

dr inż. Marta Wasilewska¹⁾

Odporność na polerowanie kruszywa grubego z żużla stalowniczego

Resistance to polishing of coarse aggregate from steelmaking slag

DOI: 10.15199/33.2015.07.27

(Doniesienie naukowe)

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę odporności na polerowanie kruszywa grubego z żużla stalowniczego frakcji 4/6,3; 8/10 i 10/12,8 na podstawie wskaźnika tarcia określonego z użyciem wahadła angielskiego. W celu interpretacji zjawisk zachodzących na ziarnach kruszyw w procesie polerowania wykonano zdjęcia pod mikroskopem optycznym w powiększeniu x3,2. Na podstawie badań stwierdzono, że porowata tekstura żużli stalownicznych wpływa na bardzo wysoki wskaźnik polerowalności PSV. Wykazano, że podczas polerowania dochodzi do regeneracji mikrotekstury i w efekcie kruszywo jest odporne na czynniki polerujące. W związku z tym jego wykorzystanie do warstw ścieralnych jest uzasadnione z uwagi na zagwarantowanie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych.

Słowa kluczowe: kruszywo grube, żużel stalowniczy, odporność na polerowanie, warstwa ścieralna.

Abstract. The article presents the evaluation of resistance to polishing of coarse aggregate from steelmaking slag fraction 4/6.3; 10/8 and 10/12.8 based on the results of friction coefficient obtained by British Pendulum Tester. Images 3.2x magnification were made by optical microscope in order to interpret developments on aggregate grains in the polishing process. It found that porous texture of steelmaking slag was resulted in very high PSV. In addition, it has been shown that during the polishing process recovery microtexture reaches, making the material resistant to polishing. Consequently, its use for wearing course is justified to guarantee the skid resistance of road pavement.

Keywords: coarse aggregate, steelmaking slag, resistance to polishing, wearing course.

Pod wpływem wody, drobnych zanieczyszczeń i opon samochodowych wystające ziarna kruszyw grubych w warstwie ścieralnej są poddawane zjawisku polerowania, co może przyczynić się do śliskości nawierzchni drogowej. Jest to szczególnie istotnie w miejscach narażonych na poślizg, takich jak łuki poziome o promieniu mniejszym niż 250 m, obszary skrzyżowań z pasami włączeń i wyłączeń oraz łącznice węzłów drogowych. W związku z tym w przypadku kruszyw przeznaczonych do warstwy ścieralnej powinien być określany wskaźnik polerowalności PSV (Polished Stone Value) wg PN-EN 1097-8: 2009 *Badania mechaniczne i fizyczne właściwości kruszyw. Część 8: Oznaczenie polerowalności kamienia*. Zgodnie z aktualnymi wymaganiami, kruszywa przeznaczone do warstwy ścieralnej o kategorii ruchu KR5-KR7 powinny charakteryzować się PSV > 50. Na podstawie badań prowadzonych w Politechnice Białostockiej stwierdzono, że baza złóż naturalnych do produkcji kruszyw grubych o takim wskaźniku PSV i jednocześnie spełniających wymagania dotyczące właściwości geometrycznych i fizycznych, jest ograniczona [1]. Najwyższy wskaźnik PSV wykazywały kruszywa sztuczne z żużla stalowniczego będące produktem ubocznym wytopu stali z surówki żelaza w piecu konwertorowym. Podczas ich produkcji krystalizują w masie żużlowej krzemiany dwu- i trzywapniowe, ferryt wapniowy, wustyt i zanieczyszczenia pochodzące z wsadu. Przy zapewnieniu jakości produkcji otrzymywano kruszywo grube o bardzo dobrych właściwościach fizycznych i geometrycznych, które mogło być stosowane do warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej [2]. Duży wskaź-

nik PSV kruszywa wynikał z porowatej struktury. Traktując pojedyncze pory jako minerały o twardości równej 0, osadzone w materiale sztucznym o twardości 8-9 (skala Mohsa), żużel stalowniczy charakteryzuje się bardzo dużym zróżnicowaniem twardości, a tym samym bardzo dobrą odpornością na czynniki polerujące. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe obliczone na podstawie PSV żużli stalownicznych, pochodzących od dwóch producentów. Pomimo że wartość wskaźnika PSV kruszyw z żużli stalownicznych była wyższa niż kruszyw ze skał naturalnych, to jedynie w ich przypadku zaobserwowano bardzo duży rozrzut wyników PSV otrzymanych nawet na próbkach kruszyw pobranych z tej samej partii. Zjawisko to zarejestrowano w przypadku żużla od pierwszego i drugiego producenta. W związku z tym przeprowadzono szczegółowe badania, które pozwoliły na ocenę zmian na powierzchni kruszywa z żużla stalowniczego w procesie polerowania.

Tabela 1. Wyniki analiz statystycznych wskaźnika polerowalności PSV kruszyw z żużli stalownicznych

Table 1. Results of the statistical analysis of PSV for aggregates from steelmaking slag

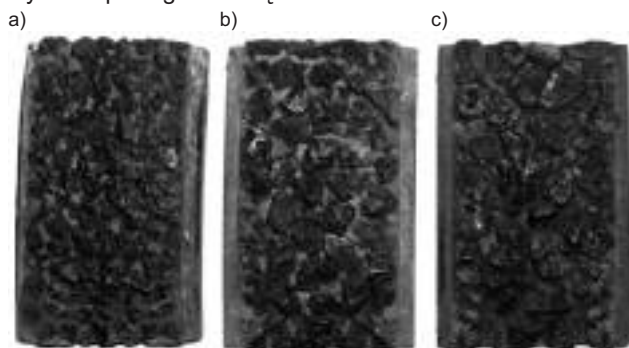
Producent	N	PSV średnia	Mediana	Min.	Maks.	Różnica wyników	Odchylenie standardowe S _{PSV}	Współczynnik zmienności v [%]
1	14	57,2	55	52	66	14	4,04	7,3
2	16	58,5	57	53	69	16	4,94	8,7

Program badań

Przedmiotem badań było kruszywo grube z żużla stalowniczego pochodzące od producenta 2. Wykonano po cztery próbki z kruszywa o uziarnieniu 4/6,3, 8/10, 10/12,8

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; e-mail: marta.wasilewska@pb.edu.pl

(fotografia 1). Symulację zjawiska polerowania przeprowadzono wg PN-EN 1097-8: 2009. Proces polerowania trwał 6 godzin z podziałem na I fazę ze ścierniwem korundowym frakcji 300/600 μm i wodą oraz II fazę z proszkiem korundowym frakcji mniejszej od 53 μm i wodą. W celu ustalenia zmiany stopnia poddawania się czynnikom polerującym kruszywa z żużla stalowniczego pomierzono wskaźnik tarcia S wahadłem angielskim, natomiast w celu wyjaśnienia zjawisk zachodzących na powierzchni kruszywa wykonano obrazy pod mikroskopem optycznym w powiększeniu $\times 3,2$. W związku z tym, że badania odporności na polerowanie przeprowadzono na próbkach o uziarnieniu, którego nie przewiduje procedura normowa przy określeniu wskaźnika PSV, w analizie wyników posługiwano się wskaźnikiem tarcia S.



Fot. 1. Próbki do odporności na polerowanie: a) 4/6,3; b) 8/10; c) 10/12,8

Photo 1. Specimens for polishing test: a) 4/6,3; b) 8/10; c) 10/12,8

Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości wskaźników tarcia \bar{S} , odchylenie standardowe S_s , współczynnik zmienności v w odniesieniu do poszczególnych frakcji kruszywa z żużla stalowniczego. Powierzchnia żużli przed polerowaniem była bardzo nieregularna z widocznymi porami, co wpływało na wysokie wskaźniki tarcia od 81,5 do 85,8 (fotografia 2). Wraz z rozpoczęciem polerowania zmiany na powierzchni zachodziły z różną intensywnością. Odnotowano wzrost wskaźników tarcia po 6 h w przypadku frakcji 4/6,3, po 3 h – frakcji 8/10 i po 5 h – frakcji 10/12,8. Badania prowadzone w ramach pracy [3] wykazały, że w przypadku kruszyw naturalnych obserwuje się w pierwszych godzinach po-

Tabela 2. Wyniki wskaźników tarcia podczas polerowania i ich statystyki opisowe

Table 2. Results of friction coefficients \bar{S} in polishing process and its statistics

Czas [h]	Frakcja kruszywa								
	4/6,3			8/10			10/12,8		
	S [-]	S_s [-]	v [%]	S [-]	S_s [-]	v [%]	S [-]	S_s [-]	v [%]
0	85,8	0,56	0,65	83,1	3,50	4,21	81,5	2,39	2,93
1	66,1	5,98	9,05	68,0	2,34	3,44	60,1	0,15	0,25
2	63,0	5,40	8,57	60,5	2,49	4,12	58,2	2,60	4,47
3	58,7	1,74	2,96	67,4	11,48	17,03	55,4	1,15	2,08
4	56,3	5,74	10,20	61,5	5,92	9,63	49,7	0,53	1,07
5	51,6	2,28	4,42	54,0	3,37	6,24	51,0	2,85	5,59
6	66,2	13,27	20,05	51,9	5,75	11,08	52,2	1,20	2,30

lerowania spadek wskaźnika tarcia w każdej fazie, a następnie jego wartość stabilizuje się na określonym poziomie. Zjawisko wzrostu wskaźnika tarcia jest charakterystyczne dla materiałów o porowatej strukturze, co potwierdziła analiza obrazów powierzchni żużla stalowniczego pod mikroskopem. Na niektórych powierzchniach zaobserwowano charakterystyczny połysk wynikający z wygładzenia materiału, co ma związek ze zmianą sieci krystalograficznej, w wyniku której nowo powstała warstwa uzyskuje bezpostaciową budowę (fotografia 3). Na skutek dalszego polerowania na tych samych powierzchniach następowało otwarcie porowatej struktury materiału, przez co dochodziło do regeneracji tekstury i wzrostu wskaźnika tarcia. Wygładzone zostały jedynie krawędzie porów (fotografia 4).

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że żużel stalowniczny jest odporny na czynniki polerujące. Zdolność do regeneracji mikronierówności jest jego dużym atutem. Ze względu na wysoką zawartość związków żelaza żużle mają dużą gęstość $3,1 \div 3,6 \text{ Mg/m}^3$, i w efekcie są niechętnie wykorzystywane do mieszanek mineralno-asfaltowych. Obecnie w kraju nie produkuje się kruszywa z żużla stalowniczego przeznaczonego na warstwę ścieralną. Optymalnym rozwiązaniem byłoby wbudowywanie żużla do warstw ścieralnych w miejscach szczególnie narażonych na poślizg w celu poprawy właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych.

Wszystkie fotografie – Autorka

Literatura

- [1] Gardziejczyk W., Wasilewska M.: Kruszywa drogowe do warstw ścieralnych w świetle ich odporności na polerowanie. Drogownictwo nr 11 (2005); s. 335–341.
- [2] Sitko J.: Analiza problemu utylizacji odpadów metalurgicznych. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie Z. 73, Gliwice (2014); s. 531-540.
- [3] Wasilewska M.: Wpływ kruszyw na właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. Rozprawa doktorska. Białystok 2010.

Przyjęto do druku: 14.05.2015 r.



Fot. 2. Obraz powierzchni przed polerowaniem

Photo 2. Image of surface before polishing



Fot. 3. Obraz powierzchni po polerowaniu z połyskiem

Photo 3. Image of surface after polishing with gloss



Fot. 4. Obraz powierzchni po polerowaniu z porowatą strukturą

Photo 4. Image of surface after polishing with porous structure