

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMTECH2022.1>

## Kompozytowe paliwa węglowe jako element "circular carbon economy"

**Agata Czardybon** - Instytut Technologii Paliw i Energii

**Karina Ignasiak** - Instytut Technologii Paliw i Energii

**Joanna Bigda** - Instytut Technologii Paliw i Energii

**Piotr Fudala** - JSW Nowe Projekty S.A.

**Streszczenie:** Opracowano technologię produkcji kompozytowego paliwa formowanego EKomPell, która zakłada wykorzystanie jako surowców odpadów kopalnianych. Pellety otrzymane na bazie opracowanej receptury charakteryzują się dobrą wytrzymałością na ścieranie ( $D_u \geq 87$ ) oraz zawartością wilgoci  $\leq 1,6\%$  wag., popiołu  $\leq 5,4\%$  wag., siarki całkowitej  $\leq 0,43\%$  wag. i wartością opałową ok. 30 MJ/kg. Przedstawiono ogólny schemat wraz z opisem koncepcji technologii EKomPell. Technologia wytwarzania paliwa EKomPell dla ogrzewnictwa indywidualnego wpisuje się w działania Polski i UE zmierzające w kierunku poprawy jakości powietrza poprzez wyeliminowanie spalania paliw niskiej jakości oraz nieefektywnych energetycznie i ekologicznie kotłów grzewczych, co stanowi kluczowy element "circular carbon economy".

Słowa kluczowe: circular carbon economy, paliwa kompozytowe, pellety, flotokonzentrat węglowy

### Composite carbon fuels as an element of the "circular carbon economy"

**Abstract:** A technology for the production of EKomPell composite formed fuel has been developed. It involves the use of mine wastes as raw materials. The pellets obtained from the developed recipe are characterised by good abrasion resistance ( $D_u \geq 87$ ) and moisture content  $\leq 1.6$  wt%, ash content  $\leq 5.4$  wt%, total sulphur content  $\leq 0.43$  wt% and a calorific value of approx. 30 MJ/kg. A general scheme with a description of the EKomPell technology concept is presented along. The EKomPell fuel production technology for individual heating, is in line with the activities of Poland and the EU aimed at improving air quality by eliminating the combustion of low-quality fuels and energy-inefficient and ecologically-inefficient heating boilers, which is a key element of the "circular carbon economy".

Keywords: circular carbon economy, composite fuels, pellets, coal flotation concentrate

## 1. Wprowadzenie

Obecnie jednym z priorytetów polityki UE i Komisji Europejskiej (KE) jest przejście z gospodarki liniowej (wyprodukuj – zużyj – wyrzuć) na gospodarkę obiegu zamkniętego (GOZ), co przyczyni się do osiągnięcia neutralności klimatycznej UE do 2050 r. W tym celu KE zaproponowała w marcu 2020 r. pierwszy pakiet środków dla przyspieszenia przejścia gospodarki unijnej na obieg zamknięty.

Według KE „w gospodarce o obiegu zamkniętym wartość produktów i materiałów jest utrzymywana tak długo, jak to możliwe. Odpady i zużycie zasobów są zminimalizowane, a gdy produkt osiąga koniec swojego życia, jest ponownie używany do tworzenia dalszej wartości” [1]. Przejście z linearnej na cyrkularną gospodarkę może przynieść duże korzyści gospodarcze, przyczyniając się do rozwoju innowacji, wzrostu i tworzenia nowych miejsc pracy [2], a także zwiększenia konkurencyjności, chroniąc przedsiębiorstwa przed niedoborem zasobów i niestabilnością cen, dając nowe możliwości biznesowe, wydajniejsze sposoby produkcji i konsumpcji [1]. Według Stahela [3] „system GOZ powinien zamieniać towary, których okres użytkowania dobiega końca,

w zasoby dla innych”. GOZ stwarza wiele możliwości dla społeczeństwa i przemysłu, jest to nie tylko program ochrony środowiska, ale zadanie, które pozwala odzyskać m.in. surowce i materiały z odpadów oraz zwrócić je konsumentom [4]. Zgodnie z powyższym w pierwszej kolejności należy podjąć działania mające na celu zapobieganie powstawaniu odpadów. W przypadku, kiedy już dochodzi do powstania odpadów, priorytetem jest wprowadzenie ich do ponownego użycia. Jeśli nie ma już takiej możliwości, należy poddać je recyklingowi. Gospodarka o obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady, jest jedną ze strategicznych Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS) [5], które określone zostały przez Państwa Członkowskie UE jako priorytety gospodarcze w obszarze badań, rozwoju oraz innowacji.

W Polsce nadal jednym z głównych surowców energetycznych wykorzystywanych w ogrzewnictwie indywidualnym jest węgiel kamienny. W okresie zimowym obserwuje się zanieczyszczenia powietrza związane ze spalaniem paliw kopalnych w urządzeniach grzewczych w sektorze ogrzewnictwa indywidualnego (powstawanie smogu w efekcie tzw. niskiej emisji). Zjawisko to wynika przede wszystkim ze spalania paliw niskiej jakości oraz wykorzystywania do celów grzewczych niskiej klasy kotłów komorowych z ręcznym dozowaniem. Obecnie z uwagi na krajowe (Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych) i europejskie (Rozporządzenie Komisji EU 2015/1189) prawodawstwo wprowadzono restrykcje (uchwały antysmogowe w 14 województwach) dotyczące rodzaju spalanych paliw oraz kotłów grzewczych. W praktyce doprowadziło to do eliminacji z rynku paliw flotokonzentratów, mułów i części miałów (w postaci nieprzetworzonej). Powstałe flotokonzentraty oraz muły jako odpad z procesu produkcji (wzbogacania) węgla są składowane na hałdach (istnieje ok. 150 hałd w Polsce, z czego 90% w województwie śląskim), co w konsekwencji prowadzi do utraty ich potencjału energetycznego. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do flotokonzentratów węglowych, które charakteryzują się dobrymi parametrami jakościowymi, a ich jedynymi mankamentami jest bardzo drobne uziarnienie i wysoka wilgotność, skutkujące nadmierną emisją pyłów podczas procesu spalania. Flotokonzentraty pochodzące z procesu wzbogacania węgla koksowych stanowią część tzw. wsadu koksowniczego, pomimo zbadanego negatywnego wpływu zbyt dużej ilości najdrobniejszych ziaren na parametry jakościowe koksu (CRI, CSR) i nie ma możliwości regulowania jego ilości w mieszance węglowej.

Jedną z możliwych metod korzystnego ekonomicznie energetycznego wykorzystania drobnoziarnistych frakcji węglowych w postaci flotokonzentratu węglowego charakteryzującego się wysoką wartością opałową, jest wytwarzanie zwartych oraz mechanicznie wytrzymałych paliw formowanych. Zgodnie z definicją Wandrasza i in. [6], paliwa formowane to substancje palne przeznaczone do realizacji określonego procesu termicznego, utworzone w wyniku przemian fizycznych lub fizyczno-chemicznych, między innymi na bazie paliw naturalnych.

Do produkcji paliw formowanych stosowane są procesy aglomeracji/kompaktowania, których istotą jest wytwarzanie paliw kawałkowych z silnie rozdrobnionych cząstek, dzięki czemu zbyt duży stopień rozdrobnienia lub zbyt duży rozrzut uziarnienia nie stanowi przeszkody w ich stosowaniu. Do dwóch podstawowych sposobów aglomeracji, wykorzystywanych w produkcji paliw formowanych, należą [7]: prasowanie (brykietowanie) i granulacja/peletyzacja. W wielu przypadkach zaliczenie metod do prasowania lub granulacji jest sprawą umowną, a kryterium jest jedynie rozmiar wytworzonego produktu i tak np. Klassien i Griszejew [8] oraz Pietsch [7] dodają do metod granulacji prasowanie, formowanie lub wyłaczanie. Innym podziałem procesów aglomeracji/kompaktowania jest podział na metody beciśnieniowe i ciśnieniowe.

Formowanie materiałów drobnoziarnistych przeprowadzane jest metodami ciśnieniowymi i beciśnieniowymi z użyciem lepiszcza lub bez lepiszcza [9, 10]. W większości przypadków paliwa formowane na bazie węgla wymagają zastosowania odpowiedniego spoiwa [11-14]. Lepiszczka zapewniają spojonym materiałom wytrzymałość mechaniczną. Mogą również wpływać na specyficzne

właściwości niezbędne do konkretnych zastosowań np. w przypadku paliw formowanych mogą zapewniać odporność na czynniki atmosferyczne i ułatwiać proces spalania (łatwość zapalania, rodzaj płomienia, zachowanie kształtu paliwa – tzw. termowyttrzymałość). Nadrzędnym celem jest jednak poprawa wytrzymałości mechanicznej tj. odporności na ściskanie bądź na zrzut otrzymanych paliw kompaktowanych [15, 16]. Jednocześnie jednak istotną i pożądaną właściwością lepszycy jest co najmniej neutralny wpływ na parametry energetyczno-emisyjne wytwarzanego z ich udziałem paliwa [17-19].

Spoiwami są zarówno substancje stałe, jak i płynne, pochodzenia mineralnego lub organicznego, w tym karbochemiczne, związki petrochemiczne, polisacharydy, polimery, kopolimery, substancje mineralne, biomasa i inne [9]. Wybór sposobu formowania zależy przede wszystkim od właściwości surowca oraz wymaganych właściwości produktu końcowego. Pożądanymi właściwościami zagęszczonego paliwa są głównie wytrzymałość mechaniczna i gęstość. W zależności jednak od sposobu zastosowania paliwa i warunków logistycznych (np. konieczność transportu i przechowywania na wolnym powietrzu, narażenie na czynniki atmosferyczne), niektóre paliwa formowane dodatkowo powinny charakteryzować się właściwościami hydrofobowymi [20, 21].

Wejście w życie Rozporządzenia Ministra Energii z dn. 27.09.2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych oraz Rozporządzenia Ministra Rozwoju i Finansów z dn. 1.08.2017 r. (wraz z późniejszymi zmianami) w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe eliminuje z rynku pierwotnego kotły zasypowe, co powoduje stopniowy wzrost udziału kotłów automatycznych w ogrzewnictwie indywidualnym, a w konsekwencji zapotrzebowania na paliwo do nich (głównie paliwa kwalifikowane tzw. ekogroszki, ekomiały). Biorąc pod uwagę przytoczone wyżej fakty i olbrzymi potencjał rynkowy (niedostateczna podaż paliw – obecnie i w perspektywie, ryzyko bezpowrotnej utraty potencjału energetycznego drobnoziarnistych sortymentów węglowych), konieczne jest podjęcie działań w kierunku wykorzystania drobnoziarnistych sortymentów węglowych do produkcji paliwa o odpowiednich parametrach fizykochemicznych, dedykowanego dla kotłów automatycznych. Opracowanie na bazie odpadowych, drobnoziarnistych sortymentów węgla kamiennego (w szczególności flotokonzentratów) technologii wytwarzania ekologicznego kompozytowego paliwa formowanego (EKomPell) dla ogrzewnictwa indywidualnego, spełniającego wymagania zadane obowiązującymi i projektowanymi przepisami prawnymi może stać się elementem GOZ, poprzez minimalizację wytwarzania odpadów w procesach wydobywania i przeróbki węgla kamiennego. Opracowanie takiego paliwa będzie się również wpisywało w krajowe i europejskie prawodawstwo zmierzające w kierunku poprawy jakości powietrza poprzez wyeliminowanie spalania paliw niskiej jakości oraz nieefektywnych energetycznie i ekologicznie kotłów grzewczych.

Obecnie, z uwagi na zaistniałą sytuację gospodarczo-polityczną, obserwuje się deficyt odpowiedniej ilości paliw węglowych, tak więc można stwierdzić, że istnieje konieczność wprowadzenia na rynek paliwa do kotłów automatycznych, spełniającego odpowiednie kryteria jakościowe. W odpowiedzi na oczekiwania rynku, JSW Nowe Projekty S.A. (wcześniej JSW Innowacje S.A.) oraz Instytut Technologii Paliw i Energii, ITPE (wcześniej Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla) w ramach projektu EKomPell pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania ekologicznych pelletów na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych dla ogrzewnictwa indywidualnego” opracowały technologię wytwarzania ekologicznego pelletu na bazie drobnoziarnistych sortymentów węgla kamiennego, które – zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi – są wykluczone z rynku paliw w postaci nieprzetworzonej. Zaprojektowane paliwo kompozytowe składa się z komponentów węglowych i biomasowych oraz lepszycza.

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki realizowanego projektu dotyczące opracowanego paliwa EKomPell bazującego na odpadach jakimi są flotokonzentraty węglowe oraz technologii jego wytwarzania.

## 2. Badania otrzymywania kompozytowych paliw formowanych

W ramach projektu EKomPell, na podstawie analizy stanu techniki oraz eksperymentalnych badań laboratoryjnych, przeprowadzono dobór urządzenia formującego, receptury surowcowej oraz parametrów technologicznych procesu formowania drobnoziarnistych sortymentów węglowych, umożliwiających pozyskiwanie mechanicznie wytrzymałego pelletu paliwowego, spełniającego wymagania Rozporządzenia Ministra Energii z dn. 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych [22] (Tabela 1).

Badania nad otrzymywaniem pelletów paliwowych w skali laboratoryjnej wykonano w ITPE z wykorzystaniem ekstrudera jednoślismakowego S45 firmy Metalchem. Czynniki zmiennymi w prowadzonych testach były: ciśnienie ekstrudowania regulowane średnicą wewnętrzną filiiery, temperatura mieszanki poddawanej ekstrudowaniu, czas mieszania surowców, zawartość i rodzaj surowca węglowego i biomasowego w ekstrudowanej mieszance oraz rodzaj i ilość stosowanego lepiszcza [23]. W ramach testów laboratoryjnych przetestowano wpływ dodatku różnych rodzajów biomas tj. lignocelulozy pohydrolitycznej, makuchu rzepakowego, śruty poekstrakcyjnej oraz trocin, jak również obszernej gamy lepiszczy organicznych, nieorganicznych i kompozytowych na właściwości pelletów (gęstość nasypowa i pozorna, wytrzymałość na ściskanie i ścieranie).

Na podstawie przeprowadzonych badań [24] ustalono warunki procesu peletowania w skali laboratoryjnej, dostosowane do granicznych wartości parametrów pracy ekstrudera laboratoryjnego, pozwalające na uzyskanie pelletów o najkorzystniejszych walorach fizykomechanicznych, spełniających postawione wymagania (wytrzymałość mechaniczna  $D_u$  nie mniejsza, niż 85%, wg PN-EN ISO 17831-1:2016-02). Przeprowadzono badania optymalizacyjne mające na celu redukcję zawartości spoiwa oraz opracowano recepturę bazową dla testów peletyzacji w skali przemysłowej.

Głównym zagadnieniem technologicznym w ramach przeprowadzonych badań przemysłowych było przeniesienie skali z warunków laboratoryjnych do warunków produkcyjnych (skala, wydajność poszczególnych węzłów technologicznych). Podstawowym celem realizowanych prac był dobór receptury mieszanki i parametrów pracy poszczególnych węzłów technologicznych procesu wytwarzania paliwa formowanego, tj. węzła dozowania komponentów (w tym lepiszcza), węzła uśredniania mieszanki kierowanej do procesu (odpowiedni czas mieszania), węzła formowania (ekstruder, dobór odpowiedniego rodzaju i wielkości otworów matrycy), zapewniający możliwość wytwarzania paliwa o parametrach jakościowych nie niższych, niż parametry jakościowe paliw wytworzonych w skali laboratoryjnej.

Kluczowym problemem technicznym w procesie formowania metodą ekstrudowania był dobór właściwej zawartości wilgoci w mieszance kierowanej do procesu formowania. Zarówno zbyt mała, jak i zbyt duża zawartość wilgoci w mieszance poddawanej procesowi ekstrudowania była niekorzystna z punktu widzenia jakości wytwarzanych pelletów (niska wytrzymałość mechaniczna), ciągłości pracy linii produkcyjnej (blokowanie matrycy, uszkodzenie elementów roboczych ekstrudera) oraz ekonomiki produkcji (wzrost kosztów suszenia pelletów). Zawartość wilgoci w mieszance oznaczano dla każdej partii mieszanki wytworzonej w pojedynczym mieszalniku. W warunkach aparaturowych ZPKPS w Suszcu optymalny czas mieszania w celu homogenizacji mieszanki wynosił 15 minut, w tym 5 minut mieszania po zadozowaniu wszystkich komponentów paliwa [25]. W celu uzyskania bardzo dobrej homogenizacji komponentów paliwa, dwa pracujące w układzie rewersyjnym mieszalniki pracowały z maksymalną możliwą prędkością obrotów silnika na poziomie 50 Hz, co przekłada się na 19 obrotów mieszadła na minutę. Zastosowany czas wynoszący 70 min. w standardowo stosowanej temperaturze ( $85\pm 90^\circ\text{C}$ ) pozwolił na uzyskanie produktu o zawartości wilgoci poniżej 3%. Dolna granica zawartości wilgoci dla stosowanego typu ekstrudera wynosiła 23% wag., a górna - 31% wag. Najkorzystniejszymi, z punktu widzenia ciągłości pracy linii produkcyjnej, zawartościami wilgoci w ekstrudowanej mieszance były wartości od 24%. Kolejnym, istotnym aspektem technologicznym był właściwy dobór matrycy urządzenia. Matryca ekstrudera

o zbyt dużym sprężu powoduje nadmierne opory formowania, co w konsekwencji może prowadzić do zablokowania linii, a nawet uszkodzeń mechanicznych elementów roboczych ekstrudera. Podstawową matrycą stosowaną w testach była matryca o średnicach otworów  $\varnothing=15$  mm (o stopniu otwarcia  $\varphi=34,74\%$ ). Matrycą wymienną była matryca o średnicach otworów  $\varnothing=16$  mm ( $\varphi=35,94\%$ ).

Czynnikami zmiennymi w weryfikowanej recepturze paliwa były: pochodzenie komponentu węglowego (flotokoncentratu), rodzaj biomasy oraz rodzaj spoiwa. Przyjęte receptury zakładały stały stosunek ilości komponentu węglowego do biomasy oraz minimalny udział składnika węglowego na poziomie 85% wag.

Wyżej wymienione warunki technologiczne, tzn. receptura paliwa oraz warunki prowadzenia procesu wywierają istotny wpływ na jakość uzyskiwanego produktu. W prowadzonych badaniach szczególny nacisk położono na otrzymywanie paliwa o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, która determinuje jego zachowanie się podczas transportu, składowania (pylenie, degradacja ziaren) a przede wszystkim podczas spalania w kotle (zwiększona emisja pyłów spowodowana degradacją ziarnową podczas operacji dozowania paliwa do paleniska). Założono, że minimalna wymagana wytrzymałość mechaniczna dla tego typu paliwa powinna wynosić 85%.

Na podstawie przeprowadzonych 15 testów przemysłowych peletowania różnych mieszanek flotów węglowych, biomas i spoiw wytypowano receptury otrzymywania paliw formowanych i wytworzono trzy informacyjne partie pelletów w ilości ok. 20 t, 10 t i 10 t. Spełniały one założone w projekcie wymagania jakościowe dotyczące zawartości wilgoci całkowitej, zawartości popiołu, siarki, wartości opałowej oraz wytrzymałości mechanicznej na ścieranie (Tabela 1). Jednocześnie spełniają one wymagania jakościowe dla paliw stałych o wymiarze ziarna 5÷31,5 mm (typ ekogroszek) zgodnie z Rozporządzeniem Ministra i Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych [22].

#### Porównanie parametrów osiągniętych i wymaganych dla pelletów na bazie drobnoziarnistych frakcji węglowych i biomasy

Tabela 1

Parametr	Wartości osiągnięte	Wartości założone w ramach projektu	Wartości wymagane*
Zawartość wilgoci całkowitej $W_t^f$ , % wag.	0,8 ÷ 1,6	≤ 5	≤ 15
Zawartość popiołu w stanie suchym $A_d$ , % wag.	5,2 ÷ 5,4	≤ 8	≤ 12
Wartość opałowa w stanie roboczym $Q_i^f$ , MJ/kg	29,862 ÷ 30,819	≥ 24	≥ 24
Zawartość siarki całkowitej w stanie suchym $S_t^d$ , % wag.	0,39 ÷ 0,43	≤ 0,8	≤ 1,2
Wytrzymałość mechaniczna na ścieranie $D_u$ , %	87,0 ÷ 88,0	≥ 85	–

\* zgodnie z rozporządzeniem Ministra Energii z dn. 28.09.2018 r. [22]

Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości wytwarzanego paliwa w głównej mierze zależą od właściwości zastosowanych surowców i przyjętej receptury wytwarzania paliwa, co w procesie przemysłowym obliguje do ścisłej kontroli dostaw poszczególnych surowców pod kątem ich jakości, a także przestrzegania przyjętej receptury paliwa.

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono docelową recepturę paliwa kompozytowego na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych. Ze względu na podpisaną umowę licencyjną oraz zobowiązanie do zachowania poufności, w tabeli 2 przytoczono ogólną recepturę opracowanego paliwa kompozytowego EKomPell, będącą tajemnicą handlową.

**Receptura paliwa kompozytowego na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych**

Tabela 2

Składnik	Udział, % wag. s. masy
Komponent węglowy	>85
Biomasa	<10
Spoiwo	<5

Przeprowadzone prace były bazą sformułowania wytycznych procesowych i surowcowych do wytwarzania paliw kompozytowych na bazie drobnoziarnistych frakcji węglowych.

### 3. Technologia wytwarzania kompozytowych paliw formowanych EKomPell

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i testów przemysłowych opracowano kompleksową technologię produkcji kompozytowego paliwa formowanego EKomPell [26]. Na rysunku 1 przedstawiono ogólny schemat koncepcji technologii, która składa się z czterech podstawowych węzłów produkcji:

- Węzeł 1. Podawanie surowców i przygotowanie mieszanki do formowania.
- Węzeł 2. Formowanie paliwa.
- Węzeł 3. Suszenie paliwa.
- Węzeł 4. Pakowanie i załadunek paliwa.

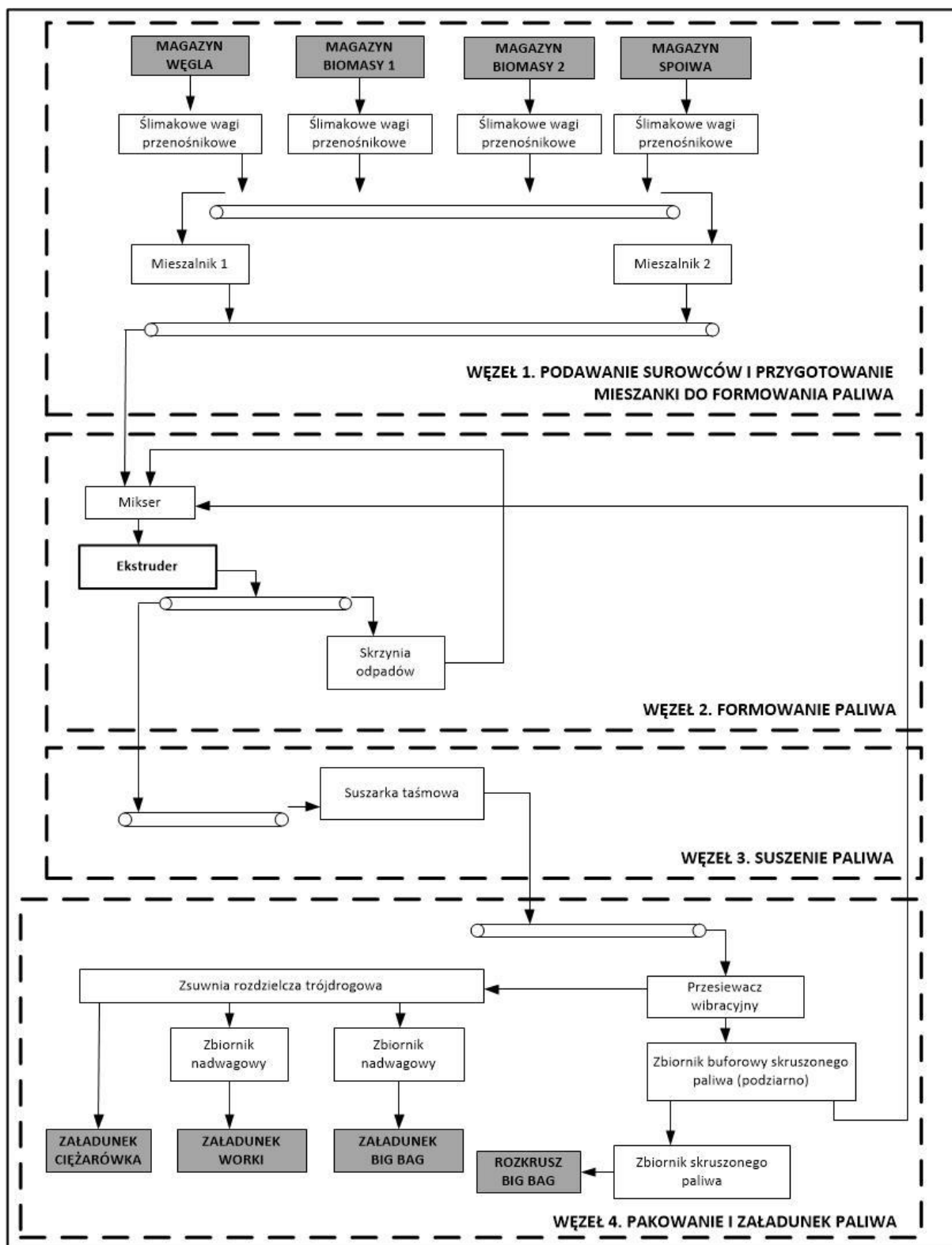
Opracowana technologia zakłada wykorzystanie jako surowców do produkcji paliwa EKomPell: drobnoziarnistych frakcji węglowych, biomasy oraz spoiwa. Mieszanka surowców formowana jest metodą ekstrudowania, a wytworzone pellety surowe są suszone do założonego poziomu zawartości wilgoci (tj. max. 5 %).

#### 3.1. Podawanie surowców i przygotowanie mieszanki do formowania

W przedmiotowej technologii surowce: drobnoziarnista frakcja węglowa oraz biomasa magazynowane są na pryzmach w zadaszonych boksach. Ponieważ technologia umożliwia stosowanie różnych biomas, powinny być one magazynowane w oddzielnych boksach magazynowych. Spoiwo powinno być magazynowane w suchej hali magazynowej (spoiwo konfekcjonowane w workach) lub w zabezpieczonym przed działaniem czynników atmosferycznych silosie dostosowanym do przechowywania materiałów sypkich.

Surowce przekazywane są z magazynów do zbiorników zasypowych stacji dozowania. Elementami głównymi stacji są przenośniki ślimakowe oparte na wagach tensometrycznych, umożliwiające dozowanie surowców w odpowiednich proporcjach, zgodnych ze stosowaną recepturą paliwa. Surowce z wag stacji dozowania kierowane są na wspólny przenośnik taśmowy rewersyjny, transportujący komponenty mieszanki do jednego z dwóch pracujących sekwencyjnie mieszalników lemieszowych.

Z uwagi, że mieszalniki są urządzeniami o działaniu okresowym, utrzymanie ciągłej pracy instalacji wymaga ich naprzemiennego działania. Podczas gdy jeden z mieszalników homogenizuje składniki paliwa, drugi mieszalnik jest rozładowywany za pomocą przenośnika ślimakowego. Łączny czas mieszania surowców w mieszalniku wynosi 15 min., przy czym czas mieszania po zadozowaniu wszystkich składników wynosi 5 min. Z mieszalników mieszanka do produkcji paliwa kierowana jest za pomocą przenośnika do węzła formowania paliwa.



Rys. 1. Schemat koncepcyjny technologii wytwarzania kompozytowych paliw formowanych EKomPell

### 3.2. Formowanie paliwa

Mieszanka z węzła jej przygotowania podawana jest w pierwszej kolejności do miksera, w którym ulega szybkiej, dodatkowej homogenizacji, a następnie do systemu próżniowego – komory próżniowej, w której następuje jej odpowietrzenie. Odpowietrzona mieszanka podawana jest do ekstrudera wyposażonego w zagęszczający podajnik ślimakowy o zbieżnym skoku. Poprzez matrycę o określonej wielkości otworów wytłaczane są kształtki paliwa, które spadają na rewersyjny przenośnik taśmowy, który przeznaczony jest do transportowania surowych pelletów do węzła suszenia, jednakże w sytuacjach awaryjnych – poprzez możliwość ruchu rewersyjnego – jest wykorzystywany do usuwania wadliwych pelletów z linii produkcyjnej. Wadliwe pellety ze skrzyni odpadów kierowane mogą być powtórnie do węzła formowania.

### 3.3. Suszenie paliwa

Paliwo surowe o zawartości wilgoci od 24 do 31% wag., podawane jest na jezdny przenośnik taśmowy, który umożliwia równomierne rozproszanie paliwa w suszarce taśmowej. Czynnikiem suszącym w urządzeniu jest gorące powietrze o temperaturze  $85\div 90^{\circ}\text{C}$ . Czynnikiem grzewczym jest woda obiegowa o temp.  $95\div 115^{\circ}\text{C}$ . Czas suszenia pelletów (regulowany prędkością przesuwu taśmy) wynosi 70 min. Wysuszone pellety kierowane są na przenośnik taśmowy węzła pakowania i załadunku paliwa.

### 3.4. Pakowanie i załadunek paliwa

Przed pakowaniem i dystrybucją wysuszone paliwo poddawane jest przesiewaniu w przesiewaczu wibracyjnym. Pozbawione podziarna paliwo przenośnikiem taśmowym transportowane jest do zsuwni rozdzielczej trzydrogowej, umożliwiającej skierowanie go do zbiornika nadwagowego nad systemem załadunkowym do big-bagów, zbiornika nadwagowego nad systemem pakowania w worki lub do taśmowej wagi przenośnikowej umożliwiającej załadunek paliwa w luźnej formie bezpośrednio na samochody ciężarowe.

Wydzielone w przesiewaczu wibracyjnym podziarno może być kierowane za pomocą zsuwni rozdzielczej dwudrogowej do zbiornika skruszonego paliwa i następnie pakowane w big-bagi służące jako wsad surowcowy obniżający wilgotność mieszanki lub przy małej ich ilości – kierowane bezpośrednio do węzła formowania.

### 3.5. Bilans zużycia energii w produkcji kompozytowego paliwa formowanego

Przyjęto, że roczna produkcja paliwa będzie wynosiła 60 480 t, co odpowiada wydajności produkcji paliwa 10 t/h i efektywnemu czasowi pracy instalacji 69% (praca instalacji w czasie 252 dni w roku w ruchu tryzmianowym – 24 h/dobę).

Oszacowania zużycia mediów bezpośrednio produkcyjnych (energia elektryczna i energia cieplna w postaci wody grzewczej) dokonano przy założeniu rocznej produkcji i efektywnego czasu pracy jak w szacowaniu zużycia surowców, a także pełnego obciążenia mocy zainstalowanej (Tabela 3).

**Bilans zużycia energii w produkcji kompozytowego paliwa formowanego EKomPell**

Tabela 3

Medium	Wskaźnik zużycia	Zużycie roczne	Zużycie jednostkowe
Energia elektryczna	797,9 kW moc zainstalowana	4 825,70 MWh/rok*	79,79 kWh/t produktu
Woda grzewcza	73,96 ( $\pm 4,2\%$ ) m <sup>3</sup> /h	447 340,32 ( $\pm 4,2\%$ ) m <sup>3</sup> /rok*	7,39 ( $\pm 4,2\%$ ) m <sup>3</sup> /t produktu

\* rok = 252 dni = 6048 h



#### 4. Podsumowanie

Jednym z głównych celów Polityki Surowcowej Państwa [27] w zakresie pozyskiwania surowców ze źródeł wtórnych jest transformacja gospodarki w kierunku obiegu zamkniętego, przy założeniu, iż odpady to potencjalne surowce. Kluczowe działania związane z GOZ wskazują na możliwość wykorzystania odpadów wydobywczych oraz działania na rzecz rozwoju ich odzysku, w tym rozwój technologii przetwórstwa.

W niniejszym rozdziale przedstawiono koncepcję technologii wytwarzania paliwa kompozytowego wytworzonego w głównej mierze z flotokonzentratów węglowych będących odpadem w trakcie produkcji węgla (min. 85% wag.), biomasy (max. 10% wag.) oraz spoiwa (max. 5% wag.). Pellety otrzymane na bazie opracowanej receptury charakteryzują się dobrą wytrzymałością na ścieranie ( $D_{0,87}$ ) oraz zawartością wilgoci  $\leq 1,6\%$  wag., popiołu  $\leq 5,4\%$  wag., siarki całkowitej  $\leq 0,43\%$  wag. i wartością opałową ok. 30 MJ/kg, tym samym wpisując się w wymagania jakościowe stawiane dla paliw stałych o wymiarze ziarna  $5 \div 31,5$  mm (typ ekogroszek) określonych w Rozporządzeniu Ministra Energii z dn. 27.09.2018 r. Przeprowadzone badania zarówno w skali laboratoryjnej, jak i przemysłowej, wskazują, że właściwości opracowanego paliwa kompozytowego zależą głównie od właściwości surowców i przyjętej receptury jego wytwarzania. W ramach projektu EKomPell oprócz opracowania receptury paliwa zaproponowano również koncepcję technologiczną jego produkcji.

Zaprezentowane innowacyjne zagospodarowanie mułów i flotokonzentratów węglowych ma nie tylko znaczenie gospodarcze, ale może wpłynąć również pozytywnie na stan środowiska naturalnego poprzez ograniczenie emisji zanieczyszczeń podczas ich spalania i zmniejszenie ilości odpadów składowanych na hałdach (uniknięcie zeszpecenia krajobrazu, zagrożenia wtórnym pyleniem lub samozapłonem i niezorganizowaną emisją CO<sub>2</sub>).

*Praca wykonana w ramach projektu POIR.04.01.02-00-0038/17 "Opracowanie technologii wytwarzania ekologicznych pelletów na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych dla ogrzewnictwa indywidualnego" (EKomPell) współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



#### Literatura

1. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Zamknięcie obiegu - plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, COM(2015) 614 final. file:///C:/Users/JB/Downloads/COM(2015)614\_0-1.pdf [dostęp: 24 sierpnia 2022]
2. Kirchherra J., Piscicellia L., Boura R., Kostense-Smitb E., Mullerb J., Huibrechtse-Truijensb A., Hekkert M.: Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*. 2018. 150, s. 264-272
3. Stahel W.: The circular economy he circular economy. A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs explains. *Nature* 2016. 531, s.435-438. DOI: 10.1038/531435a
4. Wdowin M., Koneczna R., Cader J., Hanc E., Olczak P., Kunecki P.: Koncepcja wsparcia regionalnego w zakresie realizacji gospodarki o obiegu zamkniętym w województwie

- wielkopolskim. <https://wrot.umww.pl/wp-content/uploads/2021/09/GOZ.pdf> [dostęp: 24 sierpnia 2022]
5. Krajowa Inteligentna Specjalizacja (KIS) - aktualizacja 2020 r. Ministerstwo Rozwoju. Projekt z dnia 29.09.2020 r. Załącznik nr 2 do Strategii produktywności 2030. [https://smart.gov.pl/images/Krajowa\\_Inteligentna\\_Specjalizacja\\_-\\_za\\_nr\\_2.pdf](https://smart.gov.pl/images/Krajowa_Inteligentna_Specjalizacja_-_za_nr_2.pdf) [dostęp: 24 sierpnia 2022]
  6. Wandrasz J., Wandrasz A.: Paliwa formowane. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2006
  7. Koch R., Noworyta A.: Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992
  8. Kłassien P.W., Griszajew I.G.: Podstawy techniki granulacji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989
  9. Zhang G., Sun Y., Xu Y.: Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018. 82, s. 477–487
  10. Dzik T., Marciniak-Kowalska J., Madejska L.: Pressure agglomeration of hard and brown coals. *Chemik* 2012. 66, s. 445–452
  11. Hycnar J.J.; Borowski G.: Methods of Increasing the Calorific Value of Fine Coal Waste; Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2016
  12. Adeleke A.A., Odusote J.K., Lasode O.A., Ikubanni P.P., Malathi M., Paswan D.: Densification of coal fines and mildly torrefied biomass into composite fuel using different organic binders. *Heliyon* 2019, 5, e02160
  13. Taulbee D., Patil D.B., Honaker R.Q., Parekh B.K.: Briquetting of Coal Fines and Sawdust Part I: Binder and Briquetting-Parameters Evaluations. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2009. 29, s. 1–22
  14. Leokaoke N.T., Bunt J.R., Neomagus H.W.J.P., Waanders F.B., Strydom C.A., Mthombo, T.S.: Manufacturing and testing of from intertinite-rich low-grade coal fines using various binders. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* 2018. 118, s. 83–88
  15. Rejdak M., Winkler R., Supernok K., Ignasiak K.: Pelletizing tests of waste anthracite dust. *Inz. Ekolog.* 2016. 49, s. 100–106
  16. Rejdak M.; Czardybon A., Ignasiak K., Sobolewski A., Robak, J.: Compaction Studies of Torrefied Willow. *J. Ecol. Eng.* 2017. 18, s. 183–192
  17. Robak J., Janusz M., Sobolewski A.: Preparation of lignocellulosic waste for combustion process. *Chemik* 2012. 66, s. 436–440
  18. Supernok K., Robak J., Ignasiak K., Szul M.: Preparation of granules made of fine-grained coal fractions for gasification process, *Inz. Ekolog.* 2018. 19, s. 1–13
  19. Borowski G., Hycnar J.J.: Utilization of Fine Coal Waste as a Fuel Briquettes. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2013. 33, s. 194–204
  20. Deniz V.: Production of Water-Resistant Briquettes from a Mixture of an Imported Bituminous Coal and a Turkish Lignite with Copolymer Binder. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2013. 33, s. 26–35
  21. Deniz V.: A new binder in production of water-resistant briquettes from bituminous coals: Copolymer binder. *Energy Sources A Recovery Util. Environ. Eff.* 2016. 38, s.1068–1074.
  22. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/wymagania-jakosciowe-dla-paliw-stalych-18761765> [dostęp: 30 sierpnia 2022]

23. Rejdak M., Robak J., Czardybon A., Ignasiak K., Fudała P.: Research on the Production of Composite Fuel on the Basis of Fine-Grained Coal Fractions and Biomass—The Impact of Process Parameters and the Type of Binder on the Quality of Briquettes Produced, *Minerals* 2020. 10, 31, <https://doi.org/10.3390/min10010031> [dostęp: 22 sierpnia 2022]
24. Gałko G., Ignasiak K., Rejdak M., Robak J., Supernok K.: Sprawozdanie IChPW nr 322/2019 z wykonania pracy pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania ekologicznych pelletów na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych dla ogrzewnictwa indywidualnego” projekt POIR.04.01.02-00-0038/17 (akronim EKomPell), Etap 2, Zabrze maj 2019
25. Hajduk M., Fudała P.: Sprawozdanie JSW Innowacje z wykonania pracy pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania ekologicznych pelletów na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych dla ogrzewnictwa indywidualnego” projekt POIR.04.01.02-00-0038/17 (akronim EKomPell), Etap 5, Katowice styczeń 2020
26. Bigda J., Billig T., Fryza R., Ignasiak K., Kolon P., Robak J.: Sprawozdanie IChPW nr. 118/2020 z wykonania pracy pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania ekologicznych pelletów na bazie drobnoziarnistych sortymentów węglowych dla ogrzewnictwa indywidualnego” projekt POIR.04.01.02-00-0038/17 (akronim EKomPell), Etap 8, Zabrze wrzesień 2020
27. Polityka Surowcowa Państwa Projekt. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021. <https://monitorpolski.gov.pl/M2022000037101.pdf> [dostęp: 30 sierpnia 2022]