



Produkcja i zastosowanie kruszyw z wtórnych surowców odpadowych

Wiesław Koziol^{}, Ireneusz Baic^{*}*

*Łukasz Machniak^{**}*

^{}Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego*

*^{**}AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

1. Wstęp

Ograniczone zasoby surowców mineralnych możliwych do wydobycia w UE powodują, że ostatnio coraz większą uwagę przywiązuje się do racjonalnej gospodarki surowcami naturalnymi i wykorzystania surowców wtórnych. Polityka surowcowa UE jako jeden z głównych celów przewiduje maksymalne wykorzystanie surowców wtórnych do produkcji wyrobów o jakości nie ustępującej produktom z surowców naturalnych. Również w krajowej polityce w zakresie surowców nieenergetycznych, jednym z celów jest wykorzystanie wszystkich surowców, w tym surowców wtórnych i odpadowych (Ministerstwo Gospodarki 2014). W artykule przedstawiono stan produkcji i zastosowania kruszyw sztucznych, odpadowych [wtórnych] i z recyklingu zaliczonych do wspólnej grupy kruszyw alternatywnych w Polsce, a także w Unii Europejskiej.

2. Podział kruszyw

W gospodarce surowcami mineralnymi, duże znaczenie mają kruszywa mineralne ze względu na skalę produkcji i zużycia – średnio 6-7 Mg/osobę w roku. Roczne wydobycie kruszyw na świecie szacuje się na 40 mld ton (UEPG 2013), co stanowi około 2/3 wydobycia wszystkich surowców kopalnych. Coraz częściej wiele państw staje przed proble-

mem krajowego [Singapur, ZEA i in.] lub lokalnego niedoboru naturalnych zasobów kruszyw. Największe ilości kruszyw używa budownictwo i drogownictwo, ale również w innych gałęziach gospodarki kruszywa są ważnym surowcem. Przykładowo, krzem odzyskiwany m.in. z krzemionki, podstawowego składnika piasków, stosowany jest praktycznie w całej współczesnej elektronice [komputery, telewizory, telefony, światłowody itd.]. Piasek to także podstawowy surowiec do produkcji rozmaitych odmian szkła itd. Ostatnio w USA drugim po sektorze budowlanym konsumentem piasku stają się firmy paliwowe używające bardzo duże ilości specjalnego piasku do wydobycia gazu i ropy z łupków. Niedobory kruszyw powodują wzrost ich cen, które w niektórych krajach wynoszą 50-100USD/Mg, a okresowo nawet więcej [Singapur – 190 USD/Mg]. W USA mówi się, że ropa tanieje a piasek drożeje (Pytko 2015). Problemy z pokryciem rosnącego zapotrzebowania na kruszywa naturalne powodują wzrost zainteresowania alternatywnymi surowcami i technologiami ich wytwarzania, w celu zaspokojenia potrzeb i ograniczenia kosztów, w tym szczególnie kosztów transportu z odległych złóż.

Normy dotyczące kruszyw, zharmonizowane z normami europejskimi, ustalają obok wymagań dla określonych zastosowań podział kruszyw wraz z nazwami i definicjami. Wyróżnia się następujące podstawowe rodzaje kruszyw:

- kruszywa naturalne – kruszywa ze źródeł [złóż] naturalnych, które poza obróbką mechaniczną nie zostały poddane żadnej innej obróbce. Kruszywa naturalne dzielą się na kruszywa łamane i kruszywa żwirowo-piaskowe,
- kruszywa sztuczne – to kruszywa pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację,
- kruszywa z recyklingu – kruszywa, które powstały w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego poprzednio w budownictwie,

W latach 2010-2011 w UE obok uściślenia podziału kruszyw wprowadzono również normatywny załącznik A, zawierający wykaz surowców oraz źródła ich pochodzenia, które mogą być bazą do produkcji kruszyw – tabela 1. Ze względu na rodzaj i pochodzenie surowca do

produkcji kruszyw zaproponowano następujący podział (Góralczyk i in. 2013):

- surowce pierwotne do produkcji kruszyw naturalnych,
- surowce wtórne do produkcji kruszyw sztucznych i z recyklingu.

Tabela 1. Kategorie i status surowców do produkcji kruszyw według norm PN-EN (Góralczyk i in. 2013)

Table 1. Categories and status of resources for the production of aggregates as per the PN-EN standards (Góralczyk i in. 2013)

Typ	Źródło	Podtyp	Surowiec	Historia zastosowania	Wymagania	
					według normy	dodatkowe
P	Kruszywa naturalne	P	wszystkie typy petrograficzne zawarte w PN EN 932-3	tak	tak	nie
A	Budownictwo i recykling	A1	odzyskany asfalt (destrukty)	nie	–	–
		A2	beton kruszony	tak	tak	nie
		A3	kruszona cegła murarska	tak	tak	nie
		A4	mieszanka A1, A2 i A3	tak	tak	nie
B	Spalarnie stałych odpadów komunalnych	B1	popiół denny z pieców do spalania odpadów komunalnych (z wyłączeniem popiołów lotnych)	tak	nie	
		B2	popiół lotny z pieców do spalania odpadów miejskich	nie	–	–
C	Energetyka	C1	popiół lotny ze spalania węgla	tak	tak	tak
		C2	popiół lotny z kotłów fluidalnych	nie	–	–
		C3	żużel z kotłów elektrownianych	tak	nie	Nie
		C4	popiół denny ze spalania węgla	nie	–	–
		C5	popiół denny z kotłów fluidalnych	nie	–	–

Tabela 1. cd.

Table 1. cont.

Typ	Źródło	Podtyp	Surowiec	Historia zastosowania	Wymagania	
					według normy	dodatkowe
D	Hutnictwo żelaza i stali	D1	żużel wielkopiecowy granulowany (szklisty)	tak	tak	nie
		D2	żużel wielkopiecowy chłodzony powietrzem (krystaliczny)	tak	tak	nie
		D3	żużel z konwertora tlenowego (żużel konwertorowy)	tak	tak	nie
		D4	żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji stali węglowej)	tak	tak	nie
		D5	żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji nierdzewnej/wysokiej jakości stali stopowej)	nie	–	–
E	Przemysł metali nieżelaznych	E1	żużel pomiedziowy	tak	nie	tak
		E2	żużel molibdeniczny	nie	–	–
		E3	żużel pocynkowy	tak	nie	tak
		E4	żużel pofosforowy	nie	–	–
F	Odlewnictwo	F1	piasek odlewniczy	tak	nie	tak
		F2	żużel z pieca odlewniczego	nie	–	–
G	Górnictwo węglowe i skalne	G1	łupek węglowy przepalony	nie	–	–
		G2	odpady z węgla kamiennego (łupki przywęglowe)	nie	–	–
		G3	wcześniej wyselekcjonowane odpady z górnictwa węglowego i skalnego	nie	–	–
		G4	przepracowany olej łupkowy	nie	–	–

Tabela 1. cd.

Table 1. cont.

Typ	Źródło	Podtyp	Surowiec	Historia zastosowania	Wymagania	
					według normy	dotatkowe
H	Prace pogłębiające	H1	piasek z pogłębiania rzek i zbiorników wodnych	tak	nie	nie
		H2	gлина z pogłębiania	nie	–	–
I	Pozostałe	I1	ziemia z prac wykopaliskowych	nie	–	–
		I2	popiół z przemysłu papierniczego	tak	nie	nie
		I3	popiół ze spalania odpadów	nie	–	–
		I4	popiół ze spalania biomasy	nie	–	–
		I5	stłuczka szklana	tak	tak	tak
		I6	gлина pęczniująca	norma EN13055	–	–

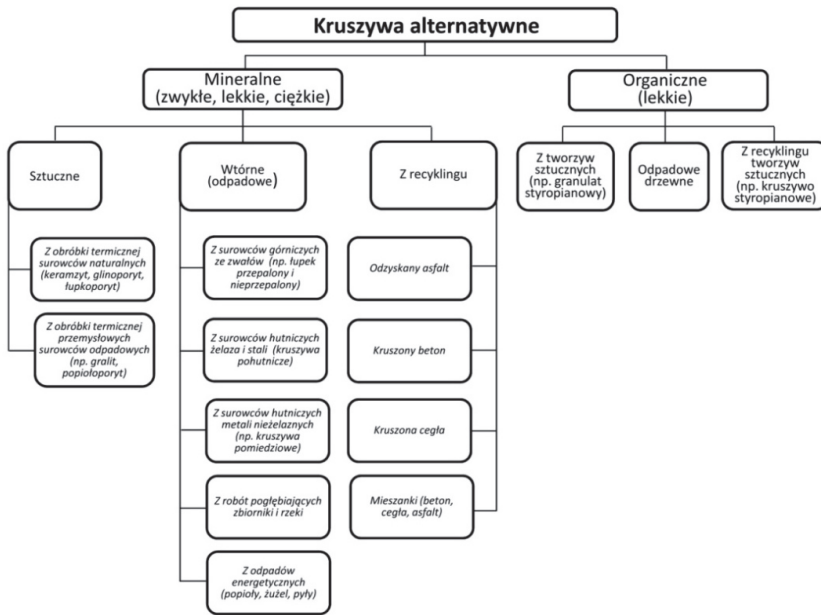
Surowce pierwotne [typ P] obejmują wszystkie rodzaje petrograficzne skał (magmaowe, osadowe, metamorficzne) zawarte w normie w PN-EN 932-3. Kategorie i status surowców wtórnych [typy A do I] zawiera załącznik A i jako źródła pochodzenia surowców wymienia: budownictwo i recykling, spalarnie stałych odpadów komunalnych, energetykę, hutnictwo żelaza i stali, przemysł metali nieżelaznych, odlewnictwo, górnictwo węglowe i skalne, prace pogłębiarskie, pozostałe.

Przyjęty według normy PN-EN 12620 wyżej podany podział kruszyw nie jest jednak jednoznaczny i budzi wiele zastrzeżeń, głównie ze względu na dużą grupę kruszyw produkowanych z surowców odpadowych, towarzyszących i ubocznych, które oprócz przeróbki mechanicznej (kruszenie i przesiewanie) nie podlegają żadnej innej modyfikacji. Czy zatem kruszywa te (np. łupkoporyt ze zwałów, kruszywa pohutnicze, pomiedziowe itp.), należy zaliczyć do grupy kruszyw sztucznych?

W budownictwie przykładowo, a również i w wielu opracowaniach (Kozioł in. 2015) oprócz kruszyw sztucznych i z recyklingu wydziela się oddzielną grupę kruszyw – „kruszywa odpadowe”, do których

zalicza się kruszywa pochodzenia mineralnego z jakiegokolwiek procesu technologicznego, poddane następnie jedynie obróbce mechanicznej. Do tej grupy zalicza się m.in. kruszywa produkowane z żużli hutniczych i elektrownianych, a również samoistnie przepalone łupki przywęglowe, itp. Biorąc powyższe pod uwagę proponuje się przyjąć podział kruszyw na dwie duże grupy kruszywa naturalne i kruszywa alternatywne.

Kruszywa naturalne dzielą się na żwirowo-piaskowe i łamane zaś kruszywa alternatywne obejmują kruszywa mineralne do których zalicza się kruszywa sztuczne, wtórne (odpadowe) i z recyklingu oraz kruszywa organiczne (z tworzyw sztucznych, drewna itp.). Nazwa kruszywa wtórne (*secondary aggregates*) jest zgodna z dokumentami Komisji Europejskiej (Góralczyk i in. 2010). W dokumentach tych zaproponowano zmodyfikowaną klasyfikację kruszyw, produkowanych z różnych surowców wtórnych (odpadowych). Klasyfikacja ta w dalszym ciągu utrzymuje podział kruszyw na trzy podstawowe grupy: naturalne, sztuczne i z recyklingu, zaliczając kruszywa produkowane z naturalnych surowców odpadowych do kruszyw sztucznych. Zgodnie z tym podziałem kruszywa naturalne należy nazwać kruszywami pierwotnymi zaś kruszywa sztuczne i z recyklingu – kruszywami wtórnymi. Uwzględniając jednak ważne znaczenie kruszyw produkowanych z surowców odpadowych, a także z surowców towarzyszących, proponuje się wydzielić z kruszyw sztucznych oddzielną grupę kruszyw tzw. odpadowych nazywając je kruszywami wtórnymi (odpadowymi). W tym podziale wszystkie rodzaje kruszyw poza pierwotnymi kruszywami naturalnymi nazwano kruszywami alternatywnymi mającymi alternatywne znaczenie w porównaniu do tradycyjnych kruszyw naturalnych żwirowo-piaskowych i łamanych. Podobny podział stosuje się również dla paliw: paliwa kopalne (naturalne) i paliwa alternatywne. Podział i rodzaje surowców, z których w Polsce produkuje się kruszywa alternatywne przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Proponowany podział kruszyw alternatywnych (Kozioł i in. 2015)

Fig. 1. Proposed division of alternative aggregates (Kozioł i in. 2015)

Zakres zastosowania wszystkich kruszyw alternatywnych ustalają normy PN-EN i jest on identyczny jak dla kruszyw naturalnych, po spełnieniu przez te kruszywa wymagań normowych w zależności od planowanego zastosowania.

3. Produkcja i zastosowanie kruszyw alternatywnych

3.1. Kruszywa sztuczne

Zgodnie z zaproponowanym podziałem kruszyw alternatywnych do grupy kruszyw sztucznych zaliczyć należy głównie kruszywa lekkie powstałe w wyniku przemian termicznych, a więc takie których gęstość ziaren wynosi poniżej 2000 kg/m^3 lub gęstość nasykowa jest mniejsza od 1200 kg/m^3 . W Polsce obecnie produkuje lub dystrybuuje się następujące kruszywa sztuczne (lekkie):

- keramzyt (Mszczonów – Przedsiębiorstwo Kruszyw Lekkich Keramzyt Sp. z o.o., Gniew – Saint-Gobain Construction Products Polska Sp. z o.o., Miękinia (importer) – Ages Sp. z o.o.),

- perlit ekspandowany (Bełchatów – Perlipol s.j., Zębice – Zakłady Górniczo-Metalowe Zębice S.A., Cieszyn – Perlit Polska Sp. z o.o., Kazimierz Biskupi – Perlit AF Sp. z o.o., Rzeszów – Bauwer Sp. z o.o.),
- popiołoporyt (Białystok – LSA Sp. z o.o., Gdańsk – Pollytag S.A.),
- żużel paleniskowy (Brzezie k/Opola – Epore Sp. z o.o., Rybnik – EDF Ekoserwis Sp. z o.o.).

Zdecydowanie największy udział w krajowym rynku kruszyw lekkich posiada **keramzyt**. Jest to sztuczne kruszywo lekkie otrzymywane przez wypalanie niskotopliwych, odpowiednio przygotowanych i zgrudkowanych surowców ilastych o różnej strukturze. Keramzyt produkuje się z surowców wyróżniających się zdolnością do termicznego pęcznienia. Proces produkcji keramzytu polega na wypaleniu odpowiednio przygotowanego i zgranulowanego surowca w temperaturze 1050-1300°C. W trakcie procesu wypalania granule zwiększają swoją objętość wskutek wydzielania się gazów w miękkiej, piroplastycznej masie, a zewnętrzna otoczka ulega nadtopieniu tworząc spieczoną warstwę. W ten sposób otrzymujemy porowate, lekkie kruszywo ceramiczne o niskiej nasiąkliwości, wysokiej izolacyjności cieplnej i dużej odporności na różne czynniki. Ciężar nasypowy w zależności od frakcji wynosi 0,4-0,9 Mg/m³ granulatu. Posiada wysoką izolacyjność cieplną, odporność na czynniki chemiczne, atmosferyczne, grzyby, owady, gryzonie. Jest materiałem bezwonnym, niepalnym, mrozoodpornym o małej nasiąkliwości. Do głównych kierunków zastosowania keramzytu zaliczyć należy:

- geotechnika – wypełnienie keramzytowe w wielu przypadkach eliminuje kosztowne metody wzmocniania słabych gruntów takie jak: wymiana gruntu, palowanie, iniekcja, fundamenty specjalne,
- izolacja stropów drewnianych,
- izolacja stropów betonowych,
- izolacja stropodachów,
- izolacja podłogi na gruncie,
- beton lekki i zaprawa ciepłochronna,
- wyroby z keramzytu, takie jak:
 - pustaki do ścian konstrukcyjnych,
 - bloczki do ścian fundamentowych,

- pustaki do ekranów dźwiękochłonnych,
- pustaki systemów kominowych,
- zielone dachy,
- ogrodnictwo.

Powyższe zastosowania dotyczą również kruszyw sztucznych (**popiołoporytu**) powstałych poprzez obróbkę termiczną popiołów z energetyki i ciepłownictwa. Pomimo stosunkowo dużych ilości popiołów i żużli wytwarzanych przez elektrownie i ciepłownie (około 20 mln Mg/rok) obecnie produkcja i dystrybucją kruszyw popiołoporytowych zajmują się głównie dwie firmy: Pollytag S.A. z Gdańska oraz LSA Sp. z o.o. z Białegostoku.

Głównymi kierunkami zastosowań tych kruszyw są:

- produkcja lekkich betonów konstrukcyjnych i konstrukcyjno-izolacyjnych,
- produkcja elementów (wyrobów) ściennych, stropowych, kominowych, izolacyjnych, małej architektury,
- produkcja zapraw ciepłochronnych,
- izolacja akustyczna i cieplna,
- geotechnika (zmniejszenie osiadania budynków, zmniejszenie parcia poziomego i odciążenia konstrukcji, stabilizacja fundamentów, wymiana podłoża),
- drogownictwo (głównie podbudowy dróg),
- ogrodnictwo (warstwy drenażowe pod uprawną ziemię lub składnik służący do spulchniania gruntu, regulujący dostęp wody i powietrza),
- budowlane i drogowe warstwy filtracyjne i drenujące,
- warstwy filtracyjne i kumulujące wilgoć pod terenami zielonymi (zielone dachy) i sportowymi.

W ostatnich latach obserwuje się również coraz większe zainteresowanie **perlitoporytem** (perlitem ekspandowanym). Otrzymuje się go przez obróbkę termiczną niektórych szklistych skał wulkanicznych, np.: obsydianu, perlitu, smołowca. Kopaliny te importowane są głównie ze Słowacji, Węgier, Grecji, Turcji, a sam proces ekspandowania odbywa się w fabrykach zlokalizowanych w kraju. Odpowiednio rozkruszony surowiec wypraża się w specjalnych piecach, szybowych lub obrotowych

w temperaturze 950-1150°C. Następuje wydzielenie wody krystalicznej czemu towarzyszy znaczne zwiększenie objętości ziaren kruszywa. W efekcie gęstość skały maleje z 1000-1200 kg/m³ do 30-150 kg/m³. Spieczony materiał jest sztywny i porowaty oraz ma niski współczynnik przewodzenia ciepła. Kruszywo to posiada bardzo korzystne właściwości termoizolacyjne oraz dużą odporność na działanie wysokich temperatur. Obecnie perlit ekspandowany stosowany jest przede wszystkim do:

- produkcji ciepłochronnych zapraw murarskich i tynkarskich,
- produkcji lekkich betonów, tzw. perlitobetonów (termopodkłady, termowylewki),
- docieplania stropów i konstrukcji dachowych (zasypki perlitowe),
- docieplania budynków metodą „*blow-in*” – wdmuchiwanie perlitu w wolne przestrzenie w ścianach,
- izolacji akustycznej podłóg, ścian oraz stropów,
- poprawy właściwości termoizolacyjnych muru obwodowego poprzez zasyp przestrzeni międzyżebrowych w pustakach,
- izolacji termicznej kominów,
- obniżenia masy tynków gipsowych,
- produkcji klejów do styropianu oraz klejów do glazury – dodatek perlitu w znaczący sposób poprawia ich płynność i przyczepność, zwiększa wydajność oraz ułatwia odparowanie wody,
- produkcji ekranów akustycznych, jako materiał dźwiękochłonny.

Żużel paleniskowy jest produktem ubocznym powstającym przy spalaniu węgla kamiennego lub brunatnego na paleniskach rusztowych. Całkowita pozostałość po spalonym węglu w palenisku zarówno na ruszcie, jak i w popielniku nazywa się żużlem paleniskowym surowym. Używany jest do przerobu na kruszywo budowlane przez kruszenie i ewentualne sortowanie. Żużel paleniskowy jest kruszywem niejednorodnym o gęstości nasypowej w granicach 700-1100 kg/m³. Niska jakość żużla paleniskowego jako kruszywa do betonów oraz występujące wypadki niszczenia elementów wykonanych z żużlobetonu stały się podstawą ograniczenia stosowania żużli paleniskowych do wykonywania elementów zbrojonych oraz konstrukcyjnych elementów niezbrojonych średnio i wielkowymiarowych.

Do głównych zastosowań kruszywa z żużla paleniskowego należy zaliczyć:

- podbudowy zasadnicze i pomocnicze dróg,
- warstwy odsączające dróg,
- podbudowy pod place i chodniki,
- podsypka wyrównawcza pod kostkę brukową,
- budownictwo sanitarno-kanalizacyjne, zasypka przewodów i instalacji,
- budownictwo inżynieryjne,
- utwardzanie dróg gruntowych i leśnych,
- formowanie nasypów drogowych,
- niwelacja terenów,
- stabilizacja gruntów,
- produkcja wyrobów ceramicznych,
- jako kruszywo do betonów lekkich,
- rekultywacje i makroniwelacje terenów zdegradowanych.

3.2. Kruszywa wtórne (odpadowe)

Kruszywa wtórne produkowane są głównie z różnego rodzaju surowców odpadowych, powstających w hutnictwie, górnictwie, energetyce i innych gałęziach przemysłu. Pochodzenie surowca ma duży wpływ na parametry fizyko-mechaniczne produkowanych kruszyw. Pozyskiwanie kruszyw odbywa się z surowców odpadowych lub towarzyszących pochodzących z bieżącej produkcji albo z nagromadzonych na składowiskach. Ilości odpadów składowanych (ponad 1,6 mld Mg – głównie z przemysłu wydobywczego), które są corocznie publikowane przez GUS, nie należy utożsamiać z wielkością dostępnej bazy zasobowej. W przypadku odpadów powęglowych (zdeponowanych) najbardziej pożądanym do produkcji kruszyw jest tzw. łupek czerwony (przepalony), którego ilość na wszystkich składowiskach czy też bryłach rekultywacyjnych należy oszacować w ilości około 20-25 mln Mg, co stanowi niepełną 5% zdeponowanych odpadów w tej grupie. Z kolei w przypadku odpadów z górnictwa rud miedzi, wykorzystanie przeważającej ich części, obecnie, 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. Szacunkowo tylko około 25-30% odpadów ulokowanych (unieszkodliwionych) w tym obiekcie potencjalnie nadaje się do gospodarczego wykorzystania, zachowując konstrukcję oraz obecną jego funkcję (Koziół i in. 2015).

W przypadku kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach odpadów pohutniczych stalowniczych i wielkopieczowych głównym problemem są kończące się zasoby lub nawet ich całkowite wykorzystanie do produkcji kruszyw (w przypadku niektórych obiektów). W 2004 roku ilość nagromadzonych żużli z procesów wytopienia wynosiła około 22 mln Mg, natomiast w 2013 r. było tylko około 4 mln Mg (GUS 2015). Podobne problemy dotyczą kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach odpadów z hutnictwa metali nieżelaznych (miedzi i cynku). Nieznaczne ilości żużli pomiedziowych znajdują się jeszcze przy Hucie Miedzi Legnica, składowane żużle przy Hucie Miedzi Głogów zostały już w całości odzyskane.

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 (Machniak i in. 2014):

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

Z powyższych danych wynika, że z bieżącej produkcji corocznie pochodzi około 30 mln Mg odpadów górniczych powęglowych, 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 i miedzi można mówić o bieżącym całkowitym ich wykorzysta-

niu do produkcji kruszyw. Natomiast w przypadku odpadów powęglowych, tylko nieznaczna część znajduje gospodarcze zastosowanie. Przykładem może być linia technologiczna do produkcji kruszyw w Katowickim Holdingu Węglowym [Kopalnia Wujek]. W kopalni tej uruchomiono produkcję kruszyw z surowców odpadowych przeznaczonych do zastosowania w drogownictwie i innych robotach inżynierskich.

Kruszywa wtórne w zależności od ich jakości i pochodzenia mogą być wykorzystane w wielu zastosowaniach budowlanych, takich jak:

- 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 mrozoodporne, odsączające,
- 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”.

3.3. Kruszywa 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, lub „*ex situ*” w zakładach utylizacji. Duże oszczędności, w tym kosztów transportu, można osiągnąć przy produkcji kruszywa z recyklingu w miejscu ich pozyskiwania. Obrót tymi surowcami jest bardzo trudny do zewidencjonowania. Na podstawie danych historycznych udział materiałów budowlanych w łącznej ilości odpadów z robót rozbiórkowych, budowlanych i remontowych stanowi około 30% [40% złom, 30% gleba i ziemia], z kolei stopień odzysku odpadów kształtował się na poziomie około 80% (Ochrona Środowiska 2010). Zakładając wzrost wskaźnika odzysku do poziomu 90%, 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 na poziomie około 2,0-3,0 mln Mg. Sektory przemysłu ceramicznego specjalizują się wytwarzaniem różnorodnych wyrobów ceramicznych, które po zakończeniu cyklu życia, a następnie po zgromadzeniu ich mogą stać się cennym źródłem kruszyw (Gawęda i in. 2012, Gawęda i in. 2013). Należą do nich: płytki ścienne i podłogowe, cegły i dachówki, rury kamionkowe, ceramiczne artykuły gospodarstwa domowego, wyroby ogniotrwałe, wyroby, sanitarne, ceramika techniczna, kruszywa lekkie ceramiczne. Do wartości tej należy doliczyć kruszywa z recyklingu asfaltu, których ilość szacowana jest nawet na około 3-5 mln Mg rocznie.

Miejsca produkcji kruszyw z recyklingu, ale równocześnie ich gospodarcze wykorzystanie należy powiązać głównie z dużymi aglomeracjami miejskimi, gdzie koncentruje się większość rozbiórkowych robót budowlanych. Do głównych kierunków ich wykorzystania zaliczyć należy przede wszystkim niwelację terenu, jako podsypka [dolne warstwy] pod nawierzchnie z kostki brukowej, zasypywanie fundamentów w budownictwie kubaturowym, wymiana gruntów, dolne warstwy podbudowy dróg [kruszywa z betonu]. Kruszywa z recyklingu, głównie be-

tonu mogą, być z powodzeniem wykorzystywane do ponownej produkcji betonu (Sadowska-Buraczewska i in. 2013, Łapko i in. 2014).

4. Podsumowanie

Polska jest znaczącym producentem i użytkownikiem kruszyw naturalnych. Obecna produkcja wynosi około 210-240 mln Mg/r., czyli około 5,5-6,3 Mg/r. na każdego mieszkańca (Kozioł i in. 2014). Ponad 70% produkcji kruszyw naturalnych stanowią kruszywa żwirowo-piaskowe zalegające na powierzchni całego kraju i eksploatowane we wszystkich województwach [najwięcej w woj. podlaskim, warmińskomazurskim, małopolskim – dane za 2014 r.], a pozostała część dotyczy kruszyw łamanych, produkowanych ze skał litych, których złoża zalegają głównie w Polsce Południowej, w woj. dolnośląskim [około 44%], świętokrzyskim [około 34%], małopolskim [ponad 11%], śląskim [około 5%].

Uzupełnieniem produkcji kruszyw naturalnych są kruszywa alternatywne produkowane głównie z surowców odpadowych. Produkcja kruszyw alternatywnych całkowicie wpisuje się w podstawowe cele i zasady gospodarki odpadami polegające na: minimalizacji wielkości odpadów, minimalizacji ich wpływu na środowisko, odzysk zgodny z zasadami ochrony środowiska. Nazwa kruszywa alternatywne wydaje się w pełni uzasadniona ze względu na adekwatność tego określenia dla pochodzenia i roli tych surowców w porównaniu do kruszyw naturalnych żwirowo-piaskowych i łamanych.

Kruszywa alternatywne znajdują zastosowanie zarówno w budownictwie kubaturowym, jak i liniowym. Intensyfikację zainteresowania tymi kruszywami obserwuje się głównie w sytuacjach lokalizacji dużych inwestycji budowlanych w otoczeniu potencjalnej bazy zasobowej do ich produkcji. W zastosowaniach, gdzie istotna jest objętość robót budowlanych [aplikacje geotechniczne] kruszywa alternatywne, a zwłaszcza lekkie, ze względu na niekiedy trzykrotnie mniejszą gęstość nasypową, mają przewagę nad kruszywami naturalnymi. Ich zastosowanie może obniżyć koszty inwestycji budowlanej, w tym również koszty ich transportu.

W krajach z rozwiniętą gospodarką i dużą świadomością ekologiczną produkcja kruszyw alternatywnych stanowi znaczący odsetek w łącznej produkcji kruszyw ogółem. Wyróżniającymi krajami są Wielka

Brytania [68 mln Mg] i Holandia [18 mln Mg], gdzie udział kruszyw alternatywnych stanowi około 25% łącznej produkcji. Udziałem powyżej 15% w łącznej produkcji charakteryzują się również Belgia [16 mln Mg], Niemcy [największa ilość produkcji blisko 100 mln Mg]. Średnia wartość udziału kruszyw sztucznych dla krajów EU28 wynosi ponad 10%.

W Polsce według danych UEPG (UEPG 2013) produkcja kruszyw alternatywnych w 2013 r. określana była na 30 mln ton, co stanowi około 11,7% łącznej produkcji kruszyw, w tym kruszyw sztucznych i wtórnych 17 mln ton. W najbliższych latach należy oczekiwać zmniejszenia zdolności produkcyjnych kruszyw alternatywnych (głównie wtórnych) wynikającego z wyczerpania bazy zasobowej starych składowisk i hałd. Uzupełnienie utraconych zdolności może nastąpić poprzez wzrost wykorzystania kruszyw z recyklingu, jak również powszechniejsze wykorzystanie odpadów górniczych pochodzących z bieżącej produkcji oraz produkcję kruszyw lekkich z nowych surowców, takich jak osady ściekowe, osady denne. Kruszywa po górnicze oraz niektóre z recyklingu, w stosunku do kruszyw po hutniczych, charakteryzują się jednak gorszymi parametrami użytkowymi, a więc nie w pełni mogą je zastąpić.

Literatura

- Gawenda, T., Walerak, A. (2012). Kruszywa z odpadów ceramicznych. *Surowce i Maszyny Budowlane*, 4, 55-59.
- Gawenda, T. i in. (2013). Badania wybranych właściwości kruszyw z odpadów ceramicznych oraz betonu wytworzonego z ich udziałem. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 15, 2003-2021.
- Góralczyk, S., Kukielska, D. (2010). Europejskie kierunki prac normalizacyjnych dotyczących kruszyw sztucznych i z recyklingu. *Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 37, 125-133.
- Góralczyk, S., Kukielska, D. (2013). Surowce wtórne bazą zasobową do produkcji kruszyw. *Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 43, 49-59.
- GUS (2015). *Ochrona Środowiska 2014*, Warszawa.
- Koziół, W. i in. (2014). Kruszywa naturalne w Unii Europejskiej – produkcja w latach 1980÷2011, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 30(1), 53-68.
- Koziół, W. i in. (2015). Kruszywa w budownictwie. Cz.2. Kruszywa alternatywne. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 5, 35-40.

- KPGO (2010). *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014*, Załącznik do uchwały nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r., Warszawa.
- Łapko, A., Grygo, R. (2014). Effectiveness of the Use of recycling Aggregate Concrete for Sustainable Building Structures. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 16, 627-638.
- Machniak, Ł., Kozioł, W., (2014). Kruszywa alternatywne – baza zasobowa i kierunki rozwój. *Kruszywa*, 4, 28-33.
- Ministerstwo Gospodarki (2014). *Założenia do planu działań na rzecz bezpieczeństwa Polski w zakresie surowców nieenergetycznych*. Warszawa.
- Pytko, K. (2015). Czy czeka nas globalna wojna o piasek? *Surowce i Maszyny Budowlane*, 4-5, 36-39.
- Sadowska-Buraczewska, B., Rutkowski, P. (2013). Betony z użyciem kruszywa recyklingowego wysokiej wytrzymałości. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 15, 2175-2184.
- UEPG (2013). *Estimates of Aggregates Production 2012*, Brussels.

Production and Application of Aggregates Made of Waste Recyclables

Abstract

In management of mineral resources, an important role is played by mineral aggregates due to the scale of production and consumption [6-7 Mg per person a year on average]. The annual extraction of aggregates is estimated at the level of 40 billion tons, which constitutes approximately 2/3 of global extraction of all mine resources. More often many countries face the problem of national or local shortage of natural resources of aggregates. The largest amounts of aggregates are used in the civil engineering and road construction industries but also in other industry branches they are an important raw material. Limited mineral resources possible to be extracted in the EU are the reason why recently, more attention has been drawn to reasonable management of natural resources and the usage of recyclables. The EU resource policy in a document from 2008 anticipates, as one of the main goals, the maximum use of recyclables for production of goods offering quality which is not worse than the quality of goods made from natural resources.

The article presents the current state of production and application of aggregates made of waste recyclables in Poland as compared to the production of such aggregates in the European Union. Particular attention was drawn to the division and names of particular aggregate groups (artificial, from waste or re-

cycled aggregates), generally called alternative aggregates as compared to natural aggregates (sand and gravel mix, crushed stone aggregate].

Alternative aggregates are a supplement of production and consumption of natural aggregates while their production meets the basic aims and principles of reasonable waste management which consists in the following: minimising the volume of waste, minimising its impact on the environment, recovery compliant with the principles of environmental protection. In countries with developed economy and high eco-awareness, the production of alternative aggregates constitutes a significant share of the total aggregate production. Great Britain and the Netherland stand out in this respect, and their share of alternative aggregates is approximately 25% of total aggregate production. In Poland, this index is only 12% (approximately 30 million tons). Nevertheless, in the upcoming years aggregate production using extraction and steel waste may be reduced which is connected with exhaustion of the resource base of old dumping sites and heaps which allow exploitation (removal). The lost production capacities may be supplemented by increasing the use of recycled aggregate as well as higher use of extraction waste from the existing production of hard coal, as well as the production of light aggregates from sewage deposits and bottom sediments etc.

Streszczenie

W gospodarce surowcami mineralnymi, duże znaczenie mają kruszywa mineralne ze względu na skalę produkcji i zużycia [średnio 6-7 Mg/osobę w roku]. Roczne wydobycie kruszyw na świecie szacuje się na 40 mld ton, co stanowi około 2/3 wydobycia wszystkich surowców kopalnych. Coraz częściej wiele państw staje przed problemem krajowego lub lokalnego niedoboru naturalnych zasobów kruszyw. Największe ilości kruszyw zużywa budownictwo i drogownictwo, ale również w innych gałęziach gospodarki kruszywa są ważnym surowcem.

Ograniczone zasoby surowców mineralnych możliwych do wydobycia w UE powodują, że ostatnio coraz większą uwagę przywiązuje się do racjonalnej gospodarki surowcami naturalnymi i wykorzystania surowców wtórnych. Polityka surowcowa UE w dokumencie z 2008 roku, jako jeden z głównych celów przewiduje maksymalne wykorzystanie surowców wtórnych do produkcji wyrobów o jakości nie ustępującej produktom z surowców naturalnych.

W artykule przedstawiono obecny stan produkcji i zastosowania kruszyw z surowców wtórnych [odpadowych] w Polsce na tle produkcji tych kruszyw w Unii Europejskiej. Szczególną uwagę zwrócono na podział i nazewnictwo poszczególnych grup kruszyw [sztuczne, wtórne, z recyklingu], ogólnie nazwanych kruszywami alternatywnymi w porównaniu do kruszyw naturalnych

[żwirowo-piaskowych i łamanych]. Kruszywa alternatywne stanowią uzupełnienie produkcji i zużycia kruszyw naturalnych, a ich produkcja wpisuje się w podstawowe cele i zasady racjonalnej gospodarki odpadami polegającej między innymi na: minimalizacji wielkości odpadów, minimalizacji ich wpływu na środowisko, odzysk zgodny z zasadami ochrony środowiska. W krajach z rozwiniętą gospodarką i dużą świadomością ekologiczną produkcja kruszyw alternatywnych stanowi znaczący odsetek łącznej produkcji kruszyw. Wyróżniającymi się pod tym względem krajami są Wielka Brytania i Holandia, w których udział kruszyw alternatywnych stanowi około 25% łącznej produkcji kruszyw. W Polsce wskaźnik ten wynosi niespełna 12% [około 30 mln ton]. W najbliższych latach może jednak nastąpić zmniejszenie produkcji kruszyw z odpadów wydobywczych i hutniczych, co związane jest z wyczerpywaniem się bazy zasobowej starych składowisk i hałd dogodnych do eksploatacji (rozbioru). Uzupełnienie utraconych zdolności produkcyjnych może nastąpić poprzez wzrost wykorzystania kruszyw z recyklingu, jak również większe wykorzystanie odpadów wydobywczych z bieżącej produkcji węgla kamiennego, a także produkcji kruszyw lekkich z osadów ściekowych, dennych itp.

Słowa kluczowe:

kruszywa naturalne, kruszywa alternatywne, podział kruszyw

Keywords:

natural aggregates, alternative aggregates, aggregate division