

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 19**  
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok VII**

**Warszawa–Opole 2014**

---

KRZYSZTOF SŁAWIŃSKI\*

KRZYSZTOF KNAŚ\*\*

MICHAŁ GANDOR\*\*\*

WOJCIECH NOWAK\*\*\*\*

## Waloryzacja odpadów przemysłowych w aktywatorze elektromagnetycznym – alternatywne paliwa przyszłości

**Słowa kluczowe:** paliwa alternatywne, odpady przemysłowe, aktywator elektromagnetyczny.

W artykule zaprezentowano możliwość zastosowania aktywatora elektromagnetycznego do przygotowania paliw alternatywnych. Autorzy przedstawili koncepcję instalacji do waloryzacji odpadów przemysłowych opartą na technologii aktywatora elektromagnetycznego. Przeprowadzono badania dotyczące wpływu aktywacji elektromagnetycznej na proces brykietowania paliw alternatywnych wytworzonych z mieszanek odpadów przemysłowych. Materiałem wyjściowym do badań była mieszanka powstała na bazie odpadów pochodzących z demontażu aut oraz mułu węglowego. Przygotowaną mieszankę poddano procesowi brykietowania zarówno przed aktywacją elektromagnetyczną, jak i po aktywacji. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano znaczną poprawę własności decydujących o możliwościach dalszego wykorzystania badanej mieszanki.

### 1. Wstęp

Szybki rozwój rynku motoryzacyjnego w Polsce oraz masowy import używanych samochodów spowodowały znaczący wzrost ilości odpadów powstałych podczas demontażu złomowanych pojazdów. O ile wykorzystanie złomu samochodowego nie stanowi większego problemu, tak już zagospodarowanie uzyskanych z demontażu odpadów tworzyw sztucznych, charakteryzujących się wysoką wartością opałową, jest wyzwaniem dla ochrony środowiska naturalnego.

---

\* Mgr inż., Politechnika Częstochowska, kslawinski@fluid.is.pcz.pl

\*\* Mgr inż., Politechnika Częstochowska, kknas@fluid.is.pcz.pl

\*\*\* Mgr inż., Politechnika Częstochowska, mgandor@fluid.is.pcz.pl

\*\*\*\* Prof. dr hab. inż., Politechnika Częstochowska, wnowak@agh.edu.pl

Również w procesie wydobywania, obróbki i wzbogacania węgla pozyskuje się dużą ilość odpadu w postaci mułu węglowego. Jedną z możliwości zagospodarowania odpadowych tworzyw sztucznych jest ich wykorzystanie jako dodatków uszlachetniających do niskokalorycznych mułów węglowych, które do tej pory były praktycznie niewykorzystywane. Muły te charakteryzują się wartością opałową na poziomie ok. 10 MJ/kg, wysoką zawartością popiołu (35–60%) oraz niską zawartością części lotnych rzędu 14% [1]. Mieszanka taka mogłaby znaleźć zastosowanie jako paliwo nie tylko w przemyśle cementowym, lecz także w przemyśle energetycznym [2]. Niestety, oba paliwa charakteryzują się dość wysoką zawartością wilgoci, odpowiednio 25–30% dla mułów węglowych i 5–25% dla tworzyw sztucznych. Tak wysoka rozbieżność zawartości wilgoci dla odpadowych tworzyw sztucznych związana jest z ich magazynowaniem bez zabezpieczenia przed wpływem warunków atmosferycznych. Ze względu na dużą zawartość wilgoci oraz niską gęstość nasypową, mieszanka taka powinna zostać poddana procesom podsuszania, a następnie brykietowania, co będzie miało pozytywny wpływ na transport i składowanie. Otrzymany brykiet powinien charakteryzować się dużą wytrzymałością podczas transportowania i przechowywania, co jest wysoce pożądane z punktu widzenia odbiorcy, oraz wysokim stopniem homogenizacji [3].

Jedną z możliwości zagospodarowania odpadowych tworzyw sztucznych jest ich wykorzystanie jako paliw w procesach wysokotemperaturowego spalania, np. w piecach do wypalania klinkieru cementowego. Do zalet wykorzystania pieców cementowych do odzysku energetycznego z odpadów zaliczyć można:

- wysoką temperaturę procesu (temperatura gazów w strefie spiekania osiąga 2000°C),
- objętość pieca (długi czas przebywania cząstek w strumieniu gazu),
- alkaliczne środowisko (wychwytywanie i neutralizacja kwaśnych składników gazów),
- brak odpadów (powstałe popioły stają się składnikiem klinkieru).

Ze względu na przedstawione powyżej zalety, piece do wypalania klinkieru są szczególnie przydatne do współspalania paliw alternatywnych powstałych na bazie odpadowych tworzyw sztucznych, a taka metoda ich wykorzystania uważana jest jako bezpieczna dla środowiska [4].

Wymagania, jakie stawiane są paliwom alternatywnym przez cementownię, wahają się w zależności od możliwości technologicznych i procesowych danego podmiotu. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe wymagania, jakie stawiane są tego typu paliwom.

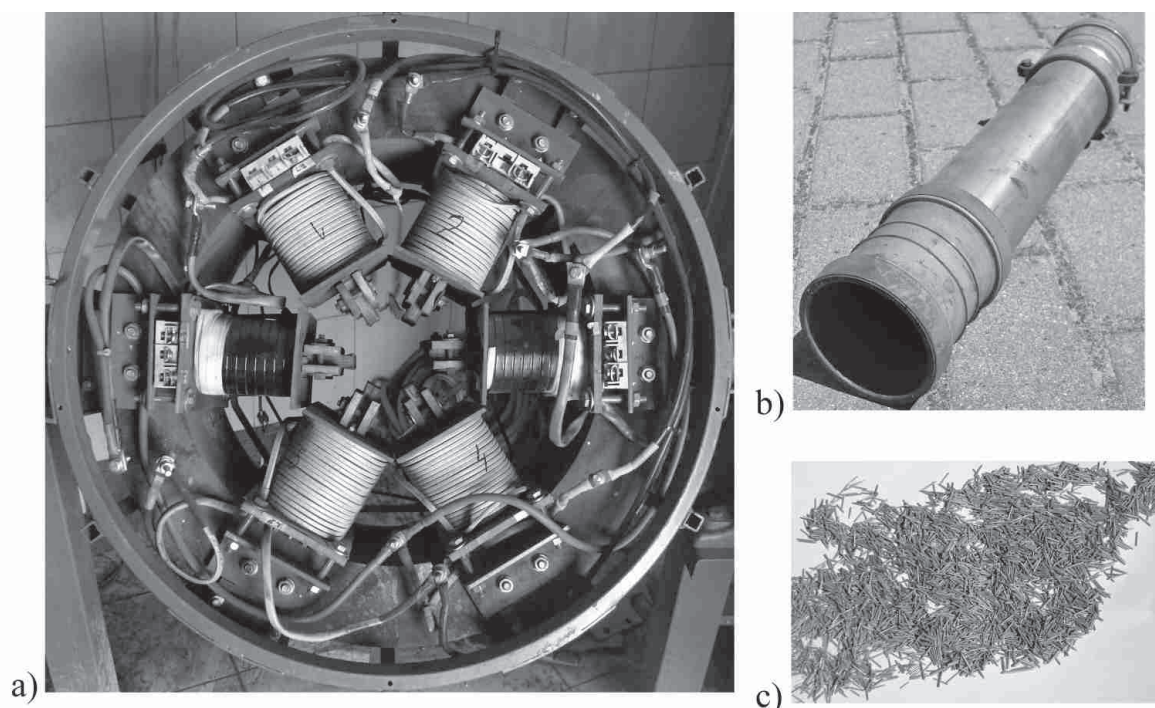
Tabela 1

Wymagania stawiane przez cementownie dla paliwa alternatywnego [5]

Parametr	Zakład 1	Zakład 2	Zakład 3
Wartość opałowa [MJ/kg]	> 20	$\geq 18$	18–22
Zawartość wilgoci [%]	< 10 (10–15)	$\leq 15$	$\leq 15$
Zawartość popiołu [%]	< 15 (15–20)	$\leq 20$	–
Zawartość siarki całkowitej [%]	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Zawartość chloru [%]	$\leq 0,5$	$\leq 0,8$	$\leq 0,6$
Granulacja [mm]	< 40	< 40	< 25 (palnik), 35 (zimny koniec pieca)

## 2. Aktywator elektromagnetyczny

Urządzeniem wykorzystanym w procesie aktywacji mieszanki powstałej z odpadów pochodzących z demontażu samochodów oraz mułu węglowego był aktywator elektromagnetyczny. Urządzenie użytkowane jest w procesach suszenia, rozdrabniania oraz aktywacji materiałów zarówno sypkich, jak i płynnych oraz półpłynnych. Elementami głównymi aktywatora są bieguny wzbudnika, które odpowiedzialne są za wytworzenie wirującego pola magnetycznego o zadanej indukcji magnetycznej wewnątrz obszaru roboczego komory, nieferromagnetyczna komora robocza oraz ferromagnetyczne elementy zwane mielnikami.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Aktywator elektromagnetyczny: a – model fizyczny aktywatora elektromagnetycznego, b – komora robocza, c – mielniki

Zasada aktywacji elektromagnetycznej oparta jest na wymuszonym ruchu mielników. Za wymuszenie tego ruchu odpowiada wirujące pole magnetyczne. Wraz ze wzrostem indukcji magnetycznej wewnątrz komory roboczej, ruch mielników jest coraz bardziej burzliwy. Dzięki niewielkim rozmiarom, odpowiednim kształcie oraz proporcjom, mielniki bardzo szybko uzyskują dużą energię kinetyczną. Pod wpływem indukcji pola magnetycznego, niewielki ferromagnetyczny element staje się dipolem magnetycznym o określonych biegunach i przyciągany jest przez pole magnetyczne z określoną siłą, poruszając się zgodnie z liniami sił tego pola.

Mielniki, poruszając się w wirującym polu magnetycznym, powodują zmianę struktury oraz powierzchni materiału poddanego obróbce (rozdrobienie ziaren mułu węglowego oraz zmianę struktury powierzchni tworzyw sztucznych poprzez ich poszarpanie). Odpowiednio duża wartość indukcji wirującego pola magnetycznego sprawia, że drobne mielniki pozostają w obszarze roboczym, natomiast materiał poddawany aktywacji przesypywany jest przez obszar roboczy grawitacyjnie. W przypadku wydostania się mielnika z obszaru roboczego, jest on oddzielany od produktu końcowego poprzez separator magnetyczny. Podczas procesu wydzielane jest ciepło (zderzenia mielników, indukowanie się prądów wirowych), które dodatkowo może pozytywnie wpływać na redukcję wilgoci z produktu. W przeprowadzonych badaniach skupiono się na możliwości zastosowania aktywatora elektromagnetycznego do poprawy procesu brykietowania paliwa alternatywnego z odpadów szczególnie ciężko podatnych na formowanie (plastyczność, duża wilgotność).

### 3. Metodyka badań

Bazą do sformowania paliwa alternatywnego wykorzystanego do badań były dwa półprodukty: mieszanka odpadowych tworzyw sztucznych pochodzących z demontażu samochodów (plastik, guma, gąbka, materiały tapicerskie) oraz muł węglowy (odpad powstały podczas wzbogacania węgla). Mieszanka przygotowana została w stosunku wagowym 50% mieszanki tworzyw sztucznych oraz 50% mułu węglowego. Tak przygotowaną mieszankę podzielono na dwie równe części. Pierwszą poddano obróbce w aktywatorze elektromagnetycznym, natomiast drugą pozostawiono do badań porównawczych.

Otrzymane w ten sposób próbki (po obróbce w aktywatorze elektromagnetycznym i porównawczą) poddano typowym analizom dla paliw stałych, wzbogaconych ponadto o chemiczną analizę zawartości chloru, chromu i ołowiu oraz oznaczenie wytrzymałości mechanicznej brykietu. I tak kolejno dla próbek wykonano oznaczenie:

- zawartości części lotnych metodą wagową zgodnie z normą PN-81/G-04516;
- zawartości popiołu metodą wagową zgodnie z normą PN-80/G-04512;

- wartości opalowej metodą obliczeniową zgodnie z normą PN-81/G-04513, wykorzystując kalorymetr KL-11 „Mikado” do oznaczenia ciepła spalania;
  - zawartości węgla i siarki wykonano za pomocą analizatora SC144DR firmy Leco;
  - zawartości pierwiastków chlor, chrom oraz ołów. Oznaczenie zawartości chloru wykonano metodą miareczkowania, zgodnie z normą PN-G-04534, natomiast zawartość chromu i ołowiu oznaczono metodą AAS, zgodnie z normą PN-79/G-04528;
  - wytrzymałości mechanicznej brykietu DU zgodnie z normą PN-EN 15210-2.
- Mieszanke przed i po aktywacji elektromagnetycznej poddano również procesowi brykietowania w ciśnieniowej brykietarce przemysłowej.



a)

b)

Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Mieszanka odpadów pochodzących z demontażu aut z mułem węglowym:  
a – mieszanka przed procesem brykietowania, b – mieszanka w postaci brykietu

## 4. Omówienie wyników badań

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analiz mieszanki paliwa alternatywnego z uwzględnieniem procesu aktywacji elektromagnetycznej.

Tabela 2

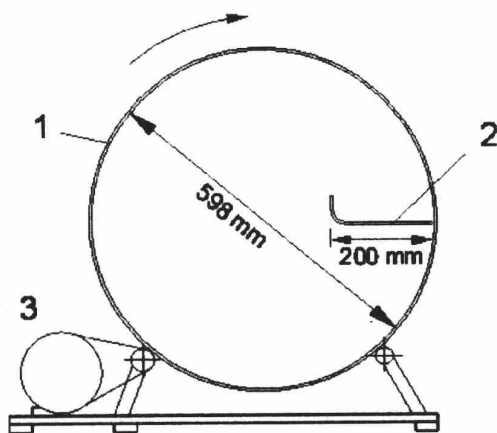
*Wpływ aktywacji elektromagnetycznej na parametry paliwa alternatywnego*

Mieszanka paliwa alternatywnego	Zawartość części lotnych V [%]	Zawartość popiołu A [%]	Wartość opalowa Q [kJ/kg]	Zawartość węgla C [%]	Zawartość siarki S [%]	Zawartość chloru Cl [%]	Zawartość chromu Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Zawartość ołowiu PbO [%]
Przed aktywacją	42,6	33,2	21 928	52,7	0,77	1,99	0,01	0,04
Po aktywacji	45,6	35,0	22 571	52,6	0,78	1,95	0,01	0,04

Źródło: Opracowanie własne.

Zastosowanie aktywatora elektromagnetycznego wykazało pozytywny wpływ na uzyskanie odpowiednio spreparowanego produktu końcowego. Z przedstawionych wyników zaobserwować możemy, że aktywacja elektromagnetyczna ma wpływ na poprawę właściwości energetycznych mieszanki paliwa alternatywnego. Zanotowano wzrost wartości opałowej na poziomie 3% oraz wzrost zawartości części lotnych o ok. 7%. Wzrost tych parametrów wynikać może z przebiegu procesu aktywacji, w którym następuje naruszenie powierzchni materiału oraz wydzielane jest ciepło. Oba te procesy mają pozytywny wpływ na redukcję wilgoci zawartej w aktywowanym produkcie, stanowiącej balast energetyczny paliwa. Uzyskana w wyniku procesu aktywacji mieszanka charakteryzowała się wysokim stopniem homogenizacji.

W celu ustalenia różnic pomiędzy mieszanką nieaktywowaną i aktywowaną, obie poddano procesowi brykietowania. Podczas brykietowania mieszanki nieaktywowanej nie udało się uzyskać produktu końcowego w postaci brykietu charakteryzującego się dużą wytrzymałością mechaniczną, a uzyskany brykiet na wyjściu natychmiast ulegał rozkruszeniu. Następnie brykietowaniu poddano mieszankę aktywowaną elektromagnetycznie, z której bez problemu udało się uzyskać brykiet przedstawiony na rycinie 2 b. Brykiet ten poddano analizie na oznaczenie wytrzymałości mechanicznej DU zgodnie z normą PN-EN 15210-2.



Ryc. 3. Urządzenie do badania wytrzymałości mechanicznej brykietów:  
1 – bęben, 2 – przegroda, 3 – silnik napędowy [6]

Definicja zawarta w normie PN-EN 15210-2 określa, że: „Trwałość jest miarą odporności paliwa na wstrząsy i/lub ścieranie w wyniku procesów przeładunku i transportu”. Wyznacza się ją współczynnikiem trwałości lub też wytrzymałością mechaniczną. Metoda określenia współczynnika trwałości brykietu polega na poddaniu próbki kontrolowanym wstrząsom i kolizjom brykietów wobec

siebie, a także ze ścianami komory bębna i przegrodą. Próbkę jest ważona, po czym wkładana do bębna i załączany jest silnik napędowy o ustalonej liczbie obrotów równej 21 obrotów na minutę. Po odpowiednim czasie stanowisko jest wyłączane, a próbkę brykietu wyjmuje się i poddaje ważeniu. Wytrzymałość mechaniczną brykietów oblicza się według następującego wzoru [6]:

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100, \quad (1)$$

gdzie:

$DU$  – wytrzymałość mechaniczna [%],

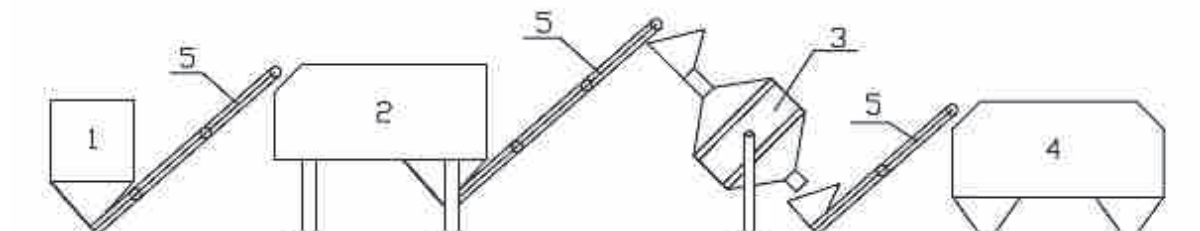
$m_A$  – masa brykietu po teście [g],

$m_E$  – masa brykietu przed testem [g].

W związku z tym, że nie udało się uformować brykietu z próbki niepoddanej aktywacji elektromagnetycznej, obliczono jedynie wytrzymałość mechaniczną brykietu powstałego z mieszanki mułu węglowego z odpadami z demontażu samochodów w stosunku wagowym 50/50% poddanej aktywacji. Wytrzymałość ta była na poziomie 80%. W przyszłości planowane są badania na większą skalę z różnymi półproduktami mieszanki, w różnych udziałach oraz z różnymi dodatkami uszlachetniającymi.

## 5. Koncepcja instalacji waloryzacji odpadów przemysłowych

Autorzy niniejszego artykułu proponują następujące rozwiązanie technologiczne produkcji paliwa alternatywnego z zastosowaniem aktywatora elektromagnetycznego. Poniższa rycina 4 przedstawia schemat stanowiska do aktywacji paliw alternatywnych. Według tego schematu instalacja produkcji paliwa alternatywnego powinna składać się z czterech podstawowych etapów: przygotowania mieszanki, rozdrobnienia, obróbki elektromechanicznej, formowania brykietu.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Schemat instalacji produkcji paliwa alternatywnego; 1 – zbiornik mieszanki, 2 – rozdrabniacz-mieszalnik, 3 – aktywator elektromagnetyczny, 4 – brykietciarka, 5 – podajniki taśmowe



Mieszanka odpadów ze zbiornika (1) za pomocą podajnika taśmowego (5) transportowana jest do rozdrabniacza (2), gdzie po wstępnym rozdrobnieniu materiału, następuje jego mechaniczne mieszanie. W dalszej kolejności materiał podawany jest od góry do komory roboczej aktywatora elektromagnetycznego (3). Odpowiedni kąt nachylenia komory roboczej powoduje grawitacyjne przejście próbki przez aktywator. W etapie tym ma miejsce częściowe domielenie oraz aktywacja paliwa. Tak przygotowane paliwo charakteryzuje się wysokim stopniem homogenizacji, co stwarza możliwość doprowadzenia go do postaci brykietu (4).

## 6. Podsumowanie i wnioski

Badania nad zastosowaniem aktywatora elektromagnetycznego do produkcji paliw alternatywnych oraz wpływem aktywacji elektromagnetycznej na poprawę właściwości tych paliw noszą znamiona innowacyjności. Mieszanki uzyskane przy wykorzystaniu tej technologii charakteryzują się wysokim stopniem homogenizacji, co ma pozytywny wpływ na proces brykietowania paliwa. Otrzymany brykiet cechuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, co z kolei ma ogromne znaczenie przy jego transporcie oraz składowaniu i jest wysoce pożądane z punktu widzenia odbiorców. Wstępne bilanse wykazują, że dzięki zastosowaniu aktywatora elektromagnetycznego zmniejsza się zużycie energii elektrycznej. Jest to dodatkowy atut, biorąc pod uwagę ograniczenie kosztów produkcji. Zastosowanie aktywatora zmniejsza również poziom emisji hałasu, co ma dodatkowe przełożenie na BHP. Wysoka wytrzymałość powstałego tą metodą brykietu powoduje, że jest to paliwo konkurencyjne do obecnie stosowanych. Wykorzystanie odpadów do produkcji paliw alternatywnych zmniejsza również koszty związane z ich zagospodarowaniem między innymi poprzez uniknięcie opłat marszałkowskich\*.

## Literatura

- [1] L u t y ń s k i A., S z p y r k a J., *Analiza jakości mulów węgla kamiennego zdeponowanych w osadnikach ziemnych*, „Górnictwo i Geologia” 2011, t. 6, z. 2, s. 121–129.
- [2] S o b o l e w s k i A., W a s i e l e w s k i R., S t e l m a c h S., *Stale paliwa wtórne dla energetyki*, [w:] *Paliwa z odpadów*, t. 6, red. J.W. Wandrasz, K. Pikoń, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2007, s. 23–28.

---

\* Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10 – Strategiczny Program Badawczy – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zeroemisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub> ze spalin. Autor otrzymał stypendium w ramach projektu DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

- [3] W a n d r a s z J.W., *Zagadnienia formowania paliw*, [w:] *Paliwa z odpadów*, t. 5, red. J.W. Wandrasz, K. Pikoń, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005, s. 11–16.
- [4] M o k r z y c k i E., E l i a s z - B o c h e Ń c z y k A., *Cementowa opcja*, *ACADEMIA Badania w toku*, „Paliwa Alternatywne” 2005, nr 3, s. 36–38.
- [5] Ś r o d a B., *Możliwości redukcji rtęci w przemyśle cementowym*, [www.mg.gov.pl/files/upload/12227/4%20Bozena%20Sroda.pdf](http://www.mg.gov.pl/files/upload/12227/4%20Bozena%20Sroda.pdf) (9.12.2010).
- [6] PN-EN 15210-2 – Biopaliwa stałe – oznaczanie wytrzymałości mechanicznej brykietów i pelletów. Część 2 – Brykiety.

KRZYSZTOF SŁAWIŃSKI  
KRZYSZTOF KNAŚ  
MICHAŁ GANDOR  
WOJCIECH NOWAK

VALORIZATION OF THE INDUSTRIAL WASTE  
IN THE ELECTROMAGNETIC ACTIVATOR  
– ALTERNATIVE FUELS OF THE FUTURE

**Keywords:** alternative fuels, industrial waste, electromagnetic activator.

In the following paper a possibility of usage of an electromagnetic activator was discussed for preparation of alternative fuels. The authors have presented a concept of the installation for valorisation of industrial waste based on the electromagnetic activator technology. A study was made on the influence of the electromagnetic activation on the briquetting process of alternative fuels produced from industrial waste. The material used in research was a mixture of industrial waste from cars disassembly and coal slurry. The prepared mixture was subjected to briquetting before and after the electromagnetic activation. The studies revealed a significant improvement in the properties of the material which determine the possibility of further usage of the investigated mixture.