

Stanisław Hajdo\*, Jerzy Klich\*, Krzysztof Polak\*

## WŁASNOŚCI WĘGLI NISKOGATUNKOWYCH W PODZIEMNYM ZGAZOWANIU WĘGLA\*\*

---

### 1. Wstęp

Węgiel brunatny wydobywany jest na skalę przemysłową zazwyczaj metodą odkrywkową. Jego eksploatację można także realizować metodą podziemną, jednak metoda ta nie zapewnia tak dużej skali produkcji jak w przypadku metody odkrywkowej. Od wielu lat prowadzone są także próby wykorzystania metod niekonwencjonalnych np. poprzez podziemne zgazowanie.

W wielu krajach świata prowadzone są od wielu lat próby przetwórstwa węgla poprzez podziemne zgazowanie dla potrzeb produkcji paliw płynnych i gazowych. Węgiel dla konkretnych zastosowań musi jednak posiadać określone własności pozwalające na jego wykorzystanie dla danych potrzeb.

Określenie „węgiel brunatny” (*brown coal*) funkcjonuje jako nazwa tradycyjna, która ma na celu odróżnienie go od innych paliw stałych. W niektórych krajach używa się pojęcia „lignit” i „węgiel brunatny” zamiennie, w innych dla odróżnienia węgla o mniejszej wartości opałowej (*lignit*) od węgla o wyższej wartości opałowej (węgiel brunatny). W celu wypracowania standardów Europejska Komisja Gospodarcza Narodów Zjednoczonych (UNECE) opracowała nowy międzynarodowy system klasyfikacji i kodyfikacji węgla. W systemie tym nie znalazło się jednak określenie „węgiel brunatny”.

Najważniejszy z punktu widzenia wspomnianej klasyfikacji jest system kodyfikacji węgla nisko-gatunkowego, w której wyróżnia się węgle, których wartość opałowa górna wynosi poniżej 24 MJ/kg, a średnia refleksyjność wityrnytu jest mniejsza niż 0,6%. Dzielią się one na węgle subbitumiczne, meta-lignity i ortho-lignity.

---

\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Pracę sfinansowano ze środków badań prowadzonych w ramach zadania badawczego pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” — Obszar 1.4. „Opracowanie kryteriów do weryfikacji krajowej bazy surowcowej przydatnej do zgazowania węgla brunatnego”, które finansowane jest przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Granice pomiędzy tymi kategoriami określone są na podstawie wartości opałowej górnej w sposób następujący [9]:

- ortho-lignity są to węgle, których ciepło spalania jest mniejsze niż 15 MJ/kg. Dolny zakres dla tej kategorii węgla oznacza granicą pomiędzy węglem i torfem;
- meta-lignity są to węgle, których ciepło spalania jest równe lub większe od 15 MJ/kg i mniejsze niż 20 MJ/kg;
- węgle podbitumiczne są to węgle, których ciepło spalania jest równe lub większe niż 20 MJ/kg i mniejsze niż 24 MJ/kg.

Z większości materiałów źródłowych dotyczących zgazowania węgla wynika, że zgazowywano dotychczas głównie złoża węgla niskiej jakości (lignit lub węgiel podbitumiczny). Jednak przy opisie stosowano obowiązujące w danym kraju zasady klasyfikacji węgla. Używanie różnych sposobów klasyfikacji w różnych regionach świata było przyczyną powstawania nieporozumień między innymi przy porównywaniu wyników przebiegu testów podziemnego zgazowania węgla. Dla przykładu w Stanach Zjednoczonych zwykło się kategoryzować węgiel jako brunatny (podbitumiczny) o wartości opałowej nawet 30 MJ/kg. Dodatkowym spotykanym często problemem jest używanie różnych jednostek miar oraz ich błędne przeliczanie. Dla przykładu w pracy Khadse i in. [8] podano błędnie, że w próbach amerykańskich podziemnego zgazowania wartość opałowa węgla wynosiła od 9 580 do 14 000 kcal/kg. Właściwą jednostką powinny być jednak BTU/lb (British Thermal Unit/Pound), co po przeliczeniu odpowiadałoby 22–32,5 MJ/kg.

W charakterystyce przedstawionej w dalszej części pracy uwzględniono typy węgla podawane według różnych źródeł w różnych klasyfikacjach. W celu ujednoczenia wyników podawano je zgodnie z klasyfikacją UN-ECE.

## **2. Charakterystyka testów zgazowania węgla brunatnego**

Podziemne zgazowanie realizowane może być przy wykorzystaniu tradycyjnych wyrobisk górniczych bądź przy wykorzystaniu metody otworowej. W obu przypadkach zespół gazogeneratora składa się z dwóch wyrobisk, pomiędzy którymi zachodzi proces zgazowania. W technice otworowej niekiedy stosuje się też otwór dodatkowy służący do zapłonu zgazowywanego pokładu. Zależnie od kąta upadu pokładu otwory mogą być pionowe lub kierunkowe. W przypadku otworów kierunkowych stosuje się często technologię podciąganych rur, w skrócie CRIP. Technologia ta pozwala na zmniejszenie nakładów na prace wiertnicze. W wyniku zgazowania węgla otrzymuje się mieszaninę substancji palnych i niepalnych, które mogą zostać wykorzystane w syntezach chemicznych do produkcji paliw płynnych i gazowych, produkcji energii cieplnej czy elektrycznej.

Z literatury wynika, że niemal wszystkie próby prowadzone były na węglach typu podbitumicznego i meta-lignitów. Jedynie wczesne próby prowadzone w krajach Europy Za-

chodniej prowadzone były w kopalniach węgla kamiennego. Obecnie także na złożach węgla kamiennego prowadzi się zgazowywanie w ChRLD [4, 15]. Natomiast większość prób prowadzonych w byłym ZSRR oraz USA, jak również ostatnie udane próby w Australii czy Hiszpanii wykonywane były na złożach węgla brunatnego.

Pierwsze próby zgazowania węgla brunatnego prowadzone były już przed II wojną światową w byłym ZSRR na złożach w Zagłębiu Podmoskiewskim. Złoża te zalegały na niewielkich głębokościach. Były to pokłady poziome lub prawie poziome o miąższości kilku metrów. Pierwsza przemysłowa instalacja pracowała na złożu Krutova. W kolejnych próbach zgazowaniu poddano prawie poziome pokłady węgla w miejscowości Tula, o miąższości do 5 m. W 1963 roku zaprzestano wydobywania z powodu wyeksploatowania złoża. Eksploatację wznowiono na sąsiednim złożu w Szatsku. Po kilkunastu latach przerwano ją z powodu trudności technicznych związanych z niską jakością węgla.

W zagłębiu Kuźnieckim pierwsze próby podziemnego zgazowania prowadzono jeszcze w latach 30 na złożach Leninsk i Stalińsk (węgiel bitumiczny). Były to złoża płytko zalegające, o niewielkim upadzie i miąższości do 5 m.

W 1962 roku uruchomiono eksploatację na złożu Angren w Uzbekistanie. Pokład węgla brunatnego (meta-lignitu) zalega na znacznych głębokościach i jest izolowany ponad 20 m miąższości warstwą kaolinu.

Kryzys paliwowy lat 70. ubiegłego wieku spowodował, że zgazowaniem węgla zainteresował się Departament Energii rządu Stanów Zjednoczonych. Pod jego auspicjami przeprowadzono w latach 1973–1989 ponad 30 pilotowych prób podziemnego zgazowania węgla [3]. Pierwszą jednak próbę zgazowania podjęto w USA już 1947 roku w stanie Alabama w kopalni należącej do Alabama Power Company. Test prowadzono pod nadzorem Urzędu Górniczego [4]. Źródła podają, że próba odbyła się w pokładzie węgla o miąższości około 1 m zalegającego na głębokości 50 m. W próbach z lat 80. ubiegłego wieku zgazowano w sumie ponad 60 tys. ton węgla. Próby prowadzono w większości na złożach „węgla brunatnego”, tj. w stanach [3, 7]:

- 1) Wyoming — węgiel brunatny błyszczący (podbitumiczny); eksperymenty prowadzono:
  - w latach 1973–1979 na instalacjach w Hanna oraz Rocky Mountain,
  - w latach 1976–1979 na instalacjach w Hoe Creek,
  - w latach 1979–1981 na instalacjach w Rowllins;
- 2) Washington — węgiel brunatny błyszczący (podbitumiczny); eksperymenty (pod nazwą Centralia) prowadzono:
  - w roku 1979 w miejscowości Tono Basin.

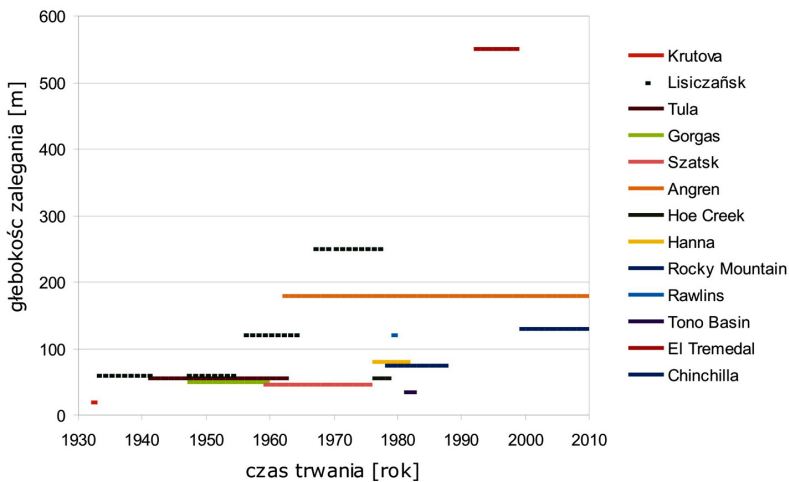
Eksperymenty nad zgazowaniem węgla brunatnego matowego (meta-lignitu) prowadzono również w stanie Texas w latach 1976–1980 [3]. Eksperymenty te finansowane były z funduszy prywatnych i nie są znane szczegółowe rezultaty przeprowadzonych prób.

W 1989 roku zdecydowano o przeprowadzeniu pierwszych prób zgazowania węgla pod auspicjami Komisji Europejskiej. Prace przeprowadziło konsorcjum hiszpańsko-brytyjsko-francuskie w latach 1992–1999 na instalacji El Tremedal, w prowincji Teruel w północno-

-wschodniej Hiszpanii. Zgazowanie przeprowadzono na pokładzie niskogatunkowego węgla brunatnego zalegającego na głębokości około 550 m. W trakcie testu pokonywano wiele trudności wynikających z niedostatecznego stopnia rozpoznania budowy geologicznej, uszkodzeń otworów oraz znacznego dopływu wody z zawadzionych skał nadkładu. Przeprowadzony test uznano za zakończony powodzeniem pomimo zaledwie zgazowania około 240 ton węgla, w trakcie 75 dniowej pracy instalacji [1, 12].

W latach 1997–1999 prowadzone były próby zgazowania węgla brunatnego w australijskim Queensland. Projekt Chinchilla realizowany był w pokładzie węgla podbitumicznego [2]. Eksploatowane złożo zalega na głębokości 130 m, jego miąższość wynosiła 10 m. Zgazowanie prowadzono przy pomocy 9 otworów o głębokości 140 m [14]. Eksploatacja gazu odbywała się pod ciśnieniem 0,999 MPa, a temperatura uzyskiwanego gazu wynosiła 300°C [4]. Test w Chinchilla to najdłuższy pod względem czasu trwania oraz największy pod względem skali produkcji na świecie, poza byłym ZSRR. W czasie 28 miesięcy trwania testu zgazowaniu poddano około 32–35 tys. ton węgla, co pozwoliło na wyprodukowanie 80 mln m<sup>3</sup> gazu [2, 14]. Uzyskany gaz charakteryzował się wartością opałową 4,5–5,7 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Na rysunku 1 przedstawiono głębokości prowadzenia testów pilotowych oraz eksploatacji poprzez zgazowanie węgla brunatnego w poszczególnych złożach byłego ZSRR, USA, Hiszpanii oraz Australii.



Rys. 1. Głębokość eksperymentu w poszczególnych projektach zgazowania węgla brunatnego (Opracowanie własne na podstawie [3, 4, 13])

### 3. Własności węgla brunatnych w testach podziemnego zgazowania

Z doświadczeń przeprowadzonych w byłym ZSRR wynika, że decydującym o powodzeniu eksperymentu podziemnego zgazowania są parametry jakościowe węgla. Podać tu

należy przykład udanego zgazowania węgla w zagłębiu podmoskiewskim w Tuli (Podmoskownaja 1 i 2). Wartość opałowa węgla wahała się od 8÷21 MJ/kg, osiągając średnio 11,8 MJ/kg. Tymczasem zgazowanie w sąsiednim złożu Szatsk o średniej wartości opałowej węgla 11,1 MJ/kg zakończyło się niepowodzeniem. Najprawdopodobniej na ten stan rzeczy miały także inne parametry złożowe. Niestety w literaturze podaje się jedynie, że zgazowano 262 030 ton węgla, a czas trwania eksploatacji wynosił 17 lat. Przyjmując wskaźnik produkcyjny 2,5 m<sup>3</sup>/kg (gazu/węgla) szacunkowy uzysk gazu wynosił około 38,5 mln m<sup>3</sup>/rok. Dla porównania wielkość produkcji w Angren osiągnęła maksymalnie 1,4 mln m<sup>3</sup>/rok w 1965 roku. W instalacji Podmoskownaja 2 w Tuli średni uzysk gazu wynosił natomiast 2 mld m<sup>3</sup>/rok [3, 4]. Wyniki eksperymentu w Szatsku nie pozwalają na zaliczenie tego eksperymentu do udanych.

W instalacji na złożu Sinelnikowski wartość opałowa węgla wynosiła zaledwie 8,0 MJ/kg. Niestety brak jest szczegółowych danych dotyczących uzysku i gazu, a nawet informacji czy eksperyment w ogóle się powiódł. Można jedynie przypuszczać, że brak danych wynika z niepowodzenia próby.

Bardzo dobrymi parametrami jakościowymi charakteryzują się natomiast złoża węgla poddane zgazowaniu w Chinchilla, w Hiszpanii oraz w USA [5]. Zestawienie parametrów jakościowych zgazowywanych węgli niskogatunkowych w procesie podziemnego zgazowania przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

**Parametry jakościowe węgla niskogatunkowego w próbach podziemnego zgazowania**

Lokalizacja/ nazwa	Rodzaj węgla	Wilgotność węgla, %	Zawartość popiołu, %	Substancje lotne, %	Wartość opałowa węgla, MJ/kg
Chinchilla	podbitumiczny	10	19,3	40	23
Hanna	podbitumiczny	b.d.	26,26	36,07	22,3
Lisiczańsk	podbitumiczny	12–15	7–17	39–40	20–23
El Tramedal	podbitumiczny	22,2	14,3	27,5	18,1
Taszkient, (Angren)	Meta-lignit	35	12,2	33	15,1
Tula, Podmoskownaja 2	Orto-lignit	30	34,3	44,5	11,8
Szatsk, Szatskaja 1*	Orto-lignit	30	26	38,1	11,1
Sinelnikowski*	Orto-lignit	55	23,8	65,5	8,0

\* próby zakończone niepowodzeniem.

(Opracowanie własne według [5, 6, 8, 10])

Poniżej dla porównania zestawiono wybrane średnie parametry jakościowe węgla brunatnego eksploatowanego w Polsce. Warto zwrócić uwagę na fakt, że zgazowywane złoża węgla charakteryzują się stosunkowo dobrymi parametrami jakościowymi zarówno jeśli chodzi o wilgotność węgla brunatnego (10–35%) oraz wartością energetyczną w zakresie (23–11,8 MJ/kg). Parametry jakościowe węgla brunatnego eksploatowanego w Polsce metodą odkrywkową odbiegają od wyżej przedstawionych. Także złoża perspektywiczne węgla brunatnego nie mają wyższych wartości opałowych węgla.

TABELA 2

**Wybrane parametry jakościowe węgla brunatnego eksploatowanego w Polsce**

Lokalizacja/ nazwa	Wilgotność węgla, %	Zawartość popiołu, %	Substancje lotne, %	Wartość opałowa węgla, MJ/kg
Turów	<51	<14	<0,6	9,5
Konin	50–60	6,0–12	1–1,5	8,5–9,0
Adamów	55,5	6,5	0,21	8,6
Sieniawa	49	<7	<0,8	9,0–11,0
Bełchatów	śr. 53–58	6,5–11	0,5–0,83	7,6–8,5

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wyniki analizy dotychczas zrealizowanych eksperymentów podziemnego zgazowania węgla brunatnego wskazują, że:

- 1) Próby zgazowania prowadzono na złożach zalegających na głębokościach zalegania od kilkudziesięciu do ponad 500 m i o stosunkowo niedużej miąższości, tj. od około 1 do 25 m;
- 2) Minimalna wartości opałowa zgazowywanego węgla wynosiła nie mniej niż 11,8 MJ/kg. Najbardziej jednak korzystne rezultaty eksperymentów uzyskiwano dla meta-lignitów i węgla podbitumicznych, tj. o wartości opałowej powyżej 15 MJ/kg (oraz węgla bitumicznych o wartości opałowej powyżej 24 MJ/kg);
- 3) Na skalę przemysłową pozyskiwano dotychczas gaz w instalacjach w byłym ZSRR, tj. Podmoskownaja, Lisiczańsk oraz w instalacji Angren w Uzbekistanie;
- 4) Uzyskiwany gaz charakteryzował się wartością opałową zazwyczaj w zakresie od 2 do 13 MJ/Nm<sup>3</sup> i wynosił średnio 4–5 MJ/Nm<sup>3</sup>;
- 5) W prowadzonych badaniach, mających na celu zastosowanie metody PZW w Polsce należy skupić się nad opracowaniem metody zgazowania węgla brunatnego odpowiadającym własnościom oraz warunkom zalegania złóż węgla brunatnego w Polsce.

## LITERATURA

- [1] *Brassaur A., Antenucci D., Bouquegneau J.M., Coeme A., Dauby P., Letolle R., Mostade M., Pirlot P., Pirard J.P.*: Carbon stable isotope analysis as a tool for tracing temperature during the El Tremedal underground coal gasification at great depth, *Fuel* 81 (2002) 109–117
- [2] *Blinderman M.S., Jones R.M.*: Underground Coal Gasification and Power Generation; Coal New Horizon, Gasification Technologies Conferens, San Francisco, USA, October 27–30, 2002
- [3] *Burton E., Friedmann J., Upadhye R.*: Best Practices in Underground Coal Gasification, U.S. Department of Energy by the University of California, Lawrence Livermore National Laboratory Contract No. W-7405-Eng-48, 2005
- [4] GasTech Inc, Viability of Underground Coal Gasification in the “Deep Coals” of the Powder River Basin, Casper, Wyoming 2007
- [5] *Gautam N.N.*: Underground Coal Gasification — Application In The Country, 1st Asian Mining Congress, 2006, Kolkata, India
- [6] *Gregg, D.W., Hill R.W., Olness D.U.*: An Overview of the Soviet Effort in underground coal gasification, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore 1976, CA-UCRL-52004
- [7] *Hill R.*: The present state of the U.S. Underground Coal Gasification, UCRL-96508 Preprint, Essen, W. Germany, 7 May 1987
- [8] *Khadse A., Qayyumi M., Mahajani S., Aghalayam P.*: Underground coal gasification: A new clean coal utilization technique for India, *Energy* 32 (2007) 2061–2071 Elsevier
- [9] *Libicki J., Szczepiński J.*: Międzynarodowy System Klasyfikacji Węgla oraz Rozporządzenie Rady w Sprawie Pomocy Publicznej dla Przemysłu Węglowego, *Węgiel Brunatny*, 2007 nr 2/59
- [10] *Olness D., Gregg, D.W.*: The historical development of underground coal gasification. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA. UCRL-52283, 1977
- [11] *Olness D.*: Angrenskaya underground coal gasification station. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA. UCRL-53300, 1980
- [12] *Pirard P., Brassaur A., Coeme A., Mostade M., Pirlot P.*: Result of the tracer tests during El Tremedal underground coal gasification at great depth, *Fuel* 79 (2000) 471-478
- [13] *Sury i in.*: Review of Environmental Issues of Underground Coal Gasification, Report No. COAL R272 DTI/Pub URN 04/1880 November 2004
- [14] *Walker L.K., et al.*: An IGCC Project at Chinchilla, Australia, based on UCG. Gasification Technologies Conference, San Francisco, USA 2001
- [15] *Wan R.*: Energy Challenge, Clean Coal Utilization, The UCG Progress in China, Underground Coal Gasification Workshop November 12–15, 2006, Kolkata, India