

Elżbieta Uzunow

POPIOŁY LOTNE ZE SPALARNI ODPADÓW KOMUNALNYCH W PRODUKCJI NOWOCZESNYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

[**słowa kluczowe:** strategia gospodarki odpadami komunalnymi, zagospodarowanie UPS, materiały budowlane z udziałem UPS, gospodarka obiegu zamkniętego]

Streszczenie

Strategie rozwoju systemu gospodarki odpadami komunalnymi, w państwach UE są oparte na dyrektywie Rady 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów [1] i dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów [2]. W związku z zobowiązaniami państw członkowskich, dotyczącymi wdrażania zapisów powyższych dyrektyw, także w Polsce powstały spalarnie odpadów komunalnych, które znacząco redukcją ilość składowanych odpadów komunalnych. W artykule przedstawiono zarówno dotychczasowe problemy ekologiczne i ekonomiczne związane z odpadami pozostającymi po tym procesie unieszkodliwiania odpadów komunalnych oraz nowe możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów poprocesowych do wytwarzania nowoczesnych wyrobów budowlanych, co w pełni spełnia wymagania gospodarki o obiegu zamkniętym.

Na podstawie zrealizowanych prac własnych w tym zakresie omówiono rezultaty innowacyjnego sposobu zagospodarowania popiołów lotnych pozostających po spalaniu odpadów komunalnych. W końcowej konkluzji autor uzasadnia, że z ekonomicznego punktu widzenia oraz ze względu na ochronę środowiska rozwiązanie spełni oczekiwania potencjalnych odbiorców.

Wstęp

Narastająca ilość odpadów komunalnych powoduje, że dotychczasowe metody ich zagospodarowania, polegające głównie na selektywnej zbiórce i składowaniu niewykorzystanych pozostałości, nie spełniają już swojego zadania,

a wręcz stwarzają zagrożenie dla środowiska. W obecnym stanie techniki bardzo skuteczną metodą, która powoduje znaczne zmniejszenie ilości tego typu odpadów, jest spalanie. W rozwiniętych krajach UE spalanie odpadów komunalnych z wykorzystaniem ich ciepła spalania stanowi preferowany kierunek utylizacji odpadów komunalnych i odpady te stanowią trzecie co do potencjału źródło energii. Natomiast w dalszym ciągu proces spalania odpadów komunalnych nie jest bezodpadowy, pozostają bowiem uboczne produkty spalania (UPS), których właściwości fizyczne i chemiczne niejednokrotnie mogą stanowić zagrożenie dla środowiska.

Celem niniejszego artykułu jest wskazanie możliwych obecnie sposobów zagospodarowania popiołów lotnych, które są potencjalnie najbardziej niebezpiecznym dla środowiska stałym UPS.

Spalanie odpadów komunalnych jako rozwojowa metoda ich zagospodarowania

UCHWAŁA NR 88 RADY MINISTRÓW z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 [3] zakłada między innymi wdrożenie zrównoważonego systemu zastosowania termicznych metod przekształcania odpadów komunalnych z odzyskiem energii. W Polsce przez lata działała jedna spalarnia odpadów komunalnych w Warszawie, tj. Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych (Czajka), która unieszkodliwiała rocznie zaledwie 47 tys. Mg odpadów.

Unijne wsparcie finansowe spowodowało wybudowanie w Polsce nowych spalarni. Dofinansowanie otrzymały projekty z następujących miast: Kraków, Białystok, Poznań, Szczecin, Bydgoszcz i Konin. Wszystkie umowy miały ostateczny termin realizacji 2015 rok. Ich rezultaty miały być już widoczne od 2016 roku, a zgodnie z umowami, docelowe efekty mają być następujące:

- Zakład w **Krakowie** – koszt całej inwestycji to ok. 790 mln zł a wydajność spalarni ma sięgać **220 tys. Mg** spalanych odpadów komunalnych rocznie.
- Spalarnia w **Białymstoku**, budowa ruszyła w 2013 roku. Projekt obejmuje także rekultywację zapełnionego już składowiska i kosztował 532 mln zł. Planuje się spalać **120 tys. Mg** odpadów komunalnych w ciągu roku.

Popioły lotne ze spalarni odpadów komunalnych...

- Zakład TPO w 2016 roku w **Poznaniu**. Koszt inwestycji zamknął się w kwocie 725 mln zł a zakład ma przetwarzać **210 tys. Mg** odpadów komunalnych, w tym osadów ściekowych.
- **Szczecin** – koszt inwestycji to 595,7 mln zł, za tą kwotę w Szczecinie będzie spalane **150 tys. Mg** odpadów rocznie.
- **Bydgoszcz** – spalane mają być odpady o masie **180 tys. Mg** w ciągu roku, a koszt inwestycji wyniósł 620 mln zł.
- Spalarnia w **Koninie** o wydajności, ok. **94 tys. Mg** rocznie, planowany koszt inwestycji 381 mln zł.

Dofinansowanie otrzymała także rozbudowa instalacji w Warszawie, po której jej wydajność wzrośnie do **396,8 tys. Mg**.

Proces spalania jest tylko z pozoru procesem prostym, reakcje spalania, zarówno hetero jak i homogeniczne, wzajemnie się zazębiają a skład produktów końcowych zależy od wielu czynników, w tym od organizacji samego procesu spalania. Podczas spalania odpadów komunalnych na ogół stosuje się temperaturę 850 °C -950° C, która jest wystarczająca dla rozkładu związków organicznych, ale nie jest wystarczająca do stabilizacji nie ulegających spalaniu związków nieorganicznych – wręcz przeciwnie, np. stabilne związki węglanowe rozkładają się do postaci tlenków, które są bardziej reaktywne w kontakcie z wodą i w środowisku spowodują zarówno zmianę pH oraz zanieczyszczenie wody gruntowej rozpuszczalnymi związkami metali.

W rezultacie proces spalania powoduje wprawdzie zmniejszenie ilości odpadów, ale nie ich likwidację. Zrealizowane inwestycje oznaczają, że po osiągnięciu ich pełnych zdolności produkcyjnych będą one spalały co najmniej **1000 tys. Mg** odpadów komunalnych, a więc należy spodziewać się, że równolegle nastąpi znaczny wzrost ilości ubocznych produktów spalania, a problem ich zagospodarowania będzie narastał.

Uboczne produkty spalania odpadów komunalnych (UPS), ich charakterystyka i dotychczasowe metody ich zagospodarowania

Po procesie spalania, jak to przedstawiono na rys. 1, pozostają uboczne produkty spalania (UPS), których znaczna część może być gospodarczo wykorzystana, ale w dalszym ciągu około 6% UPS jest składowane.



Rys. 1. Bilans masy spalarni odpadów komunalnych [4]

Można oszacować, że jeśli uruchomione obecnie spalarnie osiągną zakładaną wydajność, to rocznie będą wytwarzać około 65 tys. Mg odpadów do składowania. Dodatkowo znaczna część z nich to będą odpady potencjalnie niebezpieczne dla środowiska, w których kumulują się substancje potencjalnie szkodliwe i niebezpieczne, jak metale ciężkie i które wymagają unieszkodliwienia i/lub stabilizacji. Można oszacować, że powstanie około **30 tys. Mg odpadów niebezpiecznych** (w tym pyłów lotnych z instalacji odpylania gazów spalinowych).

Większa ilość odpadów oznacza znaczące problemy ekologiczne przy ich składowaniu, coraz większy opór społeczny dla nowych składowisk i rosnące koszty ich zagospodarowania.

Przykładowo w spalarni w Warszawie rocznie pozostawało między innymi około 1,4 tys. Mg odpadów niebezpiecznych, w tym popiołów lotnych z instalacji odpylania gazów spalinowych, których stabilizacja jak dotąd jest kosztem dla spalarni. Terminem popioły lotne na ogół określa się pyły, które są oddzielane z gazów spalinowych powstałych podczas spalania. Pyły, jako najdrobniejsze frakcje mineralne, są porywane przez strumień gazów spalinowych a wydziela się je przy pomocy odpowiednich filtrów w początkowym etapie oczyszczania gazów spalinowych. Popioły lotne są kwalifikowane zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. (Dz. U. 2001.112.1206) jako odpady o kodach:

- 10 04 13* Popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne,
- 19 01 14 Popioły lotne inne niż wymienione w 19 01 13.

Popioły lotne ze spalarni odpadów komunalnych...

Skład UPS może znacznie się różnić zarówno ze względu na niejednorodność i znaczną nieprzewidywalność składu spalanych odpadów jak i rodzaj instalacji, w której realizowano proces. Informacje dotyczące charakterystyki UPS związanych ze spalaniem odpadów komunalnych są dość skąpe i niewystarczające dla określenia w jak dużym zakresie powodują zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Analizując dostępne dane literaturowe, w których oprócz podstawowego składu UPS podawano jaki rodzaj surowca był spalany w instalacji, w tabeli 1 zestawiono dane dotyczące składu chemicznego popiołów lotnych pochodzących z dwóch typów spalarni ,tj. instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych oraz elektrocieplowni spalających kopalne paliwa stałe.

Tabela 1. Porównanie podstawowego składu chemicznego popiołów lotnych, wydzielonych z gazów spalinowych po spaleniu odpadów komunalnych i stałych paliw kopalnych

Skład chemiczny popiołów lotnych [% wag.]	Rodzaj spalanego paliwa				
	komunalne osady ściekowe [5]		stałe paliwa kopalne [6]		
	1	2	Średnio z 15 prób	Maksymalnie	Minimalnie
SiO ₂	21,00	43,20	65,80	75,61	41,41
Al ₂ O ₃	13,75	4,96	9,24	17,19	9,24
Fe ₂ O ₃	1,98	2,17	3,72	6,48	2,16
P ₂ O ₅	21,19	38,09	1,03	2,87	0,45
CaO	17,80	21,29	10,45	29,23	1,91
MgO	3,86	3,81	2,13	4,00	0,84
BaO	0,05	0,08			
K ₂ O	1,05	1,49	0,81	1,70	0,07
Na ₂ O	0,44	0,41	0,68	0,75	0,10
SO ₃	0,61	1,0	3,59	17,40	0,30
TiO ₂			0,08	0,18	0,04

Prezentowane w tabeli 1 zestawienie danych literaturowych dokumentuje, jak istotne jest odrębne traktowanie poszczególnych rodzajów popiołów lotnych w aspekcie ich zagospodarowania. Z powyższego zestawienia wynika bowiem, że w znaczące różnice składzie popiołów z instalacji spalania paliw konwencjonalnych i odpadów komunalnych dotyczą przede wszystkim zawartości i ilości składników podstawowych, decydujących o właściwościach użytkowych takiego surowca.

W popiołach po spalaniu odpadów komunalnych jest:

- znacznie mniejsza zawartość krzemionki,
- znacznie większa jest zawartość związków fosforu (nawet 10 razy więcej).

Dodatkowo dane prezentowane w cytowanej literaturze dotyczą wyłącznie podstawowego składu popiołów lotnych – brak jest szczegółowych informacji dotyczących ewentualnego występowania i ilości zanieczyszczeń substancjami potencjalnie niebezpiecznymi i ich mobilności. Należy bowiem spodziewać się, że w popiołach lotnych ze spalania odpadów komunalnych pojawią się substancje potencjalnie stwarzające zagrożenie dla środowiska, a nie występujące w naturalnych kopalinach.

Wynika to nie tylko z zagęszczenia związków metali, ale także z ich rozdrobnienia – znaczne rozwinięcie powierzchni stwarza wysokie prawdopodobieństwo przekroczenie dopuszczalnego poziomu wymywania substancji potencjalnie szkodliwych. Wzrost ilości spalarni odpadów komunalnych generować będzie równoległe zwiększenie ilości niebezpiecznych popiołów lotnych wymagających zagospodarowania. W rozwiniętych gospodarczo krajach Europy zagospodarowanie tego rodzaju pozostałości rozwiązuje się w praktyce na dwa podstawowe sposoby:

1. Ustabilizowanie substancji niebezpiecznych w odpadach w taki sposób, aby ograniczyć ich mobilność w środowisku, a następnie ich składowanie i/ lub ograniczone wykorzystanie gospodarcze.

W Polsce najczęściej stosuje się najprostszy sposób ograniczenia mobilności substancji szkodliwych i niebezpiecznych z popiołów lotnych poprzez ich cementyzację – czyli zestalenie w postaci bloków, które następnie są składowane na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne lub stosowane do obudowy wysypisk komunalnych.

Jest to procedura stosowana w praktyce od wielu lat, ale wciąż kontrowersyjna. Substancje niebezpieczne wprawdzie są otaczane warstwą cementu, ale proces korozji konstrukcji betonowych powoduje uwalnianie substancji toksycznych, tylko w zwolnionym tempie. W tabeli 2 przedstawiono dane dotyczące zawartości metali ciężkich w takich bloczkach cementowych, którymi przeciwnicy spalania odpadów komunalnych dokumentują zagrożenia środowiskowe wynikające ze stosowania tej metody stabilizacji.

Cementyzacja popiołów lotnych jest znacznym kosztem dla spalarni, dodatkowo koszt ten wzrasta, jeśli kształtki cementowe pokrywa się warstwą hydrofobową, np. warstwą smoły, co czasowo ma ograniczyć wymywalność związków metali ciężkich.

Tabela 2. Porównanie zawartości wybranych metali ciężkich w cemencie portlandzkim oraz zwykłym bloku cementowym z blokami wykonanymi z użyciem żużli i popiołów lotnych pochodzących ze spalarni odpadów komunalnych [7].

Zawartość metali [ppm]	Cement portlandzki	Zwykły cement	Cement z dodatkiem żużli	Cement z dodatkiem popiołów lotnych
Cynk	29	53	4482	18618
Ołów	1	4	5137	7278
Miedź	9	13	4668	606
Nikiel	18	47	109	78
Chrom	38	31	146	190
Kadm	0.04	0.26	44	731
Arsen	2	33	5	73

Jednocześnie stosowanie metody cementyzacji powoduje, że ilość odpadów kierowanych na składowisko nie maleje ale wręcz rośnie.

Od lat znana, ale w ostatnich latach coraz częściej jest stosowana modyfikacja metody cementyzacji odpadów niebezpiecznych, a mianowicie opatentowana technologia „Geodur”. Polega ona na zastosowaniu najpierw chemicznej stabilizacji substancji szkodliwych zawartych w takich odpadach, poprzez trwałe przekształcenie związków rozpuszczalnych w trudno rozpuszczalne i następnie ich zestalenie przy użyciu spoiw hydraulicznych. Metoda ta wymaga bardzo dokładnego określenia składu chemicznego każdego odpadu i następnie dobrania przy pomocy odpowiedniego oprogramowania rodzaju i stechiometrycznych ilości odpowiednich substancji chemicznych, które stanowiąc komponenty mieszanki powodują przekształcenie związków rozpuszczalnych w trudno rozpuszczalne. Jest to metoda zapewniająca bardziej skuteczne ograniczenie wymywania substancji niebezpiecznych podczas składowania, ale też bardziej kosztowna.

W niektórych państwach europejskich dla ograniczenia wymywania substancji niebezpiecznych z popiołów lotnych, stosuje się ich wymieszanie w asfaltami a następnie zastosowanie do budowy spodnich warstw dróg, zabezpieczając w ten sposób cząstki popiołów przed kontaktem z wodą. Metoda ta ma jednak istotne ograniczenia: nie można jej stosować na warstwy wierzchnie, ścieralne oraz konieczne jest, aby wypełniacz zawierający popioły spełniał wymagania norm EN dotyczące jego składu, co w praktyce oznacza mieszanie niewielkich ilości popiołów z dobrymi jakościowo surowcami naturalnymi.

Bezpieczną środowiskowo metodą stabilizacji popiołów lotnych ze spalarni odpadów wszelkiego typu jest ich wityfikacja (zeszklwienie) a więc utwo-

rzenie szkliva, z którego substancje niebezpieczne są niewymywalne. Jest to proces kosztowny, ponieważ jest realizowany w temperaturze powyżej 1400 °C, a otrzymane szklivo jest wprawdzie całkowicie bezpieczne, ale jego użytkowa przydatność np. w budownictwie jest bardzo ograniczona.

2. Drugim, znacznie kosztowniejszym sposobem zagospodarowania stałych pozostałości po spalaniu odpadów, jest ich detoksykacja, polegająca na usunięciu wszystkich substancji szkodliwych. Proces ten właściwie jest stosowany głównie dla popiołów lotnych zawierających takie substancje toksyczne, jak dioksyny i rtęć, które są szczególnie trudne do stabilizacji innymi metodami, a w wyniku procesu otrzymuje całkowicie nietoksyczny produkt, możliwy do bezpiecznego składowania albo wykorzystania jako surowiec w budownictwie, ceramice itd. [8]

Wymienione powyżej sposoby unieszkodliwiania i składowania generują znaczne koszty, co oznacza, że posiadacze tego rodzaju odpadów płacą za ich utylizację (tabela 3).

Tabela 3. Europejskie koszty składowania wtórnych odpadów ze spalarni odpadów, które na podstawie badań zaklasyfikowano jako niebezpieczne (dotyczy takich odpadów z instalacji oczyszczania gazów spalinowych jak: niebezpieczne popioły lotne, placki filtracyjne, gips utworzony po absorpcji związków siarki) [9]

Proces	Zmiana masy [%]	Przybliżony koszt [€/Mg]
Składowanie podziemne	nie	100 – 150
Wypełnienie wyeksploatowanych wyrobisk podziemnych	nie	100 – 125
Składowanie na powierzchni ziemi jako odpad niebezpieczny	nie	100 – 125
Składowanie na powierzchni ziemi jako odpad ustabilizowany, inny niż niebezpieczny	nie	50 – 100

Popioły lotne ze spalania paliw konwencjonalnych od lat są stosowane w budownictwie [12-17] ale przydatność dotychczasowych metod zagospodarowania w odniesieniu do popiołów lotnych ze spalarni odpadów komunalnych jest ograniczona lub wręcz niemożliwa [14,15]. Niestety, bardzo często w publikacjach omawiających możliwości zagospodarowania popiołów lotnych w wyrobach budowlanych nie podaje się informacji, że możliwości te dotyczą wyłącznie popiołów lotnych z instalacji spalania konwencjonalnych paliw, co może powodować błędne założenie, że każdy rodzaj popiołów o określonym kodzie może być w ten sposób zagospodarowany.

Popioły lotne z elektrociepłowni mogą być stosowane jako zamienniki kruszyw naturalnych ponieważ zawierają znaczne ilości krzemionki SiO_2 . Natomiast w popiołach ze spalania odpadów komunalnych zawartość krzemionki drastycznie spada (nawet dwukrotnie), w zamian występują inne reaktywne składniki, jak związki fosforu (w ilości powyżej 20%). Proporcje ilościowe poszczególnych składników głównych w popiołach lotnych ze spalarni odpadów komunalnych znacznie się więc różnią od składu większości surowców stosowanych w budownictwie, co powoduje zmianę właściwości wyrobów budowlanych, w których taki odpad zastosowano [14,17].

Także na poziomie zanieczyszczeń śladowych różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami popiołów są istotne. Należy się spodziewać, że w popiołach lotnych po spalaniu odpadów pojawią się jako zanieczyszczenia takie składniki, które w naturalnych paliwach konwencjonalnych nie występują, a które mogą być potencjalnym zagrożeniem dla środowiska, np. związki Ti, V i inne.

Dodatkowo, skład popiołów lotnych i ich właściwości fizyczne w każdej ze spalarni może być bardzo różny, nie tylko ze względu na niepowtarzalność właściwości samych odpadów poddawanych obróbce termicznej ale także ze względu na różnice pomiędzy poszczególnymi instalacjami spalania i oczyszczania gazów spalinowych, dotyczące np. temperatury i sposobu spalania.

Proces syntezy termicznej w fazie stałej jako innowacyjna metoda zagospodarowania popiołów lotnych z instalacji spalania odpadów komunalnych

Wykorzystanie różnego rodzaju odpadów w budownictwie jest coraz powszechniejszą praktyką, zarówno z powodów ekonomicznych jak i ekologicznych, ale to nie może oznaczać pogorszenia jakości wyrobów budowlanych. W IMBiGS opracowano innowacyjną metodę zagospodarowania różnych odpadów komunalnych i przemysłowych, w tym popiołów lotnych ze spalania odpadów komunalnych poprzez ich zastosowanie jako substratów w produkcji sztucznych kruszyw lekkich dla budownictwa ogólnego [10, 11].

Proces otrzymywania nowego rodzaju kruszyw lekkich polega na przeprowadzeniu syntezy termicznej w temperaturze od 1000 °C do 1200°C co najmniej trzech różnych, odpowiednio dobranych surowców odpadowych. W rezultacie procesu otrzymuje się nowoczesny materiał budowlany, spełniający wymagania norm PN-EN dla kruszyw lekkich (tabela 4).

Tabela 4. Wyniki badań właściwości użytkowych kruszywa lekkiego wg technologii IMBiGS, frakcja 8-16 mm

Lp.	Badanie	Metoda	Wynik badania
1.	Gęstość nasypowa w stanie luźnym [Mg/m ³]	PN EN 1097-3 :2000	0,80
2.	Nasiąkliwość WA₂₄ [%]	PN-EN 1097-6	< 25%
3.	Odporność na miążdżenie Ca [N/mm ²]	PN-EN 13055-2016-07	> 2
4.	Wskaźnik mrozodporności F	PN-EN 1367-7:2014	< 0,4

Istotną korzyścią z realizacji tej termicznej metody jest jednoczesne pełne ustabilizowanie substancji potencjalnie niebezpiecznych zawartych w odpadach użytych do produkcji kruszywa lekkiego.

Tabela 5. Badania porównawcze wymywalności substancji potencjalnie szkodliwych z 5 próbek popiołów lotnych pobranych w różnym czasie z trzech spalarni osadów ściekowych i wykonanych z udziałem tych popiołów kruszyw lekkich.

Pier-wia-stek	Zawartość oznaczanego składnika wg PN-EN ISO 11885:2009, w wyciągu wodnym wg PN-EN 1744-3:2004 [mg/l]										Dopu-szczal-ne do *) [mg/l]
	1		2		3		4		5		
	popiół	kruszywo	popiół	kruszywo	popiół	kruszywo	popiół	kruszywo	popiół	kruszywo	
Al	3,06	0,17	3,69	1,06	4,42	1,17	2,29	0,96	2,76	1,38	3,0
As	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
B	2,21	0,61	1,95	0,01	1,87	0,01	1,98	0,03	2,08	0,04	1,0
Ba	0,239	0,004	0,235	0,067	0,217	0,065	0,268	0,017	0,252	0,022	2,0
Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,2
Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,1
Cr	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,032	0,5
Cu	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,5
Fe	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	10
K	65,5	<0,5	62,5	0,6	61,5	0,6	67,0	<0,05	68,1	<0,05	80
Li	0,06	<0,01	0,06	<0,01	0,06	<0,01	0,07	<0,01	0,07	<0,01	Nie dotyczy
Mg	8,2	1,2	7,9	0,8	6,8	1,2	8,0	0,4	7,2	0,4	Nie dotyczy
Mn	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	Nie dotyczy
Mo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1,0
Na	31,4	0,2	31,7	1,2	31,5	0,8	34,3	0,8	33,8	1,1	800
Ni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,5
P	1,12	0,14	0,13	<0,05	0,09	<0,05	0,12	<0,05	0,09	<0,05	2,0
Pb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,5
Ti	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	1,0
V	0,050	0,06	0,056	0,016	0,056	0,021	0,054	0,021	0,060	0,029	2,0
Zn	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	2,0

*) wg Rozporządzenia Ministra Środowiska DZ.U.2014.1800.

Popioły lotne ze spalarni odpadów komunalnych...

W tabeli 5 zestawiono wyniki badań własnych, dotyczące poprawy bezpieczeństwa ekologicznego w rezultacie zastosowanie nowej metody dla stabilizacji popiołów lotnych ze spalarni odpadów komunalnych, a mianowicie porównano wymywalność poszczególnych pierwiastków z odpadowych popiołów lotnych, pobranych z trzech różnych spalarni odpadów komunalnych, z wymywalnością tych samych pierwiastków z kruszyw lekkich, otrzymanych z zastosowaniem tychże popiołów.

Porównanie wyników badań przedstawionych w tabeli 5 pozwala na stwierdzenie, że zastosowana metoda stabilizacji oparta na reakcji syntezy termicznej w fazie stałej połączona z wytwarzaniem spieków o właściwościach kruszywa lekkiego skutecznie stabilizuje substancje niebezpieczne, zawarte w zastosowanych w tej reakcji odpadach, w tym związki metali ciężkich, poprzez wbudowanie ich w sposób trwały i nieodwracalny w strukturę krystaliczną kruszyw. Produktem końcowym przedstawionej metody jest więc cenny produkt handlowy – lekkie kruszywo, stabilne w czasie przechowywania i stosowania. Jego właściwości użytkowe są analogiczne do właściwości keramzytu, otrzymywanego z nieodnawialnych surowców naturalnych. Kruszywa lekkie są to wyroby poszukiwane na rynku a wiele możliwości jego zastosowania minimalizuje zagrożenie braku popytu na produkt.

Nowa technologia jest całkowicie bezodpadowa, a poprzez wykorzystywanie w produkcji wyrobu rynkowego, wyłącznie surowców odpadowych jest przykładem możliwości stosowania zasad gospodarki obiegu zamkniętego.

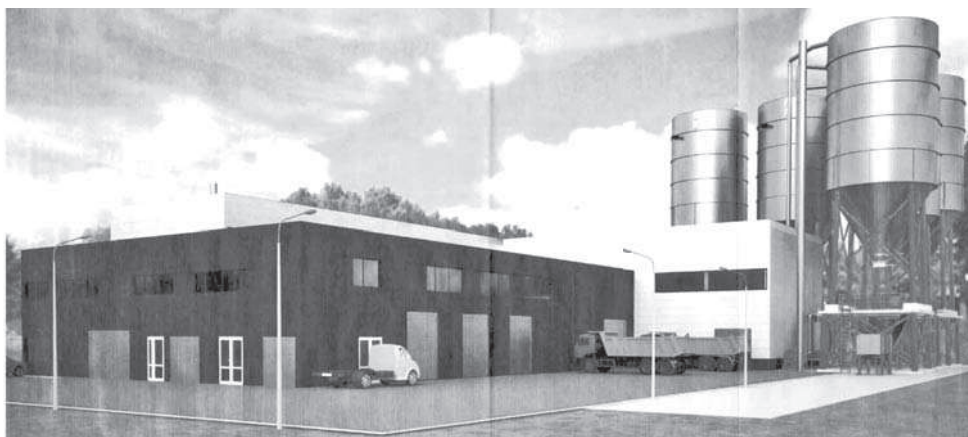
Podsumowanie

Podstawowe zalety zastosowania innowacyjnej metody zastosowania odpadów jako surowców do wytwarzania wyrobu rynkowego są następujące:

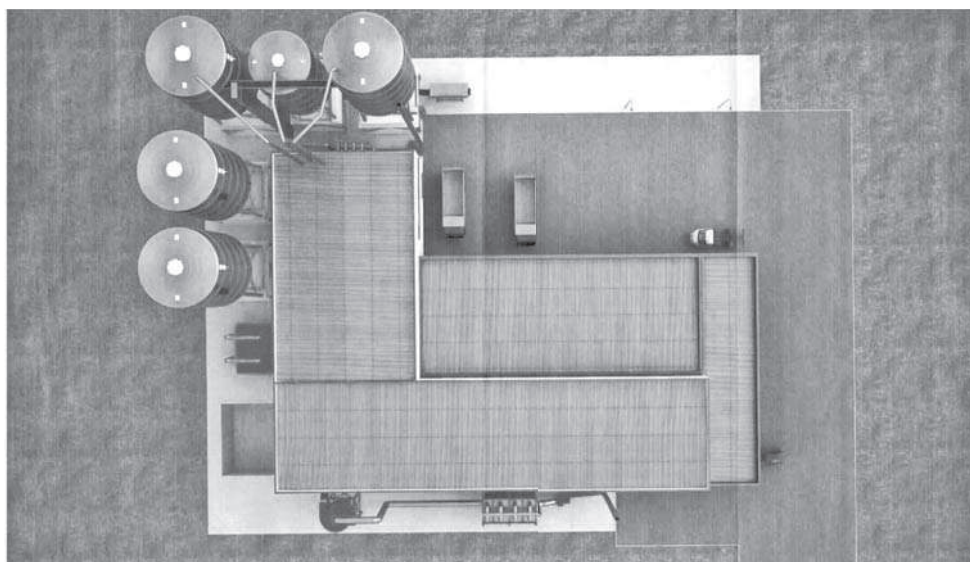
- osiąga się efekt ekologiczny poprzez zagospodarowanie odpadów uciążliwych dla środowiska,
- tego rodzaju produkcja jest ekonomicznie bardzo korzystna, ponieważ gwarantuje zarówno przychody związane ze sprzedażą wyrobu budowlanego, jednocześnie koszty wytwarzania tego wyrobu są znacznie obniżone w porównaniu z tradycyjnymi kruszywami lekkimi- zamiast kosztu pozyskania surowca wytwórca ma przychody z opłat za przyjęcie odpadów do utylizacji (np. osadów ściekowych, niebezpiecznych popiołów lotnych).

Surowce przeznaczone do produkcji kruszyw sztucznych wg technologii IMBiGS są to powszechnie dostępne materiały odpadowe i w większości przyładków nie wymagają dodatkowej wstępnej przeróbki. Obecny stan techniki

umożliwił realizację tej metody w warunkach przemysłowych w sposób nie oddziałujący negatywnie na środowisko. Przemysłowa instalacja wytwarzająca kruszywo lekkie z odpadów wg opracowanej w IMBiGS technologii z wydajnością około 50 tys. ton kruszywa rocznie została zaprojektowana, wybudowana i uruchomiona przez firmę NTI (Nowoczesne Techniki Instalacyjne Sp. z o.o. w Głogowie). Wizualizację tej instalacji przedstawia rys 2 i 3.



Rys. 2. Zakład produkcji kruszyw lekkich z odpadów komunalnych i przemysłowych (wizualizacja)



Rys. 3. Widok z góry zakładu produkcji kruszyw lekkich z odpadów komunalnych i przemysłowych (wizualizacja).

Popioły lotne ze spalarni odpadów komunalnych...

Innowacyjna technologia zagospodarowania popiołów lotnych łącznie z odpadami komunalnymi i przemysłowymi opracowana przez IMBiGS i NTI Sp. z o.o. otrzymała w 2108 r. nagrodę główną – w kategorii Produkt przyszłości jednostki naukowej i przedsiębiorcy oraz nagrodę specjalną – za Produkt w obszarze ekoinnowacji w 20 Konkursie Polski Produkt Przyszłości organizowanym przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pod patronatem Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Jest to technologia, która w zależności od potrzeb może być realizowana z różną wydajnością, od instalacji przyzakładowych do dużych przemysłowych linii, a jej odbiorcami mogą być:

- podmioty wytwarzające lub posiadające przynajmniej jeden z materiałów odpadowych stosowanych w technologii (również gminy),
- podmioty zajmujące się unieszkodliwianiem, co najmniej jednego materiału odpadowego, stosowanego przy produkcji tego typu kruszyw sztucznych,
- firmy produkujące wyroby budowlane (np. betony lekkie),
- firmy pragnące rozszerzyć własną działalność biznesową.

Bibliografia:

1. Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów Dz. Urz. WE L 182 z 16.07.1999, str. 1, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 4, str. 228).
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy Dz. Urz. UE L 312 z 22.11.2008, str. 3, z późn. zm.).
3. Monitor Polski (2016) *UCHWAŁA NR 88 RADY MINISTRÓW z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami, i poz. 784.*
4. WIELGOSIŃSKI G. (2011). *Wtórne odpady ze spalania odpadów komunalnych. Bariery i perspektywy ich wykorzystania*, [http://sdr.gdos.gov.pl/Documents/GO/Spotkanie 26.10.2011](http://sdr.gdos.gov.pl/Documents/GO/Spotkanie%2026.10.2011)
5. KĘPYS W., POMYKAŁA R., PIETRZYK J. (2013), *Właściwości popiołów lotnych z termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych* "Journal of the Polish Mineral Engineering Society" styczeń – czerwiec 2013 str. 11-18.
6. SZPONDER D. (2012). *Badania wybranych właściwości popiołów lotnych z zastosowaniem analizy obrazu* Rozprawa doktorska AGH.
7. GŁUSZYŃSKI P. *10 argumentów przeciwko budowie spalarni odpadów w Polsce*, Ogólnopolskie Towarzystwo Zagospodarowania Odpadów „3 R”.

8. GROCHOWALSKI A. , *i in*, (1996) – *PCDD/F Mass Concentration in Residues from Incineration of Medical Wastes in Poland*, *Organochlorine Compounds* 27, 42-46.
9. VEHLW J., BERGFELDT B. & HUNSINGER H. (2006), *PCDD/F and related compounds in solid residues from municipal solid waste incineration – a literature review*. *Waste Management & Research*, in press.
10. UZUNOW E., KUKIELSKA D., STANKIEWICZ J., GÓRALCZYK S., WÓJCIK A., WÓJCIK J., PIOTROWSKI R., (2015), *Sposób unieszkodliwiania i utylizacji pyłów z instalacji spalania i mulów z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych zawierających substancje niebezpieczne, w procesie produkcji kruszywa lekkiego dla budownictwa*. Patent nr 229591.
11. UZUNOW E., KUKIELSKA D., STANKIEWICZ J., GÓRALCZYK S., WÓJCIK A., WÓJCIK J., PIOTROWSKI R. (2015), *A method of disposal and utilisation of dusts from an incineration installation and sludge from flotation enrichment of non-ferrous metal ores containing hazardous substances in the process of light aggregate production for the construction industry.*; European Patent Application No 15724082.1-1706 (EP3140055).
12. ROSZCZYŃIALSKI W. (2014) „*Rola siarczanu (VI) wapnia w procesach kształtowania wytrzymałości spoiw drogowych zawierających żuźle stalownicze i popioły lotne*”. *Rozprawa doktorska* Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Technologii Materiałów Budowlanych.
13. FRANUS W., WDOWIN M. (2011), *Wykorzystanie popiołów lotnych klasy F do produkcji materiału zeolitowego na skalę póltechniczną*; *Polityka Energetyczna* Tom 14, Zeszyt 2, PL ISSN 1429-6675.
14. ŁASKAWIEC K., MICHALIK A., ZAPOTOCZNA-SYTEK G. (2011), *Badania nad zastosowaniem popiołów lotnych ze współspalania biomasy drzewnej i węgla kamiennego do wytwarzania betonu komórkowego*. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych* >> R. 4, nr 7 > 146-162.
15. GOLEWSKI G. L. (2015), *Procesy pęknięcia w betonie z dodatkiem krzemionkowych popiołów lotnych*; Politechnika Lubelska, MONOGRAFIA.
16. KRÓL A. (2012), *Uwalnianie metali ciężkich z kompozytów mineralnych z uwzględnieniem oddziaływania środowiska*; Monografia, Politechnika Opolska.
17. STRZAŁKOWSKA E. (2016), *Skład materii organicznej i nieorganicznej krzemionkowych popiołów lotnych, jako element ich przydatności w technologiach materiałów budowlanych*; *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – “Mineral Resources Management”* 32(1), 71-88.