

Zastosowanie mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym, w świetle obowiązujących przepisów

Application of ash and slag mixtures in the road construction: current directives and recommendations



**Patryk Damian
Lewandowski**

Mgr inż.

Politechnika Wroclawska, Katedra
Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i
Wodnego

patryk.lewandowski@pwr.edu.pl



Michał Pachnicz

Mgr inż.

Politechnika Wroclawska, Katedra
Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i
Wodnego

michal.pachnicz@pwr.edu.pl

Streszczenie: W branży budowlanej coraz częściej poszukuje się tańszych zamienników znanych dotąd materiałów budowlanych. Korzyści wynikające z wykorzystania „innych” materiałów w szczególności można upatrywać w budownictwie drogowym i kolejowym, ponieważ duże obiekty liniowe wymagają niekiedy ogromnych nakładów związanych z odpowiednim przygotowaniem podłoża pod projektowaną nawierzchnię. Dlatego też wykorzystanie odpadów (w szczególności mieszanek popiołowo-żużlowych) jako materiału podbudowy, czy też podłoża pociąga za sobą oszczędności i dodatkowo przynosi korzyści związane z utylizacją odpadów. Problematyczne jest jednak odpowiednie zastosowanie wspomnianych materiałów ze względu na niejasności związane z obowiązującymi i wykorzystywanymi obecnie zaleceniami ich użycia. W artykule autorzy przedstawiają kompleksowy przegląd wytycznych stosowania mieszanek popiołowo-żużlowych jako materiału konstrukcyjnego drogi. Zwrócono szczególną uwagę na niezgodności zaistniałe pomiędzy poszczególnymi zaleceniami oraz wskazano możliwość potencjalnych korekt obowiązujących przepisów. Artykuł stanowi również podstawę do dalszych rozważań nad modyfikacją składu poszczególnych mieszanek w celu polepszenia ich właściwości.

Słowa kluczowe: Mieszanki popiołowo-żużłowe; Podbudowa

Abstract: Nowadays civil engineering is constantly searching for cheaper substitutes of already known and commonly used building materials. Especially road and railway industries focus on reducing the costs, as large objects like highways and railroads can require high material usage in order to prepare required foundation. Therefore, the use of waste (in particular fly ash and slag mixtures) as a foundation material not only can bring savings but also is environment friendly, as it creates new ways to dispose waste. However, it is problematic to use the mentioned materials due to ambiguities revolving around current recommendations for their application. In the article, a comprehensive review of the fly ash and slag mixtures use in civil engineering is made. Guidelines and requirements for the use of waste material as a road foundation material are discussed. Discrepancies between the recommendations are analyzed and the potential changes are suggested. The article is also the basis for further investigation of fly ash and slag mixtures composition improvements.

Keywords: Ash and slag mixtures; Base layer

W przemyśle wydobywczym i energetycznym jednym z głównych problemów jest odpowiednie zagospodarowanie powstałych odpadów. Jednym z rozwiązań jest przemysłowe ich składowanie a następnie rekultywacja terenu składowiska. Innym podejściem jest utylizacja powstałych odpadów poprzez wykorzystanie ich do innych celów, np. wytwórstwa materiałów. Ze względu na szerokie możliwości uzyskiwania zamienników klasycznych materiałów budowlanych, branża budowlana coraz częściej wykorzystuje odpady poenergetyczne, jako składnik różnego rodzaju mieszanek. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się tutaj mieszanki popiołowo-żużłowe, które znajdują zastosowanie w konstrukcji nasypów

drogowych oraz nawierzchni drogowej [10,11]. Takie rozwiązanie daje niewątpliwie korzyści w postaci zmniejszenia kosztów materiału oraz zagospodarowania sporej części „niechcianych” odpadów. Mimo oczywistych zalet należy mieć na uwadze fakt, że zastosowanie w konstrukcji mieszanek popiołowo-żużlowych pociąga za sobą konkretne uwarunkowania i wymogi odnośnie wykonania poszczególnych warstw. Wszystkie wymagania odnośnie parametrów samego materiału mieszanki, a także sposobu jej zastosowania zawierają odpowiednie przepisy krajowe.

W obecnej sytuacji w budownictwie drogowym przy projektowaniu stosuje się wytyczne opublikowane przez GDDKiA w Warunkach Technicznych (zeszyty

1 - 5). W Warunkach Technicznych nr 5: „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych”(WT-5) [2] podane są parametry dla mieszanek, według których dokonuje się oceny tego rodzaju materiałów, pod kątem ich przydatności do zastosowania w budownictwie drogowym. Dodatkowo wytwórcy mieszanek popiołowo-żużlowych powołują się na przepisy zawarte w [2] odwołując się do nich w specyfikacjach produkowanych przez nich materiałów.

Taka praktyka nie uwzględnia jednak istotnego czynnika jakim jest przedawanie przepisów, na podstawie których skonstruowane zostało WT-5. Wytyczne WT-5 powstałe w 2010 roku oparte są na normach [4,5], które uległy zmianie w

2013 roku i zostały zastąpione przez [3]. W związku z tym w artykule dokonano przeglądu wytycznych określających przydatność danego materiału mieszanki do wykorzystania w budownictwie drogowym, uwzględniając zmiany wprowadzone w 2013 roku. Wskazano różnice pomiędzy zaktualizowanymi wytycznymi normowymi [3] a zaleceniami WT-5[2].

Ogólne zalecenia dla zastosowania mieszanek popiołowo żuźlowych

Poprzez mieszankę popiołowo żuźlową rozumiemy pozostałość po spalaniu węgla kamiennego i biomasy, która dzięki bardzo dobrym właściwościom zagęszczającym, jest wykorzystywana w budownictwie.

Taki materiał może być zastosowany do wykonywania dolnych warstw nasypów drogowych, pod warunkiem, że zalegają w miejscach suchych lub są izolowane od wody. Ze względu na dużą wrażliwość materiału na działanie wody zaleca się szereg dodatkowych warunków mających zabezpieczyć mieszanki przed szkodliwymi oddziaływaniami [6]:

- wilgotność zagęszczonej mieszanki nie może odbiegać od wilgotności optymalnej od +2 % do - 4 %,
- należy wykonać warstwę odcinającą warstwę z mieszanki popiołowo – żuźlowej o grubości około 50cm i współczynnika filtracji $k \geq 6 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- górne warstwy wymagają spadków poprzecznych około 4%,
- górne warstwy muszą zabezpieczać warstwy z mieszanek popiołowo – żuźlowych przed nadmiernym zawilgoceniem,
- należy zabezpieczyć skarpy warstwą przeciwerozryną do momentu wytworzenia się okrywy roślinnej.

Dodatkowo należy zapewnić odpowiednie zagęszczenie wbudowywanej mieszanki. Oceny zagęszczenia dokonuje się poprzez określenie wartości wskaźnika zagęszczenia dla podłoża pod nasyp. Zalecane wartości podane zostały w tabeli 1.

Mieszanki popiołowo żuźłowe można również wykorzystywać, jako warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej. Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych [1], wskazuje

preferowane warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej, w których można zastosować mieszankę popiołowo – żuźlową. Zakłada się przy tym że warstwa utworzona z mieszanki popiołowo żuźłowej powinna charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością określoną w Katalogu [1].

Jak można zauważyć Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych nie przewiduje wykorzystania mieszanek popiołowo – żuźłowych do wykonywania warstwy ulepszonego podłoża. Nie mniej jednak wytyczne WT-5 zakładają, że „mieszanki związane popiołem lotnym mogą być stosowane warstw ulepszonego podłoża i podbudowy pomocniczej nawierzchni drogowej przenoszących ruch kategorii od KR1 do KR6” zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w tabeli 3. Poszczególne typy mieszanek według WT-5 charakteryzują się odpowiednimi parametrami uziarnienia i przepuszczalności oraz zastosowanej ilości spoiwa w postaci popiołu. Szczegółowe wytyczne odnośnie klasyfikacji oraz zastosowania poszczególnych typów mieszanek można znaleźć w Warunkach Technicznych nr 5.

Dodatkowo mieszanki takie spełniają wytyczne zawarte w normie PN-S-06103 „Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego”[8], która określa jakimi parametrami powinien wykazywać się materiał stosowany na podbudowę.

Teoretycznie, zatem mieszanka popiołowo żuźłowa może posłużyć za warstwę ulepszonego podłoża, przy spełnieniu następujących wymagań [6]:

- podłoże pod dolne warstwy wykonywane z mieszanki popiołowo

Tab. 1. Wartości wskaźnika zagęszczenia dla podłoża pod nasypem [6]

Nasypy o wysokości	Minimalna wartość I_s
Do 2 metrów	0.97
Powyżej 2 metrów	0.95

Tab. 2. Warstwy konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem mieszanek popiołowo żuźłowych

Rodzaj warstwy	Mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi
Ścieralna	Nie stosuje się
Wiążąca	Nie stosuje się
Podbudowa zasadnicza	KR1-KR7
Podbudowa pomocnicza	KR3-KR7
Warstwa mrozoochronna	KR1-KR4
Warstwa ulepszonego podłoża	Nie stosuje się

- żuźłowej musi uzyskać wartość stopnia zagęszczenia: $I_s \geq 1.0$ dla KR1- KR2 i $I_s \geq 0.97$ dla KR3- KR6
 - mieszankę należy układać w temperaturze $\geq 5^\circ\text{C}$ w okresie suchym do końca października,
 - mieszankę należy zagęścić w dniu jej ułożenia i przed niekorzystnymi zmianami pogodowymi, oraz przed położeniem kolejnych warstw konstrukcji przy wilgotności optymalnej z odchyłką $\pm 2\%$. Wartość stopnia zagęszczenia powinna wynieść odpowiednio: $I_s \geq 0.98$ dla KR1- KR2 i $I_s \geq 1.03$ dla KR3- KR6,
 - pielęgnacja warstw z betonu popiołowego powinna odbywać się na jeden z trzech zaproponowanych przez normę sposobów: spryskanie emulsją asfaltową, spryskanie preparatami powłokowymi, pokrycie warstwą bitumiczną o grubości 3 cm,
- Należy tutaj podkreślić fakt, że praktycznie dla wszystkich zastosowań mieszanek popiołowo- żuźłowych szczególny nacisk kładziony jest na ochronę mie-

Tab. 3. Przeznaczenie mieszanek związanych popiołem lotnym [2]

Mieszanka	Warstwa podbudowy pomocniczej			Warstwa podbudowy zasadniczej			Warstwa ulepszonego podłoża
	KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR6	KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR6	
Typ 1 0/31.5	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/22.4	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/16	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/11.2	+	+	+	+	+	+	+
Typ 3 0/11.2	-	-	-	-	-	-	+
Typ 4	±	±	±	±	±	±	±
Typ 5	+	+	+	-	-	-	+

gdzie: + mieszanka zalecana; - mieszanka nie dopuszczona do stosowania; ± przeznaczenie zależne od deklarowanych właściwości mieszanki

szanki przed działaniem wody. Należy, zatem rozważyć, to w jaki sposób warunki pogodowe będą wpływały na czas oraz koszty wykonania obiektu z użyciem mieszanek popiołowo żużlowych.

Charakterystyka właściwości mieszanek popiołowo-żużlowych

Oprócz wymogów dotyczących warunków zastosowania oraz technologii wykonania budowli z mieszanek popiołowo żużlowych, przepisy prawne [1] precyzują również, jakimi parametrami powinny charakteryzować się zastosowane mieszanki. W ogólnym przypadku mieszanka poddawana jest ewaluacji na podstawie zestawu badanych parametrów zestawionych w tabeli 4, a następnie zaklasyfikowana jako mieszanka danego typu. Typy mieszanek wyróżniane przez WT-5 zostały przytoczone w rozdziale 2. W tym miejscu należy zauważyć, że WT-5 wyróżnia 5 typów mieszanek popiołowo-żużlowych powołując się na [4]. PN-EN 14227-3:2013 (uaktualniona wersja normy [4]) wyróżnia natomiast 6 typów mieszanek, wprowadzając jednocześnie zmiany w opisie każdej z mieszanek. Powoduje to brak precyzji, jeśli chodzi o określanie typu mieszanki, a co za tym idzie jej przydatności do wykorzystania, jako materiału budowlanego. Dodatkowo różnice pojawiają się również pomiędzy postawieniami norm [3,4] na których bazuje WT-5 a samymi Warunkami Technicznymi [2].

W przypadku mieszanki typu pierwszego niezgodności występują pomiędzy WT-5, a PN-EN 14227-3:2007 i PN-EN 14227-3:2013, które zakładają korzystanie z takich samych typów sit. WT-5 natomiast posługuje się innym zestawem, co zostało przedstawione w tabeli 5.

Dla mieszanki typu 2 zapisy normowe [3] wyróżniają trzy podtypy (Typ 2-0/20, Typ 2-0/14, Typ 2-0/10). Zalecenia WT-5 ponownie odbiegają od przytoczonych zaleceń normowych proponując następujący podział podtypów mieszanki typu drugiego: Typ 2-0/22.5, Typ 2-0/16, Typ 2-0/11.2. Dodatkowo norma [3] w ramach klasyfikacji mieszanki bierze pod uwagę docelową kategorię podłoża gruntowego (G1 lub G2), dla którego ma być zastosowana mieszanka. Jednocześnie WT-5 nie różnicuje

Tab. 4. Wymagania dla mieszanek pyłowo – żużlowych wg [2]

Cecha	Jednostka	Wartość normowa
Minimalna zawartość frakcji piaskowo-żwirowej	[%]	≥35
Maksymalna zawartość ziaren poniżej 0.075 mm	[%]	≤75
Minimalna zawartość niespalonego węgla	[%]	≥10
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu po zagęszczeniu w aparacie Proctora wg metody I lub II,	[g/cm ³]	≥1
Wskaźnik nośności po 4 dobach nasycenia wodą	[%]	10
Pęcznienie liniowe materiału: bez obciążenia	[-]	≤0.2
z obciążeniem 3 kN/m ²	[-]	≤0.5
Kąt tarcia wewnętrznego	[°]	≥20
Kapilarność bierna	[m]	≤2.0
Zawartość siarczanów (w przeliczeniu na SO ₃)	[%]	<3.0

Tab. 5. Uziarnienie mieszanki typu 1

Średnica oczka sita [mm]	WT-5		Normy [3,4]		Różnica	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
40	100	100	100	100	0	0
31,5	85	100	85	100	0	0
25	brak sita	brak sita	75	100	-	-
20	brak sita	brak sita	66	95	-	-
22,4	70	100	brak sita	brak sita	-	-
11,2	51	83	brak sita	brak sita	-	-
10	brak sita	brak sita	48	82	-	-
4	51	68	34	68	17	0
2	34	68	26	58	8	10
1	26	58	brak sita	brak sita	-	-
0,5	16	38	16	38	0	0
0,25	13	30	13	30	0	0
0,063	7	18	7	18	0	0

Tab. 6. Porównanie uziarnienia mieszanek 0/16 wg WT-5 z 0/14 z norm

Sito	WT-5		PN-EN 14227-3:2013			Różnica		
	Min	Max	Min	G1	G2	Min	G1 -maxWT5	G2 -maxWT5
25	100	100	100	100	100	0	0	0
16	90	100	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
14	brak sita	brak sita	84	100	100	-	-	-
11,2	73	98	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
10		brak sita	73	95	97	-	-	-
6,3	brak sita	brak sita	60	81	87	-	-	-
5,6	43	76	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
4	38	71	48	67	74	-10	4	-3
2	26	56	35	51	57	-9	5	-1
0,5	13	32	20	32	35	-7	0	-3
0,25	10	23	15	25	28	-5	-2	-5
0,063	4,5	11	9	18	19	-4,5	-7	-8

podtypów mieszanki drugiej ze względu na planowaną kategorię podłoża. W tabeli 6 przedstawione zostało przykładowe zestawienie wymagań normy [3] oraz Wytycznych Technicznych 5 odnośnie uziarnienia mieszanki dla Typu 2.

Warunki klasyfikacji mieszanki dla typu 3 pozostają w zasadzie niezmienniane pomiędzy WT-5 a nową normą[3]. Występujące, drobne różnice odnoszą się do składu ziarnowego mieszanki i zostały przedstawione w tabeli 7 Nowa

norma daje większą dowolność przy projektowaniu mieszanki typu 3. z zastrzeżeniem, że średnica oczka sita D, będzie nie większa niż 6.3 mm. Uaktualnione zostały również maksymalne wartości natychmiastowego wskaźnika nośności, który podawany dla mieszanki typu 3 w WT-5 wynosi IPI40, z kolei [3] dodaje kolejną wartość IPI50.

W przypadku mieszanek typu 4 nie występują różnice pomiędzy WT-5 a PN-EN 14227-3:2013. Zgodnie z wymogami [3,5] parametry mieszanki mają być określone zgodnie z EN-993 i podane przez dostawcę.

Mieszanka oznaczona w normie [3] nr 6 odpowiada mieszance Typu -5 w WT-5. Jest to mieszanka, której głównym składnikiem, oraz lepiszczem jest popiół lotny.

Nowa mieszanka opisana w [3] określana jako Typ-5 charakteryzuje się składem ziarnowym przedstawionym w tabeli 8.

Wymagania odnośnie popiołów krzemionkowych wykorzystywanych w mieszankach popiołowo żużlowych, do których odwołują się poszczególni producenci są zawarte w WT-5 oraz normach, na których się ten dokument opiera [4,5], jednak w świetle nowej normy PN-EN 14227-4 2013 10[3], zmianie uległy parametry ujęte w tab. 9

Analizując zmiany, jakie zostały dokonane w PN-EN 14227-3:2013, można zauważyć, że wymagania dla popiołów krzemionkowych są mniej restrykcyjne niż w wypadku zapisów WT-5 (i „starych” norm). Zmianie uległo wymagane uziarnienie, wzrost z 40 do 60% materiału przechodzącego przez sito 45µm i brak wymagania dla sita 90µm. Zwiększono również tolerancje dla straty prażenia (o 5%), oraz dla zawartości tlenku wapnia z 1 do 1,5 % m/m. Pozostałe cechy pozostają bez zmian.

Analizując zmiany, jakie zostały dokonane w PN-EN 14227-3:2013, można zauważyć, że wymagania dla popiołów krzemionkowych są mniej restrykcyjne niż w wypadku zapisów WT-5 (i „starych” norm). Zmianie uległo wymagane uziarnienie, wzrost z 40 do 60% materiału przechodzącego przez sito 45µm i brak wymagania dla sita 90µm. Zwiększono również tolerancje dla straty prażenia (o 5%), oraz dla zawartości tlenku wapnia z 1 do 1,5 % m/m. Pozostałe cechy pozostają bez zmian.

Podsumowanie

Duża liczba przedsięwzięć, w których zastosowano mieszanki popiołowo żużłowe na warstwę ulepszanego pod-

Tab. 7. Różnice uziarnienia mieszanki typu 3

Dokument	Sito		
	11.2	5.6	0.063
WT5	11.2	5.6	
PN-EN 14227-3:2013	2D	D	
Masa przechodząca przez sito, %	100	≥85	≤35

łoża sugeruje, że należałoby zrewidować zalecenia wytycznych krajowych z uwzględnieniem zaktualizowanych norm. Wytyczne krajowe WT5 są prostym narzędziem służącym do sprawnego doboru i oceny materiałów do wykorzystania jednak należy rozważyć zmianę dokumentu Warunków Technicznych nr 5 z powodu braku aktualności norm, na jakich jest ten dokument oparty. Dodatkowo, pomimo tego że katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nie przewiduje zastosowania mieszanek pyłowo żużlowych na warstwy ulepszanego podłoża, należałoby rozważyć w jaki sposób ta mieszanka zachowywałaby się jako ten element konstrukcji jezdni. Należałoby rozważyć tutaj możliwość modyfikacji mieszanek popiołowo – żużlowych. Zastosowanie dodatków np. w postaci cementu pozwala na poprawę parametrów wytrzymałościowych badanego materiału [7,8]. Modyfikacja mieszanki popiołowo żużłowej może również wpływać korzystnie na jej odporność na zmianę warunków atmosferycznych. Pozwalałoby to uniknąć problemów związanych z jej układaniem i pielęgnacją. Zdecydowanie mieszanki popiołowo żużłowe jako materiał przemysłowy, są przyjazne środowisku a ich zastosowanie w budownictwie drogowym może korzystnie wpłynąć na poprawę jakości wykonywanej konstrukcji poprzez zapewnienie dużej nośności dolnych warstw konstrukcji nawierzchni jezdni. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDKiA, czerwiec 2014.
- [2] Wymagania Techniczne 5: Mieszanki związane Spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych, 2010.
- [3] PN-EN 14227-3:2013, „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania Część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi.
- [4] PN-EN 14227-3:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym -- Wymagania -- Część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi.
- [5] PN-EN 14227-4:2005 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym -- Specyfikacja -- Część 4: Popioły lotne do mieszanek
- [6] PN-S-06103 „Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego”
- [7] Gruchot, A., & Paclawska, J. (2012). Wpływ stabilizacji mieszaniny popiołowo-żużłowej cementem na jej wytrzymałość na ścinanie. Przegląd Komunikacyjny, (9), 33-35.
- [8] Stabilizacja i ulepszanie gruntów cementem (PN-S-96012:1997), Krzysztof Błazej, 2012.
- [9] Specyfikacja Techniczna: Mieszanka związana popiołami lotnymi wg PN-EN 14227-3:2013; Rybnik 2016.
- [10] Popioły lotne dla drogownictwa w świetle aktualnych wymagań normowych, Grzegorz Rolka, Ewelina Ślęzak.
- [11] Wykorzystanie odpadów przemysłowych w drogownictwie – zagrożenia, dr hab. Inż. Marek Gawlicki, Prof. Dr hab. Inż. Jan Małolepszy, Nowoczesna Gospodarka Odpadami 1-2 2015.

Tab. 8. Uziarnienie dla mieszanki typu 5 (wg. PN-EN 14227-3:2013)

Sito (średnica oczka w mm)	45	31.5	20	10	4	2	0.5	0.25	0.063
Masa przechodząca przez sito, %	100	≥85	≥66	≥48	≥34	≥28	≥16	≥13	7-35

Tab. 9. Różnice pomiędzy WT-5 a nową normą PN-EN 14227-3:2013

Cecha	Wartość	
	WT-5 2010	PN-EN 14227-3:2013
Uziarnienie		
Sito 90µm	≥ 70%	Brak
Sito 45µm	≥ 40%	≥ 60%
Strata przy prażeniu	≤ 10% m/m	≤ 15% m/m
Bezwodnik Siarkowy	≤ 4% m/m	≤ 4% m/m
Wolny tlenek wapnia	≤ 1% m/m	≤ 1.5% m/m
Zawartość wody	≤ 1% m/m	≤ 1% m/m
Aktywność pucolanowa	Deklarowana	Deklarowana