

Kruszywa alternatywne

– baza zasobowa i kierunki wykorzystania w budownictwie

Obowiązujące w Polsce od 2004 roku normy dotyczące kruszyw, zharmonizowane z normami europejskimi, ustalają obok wymagań dla określonych zastosowań ich podział wraz z nazwami i definicjami. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje kruszyw:

- **Kruszywa naturalne** – to kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce. Kruszywa naturalne dzielą się na kruszywa łamane produkowane ze skał litych (zwięzłych i średniozwięzłych) i kruszywa żwirowe (piaski i żwiry) produkowane ze skał okruchowych – rys. 1A.
- **Kruszywa sztuczne (wtórne)** – to kruszywa pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację – rys. 1B. Ze względu na pewne wątpliwości, czy kruszywa np. pohnitczne produkowane z żużli (wielkopieczowych, konwertorowych) należy zaklasyfikować do tej grupy, w opracowaniu (2) podano nową klasyfikację kruszyw sztucznych, z której wynika, że mogą one być produkowane również z wtórnych surowców odpadowych powstających w energetyce (popioły, żużle), hutnictwie żelaza i metali kolorowych, ciepłownictwie, przemyśle ceramicznym, górnictwie.
- **Kruszywa z recyklingu** – to kruszywa, które powstały w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego poprzednio w budownictwie – rys. 1C.

Na podstawie oceny wizualnej rys. 1 nie widać znaczących różnic pomiędzy poszczególnymi rodzajami kruszyw.

Dwie ostatnie grupy kruszyw można określić jako alternatywne wobec kruszyw naturalnych. Kruszywa alternatywne mogą być produkowane z różnych surowców odpadowych pochodzących z czterech głów-

Kruszywa alternatywne (sztuczne, z recyklingu) stanowią uzupełnienie rynku kruszyw naturalnych. W Polsce szacuje się, że łączna produkcja tych kruszyw w 2012 roku wyniosła około 13 mln Mg. W niektórych krajach Unii Europejskiej produkcja kruszyw alternatywnych plasuje się na poziomie 15-25% łącznej produkcji kruszyw (Wielka Brytania, Belgia, Holandia, Niemcy).

nych gałęzi gospodarki. Na rys. 2 przedstawiono podział surowców odpadowych do produkcji kruszyw alternatywnych w zależności od gałęzi gospodarki.

Do kruszyw alternatywnych, poza wymienionymi na rys. 2, należy zaliczyć również kruszywa sztuczne pochodzenia mineralnego poddane obróbce termicznej. To głównie keramzyt (gliniec) i glinoporyt, które klasyfikuje się jako kruszywa lekkie (gęstość poniżej 1000 kg/m³). Powstają one w wyniku wypalania kopaliny ilastych

spełniających odpowiednie wymagania (zdolność do pęcznienia/spiekania, odpowiedni skład ziarnowy, chemiczny i mineralny). W Polsce keramzyty produkowane są przez dwie firmy: Saint-Gobain Construction Products Polska sp. z o.o., Weber Leca® – w Gniewie (ok. 330 tys. m³/rok), a także Keramzyt – w Mszczonowie (ok. 50 tys. m³/rok).

Kruszywa sztuczne i z recyklingu znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie, zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie (np. beton, popiołoporyt). Intensyfikację zainteresowania tymi kruszywami obserwuje się głównie w sytuacjach lokalizacji dużych inwestycji infrastrukturalnych w otoczeniu potencjalnej bazy zasobowej do ich produkcji. Zazwyczaj są one tańsze niż kruszywa naturalne, przy porównywalnych właściwościach fizykomechanicznych.

Dodatkową zaletą kruszyw sztucznych jest ich często dużo niższa gęstość objętościowa niż kruszyw naturalnych. Z punktu widzenia odbiorców jest to istotna zaleta tych surowców, gdyż w nasypie drogowym lub podbudowie drogi ważna jest objętość mas, podczas gdy płaci się za tonę surowca. Tak więc niższa o 50% gęstość wpływa bezpośrednio na koszt inwestycji budowlanej, ale również koszt transportu (5). Odzysk odpadów wpływa również na zmniejszenie opłat związanych z ich składowaniem w środowisku. Poza przedstawionymi zaletami



Rys. 1. Rodzaje kruszyw: a) naturalne (żwir), b) sztuczne (łupek przepalony) c) z recyklingu (przekruszony beton)

„ekonomicznymi” należy wyróżnić również korzyści środowiskowe oraz społeczne.

Do korzyści środowiskowych należy zaliczyć przed wszystkim (5, 9):

- ochronę zasobów naturalnych (kopaliny) do produkcji kruszyw,
- zmniejszenie emisji z transportu,
- mniejsze ilości odpadów unieszkodliwianych na składowiskach,
- odzyskiwanie terenów zajmowanych przez składowiska.

Do korzyści społecznych należy zaliczyć (5, 9):

- wspieranie lokalnego rynku pracy,
- redukcję natężenia ruchu ciężarowego, a więc zwiększenie bezpieczeństwa na drogach,
- tworzenie szans edukacyjnych.

W krajach z rozwiniętą gospodarką i dużą świadomością ekologiczną produkcja kruszyw alternatywnych stanowi znaczący odsetek produkcji kruszyw ogółem, co przedstawiono na rys. 3.

Wyróżniającymi się krajami są Wielka Brytania (68 mln Mg) i Holandia (18 mln Mg), gdzie udział kruszyw alternatywnych stanowi ok. 25% łącznej produkcji. Udziałem powyżej 15% w łącznej produkcji charakteryzują się również Belgia (16 mln Mg), Niemcy (największa ilość produkcji – blisko 100 mln Mg) i Dania (8 mln Mg). Według powyższych danych produkcja kruszyw alternatywnych w Polsce stanowi ok. 3,5% produkcji kruszyw ogółem. Średnia wartość udziału kruszyw sztucznych dla krajów EU27 wynosi blisko 9%.

Baza zasobowa do produkcji kruszyw sztucznych z surowców odpadowych przemysłu górniczego i hutniczego

Kruszywa sztuczne produkowane są z różnego rodzaju surowców odpadowych, powstających głównie w przemyśle hutniczym, energetycznym i górniczym. Pochodzenie surowca ma duży wpływ na parametry fizykomechaniczne otrzymanych kruszyw. Pozyskiwanie kruszyw sztucznych odbywa się z odpadów pochodzących z bieżącej produkcji albo z odpadów nagromadzonych na składowiskach.

Baza zasobowa do produkcji kruszyw sztucznych nie została do tej pory kompleksowo zinwentaryzowana ilościowo i jakościowo. Dotyczy to głównie surowców zdeponowanych na różnego rodzaju składowiskach. Istnieją różne na ogół szacunkowe dane o ilości tych surowców, przytaczając najczęściej dane statystyczne (tab. 1).

Odpady ujęte w tab. 1 stanowią blisko 75% wszystkich odpadów wytwarzanych w przemyśle, a zdecydowana ich większość przypada na województwo śląskie i dolnośląskie.

Wartości opisujące ilość odpadów składowanych nie należy utożsamiać z wielkością bazy zasobowej do produkcji kruszyw sztucznych. Odnosi się to głównie do odpadów pogórnich. W przypadku obiektów, na których nagromadzone są odpady powęglowe, do zasadniczych ograniczeń w ich zagospodarowaniu należy wymienić: zakończoną rekultywację, lokalizację w bliskiej odległości od zabudowy, ich ochronę np. poprzez wpisanie na listę zabytków techniki

WYSZCZEGÓLNIENIE		ODPADY WYTWORZONE W CIĄGU ROKU	ODPADY DOTYCHCZAS SKŁADOWANE
		MLN Mg	
Przemysł wydobywczy	Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopaliny	31,2	478,0
	Odpady z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych	29,8	603,8
	Odpady z wydobywania kopaliny innych niż rudy metali	2,2	45,6
Przemysł energetyczny	Mieszanki popiołowo-żuźlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych	10,5	266,9
	Popioły lotne z węgla	4,6	27,2
	Mieszanki popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych	3,8	0,9
	Żuźle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	2,4	10,4
Przemysł hutniczy	Żuźle z procesów wytapiania (wielkopiecownicze, stalownicze)	2,7	4,0

Tab. 1. Ilość wytworzonych odpadów w wybranych gałęziach przemysłu w roku 2012 (8)



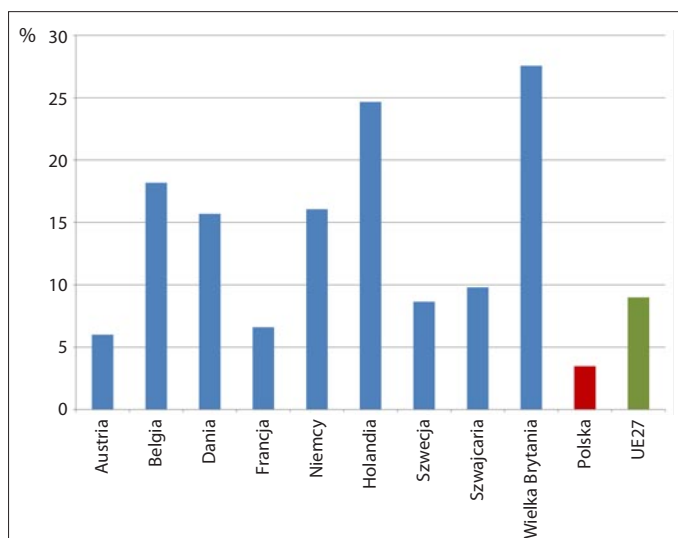
Rys. 2. Podział surowców odpadowych w zależności od ich pochodzenia (opracowanie własne)

(hałda "Szarłota" w Rydułtowach).. Należy równocześnie pamiętać, że najbardziej pożądanym do produkcji kruszyw sztucznych jest tzw. łupek czerwony (prze-palony), którego „zasoby operatywne” na wszystkich składowiskach czy też bryłach rekultywacyjnych należy oszacować w ilości ok. 25-30 mln Mg, co stanowi niespełna ok. 5% zdeponowanych odpadów powęglowych. Rozbiórka składowisk w celu pozyskania łupka czarnego (nieprzepalonego) jest biznesowo nieopłacalna. Pozyskuje się go głównie w instalacjach mających na celu odzysk materiału węglowego, w postaci miazgi lub mułu, z odpadów powęglowych. Szacuje się, że w 2012 roku produkcja kruszyw pochodzących z nagromadzeń odpadów powęglowych wynosiła w przybliżeniu ok. 2,0 mln Mg, w zdecydowanej większości łupka przepalonego (czerwonego).

Również danych charakteryzujących ilość odpadów, zdeponowanych na składowiskach, pochodzących z górnictwa rud metali nieżelaznych (rud miedzi), nie należy traktować jako wielkości „operatywnej” bazy zasobowej do produkcji kruszyw sztucznych. Wykorzystanie przeważającej części tych odpadów, na chwilę obecną, pomimo znanych możliwych kierunków wykorzystania w budownictwie (m.in. do produkcji betonitów górniczych, betonu ciężkiego, cementu, kruszyw porowatych, pianobetonu, mączki mineralnej – składnika mas bitumicznych), nie jest możliwe, gdyż tworzą one konstrukcję (obwałowanie) oraz doszczelniają dno obiektu unieszkodliwiania odpadów „Żelazny Most”. Naruszenie stabilności konstrukcji tego obiektu stanowiłoby poważne zagrożenie środowiskowe ze względu na rodzaj unieszkodliwianych w nim odpadów. Innym aspektem powyższego stanu jest brak presji wynikającej z obecnego ustawodawstwa.

Szacunkowo tylko ok. 25-30% odpadów ulokowanych (unieszkodliwionych) w tym obiekcie potencjalnie nadaje się do gospodarczego wykorzystania, zachowując konstrukcję oraz obecną funkcję obiektu.

W przypadku kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach odpadów pochodzących z hutnictwa stalowniczych i wielkopieczowych głównym problemem są kończące się zasoby lub nawet ich całkowite wykorzystanie (w przypadku niektórych obiektów), do produkcji kruszyw sztucznych. Szacunkowa średnioroczna produkcja kruszyw sztucznych z tego źródła surowców odpadowych w ostatnich latach wynosiła ok. 5,0 mln Mg kruszyw



Rys. 3. Udział kruszyw alternatywnych z surowców odpadowych w produkcji kruszyw ogółem w wybranych krajach europejskich w 2011 roku (opracowanie własne na podstawie (1))

(zakładając 15-proc. zawartość materiału magnetycznego [złomu] w składowanych odpadach).

Podobne problemy dotyczą kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach odpadów z hutnictwa metali nieżelaznych (miedzi i cynku). Nieznaczne ilości (ok. 1,5 mln Mg) żużli pomiedziowych znajdują się jeszcze przy Hucie Miedzi „Legnica”, przy Hucie Miedzi „Głogów” zostały już w całości odzyskane.

Z kolei produkcja kruszyw wtórnych z odpadów pochodzących z bieżącej działalności jest ściśle uzależniona od kondycji danej branży, a ich ilość skorelowana jest z wielkością produkcji (wydobycia).

I tak w przypadku:

- odpadów z górnictwa węgla kamiennego – ich ilość wynosi ok. 35-40% wielkości wydobycia węgla,
- odpadów z górnictwa rud miedzi – ich ilość wynosi ok. 90% wielkości wydobycia rudy,
- żużli stalowniczych i wielkopieczowych – ich ilość wynosi ok. 30% wielkości produkcji stali,
- żużli pomiedziowych – ich ilość wynosi ok. 190% wielkości produkcji miedzi.

Z powyższych danych wynika, że z bieżącej produkcji pochodzi około 30 mln Mg odpadów górniczych powęglowych, ok. 25 mln Mg odpadów górniczych pomiedziowych, około 2,5 mln Mg żużli stalowniczych i wielkopieczowych oraz około 1,0 mln Mg żużli z hutnictwa miedzi.

W odniesieniu zarówno do żużli z hutnictwa stali, jak i miedzi można mówić o całkowitym, bieżącym ich wykorzystaniu do produkcji kruszyw. Natomiast w przypadku odpadów powęglowych, których ilość jest znacznie większa od ilości odpadów hutniczych, tylko nieznaczna część znajduje zastosowanie (np. budowa suchego zbiornika przeciwpowodziowego Racibórz Dolny). Ostatnio prowadzone są intensywne prace nad zwiększeniem wykorzystania skał płonnych z górnictwa węgla kamiennego. Szacuje się, że 15-20% tego surowca (4-6 mln Mg) w stanie surowym spełnia wymagania norm PN-EN dla kruszyw (4). Niemniej jednak zgodnie z prawem ponad 80% tych odpadów jest odzyskiwane poprzez budowę różnego rodzaju tzw. brył lub obiektów rekultywacyjnych. Podobnie jest w przypadku odpadów z flotacji rud miedzi, których ilości są porównywalne do ilości odpadów z górnictwa węgla kamienne-

go i w ok. 70-75% wykorzystywane są (odzysk) do budowy obiektu unieszkodliwiania odpadów „Żelazny Most”, a więc „proceduralnie” znajdują zastosowanie w budownictwie, w tym przypadku hydrotechnicznym.

Baza zasobowa do produkcji kruszyw z recyklingu

Kruszywa z recyklingu powstają w wyniku prowadzenia prac budowlanych, takich jak: roboty wyburzeniowe i rozbiórkowe, remonty, przebudowa. Jakość kruszyw z recyklingu jest zależna od jakości materiałów, które są przetwarzane (beton, cegła, asfalt). Istnieją dwa sposoby wytwarzania kruszywa z recyklingu:

- w miejscu rozbiórki, budowy, przebudowy, remontu,
- *ex situ* w zakładach utylizacji.

Duże oszczędności, w tym na kosztach transportu, można osiągnąć przy produkcji kruszywa z recyklingu w miejscu ich pozyskiwania. Obrót tymi surowcami jest bardzo trudny do zewidencjonowania i w większości nie jest uwzględniony w zestawieniach statystycznych.

Prognozę wielkości bazy zasobowej dla produkcji kruszyw z recyklingu przedstawiono w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami (6). Zgodnie z tym dokumentem szacuje się następującą masę odpadów z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych (tab. 2).

Na podstawie danych historycznych (lata 2004-2008) udział materiałów budowlanych w łącznej ilości odpadów stanowi ok. 30% (pozostałe to: 40% – złom, 30% – gleba i ziemia), z kolei stopień odzysku odpadów kształtował się na poziomie ok. 80%. Przy założeniu wzrostu wskaźnika odzysku do poziomu 90% szacunkowa ilość kruszyw z recyklingu będzie wynosiła w granicach 1,1 mln Mg w 2014 roku do ok. 1,5 mln w 2022 roku (tab. 2). Przyjmując pewnie niedoszacowanie tych prognoz, jak również możliwość recyklingu odpadów o kodach 10 12 08 (wybrakowane odpady ceramiczne, cegły, kafle i ceramika budowlana) oraz 10 13 82 (wybrakowane wyroby), należy stwierdzić, że praktyczny poziom produkcji kruszyw z recyklingu kształtować się może odpowiednio w przedstawionych latach na poziomie ok. 1,8-3,0 mln Mg.

WYSZCZEGÓLNIENIE	Rok					
	2014	2015	2016	2018	2019	2022
	TYS. MG					
Masa wytworzonych odpadów	4260	4400	4520	4890	5060	5600
Materiały budowlane*	1278	1320	1356	1467	1518	1680
Kruszywa z recyklingu**	1150	1188	1220	1320	1366	1512

Tab. 2. Prognoza ilości odpadów budowlanych (6) wraz z szacunkiem produkcji kruszyw z recyklingu
*przy założeniu 30-proc. udziału, **przy 90-proc. poziomie odzysku



Rys. 4. Rozładunek kadzi z płynnym żużlem (10)



Rys. 5. Eksploatacja hałdy żużli pohutniczych w Krakowie

Miejsca produkcji kruszyw z recyklingu należy powiązać głównie z dużymi aglomeracjami miejskimi, gdzie koncentruje się większość rozbiórkowych robót budowlanych.

Podstawowe kierunki wykorzystania kruszyw wtórnych i z recyklingu

Kruszywa alternatywne w zależności od ich jakości i pochodzenia mogą być stosowane w wielu zastosowaniach budowlanych, takich jak (10-20):

- kruszywo do betonu (w tym lekkich) w (budynkach, drogach, obiektach budowlanych, prefabrykacji budowlanej),
- kruszywo doziarniające:
 - do gruntów,
 - do nawierzchni twardej nieulepszonej realizowanej w technologii nawierzchni z kruszywa stabilizowanego mechanicznie,
 - do podbudowy pomocniczej w warstwach dolnych, wzmacniających, stabilizowanych mechanicznie,
- w zasypkach obiektów inżynierskich wykonanych z gruntów kamienistych i gruboziarnistych,
- materiał wypełniający i/lub klinujący do podbudowy pomocniczej,
- budowa nasypów (poniżej strefy przemarzania, w strefie przemarzania, gdy zalegają w miejscach suchych lub są izolowane od wody lub stanowią wypełnienie dla gruntów kamienistych i gruboziarnistych),
- na warstwy mrozo odporne, odsączające,
- produkcja wyrobów ceramicznych,
- zasypki:
 - obiektów inżynierskich,
 - wykopów na instalacje,
 - przyczółków i konstrukcji oporowych,
- makroniwelacje terenów,
- rekultywacja terenów,
- budowa wałów przeciwpowodziowych,
- utwardzanie nawierzchni gruntowych,
- zimowe utrzymanie dróg jako kruszywo uszorstniające.

Głównym kierunkiem zastosowania kruszyw alternatywnych jest budownictwo liniowe, zwłaszcza drogowe. W tab. 3 przedstawiono zastosowanie kruszyw alternatywnych w konstrukcjach drogowych, zgodnie z podziałem zaproponowanym na rys. 2.

Szeroki wachlarz zastosowań kruszyw alternatywnych wraz z wieloma pozytywnymi aspektami (ekonomicznymi, środowiskowymi, społecznymi) ich produkcji spowodował w ostatnich latach duże zainteresowanie przedsiębiorców taką formą działalności biznesowej. Należy stwierdzić, że zdecydowana większość potencjalnych miejsc produkcji kruszyw alternatywnych została do tego czasu zagospodarowana.

Podsumowanie

Kruszywa alternatywne (sztuczne, z recyklingu) stanowią uzupełnienie rynku kruszyw naturalnych. W Polsce szacuje się, że łączna produkcja tych kruszyw w 2012 roku wyniosła około 13 mln Mg, w tym: ok. 8 mln Mg kruszyw z żużli hutniczych, ok. 2,0 mln Mg kruszyw „pogórnich” oraz 1,5 mln Mg kruszyw z recyklingu oraz ok. 1,5 mln Mg kruszyw z odpadów energetycznych i ciepłowniczych. W porównaniu do danych przedstawionych na rys. 3 jest to porównywalny szacunek. Z informacji zebranych od głównych producentów kruszyw alternatywnych wynika, że w 2013 roku ich łączna produkcja w stosunku do roku poprzedniego zmniejszyła się ok. 20%.

W najbliższych latach (ok. 5-8 lat) należy oczekiwać zmniejszenia zdolności produkcyjnych kruszyw sztucznych (głównie pohutniczych oraz łupka przepalonego) wynikającego z wyczerpania bazy zasobowej starych składowisk. Zakładając utrzymanie się produkcji miedzi oraz stali na aktualnym poziomie, należy oszacować przyszłą produkcję kruszyw pohutniczych na poziomie ok. 3 mln Mg. Uzupełnienie utraconych zdolności może nastąpić poprzez wzrost wykorzystania kruszyw z recyklingu, jak również powszechniejsze wykorzystanie odpadów górniczych pochodzących z bieżącej produkcji (zwiększenie presji ustawodawczej ograniczającej aktualny sposób ich odzysku, przy równoczesnym



Rys. 6. Wykorzystanie kruszyw alternatywnych: A) z żużli pchutniczych do budowy autostrady A4(11), B) z żużli paleniskowych do budowy nasypu pod lokalizację hali (19)

premiowaniu (ulgi, dotacje) innych kierunków wykorzystania). Przy czym należy pamiętać, że kruszywa pogórnice oraz z recyklingu, w stosunku do kruszyw pchutniczych, charakteryzują się gorszymi parametrami użytkowymi, a więc w pełni nie zastępują kruszyw pchutniczych.

Produkcja kruszyw alternatywnych całkowicie wpisuje się w podstawowe cele i zasady gospodarki odpadami polegające na: minimalizacji wielkości odpadów, minimalizacji ich wpływu na środowisko, odzysku zgodnym z zasadami ochrony środowiska. Nazwa „kruszywa alternatywne” wydaje się w pełni uzasadniona ze względu na adekwatność tego określenia dla pochodzenia i roli tych surowców. □

Piśmiennictwo

1. Annual Review: *European Aggregates Association*. Bruksela, 2013 r.
2. Dokument CEN/TC154/TG10/N736. *Materiały wtórne. Kruszywa sztuczne. Raport końcowy dla kruszyw ze złóż wtórnych*.
3. Domagała L.: *Kruszywa spiekane a klasyfikacja kruszyw lekkich do betonów*. „Kruszywa”, 4/ 2012.

4. Góralczyk S, Dukielska D.: *Surowce wtórne bazą zasobową do produkcji kruszyw*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 136, 2013 r.
5. Kozioł W., Kawalec P.: *Kruszywa alternatywne w budownictwie*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie”, lipiec – sierpień, 2008 r.
6. *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014, Załącznik do uchwały nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r.* Warszawa 2010.
7. *Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, 2004.
8. *Rocznik Statystyczny Przemysłu*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014.
9. *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych. Cz. 1.3.3 Ocena możliwości substytucji surowców skalnych w pokryciu popytu*. AGH Kraków, 2011.
10. www.ehazet.pl.
11. www.ekoprod.pl.
12. www.ekotechtrade.pl.
13. www.epore.pl.
14. www.harcometals.pl.
15. www.hilkim.pl.
16. www.lorresta.pl.
17. www.madrohut.pl.
18. www.metraco.pl.
19. www.renevis.pl.
20. www.utex.com.pl.

RODZAJ UBOCZNEGO PRODUKTU PRZEMYSŁOWEGO	POTENCJALNE WYKORZYSTANE MATERIAŁU				
	WARSTWA ŚCIERALNA	WARSTWA WIĄŻĄCA	PODBUDOWA	PODŁOŻE (W TYM PODŁOŻE ULEPSZONE)	SKARPY, NASYPY, NIWELACJA TERENU
Odpady hutnicze					
Żużel wielkopieczowy granulowany				+	+
Żużel wielkopieczowy kawałkowy	+	+	+		
Żużel stalowniczy	+	+	+		
Żużel z huty miedzi	+	+	+		
Żużel z huty cynku i ołowiu				+	+
Odpady górnice					
Łupek nieprzpalony				+	+
Łupek przpalony			+ ¹⁾	+	+
Inne skały	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+	+
Odpady elektrowniane i ciepłownicze					
Popioły lotne			+	+	+
Mieszanki popiołowo-żużłowe			+	+	+
Popioły lotne i żużle z fluidalnego spalania			+ ³⁾	+ ³⁾	
Popioły i żużle zawierające produkty odsiarczenia spalin			+	+	
Odpady budowlane					
Kruszywo z recyklingu betonu			+	+	+
Kruszywo z recyklingu cegły				+	+
Kruszywo z recyklingu asfaltu				+	+
Kruszywo z recyklingu odpadów ceramicznych				+	+

Tab. 3. Wykorzystanie przemysłowych produktów odpadowych jako kruszyw alternatywnych w konstrukcjach drogowych (7, 10-20)

¹⁾dolne warstwy, ²⁾w zależności od typu litologicznego, ³⁾jako spoiwo lub składnik spoiw