Ocena przydatności kruszywa z recyklingu przeznaczonego na podbudowę drogową wg normy PN-S-06102:1997 i Wymagań technicznych WT-4:2010

SZYMON WĘGLIŃSKI

Politechnika Poznańska
szymon.weglinski@put.poznan.pl
ORCID: 0000-0002-0830-8152

Rozwój cywilizacyjny jest związany z realizacją potrzeb społeczeństwa, przy czym do podstawowych zalicza się zapewnienie mieszkań, a także niezbędnej infrastruktury technicznej. Obecna urbanistyka miast wymaga realizacji nowych budynków na terenach wykorzystanych wcześniej jako przemysłowe lub mało atrakcyjne dla budownictwa mieszkaniowego. Przedmieścia aglomeracji i dzielnice przemysłowe zostały wchłonięte przez miasta i odbywa się ich przebudowa lub zabudowa. Tereny o niskiej przydatności ocenione pod względem słabego podłoża budowlanego zostają wzmocnione i na nich realizuje się nowe obiekty.

Podobna sytuacja jest związana z obiektami infrastruktury liniowej. Stare obiekty i budowle inżynierskie (mosty, wiadukty, nasypy kolejowe), z uwagi na wzrastający potok ruchu i zwiększenie dopuszczalnych obciążeń od kół pojazdów, podlegają modernizacji lub zostają wyburzone i zastąpione nowymi. Również w Poznaniu, w ostatnich 15 latach, z uwagi na rozbudowę sieci komunikacyjnej, wyburzono wiele obiektów infrastruktury drogowej i zastąpiono je nowymi. Wymienić można m.in. realizacje Wiaduktów Kosynierów Górczyńskich (2008 i 2013), przebudowę parkingu i ronda Kaponiera oraz Mostu (wiaduktu) Uniwersyteckiego (2011–2015) czy nowe estakady drogowe w ciągu ulicy Bolesława Krzywoustego (2015–2017). Z uwagi na konstrukcje żelbetowe, materiał pozyskany z rozbiórek – zgodnie z założeniami polityki zrównoważonego rozwoju oraz popularnemu współcześnie recyklingowi – został wykorzystany jako kruszywo budowlane do nowych warstw i obiektów.

Fot. 1. Rozbiórka Wiaduktu Kosynierów Górczyńskich w Poznaniu – 2012 r. (źródło autora)

Wykorzystanie kruszyw w budownictwie

Zmiany przepisów technicznych oraz aktualizacje norm budowlanych bardzo dobrze wpisują się we współczesną tendencję ochrony zasobów mineralnych. W celu ograniczenia zużycia surowców naturalnych dopuszczono stosowanie materiałów pochodzenia sztucznego lub ponownego wykorzystania materiału wcześniej wbudowanego w konstrukcję.

Kruszywa – uważane za podstawowy surowiec – to ziarniste elementy stosowane w budownictwie [21], elementarne składniki podłoża lub materiałów budowlanych i kompozytów. W świadomości polskich inżynierów z zakresu drogownictwa, w podstawowym podziale wg normy na podbudowy (PN-S-06102:1997 [23]), wyróżnia się kruszywa:

- naturalne – żwir i mieszanki (wg [13]) oraz piaski (wg [15]),
- łamane – zwykłe i granulowane (wg [14]),
- sztuczne – z żużla wielkopiecowego (wg [16]).

Obecnie wg norm PN-EN funkcjonuje podział kruszyw na [20, 21]:

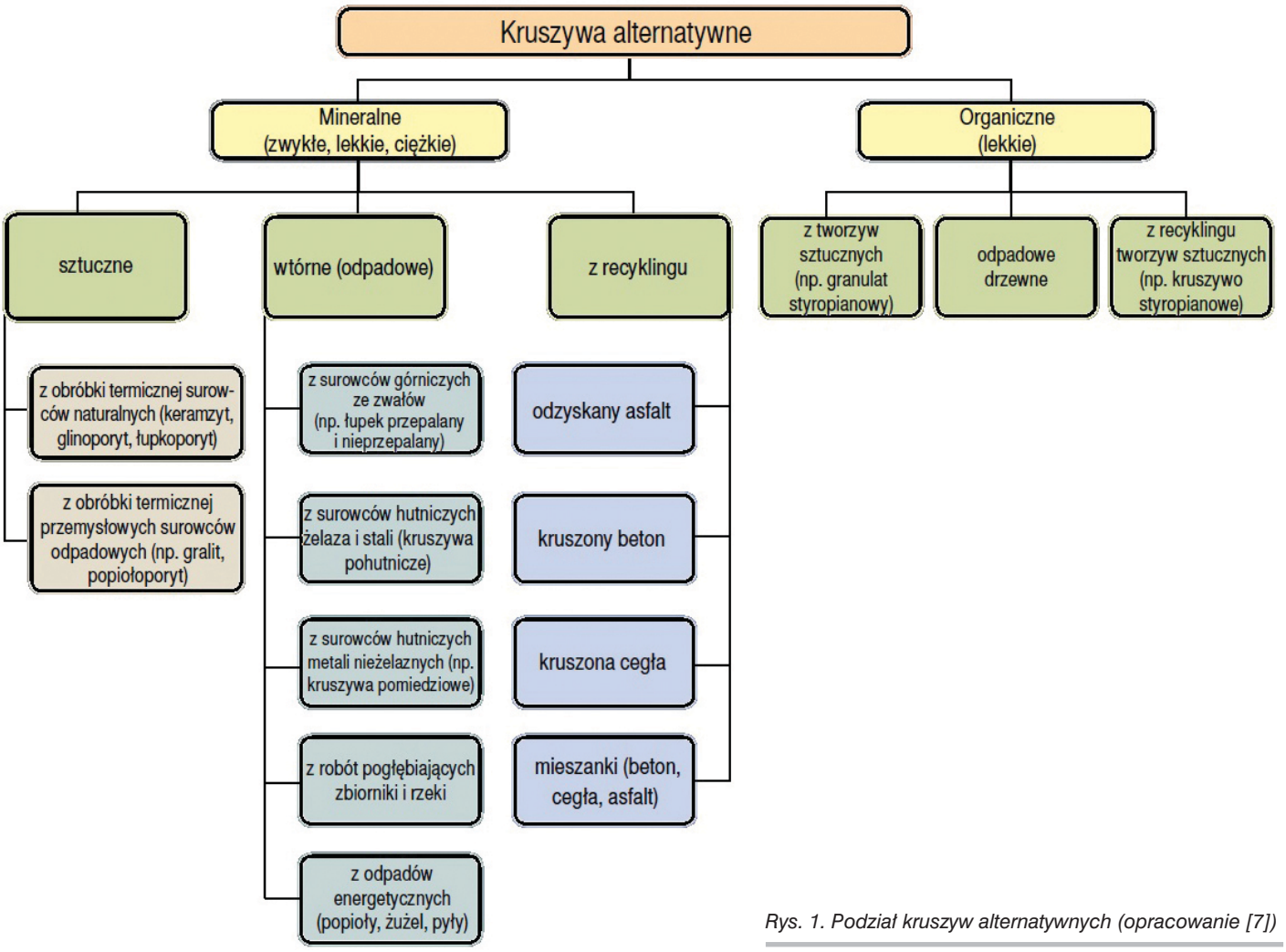
- naturalne – pochodzenia

mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce,
- sztuczne – pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację,
- recyklingowe – powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego poprzednio w budownictwie.

Wdrożenie norm serii EN spowodowało redefinicję pojęcia kruszyw, aktualnie kruszywa łamane zostały sklasyfikowane wśród naturalnych, gdzie w domyśle pod pojęciem „naturalne" dla inżynierów drogowych są np. otoczaki, które mają inną mechanikę pracy i przydatność niż „ostrokrawędziowe" łamane.

Wyczerpywanie się złóż kruszyw mineralnych (piasek, żwir, rozdrobniona skała) oraz wzrost kosztów wydobycia i transportu (szczególnie rynek paliw), wymaga poszukiwania alternatyw i nowych, tańszych surowców, dostępnych „na wyciągniecie ręki". Batog i Hawrysz [2], zaobserwowali na rynku dwie tendencje – 1) eksploatację złóż położonych w znacznej odległości od budowy lub poszukiwanie i uruchamianie eksploatacji nowych złóż surowców mineralnych (co wydaje się kwestią bardziej kosztowną) oraz 2) wykorzystanie antropogenicznych materiałów, takich jak odpady paleniskowe lub budowlane, po odpowiednim przetworzeniu i użyciu jako składników mieszanek, których właściwości mogą polepszyć. Znacznie łatwiejszy dostęp do materiałów recyklingowych występuje w rejonie aglomeracji miejskich. Możliwość wykorzystania materiałów odpadowych regulowana jest Ustawą o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. [27], zaś do najbardziej popularnych materiałów odpadowych kwalifikują się te umieszczone w grupie 17 katalogu odpadów (wg Rozporządzenia Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. [25]). Ciekawy podział kruszyw alternatywnych zaproponowali autorzy publikacji [7], w którym uwzględnili aktualne możliwości pozyskania materiału ziarnistego, z różnych dziedzin gospodarki (por. rys. 1).

Inną alternatywą jest stosowanie substancji pochodzących ze spalarni odpadów komunalnych [10], przemysłu hutniczego [24, 28] czy górniczego [4, 6, 28]. W badaniach ankietowych prowadzonych przez Dębską i Górską [3] wśród wybranych firm zajmujących się produkcją ceramiki, kruszyw, materiałów bitumicznych, betonu i materiałów izolacyjnych, 43% podmiotów wykorzystuje jako półprodukt gruz betonowy, a 33% odpady powstałe w elektrowniach. Kruszywa recyklingowe pochodzące z wyburzanych konstrukcji żelbetowych bądź murowych (np. wspomnianych obiektów inżynierskich) są z powodzeniem stosowane jako materiał wsadowy do nowych mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi, co potwierdzają m.in. autorzy publi-



Rys. 1. Podział kruszyw alternatywnych (opracowanie [7])

kacji [1, 2, 5, 11, 26]. Autorzy [8, 9] dysponując środkami pozyskanymi w ramach finansowania przez NCBiR oraz GDDKiA, ocenili przydatność kruszyw recyklingowych na podstawie uziarnienia, wskaźników CBR czy mrozoodporności. Na podstawie doświadczeń autora, oprócz badań laboratoryjnych zaprezentowanych w przywołanych publikacjach [8, 9], w głównej mierze powinno się oceniać właściwości uzyskiwane w terenie, w miejscu przeznaczenia materiału, w gotowej warstwie – np. w badaniach nośności aparatem VSS w przypadku warstw niezwiązanych spoiwami lub na podstawie odwiertów rdzeniowych i oceny wytrzymałości na ściskanie. Oznaczenie wskaźników CBR danego materiału w laboratorium nie ma często przełożenia na wyniki nośności uzyskiwanych w terenie. Poza badaniem mrozoodporności, praktycznym i ważnym parametrem jest odporność na wysadziny (ocena wskaźnika piaskowego), gdyż dopiero wykonana/wbudowana warstwa, która z uwagi na obecność zaczynu cementowego stanowiącego znaczną cześć kruszywa podczas zagęszczania może ulec rozdrobnieniu (skutkiem czego powiększy frakcję pyłową – wypłukiwaną przez wodę podczas przepływu i w trakcie cykli zamarzania-rozmarzania), powinna być oceniana jako przydatna lub nieprzydatna.

W literaturze przedmiotu przeanalizowano więcej przypadków stosowania kruszyw alternatywnych dla mieszanek związanych spoiwami. W niniejszym artykule przedstawiono możliwość ich wykorzystania w drogowych warstwach niezwiązanych, oceniając ich przydatność pod względem wybranych parametrów, zgodnie z wymaganiami starej normy krajowej PN-S [23] oraz nowych przepisów technicznych WT-4:2010 [12].

Wymagania norm wobec kruszyw recyklingowych

Adaptacja norm europejskich EN do przepisów krajowych PN-EN spowodowała dualizm norm, gdyż w obiegu pozostały również normy serii PN-B i PN-S. Pomimo tego, że

Tabela 1. **Podstawowe wymagania dla kruszyw wg normy PN-S-06102:1997** [23]

	Podbudowa pomocnicza	Podbudowa zasadnicza
Zawartość pyłów [%]	2–12	2–10
Zawartość nadziarna [%]	< 10	< 5
Zanieczyszczenia organiczne [%]	< 1	< 1
Wskaźnik piaskowy [–]	30–70	30–70
Odporność na rozdrabnianie [%]	< 45 / < 50 *	< 35 / < 40 *
* w zależności od rodzaju kruszywa		

Tabela 2. **Podstawowe wymagania dla kruszyw wg Wymagań technicznych WT-4:2010** [12]

	Podbudowa pomocnicza	Podbudowa zasadnicza
Uziarnienie mieszanki [–]	0/31,5 lub 0/45 lub 0/63	0/31,5 lub 0/45 lub 0/63
Zawartość pyłów < 0,063 mm [–]	UF12	UF9
Zawartość nadziarna [–]	OC90	OC90
Wskaźnik piaskowy [–]	> 40	> 45
Odporność na rozdrabnianie [–]	LA40	LA35

Tabela 3. **Skład mieszanek kruszyw z recyklingu wg Wymagań technicznych WT-4 2010** [12]

Rodzaj mieszanki i skład			Zawartość % masowa
Z przekruszonego betonu	Główne składniki	przekruszony beton (gęst. >2,1 Mg/m^3) i kruszywo łącznie z żużlem	≥ 90
	Inne materiały	przekruszony mur	≤ 10
	Ziarniste	destrukt asfaltowy	≤ 5
	Zanieczyszczenia	składniki spoiste	≤ 1
		składniki organiczne	≤ 0,1
Z przekruszonego muru	Główne składniki	przekruszony mur (gęst. >1,6 Mg/m^3), beton (>2,1 Mg/m^3) i kruszywo łącznie z żużlem	≥ 80
	Inne materiały	materiały ziarniste <1,6 Mg/m^3	≤ 20
	Ziarniste	destrukt asfaltowy	≤ 5
	Zanieczyszczenia	składniki spoiste	≤ 1
		składniki organiczne	≤ 0,1
Z przekruszonego betonu i muru	Główne składniki	przekruszony beton (gęst. >2,1 Mg/m^3) i kruszywo łącznie z żużlem	≥ 50
	Inne	przekruszony mur	≤ 50
	Materiały	destrukt asfaltowy	≤ 5
	Ziarniste	materiały ziarniste <1,6 Mg/m^3	≤ 10
	Zanieczyszczenia	składniki spoiste	≤ 1
		składniki organiczne	≤ 0,1
Przekruszone materiały drogowe	Główne składniki	materiały drogowe łącznie z kruszonym betonem, niezwiązanymi kruszywami i przekruszone mieszanki kruszyw związane hydraulicznie	≥ 90
		destrukt asfaltowy	≤ 30
	Zanieczyszczenia	składniki spoiste	≤ 1
		składniki organiczne	≤ 0,1
Popiół powstały ze spalania odpadów komunalnych	Główne składniki	ziarniste substane mineralne, łącznie ze szkłem, ceramiką, żużlem itp.	≥ 90
	Inne składniki	żelazo i inne metale	≤ 5
		składniki niespalone	≤ 6
	Zanieczyszczenia	składniki organiczne	≤ 5
		popiół lotny ze spalania odpadów	0

Polski Komitet Normalizacyjny podaje status normy jako „wycofany", inżynierowie i projektanci cały czas bazują na przepisach, których są świadomi i są do nich przywiązani, gdyż lata doświadczenia i stosowania potwierdzają ich skuteczność. Powoływanie się na konkretne normy i przepisy budowlane pozostaje nadal w kwestii dobrowolności.

W przypadku kruszyw stosowanych w budownictwie drogowym, w warstwach niezwiązanych spoiwami, panuje swoisty dualizm. Aktualnie obowiązują normy:

- PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie [23],
- PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu [20],
- PN-EN 13242+A1:2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym [21],
- PN-EN 13285:2018-08 Mieszanki niezwiązane. Specyfikacje [22].

Normy serii PN-EN są normami opisowymi, klasyfikującymi, w których nie zawarto konkretnych wymagań wobec kruszyw oraz parametrów dla wykonanych warstw. Krajowym dokumentem aplikacyjnym wdrażającym postanowienia ww. norm są przygotowane przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad Wymagania Techniczne WT-4:2010 – Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych [12].

Podstawowe wymagania wobec kruszyw przeznaczonych do niezwiązanych warstw konstrukcji nawierzchni drogowych przedstawiono w tabeli 1 (wg PN-S) i w tabeli 2 (wg WT4).

W tabeli 3 przedstawiono rodzaje i skład mieszanek kruszyw recyklingowych i sztucznych, które zostały dopuszczone Wymaganiami technicznymi WT4 [12] i mogą być stosowane w warstwach ulepszonego podłoża i konstrukcji nawierzchni drogowych.

Badania laboratoryjne

W celu porównania wymagań norm i przepisów przeprowadzono ocenę przydatności kruszywa recyklingowego, pochodzącego z płyty nośnej wyburzonego obiektu inżynierskiego. Z elementów żelbetowych usunięto zbrojenie, a następnie przekruszono uszkodzone elementy do frakcji 0/63 mm, z przeznaczeniem na podbudowę drogową. Przeprowadzono badania laboratoryjne w zakresie oceny:

- uziarnienia, na podstawie analizy sitowej na mokro, wg normy PN-EN 933-1:2012 [17], przy czym należy zauważyć, iż nieaktualne już normy na analizę sitową miały w zestawie sito pyłowe #0,075 mm, a zgodnie z obowiązującymi przepisami występuje sito pyłowe #0,063 mm,
- wysadzinowości podłoża, na podstawie analizy wskaźnika piaskowego, wg normy PN-EN 933-8+A1:2015-07 [18],
- odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles, wg normy PN-EN 1097-2:2010 [19],
- składu mieszanki, wg Wymagań technicznych WT-4:2010 [12].

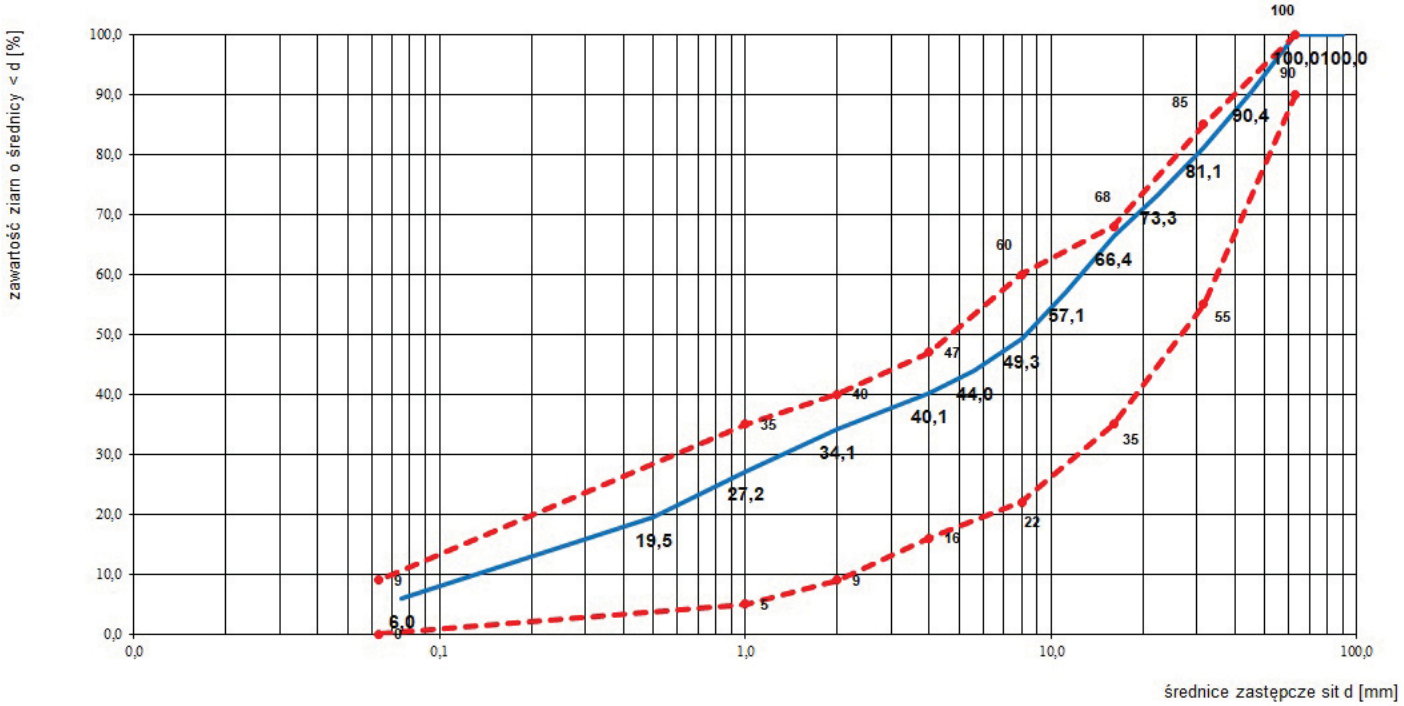
Uziarnienie kruszywa wpisane w pola dobrego uziarnienia przedstawiono na rysunku 2. Zestawienie rodzaju składników przedstawiono w tabeli 4. Wyniki badań laboratoryjnych wraz z oceną przydatności wg poszczególnych wymagań przedstawiono w tabeli 5.

Badane kruszywo posiada uziarnienie frakcji 0/63 mm, w którym nie występuje nadziarno. Ilość pyłów (w zależności od normy) nie przekracza wartości 6,0%. Skład próbki stanowi w przewadze materiał homogeniczny złożony z przekruszonego betonu i kruszyw skalnych oraz muru z cegły wapiennej, z domieszką destruktu asfaltowego. Zgodnie z wymaganiami WT-4 należy sklasyfikować badane kruszywo recyklingowe jako wartościową mieszankę z przekruszonego betonu.

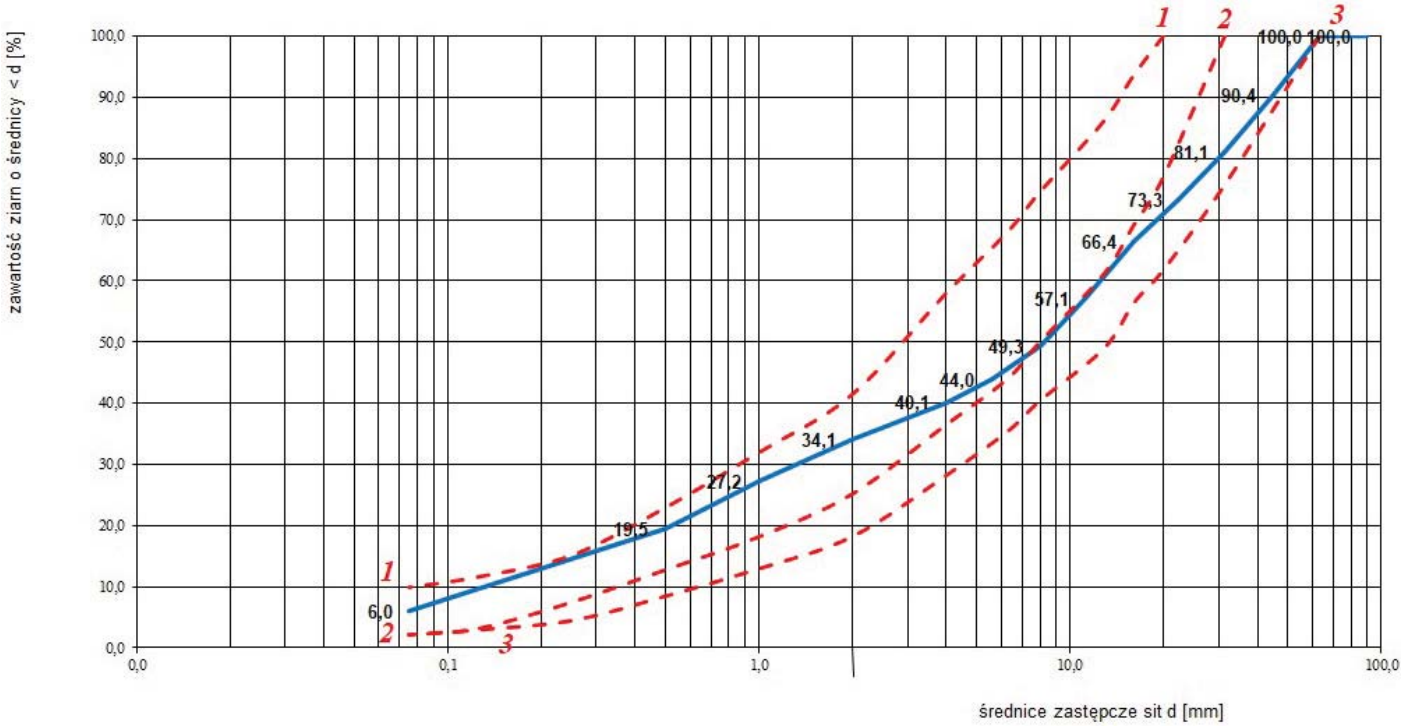
Tabela 4. **Skład badanego kruszywa** (opracowanie własne)

Lp.	Masa składników danej grupy w próbce	[g]	[%]
1	Beton i inne hydraulicznie związane mieszanki	9114,07	89,05
2	Kruszywa z przekruszonej skały	902,21	8,82
3	Żużel	0,81	0,01
4	Cegły, mury i bloki betonowe	18,21	0,18
5	Mur z cegły wapienno piaskowej	129,09	1,26
6	Kruszywa lekkie	1,51	0,01
7	Destrukt asfaltowy	53,76	0,53
8	Gips	1,06	0,01
9	Płytki ceramiczne i gresowe	1,78	0,02
10	Zanieczyszczenia organiczne – drewno	0,81	0,01
11	Tworzywa sztuczne	1,76	0,02
12	Szkło	9,26	0,09
13	Metal	0,00	0,00
14	Papa	0,00	0,00
	Suma	**10234,33**	**100,00**
	Główne grupy składników wg WT-4 2010	**Zawartość [%(m/m)]**	
I	Przekruszony beton i kruszywo łącznie z żużlem o gęstości >2,1 Mg/m^3		98
II	Przekruszony mur o gęstości >1,6 Mg/m^3		0
III	Inne materiały ziarniste o gęstości <1,6 Mg/m^3		1
IV	Destrukt asfaltowy		1
V	Zanieczyszczenia		0
VI	Składniki organiczne		0,0

a)



b)



Rys. 2. Uziarnienie kruszywa wpisane w pola dobrego uziarnienia wg: a) PN-S; b) WT-4 (opracowanie własne)

Tabela 5. **Wyniki badań laboratoryjnych wraz z oceną wg wymagań PN-S i WT-4** (opracowanie własne)

	Uzyskane wyniki dla badanego kruszywa	Spełnia wymagania wg PN-S	Spełnia wymagania wg WT-4
Uziarnienie mieszanki	0/63 mm	na pomocniczą	na zasadniczą
Zawartość pyłów (<0,063 mm)	< 6,0 %	na zasadniczą	na zasadniczą
Zawartość nadziarna	0 %	na zasadniczą	na zasadniczą
Wskaźnik piaskowy	40	na zasadniczą	na pomocniczą
Odporność na rozdrabnianie	27,5 %	na zasadniczą	na zasadniczą
Zanieczyszczenia organiczne	0 %	na zasadniczą	na zasadniczą

Pod względem uziarnienia zgodnie z wymaganiami normy PN-S kruszywo może być przeznaczone wyłącznie na podbudowę pomocniczą – ponieważ wykres przesiewu przypada poza granicami dobrego uziarnienia dla podbudowy zasadniczej (wymagany wykres pomiędzy krzywymi 1 i 2). Wymagania techniczne dopuszczają kruszywo frakcji 0/63 mm na podbudowy zasadnicze (mają dedykowane pola dobrego uziarnienia dla różnych frakcji mieszanek).

Uzyskana wartość wskaźnika piaskowego świadczy o niewysadzinowości kruszywa, jednak wartość 40 nie spełnia wymagań WT-4 dla warstwy podbudowy zasadniczej (oczekiwane co najmniej 45). Brak zanieczyszczeń organicznych i spoistych oraz procentowa strata masy w wyniku ścierania w bębnie Los Angeles, pozwala na zastosowanie kruszywa na podbudowę zasadniczą w zgodzie z wymaganiami zarówno normy PN-S, jak i wymagań WT-4.

Wnioski

Z uwagi na wzrastające potrzeby poszukiwania nowych źródeł półproduktów do materiałów budowlanych oraz realizacji strategii zrównoważonego rozwoju i ochrony surowców naturalnych, stosowanie kruszyw alternatywnych – sztucznych i recyklingowych – wydaje się być właściwym rozwiązaniem. Ograniczając składowanie elementów z rozbiórek konstrukcji obiektów przemysłowych oraz nawierzchni drogowych i placów betonowych, poprzez segregację i klasyfikację odpadu jako materiału przydatnego (najlepiej jednorodnego pod względem składu), zyskujemy produkt – kruszywo recyklingowe, które może zostać ponownie wykorzystane w budownictwie, np. jako składnik mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi (stabilizacje cementowe, betony cementowe, mieszanki cementowo-kruszywowo-asfaltowe) lub niezwiązanych (kruszywowe podbudowy nawierzchni lub posadzek). Podczas oceny przydatności kruszywa, oprócz przeprowadzenia odpowiednich badań klasyfikacyjnych, należy także zweryfikować przyjętą metodę oceny, uwzględniając aktualne przepisy budowlane – normy i wymagania techniczne. Jak okazało się w trakcie przeprowadzonych i opisanych badań, zdarza się, że kruszywo nie spełnia poszczególnych wymagań dla różnych norm i przepisów. Należy jasno powołać dokument, na podstawie którego dokonana zostaje ocena przydatności i kwalifikacja kruszywa.

Bibliografia

[1] Babiak M. , Błaszczyński T. , Ratajczak A. , Węgliński S.: Przydatność kruszyw z recyclingu do produkcji betonu, Przegląd Budowlany, 88 (10), 2017, s. 60–63

[2] Batog A., Hawrysz M.: Wykorzystanie do budowy nasypów drogowych kruszyw z recyklingu odpadów budowlanych, Geoinżynieria, Drogi, Mosty, Tunele, 32, 2011, s. 32–36

[3] Dębska B., Górska K., Ocena możliwości zagospodarowania odpadów w sektorze budowlanym, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture 2016, 67–74

[4] Duszyński A., Jasiński W., Pryga-Szulc A.: Kruszywa z łupka węglowego – charakterystyka i zastosowanie w budownictwie drogowym, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 472, 2018, s. 321–326

[5] Dworzańczyk-Krzywiec D.: Wpływ zawartości kruszywa z recyklingu na wybrane właściwości betonów, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2 (3), 2011, s. 229–233

[6] Gradkowski K., Wyszyński K.: Ulepszanie i wzmacnianie warstw gruntów ubocznymi materiałami spalania i odpadowymi w drogowych budowlach ziemnych, Drogownictwo, 3, 2010, s. 87–90

[7] Kozioł W., Ciepliński A., Machniak Ł., Borcz A.: Kruszywa w budownictwie. cz.2. Kruszywa alternatywne, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 62, 2015, 35–40

[8] Krawczyk B., Szydło A., Mackiewicz P., Dobrucki D.: Przydatność kruszyw z recyklingu nawierzchni betonowych do warstw z mieszanek niezwiązanych i związanych cementem. Roads and Bridges – Drogi i Mosty, 17 (1), 2018, s. 39–53

[9] Krawczyk B., Szydło A., Mackiewicz P., Dobrucki D.: Kryteria oceny podbudów związanych cementem zawierających kruszywa pochodzące z recyklingu. Roads and Bridges – Drogi i Mosty, 18 (2), 2019, s. 109–126

[10] Martysz G., Węgliński S.: Laboratoryjne badania żużla ze spalania odpadów komunalnych dla zastosowań w budownictwie drogowym, Przegląd Budowlany, 92 (11–12), 2021, s. 77–80

[11] Mądralski J.: Możliwości poprawy cech betonów na kruszywach recyklingowych, Acta Scientiarum Polonorum Architectura, 6 (1), 2007, s. 3–10

[12] Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych, Wymagania techniczne WT-4:2010, Warszawa 2010

[13] PN-B-11111:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa naturalne do nawierzchni drogowych; żwir i mieszanka

[14] PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych

[15] PN-B-11113:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa naturalne do nawierzchni drogowych; piasek

[16] PN-B-23004:1988 (PN-88/B-23004) Kruszywa mineralne – Kruszywa sztuczne – Kruszywo z żużla wielkopiecowego kawałkowego

[17] PN-EN 933-1:2012 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego – Metoda przesiewania

[18] PN-EN 933-8+A1:2015-07 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek – Badanie wskaźnika piaskowego

[19] PN-EN 1097-2:2010 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie

[20] PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu

[21] PN-EN 13242+A1:2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym

[22] PN-EN 13285:2018-08 Mieszanki niezwiązane. Specyfikacje

[23] PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie

[24] Sitko J.: Technologie utylizacji żużli metalurgicznych – studium literaturowe, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, 2014, 8 (2), s. 200–210

[25] Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2020 poz. 10)

[26] Sadowska-Buraczewska B.: Kruszywa z recyklingu w budownictwie, Inżynieria Ekologiczna, 40, 2014, s. 74–81

[27] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21)

[28] Wowkonowicz P., Bojanowicz-Bablok A., Gworek B.: Wykorzystanie odpadów z przemysłu wydobywczego i hutnictwa w drogownictwie, Rocznik Ochrona Środowiska, 20 (2), 2018, s. 1335–1349