, testing, classification.

PRZEGLĄD INFORMACJI DOTYCZĄCYCH POMIEDZIOWYCH ŻUŻLI SZYBOWYCH

DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel pomiedziowy jest ubocznym produktem hutniczym wytopu miedzi z koncentratu miedzi i ewentualnie złomu kolorowego w procesie szybowym w hutach Głogów I i Legnica. Z płynnego żużla powstaje kawałkowy żużel szybowy w wyniku powolnego ochładzania w dołach, a następnie przetworzenia na ciąg technologicznym. Żużel pomiedziowy w zależności od procesu krzepnięcia ma strukturę krystaliczną lub szklistą (Speczik i in., 2003; Odpady przemysłowe, 2008). Żużel szybowy jest bezpostaciowym szkliwem o gęstości 3,2–3,4 g/cm³ (Speczik i in., 2003). Niekiedy podaje się gęstość: właściwą kruszywa żużlowego – 3,15 g/cm³, objętościową w stanie luźnym – 1,54 g/cm³ i w stanie zagęszczonym – 1,81 g/cm³ (Odpady przemysłowe,

2008). Oprócz form bezpostaciowych występują również formy krystaliczne, których podstawowymi składnikami są krzemiany i glinokrzemiany wapnia oraz magnezu. Żużel z huty Głogów I składa się z takich głównych składników jak: SiO₂, Al₂O₃, FeO (Fe₂O₃), CaO, MgO, stanowiących ok. 95% masy. Ponadto od 0,1 do 1% żużle zawierają takie składniki jak: S, Zn, Pb i Cu (Speczik i in., 2003).

PRACE BADAWCZE I APROBACYJNE IBDiM – FILII WROCŁAW ZWIĄZANE Z ZASTOSOWANIEM KRUSZYWA POMIEDZIOWEGO Z ŻUŻLI SZYBOWYCH

W Polsce pomiedziowy żużel przerabia się od dawna, na większą skalę jest natomiast zagospodarowywany systematycznie dopiero od lat 90. XX w. Badania kruszywa pomiedziowego z żużli szybowych były prowadzone przez Instytut

¹ Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Filia Wrocław, 55-140 Żmigród; e-mail: aduszynski@ibdim.edu.pl, wjasinski@ibdim.edu.pl, apryga@ibdim.edu.pl.

Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) – Filię Wrocław od 1994 do 1996 roku (Opracowanie IBDiM Nr 04794, 1994). Badania te dotyczyły kruszyw oraz odcinków drogowych w odniesieniu do ochrony środowiska, tekstury nawierzchni i właściwości poślizgowych metodą SRT (*Skid Resistance Tester*). W celu zachowania ciągłości stosowania tych kruszyw w drogownictwie oraz szczególnie intensywnie rozwijającego się budownictwa drogowego w latach 90. na bazie tych badań wydano Aprobata Techniczną IBDiM Nr AT/2002-04-0040 „Kruszywo z pomiedziowego żuźla szybowego KGHM”.

W latach 2000–2002 (Opracowanie Nr IBDiM-TW 41001/W-972, 2001) przeprowadzono szczegółowe badania kruszywa pomiedziowego z żuźli szybowych w odniesieniu do szerokiego zakresu norm i dokumentów normalizacyjnych – obowiązujących i nowych, jeszcze na zasadzie projektu DraftEN 13043:1999, zaleceń, instrukcji, zasady projektowania betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwale (Zeszyt IBDiM 48/1995), wytycznych i specyfikacji technicznych. Prace te znalazły odzwierciedlenie w nowym wydaniu Aprobaty Technicznej IBDiM Nr AT/2002-04-0040.

Od 2003 roku na zlecenie KGHM METALE S.A. prowadzono badania nad możliwością zastosowania kruszywa pomiedziowego z żuźli szybowych o strukturze krystalicznej do budownictwa wodnego. Efektem tych badań była Aprobata Techniczna IBDiM Nr AT/2004-04-1852 „Kruszywo łamane. Kamień wodny z żuźla szybowego KGHM – METALE”.

Dzięki rozwojowi stosowania kruszyw z surowców uzyskanych z odpadów można ogólnie ocenić i wskazać kierunki badań dla wielu odpadów przemysłowych, w tym kruszyw z żuźli pomiedziowych (Sybilski i in., 2004).

Obecnie, od 2017 roku, dla kruszyw sztucznych obowiązują normy PN-EN lub Krajowe Oceny Techniczne.

PRODUKCJA KRUSZYW

Surowcem do produkcji kruszyw jest żuźel szybowy powstający w trakcie procesu wytopienia miedzi w piecach szybowych. W formie płynnej żuźel (temperatura do 1200÷1300°C) jest transportowany w okolice zakładu przerobczego i jest wylewany na skarpy, gdzie stygnie przez kilka miesięcy. Następnie jest na miejscu rozbijany i kawałki są poddane kruszeniu i sortowaniu.

KGHM Metraco S.A. podaje następujące właściwości produkowanych kruszyw z pomiedziowych żuźli szybowych (Metraco, 2015, 2017):

- wytrzymałość na ściskanie (MPa) >120;
- ścieralność w bębnie Los Angeles (%) do 20;
- nasiąkliwość (%) średnio 0,74;
- mrozoodporność metodą zwykłą (%) średnio 0,6;
- struktura skrytokrystaliczna lub szklista;
- przyczepność do bitumów bardzo dobra (Trzaska, 2011).

W rozszerzonym zakresie określono właściwości kruszyw (Speczik i in., 2003).

Kruszywa z szybowych żuźli pomiedziowych produkowane przez KGHM Metraco S.A. znajdują zastosowanie w budowie autostrady A2 i A4, drogi krajowej S3 – obwodnicy Zielonej Góry, Nowej Soli, Sulejowa (Kozioł i in., 2015; Metraco, 2015). Spółka KGHM uruchomiła nowoczesną linię technologiczną do produkcji kruszyw budowlanych, głównie drogowych. Jej wydajność wynosi 250 ton na godzinę. Linia jest dostosowana do przetwarzania hutniczych żuźli pomiedziowych z pieców szybowych i zawieszonych (Metraco, 2015).

WYNIKI BADAŃ

W artykule w tabelach od 1 do 6 zamieszczono wyniki badań kruszyw z szybowego żuźla pomiedziowego, wykonane w IBDiM – Filii Wrocław i zawarte w sprawozdaniach z badań: NR-70/11/TW-2, 2011; NR-778/11/W-2458, 2011; 7 NR-789/11/W-2455, 2011; NR-793/12/W-2455, 2011. Wyniki te dotyczą kruszyw frakcji 0/5; 5/8; 8/11; 11/16 oraz 0/32 mm.

WYNIKI BADAŃ GRUBYCH FRAKCJI KRUSZYWA

Właściwości geometryczne (tab. 1)

Kruszywo z szybowego żuźla pomiedziowego jest kruszywem łamanym. Ma niewielką zawartość pyłów oraz właściwy kształt ziarn. Wraz ze wzrostem wymiarów ziarn kruszywa wartości wskaźników płaskości i kształtu maleją.

Właściwości fizyczne (tab. 2)

Zgodnie z normami PN-EN, dotyczącymi kruszyw do zastosowań w nawierzchni drogowej, kruszywo z szybowego żuźla pomiedziowego jest kruszywem ciężkim, o gęstości objętościowej ziarn powyżej 3,00 Mg/m³. Wraz ze wzrostem wymiarów ziarn kruszywa wartości odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles i odporności na ścieranie rosną. Ponadto odporność na ścieranie kruszywa jest bardzo duża. Właściwość ta jest związana z jego niską nasiąkliwością – poniżej 0,7%.

Należy również zauważyć, że odporność na ścieranie powierzchniowe AAV i odporność na ścieranie M_{DE} charakteryzują się podobnymi wartościami wyników w granicach od 3 do 4%.

Tabela 1

Wyniki badań grubych frakcji – właściwości geometryczne

Results of analysis of coarse fractions – geometric properties

Właściwości		Oznaczenia	Jednostki	Wyniki				Metody badań według norm
				5/8	8/11	11/16	0/32	
Kształt	wskaźnik płaskości	FI	%	7	10	–	–	PN-EN 933-3:1999+A1:2004
				13	10	8	6	
				10	9	6	11	
	wskaźnik kształtu	SI	%	6	6	–	–	PN-EN 933-4:2008
				5	6	4	4	
				8	8	6	8	
Zawartość pyłów		f	%	0,1	0,1	0,1	2,2	PN-EN 933-1: 2000+A1:2006
				0,1	0,2	0,2	2,8	

Tabela 2

Wyniki badań grubych frakcji – właściwości fizyczne

Results of analysis of coarse fractions – physical properties

Właściwości		Oznaczenia	Jednostki	Wyniki				Metody badań według norm
				5/8	8/11	11/16	0-32	
Odporność na rozdrabnianie – metoda Los Angeles		LA	%	28	25	–	–	PN-EN 1097-2:2010
				18	16	15	21	
Odporność na polerowanie		jedn. PSV	%	–	46	–	–	PN-EN 1097-8:2009
				–	44	–	–	
Odporność na ścieranie powierzchniowe		jedn. AAV	%	–	4	–	–	PN-EN 1097-1:2007
				–	4	–	–	
Odporność na ścieranie		M _{DE}	%	9	7	–	–	PN-EN 1097-1:2007
				4	3	3	7	
Gęstość kruszywa (4÷31,5 mm)	gęstość objętościowa ziarn	ρ_a	Mg/m ³	3,09	3,09	3,09	3,09	PN-EN 1097-6:2002+A1:2006; AC:2004:Ap1:2005
	gęstość ziarn wysuszonych w suszarce	ρ_{rd}	Mg/m ³	3,03	3,03	3,04	3,04	
	gęstość ziarn nasyconych i powierzchni. osuszonych	ρ_{ssd}	Mg/m ³	3,05	3,05	3,06	3,06	
Nasiąkliwość kruszywa		WA ₂₄	%	0,6	0,7	0,5	0,6	
Gęstość nasypowa		ρ_b	Mg/m ³	1,49	1,47	–	–	PN-EN 1097-3:2000

O zastosowaniach do warstw ścieralnych nawierzchni drogowych decyduje niska odporność na polerowanie o wartości 44 (jedn. PSV).

Trwałość (tab. 3)

Kruszywo z szybowego żużla pomiedziowego pochodzi z hutniczego procesu termicznego – stąd jego całkowita odporność na szok termiczny. W przypadku tego kruszywa badanie nasiąkliwości może być badaniem wskaźnikowym wobec mrozoodporności w wodzie i w roztworze soli o wartościach odpowiednio 0,2 i 0,1%. Oznacza to również, że kruszywo jest mrozoodporne.

Właściwości chemiczne (tab. 4, 5)

Kruszywo z szybowego żużla pomiedziowego nie zawiera zanieczyszczeń obcych i organicznych oraz charakteryzuje się małą zawartością siarki (tab. 4). Brak wpływu tych

i innych składników potwierdzają badania czasu wiązania i twardnienia betonu.

Wyniki badań składników rozpuszczalnych w wodzie oraz promieniotwórczości naturalnej zamieszczono w tabeli 5. W odniesieniu do wartości zanieczyszczeń w wyciągu wodnym wyniki badań są od kilkudziesięciu do kilkuset razy mniejsze niż wymagane w RMŚ (2009). Stężenie jonów wodorowych o wartości 8,54 pH należy do lekko zasadowych. Podobnie promieniotwórczość naturalna do zastosowań w drogownictwie jest znacznie niższa od wymaganej w RRM (2007) dla strefy miejskiej, a tym bardziej dla strefy pozamiejskiej.

WYNIKI BADAŃ KRUSZYWA DROBNEGO (tab. 6)

Kruszywo drobne należy do kruszyw ciężkich o gęstości powyżej 3,00 Mg/m³. Zawartość pyłów i ich jakość oraz gęstość i nasiąkliwość pozostają niezmiennie dla badanych próbek.

Tabela 3

Wyniki badań grubych frakcji – właściwości trwałości
Results of analysis of coarse fractions – properties of durability

Właściwości	Oznaczenia	Jednostki	Wyniki			Metody badań według norm
			5/8	8/11	11/16	
Nasiąkliwość jako wskaźnik mrozoodporności	WA ₂₄	%	0,7	0,7	0,5	PN-EN 1097-6:2002+A1:2006; AC:2004:Ap1:2005
Mrozoodporność	F	%	0,2	0,2	–	PN-EN 1367-1:2007
Mrozoodporność w obecności soli	F _{NaCl}	%	0,1	0,1	–	PN-EN 1367-6:2008
Odporność na szok termiczny	I	%	–	–	0,04	PN-EN 1367-5:2011
	V _{LA}	%	–	–	+0,2	

Tabela 4

Wyniki badań grubych frakcji – właściwości chemiczne wg PN-EN 1744-1
Results of analysis of coarse fractions – chemical properties according to PN-EN 1744-1

Właściwości	Oznaczenia	Jednostki	Wyniki			
			5/8	8/11	0/32	
Siarczany rozpuszczalne w kwasie	AS	%	0,2	0,2	–	
Siarka całkowita	S	%	0,0	0,0	–	
Obecność zanieczyszczeń organicznych	–	–	brak	brak	brak	
Składniki wpływające na czas wiązania i twardnienia betonu	wytrzymałość na ściskanie (próbki nieprażone)	R	MPa	–	–	43,8
	wytrzymałość na ściskanie (próbki prażone)	R	MPa	–	–	42,9
	zwiększenie czasu tężenia próbek	–	min.	–	–	10

Tabela 5

Wyniki badań grubych, drobnych i pylistych frakcji – właściwości chemiczne
Results of analysis of coarse, fine and dusty fractions – chemical properties

Właściwości – rodzaj zanieczyszczeń	Oznaczenia	Jednostki	Wyniki			Poziom wymagań	Metody badań według:
			0/5	5/8	8/11		
wartości zanieczyszczeń w wyciągu wodnym ¹							
Nieorganiczne	chlorki	mg/l	–	4,04	5,39	1000	PN ISO 9297:1994
	siarczany (VI)		–	6,58	11,11	500	PN ISO 9280:2002
	sód		–	4,35	4,48	800	PN-ISO 9964-3:1994+AK:1997
	potas		–	5,42	6,06	80	
Nieorganiczne niebezpieczne	cynk		–	0,010	0,011	2	PN-ISO 8288:2002
	kadm		–	0,008	0,008	0,2	
	miedź		–	0,019	0,019	0,5	
	nikiel		–	0,012	0,012	0,5	
	ołów		–	0,063	0,063	0,5	
	chrom og.		–	0,011	0,017	0,5	PN-EN 1233:2000
Inne	odczyn pH	–	–	7,74	8,54	6,5÷9,0	PN-90/C-04540/0
	ChZT _{Mn}	mg/O ₂ /l	–	1,59	1,82	–	PN-85/C-4578/02
Inne specyficzne	przewodność elektryczna właściwa	μS/cm	–	0,08	0,09	–	PN-EN 27888:1999
Promieniotwórczość naturalna	f ₁	–	1,40	–	1,44	2,0	Instrukcja ITB Nr 455/2010
	f ₂	Bq/kg	275,62	–	279,12	400	
	mD	μGy/h	0,185	–	0,190	0,3	

¹ Wyciąg wodny przygotowano na podstawie PN-EN 1744-3:2004

Tabela 6

Wyniki badań drobnego kruszywa 0/5,6
The test results of fine aggregate 0/5,6

Właściwości		Oznaczenia	Jednostki	Wyniki			Metody badań według norm
Zawartość pyłów		f	%	4,9	5,4	5,2	PN-EN 933-1: 2000+A1:2006
Jakość pyłów		MB _F	g/kg	0,3	0,3	0,5	PN-EN 933-9:2001
Grube zanieczyszczenia lekkie		m _{LPC}	%	0,0	0,0	–	PN-EN 1744-1:2000
Wskaźnik przepływu kruszywa drobnego		ECs	s	19	*	*	PN-EN 933-6: 2002+AC:2004
Gęstość kruszywa (0,063÷4 mm)	gęstość objętościowa ziarn	ρ _a	Mg/m ³	3,21	3,11	3,12	PN-EN 1097-6:2002+A1:2006; Ap1:2005, p. 9
	gęstość ziarn wysusz. w suszarce	ρ _{rd}	Mg/m ³	3,15	3,04	3,09	
	gęstość ziarn nasyconych i powierzchniowo osuszonych	ρ _{ssd}	Mg/m ³	3,17	3,06	3,10	
Nasiąkliwość kruszywa		WA ₂₄	%	0,6	0,7	0,3	
Gęstość nasypowa		ρ _b	Mg/m ³	1,84	–	–	PN-EN 1097-3:2000
Zawartość siarki całkowitej		S	%	0,0	–	–	PN-EN 1744-1:2010
Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w kwasie		AS	%	0,2	–	–	
Składniki zmieniające czas wiązania i twardnienia betonu	wytrzymałość na ścislenie (próbki nieprażone)	R	MPa	46,9	–	–	PN-EN 1744-1:2000
	wytrzymałość na ścisk. (próbki prażone)	R	MPa	47,3	–	–	
	zwiększenie czasu tężenia próbek	–	min.	10	–	–	

* Nie uzyskano pomiarów czasu przepływu z uwagi na klinowanie się kruszywa w otworze lejka

OCENA WYNIKÓW BADAŃ

Ocenę wyników badań kruszyw z szybowego żuźla pomiedziowego przeprowadzono wg wymagań zawartych w następujących dokumentach: RRM, 2007; RMŚ, 2009; WT-1 2010; WT-4 2010; WT-5 2010 i OST Nawierzchnia z betonu cementowego, 2014.

W tabeli 7 wyszczególniono najniekorzystniejsze wyniki badanych kruszyw, do których wymagania zawarte w powyższych dokumentach są określone przez wartości liczbowe (oprócz: odporności na ścieranie wg PN-EN 1097-1, gęstości wg PN-EN 1097-6 rozdz. 7, 8 lub 9, nasiąkliwości wg PN-EN 1097-6 rozdz. 7,8 lub 9 (w zależności od frakcji), gęstości nasypowej, siarczanów rozpuszczalnych w kwasie wg PN-EN 1744-1, całkowitej zawartości siarki wg PN-EN 1744-1, składu chemicznego – uproszczonego opisu petrograficznego, cech środowiskowych). Pominięto również składniki rozpuszczalne w wodzie (tab. 5), których wyniki i wymagania są zgodne z RMŚ (2009), oraz grube zanieczyszczenia lekkie, jako nieobecne w kruszywach.

Ocenę wyników badań kruszyw z szybowego żuźla pomiedziowego przeprowadzono dla najniekorzystniejszych wyników zawartych w tabelach od 1 do 6, które zamieszczono zbiorczo w tabeli 7.

Zebrane w tej tabeli wyniki badań spełniają wymagania wobec:

- kruszyw do mieszanek niezwiązanych i związanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie ulepszonego podłoża, podbudowy pomocniczej i zasadniczej nawierzchni drogi oraz w nawierzchni z kruszywa niezwiązanego do dróg krajowych kategorii ruchu do KR6 wg WT-4 2010 i WT-5 2010;
- kruszyw do bitumicznych warstw podbudowy oraz warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej wg WT-1 2010.

Zastosowanie kruszyw z szybowego żuźla pomiedziowego do warstwy ścieralnej w technologii betonu asfaltowego i do powierzchniowych utwaleń wg WT-1 2010 do dróg krajowych jest możliwe tylko dla kategorii ruchu KR1÷KR2, z uwagi na wymagania odporności na polerowanie. Wymagania w tym dokumencie dla KR1÷KR2 są następujące: dla warstwy ścieralnej – $PSV_{\text{deklarowane}}$ i dla powierzchniowych utwaleń – PSV_{44} .

W Wymaganiach Technicznych (WT-1 2010) nie uwzględniono w zakresie możliwości stosowania do warstwy ścieralnej mieszanek kruszyw o różnych wartościach PSV. Wyniki prac związanych z optymalizacją czynników wpływających na polerowalność kruszyw różnych mieszanek, prowadzone w IBDiM – Filii Wrocław dla GDDKiA, zawierają m.in. opracowania: Duszyński, 2005; Duszyński, Jasiński, 2014. Nowe Wymagania Techniczne (WT-1 2014) wprowadzają wymaganie PSV_{50+} – przypis „*”)” oznacza, że można mieszać kruszywa grube kategorii PSV_{44} i wyższej na zasadzie udziałów poszczególnych kruszyw w mieszance. Wtedy kruszywo z szybowego żuźla pomiedziowego o odporności na polerowanie wg tabeli 7 spełni nowe wymagania dla kategorii ruchu KR5÷KR6 w technologii betonu asfaltowego i dla KR5÷KR7 w technologii SMA (mieszanka mastykowo-grysowa) i BBTM (beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw), pod warunkiem odporności na rozdrabnianie kategorii co najmniej LA_{25} . Jak można zauważyć w tabeli 2, możliwa jest produkcja kruszywa na takim poziomie wymagań odporności na rozdrabnianie.

Klasyfikacja grubych kruszyw z szybowego żuźla pomiedziowego do nawierzchni z betonu cementowego (wg OST Nawierzchnia z betonu cementowego, 2014) nie pozwala na stosowanie tych kruszyw również ze względu na odporność na polerowanie, dla której wymaganie nawet

Tabela 7

Najniekorzystniejsze wyniki badań dla kruszywa grubego z szybowego żuźla pomiedziowego z tabel 1, 2 i 3 do klasyfikacji wg WT-1 2010

The most unfavourable test results for the coarse aggregate of the shaft post – copper slag from Tables 1, 2 and 3 for the classification (according to WT-1 2010)

Właściwość		Oznaczenia	Jednostki	Najniekorzystniejszy wynik badań dla kruszywa grubego
Kształt kruszywa grubego	wskaźnik płaskości	FI	%	13
	wskaźnik kształtu	SI	%	6
Zawartość pyłów		f	%	0,2
Odporność na rozdrabnianie		LA	%	28
Odporność na polerowanie		PSV	–	44
Mrozoodporność na kruszywie frakcji 8/16		F	%	0,2
Mrozoodporność w 1% NaCl frakcji 8/16		F _{NaCl}	%	0,1

do jednowarstwowej nawierzchni przy ruchu KR1÷KR2 wynosi PSV_{deklarowana} (nie mniej niż 48). Dla wyższych kategorii ruchu KR3÷KR4 jest wymagana odporność na polerowanie na poziomie PSV₅₀, a dla KR5÷KR7 na poziomie deklarowanym, ale z zapisem PSV_{deklarowana} (nie mniej niż 53). Przyczyną nieosiągnięcia wartości PSV na wymaganym poziomie jest głównie szklista budowa żużla.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań kruszywa pomiedziowego z żużli szybowych zostały odniesione przede wszystkim do wymagań kształtu kruszywa grubego, zawartości pyłów, odporności na rozdrabnianie, odporności na polerowanie, mrozoodporności i mrozoodporności w 1% NaCl. Wobec obecnych dokumentów normalizacyjnych dla kruszywa pomiedziowego z żużli szybowych podstawowe znaczenie mają charakterystyki fizyczne i mechaniczne – odporność na rozdrabnianie i odporność na polerowanie. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na to, że:

- wartości odporności na polerowanie PSV dla kruszywa pomiedziowego z żużli szybowych są bardzo bliskie poziomowi wymagań dla odporności na polerowanie o wartości PSV₄₄;

Składniki rozpuszczalne w wodzie klasyfikowane wg RMŚ (2009) oraz promieniotwórczość naturalna wg RRM (2007) do zastosowań w drogownictwie charakteryzują się znacznie niższymi wynikami niż wymagane w wyżej wymienionych rozporządzeniach.

- wartości odporności na rozdrabnianie LA dla kruszywa pomiedziowego z żużli szybowych mogą być dobrane pod względem frakcji lub procesu powstania żużla szybowego do wymaganego poziomu dla danego zastosowania w konstrukcji nawierzchni.

Inne właściwości tego kruszywa, takie jak: kształt kruszywa grubego (wskaźnik płaskości, wskaźnik kształtu), mrozoodporność, mrozoodporność w 1% NaCl, odporność na szok termiczny, siarczany rozpuszczalne w kwasie, siarka całkowita, składniki zmieniające czas wiązania i twardnienia betonu, wartości zanieczyszczeń w wyciągu wodnym i promieniotwórczość naturalna, charakteryzują się wynikami badań znacznie poniżej odpowiednich poziomów wymagań technicznych do zastosowań w konstrukcji nawierzchni.

LITERATURA

- DUSZYŃSKI A., 2005 — Optymalizacja odporności na ścieranie kruszyw do warstwy ścieralnej nawierzchni – Etap II. Symbol pracy IBDiM-TW/61205/TW-26, Żmigród – Węglewo. Internet: www.gddkia.gov.pl/pl/a/3435/prace-naukowo-badawcze-zrealizowane-w-latach-2000-2009 (dostęp: maj 2017).
- DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W., 2014 — Ocena odporności na poślizg nawierzchni drogowych wykonanych w technologii SMA – bezpieczeństwo pojazdów i pieszych. *Logistyka*, **3**: 1499–1505.
- KOZIOŁ W., CIEPLIŃSKA A., MACHNIAK Ł., BORCZ A., 2015 — Kruszywa w budownictwie. Cz. 2. Kruszywa alternatywne. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, **5**: 35–38.
- METRACO, 2015 — Strona reklamowa KGHM Metraco S.A., *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, **62**: 39.
- METRACO, 2017 — Internet: www.metraco.pl.
- ODPADY PRZEMYSŁOWE, 2008 — Odpady Przemysłu Miedzianego wytwarzane przy eksploatacji i przeróbce rud miedzi w KGHM Polska Miedź S.A. Odpady przemysłowe. Internet: zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/inzynieria_srodowiska/a_odpady/odpady_prz.pdf (dostęp: maj 2017).
- OPRACOWANIE IBDiM NR 04794, 1994 — Badania wraz z zastosowaniem Świadectwa Dopuszczenia do Stosowania w Budownictwie Drogowym dla żużla szybowego pochodzącego z Huty Miedzi „Głogów” KGHM Polska Miedź. Etap I: Badania surowca i kruszyw z żużla szybowego, *symbol pracy W-40*, obejmujące:
- „Badania na wybranych odcinkach dróg wykonanych z pomiedziowego żużla szybowego w celu oceny oddziaływania zastosowanych żużli do budowy dróg na środowisko”;
 - „Raport z wykonywanych prac dla pomiedziowego żużla szybowego z Huty Miedzi Głogów I”;
 - „Wykonanie badań stanu powierzchni na wybranych odcinkach dróg wykonywanych z pomiedziowego żużla szybowego w celu oceny jakości i trwałości drogowych warstw nawierzchniowych w aspekcie bezpieczeństwa ruchu”.
- OPRACOWANIE NR IBDiM-TW 41001/W-972, 2001 — Wykonanie badań sprawdzająco-aprobacyjnych i określenie możliwości zastosowania kruszywa łamanego z pomiedziowego z pomiedziowego żużla szybowego dla zastosowania w budownictwie drogowym. Etap I: Badania kruszyw. Część 1: Wyniki badań i ich analiza pod względem badanych właściwości. Część II: Analiza wyników badań pod względem zastosowania.
- SPECZIK S., BACHOWSKI C., MIZERA A., GROTOŃSKI A., 2003 — Stan aktualny i perspektywy gospodarki odpadami stałymi w KGHM Polska Miedź S.A. *W: Warsztaty 2003 z cyklu: „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*: 155–177. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- SPRAWOZDANIE Z BADAŃ NR-70/11/TW-2, 2011 — Badania kruszyw z żużla pomiedziowego z pieca szybowego., z dnia 29.08.2011 r., IBDiM, Żmigród.
- SPRAWOZDANIE Z BADAŃ NR-778/11/W-2458, 2011 — Badania kruszyw – badania wstępne typu., z dnia 29.08.2011 r., IBDiM, Żmigród.
- SPRAWOZDANIE Z BADAŃ NR-789/11/W-2455, 2011 — Badania kruszyw z pomiedziowego żużla szybowego., z dnia 14.12.2011 r., IBDiM, Żmigród.

- SPRAWOZDANIE Z BADAŃ NR-793/12/W-2455, 2011 — Badania kruszyw z pomiedziowego żużla szybowego., z dnia 29.12.2011 r., IBDiM, Żmigród.
- SYBILSKI D. i in., 2004 — Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych, Warszawa, listopad 2004 r. Internet: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435/documents/tn-233.pdf (dostęp: maj 2017).
- TRZASKA E., 2011 — Adhezja asfaltu do kruszywa. *NAFTA-GAZ*, 67, 6: 423–427.

Normy

- PN-EN 12620 Kruszywa do betonu.
- PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.
- PN-EN 13242+A1:2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
- PN-EN 933-1:2012; PN-EN 933-1:2000+A1:2006 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczenie składu ziarnowego – Metoda przesiewania.
- PN-EN 933-3:1999+A1:2004 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 3: Oznaczenie kształtu ziarn za pomocą wskaźnika płaskości.
- PN-EN 933-4:2008 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 4: Wskaźnik kształtu.
- PN-EN 933-6:2002+AC:2004; PN-EN 933-6:2014-07 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 6: Ocena właściwości powierzchni - Wskaźnik przepływu kruszyw.
- PN-EN 933-9:2001; PN-EN 933-9+A1:2013-07 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 9: Ocena zawartości drobnych cząstek – Badanie błękitem metylenowym.
- PN-EN 1097-1:2007 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczenie odporności na ścieranie (mikro-Deval).
- PN-EN 1097-2:2010 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.
- PN-EN 1097-3:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Oznaczenie gęstości nasypowej i jamistości.
- PN-EN 1097-6:2002+A1:2006; AC:2004:Ap1:2005 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczenie gęstości ziarn i nasiąkliwości.
- PN-EN 1097-8:2009 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 8: Oznaczenie polerowalności kamienia.
- PN-EN 1367-1:2007 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 1: Oznaczenie mrozoodporności.
- PN-EN 1367-6:2008 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 6: Mrozoodporność w obecności soli.
- PN-EN 1367-5:2011 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 5: Oznaczenie odporności na szok termiczny.
- PN-EN 1744-3:2004 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Część 3: Przygotowanie wyciągów przez wymywanie kruszyw.
- PN-EN 1744-1:2000 i PN-EN 1744-1:2010 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Część 1: Analiza chemiczna.

- PN ISO 9297:1994 Jakość wody – Oznaczenie chlorków – Metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra).
- PN ISO 9280:2002 Jakość wody – Oznaczenie siarczanów (VI) – Metoda grawimetryczna z chlorkiem baru.
- PN-ISO 9964-3:1994+AK:1997 Jakość wody – Oznaczenie sodu i potasu – Oznaczenie sodu i potasu metodą emisyjnej spektrometrii płomieniowej.
- PN-ISO 8288 :2002 Jakość wody – Oznaczenie kobaltu, niklu, miedzi, cynku, kadmu i ołowiu – Metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu.
- PN-EN 1233:2000 Jakość wody – Oznaczenie chromu – Metody absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- PN-90/C-04540/00 Woda i ścieki – Badania pH, kwasowości i zasadowości – Postanowienia ogólne i zakres normy.
- PN-85/C-4578/02 Woda i ścieki – Badania zapotrzebowania tlenu i zawartości węgla organicznego – Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) metodą nadmanganianową.
- PN-EN 27888:1999 Jakość wody – Oznaczenie przewodności elektrycznej właściwej.

Dokumenty normalizacyjne i rozporządzenia

- APROBATA TECHNICZNA IBDiM Nr AT/96-03-004 — Kruszywa łamane z pomiedziowego żużla szybowego KGHM.
- APROBATA TECHNICZNA IBDiM Nr AT/2002-04-0040 — Kruszywo z pomiedziowego żużla szybowego KGHM.
- APROBATA TECHNICZNA IBDiM Nr AT/2004-04-1852 — Kruszywo łamane. Kamień wodny z żużla szybowego KGHM – METALE.
- INSTRUKCJA ITB Nr 455/2010 Badania promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych.
- OST NAWIERZCHNIA Z BETONU CEMENTOWEGO, 2014 — Ogólne Specyfikacje Techniczne, rozdz. III, dział 06 Nawierzchnie betonowe. Internet: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/s/specyfikacja_13123/III_betonu/OST%20NAWIERZCHNIA%20Z%20BETONU%20CEMENTOWEGO%2015.07.2014.pdf (dostęp: maj 2017).
- RMŚ, 2009 — Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (DzU Nr 27 poz. 169).
- RRM, 2007 — Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (DzU Nr 4 poz. 29).
- WT-1 2010 — Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych Wymagania Techniczne.
- WT-1 2014 — Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych Wymagania Techniczne.

WT-4 2010 — Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. Wymagania Techniczne.

WT-5 2010 — Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych. Wymagania Techniczne.

ZESZYT IBDiM 48/1995 — Zasady projektowania betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe. Wytyczne oznaczania odkształcenia i modułu sztywności mieszank mineralno-bitumicznych metodą pełzania pod obciążeniem statycznym.

SUMMARY

The aggregates from shaft post – copper slags have been used in Poland for decades. The road works, researches and uses of these aggregates allowed us to evaluate and define directions in a wide range of applications in road construction. The aggregates from shaft post – copper slags show

specific properties. The specifics of the aggregate a set of properties relevant to the requirements of road construction when designing a road, road build-up, and road use. The research results presented in this paper show some aspects related to the specificity of these aggregates.

