

dr hab. inż. Barbara Tora, dr inż. Wiesław A. Żmuda,  
mgr inż. Stanisław Budzyń, Akademia Górniczo-Hutnicza

# Paliwo z odpadów

## - wybrane przykłady - I część

W artykule przedstawiono wybrane technologie energetycznego wykorzystania odpadów opracowane na Wydziałach Energetyki i Paliw oraz Górnictwa i Geoinżynierii AGH obejmujące: produkcję paliwa alternatywnego z odpadów komunalnych, paliwo z osadów ściekowych RECO, paliwo z mączki kostnej oraz produkcję syntetycznego węgla koksującego.

Stosowanie w praktyce zasad racjonalnej gospodarki odpadami wymaga nie tylko rozwoju technologii minimalizujących ilość powstających odpadów, ale także nowoczesnych rozwiązań technologicznych, które pozwalają na ich skuteczne unieszkodliwienie i gospodarcze wykorzystanie. Jedną z metod utylizacji odpadów palnych jest wytwarzanie z nich paliw alternatywnych. Zastosowanie tej metody uwarunkowane jest fizykochemicznymi właściwościami odpadów oraz obowiązującymi przepisami prawnymi.

Na jakość wyprodukowanego paliwa wpływa odpowiedni dobór:

- możliwych do wykorzystania w świetle przepisów prawnych dotyczących ochrony środowiska i gospodarki odpadami składników palnych, od których zależy wartość opałowa paliwa,
- metody aglomeracji składników paliwa np. sposobu odwadniania, suszenia, rozdrabniania i homogenizacji,
- metody aglomeracji składników pa-

- liwa, uzależnionej od wymagań stawianych formie wytwarzanego paliwa oraz właściwości składników,
- spoiwa niewywierającego negatywnego wpływu na właściwości energetyczne i ekologiczne produktu,
- metody końcowej obróbki paliwa np. sezonowanie w warunkach naturalnych, kondycjonowanie w podwyższonej temperaturze.

Na obecnym etapie wymagań ekologicznych i rozwoju technologicznego, najbardziej racjonalnymi kierunkami energetycznego zagospodarowania odpadów komunalnych jest:

- selekcja odpadów komunalnych i wydzielanie frakcji energetycznej (paliwo alternatywne), zaliczanej do źródeł produkcji energii „zielonej”,
- wykorzystanie frakcji energetycznych jako paliwa samodzielnego lub jako paliwa uzupełniającego (multi paliwowe paleniska), albo składnika paliw mieszanych,
- wykorzystanie frakcji energetycznych jako paliwa do procesów

technologicznych (produkcja klinieru, ceramiki, hutniczej, itp.) i wytwarzania ciepła (przede wszystkim w procesach zgazowania).

Wydzielona frakcja energetyczna poprzez komponowanie z innymi składnikami lub/i dobór odpowiednich metod spalania jest źródłem produkcji paliw alternatywnych i czystej energii cieplnej.

### ■ Badanie właściwości odpadów w aspekcie wykorzystania ich jako składników mieszanek energetycznych

Prace badawcze nad charakterystyką energetyczną, składem chemicznym i mineralogicznym wytypowanych, badanych materiałów odpadowych wykazują ich przydatność do komponowania mieszanek paliwowych, szczególnie dla energetyki wielkoprzemysłowej.

Podstawą komponowania paliw z materiałów odpadowych powinna być

przede wszystkim biomasa w formie osadów ściekowych, mączki kostnej oraz odpadów drzewnych. Produkcja paliw alternatywnych na bazie osadów ściekowych jest rozwiązaniem konkurencyjnym, w stosunku do współspalania osadów przede wszystkim z uwagi na:

- paliwo nie wnosi do procesu spalania tak dużej zawartości wody jak osady,
- paliwo jest substancją bezwonną, ma konsystencję stałą,
- paliwo ma wartość opałową po-

dobną do węgla brunatnego, dlatego też w bilansie ekonomicznym utylizacji może generować dodatkowy zysk,

- jest paliwem biomasowym, co w przypadku spalania w elektrowniach pozwala zaliczyć je do odnawialnych źródeł energii.

Należy zwrócić uwagę, że w związku z addytywnością cech poszczególnych parametrów uzyskanie odpowiednich, wymaganych wielkości i stabilności konkretnych składników nie po-

winno nastęrczać trudności, szczególnie przy homogeniczności poszczególnych składników.

Najlepszą formą wytwarzanych paliw z badanych materiałów odpadowych wydaje się być granulaty.

Zbadano właściwości energetyczne sześciu próbek odpadów, które mogą stanowić składniki paliwa alternatywnego. Materiałami poddanymi badaniom były: mączka kostna, osad komunalny, trociny, wydzielone odpady komunalne, zużyty węgiel aktywny oraz składowna sadza techniczna. Próbkę poddano badaniom, zgodnie z obowiązującymi normami. W tabeli 1 i 2 przedstawiono wyniki analiz właściwości energetycznych, w tabeli 2 analizę składu elementarnego badanych materiałów, w tabeli 3 analizę składu mineralnego (podstawowe tlenki) popiołów otrzymanych z badanych materiałów odpadowych. W tabeli 4 przedstawiono zawartość niektórych metali w popiołach.

Na podstawie przeprowadzonych badań materiałów odpadowych przygotowano dwie mieszanki energetyczne. Mieszanka nr I składała się z 70% osadu ściekowego i 30% mączki kostnej. Mieszanka II składała się z 56% osadu ściekowego, 24% mączki kostnej, 10% odpadu drzewnego i 10% odpadowego węgla drzewnego. W tabeli 5 przedstawiono wyniki analiz właściwości energetycznych badanych próbek mieszanek odpadów.

## ■ Produkcja Stałego Paliwa Odnawialnego RECO

Technologia produkcji paliwa alternatywnego RECO opiera się na wykorzystaniu przefermentowanego osadu ściekowego i dodatku biomasy w postaci zrębków lub trocin. Paliwo jest produkowane w dwu odmianach RECO 1 i RECO 2. Charakterystyka paliw została podana w tabeli 6. Paliwo alternatywne RECO 1 bazuje na osadach ściekowych, natomiast RECO 2 składa się z przefermentowanych osadów ściekowych z dodatkiem zrębków.

Tab. 1. Wyniki analiz właściwości składników paliwa

Odpad [%]	$W_{ex}^r$ [%]	$W^a$ [%]	$W_{i1}^r$ [%]	$V^a$ [%]	$V^r$ [%]	$V^{daf}$ [%]
Mączka kostna	0,0	4,5	4,5	63,0	63,0	94,3
Osad komunalny	82,8	8,4	84,2	57,7	9,9	88,0
Trociny	11,9	9,5	20,3	75,1	66,2	84,1
Odpady komunalne	11,1	6,6	17,0	72,2	64,2	88,8
Węgiel aktywny	1,1	6,8	7,8	46,0	45,5	64,7
Sadza	62,7	2,4	63,6	10,8	4,0	11,3

Tab. 1. Wyniki analiz właściwości składników – c.d.

Odpad	$A^a$ [%]	$A^d$ [%]	$A^r$ [%]	$S_{i1}^a$ [%]	$S_{i1}^r$ [%]	$Q_{s1}^a$ [%]	$Q_{i1}^a$ [%]	$Q_{i1}^r$ [%]
Mączka kostna	28,7	30,1	28,7	0,44	0,44	17 522	16 035	16 035
Osad komunalny	26,0	28,4	4,5	1,43	0,25	15 429	14 202	421
Trociny	1,2	1,3	1,1	0,15	0,13	18 280	16 315	14 083
Odpady komunalne	12,1	13,0	10,8	0,59	0,52	17 014	15 433	13 457
Węgiel aktywny	22,1	23,7	21,9	1,58	1,56	21 196	20 838	20 582
Sadza	2,3	2,4	0,9	0,05	0,00	30 085	28 941	9 264

Tab. 2. Analiza elementarna składników paliwa

Odpad	Węgiel $C^a$ [%]	Wodór $H^a$ [%]	Chlor $Cl^a$ [%]	Fluor $F^a$ [%]	Siarka $S_{i1}^a$ [%]
Mączka kostna	40,00	6,31	0,205	0,00199	0,34
Osad komunalny	34,90	4,68	0,088	0,00011	1,00
Trociny	46,00	7,94	0,126	0,00143	0,14
Odpady komunalne	34,60	6,46	0,337	0,00121	0,19
Węgiel aktywny	63,5	0,88	0,018	< 0,0001	1,39
Sadza	90,9	4,97	0,091	0,00121	0,02



Tab. 3. Składniki mineralne w badanych odpadach

Odpad	Na <sub>2</sub> O [%]	K <sub>2</sub> O [%]	ZnO [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	CaO [%]	MgO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]
Mączka kostna	2,90	1,55	0,05	0,29	0,10	45,91	1,47	0,09	40,36
Osad komunalny	0,97	1,14	0,25	0,93	62,00	11,52	3,26	5,34	11,55
Trociny	0,40	3,53	0,09	2,82	64,10	13,13	2,84	7,45	1,18
Odpady komunalne	7,90	0,80	0,96	3,16	55,80	12,34	1,68	8,68	1,76
Węgiel aktywny	0,41	0,71	0,27	1,18	14,20	0,85	0,24	2,88	33,38
Sadza	0,91	0,36	0,03	3,32	18,30	68,48	1,91	2,21	0,21

Tab. 4. Zawartość niektórych metali w popiołach

Odpad	Cr [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Co [mg/kg]	As [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Sn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Mn [mg/kg]	V [mg/kg]
Mączka kostna	28,00	0,15	11,50	2,00	0,04	0,03	0,84	40,30	82,80	1,12
Osad komunalny	154,00	1,32	78,00	13,00	2,30	0,04	4,87	490,00	860,00	24,00
Trociny	304,05	7,28	86,83	14,85	5,83	0,02	11,83	102,53	5571,91	49,43
Odpady komunalne	2040,80	15,78	354,29	301,95	3,79	0,08	5,99	1392,90	993,85	10,39
Węgiel aktywny	1758,80	58,03	15,86	36,34	24,24	0,28	1,44	43,11%	76,78	52,45
Sadza	25,00	0,57	15,00	6,00	114,00	0,04	1,00	613,00	311,00	16,00

Tab. 5. Właściwości paliw alternatywnych

Odpad	W <sub>ex</sub> <sup>r</sup> [%]	W <sup>h</sup> [%]	W <sub>i</sub> <sup>r</sup> [%]	V <sup>a</sup> [%]	V <sup>r</sup> [%]	V <sup>daf</sup> [%]	A <sup>a</sup> [%]	A <sup>d</sup> [%]	A <sup>r</sup> [%]	S <sub>i</sub> <sup>a</sup> [%]	S <sub>i</sub> <sup>r</sup> [%]	Q <sub>s</sub> <sup>a</sup> [%]	Q <sub>i</sub> <sup>a</sup> [%]	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup> [%]
Mieszanka I	56,5	7,5	59,8	56,9	24,8	88,1	27,9	30,2	12,1	0,73	0,32	16 739	15 318	5 284
Mieszanka II	40,8	10,1	46,8	43,7	25,9	65,5	23,2	25,8	13,7	0,78	0,46	18 654	17 405	9 308

Oznaczenia stosowane w tabelach: W<sub>ex</sub><sup>r</sup> - wilgoć przemijająca, W<sup>h</sup> - wilgoć higroskopijna, W<sub>i</sub><sup>r</sup> - wilgoć całkowita, V - części lotne, A - popiół, S - siarka, Q<sub>s</sub><sup>a</sup> - ciepło spalania, Q<sub>i</sub><sup>a</sup> - wartość opałowa, C - węgiel, H - wodór, Cl - chlor, F - fluor. Indeksy: a - stan analityczny, r - stan roboczy, d - stan suchy, daf - stan suchy i bezpopiołowy.

### ■ Produkcja paliwa formowanego SRF (Solid Recovered Fuel) na bazie osadów ściekowych

Technologia produkcji paliwa formowanego obejmuje przygotowanie mieszanki wsadowej składającej się z osadów ściekowych i lepszczka i uformowanie paliwa w prasie walcowej. Próbkę paliwa wykonanego w warunkach laboratoryjnych z osadów ściekowych z dodatkiem następujących substancji: karboksy metylo-celuloza – CMC, bentonit, wapno, skrobia (rys. 1).

Optymalną recepturą dla tego rodzaju paliwa jest dodanie do mieszaniny osadów ściekowych materiału charakteryzującego się wartością opałową

(np. półprodukty lub odpady z wzbogacania węgla). Mogą to być np. osady zdeponowane w osadnikach kopalnianych. Dobór lepszczka pozwala na regulację właściwości paliwa. Skrobia i celuloza podnoszą wartość opałową paliwa, wapno ma właściwości higienizujące, bentonit poprawia właściwości reologiczne.



Rys. 1. Paliwo formowane z dodatkiem skrobi

Paliwo SRF AGH należy do grupy stałych paliw alternatywnych zdefiniowanych przez Europejski Komitet Normalizacyjny w normie CEN 343 jako SRF (Solid Recovered Fuels). SRF jest pojęciem funkcjonującym w Unii Europejskiej, wprowadzone przez normę CEN 343, są to odpady palne o zdefiniowanych właściwościach użytkowych i fizyko-chemicznych, spełniające wymagania sformułowane w Specyfikacji Technicznej CE/TS 15359. System klasyfikacji paliw z odpadów został opracowany przez CEN - Europejską Komisję Normalizacyjną. System CEN obejmuje szereg Specyfikacji Technicznych określających nazewnictwo, zasady klasyfikacji, wymagania dla systemu zarządzania jakością podczas procesu produkcji paliw z odpadów, a także meto-

dy poboru i przygotowania próbek do badań oraz metodykę wykonywania poszczególnych oznaczeń. Większość specyfikacji technicznych została wydana w 2006 r.

Opracowany przez CEN system klasyfikacji (CEN/TS 15359) paliw stałych wtórnych pozwala na jednoznaczne zakwalifikowanie paliwa do konkretnej klasy oraz bardzo szczegółowe wyspecyfikowanie jego właściwości fizyko-chemicznych.

Zgodnie ze Specyfikacją techniczną CEN/TS 15359 stałe paliwo wtórne może być wytworzone wyłącznie z odpadów innych niż niebezpieczne i spalane w instalacjach spełniających standardy emisyjne wynikające z Dyrektywy 2000/76/EC, dotyczącej spalania odpadów.

### ■ Sposób utylizacji osadów ściekowych i mączki kostnej

Wynalazek dotyczy wykorzystania mączki zwierzęcej i osadów ściekowych jako paliwa w energetyce. Mączka zwierzęca charakteryzuje się małą zawartością wilgoci (do 4%) i wartością opałową od 15 do 20 MJ/kg. Natomiast osady ściekowe surowe zawierają około 90% wilgoci i mają wartość 7-9 MJ/kg. Osady fermentowane i podsuszane zawierają od 10 do 70% wilgoci oraz mają wartość opałową do 13 MJ/kg. Wymieszanie mączki zwierzęcej i osadów ściekowych w proporcjach zależnych od wilgotności osadów daje w rezultacie paliwo o parametrach zbliżonych zawartością wilgoci i wartością opałową do takich, jakie posiadają muły węglowe stosowane w energetyce. Cechą składników mieszanki jest ich stałe uziarnienie, co pozwala na łatwe ich mieszanie np. w mieszalnikach zetowych. Zarówno osady ściekowe jak i mączka zwierzęca są w pewnych przypadkach traktowane jako paliwa biomasowe. Zatem istnieje możliwość rozliczania uzyskanej energii ze spalania tego paliwa jako paliwa z energii odnawialnej, a zwłaszcza ze-

Tab. 6. Właściwości energetyczne paliwa RECO

Parametr	Jednostka	RECO 1	RECO 2
$W_{ex}^r$	%	38,2	32,5
$W_a$	%	14,3	11,2
$W_t^r$	%	47,0	40,1
$A^a$	%	17,1	11,0
$A^r$	%	10,6	7,4
$Q_s^a$	kJ/kg	13 471	15 461
$Q_i^a$	kJ/kg	12 227	14 052
$Q_i^r$	kJ/kg	6 623	8 692
$S_t^d$	%	0,03	0,03

Gdzie:  $W_{ex}^r$  - zawartość wilgoci przemijającej w stanie roboczym [%],  $W^a$  - zawartość wilgoci w stanie analitycznym [%],  $W_t^r$  - zawartość wilgoci w stanie roboczym [%],  $A^a$  - zawartość popiołu w stanie analitycznym [%],  $A^r$  - zawartość popiołu w stanie roboczym [%],  $Q_s^a$  - ciepło spalania [kJ/kg],  $Q_i^a$  - wartość opałowa w stanie analitycznym [kJ/kg],  $Q_i^r$  - wartość opałowa w stanie roboczym [kJ/kg],  $S_t^d$  - zawartość siarki.

Tab. 7. Karta charakterystyki paliwa stałego typu „RECO”

Parametr	Jednostka	RECO 1	RECO 2
Wymiar	mm	2-8	5-50
Gęstość nasypowa, s. m.	kg/m <sup>3</sup>	200-300	200-400
Wilgoć w stanie roboczym, $W_t^r$	%	30,0-47,0	25,0-40,1
Zawartość popiołu w stanie roboczym, $A^r$	%	10,6	7,4
Ciepło spalania, $Q_s^a$	kJ/kg	13 471	15 461
Wartość opałowa w stanie roboczym, $Q_i^r$	kJ/kg	9 540-6 623	11 490-8 692
Zawartość siarki w stanie analitycznym, $S_t^a$	%	0,03	0,03
Zawartość węgla w stanie analitycznym, $C^a$	%	50,0	49,0
Zawartość wodoru w stanie analitycznym, $H^a$	%	7,30	5,60
Zawartość azotu w stanie analitycznym, $N^a$	%	2,0	1,8

rowego bilansu CO<sub>2</sub>, co daje wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne.

Mączka kostna posiada wyższą wartość opałową od osadów ściekowych, stąd odpowiedni dobór proporcji pozwala na uzyskanie paliwa o wartości opałowej akceptowanej przez użytkowników. Uzyskane paliwo będzie się charakteryzowało stabilnymi parametrami

wymaganymi przez energetykę. Osady ściekowe i mączka kostna posiadają również stabilne uziarnienie. Otrzymana mieszanka może stanowić podstawę do wykorzystania innych odpadów biomasowych, jak np. frakcje segregowanych odpadów komunalnych, zrębki, trociny, rozdrobniona guma, wyselekcjonowane tworzywa sztuczne. □

