

Marian NIESLER

Instytut Metalurgii Żelaza

Martyna NOWAK

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla – Centrum Badań Technologicznych

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PALIWA ALTERNATYWNEGO Z ODPADÓW KOMUNALNYCH W PROCESIE SPIEKANIA RUD ŻELAZA

W artykule przedstawiono ocenę możliwości wykorzystania paliwa alternatywnego z odpadów komunalnych w procesie spiekania rud żelaza. Stwierdzono, że możliwe jest wykorzystanie tego paliwa jako zamiennika części koksiku lub antracytu oraz jako składnik poprawiający przewodność mieszanki spiekalniczej. Należy jednak zwrócić uwagę na zawartość chloru w tych paliwach, który negatywnie wpływa na skuteczność działania elektrofiltrów. Wykorzystanie tych paliw w procesie spiekania wymaga ścisłej współpracy IMŻ i ICHPW w celu doboru odpowiednich właściwości paliw alternatywnych.

Słowa kluczowe: koksik, antracyt, paliwa alternatywne, spiekanie rud żelaza, chlor, elektrofiltr

THE ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY TO UTILISE AN ALTERNATIVE MUNICIPAL WASTE FUEL IN THE IRON ORE SINTERING PROCESS

This article presents the assessment of the possibility to utilise an alternative municipal waste fuel in the iron ore sintering process. This fuel was found to be able to be used as a substitute for a part of coke breeze or anthracite and as a component improving the permeability of sinter mix. However, attention should be paid to chlorine contents in these fuels, which have an adverse impact on the efficiency of electrostatic precipitators. The use of these fuels in the sintering process requires close cooperation between the Institute for Ferrous Metallurgy and the Institute for Chemical Processing of Coal to select proper properties of alternative fuels.

Key words: coke breeze, anthracite, alternative fuel, iron ore sintering, chlorine, electrostatic precipitator

1. WPROWADZENIE

Według Ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21) odpady to substancje lub przedmioty, których posiadacz pozbywa się lub jest do ich pozbycia zobowiązany. W 2012 r. w Polsce wytworzono ok. 125 mln ton odpadów przemysłowych oraz 11 mln ton odpadów komunalnych. W 2012 r. odpady przemysłowe były głównie poddawane procesowi odzysku (72,3%). Procesowi unieszkodliwiania poddano 25,6% odpadów przemysłowych, z czego 21,9% składowano. Odpady komunalne w znaczącej części (85% wszystkich zebranych odpadów) zostały poddane procesowi unieszkodliwiania, z czego głównie było to składowanie, niewielką część stanowiły procesy biologiczne (kompostowanie) [1]. Ze względu na zakaz składowania odpadów komunalnych o wartości opałowej powyżej 6 MJ/kg oraz zawartości ogólnego węgla organicznego powyżej 5% suchej masy od 2016, należy znaleźć inne zastosowanie dla odpadów roku [2].

Nawiązując do wymagań ww. Ustawy Zakład Procesów Surowcowych IMŻ, na podstawie charakterystyki paliwa alternatywnego podjął próby zastosowania biomasy w niektórych procesach metalurgicznych, a

w szczególności w procesach ocieplania zwierciadła ciekłej stali oraz spiekania rud żelaza. Wykorzystanie odpadów komunalnych w postaci paliwa alternatywnego może być jednym z kierunków wykorzystania tych odpadów, zgodnie z wymogami Ustawy. Interesującym wyjściem może być próba jego zastosowania jako zamiennika części paliwa (koksiku, antracytu) np. w procesie spiekania rud żelaza.

2. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA IMŻ W STOSOWANIU BIOMASY JAKO PALIWA ALTERNATYWNEGO W PROCESACH METALURGICZNYCH

Zgodnie z Ustawą z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biopaliwach i biokomponentach ciekłych (Dz.U. 2006 nr 169 poz. 1199) biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, a w szczególności surowce rolnicze.

W hutnictwie wykorzystuje się biomasę np. odpowiednio preparowaną łuskę ryżową, która stosowana jest do pokrywania powierzchni np. wlewków celem jej izolacji termicznej.

W Polsce produkt ten jest szeroko stosowany lecz w całości pochodzi z importu. Natomiast krajowe rolnictwo i leśnictwo wytwarza duże ilości biomasy o bardzo zróżnicowanych właściwościach. Przeprowadzono więc badania mające na celu zastąpienie łuski ryżowej krajowym odpowiednikiem lub odpowiednio dobraną mieszaniną dostępnych surowców. Surowce te podobnie jak łuska muszą być poddane odpowiedniej obróbce zanim zostaną skierowane do przemysłowego wykorzystania w hutnictwie (Rys. 1).

Ocena zasypki ocieplająco-izolującej powinna uwzględniać jej właściwości izolujące i ocieplające (czyli efektywność reakcji egzotermicznych, które powinny zachodzić podczas podgrzewania zasypki). Niezależnie od tych dwóch zasadniczych cech odbiorcy wymagają od tego typu zasypek również braku pylenia podczas dozowania i dymienia podczas stosowania. Do prób zastąpienia łuski ryżowej wytypowano otręby jęczmienne, owsiane, pszenne, żytnie, kukurydziane oraz łuskę gryki, prosa, słonecznika i orzecha ziemnego (Rys. 2).

Badania przeprowadzone w analizatorze termicznym firmy NETZSCH wykazały, że materiały te mają

podobne właściwości jak łuska ryżowa. Stwarza to dogodne warunki do swobodnego komponowania zasypek o szerokim zakresie parametrów użytkowych poprzez mieszanie różnych odpadów zbożowych. Zwraca uwagę zdecydowanie niższa (o rząd wielkości) ilość energii powstającej w wyniku spalania łuski ryżowej i pozostałych odpadów zbożowych, co zdecydowanie przemawia za stosowaniem krajowych odpadów zbożowych do wytwarzania zasypek izolująco-ocieplających (Rys. 3).

Następnie biomasę poddano zgazowaniu w atmosferze obojętnej w temperaturze 800°C. Zgazowana biomasa, podczas stosowania w roli zasypki izolująco-ocieplającej nie wydzielala żadnych dymów lub gazów. Z badań składu chemicznego wynika, że odpady zbożowe po suchej rafinacji zawierają kilkakrotnie więcej węgla niż łuska ryżowa i w odróżnieniu od niej nieznaczne ilości SiO₂ (do 7%). Wysoka zawartość węgla i niska SiO₂ w rafinowanych odpadach zbożowych skłania do mieszania ich z odpadami zawierającymi np. krzemionkę przed zastosowaniem ich do ocieplania powierzchni kąpieli metalowej. Powinno to zapobiegać zbyt niemu ubytkowi masy i objętości zasypki w wyniku utleniania się węgla. Wyniki laboratoryjnych wytopów doświadczalnych z zastosowaniem łuski ryżowej i zasypki na bazie rafinowanych odpadów zbożowych zmieszanych z żużlem ze spalania węgla brunatnego w krajowych



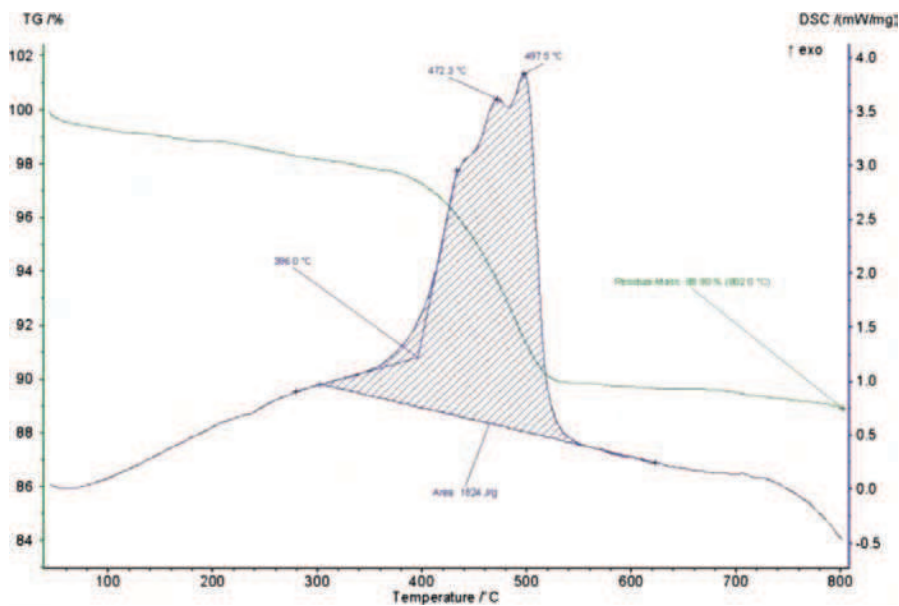
Rys. 1. Łuska ryżowa: a) Łuska ryżowa nieprzetworzona (świeża), b) „Popiół łuski ryżowej” przetworzony termicznie produkt handlowy, wykorzystywany w hutach i odlewniach [3]

Fig. 1 Rice hull: a) Raw rice hull (fresh), b) “Rice husk ash” – thermally processed commercially available product used in steelworks and foundries [3]



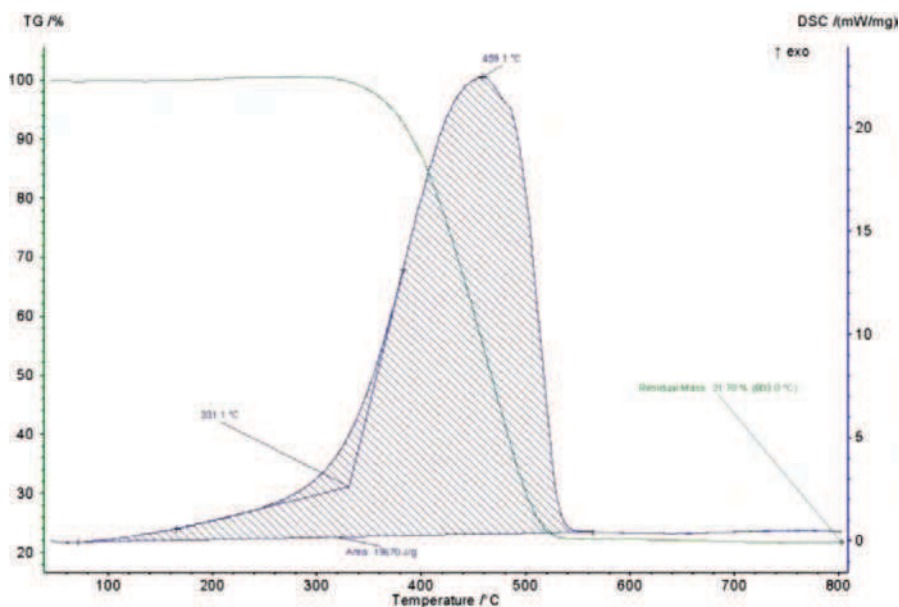
Rys. 2. Przykłady wytypowanej biomasy: a) Otręby owsiane, b) Łuska orzecha ziemnego [3]

Fig. 2. Examples of selected biomass: a) Oat bran, b) Peanut hull [3]



Zmiana masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) w funkcji temperatury dla łuski ryżu w atmosferze utleniającej

Change in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for rice hull in the oxidising atmosphere



Zmiana masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) w funkcji temperatury dla próbki łuski orzecha ziemnego w atmosferze utleniającej

Change in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for peanut hull sample in the oxidising atmosphere

Rys. 3. Przykład analizy termicznej wybranego rodzaju biomasy [3]

Fig. 3. Example of thermal analysis for the selected type of biomass [3]

elektrowniach wykazały wyższą skuteczność zasyпки na bazie krajowych odpadów zbożowych niż zasyпки z łuski ryżowej [3, 4].

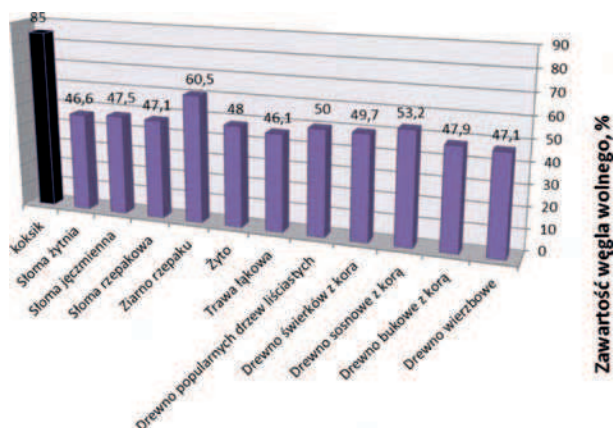
Głównym problemem, który musi być rozwiązany, aby prowadzić dalsze badania, a także by docelowo zasyпки na bazie odpadów zbożowych wyparły łuskę ryżową z krajowych stalowni i odlewni, jest opracowanie skutecznej, ekologicznej i taniej technologii zgazowania odpadów zbożowych. To zagadnienie wykracza poza obecne możliwości IMŻ, ze względu na brak odpowiednich urządzeń. Niezbędne warunki do przeprowadzenia badań nad tym procesem posiada Centrum Badań Technologicznych w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla (IChPW) w Zabrze.

Inną drogą wykorzystania biomasy, którą badał IMŻ jest wykorzystanie tych tworzyw jako paliwa w procesie spiekania rud żelaza [5]. Badano czy istnieje uzasadnienie technologiczne, ekonomiczne i ekologiczne, zastąpienia w procesie spiekania rud żelaza części kok-

siku przez biomasę. Analizowano jaki udział biomasy w mieszance spiekalniczej nie powoduje pogorszenia parametrów procesu spiekania oraz właściwości spieku.

Jednym z podstawowych kryteriów branych pod uwagę przy doborze paliwa do procesu spiekania jest zawartość węgla. Na rys. 4 przedstawiono porównanie zawartości węgla w koksiku w stosunku do węgla zawartego w wybranych gatunkach biomasy.

Porównując parametry koksiku z biomasą do badań wybrano zrębki drewniane (agro), żyto (otręby), słomę rzepakową oraz dodatkowo masłosz, gdzie była najwyższa zawartość węgla oraz najmniejsza zawartość popiołu. Kolejnym kryterium jest wielkość ziarna paliwa podawanego do procesu spiekania. Standardowo wielkość ziarna koksiku lub antracytu podawanego do procesu nie powinna przekraczać 3 mm. Dlatego też w celu efektywnego przebiegu procesu spiekania biomasę należało



Rys. 4. Zawartość węgla w krajowej biomase [5]

Fig. 4. Carbon content in domestic biomass [5]

domielić do odpowiedniej frakcji. Na rys. 5 przedstawiono przykład biomasy surowej i po przemiale.

Biomasa bardzo trudno się rozdrabnia, powstaje bardzo dużo frakcji poniżej 1 mm oraz powyżej 5 mm.



Rys. 5. Zrębki drewniane (Agro): a) przed mieleniem, b) po mieleniu [5]

Fig. 5. Wooden chips (Agro): a) before grinding, b) after grinding [5]

Z punktu widzenia spiekania rud jest to charakterystyka niekorzystna, powodująca zwiększone zużycie paliwa i zmiany w przewodności mieszanki spiekalniczej.

Przewodność to zdolność przepływu gazów przez warstwę mieszanki spiekalniczej. Zależy ona m.in. od ziarnistości mieszanki oraz jej wilgotności. Badania przewodności mieszanki były prowadzone dla każdego rodzaju biomasy.

Badania spiekania rud z udziałem biomasy jako zamiennika części koksiku prowadzono w laboratoryjnym stanowisku przeznaczonym do prób spiekania rud żelaza i ich koncentratów oraz innych materiałów m.in. odpadów (Rys. 6).



Rys. 6. Laboracyjne stanowisko spiekania rud żelaza i odpadów

Fig. 6. Laboratory iron ore and waste sintering workstation

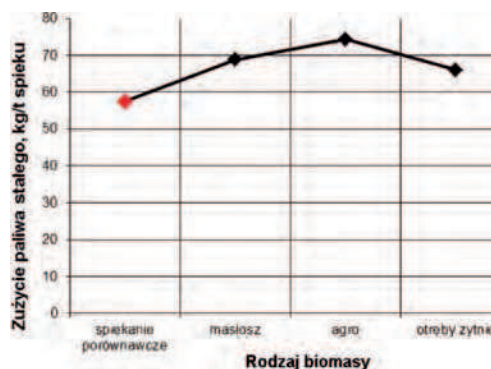
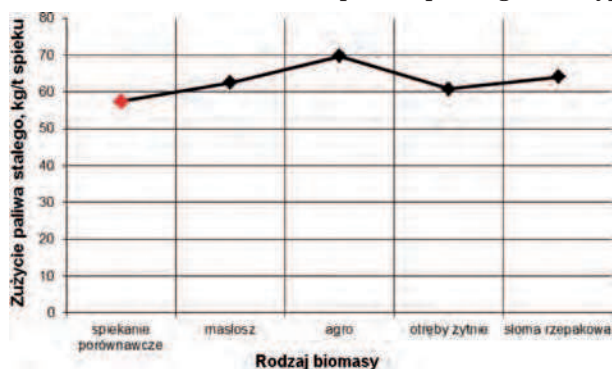
Układ spiekania wyposażony jest w dwustopniowy i nie stosowany w takiej konfiguracji nigdzie w świecie, układ oczyszczania spalin. Pierwszy stopień usuwania substancji szkodliwych odbywa się poprzez urządzenie mikrofalowe ATON (dopalenie gazów). Jako drugi stopień usuwania szkodliwych substancji oraz pyłów zastosowano filtr z wkładami ceramicznymi. Dodatkowo filtr wyposażony jest w układ dozowania różnego rodzaju sorbentów (np. wapna), którego zadaniem jest skuteczniejsza neutralizacji szkodliwych substancji.

Próby spiekania prowadzone były przy zamianie części koksiku biomasą na poziomie 5% i 10% w mieszance spiekalniczej. Ze względu na bardzo duże problemy z przygotowaniem słomy rzepakowej zastosowano ją tylko w ilości do 5%. Na rys. 7 przedstawione wybrane wyniki prób spiekania.

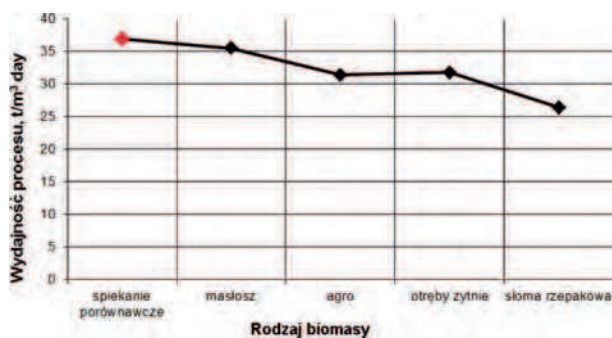
Stwierdzono, że zastosowanie biomasy na poziomie do 10% jako zamiennika części koksiku w procesie spiekania, powoduje przede wszystkim spadek przewodności mieszanki, a co za tym idzie spadek wydajności procesu. Ponadto stwierdzono zwiększone zużycie sumarycznej ilości paliwa (koksik + biomasa), co wpływa niekorzystnie na ekonomikę procesu spiekania. Stwierdzono również zwiększoną emisję CO_2 , CO , NO_x , w gazach odlotowych. Wydaje się więc, że stosowanie biomasy w tym procesie jest nieefektywne.

W związku z tym kolejne prace zostaną ukierunkowane na wykorzystanie odpadów komunalnych o wartości opałowej powyżej 6 MJ/kg oraz zawartości ogólnego węgla organicznego powyżej 5% suchej masy. Interesującym wyjściem wydaje się wykorzystanie frakcji palnych tych odpadów do produkcji paliwa alternatywnego, a następnie próba jego wykorzystania

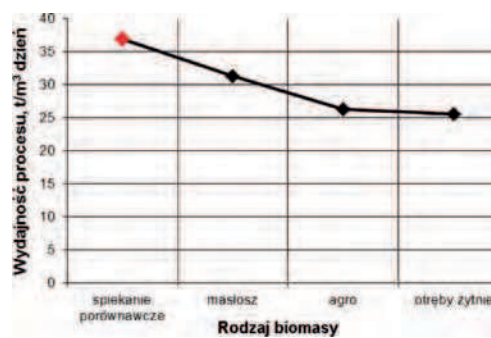
Zużycie paliwa w zależności od rodzaju biomasy użytej jako zamiennik koksiku
 Fuel consumption depending on the type of biomass used a substitute for coke breeze



Zmiana wydajności w zależności od rodzaju biomasy użytej jako zamiennik koksiku
 Change in productivity depending on the type of biomass used a substitute for coke breeze



zamiennik 5% koksiku
 substitute for 5% of coke breeze



zamiennik 10% koksiku
 substitute for 10% of coke breeze

Rys. 7. Wybrane parametry procesu spiekarni z udziałem biomasy jako zamiennika 5% i 10% koksiku [5]

Fig. 7. Selected parameters of the sintering process with use of biomass as a substitute for 5% and 10% of coke breeze [5]

jako zamiennika części paliwa (koksiku, antracytu) np. w procesie spiekarni rud żelaza.

3. PALIWO ALTERNATYWNE

Paliwem alternatywnym określa się substancje palne przeznaczone do realizacji określonego procesu termicznego. Takie paliwo powstaje na bazie paliw naturalnych, sztucznych, substancji palnej różnego pochodzenia. Surowcami do produkcji paliwa alternatywnego najczęściej są: tworzywa sztuczne, tekstylia, papier, drewno oraz guma [6].

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, paliwo alternatywne ma kod odpadu 19 12 10 – odpady palne (paliwo alternatywne), czyli w dalszym ciągu uznawane jest jako odpad. Paliwo alternatywne może być wykorzystywane w następujących procesach:

- Spalania w spalarniach odpadów komunalnych przystosowanych do współspalania paliwa alternatywnego,
- Spalania w specjalnych obiektach energetycznych przystosowanych do spalania tylko paliwa alternatywnego,
- Współspalania w przemyśle cementowym,
- Współspalania w kotłach energetycznych.

W praktyce krajowej stałe paliwa alternatywne wytwarzane z odpadów, główne zastosowanie znajdują w przemyśle cementowym w procesach spalania lub współspalania. Z punktu widzenia procesu produkcji

cementu, niezbędne jest odpowiednie przygotowanie odpadów, głównie pod kątem kaloryczności, jednorodności parametrów oraz składu chemicznego. Dokładny opis tego procesu przedstawiło Stowarzyszenie Producentów Cementu w publikacji „Współspalanie paliw alternatywnych w przemyśle cementowym – zrównoważony rozwój” [7]. Preferowane parametry paliwa alternatywnego zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Preferowane parametry paliwa alternatywnego dla cementowni [7]

Table 1. Preferred alternative fuel parameters for cement mill [7]

Parametr	Wartość preferowana dla paliw alternatywnych w stanie dostawy
Zawartość wilgoci, %	< 20
Wartość opałowa, MJ/kg	> 15
Zawartość popiołu, %	Niedefiniowana ze względu na charakter odpadów
Zawartość siarki, %	< 1

Oprócz parametrów wymienionych w tabeli 1, paliwo z odpadów musi spełniać również wymagania wynikające ze specyfikacji instalacji cementowej oraz obowiązujących standardów emisyjnych. Paliwo alternatywne powinno mieć stabilne parametry w każdej dostawie oraz w dłuższym przedziale czasowym. Ponadto ich konsystencja powinna być sypka, umożliwiającą odpowiednie dozowanie. Paliwo z odpadów powinno charak-

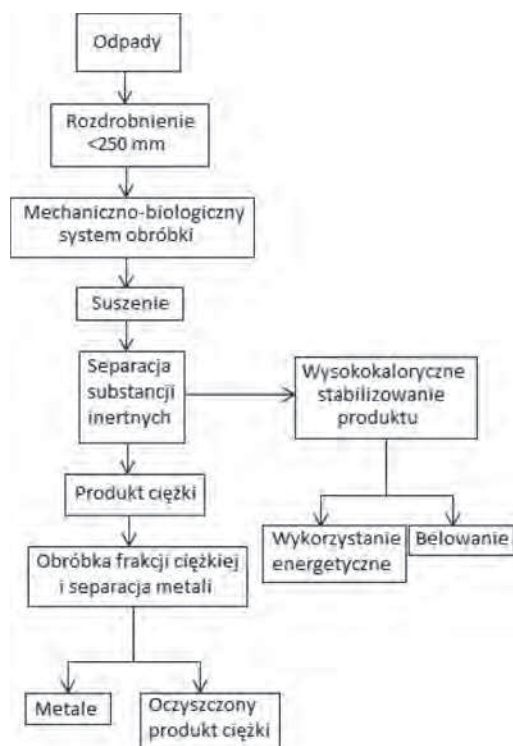
teryzować się jednorodnością w całej masie, nie zawierać zanieczyszczeń [7].

4. TECHNOLOGIE WYTWARZANIA PALIWA ALTERNATYWNEGO

Wytworzone paliwo alternatywne powinno cechować się odpowiednimi właściwościami fizyko-chemicznymi, dobranymi dla danej instalacji. Wytwarzane paliwo powinno mieć odpowiednie właściwości takie jak: kształt i uziarnienie, wilgotność, gęstość nasypowa, właściwości wytrzymałościowe (m.in. ścieralność, twardość) oraz właściwości paliwowe (m.in. wartość opałowa, temperatura zapłonu, temperatura mięknięcia i topnienia żużla), a także właściwości emisyjne spełniające wymagania prawne. Paliwo z odpadów można produkować bezpośrednio lub z zastosowaniem metod biologicznych.

4.1. MECHANICZNO-BIOLOGICZNE PRZEKSZTAŁCANIE

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, technologia ta składa się z procesów mechanicznego (m.in. rozdrabnianie, przesiewanie, sortowanie) oraz biologicznego (prowadzonego w warunkach tlenowych lub beztlenowych z udziałem mikroorganizmów) przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, które są połączone w jeden zintegrowany proces technologiczny. W wyniku tego procesu odpady są przygotowywane do procesu odzysku, w tym recyklingu energii, termicznego przekształcania lub składowania. Odpady wytwarzane w procesach biologicznego przetwarzania



Rys. 8. Schemat linii technologicznej produkcji suchego stabilizatu [6]

Fig. 8. Diagram of the process line for production of dry stabiliser [6]

odpadów to tzw. „stabilizat”, klasyfikowany jako odpad o kodzie 19 05 99 (inne nie wymienione odpady).

Na rys. 8 przedstawiono schemat linii produkcyjnej suchego stabilizatu. Odpady dostarczone do instalacji kierowane są do stacji rozdrabniania. Wstępnie rozdrobnione odpady transportowane są do komór, gdzie zachodzi proces fermentacji. W wyniku procesu powstaje mieszanka o zawartości wilgoci poniżej 15%, która jest następnie suszona. Materiał jest biologicznie stabilny i nadaje się do magazynowania oraz sortowania. System segregacji zapewnia oddzielenie stali od metali nieżelaznych, a także frakcji mineralnych. W procesie sortowania zostaje oddzielona lekka frakcja palna od niepalnej frakcji ciężkiej. Frakcja lekka stanowi ok. 50% pierwotnej masy odpadów i może być wykorzystywana w procesach energetycznych, do produkcji ciepła i energii elektrycznej [6].

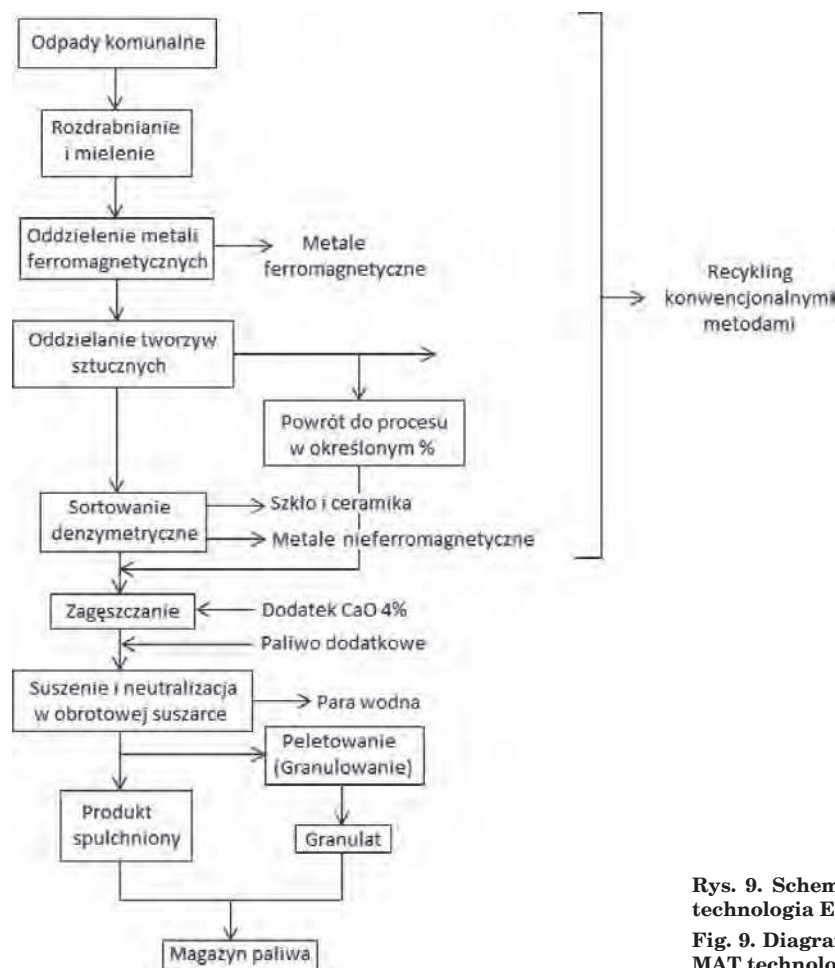
4.2. BEZPOŚREDNIE WYTWARZANIE PALIWA STAŁEGO

W odróżnieniu od metody wytwarzania paliwa alternatywnego z zastosowaniem mechaniczno-biologicznego przekształcania, metody bezpośredniego wytwarzania paliwa bazują na obróbce odpadów, rozdzieleniu ich na frakcje, a następnie zmieszaniu powstałych frakcji w odpowiednich proporcjach. W rezultacie otrzymane paliwo ma określone parametry fizykochemiczne oraz określoną emisyjność. Na rys. 9 przedstawiono schemat przetwarzania odpadów komunalnych. Odpady przetransportowane są na taśmę transportera taśmowego, gdzie przy pomocy przenośnika odseparowywane są duże elementy (m.in. telewizory, pralki, lodówki), a następnie poddawane oddzielnej obróbce. Pozostałe elementy trafiają do układu rozdrabniającego. Z rozdrobnionej masy następuje oddzielenie stali za pomocą separatora magnetycznego. Następnie materiał trafia do przenośnika taśmowego i kolejno poprzez separatory magnetyczne, transportowany jest do mieszalnika i separatora aerodynamicznego, współdziałającym z systemem separacji bębnowej. Materiał o odpowiedniej granulacji podawany jest na sita, gdzie następuje oddzielenie niemetalu, szkła oraz tworzyw sztucznych. Pozostały produkt, razem z wydzieloną wcześniej frakcją tworzyw sztucznych mieszany jest w mieszalniku wraz z tlenkiem wapnia. Tak przygotowany półprodukt jest zagęszczany w młynie zagęszczającym, a następnie, poprzez transporter oraz podajnik kulekowy, wprowadzany do suszarki bębnowej. Wyszuszony materiał (o wilgotności 4÷8%) transportowany jest za pomocą transporterów, przez zbiornik wyrównawczy oraz zagęszczacz, do prasy peletującej. Gotowy produkt, za pomocą podajnika kulekowego, wprowadzany jest do zasobników, skąd przekazywany jest do przemysłu energetycznego oraz ciepłowniczego [6].

5. WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA PALIWA ALTERNATYWNEGO W PROCESIE SPIEKANIA RUD ŻELAZA

W tabeli 2 przedstawiono skład elementarny koksiku i antracytu oraz różne gatunki paliwa alternatywnego.

W przedstawionych w powyższej tabeli rodzajach paliw można zaobserwować, że zawartość węgla w paliwie



Rys. 9. Schemat przetwarzania odpadów komunalnych – technologia ECOMAT [6]

Fig. 9. Diagram of the municipal waste processing – ECOMAT technology [6]

Tabela 2. Przykłady składu elementarnego koksiku, antracytu oraz paliw alternatywnych [6,8]

Table 2. Examples of elemental composition of coke breeze, anthracite and alternative fuels [6,8]

Paliwo	Węgiel %	Siarka %	Chlor %	Popiół %	Wartość opałowa MJ/kg
Koksik	83,3	0,62	0,09	11,7	28,5
Antracyt	82,3	0,83	b.d	10,7	27,8
10% tworzyw sztucznych, 20% tekstyliów, 30% papieru oraz 40% drewna	47,6	0,91	0,14	7,89	b.d
50% tworzyw sztucznych, 20% tekstyliów, 20% papieru oraz 10% drewna	56,7	1,08	0,63	6,9	b.d
58% papieru, 22% tworzyw sztucznych, 15% tekstyliów, 5% drewna	40,5	0,07	0,02	11,1	11,8
82% papieru, 13% tworzyw sztucznych, 5% drewna, tekstyliów i innych palnych komponentów	28,1	0,32	0,25	16,2	13,2
Mieszanka palna o zawierająca odpady komunalne	40,4	0	0,85	12,2	15,4
Mieszanka palna zawierająca tworzywa sztuczne, papier, tkaniny oraz drewno	49,2	0,34	1,0	18,5	b.d
Paliwo alternatywne suche VIG Dąbrowa Górnicza	63,4	0,70	0,34	13,4	27,1

alternatywnym jest znacznie niższa niż w koksiku lub antracycie. Zawartość siarki oraz chloru może znacznie różnić się pomiędzy poszczególnymi rodzajami paliw. Różnice te wynikają z heterogenicznego charakteru paliw alternatywnych. Poszczególne frakcje, z których uformowane jest paliwo z odpadów mają swoje indywidualne właściwości. Odpady drewniane z popularnych drzew iglastych i liściastych, a także odpady z papieru zawierają ok. 50% węgla, śladowe ilości siarki, chloru, a także małą ilość popiołu. W skład tekstyliów wchodzi głównie węgiel – ponad 40%, zawartość siarki oraz chloru jest niewielka, natomiast udział popiołu to ok. 11%. W skład tworzyw sztucznych wchodzi głównie węgiel, jego udział to 40-90%, w zależności od typu tworzywa. Najwięcej węgla zawiera polistyren, a najmniej polichlorek winylu (ok. 35%). W przypadku polichloroku winylu, widoczny jest znaczny udział chloru – prawie 5%, podczas gdy w innych tworzywach (polipropylen, polietylen, poliamid, polistyren i politereftalan etylen) średnia zawartość chloru wynosi 0,8% [6]. Zawartość polichloroku winylu w paliwie alternatywnym może negatywnie wpływać na pracę instalacji przetwarzania stałych paliw wtórnych (SRF). Ciekawym paliwem alternatywnym wydaje się być paliwo VIG, którego wartość opałowa jest zbliżona do antracytu.

Należy jednak zwrócić uwagę na podwyższoną znacznie zawartość chloru w tych paliwach. Chlor zawarty w tworzywach żelazonośnych oraz paliwach w połączeniu z alkaliami wpływa bardzo niekorzystnie na skuteczność odpylania elektrofiltrów. Skuteczność elektrofiltru zależy m.in. od rezystywności pyłu (oporności właściwej), przy czym optymalna skuteczność elektrofiltru osiągnięta jest dla zakresu rezystywności rzędu od 10^{10} do 10^{11} $\Omega \cdot \text{cm}$. Drobnociarnisty pył spiekalniczy składa się z alkaliów i chlorków powstałych podczas samego procesu. Zawartość alkaliów w wsadzie rudnym spieku zwykle waha się od 600 do 1000 g $\text{K}_2\text{O}/\text{t}$ wsadu rudnego i 250÷500 g $\text{Na}_2\text{O}/\text{t}$ wsadu rudnego. W niektórych przypadkach, w zależności od jakości rudy, stwierdza się do 3000 g $\text{K}_2\text{O}/\text{t}$ wsadu spieku. Tworzenie się chlorków alkalicznych podczas procesu spiekania szkodliwie oddziałuje na skuteczność filtru elektrostatycznego. Chlorki metali alkalicznych charakteryzują się dużą rezystywnością (pomiędzy 10^{12} ÷ 10^{13} $\Omega \cdot \text{cm}$) i tworzą warstwę izolującą na elektrodach, która obniża sprawność filtrów. Podczas badań należy zwrócić baczną uwagę na zawartość chloru w powstających pyłach. Graniczna ilość zastosowanego paliwa będzie więc uzależniona od rezystywności uzyskanego pyłu [11, 12].

O walorach poszczególnych paliw alternatywnych będą decydować próby spiekania rud żelaza z poszczególnymi gatunkami tych materiałów. Bardzo pozytywną cechą jest postać pelletu, w jakiej występuje to paliwo (Rys. 10). Pellety o bardzo zbliżonych rozmiarach będą pozytywnie wpływać na warunki przewodnościowe podczas spiekania.

W procesie spiekania jednym z ważnych parametrów technologicznych jest przewodność mieszanki spiekalniczej, która ma znaczny wpływ na wydajność procesu. Jednym z głównych czynników, powodujących pogorszenie się przewodności jest udział składników pylistych w mieszance spiekalniczej (koncentraty i drobnociarniste rudy). Stosowanie tych materiałów podyktowane jest dużą zawartością w nich żelaza. Aby zmniejszyć negatywne działanie drobnych frakcji rud żelaza na przewodność, stosuje się różne zabie-



Rys. 10. Pellet z stałego paliwa alternatywnego
Fig.10. Solid alternative fuel pellet

gi techniczno-technologiczne np. pręty spulchniające zamontowane tuż za urządzeniem załadowniczym na taśmie spiekalniczej, które mają za zadanie poprawić przewodność mieszanki. Inną koncepcją spulchniania mieszanki spiekalniczej może być wprowadzenie tzw. „dużych cząsteczek” (np. kawałków rudy lub wypalonych grudek żelazonośnych o średnicy 10÷20 mm) do objętości mieszanki spiekalniczej. W trakcie zasysania powietrza przez warstwę mieszanki gęstość wokół tych cząsteczek obniża się przez tzw. efekt ściany. W wyniku tworzenia się obszarów o niższej gęstości wokół dużych cząstek, uzyskuje się zwiększenie przewodności.

Tak więc oprócz walorów czysto energetycznych, można się tu pokusić o próby zwiększenia wydajności procesu spiekania poprzez umieszczenie w objętości mieszanki spiekalniczej „dużych cząstek” w postaci rudy oraz pelletów z paliwa alternatywnego.

5. PODSUMOWANIE

Wychodząc naprzeciw nowym wymogom Ustawy o odpadach, dotyczącej zakazu składowania odpadów komunalnych o wartości opałowej powyżej 6 MJ/kg oraz zawartości ogólnego węgla organicznego powyżej 5% suchej masy, przedstawiono ocenę możliwości wykorzystania tych odpadów jako paliwa alternatywnego w procesie spiekania rud żelaza.

Z oceny tej wynika, że możliwe jest wykorzystanie tych paliw jako zamiennika części koksiku lub antracytu w procesie spiekania. Należy jednak zwrócić uwagę na zawartość chloru w tych paliwach, gdyż chlorki metali alkalicznych, które mogą powstawać w procesie spiekania wpływają m.in. bardzo niekorzystnie na skuteczność działania elektrofiltrów. Paliwo to ma postać pelletu, co może być korzystne w procesie spiekania. Można je traktować jako tzw. „duże cząstki” poprawiające przewodność mieszanki, przy stosowaniu dużego udziału koncentratów i drobnociarnistych rud w mieszance spiekalniczej.

Bardzo istotną będzie tu ścisła współpraca badawcza pomiędzy IMŻ w Gliwicach Gliwice a IChPW w Zabrze, w celu doboru odpowiednich właściwości paliw alternatywnych oraz testowania tych paliw w warunkach przemysłowych.

LITERATURA

1. GUS, Departament Badań Regionalnych i Środowiska, Ochrona Środowiska 2013, Warszawa 2013
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013r., w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczenia odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013, poz. 38)
3. Borecki M., Stecko J., Pogorzałek J., inni: Określenie warunków i sposobów przygotowania krajowych odpadów zbożowych do wytwarzania zasypki izolująco-ocieplającej powierzchnię ciekłej stali. Sprawozdanie IMŻ nr SW-016/BS/2012, Gliwice 2012, niepublikowane
4. Pogorzałek J., Borecki M., Bulkowski L., Stecko J., Różański P.; Zbadanie możliwości wykorzystania stałych produktów spalania węgla brunatnego w metalurgii; Sprawozdanie IMŻ nr SW – 0031/BS, Gliwice 2012 – niepublikowane
5. Ostrowska-Popielska P., Sorek A., Stecko J., inni: Racjonalne wykorzystanie odpadów organicznych w procesach metalurgicznych – ocena możliwości wykorzystania biomasy w procesie spiekania rud żelaza. Sprawozdanie IMŻ nr SW0034/BS/2013 Część II, Gliwice 2013, niepublikowane
6. Wandrasz J., Wandrasz A., Paliwa Formowane, biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa 2006
7. Stowarzyszenie Producentów Cementu, <http://polskicement.pl/>, dostęp 10.06.2014 r.
8. Wagland S.T., Kilgallon P., Coveney R., Garg A., Smith R., Longhurst P.J., Pollard S.J.T., Simms N., Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in a fluidized bed reactor, Waste Management 31 (2011), s. 1176-1183
9. Chyang C.S., Han Y. L., Wu L.W., Wan H.P., Lee H.T., Chang Y.H., An investigation on pollutant emissions from co-firing of RDF and coal, Waste Management 30 (2010), s. 1334-1340
10. Rejdak M., Wasielewski R., Industrial tests of co-pyrolysis solid recovered fuel (SRF) and hard coal, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, t. 15, Nr 1 (2013), s. 29-36
11. Filipowski K.: Doświadczenia w zakresie stosowania kondycjonowania spalin we współpracy z instalacjami odsiarczania i odazotowania spalin. http://www.pentol.com.pl/dokumenty/Doswiadczenia_w_zakresie_stosowania_kondycjonowania_MAT_INF.pdf, dostęp 09.01.2015 r.
12. Niesler M., Stecko J., Różański P.: Badania na misie spiekalniczej pod kątem oceny emisji pyłu z procesu spiekania, przy różnym udziale odpadów stosowanych w warunkach spiekania ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej. Sprawozdanie z pracy B0 1414, Gliwice 2013, niepublikowane