

*Iwona Kuczyńska**

BADANIA MUŁÓW WĘGLOWYCH I ODPADÓW NIEMINERALNYCH W ZAKRESIE MOŻLIWOŚCI OTRZYMANIA PALIW

1. Wstęp

W związku z wyczerpywaniem się pierwotnych surowców energetycznych, wzrostem ich cen, a przede wszystkim w trosce o ochronę środowiska, wzrasta coraz bardziej zainteresowanie paliwami alternatywnymi. Wśród nich największe zainteresowanie wzbudzają paliwa z odpadów. Takie wykorzystanie odpadów jest równocześnie działaniem na rzecz likwidacji istniejących składowisk lub zapobieganiem ich powstawaniu.

W artykule przedstawiono wstępne badania nad uzyskaniem paliwa z odpadów. Proces ten jest zarazem utylizacją odpadów realizowaną poprzez łączenie metodą grudkowania mułów węglowych z odpadami nieminerelnymi. Zastosowanie grudkowania jest najlepszą formą łączenia odpadów drobno uziarnionych w większe kawałki [1]. Otrzymany w wyniku tego procesu produkt-granulat może być nowym rodzajem paliwa alternatywnego, znajdującego zastosowanie w energetyce, ciepłownictwie, w piecach cementowych lub też w paleniskach domowych. Technologia ta umożliwia wykorzystanie mułów węglowych, które stanowią odpady z procesu przeróbki węgla kamiennego, a także przyczyni się do wykorzystania odpadów z różnych gałęzi przemysłu (np. drzewnego, tytoniowego, bawełnianego, garbarskiego) oraz unieszkodliwiania odpadów zwierzęcych, często nieznajdujących gospodarczego zastosowania.

2. Badania w zakresie grudkowania różnych rodzajów odpadów

Celem badań było przeprowadzenie procesu grudkowania, w którym z różnych odpadów otrzymywać się będzie granulaty jako formę przygotowania nowego paliwa alternatywnego.

* Katedra Ekologii Terenów Górniczych, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Proces tworzenia grudek, prowadzony był w grudkowniku bezciśnieniowym – bębnowym [2].

Zakres badań obejmował pomiary:

- wilgotności przemijającej,
- gęstości nasypowej (surowców i produktów),
- wytrzymałości na zrzut,
- składu ziarnowego,
- wartości opałowej uzyskanego paliwa.

Przeprowadzane badania miały za zadanie zgromadzenie wstępnych informacji o zastosowanych w pracy surowcach wtórnych oraz możliwościach uzyskania paliwa alternatywnego (granulatu) z odpadów, o właściwościach umożliwiających zakwalifikowanie go jako paliwa przydatnego do wytwarzania z niego energii cieplnej lub elektrycznej.

2.1. Charakterystyka i źródła pochodzenia badanych odpadów

Do procesu grudkowania zastosowano muł węglowy z następującymi odpadami:

- pyłem drzewnym,
- pyłem tytoniowym,
- mączką mięsno-kostną,
- odpadami bawełnianymi,
- odpadami garbarskimi.

Odpady te, po wcześniejszym zbadaniu ich właściwości, zostały poddane, łącznie z mułem węglowym, procesowi grudkowania bezciśnieniowego. Dobierając odpady do badań, sugerowano się przede wszystkim właściwościami każdego z nich (np. stopniem rozdrobnienia), które pozwoliłyby na przeprowadzenie efektywnego procesu tworzenia grudek, oraz ich wartością opałową, co z punktu widzenia paliwa alternatywnego ma szczególne znaczenie. Uwzględniono także fakt braku zagospodarowania tych odpadów na skalę przemysłową.

Muł węglowy

Racjonalne zagospodarowanie mułów węglowych ma duże znaczenie dla krajowego przemysłu węglowego ze względu na ich ilość zmagazynowaną w osadnikach i wytwarzaną w bieżącej produkcji. Muły węglowe powstają w górnictwie w dwóch oddzielnych etapach: z obiegu wodno-mułowego i z flotacyjnego wzbogacania węgla. Zawartość w mułach węglowych palnej substancji organicznej stanowi o tym, że są one odpadem godnym zainteresowania.

Wykorzystanie mułów węglowych w procesach energetycznego spalania w zasadniczy sposób zależy od ich wartości opałowej i parametrów określających podatność transportową. Z powyższych względów w energetyce muły spalane są w domieszkach do podstawowego paliwa, jakim jest miał węglowy. Aktualnie około 20% ogólnej produkcji mułów węglowych trafia do energetyki zawodowej, natomiast pozostała ilość do odbiorców indywidualnych. Muły spalane poza energetyką zawodową wymagają specjalnej konstrukcji kotłów, muszą być odpowiednio przygotowane, a także wymagają zastosowania urządzeń transportowych, uwzględniających cechy tego paliwa [3]. Rozwiązaniem problemu może być dostosowanie paliwa do wymagań technicznych kotła poprzez wzbogacenie jego składu oraz formowanie do określonej granulacji.

Jako surowiec bazowy do produkcji paliwa, a zarazem materiał do badań wykorzystano poflotacyjny muł węglowy z osadnika Kopalni Węgla Kamiennego „Julia” w Wałbrzychu (obecnie Muzeum Przemysłu i Techniki w Wałbrzychu), którego właściwości przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1
Wartości mułu węglowego

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,97
Wilgotność przemijająca	W_t	%	18,64
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	~13 000

Źródło: opracowanie własne

Pył drzewny

Pył drzewny powstaje podczas mechanicznej obróbki drewna w stolarniach i zakładach przemysłu drzewnego. Możliwość wykorzystania pyłu drzewnego w procesach energetycznego spalania zależy od jego właściwości, tj. uziarnienia, wilgotności oraz palności. Dlatego pył drzewny może być stosowany jako składnik domieszki w produkcji granulatu. Dotychczas odpady te znajdowały zastosowanie jako surowiec do produkcji brykietów drzewnych i pellet wraz z trocinami, wiórami i ścinkami drzewnymi. Odpadem zastosowanym do produkcji paliwa był pył drzewny z Zakładu Obróbki Drewna w Jaworznie, którego właściwości przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2
Właściwości pyłu drzewnego

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,326
Wilgotność przemijająca	W_{ex}	%	1,9
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	~17 000

Źródło: opracowanie własne

Odpady tytoniowe

Pył tytoniowy powstaje od momentu zbioru liści tytoniu, a kończy się z momentem zamknięcia paczki papierosów gotowej do sprzedaży. Uziarnienie tych odpadów waha się od bardzo drobnych cząstek do 2÷3-milimetrowych pałeczek. Charakterystyczną cechą wyróżniającą te odpady jest zapach – praktycznie identyczny jak zapach tytoniu. Zastosowanym w badaniach odpadów do produkcji granulatu był pył tytoniowy z produkcji wyrobów tytoniowych, pochodzący z fabryki Philip Morris Polska S.A. w Krakowie. Właściwości pyłu tytoniowego przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Właściwości pyłu tytoniowego

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,396
Wilgotność przemijająca	W_{ex}	%	4,76
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	17 700

Źródło: opracowanie własne

Mączka mięsno-kostna

Mączka mięsno-kostna to drobno zmielone odpady poubojowe, kości zwierzęce itp. Mączka taka jest również produktem ubocznym, otrzymywanym z kości zwierzęcych podczas produkcji kleju kostnego. Ze względu na drobne uziarnienie zachodzi konieczność zastosowania szczególnych środków ostrożności, wymaganych przepisami sanitarno-weterynaryjnymi (ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r., Dz.U. Nr 33, poz. 280 z późn. zm.). Odpady te charakteryzują się dużą zawartością tłuszczu. Z uwagi na intensywny, nieprzyjemny zapach, miejsce magazynowania i instalacja transportująca muszą mieć odpowiednią szczelność.

Dotychczas mączka mięsno-kostna stosowana była jako dodatek do pasz dla zwierząt gospodarskich. Zakaz stosowania mączki jako dodatku do pasz wynika z Dyrektyw Unii Europejskiej 1774/2002. Obecnie mączka wykorzystywana jest do produkcji specjalnych mączek dla przemysłu PET FOOD (karma dla zwierząt domowych) oraz jako źródło energii, a także podlega termicznemu unieszkodliwianiu [4]. Do produkcji granulatu wykorzystano mączkę mięsno-kostną z Zakładu SARIA Małopolska Sp. z o.o. w Krakowie Oddział w Wielkanocy, której właściwości przedstawiono w tabeli 4.

TABELA 4

Właściwości mączki mięsno-kostnej

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,620
Wilgotność przemijająca	W_{ex}	%	3,14
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	~18 000

Źródło: opracowanie własne

Odpady bawełniane

Bawełna jest to miękkie włókno o bardzo dużej zawartości celulozy – około 92%. Podczas procesów przetwarzania bawełny powstają różnego rodzaju odpady bawełniane, do których należą odpady z wyczesów, karbonizowania, końce przędzalnicze, płątanki, szarpanki itp. [5].

Możliwość ich wykorzystania w procesach energetycznych zależy od uziarnienia, wilgotności i palności. Dzięki tym właściwościom odpady mogą być zastosowane do pro-

dukcji granulatu. Jako odpady do produkcji paliwa, a zarazem materiał do badań wykorzystano pył bawełniany z Andropol Przędzalnia S.A. w Andrychowie, którego właściwości przedstawiono w tabeli 5.

TABELA 5
Właściwości pyłu bawełnianego

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,07
Wilgotność przemijająca	W_{ex}	%	0,49
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	~11 000

Źródło: opracowanie własne

Odpady garbarskie ze szlifowania skór

Garbowanie jest to proces wyprawiania skóry, w którym odpowiednio przygotowana surowa skóra zostaje przekształcona w skórę wyprawioną o nowych, lepszych właściwościach użytkowych. Pył skórzany powstaje na etapie zwanym wykańczaniem właściwym, np. podczas szlifowania, cięcia, strugania itp. Dzięki swoim właściwościom fizycznym (pylistości i lekkości) odpady te mogą być zakwalifikowane jako składnik paliwa energetycznego. Jako odpady do produkcji paliwa wykorzystano pył garbarski ze szlifowania skór z Krakowskich Zakładów Garbarskich S.A. w Krakowie, którego właściwości przedstawiono w tabeli 6.

TABELA 6
Właściwości pyłu garbarskiego ze szlifowania skór

Oznaczenie	Symbol	Jednostka	Wartość
Gęstość nasypowa	ρ	g/cm ³	0,126
Wilgotność przemijająca	W_{ex}	%	0,79
Wartość opałowa	Q_i	kJ/kg	~12 500

Źródło: opracowanie własne

2.2. Metoda prowadzenia doświadczeń

Program badań obejmował sam proces grudkowania oraz badanie gotowych grudek pod kątem wartości opałowej, gęstości oraz ich wytrzymałości na zrzut. Badania miały wykazać przydatność granulatu do procesów energetycznych (potwierdzić, czy wartość opałowa uzyskanych granulatu kwalifikuje je jako paliwo ekonomicznie uzasadnione) oraz do transportu (wytrzymałość na zrzut). Metoda prowadzonych badań polegała na granulowaniu mieszanek, w których podstawowym składnikiem był muł węglowy, a domieszkami – przedstawione w podrozdziale 2.1 odpady. Mieszane z mułem węglowym odpady charakteryzują się podobnymi właściwościami: małą wilgotnością (maks. 4,5%), drobnym uziarnieniem oraz niską gęstością.

Badania polegały na procentowym (wagowym) odmierzeniu mułu węglowego w dwóch lub trzech udziałach: 95%, 90%, 85%, kolejno z każdym z wyżej wymienionych odpadów w ilościach: 5%, 10% i 15%, i mieszaniu ich. Mieszanki stosowane w badaniach składały się z mułu węglowego i wyłącznie jednego rodzaju odpadów. Kolejnym etapem był sam proces grudkowania. Otrzymane grudki poddano sezonowaniu w temperaturze otoczenia, a następnie wykonano badania ich wytrzymałości na zrzut, oznaczenie składu ziarnowego oraz gęstości, celem określenia skuteczności grudkowania oraz przydatności powstałych grudek do procesów spalania i odporności na warunki występujące podczas transportu. Ostatnim pomiarem, jakiemu poddawano granulaty, było badanie wartości opałowej.

3. Wyniki badań

3.1. Wyniki badań własności wykorzystywanych odpadów

W oparciu o wyniki z tabeli 7 można stwierdzić, że oprócz mułu węglowego (surowca podstawowego w badaniach) pozostałe odpady charakteryzują się niską wilgotnością, nieprzekraczającą 5%. Porównując natomiast gęstość nasypową odpadów, zauważyć można dużą rozpiętość: od zaledwie 0,07 g/cm (pył bawełniany) aż do 0,97 g/cm (muł węglowy w stanie powietrznosuchym). Wyniki te świadczą o różnorodności odpadów zastosowanych w badaniach, a tym samym o różnicach powstałych produktów grudkowania.

TABELA 7

Wyniki badań wykorzystywanych odpadów

Rodzaj odpadów	Wilgotność przemijająca [%]	Gęstość nasypowa [g/cm ³]
Muł węglowy	18,64	0,97
Pył drzewny	1,9	0,326
Pył tytoniowy	4,76	0,396
Mączka mięsno-kostna	3,14	0,62
Pył bawełniany	0,49	0,07
Pył garbarski	0,79	0,126

Źródło: opracowanie własne

3.2. Wyniki badań właściwości granulatów

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w formie skróconej, prezentując w tabelach 8–12 tylko istotne cechy gotowych granulatów dla każdego zestawu odpadów odrębnie.

Granulat mułu węglowego z pyłem drzewnym

TABELA 8

Zestawienie właściwości granulatu mułu węglowego z pyłem drzewnym

Badane właściwości	Skład granulatu [%]	
	90 : 10	95 : 5
Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	4÷6,3	10,25÷14,25
Średnia wytrzymałość na zrzut* [liczba zrzutów]	11	13
Gęstość [g/cm ³]	0,91	0,94
Barwa	ciemnobrązowa	ciemnobrązowa
Zapach	brak	brak
Wartość opałowa [kJ/kg]	13 400	13 200

* Liczba zrzutów nie zakończonych pęknięciem lub rozbiciem grudki

Źródło: opracowanie własne

Granulat mułu węglowego z pyłem tytoniowym

TABELA 9

Zestawienie właściwości granulatu mułu węglowego z pyłem tytoniowym

Badane właściwości	Skład granulatu [%]	
	90 : 10	95 : 5
Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	4,5÷5,65	10,25÷14,25
Średnia wytrzymałość na zrzut [liczba zrzutów]	48	25
Gęstość [g/cm ³]	0,91	0,94
Barwa	brązowa	brązowa
Zapach	tytoniu	tytoniu
Wartość opałowa [kJ/kg]	13 470	13 235

Źródło: opracowanie własne

Granulat mułu węglowego z mączką mięsno-kostną

TABELA 10

Zestawienie właściwości granulatu mułu węglowego z mączką mięsno-kostną

Badane właściwości	Skład granulatu [%]		
	85 : 15	90 : 10	95 : 5
Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	5,65÷7,15	10,25÷14,25	> 25
Średnia wytrzymałość na zrzut [liczba zrzutów]	96	68	22
Gęstość [g/cm ³]	0,92	0,935	0,95
Barwa	ciemnoszara	jasnoszara	jasnoszara
Zapach	pleśni	pleśni	pleśni
Wartość opałowa [kJ/kg]	13 750	13 500	13 250

Źródło: opracowanie własne

Granulat mułu węglowego z pyłem bawełnianym

TABELA 11

Właściwości granulatu mułu węglowego z pyłem bawełnianym

Badane właściwości	Skład granulatu [%]	
	90 : 10	95 : 5
Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	–*	>25
Średnia wytrzymałość na zrzut [liczba zrzutów]	–	67
Gęstość [g/cm ³]	0,88	0,92
Barwa	czarna	czarna
Zapach	zgnilizny	zgnilizny
Wartość opałowa [kJ/kg]	12 800	12 900

* Granulat otrzymany w wyniku grudkowania mułu węglowego z pyłem bawełnianym charakteryzuje się tym, że w mieszaninie z 10-procentową zawartością pyłu bawełnianego proces kawałkowania nie przebiegał pomyślnie. W efekcie nie pozwoliło to na uzyskanie odpowiedniego kształtu i wielkości produktu. Powstały produkt w trakcie przesiewania powoduje zatykanie sit i uniemożliwia badanie składu ziarnowego.

Źródło: opracowanie własne

Granulat mułu węglowego z pyłem garbarskim

TABELA 12

Zestawienie właściwości granulatu mułu węglowego z pyłem garbarskim

Badane właściwości	Skład granulatu [%]	
	90 : 10	95 : 5
Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	10,25÷14,25	> 25
Średnia wytrzymałość na zrzut [liczba zrzutów]	53	22
Gęstość [g/cm ³]	0,89	0,93
Barwa	grafitowa	grafitowa
Zapach	zgnilizny	zgnilizny
Wartość opałowa [kJ/kg]	12 950	12 975

Źródło: opracowanie własne

4. Analiza wyników badań

Z zestawionych w tabeli 13 danych wynika, że udział procentowy poszczególnych badanych odpadów niemineralnych w mieszance z mułem węglowym wpływa zarówno na uziarnienie powstałego granulatu, jak i na ich wytrzymałość na zrzut. Zauważyć można zależność, że w miarę wzrostu udziału procentowego zastosowanych w badaniach odpadów organicznych maleje stopień uziarnienia powstałego granulatu, a wzrasta jego wytrzymałość

na zrzut. Zależność wzrostu wytrzymałości na zrzut od udziału procentowego nie dotyczy granulatu otrzymanego z mieszaniny mułu węglowego z pyłem drzewnym. Ze względu na niskie udziały procentowe składników współwystępujących w mieszankach, wartości opałowe uzyskanych w wyniku procesu grudkowania granulatów nie różnią się od siebie w zasadniczy sposób i zbliżone są do wartości opałowej mułu węglowego.

TABELA 13

Zestawienie właściwości otrzymanych granulatów – paliw alternatywnych

Rodzaj granulatu	Udział [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Klasa ziarnowa o największym wychodzie [mm]	Średnia wytrzymałość na zrzut [liczba zrzutów]
Muł węglowy z pyłem drzewnym	90 : 10	13 400	4,0÷6,3	11
	95 : 5	13 200	10,25÷14,25	13
Muł węglowy z pyłem tytoniowym	90 : 10	13 470	4,5÷5,65	48
	95 : 5	13 235	10,25÷14,25	25
Muł węglowy z mączką mięsno-kostną	85 : 15	13 750	5,65÷7,15	96
	90 : 10	13 500	10,25÷14,25	68
	95 : 5	13 250	> 25	22
Muł węglowy z pyłem bawełnianym	90 : 10	12 800	–	–
	95 : 5	12 900	> 25	67
Muł węglowy z pyłem garbarskim	90 : 10	12 950	10,25÷14,25	53
	95 : 5	12 975	> 25	22

Źródło: opracowanie własne

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania należy uznać za wstępne. Na podstawie przedstawionych wyników badań można zauważyć, że wszystkie uzyskane podczas grudkowania produkty, bez względu na rodzaj odpadów i udział procentowy, różniły się od siebie. Do istotnych różnic zalicza się przede wszystkim wielkość granulatu (od ok. 2 mm do 70 mm), ponieważ parametr ten decyduje o przydatności uzyskanego paliwa do odpowiedniego rodzaju paleniska. Decydujący wpływ na właściwości produktu stanowiącego paliwo ma również wartość opałowa. Wartości opałowe poszczególnych granulatów nie różnią się od siebie zasadniczo, ponieważ udział procentowy (5%, 10%) składników współwystępujących w prowadzonym procesie nie powodował znaczących zmian wartości opałowej podstawowego składnika (muł węglowy ~13 MJ/kg) i wahał się w granicach od 12,8 MJ/kg do 13,75 MJ/kg. Należy zwrócić także uwagę na wytrzymałość powstałych produktów na zrzut, która często zmieniała się w zależności od rodzaju odpadów stosowanych do granulowania. Najwyższą wytrzymałością charakteryzowały się granulaty powstałe z mieszanki mułu węglowego z mączką mięsno-kostną o udziale mączki 10% i 15% oraz z pyłem bawełnianym 5%. Najniższą wytrzymałością charakteryzował się granulaty z dodatkiem pyłu drzewnego (5%, 10%) i pyłu

garbarskiego o udziale 5%. Badanie wytrzymałości pozwoliło na określenie, w jaki sposób powinno być transportowane paliwo, czy nadaje się do przewożenia na większe odległości oraz jak powinno być pakowane, żeby potencjalny odbiorca nie miał kłopotów z magazynowaniem itp. Z przeprowadzonych analiz wynika, że najlepszymi właściwościami charakteryzują się granulaty z mieszanek mułu węglowego z pyłem drzewnym, tytoniowym i pyłem garbarskim. Posiadają one również wady (np. niską wytrzymałość), jednak w porównaniu z granulem z mułu węglowego i mączki mięsno-kostnej mają znacznie więcej cech pozytywnych.

Po przeprowadzeniu założonych badań można wywnioskować, że część z tych produktów już na początku zostaje zdyskwalifikowana ze względu na nieprzyjemny zapach bądź pojawiającą się na powierzchni grudek pleśń (granulat z mączką mięsno-kostną i pyłem garbarskim). Inne natomiast, jak granulat z pyłem drzewnym, tytoniowym czy bawełnianym, wykazują znaczną przydatność.

Czynnikiem różniącym te dwie grupy odpadów jest ich pochodzenie. Pył drzewny, tytoniowy i bawełniany są pochodzenia roślinnego, natomiast dwa pozostałe odpady (mączka mięsno-kostna i pył garbarski) są pochodzenia zwierzęcego. Badania będą kontynuowane z poszerzeniem doświadczeń w zakresie składu oraz szkodliwości dla człowieka i środowiska powstających w procesie spalania pozostałości stałych (popiół, żużel) i gazowych (spalin).

Przebadane badania pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących możliwości opracowania nowych technologii otrzymywania paliwa alternatywnego.

1. Proces otrzymywania paliw jest mało skomplikowany ze względu na prostotę stosowanych urządzeń bezciśnieniowych.
2. Wykorzystanie badanych surowców w produkcji nowych paliw alternatywnych ograniczy ilość większości składowanych dotychczas niezagospodarowanych odpadów.
3. Biorąc pod uwagę drobne uziarnienie i dużą pylistość badanych odpadów, należy zadbować o ich odpowiedni sposób magazynowania i transportowania.
4. Zapachy towarzyszące granulatom powstałym z mieszanki mułu węglowego z odpadami pochodzenia zwierzęcego (mączka mięsno-kostna, pył garbarski) są nieprzyjemne, uciążliwe i mogą wpływać na trudności w znalezieniu potencjalnych odbiorców.
5. Pył bawełniany wykorzystywany w badaniach stwarza pewne trudności w procesie grudkowania ze względu na strukturę budowy przypominającą watę, zatem wymaga on uprzydatnienia do grudkowania.
6. Ze względów bezpieczeństwa środowiska należy zbadać zarówno zawartość pozostałości po spalaniu części stałych (popiołów i żużli), jak i skład emitowanych spalin.

LITERATURA

- [1] *Kuczyńska I.*: Operacje pomocnicze w przeróbce. Kraków, AGH 1978
- [2] *Turlej M.*: Grudkowanie mułu węglowego z innymi odpadami w celu uzyskania paliw. Kraków, AGH 2005 (praca dyplomowa)
- [3] *Wasilewski R., Raińczak J.*: Formowane paliwa stałe na bazie mułu węglowego. Inżynieria Chemiczna i Procesowa, t. 25, z. 4, 2004
- [4] <http://www.saria.rze.pl> – SARIA Małopolska Sp. z o.o. w Krakowie Oddział w Wielkanocy
- [5] <http://www.wikipedia.pl>