

Brygida AUGUSTYNIOK<sup>1</sup>, Dagmara JAGODA<sup>1</sup>, Anna KRÓL<sup>1</sup>  
i Ramona ROSZCZYK-WALCZAK<sup>1</sup>

## UWALNIANIE SIĘ METALI CIĘŻKICH Z BETONU NA SKUTEK DZIAŁANIA WYSOKIEJ TEMPERATURY

### RELEASE OF HEAVY METALS FROM CONCRETE AS A RESULTS OF IMPACT OF HIGH TEMPERATURE

**Streszczenie:** Zaprezentowano wyniki badań wymywalności metali ciężkich z betonu z dodatkiem odpadu zawierającego w swoim składzie metale ciężkie. Beton poddawano działaniu wysokich temperatur (200, 400 i 600°C). Analiza otrzymanych wyników badań wskazuje, że wysoka temperatura nieznacznie wpływa na poziom uwalnianych metali ciężkich z betonu do środowiska. Wartość stężeń uwolnionych metali ciężkich do środowiska zarówno dla betonu badanego przed, jak i po procesie wyprężania jest zbliżona. Pierwiastkiem, który wykazuje znaczne odstępstwo od tej reguły, jest chrom, którego wymywalność wzrasta pod wpływem temperatury.

**Słowa kluczowe:** wymywalność, metale ciężkie, wysoka temperatura, beton

Unieszkodliwianie odpadów zawierających metale ciężkie jest zagadnieniem trudnym, ponieważ dobór odpowiedniej metody unieszkodliwiania powinien zapewnić stałą dezaktywację metali ciężkich. Unieszkodliwianie takich odpadów odbywa się zwykle poprzez wykorzystanie konwencjonalnych metod (w tym głównie spalania). Działania te nie rozwiązują jednak całkowicie problemu uciążliwości tych odpadów, gdyż w wyniku takich operacji powstaje odpad poprocesowy, w którego składzie w dalszym ciągu obecne są metale ciężkie [1].

Stabilizacja odpadów w kompozytach cementowych stała się przedmiotem wielu badań naukowych. Metoda ta pozwala trwale wiązać metale ciężkie w strukturach betonu dzięki reakcjom hydratacji oraz powstającym w ich wyniku produktom. Poziom uwalnianych metali ciężkich do środowiska przyrodniczego z matryc betonowych zestalających odpady uzależniony jest przede wszystkim od doboru cementu lub spoiwa, a także od sposobu wykonania betonu. Czynniki te mają decydujący wpływ na trwałość oraz porowatość betonu [1-3]. Na wymywalność metali ciężkich z betonów zawierających odpady znaczny wpływ ma także czas, po jakim wykonywane są wyciągi wodne z tych betonów [1]. Na poziom uwalnianych metali ciężkich może mieć również wpływ wysoka temperatura działająca na beton. Negatywny skutek wpływu wysokiej temperatury na beton związany jest z jej oddziaływaniem na jego strukturę prowadzącym do powstawania spękań, a nawet do całkowitego zniszczenia betonu [4, 5].

W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań wymywalności metali ciężkich z betonu z dodatkiem odpadu niebezpiecznego w postaci pogałwanicznego osadu ściekowego ze znaczną zawartością chromu. Zawartość metali ciężkich w osadach przedstawiono w tabeli 1. Beton poddawano działaniu wysokich temperatur w zakresie 200, 400 i 600°C.

---

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole, tel./fax 077 400 61 92, e-mail: akrol@po.opole.pl

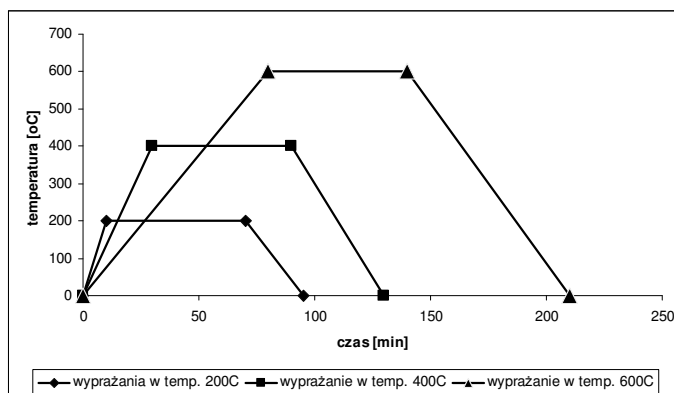
Tabela 1

Zawartość metali ciężkich w pogalwanicznych osadach ściekowych

Zawartość metali ciężkich w odpadzie niebezpiecznym [mg/kg]								
Zn	Cu	Pb	Ni	Co	As	V	Hg	Cr
1441,1	38443,5	545,8	12789,6	163,7	20,5	185,6	31,8	270100,7

### Procedury badawcze

W ramach przeprowadzonych badań własnych zaprojektowano i wykonano beton z użyciem  $300 \text{ kg/m}^3$  cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R z 10% dodatkiem wysuszonych pogalwanicznych osadów. Współczynnik w/c (woda/cement) mieszanki betonowej wynosił 0,58. Z otrzymanej mieszanki betonowej formowano kostki o wymiarach  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$  i przechowywano je w warunkach laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 12390-2 [6] przez 90 dni. Po tym czasie próbki betonowe suszono do stałej masy w suszarce w temperaturze  $105^\circ\text{C}$ , a następnie poddawano je ekspozycji w wysokiej temperaturze w piecu muflowym. Zakres temperatur oraz przebieg procesu w czasie podano na rysunku 1. Próbkę przetrzymywano w docelowej temperaturze przez okres jednej godziny w celu zapewnienia równomiernego ogrzania betonu. Aby wyeliminować negatywny wpływ gwałtownego chłodzenia, próbki były swobodnie chłodzone w komorze wyłączonego pieca. W celu określenia poziomu ilości uwalnianych metali ciężkich do środowiska przygotowano wyciągi wodne z betonów wg normy PN-EN 12457-4:2006 [7]. Zgodnie z normą [7], 100 gram wcześniej rozkruszonej próbki betonowej do wymiarów ziaren poniżej 10 mm umieszczano w  $1 \text{ dm}^3$  wody destylowanej, a następnie wytrząsano przez  $24 \pm 0,5 \text{ h}$ . Po tym czasie pobierano i analizowano wyciąg wodny na zawartość metali ciężkich. Stężenie metali ciężkich w uzyskanych eluatach wodnych określono za pomocą spektrometru emisyjnego z plazmą wzbudzaną indukcyjnie.

Rys. 1. Przebieg wyprężania próbek w zakresie temperatur 200, 400 i  $600^\circ\text{C}$ 

### Wyniki badań

Ilości uwolnionych metali ciężkich do środowiska z próbek betonowych poddanych działaniu wysokiej temperatury zestawiono z wynikami wyciągów wodnych próbki „świadka” dojrzewającej w wodzie przez 90 dni (tab. 2).

Tabela 2

Porównanie stężeń metali ciężkich w wyciągach wodnych z betonów z dodatkiem pogalwanicznych osadów zarówno przed, jak i po procesie wyprężania

Stężenie metali ciężkich wyciągach wodnych z betonu z dodatkiem odpadu [mg/dm <sup>3</sup> ]				
	200°C	400°C	600°C	przed procesem wyprężania
<b>Zn</b>	0,0256	0,032	0,0144	0,077
<b>Cu</b>	0,0027	0,0016	0,0018	0,0058
<b>Pb</b>	0,0005	0,0005	0,0006	0,0007
<b>Ni</b>	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009
<b>Co</b>	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003
<b>As</b>	0,0016	0,0003	0,0001	0,0002
<b>V</b>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
<b>Hg</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0012
<b>Cr</b>	0,061	3,26	37,21	0,016

Analiza wyników stężeń metali ciężkich w wyciągach wodnych z betonu pozwala stwierdzić, że w większości przypadków wzrost temperatury nie powoduje wzrostu uwalniania się ich do środowiska. Poziom wymywalności Zn, Cu, Pb, Ni, Co, As, i V z betonu narażonego na działanie wysokiej temperatury jest na zbliżonym poziomie w stosunku do wymywalności tych metali ciężkich z betonu niepoddanego takiemu wpływowi.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki uzyskane dla chromu. Wymywalność chromu rośnie znacząco wraz z podwyższaniem temperatury wyprężania. Największe stężenie chromu odnotowano w wyciągu wodnym dla próbki betonowej poddanej działaniu temperatury równej 600°C. Małe stężenie chromu w wyciągu wodnym próbki niepoddanej działaniu wysokiej temperatury może wynikać z faktu, iż na skutek reakcji hydratacji zmniejsza się porowatość całkowita, a także objętość porów powietrznych [1]. Kolejnym argumentem odpowiadającym za małe stężenie chromu w wyciągu wodnym dla próbki „świadka” jest nieuszkodzona struktura betonu. W próbkach wystawionych na działanie wysokiej temperatury zanika woda krystalizacyjna, co przyczynia się do powolnego niszczenia struktury betonu, a co za tym idzie - odsłaniania się nowych powierzchni dostępnych dla mediów zewnętrznych (w tym wody wymywającej) [8]. Skutkiem takich procesów jest zwiększenie ilości uwolnionego do środowiska chromu. Na powierzchni badanych próbek narażonych na działanie wysokiej temperatury widoczne są liczne spękania oraz żółtawozielony nalot, świadczący o mobilności chromu.

Analiza wykazała, iż wraz ze wzrostem temperatury poziomu rtęci w rozpatrywanych eluatach wodnych zmniejsza się w porównaniu do próbki „świadka”. Wynika to z faktu, iż rtęć jest pierwiastkiem lotnym. Stąd też stężenie rtęci w wyciągu wodnym dla próbek po działaniu wysokiej temperatury jest mniejsze od stężenia dla próbki przechowywanej w warunkach laboratoryjnych.

## Wnioski

Przeprowadzone badania własne, dotyczące analizy wpływu wysokiej temperatury na wymywalność metali ciężkich z betonu do środowiska, pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Wzrost temperatury nie powoduje zwiększania się ilości uwalnianych pierwiastków, takich jak: Zn, Cu, Pb, Ni, Co, As, i V z betonu.

2. Wymywalność większości pierwiastków jest na niskim poziomie, tym samym eliminując ryzyko związane z uwalnianiem się metali ciężkich do środowiska naturalnego.
3. Wraz ze wzrostem temperatury obniżone zostaje stężenie Hg w eluatach wodnych uzyskanych z betonu, co wynika z lotnych właściwości tego pierwiastka.
4. Wzrost temperatury przyczynia się do sukcesywnego zwiększania się wymywalności Cr do środowiska, co związane jest zarówno z trudną immobilizacją tego pierwiastka, jak również z destrukcją struktury betonu pod wpływem temperatury.

### Podziękowanie

Badania przeprowadzone dzięki wsparciu finansowemu uzyskanemu z projektu badawczego MNiSW nr PB-1493/T02/2006/30.

### Literatura

- [1] Król A.: *Immobilizacja metali ciężkich w matrycach wykonanych ze spoiw mieszanych*. Praca doktorska. Częstochowa 2003.
- [2] Król A. i Giergiczny Z.: *Beton a środowisko naturalne*. IX Konferencja Naukowo-Techniczna, Politechnika Wrocławska, listopad 2005, 132-141.
- [3] Batchelor B.: *Overview of waste stabilization with cement*. Waste Manag., 2006, 689-698.
- [4] Kowalski R.: *Wpływ gwałtownego chłodzenia na cechy mechaniczne betonu narażonego na działanie wysokich temperatur*. Dni Betonu, Wisła, 11-13. 10. 2004.
- [5] Sakr K. i El-Hakim E.: *Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties*. Cemen. Concr. Res., 2005, **35**, 590-596.
- [6] PN-EN 12390-2, 2001, Badania betonu. Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- [7] PN-EN 12457-4:2006 Charakteryzowanie odpadów. Wymywanie. Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Część 4: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 10 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).
- [8] Lion M., Skoczylas F., Lafhaj Z. i Sersar M.: *Experimental study on a mortar. Temperature effects on porosity and permeability. Residual properties or direct measurements under temperature*. Cemen. Concr. Res., 2005, **35**, 1937-1942.

## RELEASE OF HEAVY METALS FROM CONCRETE AS A RESULTS OF IMPACT OF HIGH TEMPERATURE

**Summary:** The paper the leaching of heavy metals from concrete with waste addition contains heavy metals under impact of high temperature (200, 400 and 600°C) was discussed. The results shows, that leaching of heavy metals to the environment is on similar in relation to leaching from concrete without affects high temperature. According to conducted research, it was found, that the impact of elevated temperature may affects increasing release of chromium from concrete into the environment, an exception is mercury (Hg) whose leaching is clearly decreased.

**Keywords:** leaching, heavy metals, high temperature, concrete