

*mieszanki związane hydraulicznie,  
odpady z przeróbki, budowa dróg*

Jarosław STANKIEWICZ\*

## **TECHNOLOGIA ZAGOSPODAROWANIA MATERIAŁÓW ODPADOWYCH Z GÓRNICHTWA SKALNEGO W MIESZANKACH ZWIĄZANYCH HYDRAULICZNIE**

Przedstawiono propozycję zagospodarowania odpadów powstających w różnych fazach produkcji kruszyw. Badania technologiczne były prowadzone w skali laboratoryjnej. Wyniki wskazują na możliwość pełnego zagospodarowania odpadów powstających w górnictwie skalnym pod warunkiem indywidualnego ustalenia parametrów technologii produkcji mieszanek hydraulicznie związanych.

### **1. WSTĘP**

Jako materiał odpadowy z górnictwa skalnego należy rozumieć każdą substancję powstającą w wyniku procesu przeróbki surowców mineralnych, która ze względu na swoje właściwości nie może być wykorzystana zgodnie z przewidywanym zastosowaniem. Według powyższej (autorskiej definicji) do materiałów odpadowych można zaliczyć: odpad złożowy charakteryzujący się gorszymi właściwościami niż produkt przeróbki końcowej oraz zawierający zanieczyszczenia ilaste, pylaste a czasem i gliniaste; frakcje nieużyteczne (co wynika z braku zapotrzebowania u odbiorców), to tej grupy można zaliczyć np. frakcje 0-2 mm; produkty zanieczyszczone, których ponowna przeróbka jest nieopłacalna; odpady z płukania i innych procesów odpylania (głównie frakcje <0,1 mm).

W większości przypadków materiały odpadowe są składowane lub przekazywane do rekultywacji. W pierwszym przypadku generuje się niepotrzebne koszty, w drugim często pozbywamy się wartościowego materiału, który po uszlachetnieniu może być sprzedany po kosztach zbliżonych jak pełnowartościowe produkty. Dodatkowo na rynkach lokalnych jest duża podaż materiałów odpadowych, np. z procesów przemysłowych, co dodatkowo nie sprzyja zagospodarowaniu odpadów powstających w procesach przerobczych w górnictwie skalnym.

---

\* Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, j.stankiewicz@imbigs.pl

Obecnie racjonalne zagospodarowanie w różnych grupach surowców odpadowych w kraju jest zróżnicowane. Odpady o wysokich właściwościach fizykomechanicznych są wykorzystywane niemal w całości. Problemem jest zagospodarowanie odpadów o gorszych właściwościach. Wymagają one zwykle dodatkowej przeróbki najczęściej mechanicznej lub zastosowania dodatków uszlachetniających. W obu przypadkach podnosi to koszty zastosowania materiałów odpadowych a dodatkowo przy przeróbce powoduje powstawanie odpadów przerobczych.

## 2. ZAŁOŻENIA

Sporadyczne wykorzystanie surowców pochodzących z odpadów jest spowodowane m.in. brakiem technologii ich zagospodarowania. Jednym z możliwych rozwiązań jest produkcja mieszanek związanych hydraulicznie o właściwościach odpowiadających wymaganiom technicznym, które mogłyby być zastosowane do konkretnych celów. Mieszanki takie mogą być wykorzystane m.in. do: stabilizacji gruntów, nie tylko na obszarach zagrożonych osuwiskami, podbudowy dróg, budowy nawierzchni drogowych.

Zastosowanie mieszanek związanych hydraulicznie na bazie materiałów odpadowych stanowi realną szansę na właściwe ich wykorzystanie na szeroką skalę. Dotyczy to szczególnie odpadów drobnoziarnistych, które należą do odpadów trudnych do zagospodarowania, gdyż frakcje drobne nie są dobrym budulcem. Od 2005 roku na polskim rynku zostały wdrożone dokumenty normatywne dotyczące mieszanek związanych hydraulicznie, co umożliwi ujednoczenie badań w tym temacie.

Opracowanie receptur z odniesieniem do WT-5 [12], które zostały stworzone na podstawie norm PN-EN 14227 – cz.1–5 [7–11] stanowi możliwość odpowiedzi na potrzeby przemysłu i ochrony środowiska. Zapotrzebowanie na mieszanki stanowi ok. 70% całego zapotrzebowania na kruszywo do budowy dróg, należy także uwzględnić zużycie na nasypy i inne prace ziemne. Mieszanki mogą być stosowane do warstw nawierzchni: ulepszonego podłoża, podbudowy pomocniczej i zasadniczej.

Zakres stosowania w powyżej wymienionych warstwach drogi jest uzależniony od podstawowych parametrów mieszanek, tzn. wytrzymałości na ścislenie i mrozoodporności. Mieszanka związana spoiwem hydraulicznym jest to mieszanka, składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu, wymieszana a sposób zapewniający uzyskanie jednorodnej mieszanki, w której następuje wiązanie i twardnienie na skutek reakcji hydraulicznych. Czynnikiem wiążącym może być cement, żużel, popiół lotny wapienny lub krzemionkowy, spoiwo drogowe.

Kruszywo musi spełniać wymagania normy PN-EN 12526 [5]. Spoiwo odpowiadać musi odpowiednim normom, np. spoiwo cementowe PN-EN 197-1 [1], woda zarobowa PN-EN 1008 [2]. W 2010 roku w IMBiGS zostały podjęte prace badawcze

nad możliwością zastosowania materiałów odpadowych pozyskiwanych z różnych procesów przemysłowych.

### 3. PRACE BADAWCZE

Podstawowym założeniem prac badawczych było zaprojektowanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym z zastosowaniem surowców odpadowych, a w szczególności materiałów drobnoziarnistych pochodzących z odpadów górnictwa skalnego, odpadu złożowego oraz dodatkowo surowców odpadowych pochodzących z górnictwa węglowego. Celem prac było otrzymanie wyrobu przydatnego do zastosowania w różnych warstwach drogi. Podstawowe kryteria oceny przydatności do powyższych zastosowań to wytrzymałość mieszanek oraz odporność na warunki środowiskowe głównie mrozoodporność. Właściwości mieszanek są uzależnione od rodzaju zastosowanego kruszywa, spoiwa oraz proporcji pomiędzy głównymi składnikami mieszanek tzn. kruszywa, spoiwa i wody. W literaturze brak szczegółowych wytycznych projektowych, konieczne więc było w ramach prac badawczych przeprowadzenie licznych prac doświadczalnych. Założenia projektowe zostały opracowane na podstawie doświadczeń z obszaru projektowania wyrobów betonowych, a także na podstawie wstępnych prac, w których została określona minimalna zawartość spoiwa w mieszance (10%) oraz ilość wody (W/C) na poziomie 0,8, gdy można było uzyskać odpowiednie konsystencje mieszanki i uformować próbki przeznaczone do dalszych prac badawczych.

Normy dotyczące projektowania mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym nie zawierają wytycznych dotyczących doboru składu granulometrycznego mieszanki ani ilości spoiwa w celu uzyskania produktu o określonej wytrzymałości. Jedyne wytyczne określają dolną i górną granicę uziarnienia a także minimalną ilość spoiwa, jaka musi być zastosowana w zależności od frakcji zastosowanej mieszanki. W celu wykonania mieszanek hydraulicznych zastosowano:

- kruszywo z odpadu złożowego frakcji 0-16 mm z dodatkiem kruszywa odpadowego z procesu wzbogacania węgla (próbki o zawartości 0%, 25% i 50%),
- spoiwo, którym był cement,
- zawartość pyłów 0% i 10%,
- ilość wody umożliwiająca uzyskanie stosunku W/C 0,8 i 1,0.

Uwzględniony i określony został wpływ właściwości materiałów odpadowych na parametry mieszanek związanych hydraulicznie, co w końcowej fazie pozwoliło to na opracowanie założeń technologii przeróbki odpadu dla pozyskania odpadu o właściwościach odpowiednich do wymagań zawartych w WT-5. Zestawienie próbek do badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie parametrów próbek przeznaczonych do badań

Oznaczenie próbki	Zawartość kruszywa		Zawartość pyłów	W/C
	odpad złożowy	odpad ze wzbogacania węgla		
1	100	0	0	1,0
2	100	0	10	1,0
3	75	25	0	1,0
4	75	25	10	1,0
5	50	50	0	1,0
6	50	50	10	1,0
7	100	0	0	0,8
8	100	0	10	0,8
9	75	25	0	0,8
10	75	25	10	0,8
11	50	50	0	0,8
12	50	50	10	0,8

Prace badawcze polegały na:

- przygotowaniu próbki kruszywa o uziarnieniu 0-16 mm wg wymagań wg dokumentów normatywnych oraz wykonanie podstawowych badań właściwości fizykomechanicznych,
- wykonanie próbek sześciennych o boku 150 mm z mieszanek o uprzednio ustalonej recepturze,
- wykonanie badań wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporności.

*Projektowane mieszanki produkowane były przy zachowaniu identycznych parametrach procesu produkcji w tym pielęgnacji (dla wszystkich badanych mieszanek próbki poddane były takiej samej pielęgnacji).*

#### 4. WYNIKI PRAC BADAWCZYCH

Badanie wytrzymałości kruszywa (wskaźnik LA) wykonano zgodnie z normą PN-EN 1097-2 [3], badanie mrozoodporności kruszywa wg PN-EN 1367-1 [4]. Badania wykonano dla frakcji kruszywa 8-16 mm. Badanie wytrzymałości na ściskanie próbek mieszanek wykonano zgodnie z wymaganiami PN-EN 13286-41 [6], a badanie wykonano dla próbek po 28 dniach po ich zaformowaniu. Badanie mrozoodporności polegało na poddaniu próbek mieszanek naprzemiennym cyklom zamrażania (do  $-23 \pm 2$  °C w czasie 8 godzin) i rozmrażania (do  $+18 \pm 2$  °C w czasie 16 godzin) – 20 cykli; próbki poddane zamrażaniu były nasycone wodą. Kryterium oceny zastosowany do oceny mrozoodporności to średni spadek wytrzymałości próbek po badaniu.

Zestawienie podstawowych wyników badań zostało przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki badania kruszyw przeznaczonych do produkcji mieszanek oraz badanie właściwości mieszanek

Oznaczenie próbki	Wytrzymałość mechaniczna kruszywa (wskaźnik LA)	Wskaźnik mrozoodporności kruszyw	Wytrzymałość na ściskanie mieszanki [MPa]	Wskaźnik mrozoodporności mieszanki	Możliwość zastosowania*
1	31	2	9,2	0,92	PZ KR1÷4
2	31	2	7,7	0,83	PZ KR1÷4
3	37	4	7,9	0,78	PZ KR1÷4
4	37	4	7,0	0,71	PP KR1÷6
5	42	6	6,4	0,65	PP KR1÷6
6	42	6	4,9	0,57	PU
7	31	2	10,1	0,93	PZ KR1÷4
8	31	2	8,5	0,85	PZ KR1÷4
9	37	4	8,6	0,81	PZ KR1÷4
10	37	4	7,1	0,75	PZ KR1÷4
11	42	6	6,9	0,69	PP KR1÷6
12	42	6	5,1	0,58	PU

\* PU – podłoże ulepszone, PP – podbudowa pomocnicza, PZ – podbudowa zasadnicza

## 5. PODSUMOWANIE

1) Kruszywa odpadowe w zależności od właściwości mogą być stosowane w produkcji mieszanek hydraulicznie związanych przeznaczonych do budownictwa drogowego, w różnych warstwach drogi. W celu wyprodukowania mieszanek przeznaczonych do powyższych zastosowań konieczne jest wybór: technologii produkcji mieszanek i produkcji kruszywa w przypadku, gdy konieczne jest usunięcie niepożądanych zanieczyszczeń, spoiwa oraz innych dodatków (pyły i inne składniki). Aktualne dokumenty dotyczące wymagań w zakresie mieszanek związanych hydraulicznie nie zawierają wytycznych projektowych. Doświadczenie praktyczne w zakresie projektowania mieszanek betonowych może stanowić jedynie wytyczne a pełna weryfikacja powinna obejmować badania laboratoryjne oraz badania poligonowe.

2) W wyniku badań wytrzymałości i mrozoodporności próbek stwierdzono:

- mieszanki wyprodukowane z odpadu złożowego bez dodatku kruszyw z odpadów powęglowych posiadają lepsze właściwości (zwłaszcza mrozoodporność), w stosunku do mieszanek wytworzonych z dodatkiem tych odpadów,
- zastosowanie materiałów drobnoziarnistych (pyłów) obniża właściwości mieszanek; zarówno wytrzymałość, jak i mrozoodporność jest ~15% niższa niż w przypadku analogicznych receptur bez dodatku pyłów,
- właściwości kruszywa znacząco wpływają na parametry całej mieszanki. Istnieje bezpośrednia korelacja pomiędzy wytrzymałością kruszywa (wskaźnik LA), a wytrzymałością mieszanek na ściskanie – im wskaźnik większy, tym

wytrzymałość wyższa; podobne zależności występują w przypadku badania mrozoodporności.

## 6. WNIOSKI

1. Surowce odpadowe zakwalifikowane do produkcji kruszywa do mieszanek hydraulicznie związanych muszą pochodzić z węzłów technologicznych gwarantujących pozyskiwanie odpadów o powtarzalnych właściwościach fizykomechanicznych i braku negatywnego oddziaływania na środowisko.

2. W zależności od zastosowanej receptury mieszanki związane hydraulicznie mogą być stosowane do wszystkich warstw konstrukcyjnych drogi.

3. Prowadzone prace badawcze nie wyczerpują rozpoznania tematu dotyczącego zagospodarowania kruszyw pozyskiwanych z materiałów odpadowych przeznaczonych do mieszanek związanych hydraulicznie. Na podstawie doświadczeń należy rozważyć:

- zastosowanie kruszyw o mniejszej granulacji, co pozwoli otrzymać mieszanki bardziej odporne na działanie środowiskowe, o większej wytrzymałości na miazdzenie a więc parametry decydujące o wytrzymałości na ściskanie,
- stosowanie dodatków innych kruszyw, np. żużli pomiedziowych, do mieszanki z kruszywem z materiałów odpadowych, które jako materiał z recyklingu charakteryzują się bardzo wysoką mrozoodpornością i niską ścieralnością, co poprawiłoby te ważne właściwości mieszanek i możliwość zastosowania ich w szerokim zakresie,
- zastosowanie mieszanek o mniejszym współczynniku W/C, co w przypadku zastosowania dodatków, np. plastyfikatorów, umożliwi poprawę właściwości wyrobu końcowego.

4. Stosowanie mieszanek hydraulicznych na bazie materiałów odpadowych zależy w dużym stopniu od kalkulacji kosztów całego przedsięwzięcia. W przypadku odzysku surowców z odpadów istotną rolę odgrywają aktualne przepisy w tym konsekwencje prawne dla producentów odpadu.

## LITERATURA

- [1] PN-EN 197-1:2012. *Cement – część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.*
- [2] PN-EN 1008:2004. *Woda zarobowa do betonu – Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu.*
- [3] PN-EN 1097-2:2010. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.*
- [4] PN-EN 1367-1:2007. *Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – część 1: Oznaczanie mrozoodporności.*
- [5] PN-EN 13242+A1:2010. *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.*
- [6] PN-EN 13286-41:2005. *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanej związanych spoiwem hydraulicznym.*
- [7] PN-EN 14227-1:2007. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Wymagania – część 1: Mieszanki związane cementem.*
- [8] PN-EN 14227-2:2007. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Specyfikacje – część 2: Mieszanki żużłowe.*
- [9] PN-EN 14227-3:2007. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Wymagania – część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi.*
- [10] PN-EN 14227-4:2005. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Specyfikacje – część 4: Popioły lotne do mieszanek.*
- [11] PN-EN 14227-5:2007. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Wymagania – część 5: Mieszanki związane spoiwem drogowym.*
- [12] WT-5. *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych. Wytyczne Techniczne, Załącznik nr 4 do Zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010 r. Warszawa 2010.*

TECHNOLOGY OF WASTES DEVELOPMENT FROM ROCK MINING IN  
HYDRAULICALLY BOUND MIXTURES

A proposal of waste management generated at different stages of aggregates production was showed. Technology research was conducted on a laboratory scale. The results indicate the possibilities of a complete management of waste from rock mining providing an individual determination of parameters of production technology for hydraulically bound mixtures.