OD ODPADU DO PRODUKTU. SPOSOBY PRZETWARZANIA POPIOŁÓW Z KOTŁÓW FLUIDALNYCH NA PRODUKTY RYNKOWE

Sonia Jarema-Suchorowska, Barbara Wartak
„ENERGOPOMIAR" Sp. z o.o.

Sławomir Rzepecki
„CTL Maczki-Bór" S.A.

STRESZCZENIE

Wynikiem badań prowadzonych dla CTL Maczki-Bór S.A. jest opracowanie technologii przetwarzania popiołów z kotłów fluidalnych na produkty:

- *kruszywa granulowane,*
- *elementy budowlane – elementy murowe,*
- *spoiwa drogowe,*
- *spoiwa budowlane,*
- *mieszanki ulepszające dla rolnictwa.*

Badania pozwoliły na określenie indywidualnych, stabilnych w czasie cech charakterystycznych wytypowanych do wykorzystania popiołów z kotłów fluidalnych.

W oparciu o badania w skali laboratoryjnej, a następnie w skali półprzemysłowej, opracowano technologie wytwarzania produktów finalnych z popiołów z kotłów fluidalnych. Opracowano projekty koncepcyjne i przeprowadzono analizę ekonomiczno-finansową procesów ich wytwarzania. Obliczono ceny nowych produktów w oparciu o założone kalkulacje.

Dla wybranego produktu – spoiwa drogowego – uzyskano aprobatę techniczną, umożliwiającą stosowanie spoiwa w praktyce. Stosowanie kruszywa granulowanego i elementów murowych może być realizowane w oparciu o obowiązujące normy.

1. WPROWADZENIE

Pogarszający się stan środowiska, w tym wyczerpywanie się nieodnawialnych zasobów naturalnych, prowadzi do poszukiwania nowych kierunków działań, które mają na celu prowadzenie działalności produkcyjnej w myśl zasad zrównoważonego rozwoju.

Instytut Gospodarki o Obiegu Zamkniętym wskazuje zadania do wykonania na polskiej drodze do gospodarki o obiegu zamkniętym (Circular Economy). Wśród nich można wymienić „ograniczenie zależności przedsiębiorstw od surowców pierwotnych", które mają na celu zwiększenie wykorzystania surowców wtórnych [1]. Zastąpienie nieodnawialnych naturalnych surowców mineralnych produktami ubocznymi, w tym cennymi produktami pochodzącymi ze spalania paliw, niesie ze sobą wiele korzyści nie tylko dla środowiska, ale także dla gospodarki i społeczeństwa.

Uboczne produkty spalania paliw w kotłach fluidalnych charakteryzują się odmiennymi własnościami w stosunku do tych, które pochodzą z palenisk konwencjonalnych. Jednak te charakterystyczne cechy – w postaci podwyższonej zawartości związków wapnia, własności hydraulicznych i pucolanowych [2, 3, 4] znacznie wyższych niż wykazują popioły z kotłów pyłowych – czynią z nich cenny materiał dla budownictwa, drogownictwa, rolnictwa i umożliwiają udział procesu produkcji energii w kotłach fluidalnych w obiegu zamkniętym w myśl zasady Circular Economy.

2. PRÓBY PRZETWARZANIA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH NA PRODUKTY RYNKOWE

W latach 2008–2011 w Zakładach Pomiarowo-Badawczych Energetyki „ENERGOPOMIAR" Sp. z o.o. prowadzone były badania własności popiołów z kotłów fluidalnych i możliwości otrzymywania z nich produktów rynkowych. Badania prowadzono na zlecenie CTL Maczki-Bór S.A. Podstawą do opracowania technologii przetwarzania popiołów fluidalnych na produkty były badania popiołów pochodzących z 4 obiektów energetycznego spalania paliw zlokalizowanych na terenie Śląska.

Uzyskane wyniki powtarzanych badań własności popiołów pozwoliły na określenie indywidualnych, stabilnych w czasie cech charakterystycznych popiołów z kotłów fluidalnych wytypowanych do wykorzystania [1].

W oparciu o badania w skali laboratoryjnej, a następnie w skali półprzemysłowej, opracowano optymalne technologie przetwarzania selektywnie dobranych popiołów z kotłów fluidalnych, celem uzyskania produktów rynkowych w postaci:

- kruszywa granulowanego,
- elementów budowlanych – elementów murowych,
- spoiw drogowych,
- spoiw budowlanych,
- mieszanek ulepszających dla rolnictwa.

Kruszywa granulowane

Kruszywo granulowane powstaje w procesie granulacji, który polega na zbrylaniu materiałów sypkich i ciekłego lepiszcza pod wpływem ruchu toczącego na powierzchni granulatora. Świeży granulat utwardza się.

Głównym założeniem przy opracowywaniu składów recepturowych kruszyw było uzyskanie produktu spełniającego wymagania stawiane kruszywom wykorzystywanym do produkcji betonów lekkich.

Do prób granulacji zastosowano mieszaniny wybranych popiołów lotnych i dennych z kotłów fluidalnych oraz cement. Badania laboratoryjne prowadzono na granulatorze o średnicy 0,6 m, próby wielkolaboratoryjne – na granulatorze o średnicy 1,2 m. W wyniku szeregu badań laboratoryjnych granulacji i właściwości uzyskanych produktów wybrano najkorzystniejszą recepturę, wg której wytworzono partię wielkolaboratoryjną kruszywa w ilości 3,2 Mg. Utwardzanie granulatów prowadzono na drodze sezonowania.

Fot. 1. Kruszywo granulowane CTL wytworzone z mieszaniny popiołów lotnych i dennych z kotłów fluidalnych oraz cementu

Źródło: [4]

Tab. 1. Właściwości kruszywa granulowanego CTL

Lp.	Oznaczenie		Jedn.	Wynik oznaczenia	
				Badania laboratoryjne	Badania półprzemysłowe
1.	Gęstość objętościowa		Mg/m³	1,261	1,340
2.	Gęstość nasypowa	0–4 mm	Mg/m³	0,702	0,838
		4–8 mm			0,769
		8–16 mm			0,755
3.	Skład ziarnowy	0–4 mm	%	11,5	33,3
		4–8 mm		34,5	33,3
		8–16 mm		47,5	33,3
		> 16 mm		6,5	0
4	Nasiąkliwość	w pośrednim okresie pomiaru	%	18,50	26,23
		w końcowym okresie pomiaru	%	35,88	31,78
5	Zawartość wody	0–4 mm	%	32,71	15,24
		4–8 mm			15,50
		8–16 mm			16,44
6	Odporność na miażdżenie		MPa	3,42	6,34
7	Mrozo-odporność	2–4 mm	%	-	7,09
		4–8 mm		12,30	10,49
		8–16 mm		14,74	14,01
		> 16 mm		10,42	-
8.	Rozpad wapniowy	2–4 mm	%	-	2,59
		4–8 mm		3,50	1,56
		8–16 mm		3,57	1,14
		16–31,5 mm		4,15	-

Źródło: [4]

Kruszywo otrzymane w wyniku badań, zgodnie z definicjami normy *PN-EN 13055-1:2003 pt. „Kruszywa lekkie. Część 1. Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy"* oraz *PN-EN 206-1:2003 „Beton Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność"* należy zakwalifikować do **kruszyw lekkich o gęstości nasypowej w stanie luźnym nie większej niż 1200 kg/m³ lub gęstości ziaren nie większej od 2000 kg/m³.**

Elementy budowlane – elementy murowe

Celem badań nad otrzymywaniem elementów budowlanych z popiołów z kotłów fluidalnych było opracowanie składu recepturowego betonu konstrukcyjno-izolacyjnego zawierającego kruszywo granulowane z popiołu z kotłów fluidalnych.

Założono, że wytrzymałość gwarantowana betonu wyniesie 25 do 30 MPa, gęstość nie przekroczy 2000 kg/m³, a wytworzony beton będzie przeznaczony na

ściany budowli do 2-4 kondygnacji bez zbrojenia. Mrozoodporność projektowanego betonu powinna wynieść co najmniej 25 cykli, a zawartość chlorków nie powinna przekroczyć 1% w stosunku do masy cementu.

Surowce do wytworzenia elementów budowlanych to:
- kruszywo granulowane CTL wytworzone z popiołów lotnych i dennych z kotłów fluidalnych i cementu,
  - frakcja 0–4 mm,
  - frakcja 4–8 mm,
  - frakcja 8–16 mm,
- piasek budowlany,
- cement,
- woda.

Fot. 2. Elementy budowlane z betonów konstrukcyjno-izolacyjnych CTL

Źródło: [4]

Właściwości elementów budowlanych wytworzonych na bazie kruszywa granulowanego CTL, określone w trakcie badań w skali laboratoryjnej, a następnie półprzemysłowej, przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Właściwości elementów budowlanych z betonów konstrukcyjno-izolacyjnych CTL

Lp.	Oznaczenie		Jednostka	Wynik oznaczenia	
				Badania laboratoryjne	Badania półprzemysłowe
1.	Wytrzymałość na ściskanie	Rc_7	MPa	27,20	27,65
		Rc_{28}		33,90	35,36
		Rc_{90}		37,00	39,49
2.	Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach pielęgnacji		MPa	1,64	1,20
3.	Gęstość objętościowa		kg/m^3	1 452	1 533
4.	Zmiana objętości po 28 dniach		mm/m	0,64	0,74
5.	Nasiąkliwość		%	26,81	22,28

Źródło: [4]

Zgodnie z normą *PN-EN 206-1:2003* (aktualną w czasie prowadzenia badań) beton spełnił wymagania dla betonów klasy LC25/28 klasy gęstości D1,6 (gęstość wyższa od 1400 kg/m^3 i niższa od 1600 kg/m^3). Spadek wytrzymałości betonu po 100 cyklach zamrażania i odmrażania wyniósł 6%. Po 75 cyklach próbki poddane zamrażaniu i rozmrażaniu wykazały wyższą wytrzymałość na ściskanie od próbek kontrolnych. Opracowany beton wykazał stopień mrozoodporności F100. Zmiana objętości betonu po 90 dniach wyniosła -0,64mm.

Beton z którego wykonano elementy budowlane cechował się niską promieniotwórczością naturalną, wyrażoną wskaźnikami aktywności, na poziomie: f_1 = 0,47 i f_2 = 40,58 Bq/kg.

Właściwości elementów budowlanych CTL wskazują na możliwość ich zastosowania w budownictwie mieszkaniowym i ogólnym do 2 lub 4 kondygnacji.

Spoiwa drogowe

Głównym założeniem prowadzonych badań było opracowanie sposobu wytwarzania hydraulicznego spoiwa drogowego przydatnego do:

- ulepszania słabych gruntów przy budowie nasypów i warstw nasypów,
- budowy nawierzchni twardej nieulepszonej (bez jezdnej nawierzchni bitumicznej), realizowanej w technologii nawierzchni stabilizowanej mechanicznie, z zabezpieczeniem górnej powierzchni natryskiem emulsją asfaltową lub warstwą kruszywa grubego,
- wykonywania podbudowy pomocniczej i zasadniczej stabilizowanej mechanicznie,
- wykonywania stabilizowanej podbudowy pomocniczej i zasadniczej,

a ponadto do:

- ulepszania i uszczelniania na składowiskach odpadów, przy zapewnieniu właściwego wskaźnika wodoprzepuszczalności,
- niwelacji i rekultywacji terenu,
- osuszania gruntów o zbyt wysokiej wilgotności,
- likwidacji zagrożeń pożarowych w robotach ziemnych z wykorzystaniem skały płonnej z górnictwa węgla kamiennego,
- likwidacji zagrożeń pożarowych w istniejących obiektach inżynieryjnych (zwałowiskach, składowiskach),
- gaszenia pożarów obiektów inżynieryjnych,
- wypełniania pustek poeksploatacyjnych w górotworze np. metodą iniekcji otworowej.

Opracowane w wyniku badań laboratoryjnych, a następnie w skali półprzemysłowej, spoiwo złożone jest z wybranych popiołów z kotłów fluidalnych i cementu. Właściwości spoiwa drogowego wytworzonego w trakcie badań w skali laboratoryjnej oraz półprzemysłowej przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Właściwości spoiwa drogowego CTL

Lp.	Oznaczenie		Jednostka	Wynik oznaczenia	
				Badania laboratoryjne	Badania półprzemysłowe
1.	Zawartość siarczanów jako SO_3		%	4,10	3,88
2.	Zawartość reaktywnego CaO		%	1,87	2,93
3.	Zawartość reaktywnego SiO_2		%	31,8	38,8
4.	Strata prażenia		%	1,55	2,64
5.	Czas wiązania	Początek	h, min	3 h 30 min.	8 h 35 min.
		Koniec	h, min	9 h	11 h 25 min
6.	Stałość objętości		mm	0,2	0,3
7.	Test zimnej wody		-	brak spękań	brak spękań
8.	Wytrzymałość na ściskanie	Rc_7	MPa	4,20	4,32
		Rc_{28}		5,28	6,00
		Rc_{90}		7,33	7,20
		Rc_{180}		-	7,37
9.	Wytrzymałość na zginanie	Rz_7	MPa	1,29	1,05
		Rz_{28}		2,07	2,11
		Rz_{90}		1,91	1,44
		Rz_{180}		-	1,71
10.	Powierzchnia właściwa		cm^2/g	nie oznaczono	5 095
11.	Gęstość objętościowa		Mg/m^3	nie oznaczono	2,47
12.	Wodożądność		%	nie oznaczono	61,4

Źródło: [4]

Hydrauliczne spoiwo drogowe CTL uzyskało pozytywną ocenę techniczną Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w postaci aprobaty technicznej (nr AT/2012-02-2863), która stwierdza jego przydatność do stosowania w budowie:

- dróg publicznych bez ograniczeń,
- dróg wewnętrznych,
- lotnisk cywilnych z ograniczeniem do:
  - nawierzchni dróg startowych,
  - nawierzchni dróg kołowania,
  - nawierzchni płyt,
  - nawierzchni wydzielonych miejsc postoju.

Własności spoiwa wg aprobaty przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Właściwości użytkowe i techniczne spoiwa drogowego wg aprobaty technicznej IBDiM nr AT/2012-02-2863

Lp.	Własności	Jedn.	Wymagania				Metody badań według
			dla odmiany	dla klasy HSD			
			HSDD	HSD 5	HSD 12,5	HSD 22,5	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Wytrzymałość na ściskanie po: - 7 dniach R_7	MPa	$R_7 \geq 0,5$	$R_7 \geq 1,5$	$R_7 \geq 5$	$R_7 \geq 7$	Procedura Badawcza IBDiM Nr PB/TW-2/120:2010; PN-EN 196-1:2006
	- 28 dniach R_{28}		$R_{28} \geq 1,0$	$5 < R_{28} \leq 15$	$12,5 < R_{28} \leq 32,5$	$22,5 < R_{28} \leq 42,5$	
	- 90 dniach R_{90}		-	$5 < R_{90} \leq 15$	$12,5 < R_{90} \leq 32,5$	$22,5 < R_{90} \leq 42,5$	
2	Uziarnienie,: a) maksymalny wymiar ziarna	mm	≤ 4	-	-	-	Procedura Badawcza IBDiM Nr PB/TW-2/122:2010 PN-EN 196-6:2010
	b) nominalny wymiar ziarna	mm	≤ 2	-	-	-	
	c) pozostałość na sicie: - 0,315 (300) mm	%	-	≤ 10	≤ 5	0	
	- 0,090 mm		-	≤ 15	≤ 15	≤ 20	
	- 0,063 mm		≤ 75	-	-	-	
	- 0,045 mm		-	≤ 60	≤ 40	≤ 35	
3	Czas wiązania: - początek wiązania	min	≥ 120	≥ 120			Procedura Badawcza IBDiM Nr PB/TW-2/123:2010 PN-EN 196-3: +A1:2009
	- koniec wiązania, t_k	h	≤ 24	$2 \leq t_k \leq 24$		$8 \leq t_k \leq 24$	
4	Stałość objętości (rozszerzalność)	mm	[1] dekl.	≤ 10 [1]		≤ 10	
5	Zawartość siarczanów (jako SO_3)	%	dekl.	dekl.		≤ 7,0 [2]	PN-EN 1744-1:2010
[1]	*Próbka w całości. Brak wykruszeń i spękań, złuszczeń lub dodatkowo białych wykwitów oraz wykwitów krystalicznych po osuszeniu w stanie powietrzno-suchym.*						
[2]	*Dla hydraulicznego spoiwa drogowego CTL zawierającego wapienny popiół lotny, gdy większa część siarczanów pochodzi z głównych składników. W innych przypadkach zawartość siarczanów (jako SO_3) powinna być mniejsza od 4,5 %.*						

Źródło: [5]

Wyniki wykonanych badań wykazały, że hydrauliczne spoiwo drogowe CTL jest bezpieczne dla środowiska, a jego stosowanie w przypowierzchniowych warstwach gruntu nie spowoduje jego zanieczyszczenia metalami ciężkimi, substancjami promieniotwórczymi, zanieczyszczeniami biologicznymi.

Spoiwa budowlane

Głównym celem prowadzonych badań było opracowanie sposobu wytwarzania spoiwa budowlanego przydatnego do przygotowania betonów i zapraw.

Założenia do opracowania technologii:

1. Właściwości chemiczne mieszaniny popiołów w zakresie zawartości:
   - strat prażenia,
   - krzemionki reaktywnej,
   - reaktywnego tlenku wapnia,
   - wolnego tlenku wapnia,
   - chlorków,
   - siarczanów jako SO_3(max).

2. Właściwości fizyczne materiałów zawierających spoiwo w zakresie:
   - czasu wiązania,
   - wytrzymałości na ściskanie,
   - wytrzymałości na zginanie,
   - stałości objętości i innych specyficznych własności fizycznych

powinny spełniać wymagania dla odpowiednich zastosowań.

Spoiwo budowlane zostało wytworzone z popiołu lotnego z kotłów fluidalnych, cementu oraz dodatku modyfikującego, w pierwszej fazie w warunkach laboratoryjnych, a następnie w warunkach półprzemysłowych.

Fot. 3. Spoiwo budowlane CTL *Źródło: [4]*

Właściwości spoiw budowlanych wytworzonych na bazie popiołu lotnego z kotłów fluidalnych, określone w trakcie badań w skali laboratoryjnej oraz półprzemysłowej, przedstawiono w tabeli [5].

Tab. 5. Właściwości spoiwa budowlanego CTL

Lp.	Oznaczenie		Jednostka	Wynik oznaczenia	
				Badania laboratoryjne	Badania półprzemysłowe
1.	Zawartość wolnego CaO		%	0,0	0,18
2.	Zawartość chlorków		%	0,12	0,44
3.	Zawartość siarczanów jako SO_3		%	4,10	3,88
4.	Strata prażenia		%	1,55	2,64
13.	Reaktywne CaO		%	1,87	2,93
14.	Reaktywne SiO_2		%	31,8	38,8
5.	Gęstość właściwa		Mg/m^3	-	2,75
6.	Gęstość objętościowa		Mg/m^3	2,25	2,73
7.	Powierzchnia właściwa		cm^2/g	-	4 137
8.	Czas wiązania				
4.1	W warunkach powietrzno-suchych	Początek	h, min.	3h 40 min.	5h 35 min.
		Koniec		5 h 30 min.	7h 45 min.
4.2	Pod wodą	Początek	h, min	-	6h 20 min.
		Koniec		-	9 h 35 min.
5.	Stałość objętości		mm	-	0,25
6.	Czas zachowania własności roboczych		min.	70	75
7.	Wytrzymałość na ściskanie	Rc_7	MPa	45,10	24,95
		Rc_{28}		54,63	36,30
		Rc_{90}		55,05	45,10
		Rc_{180}		-	47,29
8.	Wytrzymałość na zginanie	Rz_7	MPa	8,90	7,02
		Rz_{28}		10,80	9,71
		Rc_{90}		11,85	11,08

Źródło: [4]

Mieszanki ulepszające dla rolnictwa

Koncepcja stworzenia mieszanek ulepszających dla rolnictwa zakładała wykorzystanie produktów odpadowych w postaci:

- wapna pokarbidowego (produkt uboczny przy produkcji acetylenu),
- popiołu dennego z kotłów fluidalnych.

Produkty te są bogate w tlenek wapnia, dzięki czemu mogą znaleźć zastosowanie jako środki do neutralizacji kwaśnych składników gleb w leśnictwie, warzywnictwie, kwiaciarstwie i rolnictwie.

Intensywne mieszanie dwóch składników prowadziło do powstania granulek. Do szczegółowych badań wytypowano granulki o wymiarze ziarn ≤ 2 mm.

Zawartość składników pokarmowych w mieszance dla rolnictwa była niewielka:

- Azot N 0,014%,
- Fosfor P 0,03%,
- Potas K 0,87%.

Zawartość wapnia w mieszance wyniosła 29,4%.

Pierwiastki śladowe zawarte są w mieszance w ilościach od 0,005 ppm (rtęć) do 203 ppm (bar). W porównaniu do standardów jakości gleby i ziemi oznaczone pierwiastki śladowe występują w stężeniach niższych od wartości dopuszczalnych dla gleby lub ziemi grupy B – odpowiadały gruntom zaliczonym do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, gruntom leśnym oraz zadrzewionym i zakrzewionym, nieużytkom, a także gruntom zabudowanym na głębokości 0-0,3 m.

W celu oceny wpływu „mieszanki dla rolnictwa" na wzrost i rozwój roślin przeprowadzono próby wazonowe. Wpływ mieszanki na rozwój roślin został określony poprzez obserwację roślin poddanych działaniu mieszanki oraz roślin porównawczych, dla których nie zastosowano mieszanki.

Próbę przeprowadzono dla 2 gatunków roślin (cebula i sałata), zasugerowanych przez specjalistów z Instytutu Warzywnictwa w Skierniewicach.

Do doświadczeń zastosowano glebę kwaśną (torf) o pH równym 4,13. Zastosowano dawkę mieszanki, która pozwoliła na uzyskanie obojętnego pH na poziomie 7,06.

Obserwacje roślin na podłożu kwaśnym oraz roślin wysianych na podłożu kwaśnym zobojętniającym się w czasie pod wpływem działania mieszanki dla rolnictwa wykazały różnice zarówno w początkowej, pośredniej, jak i w końcowej fazie wzrostu roślin.

Rozwój roślin wysianych na podłożu kwaśnym rozpoczął się później niż tych wysianych na podłożu z dodatkiem mieszanki dla rolnictwa.

Wyniki obserwacji przedstawiono na poniższych fotografiach.

Fot. 4. Sałata na podłożu kwaśnym

Fot. 4. Sałata na podłożu kwaśnym z dodatkiem mieszanki dla rolnictwa

Źródło: [4]

Dodatek mieszanki dla rolnictwa do kwaśnej gleby spowodował bujny plon roślin o dobrej jakości – w przeciwieństwie do roślin wysianych na podłożu kwaśnym bez dodatków.

Przeprowadzone próby wazonowe potwierdziły skuteczność mieszanek oraz ich pozytywny wpływ na rozwój roślin.

Instytut Warzywnictwa w Skierniewicach wyraził chęć przeprowadzenia badań rolniczych, mających na celu zweryfikowanie możliwości zastosowania mieszanki w warzywnictwie.

Instytut Leśnictwa wyraził gotowość do przeprowadzenia kilkuletnich badań zastosowania mieszanki w leśnictwie.

3. PROJEKTY KONCEPCYJNE I ANALIZA EKONOMICZNO-FINANSOWA DLA PRODUKTÓW RYNKOWYCH Z POPIOŁÓW FLUIDALNYCH

Dla opracowanych technologii przetwarzania popiołów z kotłów fluidalnych na produkty rynkowe opracowano projekty koncepcyjne i przeprowadzono analizę ekonomiczno-finansową procesów ich wytwarzania.

Projekty opracowano dla linii technologicznych do produkcji:

- spoiw budowlanych o wydajności 12 Mg/h,
- spoiw drogowych o wydajności 6,5 Mg/h,
- kruszywa granulowanego o wydajności 59 Mg/h,
- elementów budowlanych o wydajności 20 Mg/h,
- mieszanek dla rolnictwa o wydajności 6 Mg/h.

Łączne zużycie popiołów zaplanowano na 200 000 Mg/rok, w tym ok. 70% popiołów lotnych i 30% popiołów dennych.

Nakłady inwestycyjne na budowę linii oszacowano na kwotę ok. 145 mln zł (wg cen roku 2009).

Analiza finansowo-ekonomiczna wykazała rentowność produkcji przy cenach zbytu co pokazują tabele.

Tab. 6. Wyniki analizy ekonomiczno-finansowej dla produktów z popiołów fluidalnych (ceny 2009 r.)

Wariant 0 (oddzielne linie technologiczne)					
Wskaźniki finansowe	Elementy budowlane	Kruszywo granulowane	Spoiwo drogowe	Spoiwo budowlane	Nawozy
NPV	207 812	1 097 855	165 590	902 799	276 984
IRR	7,16%	7,28%	7,30%	8,62%	7,41%
MIRR	7,07%	7,12%	7,13%	7,67%	7,17%
DPP	1,01	1,01	1,01	1,08	1,02
PI	9,87	9,80	9,79	9,10	9,73
Cena sprzedaży produktu zapewniająca próg rentowności (NPV=0) zł/Mg	129,54 PLN	69,13 PLN	198,76 PLN	366,33 PLN	132,75 PLN

Źródło: [4]

Warianty skomasowane				
Wskaźniki finansowe	Wariant I – Spoiwa drogowe i budowlane	Wariant II – Kruszywo granulowane	Wariant III – Kruszywo + Elementy budowlane	Wariant IV - Nawozy
NPV	604 022,20	553 403,10	1 609 070,88	417 329,20
IRR	7,48%	7,17%	7,39%	7,36%
MIRR	7,22%	7,08%	7,18%	7,17%
DPP	1,02	1,01	1,02	1,02
PI	9,73	9,90	9,78	9,79
Cena sprzedaży produktu zapewniająca próg rentowności (NPV=0), zł/Mg	Spoiwo drogowe – 195 PLN Spoiwo budowlane – 370 PLN	55,56 PLN	Kruszywo – 57 PLN Elementy budowlane – 106 PLN	201 PLN

Źródło: [4]

4. WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ

Spółka CTL Maczki-Bór S.A. realizację strategii rozwoju zagospodarowania ubocznych produktów przemysłowych, w tym ubocznych produktów spalania, powierzyła spółce celowej MB EKO S.A.

Od roku 2010 MB EKO S.A., bazując na efektach przedmiotowego projektu badawczego, wdraża i rozwija metody zagospodarowania ubocznych produktów spalania.

Na bazie pozyskiwanych z rynku UPS oraz innych ubocznych produktów przemysłowych spółka wytwarza materiały antropogeniczne, do których zaliczają się m.in.:

- materiały antypirogenne,
- zasypki inżynierskie,
- grunty mineralne.

Podstawowym surowcem z grupy UPS są lotne oraz denne popioły fluidalne zagospodarowywane w skali roku w ilości kilkuset tysięcy Mg.

Ww. materiały w ramach rewitalizacji zdegradowanych terenów górniczych znajdują zastosowanie w realizowanych przez grupę CTL robotach ziemnych, które mają na celu przywrócenie terenu do nowych funkcji określonych w planie zagospodarowania przestrzennego. Przede wszystkim tworzone są tereny przemysłowe pod zabudowę wielkopowierzchniową wraz z towarzyszącą infrastrukturą drogową.

Galeria zdjęć:

Fot. 5. Rewitalizacja – odtworzenie rzeźby terenu.

Źródło: Zasoby własne CTL – Maczki-Bór S.A.

Fot. 6. Rewitalizacja – zabudowa wielkopowierzchniowa wraz z infrastrukturą towarzyszącą – stan aktualny

Źródło: Zasoby własne CTL Maczki-Bór S.A.

W roku bieżącym Spółka uruchamia kolejny projekt badawczo-rozwojowy, oparty na próbach terenowych, który ma na celu stworzenie kontrolowanych nasypów budowlanych z wykorzystaniem UPS pochodzących z kotłów fluidalnych oraz dodatkowych ubocznych produktów przemysłowych pochodzenia mineralnego.

5. WNIOSKI

1. Wypracowane w ramach prowadzonych badań technologie potwierdzają możliwość przetwarzania popiołów lotnych i dennych z kotłów fluidalnych na produkty rynkowe: kruszywa granulowane, elementy budowlane – elementy murowe, spoiwa drogowe, spoiwa budowlane czy mieszanki ulepszające dla rolnictwa. Własności produktów otrzymanych z popiołów fluidalnych nie ustępują tradycyjnym produktom rynkowym.
2. Wyniki analizy ekonomiczno-finansowej dla założonych warunków produkcji wyrobów z popiołów fluidalnych wykazały ich ceny zbliżone do cen rynkowych produktów tradycyjnych. Dla konsumentów mających wybór produktów bez popiołów i z ich udziałem nie jest to dobry element przetargowy. Jednocześnie na rynku znane są tańsze sposoby zagospodarowania popiołów z kotłów fluidalnych.

3. Problemem, przy nadpodaży produkcji wyrobów tradycyjnych, jest możliwość wdrożenia nowych produktów na rynek materiałów budowlanych i nawozów. Konieczne do poniesienia koszty marketingu i reklamy nie zostały uwzględnione w analizie ekonomiczno-finansowej.
4. Nową szansą dla produktów rynkowych z popiołów z kotłów fluidalnych jest Gospodarka o Obiegu Zamkniętym „Circular Economy" oraz ewentualne mechanizmy rynkowe, które mogą być przez nią uruchomione, w tym „pierwszeństwo dla surowców wtórnych" i możliwe instrumenty ekonomiczne.

LITERATURA

[1] Bachorz M.: *Polska droga do gospodarki o obiegu zamkniętym. Opis sytuacji i rekomendacje*, Instytut Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, stan na dzień 17 marca 2017 r.
[2] Hycnar J.: *Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych*, Katowice 2006.
[3] Zapotoczna-Sytek G., Łaskawiec K., Gębarowski P., Małolepszy J., Szymczak J.: *Popioły lotne nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego*, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa 2013 r.
[4] Materiały własne „ENERGOPOMIAR" Sp. z o.o. i CTL Maczki-Bór S.A.
[5] Aprobata techniczna IBDiM nr AT/2012-02-2863: *Hydrauliczne spoiwo drogowe CTL: HSD 5; HSD 12,5; HSD 22,5; HSDD*.

FROM WASTE TO PRODUCT. METHODS OF PROCESSING ASHES FROM FBC BOILERS INTO MARKET PRODUCTS

ABSTRACT

The tests carried out at CTL Maczki-Bór S.A. resulted in the development of technologies for processing dust from fluidized-bed boilers into the following products:

- *pelletized aggregates;*
- *building elements – masonry units;*
- *road binders;*
- *building binders;*
- *enhancement mixtures for agriculture.*

The tests enabled determination of individual, time-stable characteristics of the selected samples of dust from the fluidized-bed boilers.

Based on the tests on a laboratory scale, and then on a semi-industrial scale, the technologies for generating end products from dust from fluidized-bed boilers were developed. Concept designs were prepared and economic-financial analysis of end product generation processes was made. The prices of new products were estimated according to the assumed calculations.

For the selected product, i.e.; the road binder, the Technical Approval was obtained, which allows its practical application. Pelletized aggregate and masonry units may be used in accordance with the valid standards.