

*Jerzy Świądrowski\*, Alina Rejman-Burzyńska\*, Eugeniusz Jędrzyk\**

## WĘGIEL BRUNATNY JAKO SUROWIEC DO PRODUKCJI PALIW PŁYNNYCH

---

### 1. Wprowadzenie

Produkcja paliw płynnych z węgla ma swoją długą historię. Pomijając próby stosowania do celów energetycznych ciekłych produktów pirolizy węgla w dalekiej przyszłości, podwaliny pod opracowanie technologii, których wyłącznym celem było uzyskanie z węgla produktów płynnych, a które mogły znaleźć zastosowanie jako substytuty benzyny i oleju napędowego wytwarzanych z ropy, dały patenty Fredericka Berginsu z 1913 r. oraz Franza Fischera i Hansa Tropscha z 1925 r.

Prace tych uczonych stanowiły podstawę dwóch odmiennych gałęzi technologii przetwórstwa węgla do paliw płynnych, które są rozwijane i doskonalone do dnia dzisiejszego:

- 1) procesu bezpośredniego uwodornienia węgla (rys. 1),
- 2) procesu pośredniego uwodornienia węgla (rys. 2)

Przez zagazowanie węgla rozumie się zespół wielokierunkowych przemian termicznych i chemicznych, które zachodzą w podwyższonej temperaturze głównie między częścią organiczną substancji węglowej i czynnikami zgazowującymi, najczęściej tlenem i parą wodną. Uzyskane produkty gazowe (wodór i tlenek węgla) można syntezować do węglowodorów.

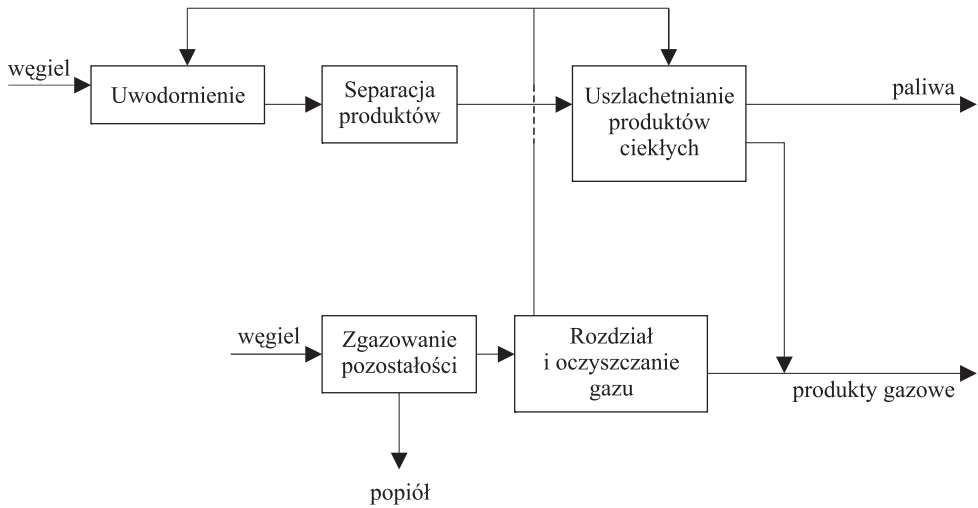
Bezpośrednie uwodornianie węgla polega na zwiększeniu udziału wodoru w stosunku do węgla pierwiastkowego w produktach ciekłych w porównaniu do surowca w warunkach podwyższonych temperatur i pod wysokim ciśnieniem. Zawartość wodoru w węglu kamiennym wynosi ok. 5%, w benzynie i oleju napędowym odpowiednio 16,5 i 13%.

Wodór w procesie zużywany jest również w reakcjach uwodornienia zawartych w substancji węglowej tlenu, azotu i siarki z wytworzeniem wody, amoniaku i siarkowodoru.

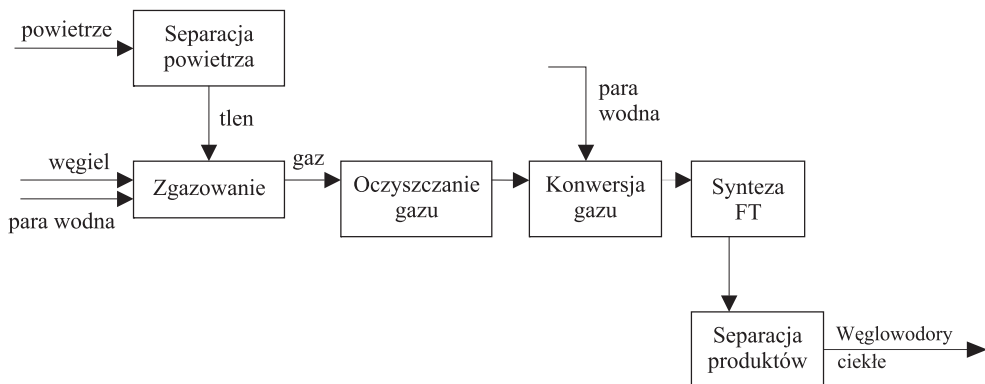
Od samego początku historii upływniania węgla o pomyślnym rozwoju technologii decydowały dwa podstawowe czynniki: uwarunkowania techniczno-technologiczne i ekonomiczne.

---

\* Główny Instytut Górnictwa, Katowice



**Rys. 1.** Bezpośrednie uwodornianie węgla



**Rys. 2.** Pośrednie uwodornianie węgla

O ile problemy techniczno-technologiczne rozwiązywane były sukcesywnie i z powodzeniem, o tyle opłacalność produkcji paliw płynnych z węgla jest cały czas dyskusyjna. Wynika to z podstawowej przyczyny: relacji cen węgla i ropy naftowej.

Wpływ tej zależności na przestrzeni lat potwierdzają fakty:

- produkcja przemysłowa paliw płynnych z węgla w Niemczech w okresie II wojny światowej w ilości ok. 4,5 mln t/rok była koniecznością i nie zależała od rachunków ekonomicznych;
- budowa zakładów Sasol w RPA w latach 50., w okresie światowego embarga była również koniecznością;

- podjęcie olbrzymiego programu badawczego w USA w latach 1970–1990 finansowanego głównie z środków publicznych było skutkiem kryzysu na rynkach ropy naftowej;
- obecne działania w różnych krajach świata zasobnych w węgiel (Chiny, USA, Indie, Australia) również są związane z prognozami wskazującymi na trwałe tendencje szybszego wzrostu cen ropy naftowej niż węgla.

## 2. Uplynnianie węgla brunatnego

Węgiel brunatny, którego udokumentowane zasady bilansowe szacuje się na około 190 mld ton, stanowi ok. 17% światowych zasobów wszystkich gatunków węgla [1]. Węgiel brunatny, z racji swojego pochodzenia geologicznego, jest na ogół łatwiej dostępny, a uwzględniając również niższą wartość energetyczną — tańszy od kamiennego.

Cena węgla brunatnego oraz wysoki wskaźnik wystarczalności, szacowany na koniec 2006 r. na 212 lat [2], jest podstawową przesłanką dla uwzględniania go jako surowca do otrzymywania paliw płynnych.

Węgiel brunatny charakteryzuje się wysoką reaktywnością w procesach destrukcyjnych zachodzących w trakcie jego zgazowania lub uwodornienia. Jest to wynikiem jego budowy strukturalnej. Już prace Bergiusa z lat 20. wykazały, że węgiel pierwiastkowy zawarty w pozostałości po ciśnieniowym, wysokotemperaturowym uwodornieniu węgla brunatnego stanowi jedynie ok. 1% węgla pierwiastkowego we wsadzie [3].

W przypadku węgla o wyższym stopniu uwęglania wartości te wyniosły:

- węgiel gazowy — ok. 10%,
- węgiel płomienny — ok. 15%,
- węgiel antracytowy — ok. 45%.

Reaktywność węgla brunatnego jest przesłanką dla uwzględnienia go jako surowca do produkcji paliw płynnych ze względów technologicznych.

Oprócz tych dwóch niezaprzeczalnych zalet, węgiel brunatny jako surowiec do upłynniania posiada również wady takie jak:

- wysoką zawartość wilgoci, dochodzącą do 70% (np. węgiel Latrobe Valley — Australia) [4];
- niską zawartość węgla pierwiastkowego i wysoką zawartość tlenu.

Powoduje to, że w przypadku bezpośredniego uwodornienia, dla instalacji produkującej 50÷100 tys. bbl paliw ciekłych/dobę potrzebne jest ok. 15÷35 tys. ton węgla kamiennego, lecz do dwóch razy więcej węgla brunatnego [5]. Dwukrotnie większa ilość węgla brunatnego ma m.in. istotny wpływ na koszty transportu. Dlatego też, podobnie zresztą jak w przypadku elektrowni opalanych węglem brunatnym, instalacja upłynniania winna być budowana bezpośrednio przy kopalni.

Wskazane zalety węgla brunatnego spowodowały, że w istocie stanowi on równomierny do węgla kamiennego surowiec do upłynniania. Świadczą o tym zarówno doświadczenia z przemysłu, jak i prac badawczo-rozwojowych:

- pierwszą instalacją w skali przemysłowej wybudowaną w Niemczech opartą na procesie Bergiusa była instalacja w Lenna o zdolności produkcyjnej 120 tys. ton paliw płynnych na rok. Surowcem był węgiel brunatny;
- pierwszą instalacją zgazowania węgla w USA była instalacja Great Plains w North Dakota. Dla tej instalacji uruchomionej w 1984 r. według technologii Lurgii ze złożem quasi-stacjonarnym surowcem również jest węgiel brunatny.
- w pracach badawczych w instalacjach w skali PDU i pilotowej w Niemczech i USA prowadzonych w drugiej połowie ubiegłego wieku uwzględniano węgiel brunatny jako potencjalny surowiec produkcji paliw płynnych metodą bezpośrednią (np. w instalacji pilotowej 200 t/d w Bottrop w Niemczech prowadzono próby uwodornienia węgla brunatnego Xian Feng z Chin) [6].

### 3. Proces BCL

Specjalnie dla węgla brunatnego opracowano proces uwodornienia drugiej generacji znany pod nazwą *The Brown Coal Liquefaction Process* (BCL).

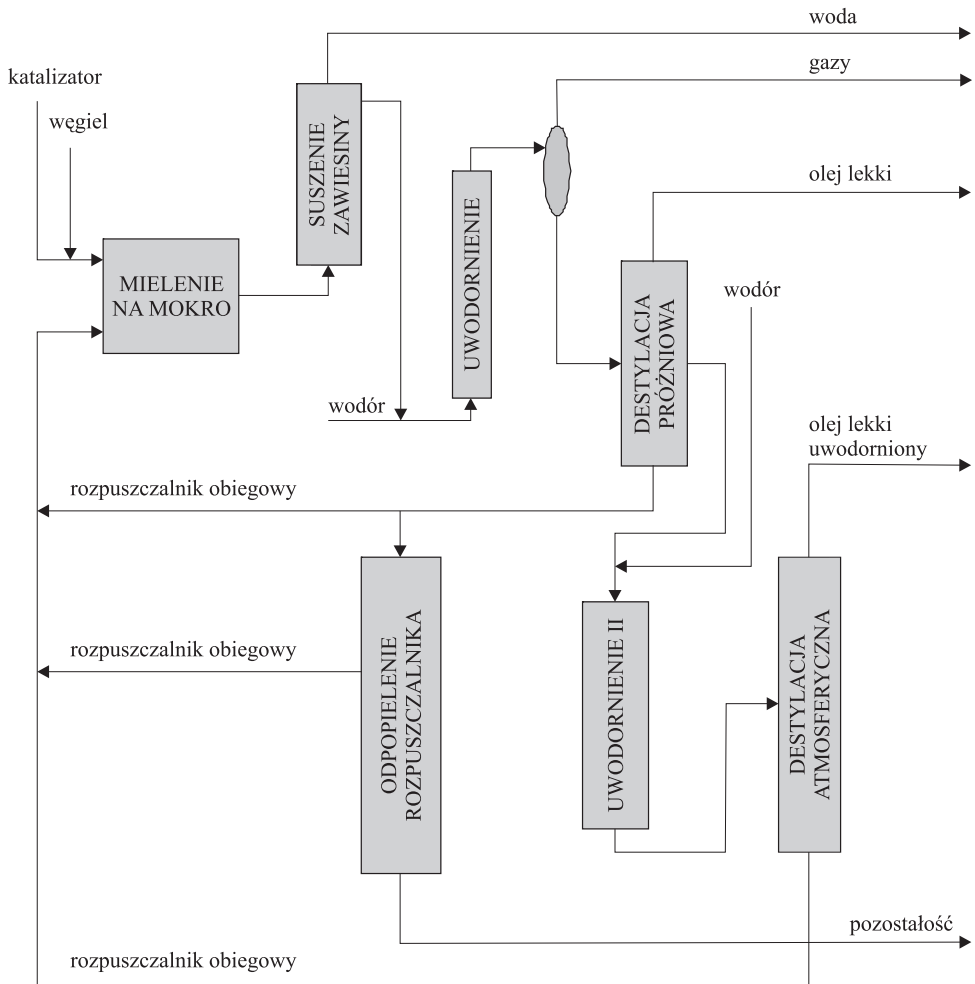
Proces BCL [6, 7] (rys. 3) został opracowany przez japońską organizację *New Energy Industrial Technology Development Organization* (NEDO) do skali instalacji pilotowej o zdolności produkcyjnej 50 t ciekłych produktów z węgla na dobę, która została wybudowana w Morwell w australijskim stanie Victoria. Instalacja eksploatowana w latach 1985–1990 przetworzyła w tym okresie ok. 60 000 t węgla brunatnego z Lotrobe Valley o zawartości wilgoci powyżej 60%. Widok instalacji przedstawia rysunek 4.

Po zakończonym pozytywnie programie badań instalacją w latach 1991–1992 została zdemontowana.

Technologia została opracowana specjalnie dla przetwórstwa węgla brunatnego. Dla uzyskania 50 t produktów ciekłych/dobę ilość surowca wyniosła ok. 170 ton/dobę. Krytycznym elementem badań było opracowanie efektywnego energetycznie sposobu suszenia węgla.

Przebieg procesu przebiega w następujący sposób. Węgiel surowy jest mielony w zawieszynie rozpuszczalnika powrotnego z dodatkiem 3% żelazowego katalizatora jednokrotnego użycia. Następnie z zawiesziny jest usuwana woda przez odparowanie w urządzeniu o wysokiej termicznej efektywności. Po zmieszaniu odwodnionej zawiesziny z gazem wodorowym następuje uwodornienie węgla w reaktorze rurowym, pod ciśnieniem 15÷20 MPa i w temperaturze 430÷450°C. Produkty z pierwszego stopnia uwodornienia są chłodzone, rozprężane i rozdzielane. Substancje ciekłe kierowane są do drugiego stopnia uwodornienia w reaktorze ze stałym złożem katalizatora niklowo-molibdenowego, który przebiega pod ciśnieniem

15÷20 MPa i w temperaturze 360÷400°C. Część półpłynnej pozostałości z pierwszego stopnia poddawana jest odpopieleniu polegającemu na wytrąceniu i następnie sedymentacji części mineralnych i asfaltenów przy pomocy odpowiedniej frakcji ciekłych produktów procesu. Uzyskana stała pozostałość może być wykorzystana do produkcji wodoru w operacji zgazowania. Pozostała część półpłynnej pozostałości z pierwszego stopnia, faza ciekła z sedymentatora oraz ciężki produkt z drugiego stopnia tworzą rozpuszczalnik powrotny, zawracany na początek procesu. Produkt lekki z drugiego stopnia stanowi frakcję paliw płynnych, które należy poddać przeróbce rafineryjnej. Gazy procesowe są oczyszczane i rozdzielane na strumień gazu powrotnego o wysokiej zawartości wodoru, gaz opałowy i gazy kwaśne.



Rys. 3. Proces BCL (Brown Coal Liquefaction)



Rys. 4. Instalacja BCL 50 t/dobę

Wyniki jednej z prób technologicznych (Run 8), która przebiegała w zintegrowanym układzie instalacji zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

**Wyniki uwodornienia węgla brunatnego Latrobe Valley w instalacji BCL**

Parametr	Jednostka	I uwodornienia	II uwodornienia	Proces
Warunki w reaktorze:				
– ciśnienie	MPa	15,3	16	–
– temperatura	°C	450,3	400	–
Ilość węgla	t/d	50,8	–	–
Stosunek rozpuszczalnik/węgiel		2,59/1	–	–
Wydajności (na substancję organiczną węgla)	%	–	–	–
Zużycie wodoru		4,7	1,0	5,7
CO + CO <sub>2</sub>		13,9	0,0	13,19
H <sub>2</sub> S		1,2	0,1	13
Gazy C <sub>1</sub> –C <sub>4</sub>		11,05	0,7	11,75
Olej lekki		16,38	5,3	21,68
Olej średni		16,84	4,0	20,84
Olej ciężki		–	–	9,75
Woda procesowa		13,81	1,9	15,7
Konwersja substancji węglowej	%	–	–	97,95

Około 90+95% olejów destylujących uzyskuje się w pierwszym stopniu uwodornienia. Jak wykazały badania własności, są one niskiej jakości m.in. ze względu na wysoką zawartość heterozwiązków. Całkowita wydajność netto produktu ciekłego wynosi 52,26 % w przeliczeniu na substancję organiczną węgla.

Po zakończeniu zaplanowanego cyklu badań w skali pilotowej, który dostarczył również informacji o pełnej technicznej wykonalności procesu, dalsze prace mające na celu poprawę wskaźników technologicznych i ekonomicznych prowadzono w instalacji o przerobie 0,1 t węgla/dobę w Japonii.

W wyniku wprowadzonych usprawnień:

- zastosowania katalizatora jednokrotnego użycia o wyższej aktywności (np. rudy zawierającej uwodnione tlenki żelaza) w ilości do 0,1%;
- komponowania rozpuszczalnika powrotnego wyżej wrzącego i zawierającego większe ilości pozostałości z pierwszego stopnia;

uzyskano większą wydajność produktów ciekłych (ok. 60%) o wyższej jakości oraz oszacowano, że wymagana cena ropy przy której produkcja paliw z węgla australijskiego będzie opłacalna jest o 24% niższa niż dla pierwotnej wersji technologii.

Według szacunków Environmental Clean Technologies [8] produkcja paliw płynnych z taniego węgla brunatnego (ok. 4 USD/t) metodą bezpośredniego uwodornienia i z zastosowaniem procesu suszenia znanego pod nazwą *Coldry Dewatering Process*, który polega na „odciskaniu” nadmiaru wody z węgla w podwyższonej temperaturze, mogą wynosić 25–30 USD/bbl. Dla porównania według tego samego źródła koszt produkcji 1 bbl paliw płynnych z węgla kamiennego metodą Fischer–Tropscha wynosi ok. 40 USD.

#### **4. Perspektywy upłynniania węgla brunatnego w Polsce**

Polska należy do krajów zasobnych w węgiel brunatny. Szacowane zasoby tego surowca wynoszą [9]:

- udokumentowane bilansowe — ok. 14 mld ton,
- złoża perspektywiczne — 58 mld ton,
- w obszarach węglonośnych — ponad 140 mld ton.

Planowane wydobycie dla celów energetycznych, w którym uwzględniono złoża Legnica, do roku 2065 wyniesie ok. 3,4 mld ton, tak więc istnieją duże możliwości wykorzystania dodatkowych ilości węgla do przetwórstwa.

Jak wykazują doświadczenia innych krajów (USA, Niemcy, Australia), węgiel brunatny ze względów technologicznych i ekonomicznych może stanowić istotne źródło surowca do produkcji paliw płynnych.

W badaniach procesu bezpośredniego uwodornienia węgla prowadzonych w świecie rozwiązano już szereg istotnych problemów technicznych i technologicznych związanych

z tego typu przetwórstwem. Wyniki krajowych prac prowadzonych w przeszłości w Głównym Instytucie Górnictwa w zakresie bezpośredniego, bezkatalitycznego uwodornienia węgli energetycznych mogą być w znacznym stopniu wykorzystane dla opracowania podstaw procesu dla polskiego węgla brunatnego. Wydaje się, że krokiem we właściwym kierunku byłoby wykonanie w oparciu o dostępne dane i wyniki wstępnej analizy możliwości produkcji paliw płynnych z węgla brunatnego, z uwzględnieniem specyfiki własności surowca oraz wskaźników ekonomicznych oraz wpływu na środowisko.

#### LITERATURA

- [1] [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)
- [2] [www.dbresearch.com](http://www.dbresearch.com)
- [3] *Fieldner A.C.*: Recent development in the production of motor fuels from coal. Information Circular Department of Commerce — Bureau of Mines, USA, 1928
- [4] *Allardice D.J., Young B.C.*: Utilisation of low Rank Coals, The Australian Coal Review, 2000
- [5] [www.deancoal.com.au /Our Bussines/ Coalto Oil.htm#7](http://www.deancoal.com.au/Our%20Business/Coal%20to%20Oil.htm#7)
- [6] *Sage P., Payne M.*: Coal Liquefaction — a technology status review. Report No COAL R 184 DTI/Pub URN 99/1241, 1999
- [7] Brown Coal Liquefaction Technology ([www.uedo.go.jp](http://www.uedo.go.jp))
- [8] [www.cleancoal.com.au](http://www.cleancoal.com.au)
- [9] *Libicki J., Tarasewicz Z.*: Projektowanie i budowa KWB „Legnica”. Kwartalny Biuletyn Informacyjny Węgiel Brunatny, nr 52, 2005