

Gabriel Borowski

## MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW Z ENERGETYKI DO BUDOWY DRÓG

**Streszczenie.** W publikacji przedstawiono potencjalne sposoby wykorzystania odpadów z energetyki typu popioły lotne i żużle. Dotychczasowe wyniki wielu badań wskazują na możliwości wykorzystania tych popiołów do budowy dróg. Przedstawiono właściwości fizyczno-chemiczne popiołów oraz opisano sposoby ich przetwarzania do postaci kawałkowej. Wskazano na korzyści technologii scalania oraz konieczność doboru odpowiednich parametrów procesu, podczas którego można uzyskać sztuczne kruszywo o znacznej wytrzymałości mechanicznej. W szczególności do scalania popiołów zaleca się brykietowanie. Brykiety z odpadów mogą być zamiennikiem kruszyw budowlanych stosowane jako materiał do podbudowy dróg.

### WPROWADZENIE

W Polsce do produkcji energii elektrycznej wykorzystuje się głównie węgiel kamienny i brunatny. Zużycie węgla kamiennego w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych wynosi obecnie około 50 mln ton rocznie i systematycznie spada na rzecz węgla brunatnego, którego zużycie wynosi obecnie ponad 60 mln ton rocznie.

Energetyczne spalanie wytwarza bardzo duże ilości żużli oraz popiołów, w tym popiołów lotnych. Każdego roku z krajowych elektrowni węglowych uzyskuje się aktualnie ok. 24 mln ton popiołów i żużla. Większość tych odpadów gromadzi się na składowiskach, a tylko około 15% masy gospodarczo wykorzystuje [11].

Coraz częściej stałe produkty spalania (UPS) są traktowane nie jako odpady przemysłowe, lecz jako cenny surowiec lub materiał. Jednym z ciekawszych kierunków zastosowania popiołów energetycznych jest budowa dróg [15].

Gospodarcze wykorzystanie UPS powinno być poprzedzone analizą rachunku ekonomicznego zawierającego głównie koszty składowania materiałów na składowiskach elektrownianych oraz koszty transportu do zakładów produkcyjnych. Uzupełnieniem tych kosztów są wydatki na technologię i urządzenia do przetwarzania popiołów na wyroby konkurujące ceną na rynku z kruszywami naturalnymi. Należy pamiętać, że przemysł budowlany dysponuje wieloma alternatywnymi materiałami do budowy dróg i dlatego istotne jest powszechne uświadamianie o pozytywnych aspektach środowiskowych wykorzystania UPS.

---

Gabriel BOROWSKI – Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

## MATERIAŁY DO BUDOWY DRÓG

Części składowe typowej drogi samochodowej obejmują:

- nawierzchnie bitumiczne powierzchniowe,
- warstwy nośne bitumiczne i betonowe,
- warstwa spodnia, podbudowa.

Wykonanie stabilnej podbudowy jest ważnym elementem nawierzchni drogowej [18]. Zasadniczą funkcją warstwy spodniej jest zmniejszenie naprężeń powstających od obciążeń eksploatacyjnych w górnych warstwach nawierzchni, które są przekazywane na podłoże. Na podbudowy drogowe działają ponadto czynniki klimatyczne, a mianowicie: wysokie temperatury dodatnie, niskie temperatury ujemne i cykle zamrażania-odmrażania.

Podbudowy drogowe wykonuje się z takich materiałów, jak [17]:

- kruszywa naturalne,
- beton asfaltowy i piasek otoczony asfaltem,
- beton cementowy,
- grunt stabilizowany cementem,
- grunt stabilizowany wapnem,
- mieszanki mineralno-emulsyjne,
- mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne,
- mieszanki mineralne z asfaltem spienionym.

Podbudowy dróg można wykorzystać również z odpadów przemysłowych, a w szczególności z odpadów pochodzących z:

- hutnictwa – żużle metalurgiczne,
- górnictwa – łupki powęglowe przepalone i nie przepalone,
- przemysłu budowlanego – materiał z przekruszonych konstrukcji betonowych,
- przemysłu elektro-ciepłowniczego – popioły lotne i żużle, mieszaniny popiołowo-żużłowe,
- przemysłu chemicznego – odpady z recyklingu opon samochodowych, odpady porafineryjne.

Spśród wyżej wymienionych dużym zainteresowaniem cieszy się wykorzystanie popiołów lotnych i żużli. Materiały te stosuje się, na przykład, do budowy dróg w Niemczech [8, 11].

Z tabeli 1 wynika, że popioły i żużle najszerszej wykorzystuje się do formowania korpusów dróg, stabilizacji gruntu oraz ulepszania warstwy spodniej i podbudowy. Materiały te stosowane są w postaci sypkiej, co jest uciążliwe ze względu na składowanie i transport, dlatego też coraz częściej są one przetwarzane do postaci kawałkowej. Odpowiednio zbrylone odpady mogą być zamiennikiem kruszyw naturalnych. Stosowanie kruszyw sztucznych pozwala zachować naturalne zasoby środowiska, materiały te muszą spełniać jednak specyficzne wymagania budownictwa [13, 19], takie jak:

- odporność mechaniczna na ściskanie,
- sprężystość,

**Tabela 1.** Wykorzystanie popiołów lotnych i żużli do budowy dróg w Niemczech [11]

Część składowa drogi	Zastosowanie popiołu	Zużycie na 1 m <sup>2</sup> drogi (grubość 1 cm)
<b>Nawierzchnie bitumiczne</b>		
Bitumiczne warstwy powierzchniowe	wypełniacz	10–30%, 4 kg/m <sup>2</sup>
Bitumiczne warstwy wiążące	wypełniacz	6–18%, 2 kg/m <sup>2</sup>
Warstwy nośne	wypełniacz	14–24%, 3 kg/m <sup>2</sup>
<b>Warstwy nośne</b>		
Bitumiczne warstwy nośne	wypełniacz	10–30%, 4 kg/m <sup>2</sup>
Betonowe warstwy nośne	dobudunek	2%, 1 kg/m <sup>2</sup>
Utwardzanie gruntu	grunt	30 kg/m <sup>2</sup>
<b>Warstwa spodnia, podbudowa</b>		
Wytwarzanie podbudowy	grunt	30 kg/m <sup>2</sup>
Ulepszanie warstwy spodniej i podbudowy	zamiast gruntu	30 kg/m <sup>2</sup>
<b>Pobocza</b>		
Wały chroniące przed hałasem	grunt	do 100%, 44 kg/m <sup>2</sup>

- odpowiednia gęstość,
- odporność na rozdrabnianie i ścieranie,
- odporności na działania czynników atmosferycznych, w szczególności mrozoodporność,
- nasiąkliwość i wodoprzepuszczalność.

Wykorzystanie popiołów lotnych z energetyki stale wzrasta nie tylko do budowy dróg, a także w innych dziedzinach przemysłu.

## WYKORZYSTANIE POPIOŁÓW

Dużym odbiorcą popiołów jest przemysł cementowy. Spełniają one rolę kruszywa i częściowo spoiwa w produkcji betonów komórkowych. Uzyskuje się wyroby o dobrych własnościach technicznych przy zmniejszonych kosztach produkcji [3, 9]. W produkcji betonów kruszywowych popioły spełniają rolę frakcji kruszyw i częściowo zamiennik cementu. Poprawiają urabialność i zmniejszają ciepło hydratacji betonów, zwiększają szczelność i odporność na działanie siarczanów.

Popioły stosowane są jako dodatki aktywne, mielone wspólnie z klinkierem portlandzkim i biorąc udział w reakcjach chemicznych zmieniają cechy użytkowe spoiwa prowadzą do powstania cementu pucolanowego. Stosuje się również popiół jako składnik masy surowcowego, z której wypalany jest klinkier portlandzki [3]. Popioły wpływają na zwiększenie masy cementu, poprawę jego mrozoodporności i odporności na działanie czynników agresywnych, zmniejszenie skurczu betonów.

W ostatnim czasie następuje szybki rozwój wielu odmian betonów i zapraw, w tym kompozytów betonowych z zastosowaniem popiołów lotnych i mikrosfer [11]. Dodatki popiołowo-mikrosferowe okazały się istotnym czynnikiem biorącym udział w ochronie materiałowo-strukturalnej kompozytów betonowych przed korozją. Możliwa jest też zamiana nawet do 30% cementu przez popiół w mieszance betonowej betonów wysokowartościowych. Na przykład Cementownia Kujawy przy produkcji 900 tys. ton cementu wykorzystwała 270 tys. ton popiołów zwilżonych oraz ok. 60 tys. popiołów suchych [9].

W górnictwie popioły lotne mają zastosowanie do wypełniania pustek podziemnych. Proces polega na wtłaczaniu popiołów lotnych pod ciśnieniem 0,05–0,2 MPa z dodatkiem wody. Stosuje się je ponadto do „ekranowania” obiektów zagrożonych pożarem, jak hałdy węgla. Powierzchnie hałdy pokrywa się warstwą uszczelniającą utworzoną z pulpy popiołowo-wodnej o udziale popiołów 70% [2].

Zastosowanie popiołów lotnych w rolnictwie do nawożenia gleb popiołem lotnym z węgla brunatnego poprawia ich właściwości fizyczne, zwiększając pojemność kompleksu sorpcyjnego, chłonność w stosunku do wody, zmniejsza gęstość oraz alkalinizuje gleby kwaśne. Popioły lotne bezpośrednio używane do nawożenia stosuje się jako nawóz wapniowo-magnezowy. Popioły z węgla brunatnego mogą odznaczać się nieco mniejszymi właściwościami alkalinizującymi niż podstawowe nawozy wapniowe, lecz w swoim składzie zawierają inne niezbędne do życia roślin składniki, zwłaszcza magnez. Większość powierzchni uprawnych w Polsce są ubogie w magnez [20].

W przemyśle tworzyw i farb zastosowania popiołów lotnych uwarunkowane jest ich barwą – dodaje się je tylko do tych wyrobów, dla których wysoki stopień białości nie jest wymagany. Popioły lotne wprowadzane jako napełniacz do tworzyw sztucznych w ilości do 25% wagowych w znaczącym stopniu obniżają ich koszty oraz poprawiają właściwości mechaniczne, zmniejszają palność, a także powodują zmianę gęstości. Proces napełniania tworzyw (polimerów) popiołami prowadzony jest w taki sposób, aby zachowały one charakterystyczne cechy tworzywa wyjściowego lub je poprawiały.

Popioły lotne stosuje się również do wyrobów ceramicznych, takich jak: cegły pełne, cegły kratówki, dziurawki oraz pustaki szczelinowe. Materiały te mogą być produkowane z surowców zawierających do 90% popiołów [20].

Do budowy korpusu wałów przeciwpowodziowych stosuje się mieszankę cementowo-popiołową. Mieszanka popiołu z niewielką ilością cementu poprawia własności wytrzymałościowe, a ponadto zastosowana w korpusie wału powoduje wystąpienia agregatów, tj. dużych zbrylonych kawałków, które usztywniają konstrukcję i nadają jej bardzo dobrą stateczność.

Od szeregu lat prowadzone są prace nad zastosowaniem popiołów do budowy nasypów komunikacyjnych [18]. Takie wykorzystanie jest najprostszym sposobem utylizacji tych odpadów nie wymagających dodatkowych procesów uszlachetniających oraz z zastosowaniem typowych maszyn do robót ziemnych.

W budowie dróg i robotach inżynierskich popioły stosowane są do stabilizacji nawierzchni, dróg, placów i powierzchni odkrywek węgla brunatnego. Mogą być zastosowane jako zamiennik cementu przy stabilizacji podbudowy dróg o małym natężeniu ruchu [5, 12].

Od 1976 r. pod kierunkiem prof. J. Pachowskiego prowadzone są prace nad zastosowaniem popiołów do podbudowy dróg lokalnych. Technologia ta zdała egzamin. Wykorzystanie popiołu pozwala na znaczne obniżenie kosztu przy uzyskiwaniu takich samych parametrów stabilizacji, jakie są uzyskiwane przy zastosowaniu czystego wapna lub cementu [18].

Jednym z przykładów jest wybudowana w 2003 r. droga do wsi Głogowiec w gm. Nowosolna, woj. łódzkie [14]. Wykorzystano popioły z Zespołu Elektrociepłowni Łódź S.A., gdzie powstaje 250 tys. Mg rocznie odpadów paleniskowych. Do podbudowy drogi o długości 1300 m i szerokości 4 m wykorzystano 3000 ton popiołów i żużla, nawierzchnię natomiast wykonano z betonu. Koszt wybudowania drogi z betonu okazał się porównywalny z kosztem budowy drogi asfaltowej (1 m<sup>2</sup> drogi betonowej kosztował 43,96 zł, zaś drogi asfaltowej 45,00 zł). Nieporównywalna jest natomiast trwałość drogi betonowej oraz niski koszt jej eksploatacji.

## WŁAŚCIWOŚCI POPIOŁÓW

Właściwości odpadów elektrownianych znacznie się różnią między sobą i zależą zarówno od rodzaju użytego węgla do spalania, jak i odmiany kotła energetycznego. W przypadku popiołów kierowanych do utylizacji przez ich wytwórców, zobowiązani są oni określić zarówno właściwości fizyczne, jak i skład chemiczny. Właściwości fizyczne popiołów obejmują najczęściej następujące czynniki:

- skład ziarnowy określony za pomocą analizy sitowej;
- wilgotność, gęstość właściwa (za pomocą piknometru helowego Micrometrics 1305), gęstość nasypową, gęstość objętościową, nasiąkliwość, wskaźnik płaskości;
- wytrzymałość na ściskanie po 1, 4, 11, 28, 40 i 90 dobach sezonowania (za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick);
- wymywalność zanieczyszczeń chemicznych (analiza jonów za pomocą ICP-AES, ICP-MS).

Popiół lotny powstaje w wyniku spalania rozdrobnionego węgla i opuszcza palenisko pyłowe wraz ze spalinami. Ma postać miękkiego mineralnego pyłu w kolorze od jasno do ciemnoszarego oraz jasnobrazowym, składa się w przeważającej części z tlenków krzemu, glinu i żelaza. Poza tym zawiera, tak samo jak naturalne skały, różnego rodzaju pierwiastki śladowe oraz wykazuje niewielki udział nie spalonego węgla. Składnikami popiołów są przede wszystkim tlenki: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O i TiO<sub>2</sub>. Popiół zawiera także śladowe ilości takich pierwiastków jak: Ba, Cu, Sr, Ni, Cr, Zn, Cd, Mo, V, Se, Pb, As i inne. Można wydzielić cztery grupy składników w popiele:

- składniki podstawowe (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO),
- składniki uboczne (MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O),
- składniki śladowe (TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Mn i inne),
- nie spalony węgiel (straty żarowe).

Pod względem składu chemicznego popiół lotny z kotłów konwencjonalnych jest zbliżony do popiołu wulkanicznego [10]. Szkliste, często kuliste cząstki mają średnicę 0,5–200 µm, a przeciętny ich rozmiar jest pomiędzy 5 a 20 µm. Skład fazowy popiołów lotnych to w 70–80% bezpostaciowa forma szklista. W tabeli 2 przedstawiono przykładowe składy chemiczne popiołów z kotłów konwencjonalnych i fluidalnych.

**Tabela 2.** Skład chemiczny popiołów lotnych z kotłów konwencjonalnych i fluidalnych [20]

Rodzaj popiołu	Zawartość [%]								
	straty prażenia	SiO <sub>2</sub>	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO wolne
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach konwencjonalnych z Elektrociepłowni Lublin-Wrotków	10,75	58,46	3,99	14,00	5,31	0,77	0,59	1,24	1,25
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach konwencjonalnych z Elektrowni Jaworzno	2,91	47,86	7,65	28,75	4,94	0,58	1,28	2,33	0,00
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych z Elektrociepłowni Tychy	13,79	31,39	3,35	14,70	19,75	4,68	0,74	2,08	6,67
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych z Elektrowni Siersza	5,55	40,43	6,82	21,52	11,52	6,13	1,58	1,96	1,48

Popioły z kotłów fluidalnych w przeciwieństwie do popiołów z kotłów konwencjonalnych składają się głównie z ziaren minerałów ilastych. Charakteryzują się też większą zawartością związków wapnia. W popiołach z kotłów fluidalnych nie stwierdzono zawartości szkła i mulitu. Odpady te mają wysoką aktywność pucolanową, czyli zdolność do wiązania ze związkami wapniowymi w połączeniu z wodą [20].

## TECHNOLOGIE PRZETWARZANIA POPIOŁÓW

Drobnziarniste popioły lotne oraz żużle mogą być zamiennikiem kruszyw naturalnych pod warunkiem odpowiedniego ich przetworzenia. Celem przetwarzania tych popiołów jest nadanie im postaci kawałkowej przez scalanie. Zaletą tego procesu jest ułatwienie transportu i zmniejszenie objętości odpadów oraz eliminacja wtórnego pylenia na składowiskach.

Opracowane technologie scalania materiałów drobnziarnistych umożliwiają wytworzenie lekkich kruszyw do zapraw betonowych oraz materiałów budowlanych na bazie odpadów z płuczek węglowych i popiołów elektrownianych, w tym popiołów z elektrowni wyposażonych w instalacje odsiarczania spalin [13, 21].

Często stosowanym procesem scalania jest granulacja, gdzie materiał uzyskuje formy kuliste o dość znacznym stopniu zagęszczenia, bez stosowania matryc oraz bez nacisku mechanicznego. Materiały w postaci drobnych proszków, mieszanek drobnoziarnistych, mas plastycznych oraz szlamów granulowane są w mieszalnikach talerzowych lub bębnowych przy odpowiednio dobranych parametrach procesu.

Proces granulacji jest procesem ciągłym i jednorodności średnicy granulek zależą od szybkości obrotów urządzenia, kąta nachylenia, wydajności natrysku wodnego, a także od jednorodności i szybkości dozowania materiału. Proces granulacji zarówno w granulacjach talerzowych, jak i bębnowych wymaga jednostajnego zasilania w mieszaninę surowcową i charakteryzuje się niskim zużyciem energii. Granulki produkowane na talerzu granulacyjnym odznaczają się wyższą gęstością i wytrzymałością bezpośrednio po wytworzeniu. Typowa wilgotność granulatu wynosi od 11 do 20%, w zależności od rodzaju materiału, i jest większa w materiałach o porowatych ziarnach, jak np. popiołach lotnych. Granulki mogą mieć maksymalną średnicę ok. 20 mm, ale należy pamiętać, że wydajność urządzenia gwałtownie spada wraz ze wzrostem ich rozmiarów. Granulacja jest procesem tanim i wydajnym, jednak mniejsza jest odporność mechaniczna produktów w porównaniu do brykietowania. Na przebieg formowania się granulek i ich wytrzymałość mechaniczną bardzo duży wpływ ma homogeniczność masy poddawanej granulacji. Wysoki stopień ujednorodnienia mieszaniny pozwala z kolei na znaczne ograniczenie ilości spoiw dodawanych do mieszaniny [6].

Dodatki wiążące wpływają na wzrost wytrzymałości mechanicznej granulatów. Często stosowanym dodatkiem jest wapno hydratyzowane oraz cement. Niedogodnością jednak jest wysoka wymywalność jonów chlorkowych lub siarczanowych, co może prowadzić do korozji w podłożach drogowych. Należy zatem rozważyć zastosowanie domieszek uniemożliwiających wymywalność składników chemicznych z granulatów.

Innym popularnym procesem scalania mas drobnoziarnistych jest brykietowanie. Brykietowanie popiołów elektrownianych jest często stosowane w celu ich hutniczego wykorzystania [1, 7]. Znane są liczne przykłady technologii, w których brykiety takie stanowią jeden z komponentów wsadu pieca metalurgicznego w celu uzupełnienia zawartości krzemu w metalu. Do wytwarzania brykietów wykorzystuje się mieszaninę pyłów elektrownianych z substancjami wiążącymi. Jako substancje wiążące stosowano pochodne celulozy (metyloceluloza, hydroetyloceluloza), a ponadto substancje przyspieszające proces twardnienia (tlenek wapnia i magnezu) oraz substancje grafitujące (grafit, aluminium) [4]. Do wytwarzania brykietów stosowano również mieszaninę popiołu lotnego z dodatkiem surowców mineralnych, gliny oraz wapna hydratyzowanego. Brykiety takie przetapiano w celu odzyskania włókien mineralnych [16].

W procesie brykietowania uzyskuje się wyroby o wyższej odporności mechanicznej niż metodą granulacji [1]. Brykiety charakteryzują się ponadto większą gęstością, a także mogą mieć różnorodne rozmiary i kształty. Technologia wytwarzania brykietów z popiołów elektrownianych wykorzystanych do podbudowy dróg powinna obejmować:

- dobór odpowiedniego składu ziarnowego,
- usunięcie niepożądanych domieszek i zanieczyszczeń,
- określenie najkorzystniejszego zakresu wilgotności materiału,

- określenie rodzaju i zawartości lepiszcza,
- dobraniu rodzaju brykietarki i parametrów brykietowania.

Wyniki badań brykietowania wykazały, że duże znaczenie ma charakterystyka i stopień zagęszczenia brykietu [7]. O efekcie zagęszczania osrodka sypkiego decydują takie czynniki jak mikrotwardość materiału, skład ziarnowy, współczynniki tarcia zewnętrznego i wewnętrznego oraz boczny nacisk. Istotna jest również wilgotność materiału oraz zawartość lepiszcza, na przykład roztwory z wapnem hydratyzowanym lub szkłem wodnym. Oprócz lepiszcza do mieszanki dodaje się substancje modyfikujące (domieszki). W tabeli 3 przedstawiono podstawowe rodzaje domieszek stosowane w przemyśle budowlanym [17].

**Tabela 3.** Zastosowanie podstawowych rodzajów domieszek [17]

Rodzaj domieszek	Przykłady domieszek	Efekty zastosowania
Uplastyczniające i upłynniające	lignosulfonian wapnia, żywica melaminowa, polikarboksylany	zwiększenie ciekłości mieszanki lub zwiększenie wytrzymałości
Przyspieszające wiązanie lub twardnienie	mrówczan wapnia	szybki przyrost wytrzymałości bez obróbki cieplnej
Opóźniające wiązanie	fosforan wapnia	utrzymywanie mieszanki w stanie ciekłym
Napowietrzające	abietynian sodu	wzrost mrozoodporności
Przeciwmrzowe	rodanek sodu	umożliwienie wykonywania w warunkach zimowych
Uszczelniające	mikrokrzemionka	zmniejszenie nasiąkliwości betonu

Ujednorodnienie prowadzi się w mieszarkach łopatkowych lub ślimakowych z zainstalowanymi elementami grzejnymi, umożliwiającymi dosuszenie mieszaniny zawierającej lepiszcze oraz domieszki. Zawartość lepiszcza powinna wynosić wagowo około 5–10% masy materiału, zawartość domieszek natomiast jest znacznie niższa. Po dokładnym wymieszaniu komponentów materiał poddaje się dalszemu dosuszeniu w suszarce bębnowej w temperaturze ok. 80 °C tak, aby uzyskać wilgotność mniejszą od 10%. Po podsuszeniu przenośnikiem kubełkowym dostarczana jest do prasy walcowej. Wytworzone brykiety oddziela się na ruszcie separatora od podziarna, a następnie przenośnikiem taśmowym transportuje do kontenerów składowych. Składowanie (sezonowanie) przez okres co najmniej 120 h korzystnie wpływa na zwiększenie odporności mechanicznej brykietów.

Prasy walcowe do brykietowania są urządzeniami bardzo wydajnymi i umożliwiają wytwarzanie wyrobów w sposób ciągły. Obecnie produkowane brykietarki posiadają walce umieszczone zarówno poziomo – obok siebie jak i pionowo – jeden nad drugim. Pierścienie formujące mogą być wymienne, ale stosuje się też zintegrowane na stałe z walcami, co pozwala na zastosowanie dogrzewania bądź chłodzenia wodą powierzchni

formujących. Występują ponadto segmentowe pierścienie formujące, składające się z roboczych sekcji oddzielnie mocowanych na powierzchni walców. Zaletą stosowania takich pierścieni jest duża łatwość i szybkość zmian wielkości i kształtu brykietów w zależności od rodzaju scalanej mieszanki. Do podawania materiału instaluje się zasobniki grawitacyjne lub dogęszczające z mechanizmami śrubowymi (ślimakowe), często zaopatrzone w system grzejny umożliwiający dosuszanie mieszanki. Zasobniki mogą posiadać ponadto urządzenie mechanicznie rozdrabniające ziarna mieszanki.

Istotne znaczenie dla przebiegu procesu brykietowania i jakości otrzymanych brykietów ma także kształt powierzchni roboczej pierścieni formujących nadający określony kształt brykietom. Na przykład trwałe brykiety w kształcie „siodła” uzyskano z materiału podawanego z zasobnika grawitacyjnego przy następujących parametrach procesu [1]:

- prędkość obwodowa walców  $v = 0,2$  m/s,
- wartość nacisku jednostkowego  $P = 130$  MPa,
- moment obrotowy  $M = 26$  kNm,
- szczelina między walcami  $a = 1,5$  mm.

Stosując metodę brykietowania uzyskuje się wyroby o większej odporności mechanicznej w porównaniu z granulowaniem. Wyroby wykazują bardziej zróżnicowany kształt i większe gabaryty. Uzyskanie dobrych jakościowo brykietów wymaga stosunkowo dużych nakładów energii, jednak sam proces zachodzi łatwiej i nie wymaga stałej kontroli wilgotności mieszaniny podawanej do zasobnika prasy brykietującej.

## WNIOSKI

1. Zasadne jest scalanie drobnoziarnistych odpadów elektrownianych, które będą wykorzystane do budowy dróg.
2. Do scalania zaleca się stosować metodę brykietowania w prasach walcowych, co umożliwia uzyskanie wyrobów o wysokiej wytrzymałości mechanicznej.
3. Korzystne właściwości brykietów uzyskuje się poprzez zastosowanie odpowiednich dodatków do mieszanki oraz doprowadzenie jej do określonej wilgotności. Na jakość brykietów dobry wpływ ma również ich sezonowanie.
4. Brykietowanie znacznych ilości odpadów elektrownianych pozwoli na korzystne ich zagospodarowanie. Podstawowe korzyści to zmniejszenie zużycia surowców oraz likwidacja wielu składowisk odpadów paleniskowych zanieczyszczających środowisko naturalne.

## PIŚMIENNICTWO

1. Borowski G. Kuczmaszewski J.: Utylizacja drobnoziarnistych odpadów metalowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005.
2. Chrzanowski Z.: Formalno-prawne zasady wykorzystania popiołów do makroniwelacji i rekultywacji wyrobisk. W: Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Rekultywacja Terenów zdegradowanych w województwie szczecińskim”, Nowe Czarnowo 1995.
3. Gawlicki M, Roszczyniański W.: Wykorzystanie odpadów energetycznych jako składnika niamarów surowcowych do produkcji klinkieru portlandzkiego. W: Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Zagospodarowanie pyłów i popiołów z energetyki i ciepłownictwa – technologia, organizacja, ekonomika”, Sopot 1995.
4. Głajcar A. i in.: Sposób wytwarzania brykietów z pyłów i drobnych frakcji żelazostopów. Urząd Patentowy RP, nr PL 161270, Instytut Odlewnictwa w Krakowie, 1993.
5. Granops T.: Wyniki badań i prognozy wykorzystania popiołów z Dolnej Odry w drogownictwie. W: Konferencja Międzynarodowa nt. „Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin”, Świnoujście 1994.
6. Heim A.: Zagadnienia procesowo-aparaturowe aglomeracji. Materiały IX Ogólnopolskiej Konferencji w problematyce inżynierii środowiska pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska, 2005.
7. Hryniewicz M.: Badania procesów przygotowania drobnoziarnistych odpadów żelazonośnych do recyklingu. W: Materiały IV Forum Inżynierii Ekologicznej, Nałęczów 2002.
8. Huth H., Kubisa R.: Wykorzystanie odpadów z elektrowni na bazie energetyki niemieckiej. W: Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Produkty uboczne spalania węgla w energetyce jako pełnowartościowy surowiec”, Świnoujście 1996.
9. Jabłoński J.: Wykorzystanie gospodarcze popiołów w procesie produkcji cementu na przykładzie cementowni Kujawy-Lafarge. W: Materiały Seminarium Nauk.-Szkol. nt. „Popioły a środowisko”, Prędocim k/Bydgoszczy 1996.
10. Jarema-Suchorowska S.: Wyniki badań nad utylizacją odpadów paleniskowych. W: Konferencja Międzynarodowa nt. „Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin”, Świnoujście 1994.
11. Kalotka J.: Utylizacja odpadów z elektrowni i elektrociepłowni – popioły, mikrosfery. ([http://zuter.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=63&Itemid=151](http://zuter.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=151)).
12. Kaszyńska M.: Wpływ popiołów lotnych z Dolnej Odry na własności betonów. W: Konferencja Międzynarodowa nt. „Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin”, Świnoujście 1994.
13. Kęps W.: Próba odzysku popiołów lotnych i zużlili z instalacji termicznego przekształcania odpadów jako kruszywa sztucznego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, tom 24, zeszyt 3/3, 2008.
14. Klimkiewicz P.: Droga popiołowo-betonowa w Nowosolnej. *Magazyn Autostrady* 5, 2004: 32–34.
15. Kukiełka J.: Wykorzystanie popiołów lotnych do budowy dróg. *Ekoinżynieria* 4, 1998: 8–11.
16. Mianowski A. i inni: Sposób wytwarzania brykietów z surowców mineralnych. Urząd Patentowy RP, nr PL 152879, Politechnika Śląska w Gliwicach, 1991.
17. Osiecka E.: Materiały budowlane. Spoiwa mineralne – kruszywa. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 2005.

18. Pachowski J.: Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976.
19. Parylak K.: Szczególne właściwości inżynierskie popiołów lotnych z węgla kamiennego jako materiałów do budowy nasypów komunikacyjnych. W: Materiały XII Międzynarodowej Konferencji nt. „Popioły z energetyki”, Sopot 2005.
20. Piotrowski Z., Uliasz-Bocheńczyk A.: Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, tom 24, zeszyt 2/1, 2008.
21. Wileński P.: Sposoby i warunki wykorzystania energetycznych odpadów paleniskowych w budownictwie komunikacyjnym. W: Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Produkty uboczne spalania węgla w energetyce jako pełnowartościowy surowiec”, Świnoujście 1996.

## **POSSIBILITIES OF UTILIZE OF POWER INDUSTRY WASTES TO BUILD A ROADS**

### **Summary**

Potential ways of utilize the ashes and slag wastes from power industry there were presented in the paper. The research results received up to now shows of ashes usability for building roads. The physical and chemical properties of ashes were presented as well as ways of processing to chunk form were described. There were shown the advances of integrating technology with properly selection of process parameters, goes to obtain dummy aggregates on high mechanical endurance. Among of agglomerate processes the briquetting of ashes were particularly recommended. For roads foundation briquettes made from wastes would be interchangeable with aggregates building materials.