

Alina PIETRZAK
Politechnika Częstochowska

WYKORZYSTANIE UBOCZNYCH PRODUKTÓW WSPÓŁSPALANIA WĘGLA I BIOMASY W BUDOWNICTWIE JAKO PROEKOLOGICZNE DZIAŁANIE CZŁOWIEKA

Opisano dotychczasowe próby wykorzystania ubocznych produktów współspalania biomasy jako surowców wtórnych do produkcji np. materiałów budowlanych lub w przyjaznych dla środowiska procesach.

Słowa kluczowe: biomasa, węgiel, procesy współspalania biomasy, popioły lotne, produkcja betonu

WPROWADZENIE

Rozwój techniki i przemysłu wiąże się nie tylko z odniesionymi korzyściami, ale również z pojawieniem się nowych zagrożeń związanych z oddziaływaniem na środowisko naturalne. Niezaprzeczalnie działalność człowieka w znaczącym stopniu wpływa na otaczające nas środowisko przyrody. Wielokrotnie podkreśla się dziś, jak istotne dla przyszłości ludzkości staje się zrozumienie konsekwencji działań człowieka, racjonalne kształtowanie środowiska, a przede wszystkim odpowiednie gospodarowanie jego wciąż kurczącymi się zasobami naturalnymi.

Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii spowodowany jest głównie ciągłym wyczerpywaniem się tradycyjnych źródeł energii oraz nadmiernym zanieczyszczaniem środowiska naturalnego. W wielu krajach, między innymi także w Polsce, gdzie podstawowym źródłem pozyskania energii są kopalne paliwa stałe (węgiel kamienny i brunatny), bardzo poważnym problemem jest zanieczyszczenie atmosfery - emisją szkodliwych substancji gazowych, jak i utylizacja ubocznych produktów spalania (UPS). Dlatego tak duży nacisk nakłada się na wykorzystanie UPS paliw jako surowców wtórnych do produkcji np. materiałów budowlanych lub w przyjaznych dla środowiska procesach. W wyniku wieloletnich badań prowadzonych na całym świecie, określono podstawowe kierunki utylizacji tychże ubocznych produktów spalania z energetyki i ich szerokiego zastosowania w przemyśle materiałów budowlanych, górnictwa podziemnego, inżynierii lądowej czy w rolnictwie [1, 2].

1. BIOMASA, JAKO PALIWO

Biomasa to biodegradowalne frakcje produktów, odpadów i pozostałości z rolnictwa (włączając roślinne i zwierzęce substancje), leśnictwa i pokrewnych przemysłów, jak również biodegradowalne frakcje odpadów przemysłowych i rolniczych.

W ujęciu energetycznym biomasa to źródło energii pierwotnej, na które składają się wszelkie substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji i którego wykorzystanie w celach energetycznych nie jest ograniczone przepisami prawa [3].

Porównując właściwości węgla kamiennego stosowanego w energetyce i biomasy, należy stwierdzić, że jakościowo podstawowy skład pierwiastkowy jest taki sam. Różnice występują w udziałach poszczególnych pierwiastków i związków chemicznych. Węgiel kamienny zawiera czterokrotnie mniej tlenu, dwukrotnie więcej pierwiastka węgla, ale również więcej siarki i azotu niż biomasa. Konsekwencją tych właściwości jest wysoka zawartość części lotnych i wysoka reaktywność biomasy.

Niekorzystną cechą biomasy jest jej niższa wartość opałowa (zwłaszcza w stanie roboczym), wiąże się z wysoką i zmienną (w zależności od rodzaju biomasy i okresu jej sezonowania 45÷60%) zawartością wilgoci. Biomasa posiada znacznie niższą gęstość nasypową niż węgiel, czego konsekwencją jest droższy transport oraz wymagania dotyczące większych powierzchni składowisk. Jednocześnie biomasa charakteryzuje się dużo wyższą zawartością związków alkalicznych (zwłaszcza potasu), wapnia i fosforu. W przypadku słomy i innych roślin jednorocznych, a także liści i kory drzew również wysoką zawartością chloru, co może prowadzić do wzmożonej korozji oraz narastania agresywnych osadów w kotle podczas jej bezpośredniego spalania.

Dodatnią cechą biomasy (zwłaszcza drzewnej) są znacznie niższe, w porównaniu z węglem, zawartości popiołu i siarki [2].

W polskich elektrowniach rozdrobniona biomasa jest współspalana (co-firing) lub współgazowywana (co-gasification) w średnich i dużych kotłach energetycznych [4].

2. POPIOŁY POWSTAJĄCE W PROCESIE WSPÓŁSPALANIA BIOMASY

Według definicji zawartej w normie EN 450-1:2012 „Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacja i kryteria zgodności”, popiół lotny określony został w sposób następujący: „, drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren, otrzymany przy spalaniu pyłu węglowego, przy udziale lub bez udziału materiałów współspalanych, wykazujących właściwości pucolanowe i zawierających przede wszystkim SiO_2 i Al_2O_3 , przy czym zawartość reaktywnego SiO_2 , określana i opisana w EN 197 - 1, wynosi co najmniej 25% masy”. Uzupełnieniem przytoczonej definicji jest informacja, że popiół lotny otrzymuje się przez elektrostatyczne lub mechaniczne wytrącanie drobnych cząstek z gazów odlotowych z palenisk opalanych zmielonym węglem, z dodatkiem lub

bez materiałów współpalanych. Minimalna zawartość węgla w odniesieniu do suchej masy nie powinna być mniejsza niż 60 lub 50%, jeśli materiałem współpalanym są głównie odpady drzewne, a maksymalna zawartość popiołu lotnego pochodzącego z materiałów współpalanych nie będzie większa niż 30%.

Norma wprowadza dwa sposoby klasyfikacji popiołów lotnych:

- ze względu na straty prażenia oznaczone zgodnie z normą PN-EN 169-2:1994, przy czym czas prażenia wynosi 1 h:
 - popiół kategorii A - strata prażenia do 5%;
 - popiół kategorii B - strata prażenia od 2 do 7%;
 - popiół kategorii C - strata prażenia od 4 do 9%.
- ze względu na miałość, czyli pozostałości na sicie 45 μm w analizie na mokro:
 - popiół kategorii N - miałość nie przekracza 40% masy;
 - popiół kategorii S - miałość nie przekracza 12% masy.

Norma ta określa również warunki produkcji popiołów lotnych ze współspalania (między innymi: rodzaj materiałów współpalanych, ich udział), a także wymagania chemiczne i fizyczne stawiane popiołom lotnym odpowiadającym powyższej definicji.

Popiół lotny zdefiniowany jest również we wciąż często stosowanej normie branżowej BN-79/6722-09 „Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym. Podział, nazwy i określenia”, w której określony jest jako „pozostałość po spalaniu węgla kamiennego lub brunatnego, unoszoną ze spalinami”. Norma ta podaje kilka sposobów klasyfikacji popiołów lotnych:

- klasyfikacja ze względu na skład chemiczny:
 - popioły lotne krzemianowy (K) - powstające ze spalania węgla kamiennego;
 - popioły lotne glinowy (G) - powstałe ze spalania węgla brunatnego, w których dominującymi składnikami niepalnymi są minerały ilaste;
 - popioły lotne wapniowy (W) - otrzymywane ze spalania węgla brunatnego o znanych zawartościach związków wapiennych.
- klasyfikacja ze względu na rodzaj spalanej węgla:
 - popiół lotny z węgla kamiennego (PK);
 - popiół lotny z węgla brunatnego (PB).
- klasyfikacja w zależności od wielkości odsiewu na sicie o boku oczka kwadratowego $63 \div 71 \mu\text{m}$:
 - sortyment I - popiół drobny, o odsiewie poniżej 30% wagowo;
 - sortyment II - popiół średni, o odsiewie $30 \div 50\%$ wagowo;
 - sortyment III - popiół gruby, o odsiewie powyżej 50% wagowo;
- klasyfikacja w zależności od wielkości zmian masy po prażeniu w temperaturze 900°C :
 - gatunek 1 - wykazujący zmiany masy po prażeniu mniejsze niż 5% wagowo;
 - gatunek 2 - wykazujący zmiany masy po prażeniu $5 \div 10\%$ wagowo;
 - gatunek 3 - wykazujący zmiany masy po prażeniu większe niż 10% wagowo.

Powyższe klasyfikacje nie obejmują popiołów lotnych uzyskiwanych w trakcie równoczesnego procesu spalania węgla i biomasy, z procesów odsiarczania spalin

z użyciem sorbentów wapniowych oraz ze spalania fluidalnego połączonego z procesem odsiarczania. Popioły ze współspalania węgla i biomasy oraz ze spalania węgla w kotłach fluidalnych wymagają szerokich, kompleksowych badań w aspekcie ich różnych zastosowań [1].

W popiołach lotnych ze współspalania węgla z biomasą, podobnie zresztą jak w popiołach z węgla, dominują sferyczne szkliste cząstki o zróżnicowanych wymiarach. Podstawowymi składnikami chemicznymi popiołów z biomasy są SiO_2 , CaO , K_2O . Skład popiołów z biomasy w bardzo dużym stopniu uzależniony jest od rodzaju samej biomasy.

Duża zawartość fosforu (jonów fosforanowych) jest jednym z zagrożeń, które powoduje znaczne spowolnienie hydratacji, wydłużenie początku i końca czasu wiązania cementu, a także obniżenie jego wytrzymałości wczesnych. Fosfor, który przechodzi do fazy ciekłej zaczynu cementowego w formie jonów PO_4^{3-} , reagujących z jonami Ca^{2+} i tworzących na ziarnach cementu trudno rozpuszczalny fosforan wapnia $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ [5].

Popioły ze współspalania zawierają zdecydowanie mniej fazy szklistej (więcej składników krystalicznych), która składa się głównie z SiO_2 i Al_2O_3 , a więc nadal jest to szkło krzemianowo-glinowe, podobnie jak w tradycyjnych popiołach ze spalania węgla [1].

3. WYKORZYSTANIE POPIOŁÓW LOTNYCH I DENNYCH W PRODUKCJI BETONU

Badania prowadzone na całym świecie potwierdzają, że popioły z energetyki powstałe jako produkt uboczny przy spalaniu węgla i biomasy są bezpieczną substancją i mogą być bardzo wartościowym surowcem w wielu technologiach materiałów budowlanych. O ich szerokim zastosowaniu w budownictwie decyduje przede wszystkim duża miękkość (zbliżona do cementu), skład chemiczny i fazowy (zbliżony do mineralnych surowców ilastych) oraz reaktywność, zwłaszcza aktywność pucolanowa. Popiół lotny ze spalania węgla jest w dzisiejszych czasach nieodzownym składnikiem licznych rozwiązań technologicznych, m.in. w produkcji betonu zwykłego, betonu masywnego, hydrotechnicznego oraz betonów nowej generacji [2, 6].

Badając narastanie wytrzymałości zapraw z popiołem ze współspalania, stwierdzono, że zastąpienie 10% masy cementu popiołem nie powoduje innych zmian właściwości mechanicznych zapraw. Graniczną zawartością popiołu, dla której można osiągnąć wymagany poziom wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie, jest 20% w stosunku do masy cementu. Przy dalszym zwieszaniu zawartości popiołu obserwowany jest gwałtowny spadek wytrzymałości. Beton zawierający w swym składzie popiół lotny ze współspalania nie stanowi zagrożenia dla wód gruntowych i gleby, a tym samym dla ludzi i zwierząt [8].

Popioły lotne ze współspalania węgla i biomasy w ilości do 12% mogą być stosowane do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w takim samym

zakresie jak popioły krzemionkowe ze spalania samego węgla (brak znaczących różnic) [1]. Obecność popiołów w ilości 25% masy cementu powoduje opóźnienie procesu wiązania oraz wolniejsze narastanie wytrzymałości na ściskanie betonów w porównaniu do betonów wykonanych przy użyciu wyłącznie cementu portlandzkiego. Wytrzymałość wymaganą dla betonów konstrukcyjnych można uzyskać, wydłużając czas dojrzewania [8].

W Polsce ponad 30% otrzymywanych w elektrowniach popiołów służy jako składnik materiałów do wypełniania podziemnych wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku. Popioły kotne stosuje się również w drogownictwie, w technologii utwardzania (stabilizacji) gruntów, zwałowisk i nasypów.

ZAKOŃCZENIE

Ze względu na ilość powstających popiołów poszukiwanie sposobów na ich zagospodarowanie jest koniecznością. Jednakże bezpieczne ich stosowanie wymaga szerokiej wiedzy opartej na wynikach badań eksperymentalnych, uwzględniających aspekty środowiskowe i techniczne oraz zmiany uregulowań prawnych. Pochodzenie węgla i biomasy, udział biomasy w mieszance paliwowej, a także parametry spalania to jedne z czynników, które decydują o składzie chemicznym i mineralnym popiołów, a tym samym o jego właściwościach. Dla potencjalnego odbiorcy niezwykle ważne jest zachowanie stałych parametrów jakościowych surowca.

W przypadku popiołów lotnych obserwuje się dużą zmienność właściwości i składu, wynikającą z różnicowania i jakości paliwa. Normy dotyczące popiołów lotnych i ich zastosowania określają właściwości fizyczne, chemiczne i mineralogiczne, jakie muszą spełniać popioły lotne, by można je było stosować jako surowce wtórne. Dlatego w celu uzyskania wymaganych parametrów popiołu, ważne jest odpowiednie komponowanie mieszanki do kotła (nie tylko z punktu widzenia efektywności produkcji energii).

Odpowiednio stosowany popiół lotny ma pozytywny wpływ na właściwości zarówno mieszanki betonowej, jak i betonu oraz umożliwia wytwarzanie wysokojakościowego, trwałego betonu w sposób ekonomiczny i proekologiczny. Działania takie wpisują się zatem w filozofię zrównoważonego rozwoju.

LITERATURA

- [1] Zapotoczna-Sytek G., Łaskawiec K., Małolepszy J., Gębarowski P., Szymczak J., Popioły lotne nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego, Instytut Śląski Sp. z o.o., Warszawa 2013.
- [2] Giergiczny Z., Popioły lotne w składzie cementu i betonu, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [3] www.pigeo.org.pl
- [4] Golec T., Szymczak J., Zaręba R., Doświadczenia eksploatacyjne zebrane przez Instytut Energetyki podczas współspalania biomasy w kotłach energetycznych, [w:] Współspalanie biomasy

- i paliw alternatywnych w energetyce, red. M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis, Wydawnictwo IChPW Politechniki Śląskiej, Zabrze-Gliwice 2007.
- [5] Małolepszy J., Tkaczewska E., Wpływ popiołów ze współspalania węgla kamiennego i biomasy na proces hydratacji i właściwości cementu, Dni Betonu. Tradycja i Nowoczesność, [w:] IV Konferencja Dni Betonu, Wisła, 9-11 październik 2006, red. P. Kijowski, J. Deja, Polski Cement, Kraków 2006.
- [6] Rajczyk J., Technologia formowania konstrukcji betonowych, Seria Monografie nr 164, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2009.
- [7] Kosior-Kozberuk M., Odporność betonów zawierających popiół lotny ze współspalania węgla kamiennego i biomasy na wnikanie jonów chlorkowych, Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2010, 1.
- [8] Kosior-Kozberuk M., Nowe dodatki mineralne do betonu, Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2011, 2.

THE USE OF BIOMASS COMBUSTION BY-PRODUCTS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HUMAN ACTIVITY

This paper describes an attempt to use the existing biomass co-products as secondary raw materials for the production of eg. construction materials or environmentally friendly processes.

Keywords: biomass, coal, biomass co-products, production of construction materials